

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“APLICACIÓN DE LA INGENIERIA GEOTECNICA
EN EL PLAN DE CIERRE DE LA MINA COLQUIRRUMI**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO CIVIL

FRANCISCO NOÉ GARCIA ARAUJO

Lima - Perú

2005

INDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCION	3
CAPITULO 1 GENERALIDADES	4
1.1 Objetivos Generales	4
1.2 Objetivos Específicos	5
1.3 Concepto de Cierre de Mina	6
1.4 Marco Legal	10
1.4.1 Normas Generales	10
1.4.2 Normas Ambientales Sectoriales	11
1.4.3 Normas Legales Sobre Preservación del Patrimonio Cultural	14
1.4.4 Normas Legales Sobre Biodiversidad	14
1.4.5 Otras Normas	15
1.5 Estabilidad Física	18
1.5.1 Investigación de campo	18
1.5.1.1 Excavación de calicatas	18
1.5.1.2 Excavación de Trincheras	19
1.5.1.3 Auscultación con el equipo Auger(Posteadora manual)	19
1.5.1.4 Ensayos de Penetración Dinámica Ligera	20
1.5.1.5 Ensayos de Refracción Sísmica	20
1.5.2 Ensayos de Laboratorio	21
1.5.2.1 Ensayos estándar	22
1.5.2.2 Ensayos químicos de muestras de Suelo	22
1.5.2.3 Ensayo Proctor Modificado de Suelos	23
1.5.2.4 Ensayo de Carga Puntual en Roca	24
1.5.2.5 Ensayo de propiedades físicas de roca	24

1.6	Estabilidad Geoquímica	25
1.6.1	Concepto del Potencial Neto de Neutralización	25
CAPITULO 2	CIERRE DE MINA	28
2.1	Criterios de Diseño	28
2.2	Criterios de Cierre	30
CAPITULO 3	CIERRE DE COMPONENTES MINEROS	33
3.1	Estabilidad Física de Depósito de Relaves	37
3.2	Estabilidad Física de Botaderos de Desmontes	40
3.2.1	Reubicación del Botaderos de Desmonte	41
3.2.2	Estabilidad Física in-situ	42
3.3	Estabilidad Física de Bocaminas	46
3.3.1	Bocaminas que presentan drenaje	47
3.3.2	Bocaminas que no presentan drenaje	51
3.4	Estabilidad Física de Tajos Abiertos	52
3.5	Estabilidad Física de Chimeneas	54
CAPITULO 4	APLICACIÓN A LA MINA COLQUIRRUMI	57
4.1	Ubicación de la Mina Colquirrumi	57
4.2	Caracterización de la Mina Colquirrumi área El Sinchao	57
4.2.1	Geomorfología	58
4.2.2	Litoestratigrafía	59
4.2.3	Marco Geoestructural	59
4.3	Descripción de componentes mineros a estabilizar físicamente	60
4.4	Exploraciones Geotécnicas	61
4.4.1	Excavación de calicatas	61
4.4.2	Excavación de Trincheras	61
4.4.3	Ensayos de penetración Dinámica ligera	62

4.5	Ensayos de Laboratorio	63
4.6	Perfil Estratigráfico	64
4.7	Evaluación de la alternativa de cierre	65
4.8	Análisis de Estabilidad Física	67
4.9	Plan de Monitoreo y Mantenimiento Físico	69
	4.9.1 Plan de Monitoreo Físico	69
	4.9.2 Mantenimiento Físico	72

CONCLUSIONES	74
---------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA	75
---------------------	-----------

ANEXOS

ANEXO A:	Investigaciones de Campo y Laboratorio
ANEXO B:	Análisis de Estabilidad Física
ANEXO C:	Fotos
ANEXO D:	Planos

Listado de Cuadros

<u>Cuadro N°</u>	<u>Nombre del Cuadro</u>
1.5.2.2	Limites permisibles de sulfatos, cloruros y sales solubles totales en suelos
1.6-1	Primer criterio de estabilidad física
1.6-2	Segundo criterio de estabilidad física
3.1	Matriz de selección de alternativas (MASA)
4.4.2	Resumen de excavación de calicatas y trincheras
4.4.3	Resumen del ensayo DPL
4.5	Resumen del ensayo Estándar de Laboratorio
4.7	Aplicación de la matriz de selección de alternativas
4.8	Botaderos de desmontes que se estabilizará físicamente
4.9	Puntos de monitoreo

Listado de Figuras

<u>Figura N°</u>	<u>Nombre de la figura</u>
3.1-1	Estabilidad de depósitos de relaves
3.2.2-1	Método de banquetas
3.2.2-2	Método de gaviones
3.2.2-3	Método de suelos reforzados
3.3.1-1	Principio de la generación de drenaje ácido
3.3.1-2	Método hermético o de descarga cero
3.3.1-3	Método del rebose
3.3.1-4	Método del bloqueo de aire
3.3.1-5	Método mixto
3.4-1	Estabilidad física mediante banquetas en tajos

Listado de Planos

<u>Plano N°</u>	<u>Nombre del plano</u>
U-01	Ubicación
T-01	Plano topográfico de la mina Lorenzo Miguel
G-01	Exploraciones geotécnicas en la mina Lorenzo Miguel
G-02	Perfil estratigráfico del botadero de desmonte Lorenzo Miguel 1
M-01	Plano de ubicación de puntos de monitoreo de la mina Lorenzo Miguel 1

Dedicatoria:

A la memoria de Alfredo José Farje Serpa quien en vida fue Gerente General de la Compañía Minera Colquirrumi.

RESUMEN

El informe de suficiencia “Aplicación de la ingeniería geotécnica en el plan de cierre de la mina Colquirrumi”, tiene como objetivo principal dar una alternativa de cierre a fin de garantizar la estabilidad física de los componentes mineros tanto técnica, económica así como ambiental.

El cierre de minas son las medidas a optar por los responsables de la exploración y explotación minera con la finalidad de restaurar toda la zona de influencia en las etapas antes mencionadas.

El marco legal rige las condiciones de cierre, así como parámetros de diseño y límites permisibles de elementos químicos, siendo la norma directamente aplicable a este informe la Ley de Cierre de Minas, Ley N° 28090.

Para el estudio, evaluación y análisis de la estabilidad física se tendrá que realizar investigaciones de campo como excavación de calicatas, excavación de trincheras, auscultaciones, ensayos de penetración dinámica ligera, ensayos de refracción sísmica, así como ensayos de laboratorio como análisis granulométrico, límite de Atterbert, contenido de humedad, clasificación SUCS, ensayos químicos, ensayos de Proctor Modificado, ensayos de carga puntual en roca y ensayos de propiedades físicas de roca, pudiéndose adicionar otras investigaciones de campo y ensayos de laboratorio que se crea conveniente para el estudio.

Para el estudio geoquímico se tendrá que hacer mediciones de pH y Potencial Neto de Neutralización (PNN), con el fin de determinar si el fluido o el suelo respectivamente son generadores de acidez.

Se detalla las alternativas de estabilidad física de depósitos de relaves, depósitos de desmontes, bocaminas, tajos abiertos y chimeneas para el cierre definitivo de la mina, para lo cual se desarrolla la matriz de selección de alternativas (MASA), que tiene la particularidad de unir características, atributos y bondades de cada alternativa para compararlas y hacer una evaluación cuantitativa basándose en un análisis cualitativo y/o cuantitativo, para elegir la mejor opción de cierre; la matriz MASA tiene la particularidad de la ponderación aritmética y logarítmica, dándole así mayor valor a lo más preponderante y minimizando lo de menor valor.

La aplicación de la ingeniería geotécnica se realizó para la mina Lorenzo Miguel, perteneciente al área de El Sinchao, de la Mian Colquirrumi, ubicado en el distrito y provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. El componente minero a estabilizar físicamente es el botadero de desmonte Lorenzo Miguel 1, que está compuesto por arena arcillosa con grava, la alternativa de cierre a utilizar es la estabilidad in situ, en las condiciones actuales para el análisis estático es estable pero para el análisis pseudo estático no lo es, tendiendo el talud en H:V = 2:1, el factor de seguridad estático de 1,32, se convierte en 1,61 y el valor pseudo estático de 0,91 se convierte en 1,03, pasando de la inestabilidad a la estabilidad, para esto se utilizó los métodos de Bishop simplificado (1 955) y de Janbu (1 957), donde ambos métodos utilizan el concepto de equilibrio límite para analizar la superficie de deslizamiento, que de acuerdo al método de las tajadas, es dividir en "n" porciones más pequeñas.

Se propone un plan de monitoreo de desplazamientos, asentamientos y de control de fisuras así como el mantenimiento que debe efectuarse con el fin de garantizar la eficacia de la obra propuesta.

INTRODUCCION

El presente informe elaborado tiene como finalidad dar un enfoque general al Plan de Cierre de componentes mineros tales como bocaminas, tajos abiertos, chimeneas y botaderos de desmontes, para lograr la estabilidad física de estos en el tiempo, cumpliendo la reglamentación legal vigente, así como los parámetros de diseños necesarios para garantizar la eficacia de las obras de cierre.

Para lograr un cierre de minas sostenible en el tiempo tiene que evaluarse las alternativas de cierre tanto técnicas, económicas, sociales así como ambientales, de tal manera que las elecciones de cierre sea la mejor.

La estabilidad física para botaderos de desmontes debe de ser diseñada para un periodo de retorno de 500 años, según la reglamentación vigente, para asegurar así el buen comportamiento de la estructura tanto estática como pseudo estática.

Las obras de estabilidad física se debe de contemplar diseños contra la erosión, para lo cual se recomienda el encapsulamiento con cobertura vegetal para lograr la remediación tanto física como ambiental, teniendo un paisaje acorde con el entorno.

Se tendrá en cuenta un plan de monitoreo y mantenimiento de los componentes mineros a estabilizar, con el objetivo de velar por el sostenimiento de estos tomando las medidas necesarias de mitigación en caso sea necesario.

1 GENERALIDADES

El objetivo del informe de suficiencia del estudio de ingeniería geotécnica del Plan de Cierre de las diferentes labores mineras existentes en la Unidad Minera Colquirrumi es garantizar la estabilidad física y química de los componentes mineros proponiendo alternativas de cierre adecuadas tanto técnica, económicas así como ambiental.

1.1 Objetivos Generales

A fin de cumplir con los objetivos trazados para el estudio de la ingeniería geotécnica para el cierre final de la Unidad Minera Colquirrumi, se ha definido los criterios generales de Cierre de Minas, que permitirán el criterio de diseño de las estrategias ingenieriles de manera tal, que se garantice la estabilidad física y química de los componentes mineros.

En la selección de las alternativas, se debe dar prioridad a aquellas que requieren un mínimo mantenimiento de sus estructuras y un monitoreo ocasional después del cierre definitivo, evitando así el cuidado activo que requiere operaciones, mantenimiento y monitoreo permanentes logrando así un autosostenimiento de la zona.

Adicionalmente, debe señalarse, que el diseño de las alternativas y estrategias de cierre final responde a las características propias de la zona de emplazamiento minero, por lo que éstas estarán en función de los siguientes factores:

Características físicas y químicas de las rocas y minerales tanto del entorno como de los que conforman los componentes mineros.

Clima e hidrogeología y su potencial impacto en la calidad del agua.

Condiciones topográficas, geológicas y sísmicas de la zona.

Balance de agua y condiciones del agua superficial y subterránea

Diseño de los componentes mineros.

Resultados de controles ambientales.

Uso de tierra post minería.

1.2 Objetivos Específicos

Los objetivos para el estudio de ingeniería geotécnica para el cierre final de la Unidad Minera Colquirrumi son:

Garantizar la adecuada protección ambiental en toda el área de influencia, mediante la ejecución de medidas de mitigación y obras ingenieriles, con aplicación de tecnologías orientadas al control de riesgos, estabilización del terreno, contención de descargas físicas y químicas, priorizando el criterio de prevención de la contaminación.

Asegurar la seguridad y salud pública durante la ejecución de las actividades de cierre, así como en las etapas de post-cierre, recuperando la calidad ambiental inicial del entorno y desarrollando las correspondientes obras de restauración física y química..

Reducir el nivel de contaminación ambiental en un plazo corto hasta que sean menores que los niveles máximos permisibles de emisiones fijados por toda ley vigente.

Determinación de los componentes mineros críticos, para darles un tratamiento adecuado y un monitoreo periódico más frecuente.

Evaluar y definir la ocurrencia futura de drenaje ácido proveniente de las labores subterráneas y de los botaderos de desmonte.

Lograr el autosostenimiento del entorno, minimizando o reduciendo la necesidad de intervención para el cuidado y mantenimiento de las obras y estrategias de cierre.

1.3 Concepto de Cierre de Mina

El Cierre de Minas son las medidas a optar por los concesionarios de las zonas de exploración y explotación de minerales metálicos y no metálicos, para mitigar todo impacto ocasionado en la etapa de operación y restaurar toda la zona de influencia, dándole condiciones iguales o similares a las que existían antes de los trabajos mineros.

«Planificar para el Cierre» es un término que se ha empleado con mucha frecuencia durante la última década para indicar la necesidad de que las nuevas instalaciones mineras incorporen el diseño de cierre de minas a fin de que puedan ser desmanteladas cumpliendo con los requerimientos de cierre (Gadsby, 1988). Si al diseñar una instalación se tiene claramente establecido que debe ser cerrada para satisfacer objetivos específicos, con mucha frecuencia se obtienen instalaciones más económicas y sensibles al medio ambiente.

La experiencia en los Estados Unidos ha mostrado que los costos de cierre para instalaciones existentes que no fueron diseñadas u operadas teniendo en mente su cierre pueden ser extremadamente altos y tener un impacto adverso definitivo sobre la economía global del proyecto.

Durante el desarrollo del análisis económico del cierre de una mina deben incluirse los costos como un ítem del modelo económico global. La experiencia ha demostrado que la inclusión de los costos de cierre después de las operaciones a menudo puede resultar en una consecuencia negativa para un proyecto total si la economía del proyecto es reevaluada en esta etapa.

El desarrollo de la mina para alcanzar un crecimiento sostenible es parte de la filosofía que implica que el cierre de minas sea considerado cuidadosamente

durante el diseño inicial de la mina. Planificar para minimizar el impacto ambiental ayudará a lograr un desarrollo futuro sostenible. Estos impactos pueden estar limitados a la perturbación de la superficie pero en otros casos podría incluir la degradación de los recursos del agua y del aire e incrementar el potencial para el establecimiento de restricciones al uso de la tierra una vez concluidas las operaciones mineras.

La perturbación general de la superficie durante las operaciones se puede reducir efectuando un cierre o una rehabilitación concurrente de ser esto factible. Por ejemplo, es provechoso que a medida que los depósitos de desmonte o de depósitos de relaves se vayan llenando, se inicien las actividades de cierre simultáneamente con el resto de las operaciones. Cerrando o recuperando esas áreas no usadas, se reduce el área total de la superficie perturbada. Estas actividades de cierre concurrentes pueden usarse para demostrar y evaluar el éxito de operaciones alternativas de cierre.

El cierre de minas incluye todas las tecnologías que se requieren para alcanzar la seguridad física y la protección ambiental a largo plazo en los alrededores de la instalación minera. La gama de actividades para el cierre de instalaciones de desperdicios de minas podría incluir desde una nivelación mínima para mejorar la derivación y escurrimiento de las aguas superficiales hasta una nivelación completa, colocación de una cobertura y la revegetación.

Las actividades de cierre de minas dependerán de las condiciones climáticas y ambientales específicas del lugar, sin embargo, deben incluir:

Derivaciones permanentes del agua superficial alrededor de las áreas de instalaciones con el objeto de mantener bajo control el flujo de agua en casos extremos de tormentas.

Nivelación y revegetación (de ser apropiado) de áreas afectadas.

Construcción de componentes de minas con configuraciones estables o cambiar su configuración al momento del cierre.

Reducción de las filtraciones o descargas contaminantes de minas subterráneas y/o de tajo abierto.

Reducción de las filtraciones contaminantes de las instalaciones de desechos mineros.

Un uso beneficioso de la tierra una vez que concluyan las operaciones mineras (por ejemplo, hábitat para la fauna silvestre, campos de pastoreo, recreación, o futura exploración y explotación minera).

Mantener la estabilidad física y química es fundamental para proteger la salud humana y el medio ambiente. La estabilidad física implica la estabilidad de taludes, con lo que se protege de derrumbes catastróficos tanto a las áreas locales como aquéllas ubicadas aguas abajo. Sin embargo, también se refiere a la estabilidad contra la erosión eólica y del agua, y por lo tanto, el transporte desde la instalación de polvo o sedimentos que pudieran tener un impacto dañino sobre la salud humana y el medio ambiente.

En áreas sísmicas, por ejemplo, deben restringirse la construcción de viviendas en áreas situadas aguas abajo de las grandes presas de relaves. Igualmente, las instalaciones de componentes que han sido bloqueadas, encapsuladas, o cubiertas en una mina cerrada deberían ser protegidas de la minería informal e ilegal que puede amenazar su seguridad.

La estabilidad química se refiere a la contención de sustancias químicas contaminantes y a evitar que las mismas sean introducidas al medio ambiente.

La estabilidad química puede establecerse mediante el control de la fuente emisora, el control de migración, o el tratamiento.

El control de la fuente ha demostrado ser el medio óptimo para alcanzar la estabilidad química. Este control se logra evitando la descarga de sustancias contaminantes, para lo que se elimina la fuente o uno o más componentes que pueden conducir a la formación de contaminantes. No obstante ello, el control de fuentes no es siempre posible.

El control de la migración también puede usarse para mantener la estabilidad química una vez formadas las sustancias contaminantes. El control de la migración implica controlar la migración de soluciones de lixiviación hacia el medio ambiente. Esto puede lograrse mediante la encapsulación superficial y subterránea construyendo cubiertas de baja permeabilidad, revestimientos y muros de contención de rezumaderos, todos especialmente diseñados. La intercepción y el tratamiento de sustancias lixiviadas contaminantes, una vez generadas y descargadas, es otra alternativa común.

El uso del tratamiento no se recomienda para el cierre de minas porque implica mantenimiento perpetuo así como la generación y disposición de lodo. El tratamiento puede ser activo como los tratamientos químicos, o pasivo como los pantanos especialmente construidos.

El uso futuro de la tierra de un área sometida a la explotación minera es decisivo para definir el diseño del cierre de una mina.

La meta obvia del uso de la tierra en el período posterior a los trabajos de minado es apoyar un uso beneficioso del terreno. Los usos beneficiosos del terreno en el período posterior a los trabajos de minado pueden incluir hábitat de la fauna silvestre, campos para pastoreo, recreación en lagos especialmente diseñados, construcción de instalaciones recreativas como campos de golf sobre depósitos de relaves, construcción de parques industriales sobre botaderos de desmonte u otros desperdicios.

El gobierno también debería proporcionar un registro actualizado de potenciales usos beneficiosos de la tierra en cada región.

1.4 Marco Legal

Dentro del marco legal aplicable al presente estudio del Plan de Cierre de Minas se pueden mencionar los siguientes:

1.4.1 Normas Generales

Constitución Política del Perú

En el Art. 2º establece que es derecho fundamental de la persona de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Además, en los Artículos 66º, 67º, 68º y 69º se establece que los recursos naturales No Renovables son patrimonio de la Nación, promoviendo el Estado el uso sostenible de éstos.

Código del Medio ambiente y de los Recursos Naturales.

Establecido por el Decreto Legislativo N° 613 del 7 de setiembre de 1990.

Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada.

Aprobada por Decreto Ley N° 757.

En el Art. 50º establece que las autoridades competentes relacionadas con el medio ambiente y los recursos naturales son los ministerios del sector donde realizan sus actividades.

En el Art. 51 establece que cada autoridad determinará las actividades con riesgo ambiental, que pueden exceder los niveles tolerables de contaminación o daño ambiental.

Ley de Promoción Minera.

Aprobada por el Decreto Ley N° 708 en Diciembre de 1 991.

Ley General de Aguas.

Aprobada por el Decreto Ley N° 17752.

Establece los tipos de agua de acuerdo a sus usos y los parámetros tanto físico-químicos como de carga de contaminantes que estos deben tener.

Código Penal

El código contempla al medio ambiente como un bien jurídico de carácter socioeconómico. La Ley sanciona los delitos contra los Recursos Naturales y el Medio Ambiente con penas privativas de la libertad individual y sanciones pecuniarias.

1.4.2 Normas Ambientales Sectoriales**Prohibición de vertimientos en aguas.**

Aprobada por el Decreto Ley N°17752 del 24 de julio de 1 969.

Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería sobre Medio Ambiente.

Decreto Supremo N° 016- 93-EM del 01 mayo de 1 993.

Reglamento de participación ciudadana.

Resolución Ministerial N°335-96-EM/SG y Resolución Ministerial N° 278-99-EM/VMM

➤ **Niveles máximos permisibles de emisiones de gases y partículas para las actividades minero - metalúrgicas.**

Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM.

➤ **Niveles Máximos Permisibles de Emisión de efluentes líquidos para actividades Minero – Metalúrgicas.**

Resolución Ministerial N°011-96-EM/VMM.

➤ **Ley Del Cierre de Minas, Ley N° 28090.**

Regula las obligaciones y procedimientos para la elaboración, presentación e implementación del Plan de Cierre de Minas.

Establece las medidas a adoptarse a fin de rehabilitar el área utilizada o perturbada por la actividad minera. Compete al Ministerio de Energía y Minas aprobar los planes de cierre, y controlar las obligaciones asumidas e imponer sanciones administrativas. También dispone que los titulares de una actividad minera deben:

- Implementar su plan de cierre desde el inicio de sus actividades
- Reportar el avance cada 6 meses
- Constituir una garantía por el costo estimado del Cierre.

➤ **Ley N° 28234**

Prorroga el plazo de presentación del Plan de Cierre establecido por la Ley 28090, hasta el 14 de octubre de 2004.

➤ **Resolución Directorial N° 440-96-EM/ DGM**

Obliga a efectuar análisis de estabilidad de depósitos de relaves operativos y abandonados.

➤ **Resolución Directorial 19-97-EM/ DGAA**

Términos de Referencia para informe de estabilidad física.

➤ **Resolución Directorial N° 224 -97-EM/DGM.**

El criterio hidrológico para diseño y operación de depósitos de relaves construidos a través de un valle será el evento de tormenta con período de retorno de 500 años.

➤ **Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental en Aire.**

Decreto Supremo N° 074-2001-PCM.

➤ **Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental para Ruidos**

Decreto Supremo N° 085-2003-PCM.

➤ **Sistema de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA).**

Ley N° 27446 del 23 de abril del 2004.

➤ **Reglamento Ambiental para Actividades de Exploración Minera.**

Decreto Supremo N° 038-98-EM

➤ **Guías Ambientales de Minería**

Elaboradas y publicadas por la Dirección General de Asuntos Ambientales del MEM

1.4.3 Normas Legales Sobre Preservación del Patrimonio Cultural

➤ **Ley General de amparo al Patrimonio Monumental de la Nación.**

Ley N°24047

➤ **Reglamento de Exploraciones y excavaciones Arqueológicas.**

Resolución Sectorial N°559-85-ED, modificada mediante Resolución Sectorial N°060-95-ED del 2 de agosto de 1 995.

1.4.4 Normas Legales Sobre Biodiversidad

➤ **Constitución Política del Perú**

➤ **Ley Orgánica de Aprovechamiento de los Recursos Naturales**

➤ **Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales**

➤ **Convenio sobre Biodiversidad.**

R. L. N°2618 del 11 de mayo de 1 993

➤ **Ley Forestal y de Fauna Silvestre.**

Decreto Ley N°21147 y Decreto Supremo N° 158-77-AG

➤ **Ley de Conservación y Desarrollo Sostenible de la Diversidad Biológica.**

Ley N° 26839

➤ **Clasificación Oficial de Especies Amenazadas de Fauna Silvestre.**

Resolución Jefatural N° 013-99-INRENA/DGANPES

1.4.5 Otras Normas

Decreto Legislativo No. 613, Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales, modificado por Decreto Supremo No. 014-92-EM, Texto Unico Ordenado de la Ley General de Minería.

Regula lo referente a la descarga de sustancias contaminantes al ambiente, estableciendo la obligación de adoptar precauciones para la depuración, medidas de control y monitoreos (Art. 14°), y prohíbe el vertimiento de sustancias a los cuerpos de agua de modo que hagan peligrosa su utilización (Art. 15°).

Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos.

Esta ley comprende a los relaves dentro de la categoría general de residuos industriales (Definición de Términos No. 24) y establece que su manejo es regulado por el Ministerio correspondiente (Art. 6°).

Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas

Establece la prohibición de modificar el régimen, naturaleza y calidad de las aguas y sus cauces sin la correspondiente autorización y prohíbe tales modificaciones si ello afecta a la salud pública, la colectividad, los recursos naturales, la seguridad o la soberanía nacional (Art. 14°). Además consagra el derecho al uso legítimo de las aguas (Art. 15°). Este derecho se encuentra regulado, entre otras, por la obligación de no perjudicar los otros usos (Art.20°, inciso d).

La disposición de residuos en las aguas requiere de su tratamiento previo y que se garantice que no se afectará la capacidad de autopurificación del receptor (Art. 22°). En particular, se establece que los relaves deben ser dispuestos en depósitos apropiados o evacuados de manera que se evite la contaminación de aguas y suelos (Art. 54°). Se prohíbe la alteración del curso normal de las aguas, así como su composición física, química o biológica que afecte otros usos (Art. 56°).

Decreto Supremo N° 41-70-A, Complementación al Reglamento de los Títulos I, II y III de la Ley General de Aguas

Establece que la descarga de sustancias residuales a los cuerpos requiere de la aprobación de la autoridad sanitaria y sólo será permitida si no supera los objetivos de calidad del cuerpo receptor (Art. 173°).

Decreto Supremo N° 016-93-EM, Reglamento para la Protección Ambiental en la Actividad Minero-Metalúrgica, modificado por Decreto Supremo N° 059-93-EM

Este reglamento constituye la norma principal que regula los aspectos ambientales de las actividades minero-metalúrgicas. Establece la obligación de presentar un EIA para los proyectos de plantas de beneficio y las ampliaciones mayores al 50% de capacidad instalada (Art. 20°).

Este reglamento considera expresamente la posibilidad de depositar relaves en el fondo de cuerpos lacustres o del mar, bajo condiciones técnicamente manejables, para los casos en los que la topografía no permite su disposición en superficie o cuando su disposición en superficie representa un mayor riesgo a la población o al ambiente (Art. 38°). Además, se establece la obligación de garantizar la estabilidad física y química del material depositado en la etapa de abandono (Art. 39°).

Decreto Supremo 053-99-EM, Normas Destinadas a Uniformizar Procedimientos Administrativos ante la Dirección General de Asuntos Ambientales.

Establece que la instancia competente para resolver asuntos ambientales del Sector Energía y Minas es la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA).

Decreto Supremo N° 055-99-EM, Texto Único de Procedimientos Administrativos del Ministerio de Energía y Minas.

Sistematiza los requisitos para todos los trámites que se realizan ante el MEM.

Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos Minero-Metalúrgicos.

Establece los valores límite que deben cumplir los parámetros regulados en los vertimientos de efluentes líquidos procedentes de las operaciones minero-metalúrgicas. Los valores están dados como concentración máxima permisible para los metales, los sólidos suspendidos totales y el cianuro total; y como valores máximo y mínimo para el pH. La concentración de metales se refiere a la fracción disuelta. Se establece límites para el valor en cualquier momento y límites para el promedio anual de muestras mensuales. Los parámetros regulados incluyen pH, sólidos suspendidos, plomo, cobre, zinc, hierro, arsénico y cianuro total.

Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM, Niveles Máximos Permisibles de Elementos y Compuestos Presentes en Emisiones Gaseosas Provenientes de las Unidades Minero-Metalúrgicas.

Establece los valores límite que deben cumplir las emisiones a la atmósfera procedentes de las operaciones minero-metalúrgicas y los criterios de calidad tentativos, exigibles a las operaciones del sector. Los parámetros para emisiones incluyen partículas suspendidas totales, plomo y arsénico en las partículas y anhídrido sulfuroso. Por su parte, los parámetros de calidad de aire incluyen PM10 (partículas suspendidas de tamaño menor a 10 μm), plomo y arsénico en las partículas y anhídrido sulfuroso. Los límites para partículas y para metales en las partículas están dados en términos de concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

1.5 Estabilidad Física

La evaluación de la estabilidad física para el Plan de Cierre de Minas se elabora mediante el procedimiento de investigaciones de campo y de laboratorio, tales como se detallan a continuación:

1.5.1 Investigación de campo

Las investigaciones de campo recomendadas y de mayor utilidad para el estudio de estabilidad física en el cierre de minas son:

1.5.1.1 Excavación de calicatas

Con la finalidad de reconocer la estructura estratigráfica del suelo y parámetros geomecánicos, de los botaderos de desmonte y depósitos de relaves así como en zonas donde se cimentarán estructuras de contención o de derivación de agua superficial o subterránea, se tendrá que ejecutar excavaciones manuales o con maquinaria a cielo abierto (calicatas), de manera que nos permitan examinar las condiciones del terreno in-situ en sentido vertical y proveer el acceso directo para tomar muestras o realizar ensayos in-situ. Este es uno de los métodos más satisfactorios para conocer las condiciones del subsuelo y el ancho debe ser lo suficiente como para que se pueda ingresar, maniobrar y examinar los diferentes estratos de suelos en su estado natural, así como observar las condiciones precisas referidas al nivel freático del terreno y extraer a su vez muestra inalteradas. Si se requiere entibado se puede usar madera o acero; por lo general el entibado se hace con tabloncillos horizontales pero deberán ser verticales y bien hincados si se tuvieran suelos friccionantes situados bajo el nivel freático.

Asimismo, se extraerá muestras inalteradas o disturbadas para la realización de ensayos de clasificación estándar de suelos, para lo cual cada muestra tendrá que ser identificada con una etiqueta y embaladas

en bolsas de polietileno con la finalidad de no perder el contenido de humedad.

Las calicatas excavadas se realizará siguiendo los registros de excavación de acuerdo a la Norma ASTM D-2488.

1.5.1.2 Excavación de Trincheras

Al igual que en las calicatas con las trincheras se busca determinar los espesores, características y condiciones de los estratos de suelos, pero a diferencia de las calicatas estas se realizan en zonas de corte o donde la topografía nos permita que con una simple limpieza o desbroce determinar la estratigrafía que compone la zona de estudio; por lo general sus dimensiones corresponde a un rectángulo y en este caso nos permite evaluar de manera horizontal

Se tendrá que extraer muestras inalteradas o disturbadas y registrarlas de acuerdo a la Norma ASTM D-2488, para poder realizar el ensayo de clasificación estándar (suelo), carga puntual y propiedades físicas de las rocas, etc.

1.5.1.3 Auscultación con el equipo Auger (Posteadora manual)

Otro de los métodos de exploración usado en este tipo de trabajos es la auscultación con el equipo manual Auger (Posteadora manual), que tiene por finalidad la identificación de los diferentes estratos de suelos y su composición, para ello se extrae con este equipo muestras disturbadas para luego realizar los ensayos de laboratorio, que permitirán la elaboración de registros y perfiles estratigráficos. Estas exploraciones alcanzan profundidades promedio de 1,50 m.

Este equipo comprende de una cuchara de 10" de longitud por 2" de diámetro, a la cual se une tuberías de hierro galvanizado de 40" de longitud y 1" de diámetro, que van añadiéndose según la profundidad de la auscultación; en la parte superior lleva una manivela de manera que

se ejerce una fuerza de derecha a izquierda, con la finalidad de cortar y extraer muestra del suelo. Este método reemplaza a la calicata en suelos donde el nivel freático es alto sin alterar el medio donde se realiza el ensayo.

1.5.1.4 Ensayos de Penetración Dinámica Ligera (DPL)

Los ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) tienen como finalidad determinar las condiciones de resistencia del terreno.

El ensayo DPL (DIN 4094), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones con el ensayo SPT para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función al tipo de suelo, para cada 30 cm de hincado.

1.5.1.5 Ensayos de Refracción Sísmica

Cuando es necesario investigar la disposición de la estratigrafía de manera preliminar o complementaria, los ensayos de refracción sísmica constituyen un medio rápido y económico.

El ensayo de refracción sísmica consiste en la medición de los tiempos de viaje de las ondas compresionales (Ondas P) generadas por un golpe de impacto producidas por un martillo, comba o explosión; los impactos se localizan a diferentes distancias a lo largo de un eje sobre la superficie del suelo.

La energía es detectada, amplificada y registrada de tal manera que puede determinarse su tiempo de arribo en cada punto.

El inicio de la grabación es dado a partir de un dispositivo o SWITCH que nos da el tiempo cero para medir el tiempo de recorrido.

Estos datos de tiempo y distancia, usados en cada caso especial, con una variación del Punto de Disparo (o aplicación de la energía), nos permite evaluar las velocidades de propagación de ondas P, a través de los diferentes suelos cuya estructura, geometría, continuidad son investigadas. Se utiliza el método de "Delete Time" para el análisis de los resultados.

Todas las formas de análisis manejan criterios que utilizan la suposición de la Ley de Cheguer en cuanto a la reflexión y refracción de las ondas P; de los espesores y las velocidades de propagación de ondas P obtenidas, las características geotécnicas pueden ser correlacionadas a la compacidad y densidad, esto puede llevar a evaluaciones erróneas, ante la presencia de niveles freáticos, los cuales pueden ser investigados específicamente con sondajes eléctricos verticales (SEV's).

Uno de los equipos de mayor uso es la Estación Portátil de Prospección Sísmica SP002 con 24 canales de registro, cables con espaciamiento de 1, 2 y 2.5m, geófonos magnéticos y una computadora para almacenar los registros. La distribución de los Puntos de Disparo se realiza de la siguiente manera.



1.5.2 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio recomendados y de mayor utilidad para el estudio de estabilidad física en el cierre de minas son:

1.5.2.1 Ensayos estándar

Con las muestras alteradas obtenidas en las calicatas y trincheras evaluadas se realiza los ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas, los cuales comprenden el análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad.

Los ensayos se realizan siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM). Las normas para estos ensayos son las siguientes:

Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422
Límites de Atterberg	ASTM D-4318
Contenido de humedad	ASTM D-2216
Clasificación SUCS.	ASTM D-2487

1.5.2.2 Ensayos químicos de muestras de Suelo

Con la finalidad de determinar el ataque del suelo a la cimentación de las estructuras proyectadas en los trabajos del cierre, se realizan ensayos químicos con las muestras disturbadas extraídas de las excavaciones para determinar el valor de pH, contenido de sulfatos, cloruros y sales solubles totales.

En base a los resultados del análisis químico de la muestra y de acuerdo al Cuadro 1.5.2.2 “Límites Permisibles” donde se presentan las cantidades en partes por millón (p.p.m) de sulfatos, cloruros y sales solubles totales, así como el grado de alteración y las observaciones del ataque a las armaduras y al concreto, se recomiendan protecciones a la cimentación del ataque químico.

Cuadro N° 1.5.2.2
Límites permisibles

Presencia en el Suelo de:	p.p.m	Grado de Alteración	Observaciones
*Sulfatos	0-1000 1000-2000 2000-20,000 >20,000	Leve Moderado Severo Muy Severo	Ocasiona un ataque químico al concreto de la cimentación
**Cloruros	>6,000	Perjudicial	Ocasiona problemas de corrosión de armaduras o elementos metálicos.
**Sales Soluble totales	>15,000	Perjudicial	Ocasiona problemas de pérdida de resistencia mecánica por problema de lixiviación

* Comité ACI 318-83

** Experiencia existente

Con respecto a las sales solubles totales, no existe ninguna norma de suelos que indique valores máximos permisibles; sin embargo, se permite tomar las precauciones necesarias, de manera que dichas concentraciones no perjudiquen al concreto.

Para sulfatos solubles en el suelo, existen tolerancias permisibles que se encuentran en el Reglamento Nacional de construcciones.

Los cloruros producen corrosión a estructuras metálicas, refuerzo de acero del concreto, etc. La referencia a valores máximos se encuentra en la Norma técnica de Edificación E-060.

1.5.2.3 Ensayo Proctor Modificado de Suelos

Con la finalidad de obtener las características de densidad y humedad óptima del material de préstamo a ser empleado en los trabajos de cierre, se realizará el ensayo de Proctor Modificado.

El ensayo se realiza siguiendo la norma de la American Society For Testing and Materials (ASTM). La norma para este ensayo es la siguiente:

Proctor Modificado

ASTM D-1557

1.5.2.4 Ensayo de Carga Puntual en Roca

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a la compresión simple de la roca intacta, que será usada para determinar los parámetros físico-mecánicos del macizo rocoso.

El ensayo consiste en comprimir la muestra de roca entre dos puntos situados en generatrices opuestas, realizando así la deformación y falla de la roca.

El ensayo se realiza siguiendo la norma de la American Society For Testing and Materials (ASTM). La norma para este ensayo es la siguiente:

Ensayo de Carga Puntual

ASTM D-5731

1.5.2.5 Ensayo de propiedades físicas de roca

Para determinar las propiedades físicas de la roca se realizan ensayos a las muestras de roca extraídas.

Los ensayos se realizan siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM). Las normas para estos ensayos son las siguientes:

Gravedad específica

ASTM C – 9783

Porosidad

ASTM C – 9783

Absorción	ASTM C – 9783
Densidad	ASTM D -2937

1.6 Estabilidad Geoquímica

La estabilidad geoquímica tiene por finalidad minimizar los impactos contaminantes en los flujos de agua, logrando el autosostenimiento de los componentes mineros en el tiempo.

1.6.1 Concepto del Potencial Neto de Neutralización (PNN)

La generación de drenaje ácido en los componentes mineros tales como en bocaminas, depósitos de desmontes, depósitos de relaves e incluso en tajos abiertos, es un problema ambiental muy característico de los yacimientos polimetálicos que contienen alta proporción de pirita. La caracterización química de estos materiales es eficaz para predecir, si ocurrirá drenaje ácido en el corto, mediano o largo plazo. Esta caracterización se logra determinando el Potencial Neto Neutralizante PNN de acuerdo a los siguientes criterios:

➤ Potencial de Acidez (PA)

Definido como la capacidad de un material de generar ácido y depende exclusivamente de su contenido de sulfuros. En la práctica se determina multiplicando el factor 31,25 por el contenido de azufre presente como sulfuro (en %), es decir:

$$PA = \%S \times 31,25$$

➤ **Potencial de Neutralización (PN)**

Definido como la capacidad de un material para neutralizar ácido y depende exclusivamente de su contenido de materiales consumidores de ácido tales como carbonatos, óxidos, etc., se determina experimentalmente, mediante adición de un ácido a una muestra del mineral considerado y titulación del ácido no consumido con una solución de NaOH.

➤ **Potencial Neto de Neutralización (PNN)**

Definida como la capacidad neta de un material de neutralizar o generar ácido y se determina a partir de los parámetros anteriores de acuerdo a:

$$\text{PNN} = \text{PN} - \text{PA}$$

Otro término importante es el cociente PN/PA, pues las reglas o criterios de estabilidad están referidos tanto al PNN como a este cociente.

Los criterios que se toman para determinar si una muestra de desmonte es generadora de drenaje ácido de roca (DAR) o no, es el siguiente:

Cuadro N° 1.6.1
Primer Criterio de Estabilidad Química

Valores	Interpretación
PNN > +20	No habrá drenaje ácido
PNN < -20	Si habrá drenaje ácido
-20 < PNN < +20	Incertidumbre, puede o no haber drenaje ácido

Cuadro N° 1.6.2
Segundo Criterio de Estabilidad Química

Valores	Interpretación
PN/PA > 3.0	No habrá drenaje ácido
PN/PA < -1.0	Si habrá drenaje ácido
1 < PN/PA < 3.0	Incertidumbre, puede o no haber drenaje ácido

Las unidades del PN, PA, PNN están expresados en Kg. de CaCO₃/TM

El potencial de neutralización neto (PNN) de una muestra esta dado por:

$$\text{PNN} = \text{PN} - \text{PA}$$

PNN > +20	El sistema no genera drenaje ácido.
PNN > -20	El sistema genera drenaje ácido.
Si -20 < PNN < +20	Rango de incertidumbre.

La interpretación de los resultados de PNN se basa en pruebas estáticas en donde el tiempo se considera como estático.

- PNN = + PN > PA hay más minerales neutralizantes y pocos sulfuros.
- PNN = - PN < PA hay menos minerales neutralizantes y más sulfuros.

2 CIERRE DE MINA

El cierre de mina busca como fin primordial restablecer el entorno físico, químico, biológico y social del área de impacto de las operaciones mineras en una forma igual o similar a la que encontraba antes de iniciar los trabajos de exploración y/o explotación.

2.1 Criterios de Diseño

Los criterios de diseño para el cierre de la mina se basan en:

Los criterios de diseño están basados en las normas ambientales vigentes, la política ambiental de la empresa y las condiciones geológicas, geotécnicas, topográficas, hidrológicas y climáticas de la zona en la que está emplazada la unidad minera.

Mientras que una Unidad Minera se encuentre en operación es previsible que sus condiciones y la magnitud de sus componentes puedan ir variando con el tiempo, por lo que las condiciones de diseño no serán las finales y las mas adecuadas, se puede hacer un diseño preliminar asumiendo las condiciones futuras, especialmente la topográfica e incluso se puede estar actualizando tales diseños pues está contemplado en la norma legal correspondiente al Plan de Cierre de Minas.

Cuando un componente minero tal como un botadero de desmonte, un depósito de relave, un tajo abierto o una bocamina ya culminó su periodo de vida, porque la veta mineral de la que dependían ya termino o porque su capacidad de diseño se cumplió se procederá a hacer un diseño de estabilidad final y definitivo.

Todo componente minero planificado tiene un diseño para su uso y un diseño de cierre que contempla la estabilidad física en el tiempo lo que permite un mejor manejo teniendo siempre presente que puede ser

cambiante en el tiempo el diseño por algún evento extraordinario, un mal proceso constructivo, el no haber usado materiales adecuados e incluso un mal diseño inicial.

Los criterios de diseño son muy limitados cuando se refiere a componentes mineros abandonados, considerados pasivos ambientales, es decir los que han sido emplazados sin planificación y control adecuado de uso, en su mayoría por ser trabajos realizados hace varios siglos cuando no existían los criterios base de control y manejo ambiental o incluso hace pocas décadas donde ya se tenía indicios de estos temas pero no la conciencia y la responsabilidad de usarlos, la misma legislación vigente no regulaba tales temas de gran interés e importancia con la que en la actualidad se hace por su vital importancia en la vida del hombre, flora y fauna.

El marco legal nacional actual nos da los criterios de cierre, siendo la norma directamente aplicable, la Ley N° 28090 que norma la elaboración, presentación y ejecución del Plan de Cierre de Mina. A este momento aún esta pendiente la publicación de la versión final del Reglamento de la Ley de Cierre de Mina.

El criterio de diseño que la legislación contempla es el diseño para un período de retorno de 500 años, este es un parámetro de diseño que es de mayor importancia para la estabilidad física pues un evento sísmico con un período de retorno de 500 años es el que en su mayoría será el que defina el diseño de los componentes mineros tales como tajos abiertos, botaderos de desmonte y depósitos de relaves.

Uno de los asuntos importantes que debe definirse tempranamente es el uso de la tierra en la etapa de post-cierre. En algunos casos, se podrá darle un uso similar al que tuvo antes de la operación minera, como en el caso de relaveras y botaderos, los cuales, luego de los trabajos de estabilización física y química serán revegetados con pastos nativos de la zona, lo que en muchos casos dependiendo del material a usarse

limita el ángulo de estabilidad, el cual hace tener un ángulo menor al que el material del componente minero lo permite, mientras que en otros casos se propondrá un uso alternativo sin revegetar.

En el caso de tajo abierto, no se podrá devolverle la conformación topográfica previa que tenía, por razones de costo. Sin embargo, se deberá estabilizarlos y en lo posible propiciar el crecimiento de vegetación en las partes planas de los bancos.

En general, para plantear soluciones de remediación, primero debe proponerse alternativas, luego analizarlas y seleccionar la más conveniente.

Se procurará que los diseños de las obras y medidas para la estabilización geotécnica y geoquímica de los componentes mineros sean a largo plazo, adoptando los factores de seguridad para condiciones de eventos especiales con largos períodos de recurrencia.

2.2 Criterios de Cierre

Los criterios de cierre de la mina se basan en:

Definir el lugar donde se emplazará el componente minero, tal como botadero de desmonte o depósito de relave, debiendo estar ubicado en una zona estable, donde se logre obtener un ángulo de talud de diseño adecuado, la estratigrafía del suelo natural lo permita y los flujos de agua superficial y subterráneo no causen inestabilidad en el tiempo.

Lograr el auto sostenimiento de la zona a estabilizar, minimizando el mantenimiento y monitoreo, garantizando así la estabilidad de la obra propuesta para el cierre.

Minimizar todo impacto negativo que pudiera causar la rehabilitación del componente minero.

- Garantizar la seguridad de personas y animales que circulan por las zonas estabilizadas físicamente.
- En lo posible para las bocaminas tajo, se tendrá como criterio de cierre rellenarlos con el mismo material para la bocaminas y para el caso de los tajos si se tiene otra labor similar, rellenarla con el material de deshecho de este, siempre y cuando sea factible económicamente.
- Evitar el ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar procesos de inestabilidad mediante la saturación y la generación de presiones de poro en el talud, en la cimentación y en las superficies de contacto.
- Asegurar la estabilidad de los taludes asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período post-cierre, como eventos sísmicos y climáticos.
- Asegurar la estabilidad de las coberturas a colocar, en las zonas donde se tiene que recobrar el paisaje inicial, para que este acorde con la vista de la zona, esto se logra con un sistema adecuado de manejo de agua superficial y subterráneo, tales como canales de coronación y subdrenes respectivamente.
- Asegurar, con pequeñas obras de contención, el pie de los taludes contra la influencia de las escorrentías o flujos que puedan ocurrir en la base de los botaderos de desmonte o depósitos de relaves.

Por ello, los estudios de estabilidad física se orientan a la estabilidad contra deslizamientos, corrimientos o problemas de derrumbes ya sea superficial o profundo.
- El botadero de desmonte se ubica en el cauce de una quebrada, tendrá que ser removido totalmente.

- Si el botadero de desmonte es generador de acidez, no solo será estabilizado físicamente sino también se proyectará obras de derivación de las escorrentías.
- Si el botadero de desmonte debe ser reubicado, entonces se tendrá que sacar todo el material que conforma dicho botadero y finalmente se tiene que limpiar completamente la zona, perfilar y revegetar si las condiciones lo permite.

3 CIERRE DE COMPONENTES MINEROS

El cierre de los componentes mineros varían de acuerdo a las condiciones en las que se emplazan tales como geología, topografía, hidrología y clima, y la elección de el uso de la mejor alternativa tanto económica, técnica, social y ambiental tendrá que ser evaluada para cada caso particular, por lo que se ha desarrollado una metodologías que permite cuantificar las características, atributos y bondades para así poder determinar la alternativa de cierre de cada componente minero, esta metodología se define y describe a continuación.

La Matriz de Selección de Alternativa (MASA), es un método de elección de varias alternativas obteniéndose un ranking de utilización de las alternativas para lo que se recomienda la intervención de un equipo multidisciplinario de profesionales, que recoge las características, atributos y bondades de cada alternativa y las compara una a otras, haciendo una evaluación cuantitativa, debido a un análisis cualitativos y/o cuantitativos de estas características, atributos y bondades.

Destacamos el valor integrador de la Matriz de Selección de Alternativa que, en un único gráfico, indica las alternativas, establece las características, atributos y bondades de las alternativas, y brinda la comparación entre ellas, pero este valor integrador no se reduce al aspecto gráfico, sino que influye la toma de decisión para la elección de la alternativa más viable tanto económica, técnica, ambiental y social.

Los componentes que conforman la MASA son cinco, que los nombramos y definimos a continuación:

Cuadro N° 3-1
Matriz de Selección de Alternativas
MASA

MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		ALTERNATIVAS (1)
CARACTERÍSTICAS, ATRIBUTOS Y BONDADES (2)	PONDERACIÓN (3)	EVALUACIÓN (4)
TOTAL		CUANTIFICACIÓN (5)

(1) Alternativas

Las alternativas son todas las posibilidades a utilizar en las obras de estabilidad, remediación, protección y restauración que se proponen para el cierre de componentes mineros, teniendo el criterio fundamental para cada uno de los casos tales como ubicación del proyecto, condiciones climáticas, ambientales y sociales, así como la disponibilidad de los insumos a utilizar.

Esta relación de alternativas se ubica en el lado superior derecho de la matriz sin ningún orden de preferencia, con una orientación vertical.

(2) Características, atributos y bondades

Se enumera todas las características, atributos y bondades que enmarcan a las alternativas, no siendo necesario que todas cumplan con tales descripciones, debe de considerarse siempre características

ponderaciones logarítmicas asociadas a cada símbolo, para realizar una adecuada evaluación se trabaja con el consenso de todo el equipo técnico y profesional y con datos cuantificados si es factible como por ejemplo los costos, en el cuadro N° 3-3 se muestra las correlaciones con su símbolos y el valor numérico asociado.

Cuadro N° 3-3
Correlación de la MASA

Grado de correlación	Símbolo utilizado	Valor numérico asignado
Muy correlacionados	●	9
Correlacionados	○	3
Poco correlacionados	△	1
Sin correlación	Blanco	0

(5) Cuantificación

Este valor cuantificado es el determinístico para la elección de la mejor alternativa, es la sumatoria del producto de la ponderación con el valor numérico asignado al grado de correlación, donde el valor más alto obtenido significa que es la mejor alternativa a implantar tanto económica, técnica, ambiental y social.

Las ventajas de la Matriz de Selección de Alternativas (MASA) son:

- Ser una herramienta integradora de alternativas, características, atributos, bondades, ponderación y evaluación.
- Los pasos de construcción de una matriz MASA son muy simples y pueden aplicarse sin mayor dificultad.

La simplicidad en las aplicaciones de la MASA para la variabilidad de obras que se presentará.

La flexibilidad y lo creativo en la aplicación, al mismo tiempo que se considera todas las alternativas.

No existe una regla para su uso, donde para cada distinto tema a evaluar se creará una matriz diferente.

La flexibilidad para ampliar su gama de alternativas, características, atributos y bondades.

Reducción de alternativas, agrupándolas por características muy similares y trabajando con la MASA al nivel de cascada, es decir se puede desarrollar 2 o 3 matrices consecutivas partiendo de una, así evitamos la evaluación de gran cantidad de alternativas reduciendo la evaluación considerablemente y teniendo un mismo resultado, con una menor inversión de análisis y tiempo.

La metodología descrita anteriormente se utilizará en la aplicación de cada alternativa de cierre tanto como para la estabilidad física como para otras alternativas a de cierre a evaluar.

3.1 Estabilidad Física de Depósito de Relaves

Como consecuencia de las actividades de concentrado de minerales quedan como residuos materiales de relaves conformados por material desintegrado de roca, minerales de baja ley, elementos químicos y agua.

Se expone los criterios y alternativas a utilizar con el fin de asegurar la estabilidad física de los depósitos de relaves para el cierre definitivo. La estabilidad física implica la estabilidad de taludes, con lo que se protege de derrumbes o deslizamientos. La estabilidad física considera las características

geotécnicas del sitio y otros factores como las precipitaciones y la acción sísmica.

Los depósitos de relaves necesitan un diseño inicial con consideraciones de estabilidad tanto física como química por su potencial alto de contaminación, la buena planificación del diseño reducirá todo impacto ambiental negativo así como costos innecesarios de contingencias.

Los objetivos de cierre correspondientes a los depósitos de relaves dirigidos a asegurar la estabilidad física son:

Asegurar la estabilidad de los taludes asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período post-cierre, como eventos sísmicos y climáticos.

Asegurar la estabilidad de las coberturas superficiales para la revegetación con un ángulo de estabilidad que permita lograr este fin.

Asegurar, con pequeñas obras de contención, en el pie de los taludes contra la influencia de erosión por causa de las escorrentías o flujos que puedan desestabilizar los taludes.

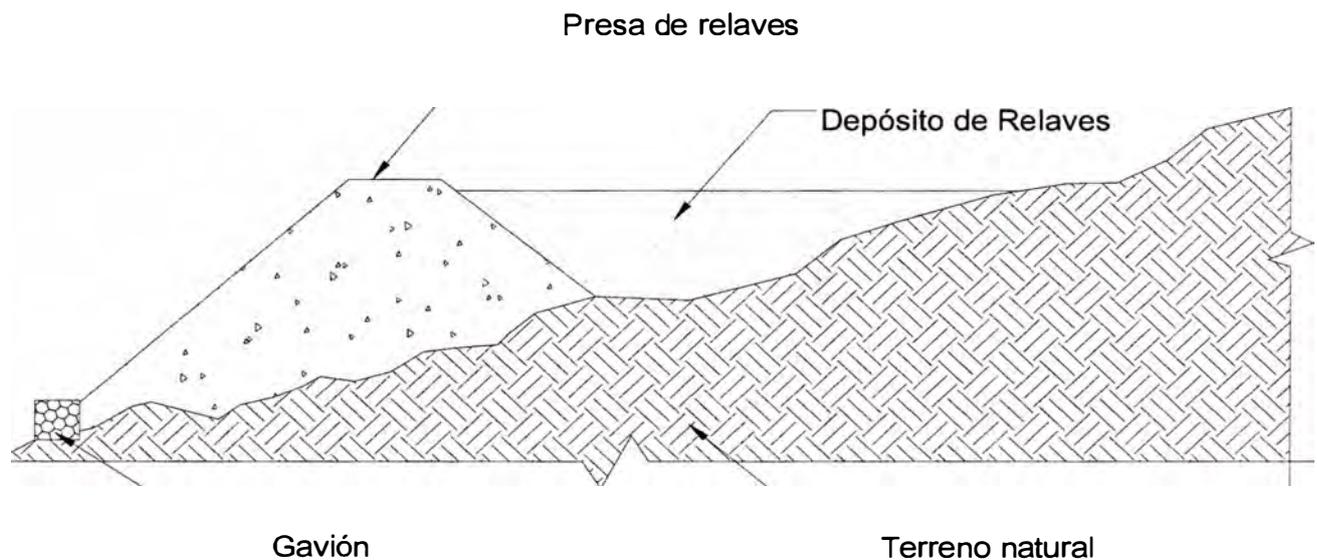
Una alternativa de para el cierre de depósitos de relaves que no es de factibilidad es la remoción parcial o total por ser estos volúmenes de gran magnitud en la mayoría de casos, pudiendo ser esta una opción a evaluar si las condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales lo ameritan.

La alternativa de estabilidad física mas viable tanto económica y técnicamente es la estabilidad de taludes con la construcción y/o encimamiento de la presa de contención, considerando las condiciones de diseño mas desfavorables.

Se considera de ser necesario en algunos casos, un pequeño muro de contención de tipo flexible (de gavión) en el pie del talud de la presa o dique

principal con la finalidad de confinar y asegurar la estabilidad del pie del talud, por esta la parte más sensible en un comportamiento sísmico y donde se concentran las filtraciones.

Figura N° 3.1-1
Estabilidad de depósitos de relaves



También será importante considerar el sub-drenaje de las aguas procedentes del proceso de consolidación. Debe entenderse que alrededor del 30% del volumen total que ocupa los relaves esta conformada de agua ocluida que irá aflorando a la superficie a través de un flujo vertical y de tipo transistente.

El depósito de relaves tendrá que ser cubierto de un material de baja permeabilidad con la finalidad de impedir el ingreso de agua y evitar algún grado de contaminación de la zona y si las condiciones del entorno del emplazamiento del depósito de relave lo permite se considerará una cobertura de material orgánico y la colocación de revegetación.

3.2 Estabilidad Física de Botaderos de Desmontes

Como consecuencia de las actividades mineras quedan como residuos los desmontes en diferentes zonas, con áreas, volúmenes, formas, granulometría, características y propiedades físicas y químicas diversas y diferentes. Los botaderos de desmonte son originados por las diversas labores mineras tanto de explotación superficial y subterránea así como la exploración.

Se expone los criterios y alternativas a utilizar con el fin de asegurar la estabilidad física de los botaderos de desmonte para el cierre definitivo. La estabilidad física implica la estabilidad de taludes, con lo que se protege de derrumbes o deslizamientos. La estabilidad física considera las características geotécnicas del sitio y otros factores como las precipitaciones y la acción sísmica.

Los objetivos de cierre correspondientes a los botaderos de desmonte dirigidos a asegurar la estabilidad física son:

Evitar el ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar procesos de inestabilidad mediante la saturación y la generación de presiones de poro en el talud, en la cimentación y en las superficies de contacto.

Asegurar la estabilidad de los taludes asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período post-cierre, como eventos sísmicos y climáticos.

Asegurar la estabilidad de las coberturas superficiales para la revegetación con un ángulo de estabilidad que permita lograr este fin.

Asegurar, con pequeñas obras de contención, en el pie de los taludes contra la influencia de erosión por causa de las escorrentías o flujos que puedan desestabilizar los taludes.

Por ello, los estudios de estabilidad física se orientan a la estabilidad contra deslizamientos, corrimientos o problemas de derrumbes ya sea superficiales o profundos.

Las alternativas de estabilización física para el cierre de botaderos de desmonte dependen si estos serán reubicados o estabilizados físicamente in-situ, los cuales se describen a continuación.

3.2.1 Reubicación del Botaderos de Desmonte

Se define si la ubicación actual del botadero de desmonte es adecuada o no, teniendo en consideración los criterios siguientes:

Se ubica en el cauce de una quebrada.

Está en una zona donde no permite hacer las obras de protección de las escorrentías. Este criterio es muy importante si se trata de un botadero de desmonte generador de acidez.

Causa una contaminación visual, con un paisaje no acorde a la zona.

Económicamente es muy costoso hacer las obras de cierre por no tener el relieve adecuado.

Si el botadero de desmonte debe ser reubicado, entonces se tendrá que sacar todo el material que conforma dicho botadero de desmonte y finalmente se tiene que limpiar completamente la zona, perfilar y revegetar si las condiciones lo permite.

Si el botadero de desmonte no será reubicado se tendrá que evaluar si es físicamente estable o no para poder hacerle un diseño de estabilidad para el cierre.

3.2.2 Estabilidad Física in-situ

Los criterios utilizados en el diseño de estabilidad física in-situ se basan en la aplicación de metodologías de análisis y diseño para obras de ingeniería geotécnica. Las pruebas y ensayos para la obtención de la información de sitio y de los materiales existentes cumplen procedimientos estandarizados internacionalmente como se describió en el capítulo 1.5. Los criterios de diseño se basan en la aplicación de modelos, procedimientos de análisis y diseño que son actualizados permanentemente a la luz de los resultados obtenidos.

En los análisis de estabilidad de taludes se considera un valor mínimo de Factor de Seguridad FS de 1.5 en la condición estática, sin sismo. Para la condición pseudo-estática se considera un coeficiente sísmico equivalente a $\frac{1}{2}$ de la aceleración sísmica de diseño. El período de exposición sísmica es de 500 años. El valor del Factor de Seguridad mínimo para la condición Pseudo-estática es de FS=1.0.

Los criterios de estabilidad mencionados aseguran un adecuado comportamiento de los taludes desde el punto de vista de la resistencia de los suelos y materiales involucrados, así como el nivel de deformación de los taludes ante un evento sísmico, condiciones recomendables para el extenso período de exposición sísmica; deformaciones no controladas pueden poner en riesgo los elementos de cobertura, encapsulamiento y/o revegetación.

Los análisis de estabilidad consideran el comportamiento drenado mediante el uso de los parámetros de resistencia efectivos de suelos, materiales granulares y drenantes, que conforman los botaderos de desmontes.

Si el botadero de desmonte es físicamente estable siguiendo los criterios anterior entonces solo se hará trabajos de perfilar para poder

colocar una cobertura adecuada y si las condiciones lo permiten se revegetará.

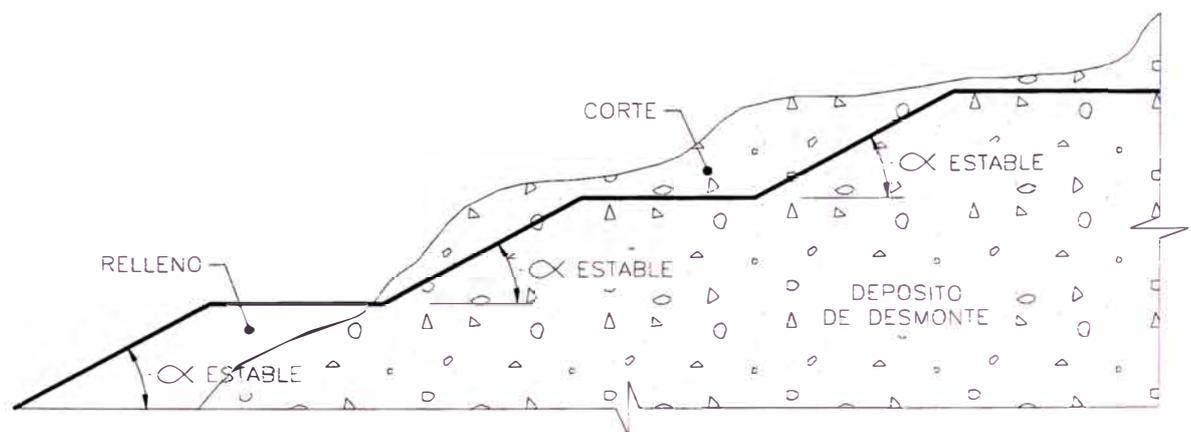
Si el botadero de desmonte no es físicamente estable se proponen tres métodos de cierre:

a) Método de Banquetas

El método de banquetas es un método en el que se usa el mismo material del botadero de desmonte de corte como relleno, se llega a estabilizar físicamente pues se quita la sobrecarga que genera un gran volumen de masa en la parte superior, para poder usar el método del banqueteo, muchas veces se necesita tener una topografía de pendiente baja en la parte del pie de talud es el método más económico pero a veces no se puede utilizar por las condiciones del terreno.

Se recomienda como opción muy buena pues no emplea el uso de insumos para la construcción, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

Figura N° 3.2.2-1
Método de Banquetas

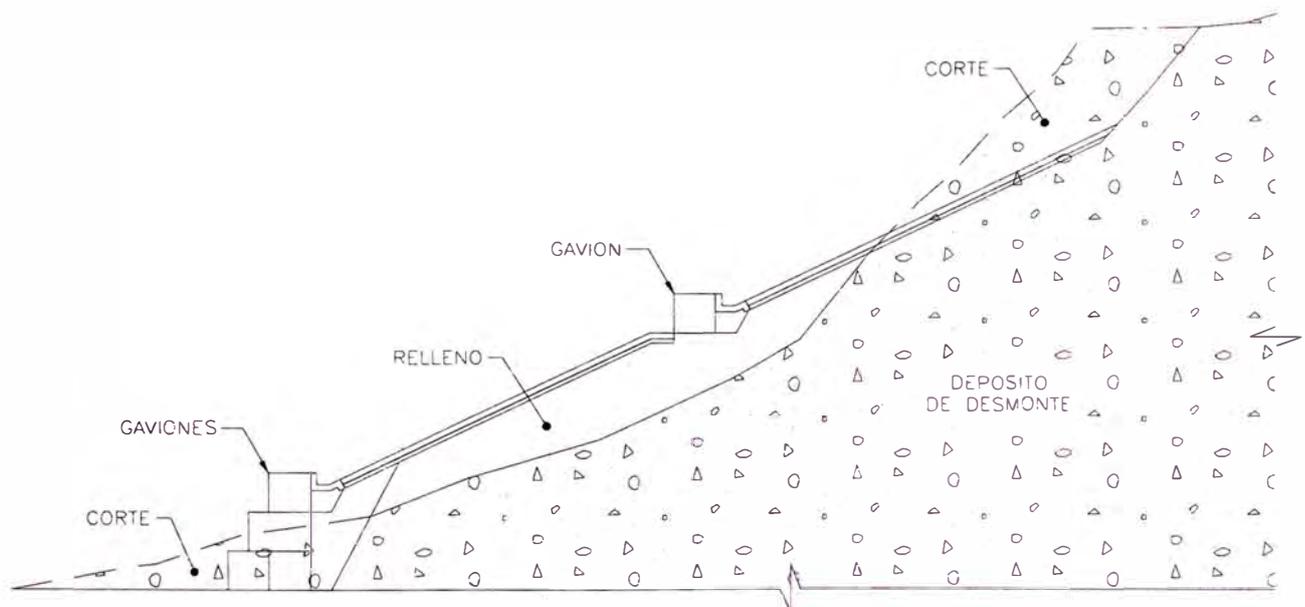


b) Método de Gaviones

El método de gaviones es muy usado para la contención del pie de talud, se utiliza como muros de contención, lo cual ayuda a no desplazar el desmote dándole una altura adecuada para lograr el ángulo de estabilidad, esto permite tener alturas de taludes mayores a las que se puede obtener con el método de banquetas, este método puede ser también mixto, es decir usar gaviones y banquetas, esto depende de las características del desmote y del terreno donde esta emplazado.

Económicamente es a veces muy costoso pues los insumos requeridos como las piedras que conforman los gaviones no se encuentran en la cercanía.

Figura N° 3.2.2-2
Método de Gaviones

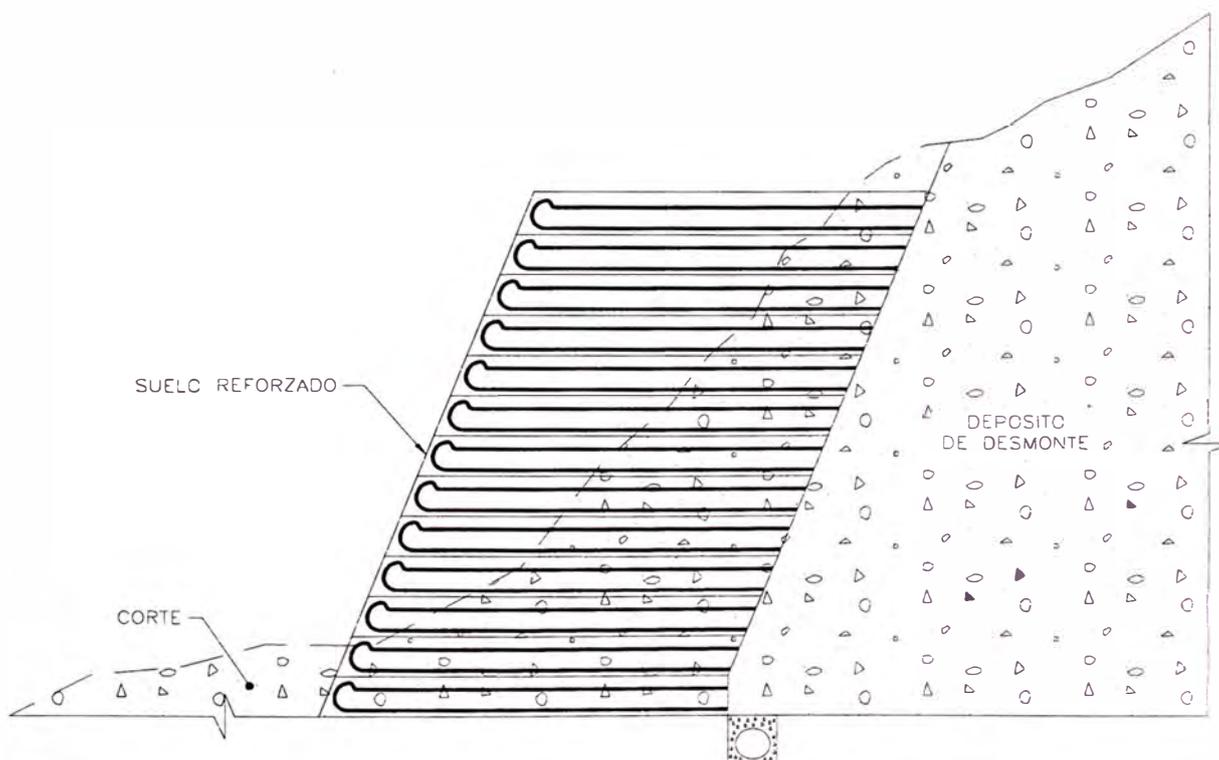


c) Método de Suelo Reforzado

El método del suelo reforzado es un método que nos permite utilizar ángulos mucho mayores que los métodos anteriores, pues el uso de la geomalla permite lograr esto, lo que nos lleva a contener mejor el pie de talud no dejando que éste se prolongue más, económicamente es el método menos recomendado por el costo de sus insumos.

Cuando la topografía no permite utilizar los métodos anteriores y económicamente es muy costoso remover parcial o totalmente el botadero de desmonte, este método es una opción muy buena a considerar.

Figura N° 3.2.2-3
Método de Suelo Reforzado



3.3 Estabilidad Física de Bocaminas

Las diversas bocaminas abiertas existentes representan un riesgo físico para habitantes, turistas y animales e incluso a los mismos trabajadores de la mina, que pueden entrar en ellas sin las medidas de protección necesarias y sufrir accidentes, siendo las de mayor riesgo las que se encuentran cerca de poblados y accesos.

Por otro lado, las bocaminas pueden ser las vías de entrada de aire al interior de las labores mineras, y salida de las aguas de mina, y por lo tanto, origen de la generación de drenaje ácido porque en estas condiciones favorecen la oxidación de los sulfuros y la disolución de los metales pesados.

Finalmente, las bocaminas tienen un efecto paisajístico negativo. El cierre de las bocaminas tiene como objetivo prevenir o mitigar estos impactos negativos, mejorando la calidad del drenaje de las labores mineras, bloqueando el ingreso de aire a ellas. Esto tiene que complementarse con el manejo de agua para reducir el ingreso de agua de lluvia y escorrentías al interior de las labores.

Las diversas alternativas para el cierre de bocaminas consisten en el taponeo de éstas e impiden el acceso al interior por parte de personas y animales; asimismo, se prefiere aquellas alternativas que impiden el ingreso de aire al interior de las labores mineras.

Los objetivos de la estabilización física y cierre de bocaminas son:

Brindar seguridad a personas y animales, impidiendo la entrada accidental o intencional de éstos al interior de las labores mineras.

Prevenir la generación de drenaje ácido contaminante.

Prevenir o mitigar los impactos negativos.

Restaurar el paisaje acorde con la zona.

Las alternativas de estabilización física para el cierre de bocaminas depende si estas presentan o no drenaje, se detalla a continuación cada caso.

3.3.1 Bocaminas que presentan drenaje

Un método eficiente para estabilizar físicamente, prevenir y/o remediar los impactos ambientales de las bocaminas que presentan drenaje consiste en el taponeo de éstas. Las diversas alternativas existentes para el taponeo de bocaminas tienen como efecto la mejora de la calidad del drenaje.

Debe tenerse en cuenta que, para que se genere drenaje ácido de roca (DAR), se requiere que estén en contacto el mineral de sulfuros, oxígeno y agua. Ver figura N° 3.3.1-1. Si no se cumple esta condición, al no estar en contacto estos tres elementos no hay generación de ácido. En este principio se basan los diferentes métodos de prevención de la generación de drenaje ácido. La reacción principal que muestra la generación de ácido es la siguiente:

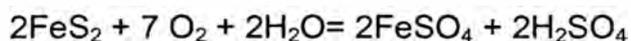
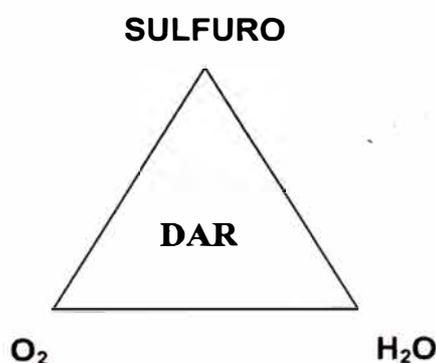


Figura N° 3.3.1-1
Principio de la generación de drenaje ácido



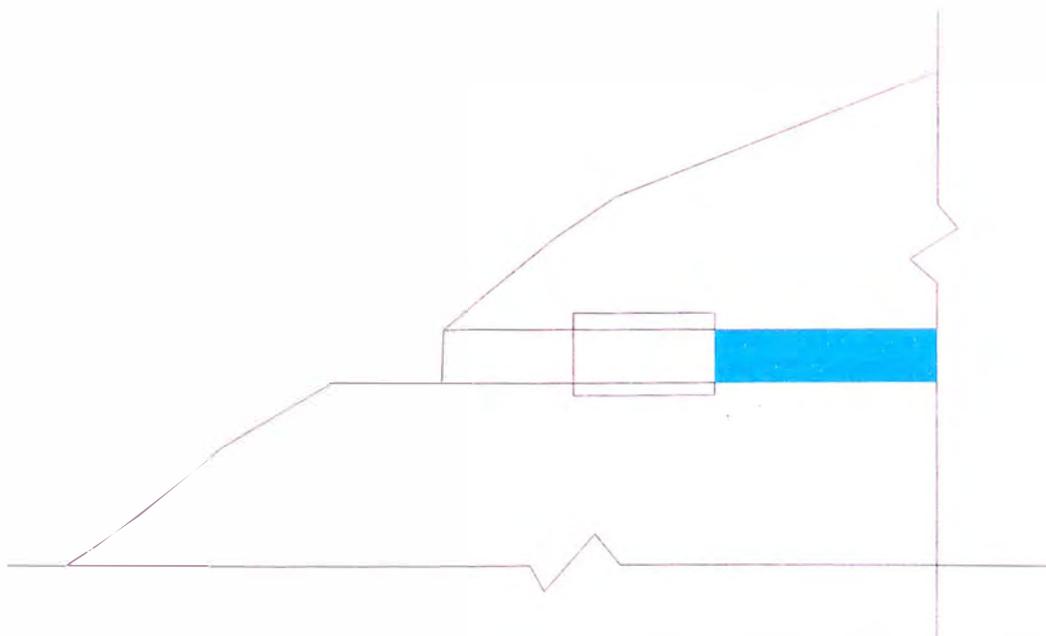
a) Método hermético o de descarga cero

Consiste en la construcción de un tapón hermético de concreto que confina el agua dentro de la galería, inundando las labores debido a la recuperación del nivel freático.

Generalmente este tipo de tapón debe tener algunas decenas de metros de longitud, debe tener una forma que impida que pueda ser expulsado por la presión hidrostática que se genere por la inundación de las labores, incluyendo chimeneas, tajeos explotados, etc. Dentro de las labores mineras, los sulfuros expuestos, al estar sumergidos en agua, dejan de oxidarse, y queda anulada la generación de drenaje ácido.

Este tipo de tapón requiere de detallados estudios geotécnicos e hidrogeológicos para reducir el riesgo de que el agua después del cierre salga mediante filtraciones por lugares no previstos, o que pueda producirse una falla catastrófica del tapón.

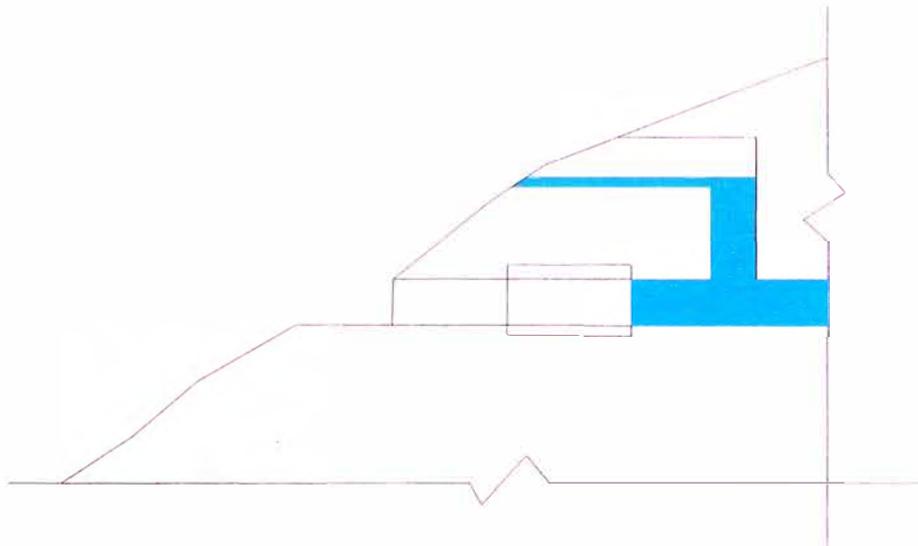
Figura N° 3.3.1-2
Método Hermético o de descarga cero



b) Método del rebose

En este método se tiene que taponear en forma hermética la galería inferior, permitiendo el rebose de agua por una bocamina ubicada en un nivel superior. Se reduce el caudal y también el contenido de ácido y metales en el drenaje, al estar inundada parte de las labores mineras. Para que este escenario ocurra debe haber una galería en un nivel superior.

Figura N° 3.3.1-3
Método del Rebose



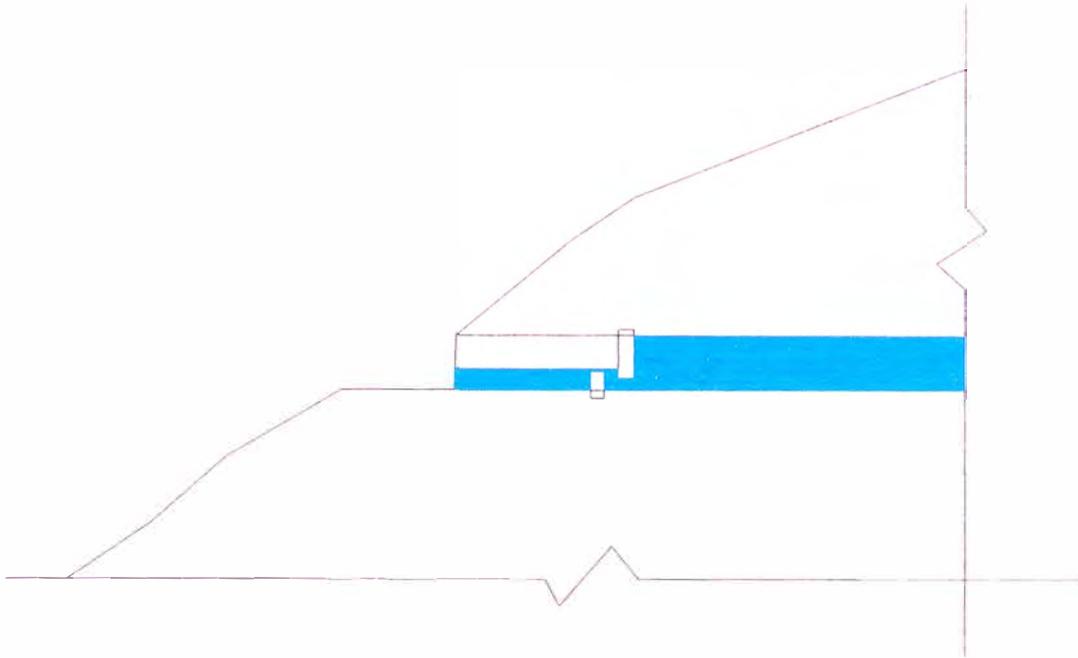
c) Método de bloqueo de aire

Este método permite, mediante una trampa, la salida de agua, pero impide el acceso del aire al interior de la galería. En este caso la acumulación de agua en el interior de la galería está limitada a la altura de la trampa. Por lo tanto la longitud del tapón es pequeña, por no haber una presión hidrostática significativa.

Al impedir el ingreso de aire, el oxígeno se agota al interior de las labores mineras, se evita que la oxidación de los sulfuros progrese, y por lo tanto, se paraliza la generación de drenaje ácido y el pH de las

aguas gradualmente tiende a neutro, reduciéndose también el contenido de metales disueltos y totales.

Figura N° 3.3.1-4
Método de Bloqueo de Aire

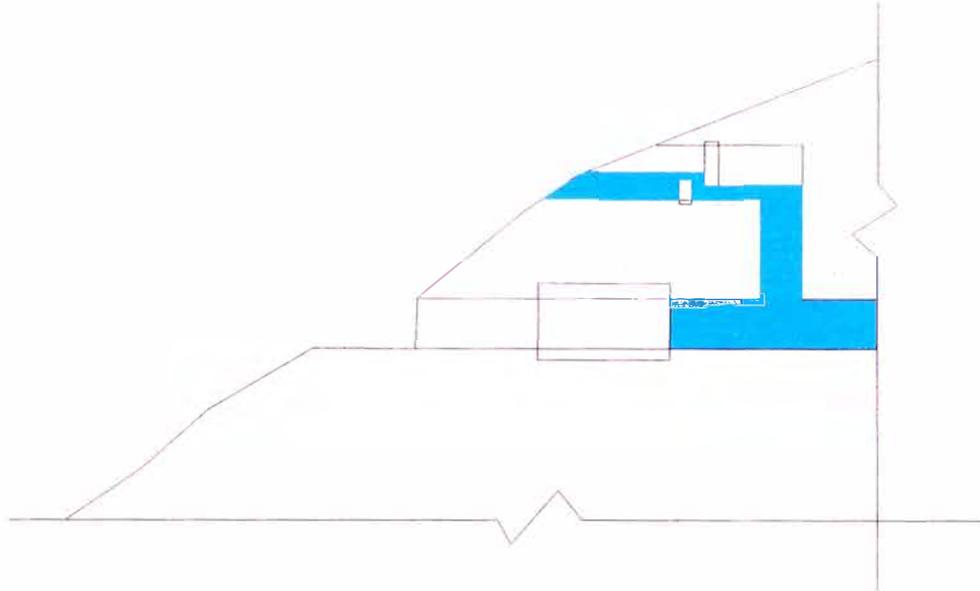


d) Método mixto

Este método combina los dos últimos métodos (b y c); se hace un cierre hermético de la labor inferior, y un cierre con bloqueo de aire en el nivel superior.

La selección de uno u otro método depende de las características de cada mina, entre ellas, del tipo y calidad de la roca, presencia de fallas o fracturas, el nivel freático, número de niveles y la profundidad de las labores mineras, pudiéndose aplicar más de un método en un centro minero.

Figura N° 3.3.1-5
Método mixto



3.3.2 Bocaminas que no presentan drenaje

Las bocaminas que no presentan drenaje, conocidas como bocaminas secas, no causan impactos negativos en la generación de ácido, pero presentan un riesgo potencial para personas y animales, además del impacto visual que causa al paisaje del entorno.

a) Muro hermético

La construcción de un muro que impida el ingreso de personas y animales, lo que no daría una vista acorde al paisajismo.

b) Acumulación de desmonte

La acumulación directa de material de desmonte en la bocamina logrando la reducción del volumen de éste para su estabilidad y

cobertura, logrando así impedir el ingreso a personas y animales, esto debe de hacerse de acuerdo a la topografía de la zona y tiene que revegetarse si el entorno lo amerita. La acumulación de desmonte también puede hacerse después de estabilizar la bocamina con algún sistema de muro de taponeo, logrando así la restauración y configuración topográfica inicial o similar.

3.4 Estabilidad Física de Tajos Abiertos

Como consecuencia de las actividades de explotación a cielo abierto, da como resultado fosas de gran profundidad conocidas como tajos abiertos.

Se expone los criterios y alternativas a utilizar con el fin de asegurar la estabilidad física de los tajos abiertos para el cierre definitivo. La estabilidad física implica la estabilidad de taludes, con lo que se protege de derrumbes o deslizamientos. La estabilidad física considera las características geotécnicas, goemecánicas, geodinámicas internas así como las precipitaciones y la acción sísmica.

El objetivo principal de cierre de tajos abiertos dirigidos a asegurar la estabilidad física es:

Asegurar la estabilidad de los taludes asumiendo las condiciones más desfavorables existentes durante el período post-cierre, como eventos sísmicos y climáticos.

Para la estabilidad física de los tajos se tienen los siguientes métodos y alternativas:

a) Método de banquetas

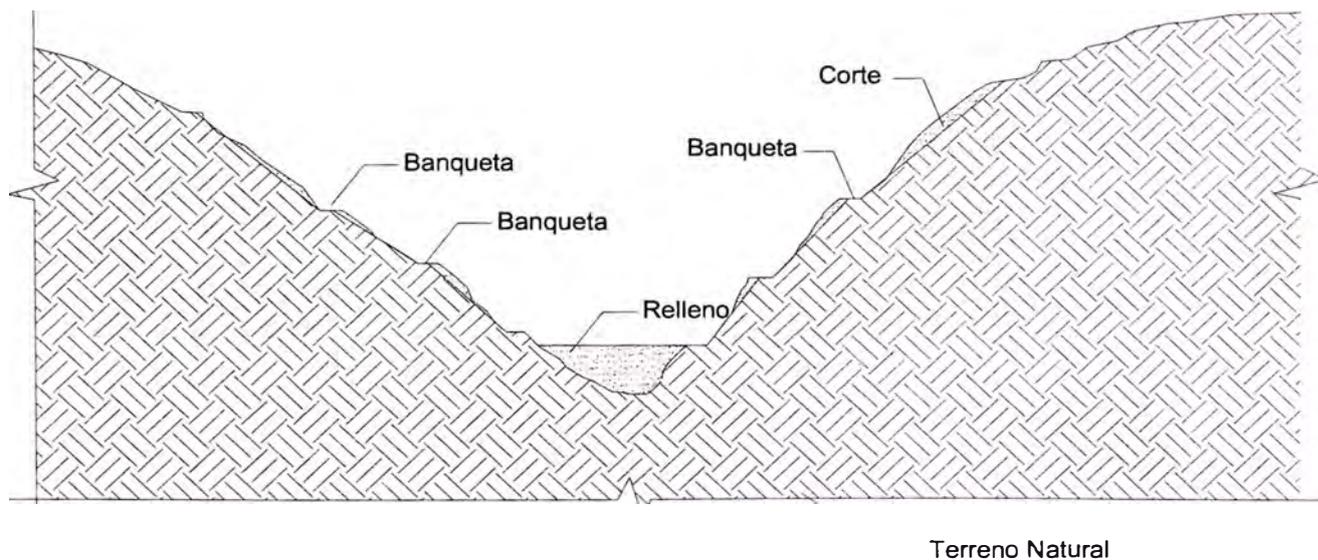
El método de banquetas es un método en el que se realizan cortes de suelos y rocas alteradas o inestables, con al finalidad de obtener un

ángulo de talud estable estática y pseudo-estática, para las banquetas se recomienda usar los caminos de accesos que se emplearon en la operación del tajo, el volumen de corte se acumulará en el fondo del tajo dándole una estabilidad en la parte superior, se tiene que hacer trabajos de captaciones de drenaje y escorrentia para impedir el ingreso de agua a la estructura y así desestabilizarla, las comunicaciones como bocaminas en el interior del tajo debe de taponearse con el fin de impedir el ingreso de agua.

Para trabajos de remediación ambiental puede revegetarse las banquetas dándole un cierre armónico al paisaje de la zona.

Si el diseño de estabilidad lo requiere se empleará muros flexibles tipo gavión en los pies de talud o muros de contención de concreto.

Figura N° 3.4-1
Estabilidad física mediante banquetas en Tajos



Se recomienda como opción muy buena pues no emplea el uso de insumos para la construcción, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

b) Método de relleno con material de desmonte

El método de relleno es recomendado cuando económicamente es factible, es decir si existe una labor similar cuando el tajo inicial ya no este en operación y todo el material del segundo tajo puede ubicarse dentro del primero, así se rellena gran parte de este o su totalidad logrando su estabilidad, este trabajo debe de tener las condiciones de relleno y compactación necesarias para su buena estabilidad, y los cuidados ambientales y de seguridad necesarios, tiene que elaborarse un plan de manejo de aguas para impedir el ingreso de agua de escorrenita y filtraciones al interior del tajo, ya que es un foco de contaminación.

c) Método de inundación

El método de inundación es usado en varios países como Canadá, dándole un paisaje muy agradable a la zona, y logrando una actividad adicional al abandono de la industria minera como el turismo y recreación, así como la pesca, si el material que conforma el tajo lo permite se puede inundar con agua al tajo, logrando una estabilidad física en corto plazo.

3.5 Estabilidad Física de Chimeneas

Los trabajos de operación en las galerías traen como consecuencia la excavación vertical en roca que une a la galería con la superficie con la finalidad de ventilación, acceso, traspasos y otros, estas excavaciones tienen una geometría definida.

Los objetivos de la estabilización física y cierre de chimeneas son:

Evitar el ingreso de aguas de escorrentía que puedan generar procesos de inestabilidad y la generación de drenaje ácido.

Impedir el ingreso de aire para evitar la generación de drenaje ácido.

Dar protección a las personas y animales que transitan por la zona.

Restaurar el paisaje de la zona.

Las alternativas de estabilización física y de cierre de chimeneas depende si de la ubicación y dimensiones de esta, pudiendo ser:

a) Relleno con material de desmonte o de préstamo

El relleno de las chimeneas con material de desmonte o material de préstamo es un método de cierre que nos asegura la estabilidad física de este componente minero, teniendo la limitación de su uso cuando la galería presenta drenaje, teniendo obligadamente de usar otro método alternativo, si la galería no presenta drenaje este es un método a optar siempre y cuando el volumen a rellenar no resulte económicamente considerable, teniendo que ser cubierto y revegetado.

b) Tapas de acero

Las tapas de acero, es un criterio de cierre temporal, pues es de fácil fabricación y colocación, pero no es perdurable en el tiempo, permite el ingreso de aire y agua y puede ser utilizado por los pobladores cercanos con otro fin. La unidad primordial de este sistema de cierre es garantizar la seguridad temporal durante la operación.

c) Losas de concreto

Las losas de concreto son un método de cierre que cumple con los objetivos de cierre, es durable a perpetuidad pero tiene la desventaja que es complicado el método constructivo ya que la ubicación de las chimeneas no tienen es su mayoría un acceso y se encuentran en zonas empinadas, es dificultoso llevar los materiales a la zona de trabajo para la elaboración del concreto.

d) Vigas prefabricadas de concreto

Las vigas prefabricadas de concreto son un método de cierre que cumple con los objetivos de cierre y la metodología de construcción y colocación permite reducir los costos de fabricación, logran garantizar la seguridad de personas y animales así como impedir el ingreso de aire y agua al interior de la galería, teniendo esta que ser cubierta por material de cobertura y ser revegetadas para tener una vista acorde con el paisaje de la zona.

4 APLICACIÓN A LA MINA COLQUIRRUMI

4.1 Ubicación de la Mina Colquirrumi

La Unidad Minera Colquirrumi, el área El Sinchao, se encuentra ubicado políticamente en el distrito y provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, a 100 km. de la ciudad de Cajamarca, geográficamente se encuentra entre las coordenadas UTM Este: 759 000, Norte: 9 254 000 a Este: 761 300, Norte: 9 256 500 y en altitudes que varían entre 3 500 y 4 000 msnm.

Su acceso por vía terrestre partiendo de la ciudad de Cajamarca es en un primer tramo mediante una carretera asfaltada hasta la mina Yanacocha, y luego, mediante una carretera afirmada a la ciudad de Hualgayoc; para llegar a la zona de “El Sinchao” desde Hualgayoc se toma una trocha carrozable en dirección Norte, pasando por la quebrada Mesa de Plata y cruzando por el río Tingo y ascendiendo por la quebrada de La Eme, para llegar a la zona de El Sinchao. (Ver Plano U-01).

4.2 Caracterización de la Mina Colquirrumi área El Sinchao

La área de El Sinchao está ubicada geográficamente en la cordillera occidental, en el flanco oriental de la divisoria de aguas. La topografía de la parte alta es típica de la puna, tiene una meseta en cuyo extremo Noroeste hay una serie de cerros no muy altos en los cuales existe mineralización y han sido objeto de operaciones mineras por varias empresas. Actualmente ninguna mina está en actividad en esta parte de El Sinchao, constituyendo una serie de pasivos ambientales. La vegetación existente está compuesta en su mayoría por pastos e ichu. En las quebradas, donde la altitud es menor, hay mayor variedad de vegetación, desde plantas herbáceas, hasta arbustos y árboles.

En el lado opuesto a los cerros, hacia el sudeste, existen quebradas en las cuales se encuentran las minas Abastecedora, Tres Amigos, Lorenzo Miguel y Rímac. Esta y otras quebradas de esta zona son afluentes del río Tingo que, a su vez, es tributario del río Llaucano.

El Sinchao pertenece al distrito minero de Hualgayoc donde existe una mineralización polimetálica.

La actividad minera de Hualgayoc se inició en la época colonial con la explotación de minerales argentíferos. En las décadas de 1 960 a 1 990 hubo intensa actividad minera, con muchas minas pertenecientes a diferentes empresas. Posteriormente, la mayoría de ellas quedaron inactivas. Como consecuencia de ello, ha quedado numerosos pasivos ambientales como bocaminas, chimeneas, rajos, botaderos de desmonte, depósitos de relaves y edificaciones, en muchos casos, en estado ruinoso.

4.2.1 Geomorfología

El rango geomorfológico regional que presenta el área de estudio, corresponde a la Unidad Geomorfológica Mayor, denominada "Superficie Puna", descrita por Mc Laughlin en el año 1 924, la morfología del relieve del suelo es a manera de una superficie ondulada, moderadamente accidentada y disectada por quebradas maduras; éstas geoformas son el resultado de los diferentes procesos tectónicos ocurridos en la zona a través del tiempo.

Las estructuras mineras que conforman la zona de El Sinchao forman parte de la Unidad Geomorfológica de Menor Laderas del valle del río Tingo, que tiene la forma de "V", simétrica, sus inclinaciones varían de 30° a 40° de pendiente; el modelado actual de la superficie del suelo y masa rocosa de los cerros circundantes, se debe a la acción sucesiva de erosión, intemperismo y meteorización de agentes naturales como el agua, viento y rayos solares, constituyendo así el panorama actual de la zona.

4.2.2 Litoestratigrafía

La característica litoestratigráfica que presentan los macizos rocosos, en los cuales se ubican los componentes mineros, son clasificadas en cinco grupos, que son:

Grupo N° 1: Macizo rocoso monzonita cuarcífera.

Macizo rocoso enargita-tetraedrita.

Grupo N° 2: Macizo rocoso monzonita cuarcífera.

Grupo N° 3: Macizo rocoso caliza oxidada.

Grupo N° 4: Macizo rocoso monzonita cuarcífera oxidada.

Grupo N° 5: Depósito de material morrénico.

4.2.3 Marco Geoestructural

La actual configuración morfotectónica de los macizos rocosos que afloran en el área de El Sinchao guarda estrecha relación con el tectonismo ocurrido durante la orogenia andina del cretáceo tardío y cenozoico temprano, su orientación general es de Noreste a Suroeste.

Los esfuerzos originaron en las masas rocosas, fracturamientos, diaclasamiento y agrietamientos, en el caso del primero (fracturas) ocurre en tres sistemas principales de discontinuidades que son:

N 10° W, 78° NE

N 66° W, 23° NE

N 81° W, 07° NE

Los planos de fracturamiento presentan poca cantidad de tintes de oxidación de poca persistencia, relleno de limo arenoso, húmedo y no plástico, de color beige amarillento.

En el caso del segundo ocurre en cuatro sistemas principales de discontinuidades que son:

N 63° W, 25° SW

N 26° W, 62° NE

N 59° W, 30° NW

N 77° W, 12° SW

Estas diaclasas poseen una persistencia de 1 a 3 m, están cerradas y rugosas pulidas en la masa rocosa.

4.3 Descripción de componentes mineros a estabilizar físicamente

La unidad minera Colquirrumi en el área El Sinchao esta conformada por cinco minas: Constancia, Abastecedora, Tres Amigos, Lorenzo Miguel y Rimac, para la aplicación de la ingeniería geotécnica para el plan de cierre, se estudia la mina Lorenzo Miguel.

La mina Lorenzo Miguel esta conformada por cinco bocaminas y cinco botaderos de desmonte asociados a cada bocamina (Ver Plano T-01), para el cierre de la mina Lorenzo Miguel referido a la estabilidad física de botaderos de desmonte se propone remover el desmonte de los botaderos 2 al 4, y unirlos con el botadero de desmonte 1, siendo este ultimo el que será estabilizado. El botadero de Desmonte comprende un área de 4 380 m².

4.4 Exploraciones Geotécnicas

Las exploraciones geotécnicas realizadas en la mina Lorenzo Miguel, se realizaron con la finalidad de estudiar y evaluar las características físico-mecánicas del material que conforma el botadero de desmonte y la estratigrafía de la zona donde se encuentra emplazado el deposito de desmonte.

Las exploraciones geotécnicas ejecutadas fueron:

Excavación de 02 calicatas de 0.40 y 0.50 m de profundidad.

Excavación de 01 trincheras de 0.70 m de profundidad.

Ejecución de 02 sondajes de penetración dinámica ligera (DPL).

4.4.1 Excavación de calicatas

Con la finalidad de reconocer la estructura estratigráfica del suelo del botadero de desmonte y sus parámetros geomecánicos, se ejecutaron excavaciones manuales a cielo abierto (calicatas), éstas alcanzaron una profundidad de 0.40 y 0.50 m. La profundidad máxima de las calicatas fueron limitadas por el contacto con el macizo rocoso.

En las calicatas excavadas se realizaron los registros de excavación de acuerdo a la Norma ASTM D-2488. Asimismo se extrajeron muestras disturbadas para la ejecución de ensayos de clasificación estándar de suelos.

4.4.2 Excavación de Trincheras

La finalidad de la excavación de la trinchera fue identificar y reconocer la estructura del suelo y masa rocosa de cimentación, extraer muestras disturbadas y registrarlas de acuerdo a la Norma ASTM D-2488, realizar

el ensayo de clasificación estándar (suelo), carga puntual y propiedades físicas.

En el cuadro N° 4.4.2, se presenta el resumen de las calicatas y trinchera ejecutadas.

Cuadro N° 4.4.2
Resumen de Excavación de Calicatas y Trincheras

Ubicación	Calicata / Trincheras	Profundidad (m)	Filtración de agua (m)	N° de Muestras alteradas
DDLMM-01	C-1	0.00-0.50	NA.	1
DDLMM-01	C-2	0.00-0.40	NA.	1
DDLMM-01	T-1	0.00-0.70	NA.	1

En el Anexo A se presenta el "Registro de Calicatas y Trincheras".

4.4.3 Ensayos de penetración Dinámica ligera (DPL).

Adicionalmente a las calicatas, se realizó ensayos de penetración dinámica ligera (DPL) con la finalidad de determinar las condiciones de resistencia del terreno.

El ensayo DPL (DIN 4094), consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo nos permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor N de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo, para cada 30 cm de hincado.

El cuadro resume los ensayos DPL realizadas y las profundidades alcanzadas.

**Cuadro N° 4.4.3
Resumen del Ensayo DPL**

Ensayo	Ubicación	Profundidad Alcanzada (m)
DPL-1	Sobre el Botadero de Desmonte 01 cercano a la trinchera T-01.	0.90
DPL-2	Debajo del Botadero de Desmonte 01, cercano a la calicata C-02.	1.20

En el Anexo A se presenta los registros de los ensayos DPL y las profundidades alcanzadas, junto a la correlación con el valor de N.

4.5 Ensayos de Laboratorio

Considerando las muestras alteradas obtenidas de las calicatas excavadas, se realizaron ensayos estándar de clasificación de suelos y de propiedades físicas, los cuales están representadas por análisis granulométrico por tamizado, límites de Atterberg (líquido y plástico) y contenido de humedad. Dichos ensayos se realizaron en el Laboratorio Geotécnico de CESEL S.A.

Los ensayos se ejecutaron siguiendo las normas de la American Society For Testing and Materials (ASTM). Las normas para estos ensayos son las siguientes:

- Análisis granulométricos por tamizado ASTM D-422
- Límites de Atterberg ASTM D-4318
- Contenido de humedad ASTM D-2216
- Clasificación SUCS ASTM D-2487

En el cuadro N° 4.5 se presenta el resumen de los ensayos estándar:

Cuadro N° 4.5
Resumen del Ensayo Estándar de Laboratorio

Botadero	Trinchera	Profundidad (m)	N° de Muestra	Características del material (%)						
				Granulometría			Contenido Humedad	Limite Liquido	Índice Plástico	Clasificación SUCS
				Grava	Arena	Fino				
DDL M-01	T-1	0.00-0.70	M-1	19,80	41,40	38,80	22,60	41,40	19,80	SC

Los reportes de los ensayos realizados se adjuntan al informe en el Anexo A Ensayo de Laboratorio.

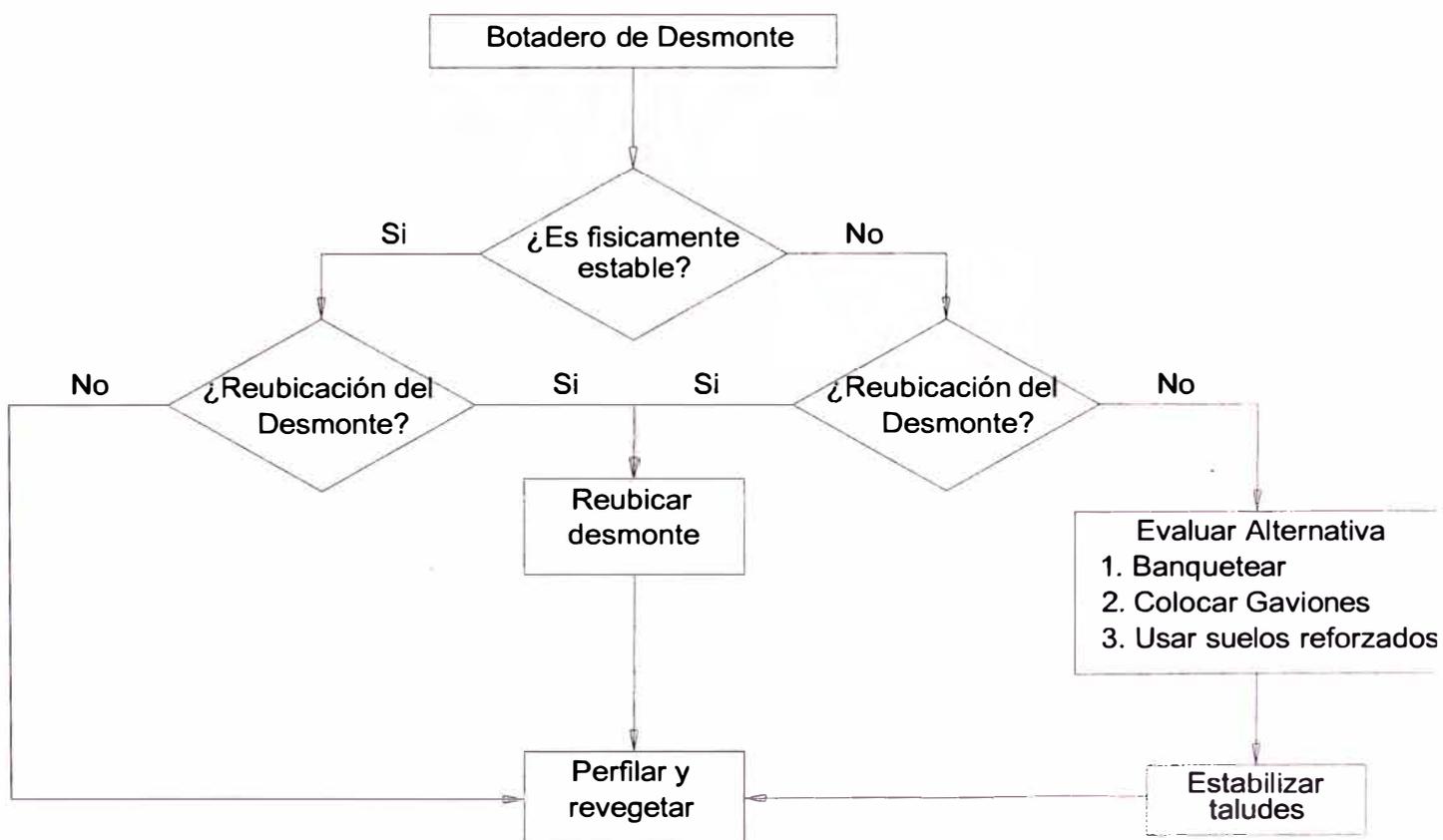
4.6 Perfil Estratigráfico

Considerando la evaluación geológica, geotécnica y ensayos de laboratorio, se elaboró el perfil estratigráfico del área del Botadero de Desmonte Lorenzo Miguel 01.

El botadero de desmonte está emplazado en la zona media de la ladera del cerro y está compuesto por Arena arcillosa con grava (SC), de color beige amarillento, húmedo, de plasticidad y compacidad media, cuyo espesor máximo es de 2,00 m de profundidad; este deposito se encuentra emplazado sobre una capa de arena limosa con grava (SM), de color beige amarillento, mediana humedad, baja plasticidad, de compacidad media, con espesor de 0.50 m; subyace a esta capa el macizo rocoso monzonita cuarcífera, la roca esta intemperizada, fracturada, diaclasada, rugosa, de color gris oscuro. Posee un Rock Mass Rating RMR: 56. Pertenece a la clase III, calificada como una roca regular. A esta masa rocosa infrayace otra masa rocosa mineralizada de enargita y tetraedrita, la roca esta intemperizada, fracturada, diaclasada y rugosa, de color verde oscuro. Posee un RMR: 47 .Pertenece a la clase III, calificada como una roca regular, según el sistema RMR de Bieniawski.

4.7 Evaluación de la alternativa de cierre

Se evalúa el procedimiento a seguir para la toma de decisión del cierre de los botaderos de desmontes, para ello se usa el diagrama de Flujo nos muestra la metodología a seguir, teniendo que escoger entre el uso de tres alternativas si el botadero de desmonte no esta físicamente estable y no será reubicado, para esto se usara la Matriz de Selección de Alternativas.



Se utiliza la Matriz de selección de alternativas descrita en el capítulo 3, esta metodología propuesta reúne en una sola matriz resumen múltiples factores de análisis para la mejor selección de alternativas, se muestra en el cuadro N° 4.7.

Cuadro N° 4.7
Matriz de Selección de Alternativas

MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS			ALTERNATIVAS		
			1	2	3
CARACTERÍSTICAS, ATRIBUTOS Y BONDADES			Banquetear	Gaviones	Suelo Reforzado
		PONDERACIÓN			
1	Costo	5	●	○	△
2	Sistema constructivo	4	○	○	△
3	Hurto de materiales colocados	5	○	○	△
4	Control y monitoreo	2	△	△	○
5	Tiempo de ejecución	1	△	△	△
6	Insumos	2	○	△	○
7	Impacto Visual	3	△	○	○
8	Aporte social	2	○	○	△
9	Adherencia con la cobertura	4	○	○	○
10	Garantía de perpetuidad	4	○	○	○
TOTAL			114	86	62

La Matriz de Selección de Alternativas nos muestra el ranking a utilizar, por lo que se opta hacer el modelamiento de usar banquetas para el botadero de desmonte Lorenzo Miguel 01, siendo esta técnica, económica, social y ambientalmente la mejor opción.

4.8 Análisis de Estabilidad Física

El botadero de desmonte Lorenzo Miguel 01, serán estabilizados físicamente en su ubicación actual, debido a las siguientes causas:

No estar ubicados en zonas de cauce de quebradas.

Tener volúmenes muy considerables.

Estar ubicados en zonas estables.

Para el botadero de desmonte, se ha realizado el análisis de estabilidad de taludes de una sección, considerada como la más crítica, utilizando los criterios, hipótesis y un modelo matemático. En los cálculos relativos al análisis de estabilidad de taludes se ha empleado el programa de cómputo geotécnico de reconocida confiabilidad PC-STAB, lo que ha posibilitado estudiar detalladamente una gran variedad de configuraciones de falla. Este programa analiza la estabilidad de taludes tomando en cuenta las propiedades del suelo (cohesión y fricción), las características geométricas del talud y las variables desencadenantes del deslizamiento.

El programa utiliza los métodos de Bishop simplificado (1955) y de Janbu (1957). Ambos métodos aplican el concepto del equilibrio límite para analizar la superficie de deslizamiento, que de acuerdo al método de las tajadas, es dividida en "n" porciones más pequeñas.

El método de las tajadas analiza el equilibrio de una superficie de falla considerando el equilibrio de cada tajada; finalmente se obtiene un factor de seguridad que define el cociente entre la sumatoria de los momentos de corte producidos por las fuerzas a lo largo del arco de falla y el momento producido por el peso de la masa de falla.

El programa permite analizar tanto una superficie única de falla como una gran cantidad de superficies de falla circulares y no circulares. Para los cálculos realizados en el presente estudio, se ha considerado 400 círculos de falla por cada análisis. Se obtiene así el mínimo factor de seguridad, graficando las superficies de falla con menores factores de seguridad.

Este programa ofrece, entre otras, las siguientes opciones:

Sistemas de suelos heterogéneos.

Suelos con características de resistencia anisotrópicas.

Envolvente no lineal de esfuerzos, según Mohr Coulomb.

Presiones de poros calculado de diversas maneras: A partir del coeficiente de presión de poros r_u de una superficie freática, de una superficie piezométrica o de una malla de presiones de poros definida previamente.

Cálculo de los factores de seguridad (corregidos) según el método de Janbu.

Verificación de errores de entrada de datos.

Para el caso de utilizarse en el diseño de taludes y obras de retención, empleando el método pseudo estático, se recomienda el valor de $\alpha = 0.18g$, considerado este un valor conservador para la zona del distrito minero de Hualgayoc.

La estabilidad de los taludes del botadero de desmonte se determina según su factor de seguridad FS obtenido, considerando Estable para valores de $FS \geq 1$ e Inestables para $FS < 1$.

Las soluciones para estabilizar los taludes, consistió en darle un perfilado e inclinación adecuada hasta llegar a valores FS estables.

Se muestra en el cuadro N° 4.8, el resumen del botadero de desmonte que se estabilizará físicamente en su ubicación inicial:

Cuadro N° 4.8
Botaderos de Desmontes que se estabilizará físicamente

Mina	Condiciona de Análisis	Clasifica ción SUCS	Peso Unitario (KN/m3)		Cohesi ón Kpa)	Angulo de fricción (°)	FS (Estado actual)	Talud de Estab ilidad H:V	FS (Talud sugerido)
			Natural	Saturada					
Lorenzo Miguel	Estático	SC	22,00	23,00	5	29,1	1,32	2:1	1,61
	Pseudo Estático						0,91		1,03

El valor del talud de estabilidad física se estudia, evalúa y demuestra en el Anexo B.

4.9 Plan de Monitoreo y Mantenimiento Físico

La finalidad de contar y planear un sistema de monitoreo y mantenimiento es verificar la eficacia de las obras de estabilidad propuestas y de dar mantenimiento, buscando así la garantía de cierre necesaria para lograr una estabilidad física sostenible por lo que se propone un sistema de monitoreo y mantenimiento que se describe a continuación.

4.9.1 Plan de Monitoreo Físico

El programa de monitoreo físico tiene por finalidad la observación, medición y evaluación periódica de los botaderos de desmontes, durante la etapa de abandono con el fin de verificar la eficacia de las obras de cierre propuestas.

Los objetivos del monitoreo físico son:

Evaluar y registrar detalladamente los cambios que puedan producirse en las obras de cierre de los botaderos de desmontes.

Evaluar la efectividad de las medidas propuestas para garantizar la estabilidad física en el tiempo.

Proponer las medidas de mitigación necesarias ante impactos excepcionales.

Controlar que las obras de remediación impidan la generación de contaminación.

Medir el grado de deficiencia que pudiera tener alguna obra ejecutada siguiendo los procedimientos propuestos.

Las variables a monitorear en los botaderos de desmontes serán los posibles desplazamientos y asentamientos, así como el control de fisuras.

Se propone dos sistemas de monitoreo con instrumentación:

➤ Control de Desplazamientos y Asentamientos

Para realizar el monitoreo de desplazamientos y asentamientos se tiene que construir dos bases cuadradas de concreto que servirán como trípodes de topografía separados a una distancia considerable dependiendo de la topografía y accesibilidad de la zona, éstas estarán ubicadas fuera del botadero de desmonte y con el criterio adecuado, para de allí poder realizar lecturas con un equipo topográfico, para lo cual se recomienda un teodolito marca Wild modelo T-3, que es el de mayor precisión en la actualidad, en estas bases se instalará el equipo topográfico que medirá ángulos, fuera del botadero de desmonte, se

instalará 2 hitos que servirán para medir los ángulos y desplazamientos del terreno natural, para poder obtener el desplazamiento y asentamiento diferencial, en los taludes y plataforma de los botaderos de desmonte se colocará planchas cuadradas de concreto de 0,30 de lado con una varilla lisa de acero en el centro cimentadas en el botadero de desmonte y no en la cobertura de revegetación, para medir los ángulos de los dos puntos base y controlar el desplazamiento de los taludes, adicionalmente se controlará los niveles de éstos con un nivel topográfico, esto permitirá conocer el asentamiento diferencial de los taludes y la plataforma.

➤ Control de fisuras

Cuando se detecte fisuras, se instalará dos hitos similares a los de los botaderos de desmonte, uno a cada lado de la fisura para poder controlar los niveles y con un extensiómetro poder medir el tamaño de la fisura.

Se propone dos períodos de monitoreo, el primero comprende los dos primeros años a partir del término de las obras de cierre y el segundo de tres años posteriores al período inicial, haciendo un total de cinco años de monitoreo.

La frecuencia de monitoreo será mensual durante los dos primeros años y trimestral en los siguientes tres años.

Se efectuará un monitoreo excepcional cada vez que ocurra un evento telúrico de consideración o un evento climático extraordinario, como el fenómeno de El Niño.

Las zonas a monitorear durante el periodo inicial de los dos primeros años engloban a todos los componentes mineros cerrados. Se deberá llevar un adecuado informe y estadística del reporte de monitoreo, siendo la forma de monitoreo una apreciación visual en todos los casos,

para el botadero de desmonte Lorenzo Miguel 1, se propone usar instrumentación para el monitoreo.

Los puntos topográficos propuestos para el monitoreo del botadero de desmonte Lorenzo Miguel 01 se muestra en el cuadro N° 4.9

Cuadro N° 4.9
Puntos de Monitoreo

Zona de Monitoreo	Puntos Base	Puntos en Terreno Natural	Punto de Control en Talud	Punto de Control en Plataforma
Lorenzo Miguel 1	N: 9 254 545	N: 9 254 545	N: 9 254 525	N: 9 254 520
	E: 760 690	E: 760 675	E: 760 695	E: 760 680
	N: 9 254 515	N: 9 254 490	N: 9 254 510	N: 9 254 500
	E: 760 725	E: 760 720	E: 760 710	E: 760 700

4.9.2 Mantenimiento Físico

El programa de mantenimiento físico tiene por finalidad de velar por la conservación y operatividad de las obras de cierre efectuadas en los botaderos de desmontes.

El objetivo primordial del mantenimiento físico es garantizar la integridad de las obras de remediación y operación, buscando el autosostenimiento de los mismos en el tiempo.

Para el mantenimiento de los botaderos de desmontes, si el plan de monitoreo nos indica que la probabilidad de falla es alta, se tendrá que hacer un estudio geotécnico, el resultado nos indicará la mejor solución a realizar, pudiendo ser esta la utilización de geomallas para estabilizar el talud o incluso la remoción parcial o total del botadero de desmonte.

El período de mantenimiento se hará por cinco años iniciados al término de la ejecución de las obras de cierre y la frecuencia dependerá de los informes de monitoreo, el cuál indicará las fechas a dar mantenimiento después de cada inspección.

CONCLUSIONES

1. La mejor alternativa de cierre a considerar no siempre es la mas económica, pues debe de considerarse que las obras propuestas son a perpetuidad y debe lograrse el sostenimiento de la misma.
2. La alternativa de remoción y traslado de un botadero de desmonte a una zona de mayor estabilidad y menor erosión, es muy factible en todo sentido siempre y cuando el volumen no sea excesivo y la distancia de traslado sea corta.
3. La estabilidad física de un botadero de desmonte in-situ, es la mas adecuada cuando el volumen es considerablemente alto por lo que económicamente no es factible moverlo.
4. El estado actual estático muestra que el botadero de desmonte Lorenzo Miguel 1 es estable con un Factor de Seguridad de 1,32, pero con lo propuesto para la estabilidad de taludes con H:V = 2:1 el Factor de Seguridad sube a 1,61, siendo así mas estable.
5. El estado actual pseudo estático muestra que el botadero de desmonte Lorenzo Miguel 1 es inestable con un Factor de Seguridad de 0,91, siendo este menor a 1,00, y con lo propuesto para la estabilidad de taludes con H:V = 2:1, se tiene un Factor de Seguridad de 1,03 mayor a 1,00.
6. El Plan de Monitoreo debe de realizarse mínimo cinco años, para tener un seguimiento de las obras propuestas y tener las consideraciones necesarias para trabajos posteriores en zonas de características topográficas y climáticas similares

BIBLIOGRAFIA

1. Dispositivos Ambientales presentes.
2. Peter L. Berry y David Reid (1993). "Mecánica de Suelos". Editorial McGraw-Hill. Bogotá.
3. Roy Whitlow (1994). "Fundamentos de Mecánica de Suelos". Editorial Continental. México.
4. Lambe, T.W. y R.V. Whitman (1979). "Mecánica de Suelos". Editorial Wiley & Sons. New York.
5. Tapia, D.P. (2000). Estabilidad Física del Depósito de Relaves Mahr Tunel. Unidad Minera San Cristóbal. Junín. Tesis U.R.P.
6. Pereira de Campos. T.M. (1985) Análise de Estabilidade: Métodos, Parâmetros y Pressões Neutras. (en portugués).
7. Fredlund, D.G. y Rahardjo, H. (1993). Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley & Sons.
8. Brans, E.W. y Brenner, R.P. (1981). Soft Clay Engineering. Ed. Elsevier.
9. Ordóñez. E.A.H. (1995). Estabilidad de Taludes y Obras de Contención. Notas de Clases del Post-Grado. U.N.I.
10. Holtz, R.D., Christopher, B.R. y Berg, R.R. (1997) Geosynthetic Engineering. BiTech. Pub.
11. Seed, R.B. Cetil, K.O. y Moss, R.E.S. (2001). "Recent Advances in Soil Liquefaction Engineering and Seismic Site Response Evaluation". IV International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake

Engineering and Soil Dynamics and Symposium in Honor of professor W.D. Liam Finn. San Diego, California, March 26-31.

12. Adalier, K, Elgamal, A.W. and Martin, G.R. (1998). "Foundation Liquefaction Countermeasures for Earth Embankments". J. of Geotech and Geoenviron. Engrg., ASCE Vol. 124. No.6 June 500-517.
13. Bowles, J.E. (1997) "Foundation Analysis and Design". McGraw-Hill.
14. Ishihara, K (1990) "Liquefaction Induced Flow Failure of Embankments and Residual Strength of Silty Sand".
15. Plan de Cierre de la Mina Colquirrumi. Area El Sinchao. Cesel S.A Lima Enero 2005
16. Plan de Cierre de la Unidad Minera Recuperada. Cesel S.A. Lima Junio 2005.

ANEXOS

**A. INVESTIGACIONES DE CAMPO Y
LABORATORIO**

REGISTRO DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA : T-1

PROYECTO : Aplicación de la Ingeniería Geotécnica en el Plan de cierre de la Mina Colquirrumi
UBICACIÓN : Mina Lorenzo Miguel
FECHA : Enero 2005.

REALIZADO : Bach. Francisco García Araujo.
FECHA DE EXCAVACION : 04/01/2005
PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 0,70 m.
PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : N.A.

PROF. (m)	G R A F I C O	DESCRIPCIÓN DEL SUELO Clasificación técnica; forma del material granular; color; contenido de humedad; índice de plasticidad / compresibilidad; grado de compactación / consistencia; Otros: presencia de oxidaciones y material orgánico; porcentaje estimado de boteos / cantos, etc.	SUCS AASHTO	GRANULOMETRÍA			L.L. %	I.P. %	H.N. %	N° DE MUESTRA
				< 0,075 mm	0,075 a 4,750 mm	4,750 a 75 mm				
0.50	0.70	1.00	2.00	38,8	41,4	19,8	41,4	19,8	22,6	M-1
		<p style="font-size: 1.2em;">Arena arcillosa con grava</p>	<p style="font-size: 1.2em;">SC</p>							

OBSERVACIONES

REGISTRO DE SONDAJE

SONDAJE : DPL-1

PROYECTO : Aplicación de la Ingeniería Geotécnica en el Plan de cierre de la Mina Colquirrumi
UBICACIÓN : Mina Lorenzo Miguel
FECHA : Enero 2005

REALIZADO : Bach. Francisco García Araujo.
FECHA DE EXCAVACION : 05/01/2005
PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 0.90 m
PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : NA.

PROF. (m)	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N ^o de golpes NDPL = 10 cm
			N SPT	Φ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm ²) suelo cohesivo	
1.00	Arena arcillosa con grava , de color beige amarillento , húmedo , plástico , compacidad media.	SC	3	22,7	-	
2.00			10	29,1	-	
3.00						
4.00						
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						

OBSERVACIONES : NDPL- profundidad = 0.90 m

REGISTRO DE SONDAJE

SONDAJE : DPL-2

PROYECTO : Aplicación de la Ingeniería Geotécnica en el Plan de cierre de la Mina Colquirrumi
UBICACIÓN : Mina Lorenzo Miguel
FECHA : Enero 2005

REALIZADO : Bach. Francisco García Araujo.
FECHA DE EXCAVACION : 05/01/2005
PROFUNDIDAD TOTAL (m) : 1.20 m
PROF. NIVEL FREÁTICO (m) : NA.

PROF. (m)	DESCRIPCION DEL SUELO	S U C S	CORRELACIONES			ENSAYOS DE PENETRACION DINAMICA LIGERA N ^o de golpes NDPL = 10 cm
			N SPT	Φ (°) suelo friccionante	c (Kg/cm ²) suelo cohesivo	
1.00	Arena limosa , negro oscuro , baja humedad , plástica , medianamente densa.	SM	1	19,5	-	
2.00			4	23,9	-	
3.00			4	23,9	-	
4.00						
5.00						
6.00						
7.00						
8.00						

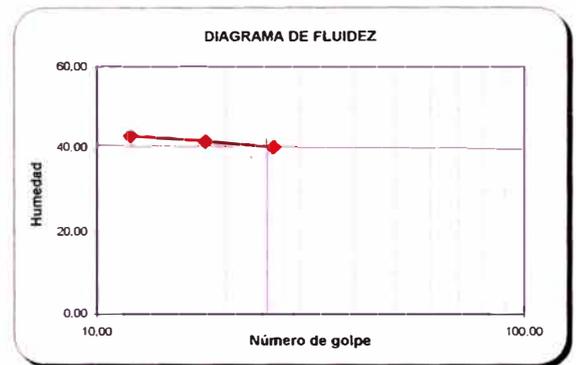
OBSERVACIONES : NDPL- profundidad = 1.20 m

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION (ASTM D422 - D2216 - D854 - D4318 - D427 - D3282 - D2487)

PROYECTO : Aplicación de la Ingeniería Geotécnica del Plan de Cierre de la Mina Colquirrumi
UBICACIÓN : Mina Lorenzo Miguel

REALIZADO : Téc. Hebert Serrano Miranda
REVISADO : Ing. David Vásquez López
FECHA : 25 de Enero del 2005

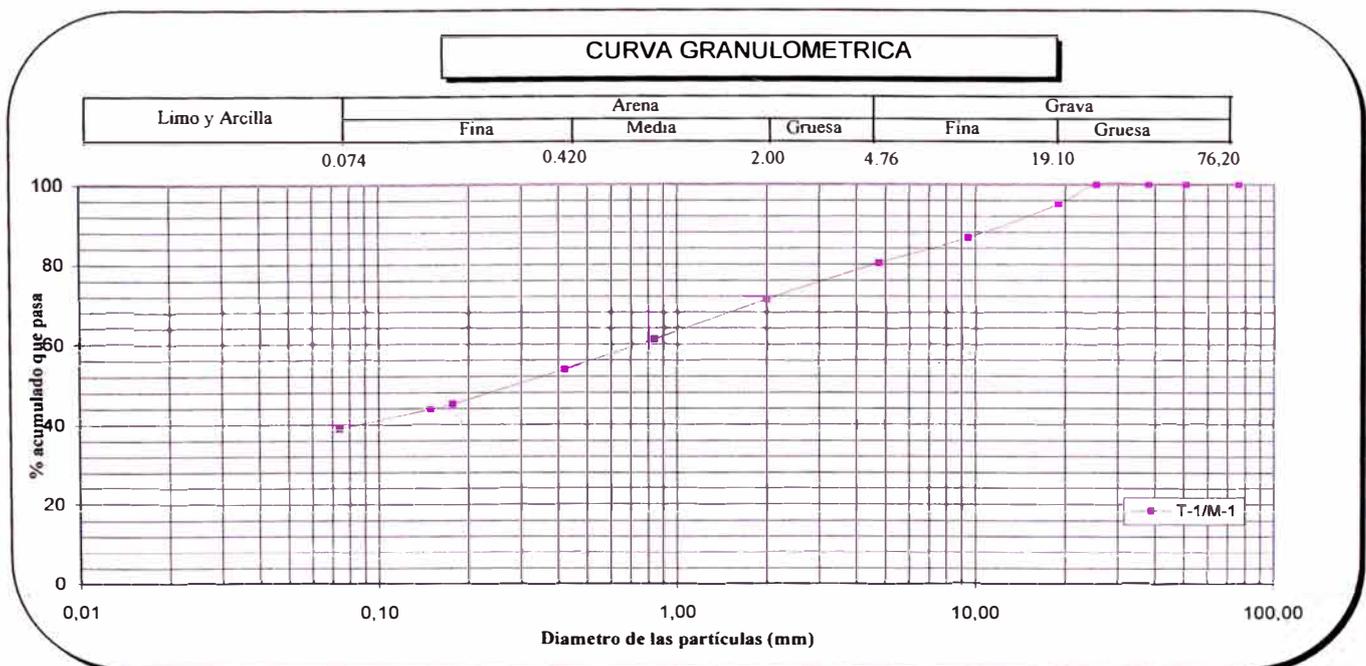
Sondaje		T-1
Muestra		M-1
Profundidad (m)		0,00-0,70
ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	Malla	
	N°	Abertura (mm)
	3 "	76,200
	2 "	50,800
	1 1/2 "	38,100
	1 "	25,400
	3/4"	19,100
	3/8"	9,520
	N° 4	4,760
	N° 10	2,000
	N° 20	0,840
	N° 40	0,420
	N° 80	0,177
	N° 100	0,149
N° 200	0,074	
Contenido de Humedad (%)		22,55
Límite Líquido (LL) (%)		41
Límite Plástico (LP) (%)		22
Índice Plástico (IP) (%)		19
Clasificación (S.U.C.S.)		SC
Clasificación (AASHTO)		A-6
Índice de Grupo		3



Distribución Granulométrica

% Grava	GG%	4,97	19,76
	GF%	14,78	
% Arena	AG%	9,07	41,44
	AM%	17,47	
	AF%	14,90	
% Finos			38,81

Nombre de grupo : Arena arcillosa con grava



B. ANALISIS DE ESTABILIDAD FISICA

** STABL6H **
 by
 Purdue University

--Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer's Method of Slices

Run Date: 1/08/05
 Time of Run: 1:38am
 Run By: DDLM-01
 Input Data Filename: D:DDLM-1EI.SI
 Output Filename: D:DDLM-1EI.OUT
 Plotted Output Filename: D:DDLM-1EI.PLT

PROBLEM DESCRIPTION PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
 ANALISIS ESTATICO - DDLM-01I

BOUNDARY COORDINATES

16 Top Boundaries
 26 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	3.09	4.06	4.97	2
2	4.06	4.97	11.78	7.43	2
3	11.78	7.43	13.44	8.34	1
4	13.44	8.34	14.62	9.17	1
5	14.62	9.17	16.41	10.53	1
6	16.41	10.53	17.68	11.23	1
7	17.68	11.23	18.51	11.52	1
8	18.51	11.52	19.26	11.71	1
9	19.26	11.71	19.85	11.80	1
10	19.85	11.80	21.05	11.92	1
11	21.05	11.92	21.29	11.95	1
12	21.29	11.95	22.82	11.75	1
13	22.82	11.75	22.94	11.73	1
14	22.94	11.73	24.42	11.21	1
15	24.42	11.21	27.37	11.96	1
16	27.37	11.96	30.00	13.00	2
17	11.78	7.43	23.07	11.08	2
18	23.07	11.08	24.90	11.25	2
19	24.90	11.25	27.37	11.96	2
20	.00	2.59	4.47	4.71	3
21	4.47	4.71	10.15	6.41	3
22	10.15	6.41	16.42	8.40	3
23	16.42	8.40	17.64	8.95	3
24	17.64	8.95	22.81	10.62	3
25	22.81	10.62	25.02	10.83	3
26	25.02	10.83	30.00	12.70	3

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	22.0	23.0	5.0	29.1	.00	.0	0
2	16.0	17.0	.0	23.9	.00	.0	0
3	27.0	28.0	300.0	50.0	.00	.0	0

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X 13.00 ft. and X = 17.00 ft.

Each Surface Terminates Between X 20.00 ft. and X 22.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

3.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.99	8.38
3	18.71	9.63
4	20.87	11.71

5 20.97 11.91
Circle Center At X = 13.7 ; Y = 17.0 and Radius, 8.9

*** 1.321 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.97	8.49
3	18.70	9.74
4	20.95	11.73
5	21.06	11.92

Circle Center At X = 13.2 ; Y = 18.2 and Radius, 10.1

*** 1.400 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.44	8.34
2	16.43	8.62
3	19.21	9.76
4	21.53	11.66
5	21.70	11.90

Circle Center At X = 14.0 ; Y = 18.5 and Radius, 10.2

*** 1.481 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.89	8.66
2	16.89	8.76
3	19.68	9.86
4	21.96	11.81
5	21.98	11.86

Circle Center At X = 15.1 ; Y = 17.5 and Radius, 8.9

*** 1.652 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.89	8.66
2	16.89	8.81
3	19.52	10.24
4	20.72	11.89

Circle Center At X = 15.0 ; Y = 15.3 and Radius, 6.8

*** 1.727 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.89	8.90
3	18.52	10.34
4	20.17	11.83

Circle Center At X = 11.0 ; Y = 20.9 and Radius, 12.9

*** 1.777 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.87	8.98
3	18.54	10.34
4	20.58	11.87

Circle Center At X = 9.4 ; Y = 24.9 and Radius, 17.2

*** 1.833 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.44	8.34
2	16.33	9.17
3	19.03	10.48
4	21.01	11.92

Circle Center At X = 10.2 ; Y = 25.3 and Radius, 17.3

*** 1.903 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.88	8.94
3	18.66	10.06
4	21.32	11.46
5	21.94	11.87

Circle Center At X = 6.1 ; Y = 37.1 and Radius, 29.8

*** 1.987 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

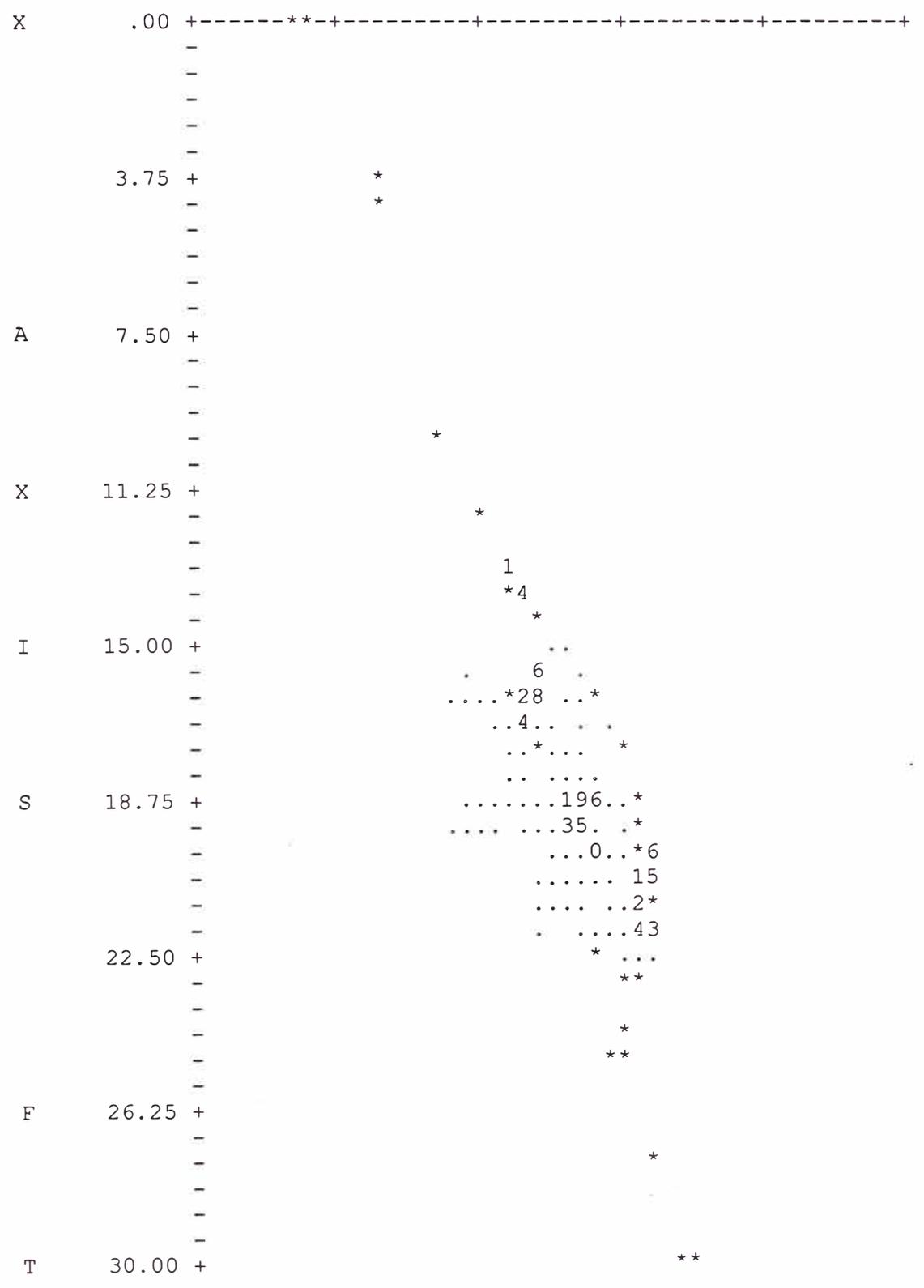
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.33	8.97
2	17.33	8.95
3	19.87	10.55
4	20.48	11.86

Circle Center At X = 15.9 ; Y = 14.1 and Radius, 5.3

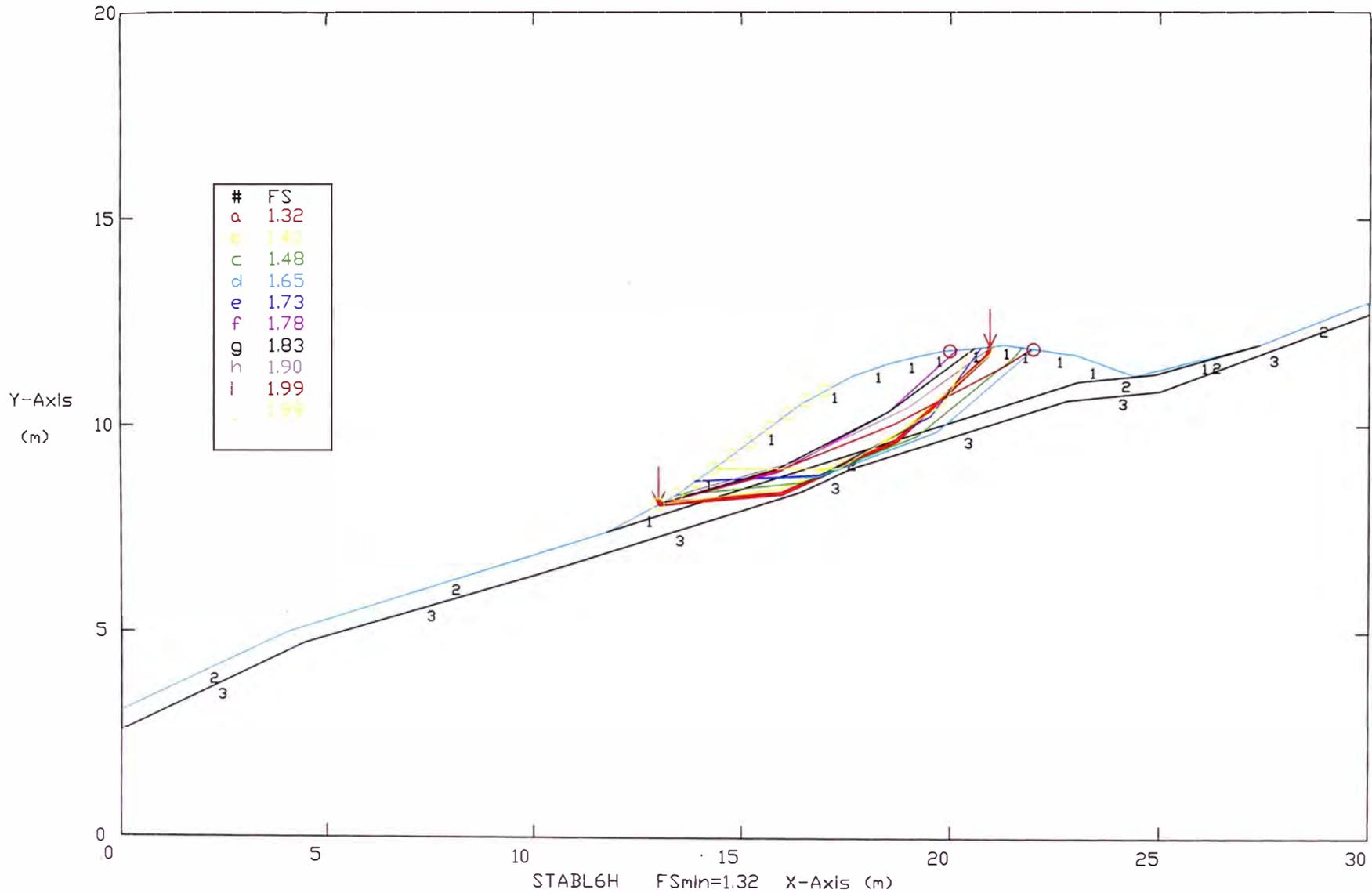
*** 1.988 ***

Y A X I S F T

.00 3.75 7.50 11.25 15.00 18.75

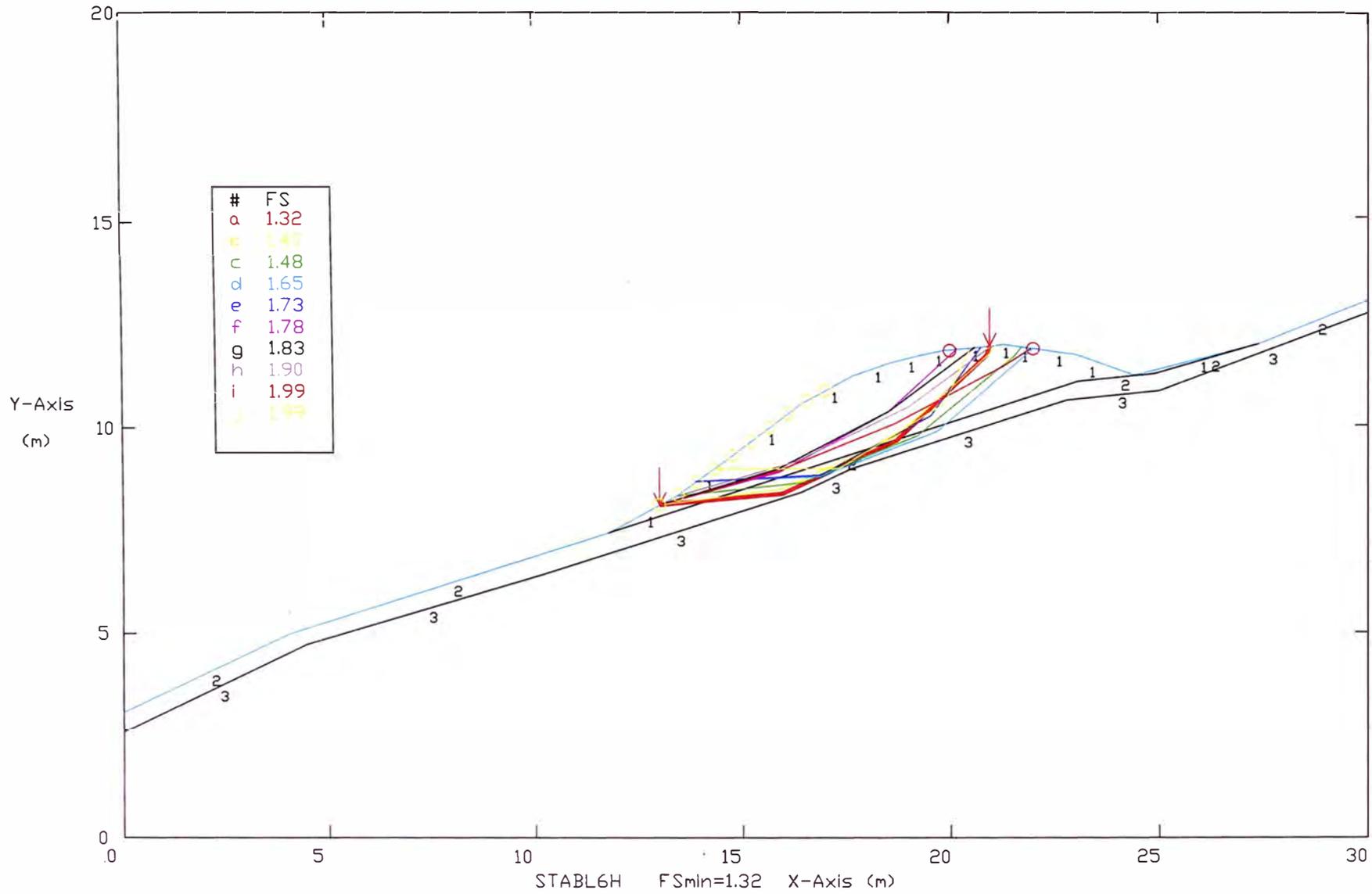


APLICACION DE LA INGENIERIA GEOTECNICA EN EL
 PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
 ANALISIS ESTATICO - DDLM-01I



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 DESMONTE	22	23	5	29.1	0	0	
2 SM	16	17	0	23.9	0	0	
3 ROCA	27	28	300	50	0	0	

APLICACION DE LA INGENIERIA GEOTECNICA EN EL
 PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
 ANALISIS ESTATICO - DDLM-01I



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 DESMONTE	22	23	5	29.1	0	0	
2 SM	16	17	0	23.9	0	0	
3 RDCA	27	28	300	50	0	0	

** STABL6H **
 by
 Purdue University

--Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer's Method of Slices

Run Date: 1/08/05
 Time of Run: 1:40am
 Run By: DDLM-01
 Input Data Filename: D:DDLM-1PI.SI
 Output Filename: D:DDLM-1PI.OUT
 Plotted Output Filename: D:DDLM-1PI.PLT

PROBLEM DESCRIPTION PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
 ANALISIS PSEUDO ESTATICO DDLM-01I

BOUNDARY COORDINATES

16 Top Boundaries
 26 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	3.09	4.06	4.97	2
2	4.06	4.97	11.78	7.43	2
3	11.78	7.43	13.44	8.34	1
4	13.44	8.34	14.62	9.17	1
5	14.62	9.17	16.41	10.53	1
6	16.41	10.53	17.68	11.23	1
7	17.68	11.23	18.51	11.52	1
8	18.51	11.52	19.26	11.71	1
9	19.26	11.71	19.85	11.80	1
10	19.85	11.80	21.05	11.92	1
11	21.05	11.92	21.29	11.95	1
12	21.29	11.95	22.82	11.75	1
13	22.82	11.75	22.94	11.73	1
14	22.94	11.73	24.42	11.21	1
15	24.42	11.21	27.37	11.96	1
16	27.37	11.96	30.00	13.00	2
17	11.78	7.43	23.07	11.08	2
18	23.07	11.08	24.90	11.25	2
19	24.90	11.25	27.37	11.96	2
20	.00	2.59	4.47	4.71	3
21	4.47	4.71	10.15	6.41	3
22	10.15	6.41	16.42	8.40	3
23	16.42	8.40	17.64	8.95	3
24	17.64	8.95	22.81	10.62	3
25	22.81	10.62	25.02	10.83	3
26	25.02	10.83	30.00	12.70	3

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

3 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	22.0	23.0	5.0	29.1	.00	.0	0
2	16.0	17.0	.0	23.9	.00	.0	0
3	27.0	28.0	300.0	50.0	.00	.0	0

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of .180 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of .000 Has Been Assigned

Cavitation Pressure = .0 psf

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X 13.00 ft.
and X = 17.00 ft.

Each Surface Terminates Between X 20.00 ft.
and X 22.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

3.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.99	8.38
3	18.71	9.63
4	20.87	11.71
5	20.97	11.91

Circle Center At X = 13.7 ; Y = 17.0 and Radius, 8.9

*** .912 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.97	8.49
3	18.70	9.74
4	20.95	11.73
5	21.06	11.92

Circle Center At X = 13.2 ; Y = 18.2 and Radius, 10.1

*** .964 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.44	8.34
2	16.43	8.62
3	19.21	9.76
4	21.53	11.66
5	21.70	11.90

Circle Center At X = 14.0 ; Y = 18.5 and Radius, 10.2

*** .995 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.89	8.66
2	16.89	8.76
3	19.68	9.86
4	21.96	11.81
5	21.98	11.86

Circle Center At X = 15.1 ; Y = 17.5 and Radius, 8.9

*** 1.091 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.89	8.66
2	16.89	8.81
3	19.52	10.24
4	20.72	11.89

Circle Center At X = 15.0 ; Y = 15.3 and Radius, 6.8

*** 1.186 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.89	8.90
3	18.52	10.34
4	20.17	11.83

Circle Center At X = 11.0 ; Y = 20.9 and Radius, 12.9

*** 1.264 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
-----------	-------------	-------------

1	13.00	8.10
2	15.87	8.98
3	18.54	10.34
4	20.58	11.87

Circle Center At X = 9.4 ; Y = 24.9 and Radius, 17.2

*** 1.291 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.44	8.34
2	16.33	9.17
3	19.03	10.48
4	21.01	11.92

Circle Center At X = 10.2 ; Y = 25.3 and Radius, 17.3

*** 1.317 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.00	8.10
2	15.88	8.94
3	18.66	10.06
4	21.32	11.46
5	21.94	11.87

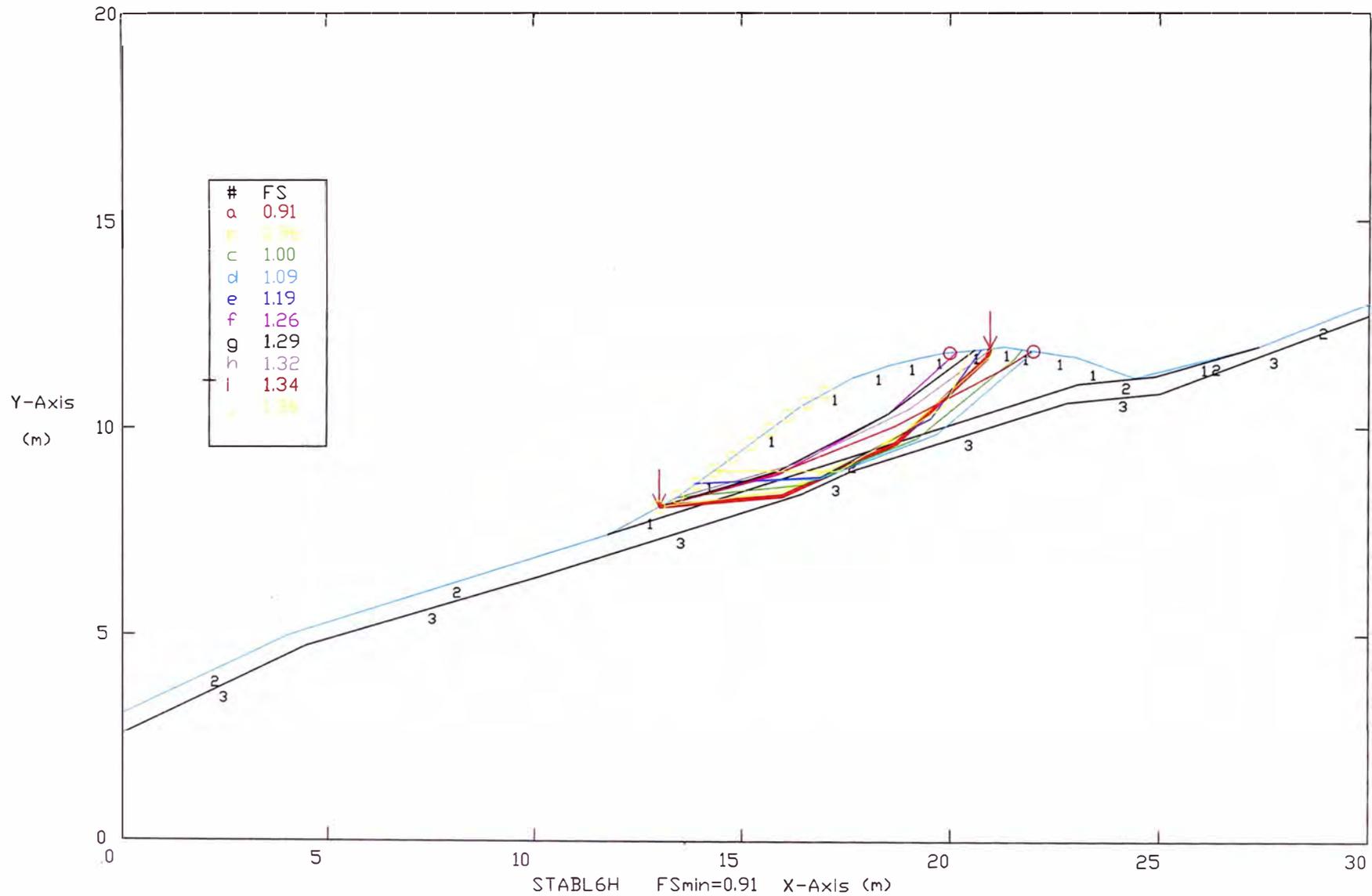
Circle Center At X = 6.1 ; Y = 37.1 and Radius, 29.8

*** 1.336 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.33	8.97
2	17.33	8.95
3	19.87	10.55
4	20.48	11.86

APLICACION DE LA INGENIERIA GEOTECNICA EN EL
 PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
 ANALISIS PSEUDO ESTATICO DDLM-01I



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m ³)	Saturated Unit Wt. (KN/m ³)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 DESMONTE	22	23	5	29.1	0	0	
2 SM	16	17	0	23.9	0	0	
3 ROCA	27	28	300	50	0	0	

** STABL6H **
 by
 Purdue University

--Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer`s Method of Slices

Run Date: 1/08/05
 Time of Run: 1:18am
 Run By: DDLM-01
 Input Data Filename: D:DDLm-1EF.SI
 Output Filename: D:DDLm-1EF.OUT
 Plotted Output Filename: D:DDLm-1EF.PLT

PROBLEM DESCRIPTION PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRUMI
 ANALISIS ESTATICO - DDLm-01F

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
 15 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	3.09	4.06	4.97	2
2	4.06	4.97	11.78	7.43	2
3	11.78	7.43	20.84	11.96	1
4	20.84	11.96	27.37	11.96	1
5	27.37	11.96	30.00	13.00	2
6	11.78	7.43	23.07	11.08	2
7	23.07	11.08	24.90	11.25	2
8	24.90	11.25	27.37	11.96	2
9	.00	2.59	4.47	4.71	3
10	4.47	4.71	10.15	6.41	3
11	10.15	6.41	16.42	8.40	3
12	16.42	8.40	17.64	8.95	3
13	17.64	8.95	22.81	10.62	3
14	22.81	10.62	25.02	10.83	3
15	25.02	10.83	30.00	12.70	3

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

3 Type(s) of Soil

Soil Type	Total Unit Wt.	Saturated Unit Wt.	Cohesion Intercept	Friction Angle	Pore Pressure Constant	Pressure	Piez. Surface
-----------	----------------	--------------------	--------------------	----------------	------------------------	----------	---------------

No.	(pcf)	(pcf)	(psf)	(deg)	Param.	(psf)	No.
1	22.0	23.0	5.0	29.1	.00	.0	0
2	16.0	17.0	.0	23.9	.00	.0	0
3	27.0	28.0	300.0	50.0	.00	.0	0

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X 13.00 ft.
and X = 17.00 ft.

Each Surface Terminates Between X 22.00 ft.
and X 24.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

3.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.89	8.48
2	16.87	8.84
3	19.75	9.68
4	22.45	10.98
5	23.86	11.96

Circle Center At X = 13.2 ; Y 26.9 and Radius, 18.4

*** 1.605 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.78	8.93
2	17.77	9.12
3	20.60	10.12
4	23.04	11.86
5	23.12	11.96

Circle Center At X = 15.6 ; Y = 19.8 and Radius, 10.9

*** 1.709 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.78	8.93
2	17.77	9.13
3	20.60	10.12
4	23.07	11.83
5	23.19	11.96

Circle Center At X = 15.5 ; Y = 20.2 and Radius, 11.3

*** 1.722 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.44	8.26
2	16.39	8.85
3	19.18	9.95
4	21.72	11.53
5	22.19	11.96

Circle Center At X = 11.7 ; Y = 24.8 and Radius, 16.7

*** 1.923 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point	X-Surf	Y-Surf
-------	--------	--------

No.	(ft)	(ft)
1	13.44	8.26
2	16.38	8.89
3	19.24	9.79
4	22.01	10.95
5	23.92	11.96

Circle Center At X = 8.0 ; Y = 40.5 and Radius, 32.7

*** 1.932 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.67	9.37
2	18.67	9.30
3	21.33	10.69
4	22.18	11.96

Circle Center At X = 17.3 ; Y = 15.2 and Radius, 6.0

*** 1.936 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.33	8.71
2	17.30	9.14
3	20.10	10.22
4	22.60	11.88
5	22.68	11.96

Circle Center At X = 13.8 ; Y = 22.3 and Radius, 13.7

*** 1.986 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	16.11	9.60
2	19.11	9.53

3	21.94	10.53
4	23.64	11.96

Circle Center At X = 17.8 ; Y = 17.8 and Radius, 8.3

*** 2.086 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	16.11	9.60
2	19.11	9.64
3	21.95	10.62
4	23.69	11.96

Circle Center At X = 17.5 ; Y = 18.9 and Radius, 9.4

*** 2.131 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

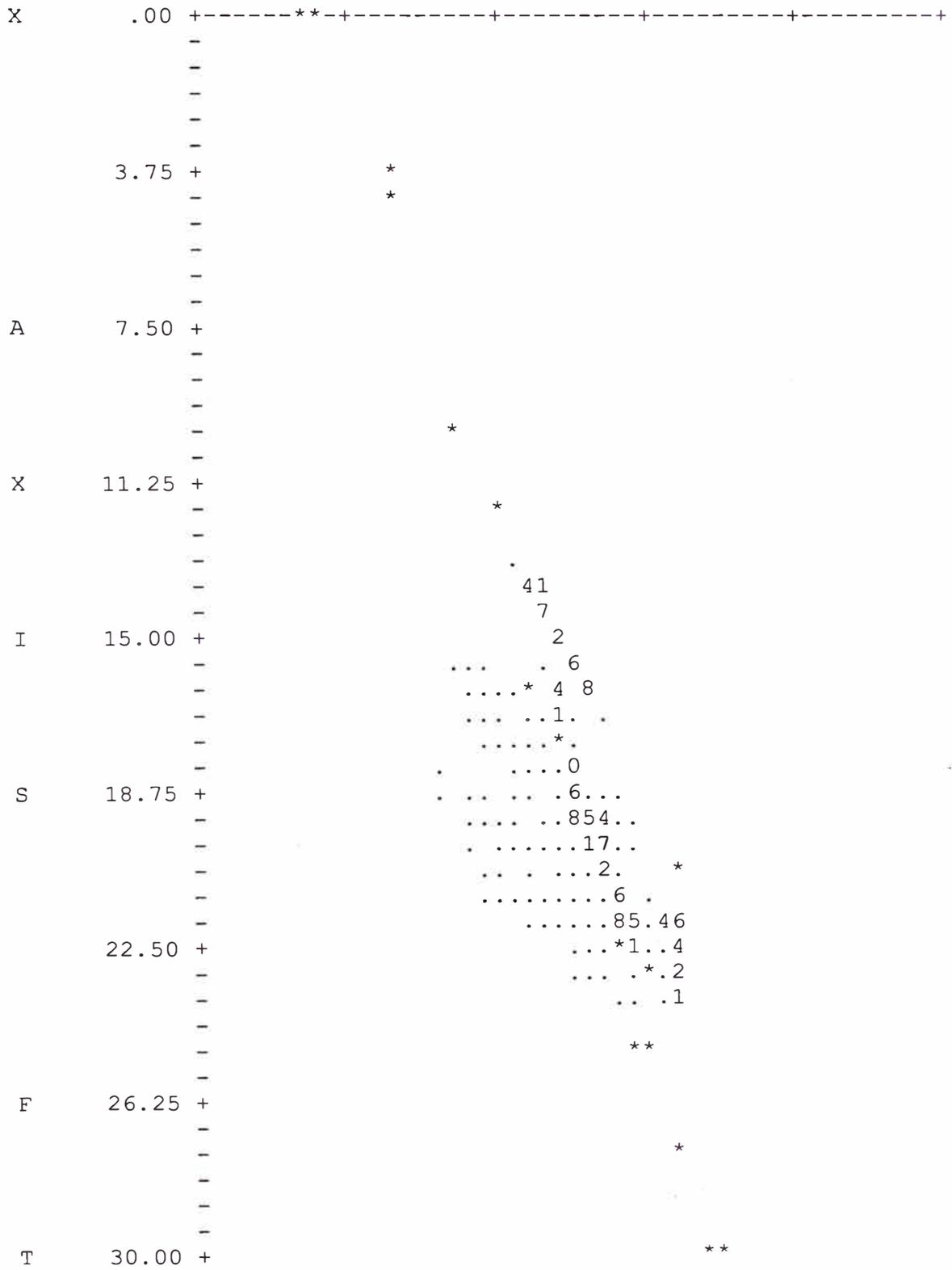
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.22	9.15
2	18.21	9.44
3	20.97	10.60
4	22.57	11.96

Circle Center At X = 15.8 ; Y = 19.0 and Radius, 9.9

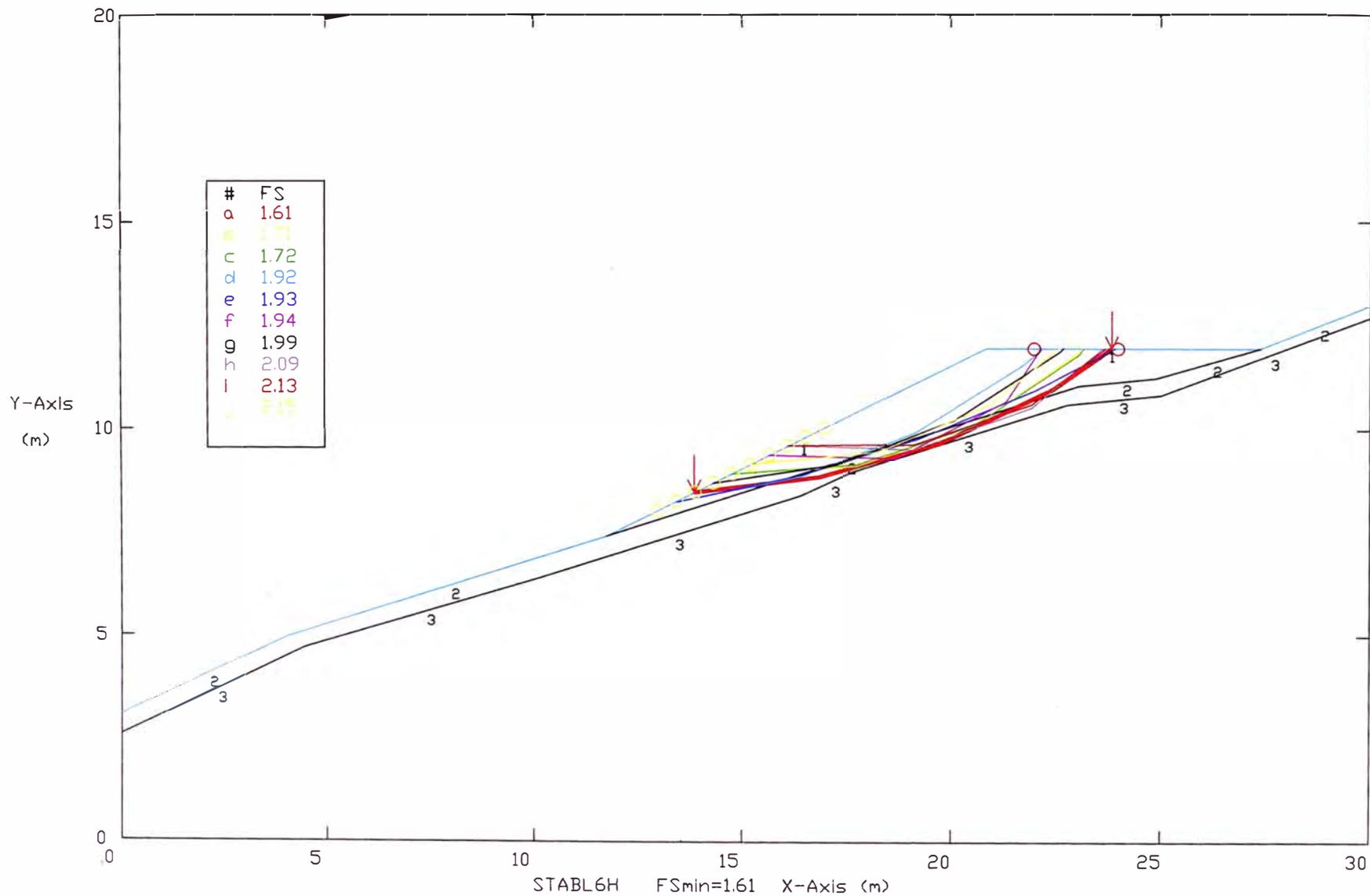
*** 2.151 ***

Y A X I S F T

.00 3.75 7.50 11.25 15.00 18.75



APLICACION DE LA INGENIERIA GEOTECNICA EN EL
 PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
 ANALISIS ESTADICO - DDLM-01F



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m ³)	Saturated Unit Wt. (KN/m ³)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 DESMONTE	22	23	5	29.1	0	0	
2 SM	16	17	0	23.9	0	0	
3 ROCA	27	28	300	50	0	0	

** STABL6H **
by
Purdue University

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

Run Date: 1/08/05
Time of Run: 1:17am
Run By: DDLM-01
Input Data Filename: D:DDLM-1PF.SI
Output Filename: D:DDLM-1PF.OUT
Plotted Output Filename: D:DDLM-1PF.PLT

PROBLEM DESCRIPTION PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
ANALISIS PSEUDO ESTATICO - DDLM-01F

BOUNDARY COORDINATES

5 Top Boundaries
15 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	3.09	4.06	4.97	2
2	4.06	4.97	11.78	7.43	2
3	11.78	7.43	20.84	11.96	1
4	20.84	11.96	27.37	11.96	1
5	27.37	11.96	30.00	13.00	2
6	11.78	7.43	23.07	11.08	2
7	23.07	11.08	24.90	11.25	2
8	24.90	11.25	27.37	11.96	2
9	.00	2.59	4.47	4.71	3
10	4.47	4.71	10.15	6.41	3
11	10.15	6.41	16.42	8.40	3
12	16.42	8.40	17.64	8.95	3
13	17.64	8.95	22.81	10.62	3
14	22.81	10.62	25.02	10.83	3
15	25.02	10.83	30.00	12.70	3

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

3 Type(s) of Soil

Soil Type	Total Unit Wt.	Saturated Unit Wt.	Cohesion Intercept	Friction Angle	Pore Pressure Constant	Pressure	Piez. Surface
-----------	----------------	--------------------	--------------------	----------------	------------------------	----------	---------------

No.	(pcf)	(pcf)	(psf)	(deg)	Param.	(psf)	No.
1	22.0	23.0	5.0	29.1	.00	.0	0
2	16.0	17.0	.0	23.9	.00	.0	0
3	27.0	28.0	300.0	50.0	.00	.0	0

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
Of .180 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient
Of .000 Has Been Assigned

Cavitation Pressure = .0 psf

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced
Along The Ground Surface Between X = 13.00 ft.
and X = 17.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 22.00 ft.
and X = 24.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

3.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.89	8.48
2	16.87	8.84
3	19.75	9.68
4	22.45	10.98

5 23.86 11.96

Circle Center At X = 13.2 ; Y = 26.9 and Radius, 18.4

*** 1.025 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.78	8.93
2	17.77	9.12
3	20.60	10.12
4	23.04	11.86
5	23.12	11.96

Circle Center At X = 15.6 ; Y = 19.8 and Radius, 10.9

*** 1.117 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.78	8.93
2	17.77	9.13
3	20.60	10.12
4	23.07	11.83
5	23.19	11.96

Circle Center At X = 15.5 ; Y = 20.2 and Radius, 11.3

*** 1.122 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.44	8.26
2	16.38	8.89
3	19.24	9.79
4	22.01	10.95
5	23.92	11.96

Circle Center At X = 8.0 ; Y = 40.5 and Radius, 32.7

*** 1.238 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.67	9.37
2	18.67	9.30
3	21.33	10.69
4	22.18	11.96

Circle Center At X = 17.3 ; Y = 15.2 and Radius, 6.0

*** 1.288 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	16.11	9.60
2	19.11	9.53
3	21.94	10.53
4	23.64	11.96

Circle Center At X = 17.8 ; Y = 17.8 and Radius, 8.3

*** 1.294 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	13.44	8.26
2	16.39	8.85
3	19.18	9.95
4	21.72	11.53
5	22.19	11.96

Circle Center At X = 11.7 ; Y = 24.8 and Radius, 16.7

*** 1.306 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	16.11	9.60
2	19.11	9.64
3	21.95	10.62
4	23.69	11.96

Circle Center At X = 17.5 ; Y = 18.9 and Radius, 9.4

*** 1.318 ***

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	14.33	8.71
2	17.30	9.14
3	20.10	10.22
4	22.60	11.88
5	22.68	11.96

Circle Center At X = 13.8 ; Y = 22.3 and Radius, 13.7

*** 1.327 ***

Failure Surface Specified By 4 Coordinate Points

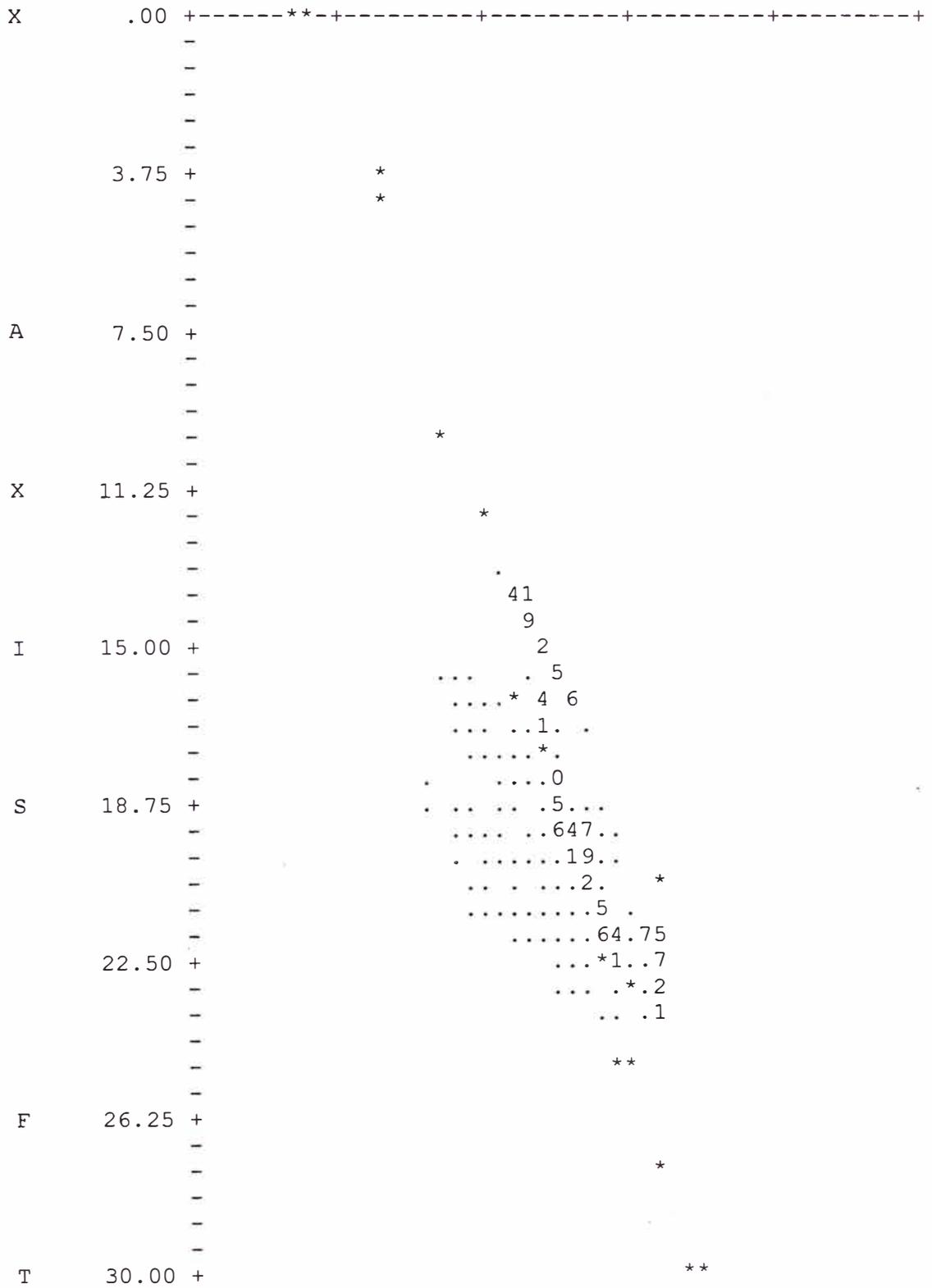
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.22	9.15
2	18.21	9.44
3	20.97	10.60
4	22.57	11.96

Circle Center At X = 15.8 ; Y = 19.0 and Radius, 9.9

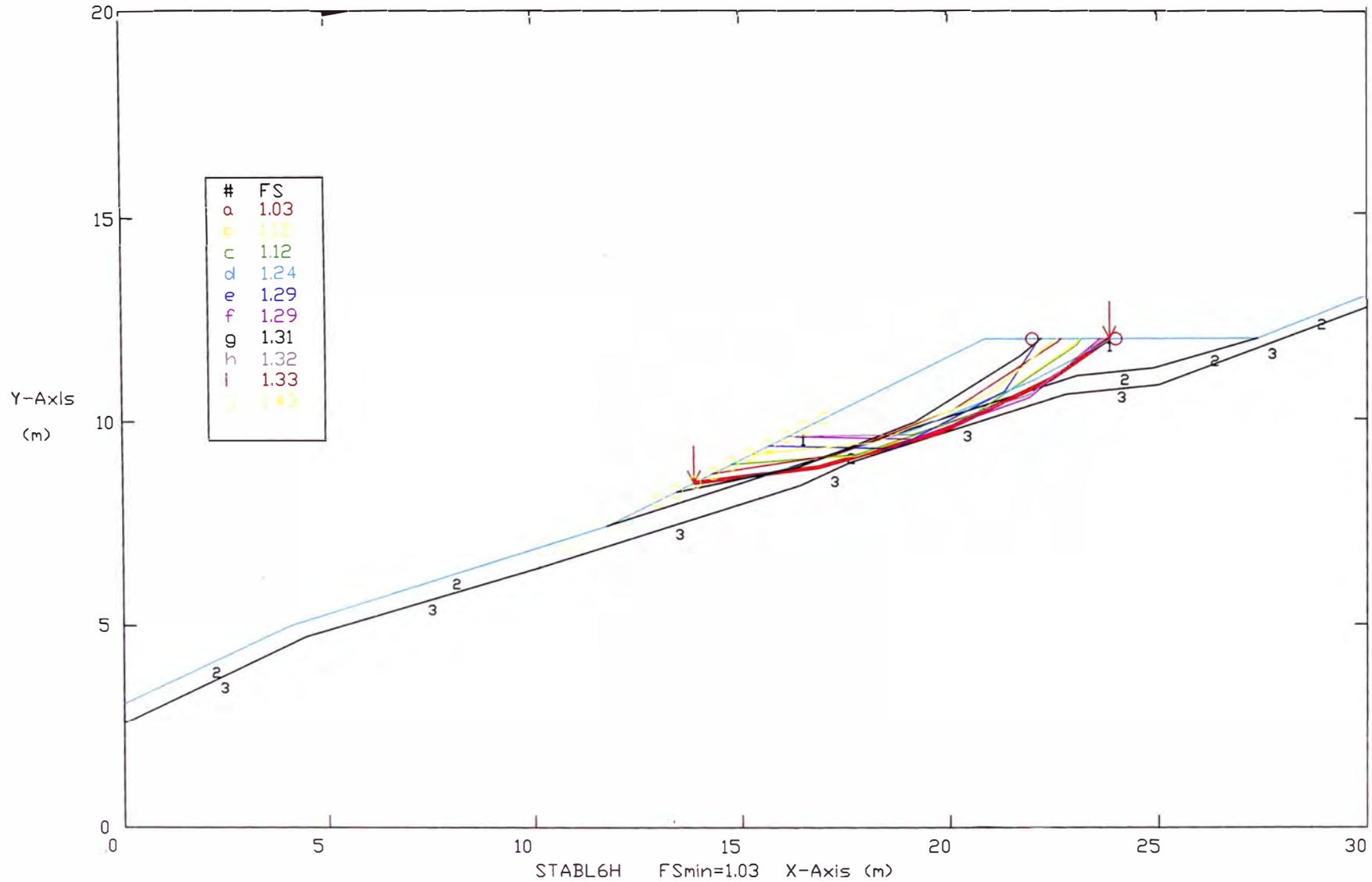
*** 1.426 ***

Y A X I S F T

.00 3.75 7.50 11.25 15.00 18.75



APLICACION DE LA INGENIERIA GEOTECNICA EN EL
 PLAN DE CIERRE DE MINAS COLQUIRRUMI
 ANALISIS PSEUDO ESTATICO - DDLM-01F

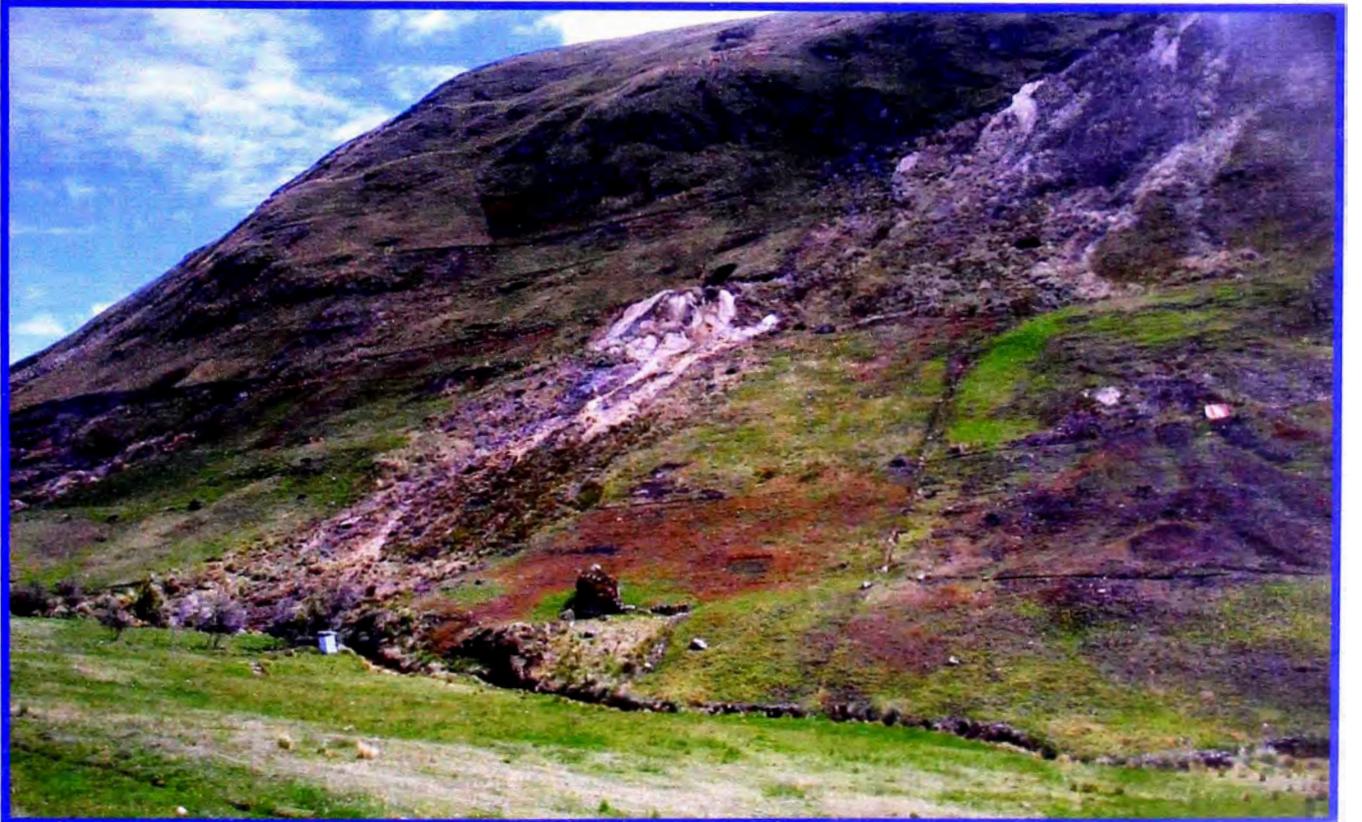


Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m ³)	Saturated Unit Wt. (KN/m ³)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 DESMONTE	22	23	5	29.1	0	0	
2 SM	16	17	0	23.9	0	0	
3 ROCA	27	28	300	50	0	0	

C. FOTOS



Vista panorámica de la Mina Lorenzo Miguel



Vista panorámica de la Mina Lorenzo Miguel

D. PLANOS