



UNIVERSIDAD NACIONAL  
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”



FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL DISEÑO FINAL  
DEL BOTADERO ESTE FASE 3, MINA LAGUNAS NORTE  
MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A. - 2020

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. BENITES TORRES, Vladimir Leonid

ASESOR:

M.Sc. Ing. TORRES YUPANQUI, Luis Alberto

HUARAZ - PERÚ

2020

## FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

### 1. Datos del autor:

Apellidos y Nombres: BENITES TORRES VLADIMIR LEONID

Código de alumno: 89.0105.5.AM Teléfono: 969385157

E-mail: crg.sac@gmail.com D.N.I. n°: 31670574

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

### 2. Tipo de trabajo de investigación:

- Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  
 Trabajo Académico  Trabajo de Investigación  
 Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

### 3. Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

### 4. Título del trabajo de investigación:

"CARACTERIZACION GEOTECNICA PARA EL DISEÑO FINAL DEL BOTADERO ESTE FASE 3, MINA LAGUNAS NORTE MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A. - 2020"

5. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia

6. Escuela o Carrera: INGENIERÍA DE MINAS

### 7. Asesor:

Apellidos y nombres TORRES YUPANQUI LUIS ALBERTO D.N.I n°: 08085204

E-mail: latorresy@gmail.com ID ORCID: \_\_\_\_\_

8. Referencia bibliográfica: Tesis en formato APA

### 9. Tipo de acceso al Documento:

- Acceso público\* al contenido completo. Acceso  
 restringido\*\* al contenido completo

*Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.*

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

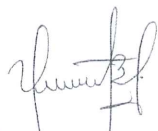
---

---

---

### 10. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

### 11. Otorgamiento de una licencia **CREATIVE COMMONS**

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

### 12. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz, 20/08/2021

Firma:



Varillas William Eduardo

Asistente en Informática y Sistemas

- UNASAM -

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las nueve horas con cero minutos de la mañana (09:00 a.m.) del día Veinte de Agosto del Dos mil Veintiuno (20/08/2021), se reunieron los miembros del jurado calificador nominados según Resolución Nro. 122-2021-FIMGM/CF, de fecha 10 de Agosto del 2021, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. Ing. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES, como Presidente; Dr. Ing. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUÍÑO, como Secretario y el MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulada: **"CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL DISEÑO FINAL DEL BOTADERO ESTE FASE 3, MINA LAGUNAS NORTE MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A. - 2020"** presentado por el **Bachiller VLADIMIR LEONID BENITES TORRES,** para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 122-2021-FIMGM/CF de fecha 10 de Agosto del 2021. Acto seguido invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO(\*)de: DIECISIETE (17) Aprobado con Distinción.** Siendo las Diez horas y cero minutos (10:00 a.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

  
Dr. Ing. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES  
Presidente

  
Dr. Ing. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUÍÑO  
Secretario

  
MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO  
Vocal

  
M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI  
Asesor

(\*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20), APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18), APROBADO (14-16), DESAPROBADO (00-13).**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA**



**ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS**

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: "CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL DISEÑO FINAL DEL BOTADERO ESTE FASE 3, MINA LAGUNAS NORTE MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A. - 2020" presentado por el Bachiller VLADIMIR LEONID BENITES TORRES y sustentada el día 20 de Agosto del 2021, con Resolución de Consejo de Facultad N° 122-2021-FIMGM-/CF, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 20 de Agosto del 2021

  
-----  
**Dr. Ing. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES**  
Presidente

  
-----  
**Dr. Ing. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUIÑO**  
Secretario

  
-----  
**MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO**  
Vocal

  
-----  
**M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**  
Asesor

**DEDICATORIA**

*Isidoro Benites y Trinidad Torres, mis PADRES.*

## **AGRADECIMIENTO**

Al Señor Jesucristo mi señor y guía. A Miriam mi amada esposa; a mis queridos hijos: Nayelly, Chantal y Benjamín; quienes son la razón de ser de mi vida y que me fortalecen cada día en mi progreso.

A la gloriosa Facultad de ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia de la universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, que por medio de sus señores docentes, sembraron en mi la semilla de ser un profesional minero, compartiendo sus enseñanzas y experiencias.

A mi asesor el Dr. Ing. Gustavo Roberto Bojórquez Huerta por sus correctas apreciaciones que guiaron para culminar mi tesis, a mis compañeros de estudios, a mis padres y hermanos que con su apoyo moral logran que culmine mis estudios; **GRACIAS ATODOS ELLOS.**

*Vladimir Leonid*

## RESUMEN

La presente tesis titulada: “Caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020”, tiene como objetivo general Realizar la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020. El tipo de investigación de tipo APLICADA, la metodología empleada fue con el método científico. La tesis se justifica realizando la caracterización geotécnica se podrá diseñar el botadero Este. Las conclusiones más importantes fueron: que se realizó la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020. Determinándose que de la sección A – A´ en la etapa inicial el tipo de falla Bloque el factor de seguridad estático es 1.73 y Pseudoestática ( $k=0,105$ ) y el tipo de falla Circular el factor de seguridad estático es 1.42 y Pseudoestática ( $k=0,105$ ), se determinó cuál es Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico recomendándose utilizar un valor de 0.21g como aceleración máxima (PGA) esperada en la zona del proyecto y que en granulometría el 38.6% de grava, el 32.5% de arena y los finos fueron 28.9%, el LL% fue de 21% el IP 7% y el contenido de humedad fue de 16.3%. Existen 4 unidades denominadas: Bofedales (Unidad Geotécnica I), Depósito Coluvial (Unidad Geotécnica II), Suelo Residual (Unidad Geotécnica III) y Basamento Rocoso (Unidad Geotécnica IV) y el mínimo factor de seguridad estático a corto plazo igual a 1,30; el mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1,35 y el mínimo factor de seguridad pseudoestático a largo plazo a 1,00.

**Palabras claves:** Caracterización geotécnica, diseño, final, Botadero Este Fase 3, Mina Lagunas Norte, Minera Barrick Misquichilca S.A., 2020.



## ABSTRACT

This thesis entitled: “Geotechnical characterization for the final design of the Este Dump Phase 3, Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. mine. - 2020 ”, its general objective is to carry out the geotechnical characterization for the final design of the Este Phase 3 dump, Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. mine. - 2020. The type of APPLIED type of research, the methodology used was with the scientific method. The thesis is justified by carrying out the geotechnical characterization, the East dump will be able to be designed. The most important conclusions were: that the geotechnical characterization was carried out for the final design of the Este Phase 3 dump, Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. mine. - 2020. Determining that from section A - A' in the initial stage the type of Block failure the static safety factor is 1.73 and Pseudostatic ( $k = 0.105$ ) and the type of Circular failure the static safety factor is 1.42 and Pseudostatic ( $k = 0.105$ ), it was determined which is the Design Acceleration and the Seismic Coefficient, recommending to use a value of 0.21g as the maximum acceleration (PGA) expected in the project area and that in granulometry 38.6% of gravel, 32.5% of sand and fines were 28.9%, LL% was 21%, IP 7% and the moisture content was 16.3%. There are 4 units called: Bofedales (Geotechnical Unit I), Colluvial Deposit (Geotechnical Unit II), Residual Soil (Geotechnical Unit III) and Rocky Base (Geotechnical Unit IV) and the minimum short-term static safety factor equal to 1.30 ; the minimum long-term static safety factor equal to 1.35 and the minimum long-term pseudostatic safety factor equal to 1.00.

**Keywords:** Geotechnical characterization, design, final, Phase 3 East Dump, Lagunas Norte Mine, Barrick Misquichilca S.A. Mine, 2020.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Entorno Físico.....	1
1.1.1. Ubicación y acceso.....	1
1.1.2. Topografía.....	2
1.2. Entorno Geológico.....	3
1.2.1. Geología regional.....	3
1.2.2. Geología local.....	3
1.2.3. Geología estructural.....	5
1.2.4. Geología económica.....	5
CAPITULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN.....	7
2.1. Marco Teórico.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.2. Fundamentación teórica.....	11
2.2.1. Definiciones generales.....	11

2.2.2. Tipos y descripción de los botaderos de desmonte .....	13
2.2.3. Proyecto constructivo.....	16
2.2.4. Granulometría .....	43
2.2.5. Construcción de un botadero.....	46
2.2.6. Disposición de botaderos en laderas .....	47
2.2.7. Disposición de Botaderos en quebradas.....	49
2.2.8. Disposición de Botaderos en pilas o tortas .....	49
2.2.9. Colapso en los bordes del Botadero .....	50
2.2.10.Mantenimiento de Botaderos .....	52
2.2.11.Presión ejercida sobre el terreno por el Botadero .....	54
2.2.12.Operación en botaderos.....	55
2.2.13.Métodos de Clasificación del Macizo Rocoso.....	56
2.2.14.Consideraciones Finales.....	65
2.3. Definición de Términos. ....	68
CAPITULO III .....	83
METODOLOGÍA.....	83
3.1. <i>El Problema</i> .....	83
3.1.1. Formulación del Problema.....	83
3.1.1.1. Formulación del problema General.....	83
3.1.1.2. Formulación de problemas específicos.....	84
3.1.2. Objetivos de la investigación.....	84
3.1.2.1. Objetivo General.....	84
3.1.2.2. Objetivos Específicos .....	84
3.1.3. Justificación e importancia .....	85

3.1.4. Delimitación De La Investigación .....	85
3.2. <i>Hipótesis</i> .....	85
3.3. <i>Variables</i> .....	86
3.4. <i>Diseño de la investigación</i> .....	86
3.4.1. Tipo de investigación .....	86
3.4.2. Nivel de la investigación .....	86
3.4.3. Método .....	86
3.4.4. Población y muestra .....	87
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	87
3.4.6. Forma de tratamiento de los datos .....	88
CAPITULO IV .....	89
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	89
4.1. <i>Descripción de la realidad y procesamiento de datos</i> .....	89
4.2. <i>Criterios de diseño</i> .....	90
4.3. <i>Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico</i> .....	91
4.3.1. Aceleración de Diseño .....	91
4.3.2. Coeficiente Sísmico .....	92
4.4. <i>Investigaciones geotécnicas</i> .....	93
4.4.1. Mapeo Geológico Geotécnico .....	94
4.4.2. Calicatas y Trincheras .....	94
4.4.3. Ensayos de Laboratorio .....	94
4.5. <i>Caracterización geotécnica</i> .....	95
4.5.1. Condiciones Geomorfológicas .....	95
4.5.2. Unidades Geológicas-Geotécnicas .....	96

4.5.3. Análisis geotécnico .....	97
4.5.4. Procedimiento de Análisis de Estabilidad.....	98
4.5.5. Criterios de Análisis.....	98
4.5.6. Condiciones Analizadas.....	99
4.5.7. Suelo Residual .....	101
4.5.8. Desmonte de Mina .....	101
4.5.9. Material Inadecuado.....	101
4.5.10. Turba.....	101
4.5.11. Enrocado Existente .....	102
4.5.12. Resultados del Análisis de Estabilidad .....	102
4.6. <i>Diseño del botadero</i> .....	103
4.6.1. Corte y Eliminación de Material inadecuado.....	103
4.6.2. Diques de Contención .....	104
4.6.3. Sistema de Subdrenaje .....	104
4.7. <i>Discusión de resultados</i> .....	105
CONCLUSIONES.....	106
RECOMENDACIONES .....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	109
ANEXO .....	111
ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS.....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. <i>Ubicación de la Mina Lagunas Norte – MBM.</i> .....	2
Figura N° 2. <i>Estratigrafía.</i> .....	4
Figura N° 3. <i>Labores mineras que generan materiales estériles.</i> .....	13
Figura N° 4. <i>Vertido directo de estériles con camiones volquetes.</i> .....	31
Figura N° 5. <i>Distancias entre caminos de carga</i> .....	46
Figura N° 6. <i>Botadero en Laderas.</i> .....	48
Figura N° 7. <i>Alturas máximas de botadero.</i> .....	48
Figura N° 8. <i>Botadero en Laderas.</i> .....	49
Figura N° 9. <i>Botadero en pilas o tortas.</i> .....	50
Figura N° 10. <i>Colapso de botaderos</i> .....	50
Figura N° 11. <i>Botadero con material no compactad.</i> .....	51
Figura N° 12. <i>Botadero con inicio de inestabilidad.</i> .....	52
Figura N° 13. <i>Compactación de Botadero.</i> .....	54
Figura N° 14. <i>Presión ejercida sobre el terreno</i> .....	55
Figura N° 15. <i>Descarga de botadero</i> .....	56
Figura N° 16. <i>Uso de métodos de clasificación según tipo de minería.</i> .....	67
Figura N° 17. <i>Perfil estratigráfico.</i> .....	93
Figura N° 18. <i>Análisis de Estabilidad, Botadero Este Fase 3. Sección Geotécnica A - A', Falla Bloque, Análisis Estático</i> .....	100
Figura N° 19. <i>Análisis de Estabilidad, Botadero Este Fase 3, Sección Geotécnica 2-2', Falla Circular, Análisis Estático</i> .....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. <i>Clasificación según MRMR.</i> .....	59
Tabla N° 2. <i>Clasificación según GSI.</i> .....	63
Tabla N° 3. <i>Factores de ajuste para el SMR.</i> .....	65
Tabla N° 4. <i>Estabilidad de talud según SMR.</i> .....	65
Tabla N° 5. <i>Criterios de Diseño.</i> .....	91
Tabla N° 6. <i>Estimados de PGA a Partir de Estudios de Peligro Sísmico Probabilísticos.</i> .....	92
Tabla N° 7. <i>Resumen de Calicatas y Trincheras.</i> .....	94
Tabla N° 8. <i>Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos en el Botadero Este.</i> .....	95

## INTRODUCCIÓN

La mina Lagunas Norte se encuentra ubicado en el departamento de La Libertad en el norte del Perú, provincia de Santiago de Chuco, distrito de Quiruvilca, a una altitud aproximada de 4,150 m.s.n.m., la caracterización geotécnica, tiene por propósito brindar la información técnica necesaria para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020. Para el diseño de ingeniería del presente proyecto se ha tomado como criterio de diseño que los diques de contención del botadero tengan un talud externo de 2.0 H :1.0 V y un talud interno de 1.5 H : 1.0 V, con un crecimiento hacia el interior del apilamiento. Los factores de seguridad en el caso de la estabilidad de taludes han sido considerados en 1.30 para condiciones estáticas a corto plazo, en 1.35 para condiciones estáticas a largo plazo, y en 1.00 para condiciones pseudo-estáticas a largo plazo. Los datos de sismicidad obtenidos de otros estudios nos muestran una aceleración máxima del terreno de 0,21g. A partir de la literatura existente se ha considerado en los análisis de estabilidad de taludes un coeficiente sísmico correspondiente al 50% de la aceleración máxima del terreno, es decir un coeficiente sísmico de 0,105. Las investigaciones geotécnicas realizadas en la zona del proyecto han consistido en la ejecución de calicatas, mapeo geológico – geotécnico. Las características geomorfológicas de la zona en estudio corresponden a una quebrada alta, rodeada de afloramientos rocosos compuestos por andesitas y areniscas cuarzosas cubiertos en su parte baja por suelos coluviales. Se han identificado 4 unidades geotécnicas en la zona de estudio: bofedales, depósitos coluviales, suelos residuales y afloramientos rocosos. Las características y propiedades de los suelos de cimentación como los materiales involucrados en la construcción del botadero, fueron evaluadas a partir de las investigaciones geotécnicas de campo y de laboratorio llevadas a cabo como parte del desarrollo del estudio.



Para los análisis de estabilidad de taludes se ha utilizado el programa de cómputo Slide (Rocscience, 2020) versión 9.010, el cual permite desarrollar geometrías de los taludes complejas y la definición de los tipos y propiedades de los materiales. Las propiedades geotécnicas de los materiales han sido determinadas a partir de lo propuesto por Piteau. Para el diseño se considera la preparación de la superficie de cimentación, acarreo y colocación de desmonte de mina, acarreo y colocación de grava de drenaje, acarreo y colocación de material de filtro y colocación de geotextil.

La tesis consta de: La dedicatoria; el agradecimiento, el resumen, el índice general, índice de tablas, índice de figuras y la introducción.

**Capítulo I: Generalidades**, en la que se describe el entorno físico y el entorno geológico.

**Capítulo II: Fundamentación**, relacionados al marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos.

**Capítulo III: Metodología**, se plantea la pregunta de investigación, así como los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables, metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

**Capítulo I: Resultados de la investigación**, se presentan los resultados obtenidos en la investigación.

Finalmente se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### **1.1. Entorno Físico**

##### **1.1.1. Ubicación y acceso**

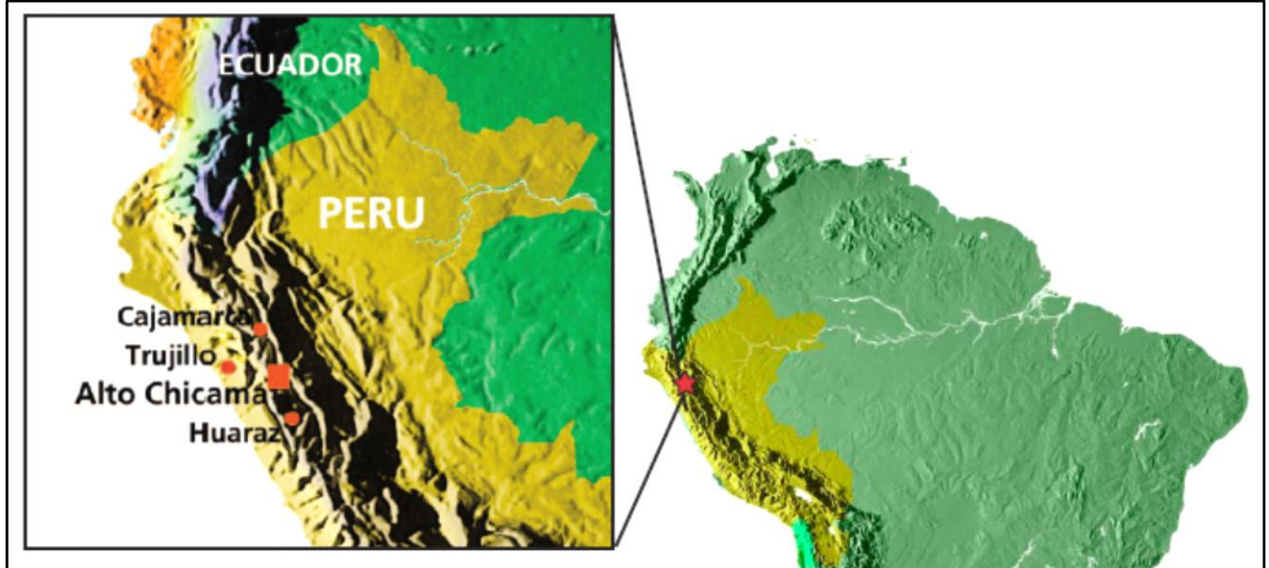
La mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. (MBM), se ubica en el Distrito de Quiruvilca, Provincia de Santiago de Chuco, Departamento de La Libertad, ubicado por carretera aproximadamente a 140 km. al este de Trujillo y a 11 km. al noreste del pueblo de Quiruvilca. La mina se sitúa en la Cordillera Occidental de los Andes Peruanos a una altitud aproximada de 4,150 m.s.n.m. encontrándose el área del proyecto entre los 3,700 a 4,200 m.s.n.m. Se extiende a ambos lados de la divisoria continental entre dos cuencas que drenan hacia en el Océano Atlántico al este y hacia el Océano Pacífico al oeste. Considerando la ubicación, la naciente del Río Chuyuhual fluye al este y la del Río Negro fluye al oeste. El Río Negro desemboca en el Río Perejil, el cual aguas abajo cambia de nombre a Río Alto Chicama. El área se caracteriza por cerros ondulantes y montañas escarpadas, con terreno cortado por valles abruptos, que reflejan los patrones de erosión asociados con la geología del lecho de roca. (Lanata, 2009).

##### **Acceso:**

Es accesible desde la ciudad de Lima, la Mina Lagunas Norte es accesible por dos vías: vía aérea y terrestre; por vía aérea (avioneta) 1,50 h. aproximadamente Lima – aeropuerto Pata de Gallo, ubicado a 3.5 Km de la

mina; y por vía terrestre a 12 h aproximadamente Lima – Trujillo – Mina Lagunas Norte. Ver plano 1. (Reymer, 2013).

Figura N° 1. *Ubicación de la Mina Lagunas Norte – MBM.*



Fuente: Technical & Economic Evaluation, Minera Barrick Misquichilca S.A. 2004.

### 1.1.2. Topografía

El área de trabajo está ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes peruanos y puede ser caracterizado como un altiplano ondulante con profundos valles. Los taludes tanto de altiplanos, como de fondos de los valles son típicamente menores de 15%. Las paredes de los valles empinados típicamente son mayores de 30% y eventualmente son casi verticales en algunas zonas de rocas más competentes.

Las elevaciones varían entre 4,300m en el pico del domo volcánico del Shulcahuanca ubicado al oeste adyacente al tajo abierto propuesto, hasta entre 4,050m y 4,200m en el área del tajo y hasta 3,950m en el valle del Rio Negro ubicado al oeste del tajo abierto propuesto. La elevación del terreno en la zona del valle del Rio Chuyugal localizado aproximadamente a 2.5km al este del

tajo abierto varía entre 3765m en 9121000m N a 3475m en 9124000m N.  
(Minera Barrick Misquichilca S.A., 2004).

## **1.2. Entorno Geológico**

### **1.2.1. Geología regional**

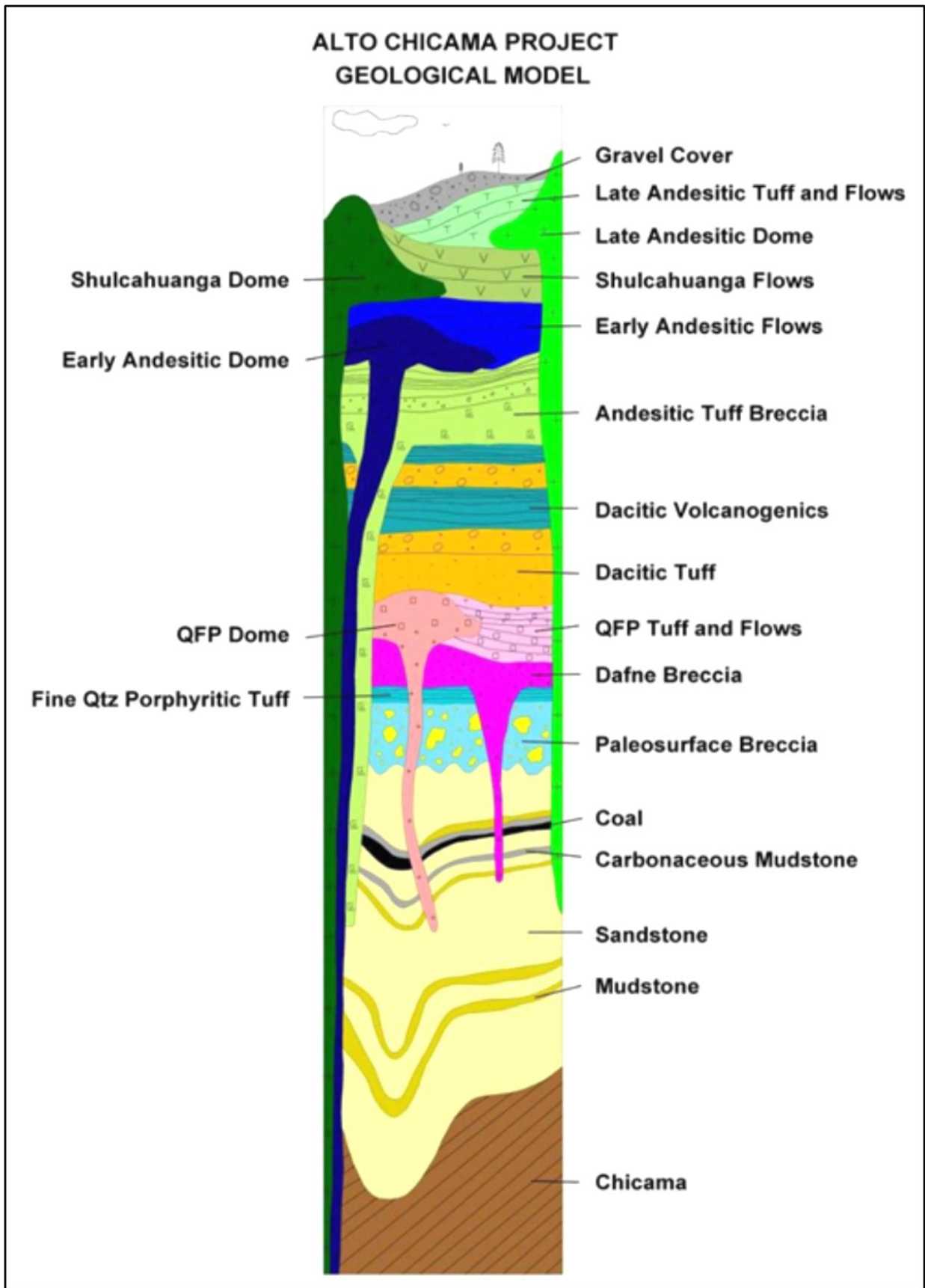
La Geología Regional de Lagunas Norte está dominada por gruesas secuencias de rocas sedimentarias silicoclásticas marinas del Mesozoico Medio a superior; infrayaciendo discordantemente a las secuencias volcánicas dacíticas y andesíticas del Grupo Calipuy, cortadas además por numerosos cuerpos intrusivos terciarios. La Secuencia Mesozoica ha sido afectada por lo menos por dos etapas de deformación compresiva durante la Orogenia Andina, con intercalaciones de distensión o calma geodinámica. (Lanata, 2009).

### **1.2.2. Geología local**

La secuencia estratigráfica del AEL está conformada por sedimentos clásticos marinos del Jurásico Superior y del Cretácico Superior correspondientes a las formaciones Chicama, Chimú, Carhuaz, Farrat e Inca.

El Terciario está representado por los volcánicos denominados Formación Calipuy, y el Cuaternario por los depósitos lagunares, glaciares y aluviales. (Reymer, 2013).

Figura N° 2. Estratigrafía.



Fuente: Deivy Luis Reymer Mullizaca, 2013.

### **1.2.3. Geología estructural**

El fin del Cretácico culminó en una sedimentación marina y un levantamiento de la cuenca sedimentaria con deformación plástica debido a fuerzas compresivas Este- Oeste y Sureste-Noreste. La primera fase de deformación se conoce como la Fase Peruana y se caracteriza por un intenso plegamiento de las unidades sedimentarias produciendo un acortamiento.

Los ejes de los anticlinales y sinclinales siguen en dirección Noreste-Sureste (plano 05). El levantamiento que acompañó la deformación tectónica produjo una erosión extensional de las capas más recientes y formó recientes depósitos sedimentarios continentales extensionales de la edad terciaria.

La deformación y fracturamiento durante el Terciario superior dio como resultado: Fallamientos concordantes a la dirección del plegamiento, fallas con dirección Noreste-Suroeste y desarrollo de fallas en dirección Norte- Sur y Este-Oeste, las que se encuentran toda la región. (Reymer, 2013).

### **1.2.4. Geología económica**

Lagunas Norte es un yacimiento aurífero epitermal de alta sulfuración encajonado en el contacto entre las rocas sedimentarias cretáceas de la Formación Chimú y las rocas volcánicas terciarias del Grupo Calipuy. Las rocas sedimentarias cretáceas se caracterizan por estratos relativamente gruesas de areniscas entrelaminados con limolitas y calizas micríticas que se gradan localmente en lechos de carbón. Estas rocas se plegaron durante la orogénesis Andina. La Pila volcánica terciaria es de grosor limitado y se caracteriza por una aglomeración de chimeneas volcánicas relacionadas con

actividad freato- magmática. Se cree que dicha actividad volcánica está estrechamente relacionada con la mineralización aurífera. Hay grandes áreas de rocas volcánicas posminerales que rodean el yacimiento, y es posible que encubran potenciales yacimientos satélite no-aflorantes. (Reymer, 2013)

***Mineralización y alteración.*** - La mineralización de Lagunas Norte se considera del tipo de alta sulfuración. Esta diseminada y hospedada en brechas volcánicas y sedimentarias, así como tobas. La mineralización se ha definido sobre un área de 1 600 metros por 750 metros y está orientada en dirección Noreste-Sureste. La figura 02 muestra un mapa de ancho por ley, con la brecha Alexa ubicada en el área noreste. La mineralización de Lagunas Norte ocurre en la superficie y alcanzado los 300 metros de profundidad en algunas áreas. La mineralización yace relativamente plana y está controlada por la litología y estructura como puede observarse en la sección transversal sobre la línea 4 200 NE (figura 03). La mayor parte de la mineralización de Lagunas Norte está contenida en brechas de óxidos con alrededor de 15% ocurriendo en brechas de sulfuros. El oro está principalmente en pirita, óxidos de hierro, pirita/ cuarzo y óxidos de hierro/ cuarzo. Los ensayos de oro señalan que posiblemente la pirita y los óxidos de hierro sean los principales portadores de oro. (Reymer, 2013)

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. *Marco Teórico*

##### 2.1. Antecedentes de la investigación

Rincón (2016), en la tesis titulada “*Caracterización geo mecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá*”, cuyo objetivo fue realizar la clasificación geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01- 068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá. La metodología de la tesis considera 4 etapas: (Etapa 1. Recopilación, validación y análisis de la información existente; Etapa 2. Visitas de campo, toma de muestras y de datos estructurales; Etapa 3. Realizar ensayos de laboratorio y procesamiento de los mismos y Etapa 4. Informe Final Determinando la clasificación geomecánica del macizo rocoso por el método propuesto por (Bienaiwsky, 1989) conocido como RMR (Rock Mass Rating)). La conclusión más importante fue: En la zona de estudio se encontraron Arcillas de la formación Guaduas, areniscas de la formación Guaduas y principalmente carbones de la formación Guaduas, los cuales actualmente son explotados, pero su estabilidad se ve afectada por la alta sismicidad debido a la presencia de fallas. Además de esto la zona se ve afectada por la actividad minera subterránea que allí se realiza.



Chapilliquen (2017), en la tesis titulada “*Caracterización geotécnica del suelo y roca para el diseño de pozas sedimentadoras en la zona de Ciénega Norte – Tantahuatay, Cajamarca*”, El objetivo general para este proyecto de investigación es realizar la caracterización de suelo - rocas presentes en el área de proyecto, con el fin de construir pozas sedimentadoras aplicando análisis geotécnicos en la zona de Ciénega Norte – Tantahuatay. Las metodologías fueron del tipo descriptivo porque según las evaluaciones, cálculos y parámetros determinados en campo, así como los ensayos de laboratorio realizados servirán para describir la Geotecnia, Geología, Geomorfología, Hidrogeología, Hidrología. Analítico, porque a partir de las muestras recopiladas y los ensayos efectuados en el campo y laboratorio sobre suelo-roca, permite realizar la interpretación de las características del terreno, así como la determinación de las unidades geotécnicas. Comparativo porque de acuerdo a los resultados obtenidos se podrá relacionar las características geotécnicas del suelo y roca, en diferentes puntos de muestreo. Deductivo porque gracias a los ensayos de campo y laboratorio sobre suelo-roca se podrán determinar las características geotécnicas del terreno y Explicativo porque a partir de las condiciones naturales de la zona estudio permitirá dar a conocer cuáles son las características del suelo y el macizo rocoso para el emplazamiento del sistema de pozas de sedimentación y se aplicaron fueron para determinar las características geomecánicas del macizo rocoso que arrojaron un valor RMR promedio de 45; para efectos de análisis se consideró un valor mínimo de 40, y por correlaciones de Bieniawski, una cohesión de 100 kPa así como un ángulo de fricción de 30°, teniendo como resultado un RQD

de condiciones regular a malas. La zonificación geotécnica según los parámetros obtenidos se dividió en cinco (05) unidades: Pajonal Inundado, Depósito Coluvial, Depósito Morrénico, Depósito Residual, y Basamento Rocoso. A partir de los avances logrados en este trabajo, se recomienda

- Realizar y analizar sondeos eléctricos verticales (SEV) con el fin de obtener resultados más certeros con respecto a la morfología y características del terreno a profundidad.
- Considerar el análisis de estabilidad de taludes con propósitos de evaluar las variables sísmicas para el sistema de pozas sedimentadoras.
- Efectuar ensayos sismoresistentes para la construcción de estructuras que incluyan el apilamiento de material, factor de seguridad, capacidades de carga, resistencia cortante, etc.; de acuerdo a los materiales a depositar.
- Se deberá evaluar constantemente los materiales encontrados y los taludes resultantes al efectuar el movimiento de tierras, a fin de prevenir posibles taludes inestables como producto de la aparición de lentes débiles.
- Realizar mayor número de sondeos de perforación entre 15 y 20 m de profundidad con el objetivo de complementar las investigaciones geofísicas realizadas en el área y corroborar los perfiles sísmicos reportados en los ensayos geofísicos.

Ortiz (2019) en la tesis titulada “*Diseño de botaderos de desmonte en Open Pit usando MINESIGHT 7.0 E.E. Pirámide CIS CUAJONE*”. El Objetivo fue determinar el uso del software especializado MineSight en calcular el diseño de botaderos de desmonte y pistas de acarreo en minería superficial con el respectivo cálculo de volúmenes de corte y relleno. La metodología nace ante la necesidad de mostrar como diseño de botaderos de desmonte en open Pit de manera óptima con aprovechamiento de la tecnología moderna como es la aplicación de un software minero para lograr obtener resultados de manera inmediata y así poder ajustar parámetros para lograr óptimos resultados a corto, medio y largo plazo. Se concluyó que:

- De las dos alternativas del depósito de desmonte Cuajone y Cocotea Oeste, si se lleva en el periodo comprendido entre 2016 – 2018 se está ahorrando un total de 10.46 millones de dólares.
- Todo el material de desmonte son en total de 336 millones de toneladas de la fase 8 hasta llegar a nivel de mineral.
- Según los resultados obtenidos en laboratorio el material de desmonte no es generador de drenaje ácido, el sistema de clasificación unificado de suelos (SUCS) gravas, arenas, limonitas. En los ensayos de compresión triaxial el ángulo de fricción interna para el depósito de desmonte Cuajone es 37 grados y Cocotea Oeste de 39 grados.

Paucar (2015 en la tesis titulada “*Diseño y estabilidad de botaderos de desmonte para la remediación de pasivos ambientales de la mina Recuperada Huancavelica*”, el objetivo fue el diseño y análisis de estabilidad del botadero de desmonte ubicada en la zona Blenda Rubia con altitud promedio de 4390 msnm, cuyo propósito es la remediación de pasivos ambientales de la Unidad de Producción Recuperada. El método empleado es el método Analítico - Sintético, 'ya que está orientado al diseño y evaluación de estabilidad de botaderos de desmonte para la remediación de pasivos ambientales en la Unidad de Producción Recuperada - Huancavelica. La conclusión más importante fue: Los Pasivos Ambientales que presentan un RIESGO MODERADO, es remediado cumpliendo con la normativa vigente, al ser depositadas en el botadero de desmonte, mitigando los impactos negativos a la salud de la población (40.7%), al ecosistema circundante {40.7%) y a los procesos socioeconómicos {18.6%), en la Mina "Recuperada" - Huancavelica. El diseño comprende el desarrollo de actividades como: Diseños de ingeniería; Estudios In-situ para la disposición final. La configuración adoptada del botadero de desmonte es por banquetas, muestra las características de un ecosistema compatible con un ambiente saludable y adecuado para el desarrollo de la vida y la preservación paisajista.

## **2.2. Fundamentación teórica**

### **2.2.1. Definiciones generales**

Se denomina botadero a toda aquella acumulación de materiales sólidos de granulometría variable procedentes de los procesos mineros

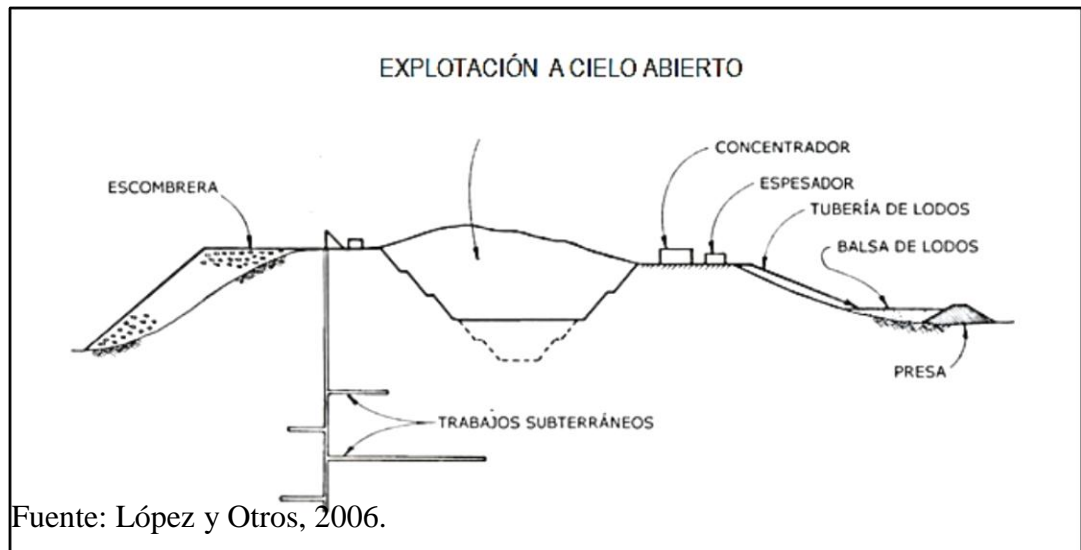
(estériles rocosos). En minería estos estériles se originan por excavación de labores subterráneas en rocas encajonantes; por los desmontes de las rocas de recubrimiento en las explotaciones a cielo abierto, por separación a partir del mineral, como residuos compactados de procesos de lavado o mejora de la calidad de la producción de minerales y productos industriales, o como residuos de cualquier otro tipo u origen.

La acumulación de estos residuos debe realizarse, fundamentalmente, por la carencia de valor económico la imposibilidad de su aprovechamiento en el momento de su almacenamiento, o bien por la necesidad de mantenerlos controlados dadas sus características. En el vertido o deposición no es aconsejable la mezcla en un mismo botadero de estériles de tamaños y naturaleza diversa y la ocasional de lodos sobre los escombros, ya que pueden dar lugar a estructuras mixtas de difícil control y dudosa estabilidad.

Tradicionalmente, la forma de implantar los botaderos se ha realizado buscando la facilidad de transporte y ocupación de terrenos sin un plan previo de desarrollo.

Aunque, en líneas generales, este proceder ha dado resultados aceptables, y en algunos casos se han producido accidentes importantes y en otros un impacto ambiental excesivo, lo que hace aconsejable disponer de unas normas de buena práctica y unos criterios de ejecución y control para futuras implantaciones. (López y Otros, 2006, pp. 1-2).

Figura N° 3. *Labores mineras que generan materiales estériles.*



### 2.2.2. Tipos y descripción de los botaderos de desmonte

Los botaderos de materiales estériles se pueden describir atendiendo, normalmente, a los siguientes criterios:

1. Por sus dimensiones: Se considera botadero a cualquier acumulación de materiales que sobrepase los 25,000 m<sup>3</sup> de volumen, los 15 m. de diferencia de altura entre su pie y la parte superior del depósito, o bien cuyo espesor de estéril sea superior a 10 m. En condiciones normales de homogeneidad y humedad del material, se dividen en:
  - Grandes.- Aquellas cuya altura sea superior a 30 m.
  - Medianas.- Aquellas cuya altura sea superior a 20 m e inferior a 30 m.
  - Pequeñas.- Aquellas cuya altura sea superior a 15 m e inferior a 20 m.

2. Por su emplazamiento: Se dividen en:

- De vaguada.- fondo de valle o cauce.
- De ladera.- Situadas sobre pendientes con inclinaciones de hasta el 8 %.
- De divisoria.
- En Llanura o exenta.
- De relleno de corte o hueco minero.

3. Por el tipo o sistema de vertido: Se dividen en:

- De vertido libre o por gravedad.- En general, no reglamentario, excepto en el caso de botaderos de pequeñas dimensiones o en el interior de minas activas siempre y cuando no exista riesgo de deslizamiento o inestabilidad.
- De vertido libre por fases adosadas.- Método más recomendable debido a su mayor estabilidad.
- Botaderos con dique de retención en pie o tacón de escollera.- Recomendable cuando los estériles a verter presentan diferentes litologías
- De vertido por fases ascendentes retranqueadas y superpuestas.- Implican tongadas horizontales compactadas.

- Estructuras mixtas.- Aquellas que combinan algunos de los métodos anteriores.
4. Por el método constructivo: Se dividen en:
- Por basculamiento final.- Da lugar a franjas de material inclinadas de acuerdo con el ángulo de rozamiento interno del mismo.
  - Por tongadas horizontales compactadas.- Método más general y recomendable debido a su mayor estabilidad.
5. Por su grado de riesgo potencial, estabilidad y coeficiente de seguridad Debido a su posible deslizamiento.- se dividen en:

Clasificación por riesgo (Tipo A):

- Botaderos Tipo AI: Sin riesgos para personas, bienes, etc.
- Botaderos Tipo All: Presentan riesgo moderado para personas, bienes, etc.
- Botaderos Tipo AIII: Presentan un riesgo elevado para personas, bienes, etc.

Clasificación por seguridad ligada a la presencia de agua y problemas del cimiento (Tipo B):



- Botaderos normales (Tipo BI): Sin efecto de aguas freáticas y en cuya estabilidad no interviene el cimiento.
- Botaderos sometidos a filtración (Tipo BII): Agua en grietas o fisuras y riesgo de deslizamiento por la cimentación.
- Botaderos en situación de inundación, inestabilidad por riesgo sísmico, etc. (Tipo BIII). (López y Otros, 2006, pp. 2-4).

### **2.2.3. Proyecto constructivo**

Se entiende por proyecto el conjunto de todos los estudios y recopilación de datos preliminares necesarios para justificar el emplazamiento del depósito, las características del mismo y de los materiales a verter así como la relación del depósito con su entorno natural, los datos y estudios relativos a su estabilidad, las medidas de control a desarrollar y el mantenimiento a realizar para la buena conservación del depósito y, en su caso, las medidas a implementar cuando finalice su vida activa a efectos de abandono definitivo. También se incluirán como parte del proyecto constructivo una descripción detallada de las medidas de seguridad previstas tanto para garantizar la estabilidad del depósito como la seguridad de las personas y bienes.

Todo proyecto será dirigido y firmado por un técnico titulado competente y será presentado por el promotor a la Autoridad Minera

para su aprobación previo estudio, quien podrá exigir aclaraciones al proyecto y prescribir la realización de nuevos estudios y planos complementarios.

Así mismo todos los estudios técnicos, ensayos, análisis, etc., que se adjunten al proyecto de botaderos deberán ser desarrollados por técnicos competentes y firmados por los mismos sin perjuicio de que el técnico responsable del proyecto los hace suyos al incluirlos en el proyecto presentado.

Todo proyecto estará formado por las siguientes partes:

- Memoria descriptiva.
- Presupuesto.
- Planos.
- Cálculos justificativos.
- Anexos que recojan los estudios realizados y datos obtenidos.
  - Geología y geotecnia del sustrato.
  - Estudios geotécnicos y de estabilidad del depósito.
  - Estudio hidrogeológico. Estudios climatológicos.
  - Estudio de subsidencia. Estudio sismorresistente.
  - Materiales de vertido.

- Propiedades y características geotécnicas.
- Sistema y ritmo de vertido.
- Medidas de seguridad y control.
- Estudio de impacto ambiental.
- Plan de restauración. (López y Otros, 2006, p. 4).

### **Memoria descriptiva.**

El proyecto de construcción del botadero de escombros tendrá en consideración los siguientes criterios de selección:

#### 1. Técnicos:

- Zona no mineralizada.
- Diferencias de cotas topográficas que indiquen la capacidad de vertido.
- Cerrada, sin cauces de agua.
- Pendientes suaves y terrenos estables.
- Características de suelo, subsuelo y roca firme.
- Características hidrogeológicas.

#### 2. Económicos:

- Terrenos de poco valor.

- Distancia mínima a la explotación.
  - Posibilidad de empleo del material.
3. Sociales:
- No proximidad a zonas habitadas.
  - Posibilidad de recuperación y restauración.
4. Ecológicos:
- Relleno de huecos.
  - Conservación de la tierra vegetal.
  - Integración paisajística en el entorno natural.

Dicho proyecto constructivo de un nuevo botadero atenderá siempre a los siguientes factores generales:

- Aprovechamiento máxima de los volúmenes disponibles y simplicidad de los métodos de vertido.
- Utilización racional de los medios de transporte y de la maquinaria pesada.
- Proyecto constructivo que favorezca la restauración, revegetación e integración en el entorno.
- Establecimiento de una buena red de drenaje de fondo y desagüe general.

- Distribución adecuada de los productos a verter.
- Obtención de condiciones de estabilidad satisfactorias.
- Máxima disminución posible del impacto ambiental y la contaminación (polvo, aguas, ruidos, etc.).
- Preparación de un plan de mantenimiento y control.
- Seguridad en el trabajo. La instalación se proyectará con las debidas condiciones de seguridad tanto de las personas como de los bienes materiales y tanto en la ejecución como durante la fase de mantenimiento.

El proyecto constructivo deberá definir el tipo de botadero que se pretende ejecutar atendiendo a diversos aspectos de interés y de acuerdo con las definiciones y tipologías de botadero definidas anteriormente. En cualquier caso, se deben recoger perfectamente los siguientes aspectos:

1. Volumen y tonelaje de material a verter: Necesidades y previsiones de vertido.
2. Tipos de materiales a verter, caracterizados correctamente desde el punto de vista físico, químico y/o mecánico, así como el porcentaje de cada tipo de material vertido.
3. Situación del botadero: Para cualquier situación se desarrollará el concepto de caras libres del botadero (números de caras

libres, posición, características geométricas, etc.) y las medidas de seguridad de las mismas.

4. Sistemas de vertido a emplear, en cuanto a su espesor, método de compactación, disposición y métodos de lucha contra el polvo y ruidos.
5. Materiales sobre los que se asienta.
6. Función del depósito: Se definirá perfectamente el objetivo del depósito señalando si los botaderos son definitivos o temporales, y exteriores en el caso de cielo abierto.
7. Posibles problemas de erosión por corrientes de agua superficial.

En la memoria del proyecto se hará una descripción detallada del emplazamiento previsto para el botadero indicando una serie de datos de partida. Se incluirá una situación geográfica reflejada en planos a escala entre 1:500 y 1:2,000, incluyendo los siguientes datos:

- La superficie prevista a ocupar y características topográficas del conjunto.
- La superficie de la zona de afección de la obra.
- Descripción de la red hidrográfica afectada por la construcción y de la modificación de dicha red.

- Situación de La escombrera respecto a actividades mineras activas o paradas.
- Situación y relación con núcleos de población, infraestructuras y bienes protegibles, túneles, etc.

En el caso de aprovechar antiguos huecos mineros, se justificara la totalidad de las obras proyectadas, analizando los métodos utilizados, ritmo y duración del vertido, método de creación y limpieza del hueco, taludes originales, sistema de drenaje perimetral, interior y de fondo, en pianos a escala mínima de 1:1,000. También se definirán el número y las dimensiones de los bancos, así como de los accesos y rampas en planos a la misma escala.

Cuando se deba acondicionar el hueco, se definirá el método de trabajo y de arranque (mecánico y/o voladura), detallando la voladura y los sistemas de carga y transporte. Por último, se definirán y ubicaran las oficinas y talleres auxiliares, así como los talleres de mantenimiento de maquinaria.

En general, dentro del proyecto constructivo se especificaran, en planos a escala entre 1 : 500 y 1 : 2,000, los siguientes aspectos:

1. Limpieza de materiales sueltos en fondo y taludes laterales.
2. Retirada y apilado de materiales de cobertera, caracterizándolos y definiendo el tratamiento corrector durante el apilado (corrección de pH, nitratos, siembra de especies nitrificantes, etc.)

3. Captación de puntos de agua, enumerando los manantiales a captar y el sistema de canalización.
4. Construcción de la red de drenaje de fondo, definiendo las secciones, pendiente y distribución de conductos y su revestimiento (geotextil, plástico, etc.) para su impermeabilización.
5. Construcción de la red de drenaje perimetral y de bancos temporales y finales, definiendo:
  - El diseño de canalizaciones interiores y exteriores.
  - La estimación del nivel freático en la masa de escombros.
  - Las secciones, pendientes y distribución de los conductos.
  - Las mesetas superiores de los bancos y de las bermas temporales y finales.
  - La situación y descripción de la balsa de decantación.
6. Diseño de pistas de servicio y bermas de trabajo, estableciendo la secuencia de llenado y las características de los bancos en fase de trabajo (altura, inclinación del talud, anchura, etc.).
7. Método de transporte, vertido y compactación.
8. Perfilado de taludes y formación de bermas definitivas, definiendo las características finales de los bancos (altura,



anchura, ángulo medio final, etc.), sistemas de cunetas de talud y pendientes de las mesetas de los bancos.

9. Medidas pasivas de control de estabilidad. Estas medidas deberán mantenerse durante las fases de cierre, mantenimiento y control de la escombrera, y son las siguientes:

- Ensayos de compactación.
- Levantamientos topográficos.
- Inclinómetros, extensómetros, piezómetros, etc.
- Medidas de contención y drenaje previstas para el refuerzo del paramento exterior.
- Características del pie de la escombrera.
- Descripción de pedraplenes y escolleras.

10. Programa de restauración; durante la elaboración del proyecto constructivo se elabora programa de restauración, que incluirá un E.I.A., con vistas a toda la vida útil de la escombrera y que cumpla los siguientes objetivos:

- Mejorar su integración paisajística y su estabilidad general.
- Controlar la evacuación de líquidos de lixiviación contaminantes.

- Integrar el espacio restaurado a otras actividades de tipo económico, paisajístico, deportivo etc.
- Cuando se contemple la cubrición con tierras y revegetación se tendrá en cuenta composición del suelo, la forma y secuencia de extensión de los materiales de cubrición, los métodos de siembra, elección de la vegetación y los métodos contra la erosión

11. El proyecto constructivo de escombreras debería, además, considerar las diferentes fases de vida, que son:

- Fase de elección del emplazamiento, planificación y conceptualización.
- Fase de investigación del emplazamiento y caracterización de los escombros.
- Fase de diseño.
- Fase de construcción y trabajos preparatorios.
- Fase de puesta en marcha.
- Fase de explotación u operación.
- Fase de reutilización o eliminación.
- Fase de abandono y clausura.
- Fase de mantenimiento y control posterior a la clausura.

12. El alcance de cada fase deberá ser adaptado en función de las características de cada escombrera, Administración, siendo lo expuesto a continuación una propuesta de máximos.
13. Fase de elección del emplazamiento, planificación y conceptualización.- Necesidad de construcción de la escombrera, se analizarán y compararan alternativas de vertido, y se definirá conceptualmente el tipo de construcción a llevar a cabo.
14. Dentro del conjunto de factores a contemplar en la lección del emplazamiento se considerarán entre otros:
  - Condiciones topográficas favorables para la construcción
  - Distancia del depósito de estériles de mina.
  - Tamaño, superficie y altura.
  - Geología de los terrenos a ocupar.
15. El objetivo principal de la fase de elección del emplazamiento es identificar el lugar más adecuado para construir el depósito de desmontes, tomando en consideración los costos de construcción y de operación, el impacto ambiental, el riesgo, la utilización de recursos y la viabilidad técnica.
16. Fase de investigación del emplazamiento y caracterización de los materiales estériles.- Esta fase tiene como finalidad obtener la suficiente información acerca de las propiedades geotécnicas

del área a ocupar y, también, de los estériles a depositar. Los trabajos de campo son esenciales para la obtención de muestras a ensayar en laboratorio e in situ, ya que en función se establecerán las líneas básicas de diseño y control.

17. Los trabajos se deben centrar en la caracterización de los materiales de recubrimiento, con la determinación de sus parámetros resistentes y de drenaje; la caracterización del macizo roe sustrato, con definición de su litología, grado de meteorización, diaclasado, permeabilidad, capacidad portante.
18. Para ambos tipos de materiales, si se requiere, se estudiará su excavabilidad y también la erosionabilidad de los suelos y la idoneidad de éstos, como materiales de drenaje y como sustrato para la recuperación final de los terrenos.
19. La investigación hidrogeológica se dirigirá a evaluar el impacto potencial de los estériles sobre las aguas superficiales y subterráneas. En particular se deben estudiar los caudales de infiltración, la calidad de los mismos, las características de los acuíferos potencialmente afectados, etc.
20. En cuanto a la caracterización de los estériles rocosos, se centra en determinar sus propiedades físicas y químicas.
21. Fase de diseño.- En esta fase se definen la geometría de los diques de contención o estructuras iniciales, si los hubiera; los materiales constituyentes y sus especificaciones; los sistemas u

obras de desagüe, dispositivos de drenaje y control de las filtraciones; la necesidad de tratamiento o impermeabilidad la infraestructura necesaria, etc.

22. Se debe incluir una planificación de la construcción de la desmontera a lo largo de su vida, determinándose los ritmos de elevación o recrecimiento, los diseños parciales, los dispositivos de seguridad o emergencia, el método de operación, la infraestructura, etc.
23. Los estudios de estabilidad tendrán en cuenta las siguientes situaciones: inestabilidad, inestabilidad local, erosión superficial y posibles deformaciones, así como la aparición de eventos externos como los sismos, lluvias, etc.
24. Se debe redactar un Manual de Operación, cuyos capítulos básicos serán: circuito de transporte, práctica operativa de vertido, seguimiento y control de parámetros, medidas de seguridad y plan de emergencia y abandono.
25. Antes de iniciarse la fase de construcción se debería abrir un Libro de Registro de la Escombrera en el que la empresa reflejará todas las incidencias relevantes en las sucesivas fases de la vida del depósito.
26. Fase de construcción; trabajos preparatorios y de puesta en marcha.- En esta fase los objetivos básicos son velar por el cumplimiento del diseño proyectado y las especificaciones

definidas de los materiales, así como garantizar la seguridad de todas las obras o componentes de la estructura para que funcionen adecuadamente durante el período de explotación.

27. Se debe de poner especial atención en la preparación y tratamiento de los terrenos del cimiento, construcción de drenajes, etc.
28. En aquellos casos que se requiera impermeabilización del cimiento del depósito de desmontes, el titular debe demostrar el cumplimiento de las especificaciones técnicas definidas y la integridad de dicha impermeabilización, también se debe de designar a un técnico competente que ejercerá las funciones de director facultativo en la fase de construcción y estar encargado en la dirección de la obra y que en ella se cumplan las condiciones de seguridad previstas. Además se comunicara a la autoridad minera antes de la iniciación de los trabajos, el nombre y número colegiatura del ingeniero residente.
29. El director debe comprobar que los materiales utilizados, los métodos de utilización, las dimensiones de las obras y la maquinaria empleada cumplen las previsiones del proyecto y las exigencias de la reglamentación vigente y que se ejecutan con la calidad requerida.
30. Fases de explotación u operación.- En esta fase los objetivos se concretan en: garantizar la seguridad y estabilidad de las escombreras conforme al diseño aprobado, trabajar de acuerdo

al manual de operación y con las exigencias legales, cumplir con los requerimientos medio ambientales e intentar alcanzar la situación final prevista para el abandono y clausura.

31. Fase de abandono y clausura.- Comprenden las actividades que permiten garantizar la seguridad de los elementos de riesgo dentro del proyecto de una nuevo botadero, que en estrecha relación con el programa de restauración y plan de vigilancia y control ambiental, adicionalmente se debe presentar un estudio de abandono y clausura del botadero. Con la antelación suficiente a la finalización del periodo de explotación de la desmontera.
32. Fase de mantenimiento y control posterior a la clausura.- en esta fase de deben vigilar y conservar todas las estructuras que componen el botadero, teniendo siempre ubicados y dispuestos los aparatos de control, medida y monitoreo siempre limpios y expeditos los canales y zanjas de coronación y de protección, etc.
33. Antes de la época de lluvia se debe de realizar una inspección general las roturas, deformaciones, desprendimientos, etc.  
(López y Otros, 2006, pp. 5-8).

Figura N° 4. *Vertido directo de estériles con camiones volquetes.*



### **Presupuesto**

Este documento incluirá la descripción de las distintas partidas con sus respectivos precios unitarios, la valorización de los estudios a realizar y el costo total de proyecto. (López y Otros, 2006, p. 8).

### **Planos**

Los planos serán confeccionados a escala t forma que permitan definir detalles de las obras y las características del área en la que se va ubicar el deposito, así como su entorno los planos se realizaran en las siguientes escalas adecuadas: 1:25,000 ó 1:10,000 en lo relativo a situación general y 1:5,000 ó 1:2,000 en lo relativo a planos del perímetro y 1:1,000 en lo relativo a todos los estudios técnicos para la obra considerando una zona perimetral al menos 500 m alrededor del botadero. Además se realizaran planos taquimétricos a escala 1:500 para las zonas donde se pretenda trabajar la desmontera por un período mínimo de 5 años. (López y Otros, 2006, p. 8).



### **Cálculos de estabilidad**

Los proyectos de escombreras deberán ir acompañados por los cálculos de estabilidad adecuados en cada caso, empleando los métodos que se consideren más apropiados y que debidamente justificados por el proyectista. Se definirán la desmontera por su grado de estabilidad, coeficiente de seguridad y riesgo potencial y se justificarán los cálculos de estabilidad con los coeficientes de seguridad establecidos. (López y Otros, 2006, p. 9).

### **Anexos**

El proyecto irá acompañado del conjunto de anexos que se describen a continuación. Su amplitud y alcance dependerá de la problemática estudiada y de su importancia e incidencia en la solución propuesta. En conjunto, todos estos estudios servirán para definir la geometría del depósito estabilidad, su impacto ambiental e influencia en el entorno, etc.

#### **A. Geología y geotecnia del sustrato.**

- Se realizará un estudio detallado del emplazamiento del depósito de estériles y de toda su zona influencia incluyendo tanto el sustrato de fondo como los taludes rocosos laterales. Se incluye cartografías de superficie así como otras obtenidas por medios geofísicos o mecánicos que pen definir con exactitud todos los aspectos geológicos. El estudio incluirá:

- Descripción y cartografía geológica detallada de la zona de asentamiento y de influencia del depósito, definiendo las características litológicas de los terrenos existentes así como variaciones laterales. Planos a 1:500 a 1:2 000.
- Cartografía, distribución y composición de los terrenos de alteración superficial. Planos a 1 a 1:2 000.
- Realización de campañas geofísicas, si éstas son necesarias, que permitan conocer la distribución y espesor de materiales alterados, zonas húmedas, acuíferos, etc.
- Estudio estructural de detalle del macizo rocoso con indicación de los sistemas de fractura existentes, penetratividad de los mismos, rellenos y alteración de los planos de fractura, posibilidad de circulación de aguas, etc. Planos a escala 1:500 a 1:2 000.
- Realización de campañas de sondeos, si éstas son necesarias, definiendo el número y tipo de sondeos, longitud y diámetro.
- Realización de ensayos de laboratorio más indicados para el estudio de las muestras.
- En lo posible se procurar que las obras de reconocimiento puedan ser incorporadas a la obra definitiva, sirviendo de elementos de control y vigilancia para registros posibles

anomalías en el comportamiento del terreno, en las filtraciones, niveles freáticos, etc.

## **B. Estudios geotécnicos y de estabilidad del depósito**

- Se justificara, mediante estudios geotécnicos, las estabilidad de los taludes del depósito, tanto los temporales como los finales, y las soluciones constructivas a adoptar con bermas y plataformas
- La importancia del estudio será función de los condicionantes geométricos y de la posible incidencia sobre las instalaciones, infraestructuras, etc. Se justificará la estabilidad de las escombreras creadas tanto por la resistencia como por su propio diseño y ubicación.
- En el estudio de estabilidad y resistencia de la escombrera proyectada, la utilización del método formación de la escombrera tiene importancia sobre la homogeneidad y estabilidad de la misma, En este sentido se admitirá el vertido directo desde camión o desde cinta en escombreras de manto o de pequeña envergadura, y cuando no exista riesgo de daños al pie por rodadura de piedras

## **C. Estudio hidrogeológico y climatológico**

- Si existe agua en el macizo rocoso donde se va a instalar el depósito o en la propia escombrera; o bien ésta se ubique en la proximidad de un curso de agua permanente o pueda dar lugar a

la recepción y almacenamiento importante de agua, se realizará un estudio hidrogeológico adecuado a cada caso que analice los problemas relativos a circulación de aguas, estimación caudales de agua que puedan circular o deban ser evacuados, riesgo de contaminación de acuíferos, aportes de agua, presiones hidrostáticas, etc.

- Es recomendable la realización de una modelización digital del terreno y análisis de cuencas vertientes que permitan conocer la incidencia de los grandes depósitos de estériles sobre la circulación regional de las aguas.
- Como parte de estos estudios deberán recogerse datos históricos sobre la climatología de I o disponer de medios técnicos para la toma de los mismos. Estos datos deben resumirse en regionales, y en ellos se incluirá todo lo relativo a la pluviometría y termometría regional, los c de evapotranspiración, infiltración, lluvia útil, nieve, régimen de vientos, etc.

#### **D. Estudio de subsidencia**

- Aunque debe evitarse la implantación de escombreras sobre zonas de eventual explotación subterránea, o sobre aquellas que pueden verse afectadas por subsidencia, no siempre es por lo que deben realizarse unos estudios que permitan conocer la cuantía total de la subsidencia tanto en hundimientos como en deformaciones. Planos 1:500 a 1:1,000.

- La relación de las escombreras de superficie con las labores subterráneas en planificadas, y con los macizos de mineral explotados, en explotación o previstos. Planos 1:500 a 1:1,000.
- La malla de hitos topográficos para conocer la evolución de las subsidencias en aquellas zonas más sensibles.

#### **E. Estudio sismo resistente**

- En aquellos casos en que las escombreras se sitúen en zonas de especial susceptibilidad se realizarán estudios sismo resistentes que permitan conocer la influencia de estos fenómenos en la estabilidad del depósito.
- Si existen explotaciones mineras cerca de la escombrera, se estudiará la influencia vibraciones producidas por las voladuras pueden ejercer en su estabilidad.
- En ambos casos se adjuntaran planos a escala regional sobre la sismicidad y planos de detalle sobre la influencia de la voladura.

#### **F. Materiales de vertido, propiedades y características**

- geotécnicas
- Se deberán describir los siguientes aspectos referidos a los materiales que van a ser vertidos:
- Características generales de los materiales de vertido:
- Procedencia de los materiales de vertido

- Volúmenes esperables y ritmo de vertido
- Tipo de transporte previsto
- Duración de la fase de vertido
- Tipos de materiales, descripción de los mismos, composición, litología, etc.
- Propiedades físico químicas de cada material vertido:
- Porcentaje sobre el total de vertidos
- Descripción desde el punto de vista de la seguridad
- Propiedades del material necesarias para el cálculo de la estabilidad:
- Densidad aparente en el deposito
- Estados de agregación
- Granulometría y grado de compactación
- Porcentaje de finos naturales obtenido por compactación por meteorización
- Humedad inicial y final debido a la permeabilidad y drenaje
- Cohesión y ángulo de rozamiento
- Alterabilidad

- Con el paso del tiempo, los materiales depositados en la escombrera sufren una degradación o reducción de tamaños por la acción mecánica, presiones, impactos, etc., de los procesos de vertido. Además, según la naturaleza de la roca, la acción de los agentes climáticos produce una meteorización que se traduce en transformaciones químicas, desintegración y fragmentación
- En lo que respecta a la degradación mecánica, juega un papel importante la resistencia de la roca; ya que rocas blandas, friables o deleznales se disgregan rápidamente bajo las ruedas ; y tractores de orugas. En el caso de bloques grandes bastan los impactos de vertido para que se formen trozos del orden de la cuarta parte del tamaño inicial. La intensidad de la degradación es menor en materiales graduados o cuando el porcentaje de finos es mayor del 25%
- Alteraciones químicas previsibles que puedan incidir negativamente en la estabilidad del de que dañen su estructura o que produzcan lixiviados contaminantes:
- Grado de compactación
- Sustancias alcalinas presentes
- pH
- Óxidos de hierro
- Sulfatos cálcicos y sódicos que pueden afectar al hormigón.

- Parámetros químicos que pueden afectar a la revegetación, tales como oxidación, formación de ácidos, calor, humedad y superficie de contacto del material con el aire
- También se estudiarán las alteraciones químicas que influyan positivamente en la estabilidad; como la cristalización o la cementación.
- En el recrecimiento de escombreras, se estudiarán todas las circunstancias geotécnicas del material ya vertido que le sirva de base, sobre todo su compactación y grado de estabilidad. F debe realizarse de la forma más homogénea posible, por capas horizontales no supe metro o lo previsto en el posible sistema de compactación. Debe evitarse adosar montones o plataformas mucho más altas, ya que puede dar lugar a zonas flojas.
- Los escombros finos, plásticos, estériles de lavadero o recubrimiento arcillosos deben de depositarse en zomnas encajadas, de estabilidad asegurada o en las partes más retranqueadas de la escombrera, a distancias no inferiores al 70% de la altura. Debe procurarse no crear bolsadas blandas de más de 3 metros de espesor en una a misma vertical, repartiendo los estériles de la forma más discontinua.
- Si entre los escombros apareciesen esporádicamente elementos finos arcillosos, se evitara verterlos en vaguadas o zonas deprimidas, ya que, al cortar el drenaje



vertical en estas zonas de gran acumulación de agua, el flujo hacia los taludes puede crear problemas de inestabilidad.

- En caso de existir escombros finos degradables, debe evitarse la formación de blandones en las plataformas que puedan dar a lugar a charcos o acumulaciones de agua.

#### **G. Medidas de seguridad**

- Las medidas de seguridad previstas se definirán en unas Disposiciones Internas de Seguridad que mínimo, tengan los siguientes apartados:
- Memoria descriptiva de los procedimientos, equipos técnicos y medios auxiliares que se deban utilizar cuando los riesgos laborales que no puedan eliminarse y especificando y valorando las medidas preventivas y protectoras. Los riesgos más habituales son los siguientes:
- Caída de maquinaria pesada y camiones por el talud. Definición de taludes, ancho de pistas, capas antideslizantes, drenajes, etc.
- Rodadura de bloques a grandes distancias talud o ladera abajo. Definición de distancias y medidas de seguridad a infraestructuras, edificios, etc.
- Vertido de bloques sobre personas que circulan por la zona inferior de los taludes.
- Choques de los equipos por maniobras mal coordinadas.

- Problemas de movilidad de equipos trabajando sobre taludes, zonas blandas, etc.
- También se describirán los servicios sanitarios en función del número de trabajadores.
- No se permitirá el cruce de maquinarias por debajo de líneas eléctricas aéreas, salvo los puntos especialmente preparados para ellos.
- Se mostrara especial precaución en las operaciones de excavación de zanjas, apertura de caminos, actividades cercanas a conducciones de agua, etc., cuando estas operaciones tienen lugar al pie de las escombreras situadas sobre laderas en las que pueden inducirse deslizamientos. En ningún caso se podrán excavar zanjas a menos de 3 m del pie de la escombrera, o a menos de 1.5 veces el espesor del suelo susceptible de fluencia.
- No se deberá superar en cada banco o tongada la altura alcanzable por las palas o excavadoras. En el caso de escombreras muy altas el trabajo debe hacerse por bancos, de arriba dejando bermas cada 10 m. aproximadamente.
- En cualquier escombrera en la que se aprecien grietas o deformaciones indicativas de deslizamiento profundo, se paralizarán inmediatamente las operaciones de vertido e afectada, estableciendo unos piquetes de delimitación y realizando observaciones sistemáticas de movimientos,

evolución de grietas, etc. Si el deslizamiento fuera inminente y pudiera ocasionar daños graves, se darán los oportunos avisos y órdenes de desalojo, realizando las contención, drenaje o estabilización que permita la evolución de los movimientos.

- Pliego de condiciones particulares en el que se tendrán en cuenta las normas reglamentarias aplicables, así como las prescripciones a cumplir relativas a las caracterización, utilización y conservación de las máquinas, útiles, herramientas, sistemas y equipos preventivos
- Planos en los que se desarrollarán los gráficos y esquemas necesarios para la mejor y comprensión de las medidas preventivas definidas en la memoria.
- Mediciones de todas aquellas unidades o elementos de seguridad y salud en el trabajo
- Presupuesto que cuantifique el conjunto de gastos previstos para la aplicación y ejecución de estudio de seguridad.

#### **H. Estudio de Impacto Ambiental**

- En aquellos casos en que sea preciso, se realizará un Estudio de Impacto Ambiental EIA, que contemplarán todas las medidas oportunas para el control y disminución de dicho impacto y la recuperación posterior del depósito.

## **I. Mantenimiento y Control de la Escombrera**

- En la fase de proyecto, el promotor de la instalación debe definir un plan de mantenimiento de la escombrera en función de las características de la misma que abarcará un período de cinco años. Este plan de control debe garantizar la estabilidad del depósito, la ejecución del proyecto de restauración, la minimización del impacto ambiental, etc., de forma que se alcance la integración del depósito en el entorno de la zona en el período considerado.
- El plan de control debe definir las magnitudes que serán objeto de control, tanto permanente como periódico. En ambos casos se detallara y justificara la instrumentación a instalar en la escombrera: Tipo de sensores, ubicación frecuencia de toma de datos, etc. (López y Otros, 2006, pp. 9-13).

### **Proyecto de abandono**

Dentro del proyecto instalación se hará una memoria con una estimación o anteproyecto de abandono definitivo que incluirá todos aquellos aspectos técnicos que se provean de utilidad (Topografía final, Controles; desagües finales, etc.). (López y Otros, 2006, p. 14).

#### **2.2.4. Granulometría**

La granulometría de los estériles tiene una influencia directa sobre la permeabilidad y la resistencia al corte. Por lo general, los materiales

gruesos con pocos finos (menos del 10 % de Malla 200) tienen buena resistencia y alta conductividad hidráulica.

El tamaño de los estériles de las escombreras depende de una serie de factores como: litología, dureza, discontinuidades del macizo rocoso, técnica de arranque y/o voladura, manipulación y transporte, método de vertido, etc. La granulometría puede variar con el tiempo debido a que los materiales experimentan cambios físicos y químicos al entrar en contacto con el aire y el agua (oxidación, heladas, esponjamiento, meteorización y otros).

Para caracterizar los materiales de una escombrera, es necesario obtener su curva granulométrica y determinar el tamaño máximo de partículas, así como realizar un análisis en laboratorio de la fracción fina. Un método más exacto para determinar la granulometría consiste en hacer un cribado en campo de todos los materiales que se vierten en la escombrera, pero es poco empleado porque su coste es muy alto.

Cuando el porcentaje de finos es superior al 10 %, éstos controlan o tienen gran influencia sobre las propiedades de los materiales vertidos en la escombrera (resistencia al corte, conductividad hidráulica, grado de oxidación, formación de aguas ácidas, etc.).

Se recomienda realizar muestreos periódicos a todo el material que se vierte en la escombrera para verificar la granulometría y determinar las variaciones en función al área de explotación y la técnica de arranque de roca empleada, entre otros.

La granulometría está muy relacionada con el fenómeno de la segregación, producido cuando los estériles transportados con camión o pala se vierten en la cresta del talud. Es muy habitual utilizar la fracción gruesa generada en la segregación natural, y que se acumula en el pie del talud, como método de drenaje del agua de las escombreras. Para determinar la capacidad de drenaje se deberá conocer tanto la cantidad como el tipo de material segregado. Esta operación es difícil de realizar debido a la gran variabilidad de los tamaños y formas de las rocas que impide una medida homogénea de las mismas. En general, en la segregación que se produce en un talud se pueden distinguir tres zonas:

- La concentración de finos en la cresta del talud.
- Una distribución uniforme de material de tamaño intermedio en el resto del talud hasta el pie.
- Una amplia dispersión de material grueso que se extiende más allá del pie del talud.

Internamente, la escombrera está compuesta de una serie de capas paralelas a la cara de vertido donde, alternativamente, se suceden las compuestas por granos finos y las de granos gruesos. (López y Otros, 2006, Pp. 29-30).

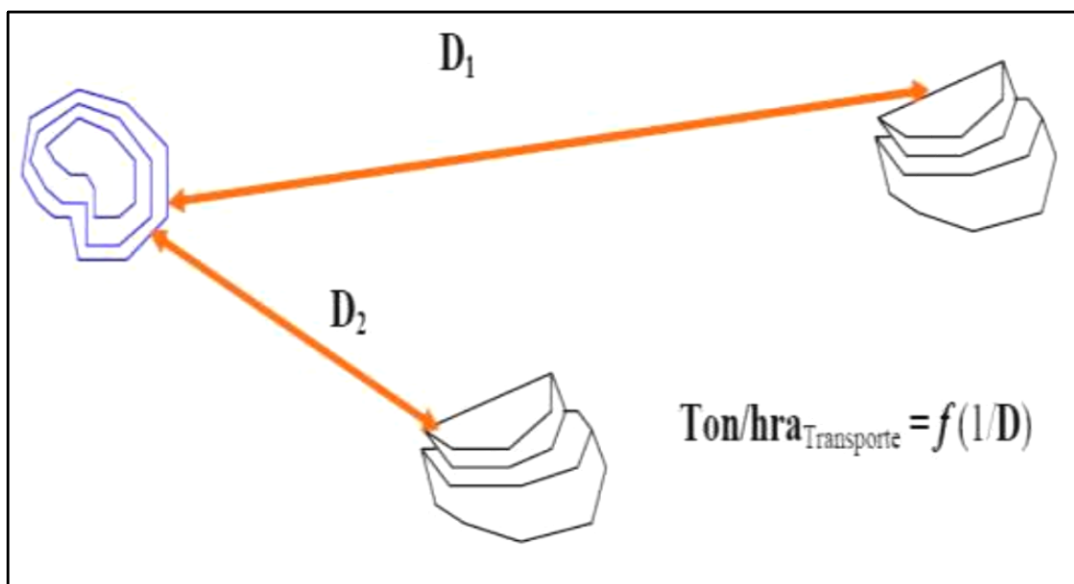
### 2.2.5. Construcción de un botadero

El material estéril extraído de la mina, debe ser dispuesto en lugares específicos y adecuados para este fin, por lo que tendremos que definir las características de estos lugares.

Un buen lugar para un botadero lo constituirá el sector que cumpla de mejor manera todas las exigencias para su habilitación, tanto técnicas como económicas, de las cuales podemos mencionar las siguientes:

La distancia entre el punto de carga de los camiones en la mina y el lugar de descarga del material estéril (o botadero) debe ser la mínima posible, por una razón económica, ya que el rendimiento de los equipos de transporte es afectado por esta distancia. (Ortiz, 2016, p.4).

Figura N° 5. Distancias entre caminos de carga



Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

El lugar donde se depositarán el material estéril debe ser geológica y geomecánicamente apto para ello, ya que la gran cantidad de material a depositar puede generar siniestros geomecánicos en el sector mismo (hundimiento) o en sectores aledaños (distribución de esfuerzos).

El sector elegido debe carecer de importancia económica en el presente y en un futuro, es decir hay que comprobar la inexistencia de recursos utilizables en el sector (por ejemplo un yacimiento con bajo interés económico hoy, pero que puede ser interesante en el futuro, o una reserva importante de agua, etc.).

La utilización del sector elegido no debe significar un daño ambiental real o potencial, lo cual se garantizaría con un adecuado estudio al respecto. (Ortiz, 2016, pp.5-6).

#### **2.2.6. Disposición de botaderos en laderas**

Comúnmente se disponen los residuos minerales en las laderas de los cerros circundantes a la explotación, más que nada por razones de simplicidad en la descarga, mantención y estabilidad, además que se encuentra disponible un mayor espacio para la actividad y ésta se puede realizar de una manera más uniforme. (Ortiz, 2016, p. 6).



Figura N° 6. Botadero en Laderas.

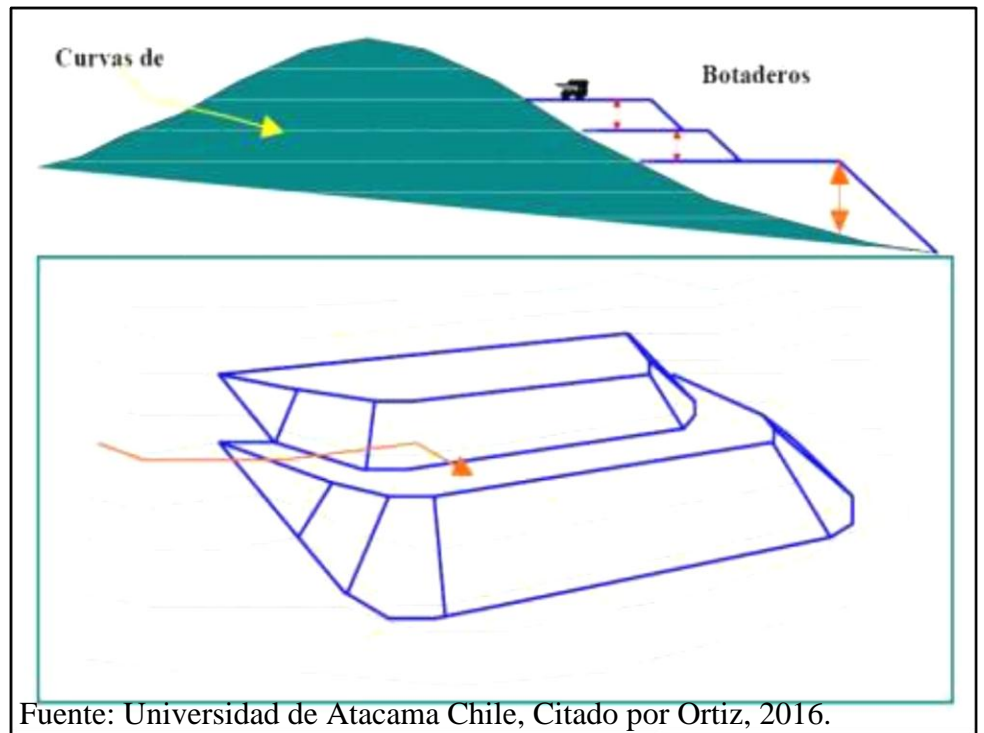
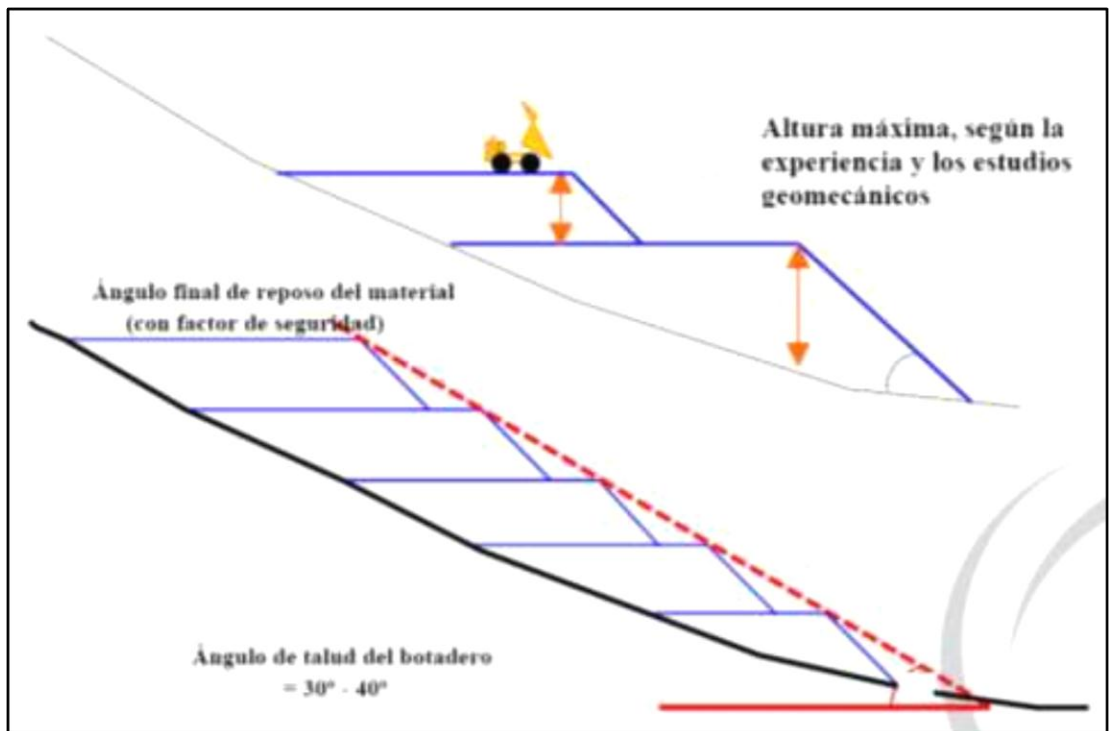


Figura N° 7. Alturas máximas de botadero.

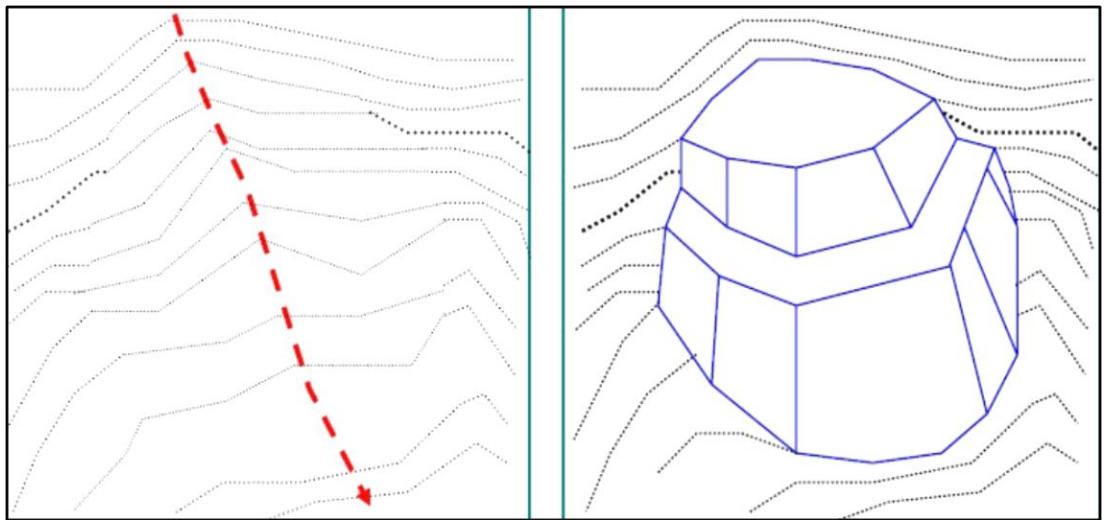


Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

### 2.2.7. Disposición de Botaderos en quebradas

La disposición de material estéril en quebradas solo podrá realizarse en casos que esta actividad no represente un riesgo real o potencial, lo cual se lograría con un adecuado estudio del sector, teniendo precaución con los cauces de aguas que pudiesen ser afectados. (Ortiz, 2016, p. 8).

Figura N° 8. Botadero en Laderas

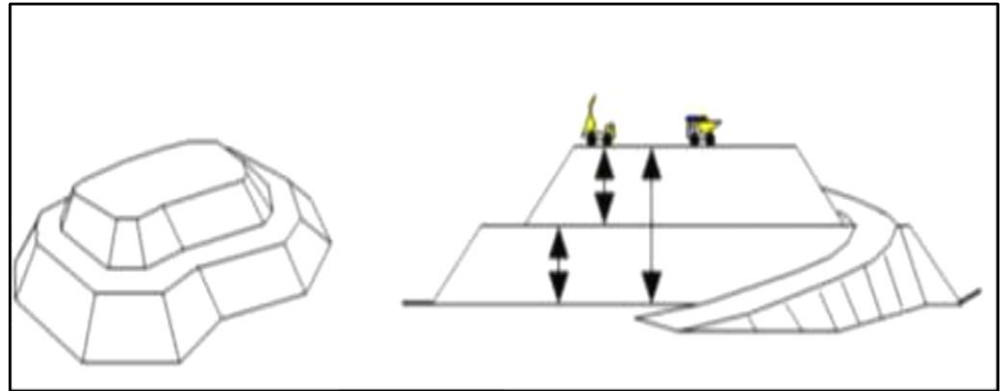


Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

### 2.2.8. Disposición de Botaderos en pilas o tortas

Existen casos en que no se dispone de laderas cercanas en que se puedan depositar los materiales estériles, por lo que se debe recurrir a la construcción de pilas o tortas de acopio. En este caso debe considerarse la construcción o habilitación permanente de accesos sobre la pila misma, a diferencia de la disposición en laderas en que parte de los accesos se habilitan en los mismos cerros. (Ortiz, 2016, p. 8).

Figura N° 9. Botadero en pilas o tortas.

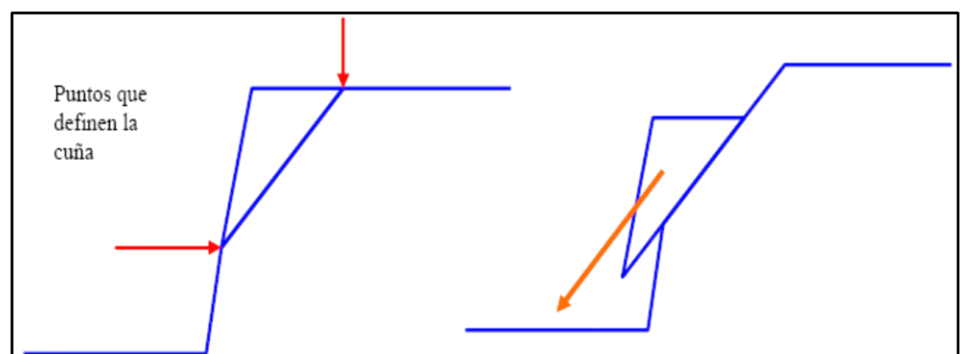


Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

### 2.2.9. Colapso en los bordes del Botadero

Los colapsos en las caras de material compacto, como en el caso de los bancos construidos en roca, se producen en función de las estructuras presentes y por lo general son predecibles, ya que la mayor parte de las veces dichas estructuras son debidamente mapeadas y tienen algún grado de presencia en la superficie, por lo que se puede estimar, prevenir y controlar la ocurrencia de un evento de inestabilidad. (Ortiz, 2016, p. 8).

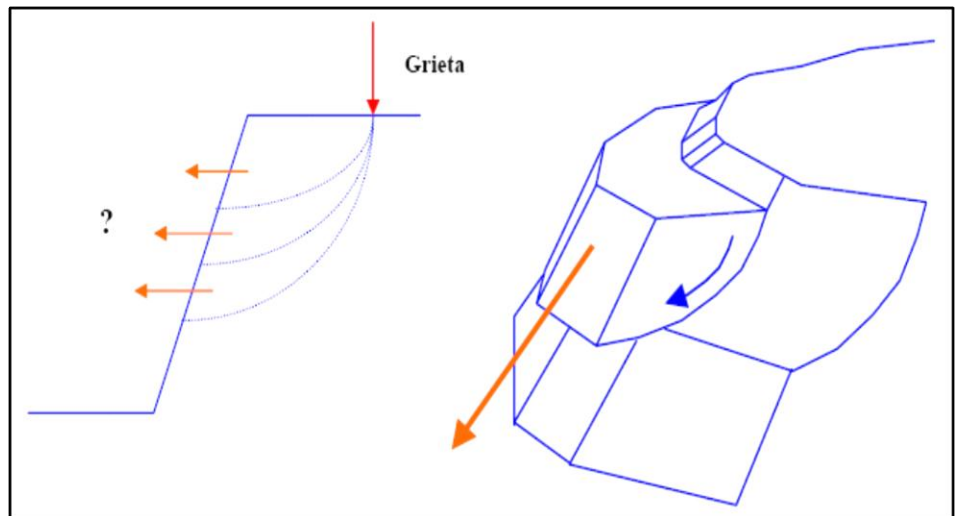
Figura N° 10. Colapso de botaderos



Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

Para el caso de los depósitos de material no compacto o suelto, se pueden apreciar ciertos indicios de inestabilidad en superficie, pero lamentablemente no siempre se puede determinar el volumen afectado por dicha inestabilidad, debido a que la cara por la cual se deslizaría el material inestable no es recta sino curva. (Ortiz, 2016, p. 9).

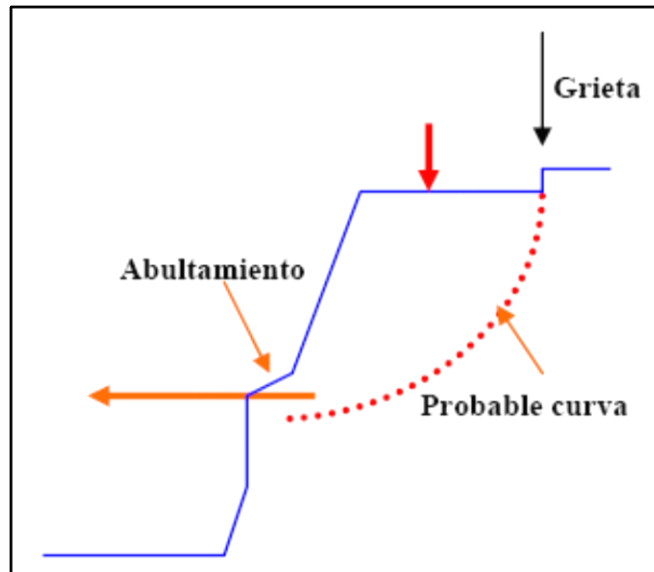
Figura N° 11. Botadero con material no compactad.



Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

En algunas ocasiones puede apreciarse en el talud algún indicio de la inestabilidad y de ese modo estimar la curva de deslizamiento, e incluso evitarlo con algún tipo de acción. Este indicio por lo general luce como un levantamiento de la superficie del talud. (Ortiz, 2016, p. 10).

Figura N° 12. Botadero con inicio de inestabilidad.



Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

#### 2.2.10. Mantenimiento de Botaderos

Para evitar la situación descrita anteriormente, debemos atacar el punto crítico del asunto, la compactación, ya que así podemos lograr que nuestro material suelto llegue a ser lo más parecido posible a un material compacto, consiguiendo una mejor estabilidad global.

La compactación se puede realizarse de distintas maneras, en función de los recursos con que se disponga, pero generalmente se recurre al apoyo de equipos como los Bulldozers y wheeldozer, no siendo muy común observar rodillos compactadores en estos sectores aunque la presencia de estos sería de gran utilidad. Debemos tomar en cuenta que la densidad con que llega y se deposita el material es de 1,92 ton/ m<sup>3</sup> (para una densidad in situ de 2,7 ton/ m<sup>3</sup>), una buena compactación o mantención de un botadero tendría que permitir alcanzar densidades de 2 a 2,1 ton/ m<sup>3</sup>, es decir un incremento del 9%

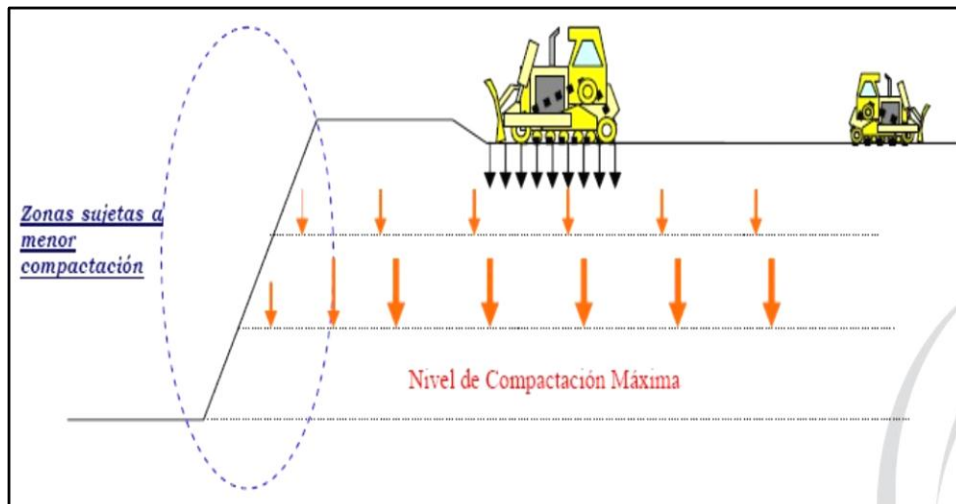
respecto a la densidad con que llega al depósito o un 78% del valor de la densidad in situ. Debemos notar que esto depende de la granulometría, el grado de esponjamiento con la cual llega el material a los botaderos y obviamente de la calidad de la mantención del depósito. Puede que la densidad en los niveles inferiores del depósito sea mayor por la presión que ejerce la pila de material dispuesto encima de este nivel, por lo que se podría esperar un comportamiento decreciente de la densidad en función de la altura.

Otro punto importante que debemos destacar es que a pesar de que no se pueda lograr la máxima compactación con los equipos en comparación a la compactación lograda por la presión de los miles de toneladas sobre una capa de este mismo botadero, es de suma importancia lograr uniformidad en la compactación realizada por los equipos, ya que mientras más homogéneo sea el comportamiento de la densidad por niveles dentro del depósito, más seguro se torna la operación sobre el botadero y se garantiza así la estabilidad general de la pila de material. Si existiesen discontinuidades dentro del depósito, lo más probable es que si ocurriese una falla, o un problema ese sería el punto por donde se manifestaría dicha situación, independiente de que sea o no la causa de ello.

Por ejemplo, si un sector se encuentra mal compactado y ocurre un evento sísmico de proporciones, lo más probable es que si hay algún tipo de colapso o daño en la pila de material, éste daño tendría relación

al sector antes mencionado sin ser este el causante del evento sísmico.  
(Ortiz, 2016, pp. 10-11).

Figura N° 13. *Compactación de Botadero.*



Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

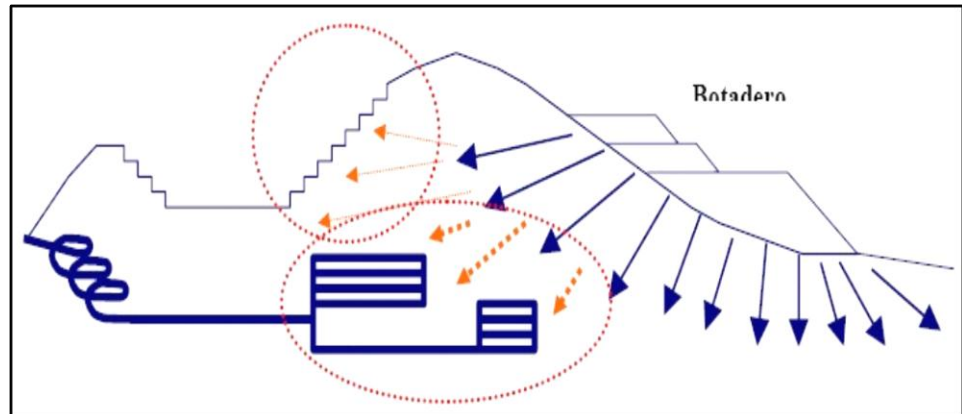
### 2.2.11. Presión ejercida sobre el terreno por el Botadero

Dentro de los efectos que produce la presencia de un gran volumen de material en un lugar donde antes este no existía, está el efecto de la presión sobre el terreno. Es por ello que dentro de las consideraciones para la selección de un lugar para la disposición de este material se debe incluir un estudio detallado de las condiciones del sector, para definir si el terreno será capaz de soportar sin problemas la disposición del estéril.

Es importante destacar que ha habido casos en que al encontrarse los botaderos muy cercanos a la explotación de la mina, se han detectado algunas anomalías en el tajo (o en minas subterráneas)

producto de la presión ejercida por los depósitos de estéril. (Ortiz, 2016, p. 11).

Figura N° 14. *Presión ejercida sobre el terreno*



Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

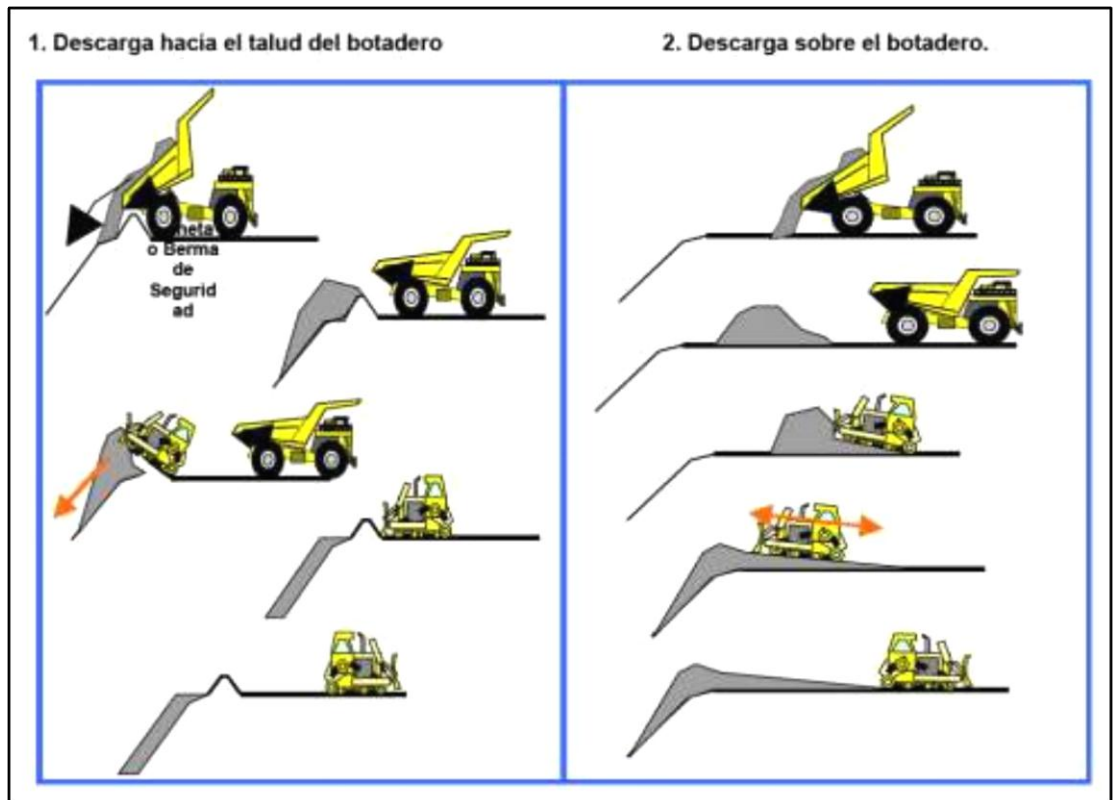
### 2.2.12. Operación en botaderos

Básicamente la descarga se realiza en las cercanías del borde del botadero, teniendo en cuenta que debe existir una distancia prudente para evitar accidentes durante y después de la operación.

Para ello no basta con la operación solitaria y cuidadosa del operador del camión que descargará, sino que se requiere la operación conjunta de otros equipos de apoyo como los bulldozers y/o wheeldozeres, los cuales procederán a realizar su acomodamiento y a la construirán la cuneta de seguridad una vez descargado el material. (Ortiz, 2016, pp. 10-12).



Figura N° 15. Descarga de botadero



Fuente: Universidad de Atacama Chile, Citado por Ortiz, 2016.

### 2.2.13. Métodos de Clasificación del Macizo Rocoso.

Debido a la complejidad que presentan los macizos rocosos, diversos autores han intentado establecer sistemas de clasificación del mismo. Muchos de estos métodos han sido mejorados subsecuentemente, sin embargo la mayoría de estos se basa en observaciones cualitativas y por ello se hace muy importante una interpretación correcta, y experta, de las observaciones en terreno. Se presenta a continuación una revisión de los más importantes para minería a cielo abierto: RQD, RMR, MRMR, GSI y SMR. (Morales, 2009, p. 5).

## A. RQD - Deere (1967)

El índice RQD (Rock Quality Designation) se define como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud en su eje, sin tener en cuenta las roturas frescas del proceso de perforación respecto de la longitud total del sondeo. Para determinar el RQD en el campo o zona de estudio de una operación minera, existen tres procedimientos de cálculo.

- **A partir de sondajes:** se calcula midiendo y sumando el largo de todos los trozos del testigo mayor que 10 cm en el intervalo de testigo de 1.5 m. a partir de los testigos obtenidos en la exploración.
- **A partir del mapeo de celdas geotécnicas:** comprende el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro, determinadas al realizar el levantamiento litológico-estructural (detail line) en el área o zona predeterminada de la operación minera.
- **Tercer procedimiento:** se hace el cálculo del RQD en función del número de fisuras por metro cúbico ( $J_v$ ), determinadas al realizar el levantamiento litológico - estructural en el área o zona predeterminada de la operación minera. Esto se usa para voladura y queda establecido de acuerdo a la relación entre RQD y  $J_v$ . (Morales, 2009).

## **B. RMR - Bieniawski (1989)**

Bieniawski (1976) publicó una clasificación del macizo rocoso denominada Clasificación Geomecánica o Sistema Rock Mass Rating (RMR). Posteriormente este sistema ha sido mejorado hasta llegar a la versión de clasificación de Bieniawski (1989).

Los siguientes 6 parámetros son utilizados para clasificar un macizo rocoso usando el sistema RMR de Bieniawski (1989):

1. Resistencia a la compresión uniaxial: (Determinada en laboratorio y ensayos de carga puntual en terreno).
2. Valor del RQD: (Se asigna desde puntaje de 20 si este índice es mayor a 90% hasta 3 si es menor a 25%).
3. Espaciamiento de discontinuidades: (Se asume que la roca tiene 3 conjuntos de fracturas y se utiliza el sistema más relevante).
4. Condición de discontinuidades: (Descripción de “aspereza” de la superficie y del material de relleno. Se usa el más liso y desfavorable).
5. Aguas subterráneas: (De acuerdo al flujo de agua en excavación subterránea (si está disponible) o la presión de agua en discontinuidades. Se puede usar también el testigo).

6. Orientación de discontinuidades: (Determinada mediante cámaras en sondajes y/o mapeo de piques).

La clasificación final por este método se realiza en intervalos de 20 puntos comenzado por 100 y hasta llegar a 0. Es decir son generalmente usados 5 intervalos, los que también pueden ser denominados con números romanos del I al V en calidad ascendente, para clasificar el macizo rocoso. (Morales, 2009, pp. 7-8).

### C. MRMR - Laubscher (2000)

Laubscher desarrolló un sistema de clasificación basado en el RMR de Bieniawski (de ahí el nombre de MRMR, Modified Rock Mass Rating) que categorizaba desde 0 (muy mala) a 100 (muy buena), tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N° 1. *Clasificación según MRMR.*

Calidad del Macizo	Clase	MRMR
Muy mala	5	0-20
Mala	4	21-
Regular	3	41-
Buena	2	61-
Muy buena	1	81-

Fuente: Morales, 2009.

El método cambia la valoración de algunos parámetros y altera la determinación del espaciamiento de las discontinuidades con respecto a su predecesor. Además considera los esfuerzos in situ e inducidos y los efectos en el macizo producto de la tronadura y su alteración por exposición

de la roca fresca al ambiente. Cabe destacar que las modificaciones fueron hechas inicialmente para condiciones en minas de Block Caving. (Morales, 2009, pp. 7-8).

**D. Q - Barton (1974)**

Barton (1974) del Norwegian Geotechnical Institute, definió el Índice de Calidad de Túneles (Q) para la caracterización geotécnica del macizo rocoso y para la determinación del sostenimiento requerido para túneles. Los valores numéricos del Índice Q varían en escala logarítmica desde 0,001 hasta 1.000, y se obtienen a través de parámetros que se relacionan a través de la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{Ec.....1}$$

Dónde:

RQD : Índice de calidad de roca.

Jn : Número de sistemas de discontinuidades.  
(Joint Set Number).

Jr : Número de rugosidad de discontinuidades.  
(Joint Roughness Number).

Ja : Número de alteración de las discontinuidades.  
(Joint Alteration Number).

$J_w$  : Factor de reducción por agua.

(Joint Water Reduction Factor).

SRF : Factor de reducción por esfuerzos.

(Stress Reduction Factor).

Para explicar el significado de los parámetros usados para determinar el valor de  $Q$ , Barton propone que el primer cociente ( $RQD/J_n$ ), representa la estructura del macizo rocoso, como una medida rudimentaria del tamaño de los bloques o de las partículas. El segundo cociente ( $J_r/J_a$ ), representa la rugosidad y las características de fricción de las paredes de las discontinuidades o de los materiales de relleno. El tercer cociente ( $J_w/SRF$ ) consiste de 2 parámetros de esfuerzos. El SRF es una medida de: 1) la pérdida de carga en el caso en una excavación a través de una zona de falla y de roca con altos contenidos de arcillas; 2) los esfuerzos en roca competente; las cargas compresivas en rocas plásticas no competentes. El SRF puede ser considerado como un parámetro que considera una corrección por esfuerzos efectivos. El parámetro  $J_w$  es una medida de la presión del agua, la que tiene un efecto adverso sobre la resistencia al corte de las discontinuidades debido a la reducción del esfuerzo normal.

De esta forma, el Índice de Calidad de roca en túneles (Q), puede ser considerado en función de 3 parámetros, los que son una medidas aproximadas de:

- Tamaño del bloque (RQD/Jn)
- Resistencia al esfuerzo al corte entre bloques (Jr/Ja)
- Esfuerzos activos (Jw/SRF). (Morales, 2009, p. 10).

#### **E. GSI - Hoek (1994)**

El sistema Índice Geológico de Resistencia (GSI, Geological Strength Index) y su uso en el criterio de falla de Hoek-Brown ha sido presentado en diversos artículos por Hoek (1994), Hoek et al. (1995) y Hoek-Brown (1997), asociado a macizos de roca dura y equivalente al sistema RMR. A partir de 1998 a la fecha se ha desarrollado el sistema GSI con el objetivo de incluir macizos rocosos de mala calidad (Hoek et al., 1998; Marinos y Hoek, 2000 y 2001).

El GSI proporciona un sistema para estimar la disminución de la resistencia que presentaría un macizo rocoso con diferentes condiciones geológicas y se obtiene de la combinación de 2 parámetros geológicos fundamentales, la estructura del macizo rocoso y la condición de las discontinuidades. En la práctica, es usual definir el GSI en rangos de  $\pm 15$  puntos. La clasificación se hace según el siguiente criterio:

Tabla N° 2. *Clasificación según GSI.*

Calidad del Macizo	Clase	GSI
Muy mala	V	0-20
Mala	IV	21-40
Regular	III	41-60
Buena	II	61-80
Muy buena	I	81-100

Fuente: Morales, 2009.

Además es posible establecer una relación del GSI con el caso del RMR de 1989, la que ha sido establecida de manera empírica. Si el rating de la condición de aguas es de 15 y el de la orientación de discontinuidades es de 0, se puede observar, siempre de forma aproximada, que se cumple la siguiente igualdad: (Morales, 2009, p.11).

$$GSI = RMR89 - 5 \quad \text{Ec. ....2}$$

#### **F. SMR - Romano (1988)**

El Índice SMR para la clasificación de taludes se obtiene del índice RMR básico sumando dos "factores de ajuste"; uno que es función de la orientación de las discontinuidades (y que es, a su vez, producto de tres subfactores) y otro conocido como "factor de excavación", el cual depende del método utilizado.

$$SMR = RMR + (F1 + F2 + F3) + F4 \quad \text{EC.....3}$$

**F1** depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre



ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = [1 - \text{sen}(a_d) - a_s]^2 \quad \text{Ec.} \dots \dots \dots 4$$

Donde  $a_d$  y  $a_s$  son los valores del buzamiento de la discontinuidad y del talud respectivamente.

**F2** depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia al esfuerzo de corte. Varía entre 1,00 (para discontinuidades con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para discontinuidades con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F2 = [\tan^2(b_d)]^2 \quad \text{Ec.} \dots \dots \dots 5$$

Donde  $b_d$  es el buzamiento de la discontinuidad. F2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

**F3** refleja la relación entre los buzamientos de la discontinuidad y el talud. Se han mantenido los valores propuestos por Bieniawski en 1976 que son siempre negativos.

**F4** se determina dependiendo el método de excavación. Así el valor asignado queda definido por la siguiente tabla.

Tabla N° 3. Factores de ajuste para el SMR.

Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$\alpha_j - \alpha_s$	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°
T	$\alpha_j - \alpha_s - 180$					
P/T	<b>F1</b>	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$\beta_j$	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°
	<b>F2</b>	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	<b>F2</b>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
P	$\beta_j - \beta_s$	>10°	10°-0°	0°	0°-(-10°)	<-10°
T	$\beta_j + \beta_s$	<110°	110°-120°	>120°	-50	-50
P/T	<b>F3</b>	0,00	-6,00	-25,00		
Método de Excavación						
	Talud Natural	Precorte	Voladura suave	Voladura normal	Voladura deficiente	Excavación mecánica
<b>F4</b>	15	10	8	0	-8	0

Fuente: Morales, 2009.

Y la estabilidad del talud queda definida como sigue:  
(Morales, 2009, pp.13-14).

Tabla N° 4. Estabilidad de talud según SMR.

SMR	Estabilidad
100-81	Totalmente estable
80-61	Estable
60-41	Parcialmente estable
40-21	Inestable
<20	Totalmente Inestable

Fuente: Morales, 2009.

#### 2.2.14. Consideraciones Finales

De acuerdo a la revisión de los diferentes métodos de clasificación del macizo rocoso, podemos extraer las siguientes consideraciones:

- El RQD es un parámetro direccional del grado de fracturamiento de un testigo de roca, por lo tanto no debe ser considerado como una clasificación del macizo, sino como un valor necesario para determinar la clasificación en cualquiera de los cinco métodos

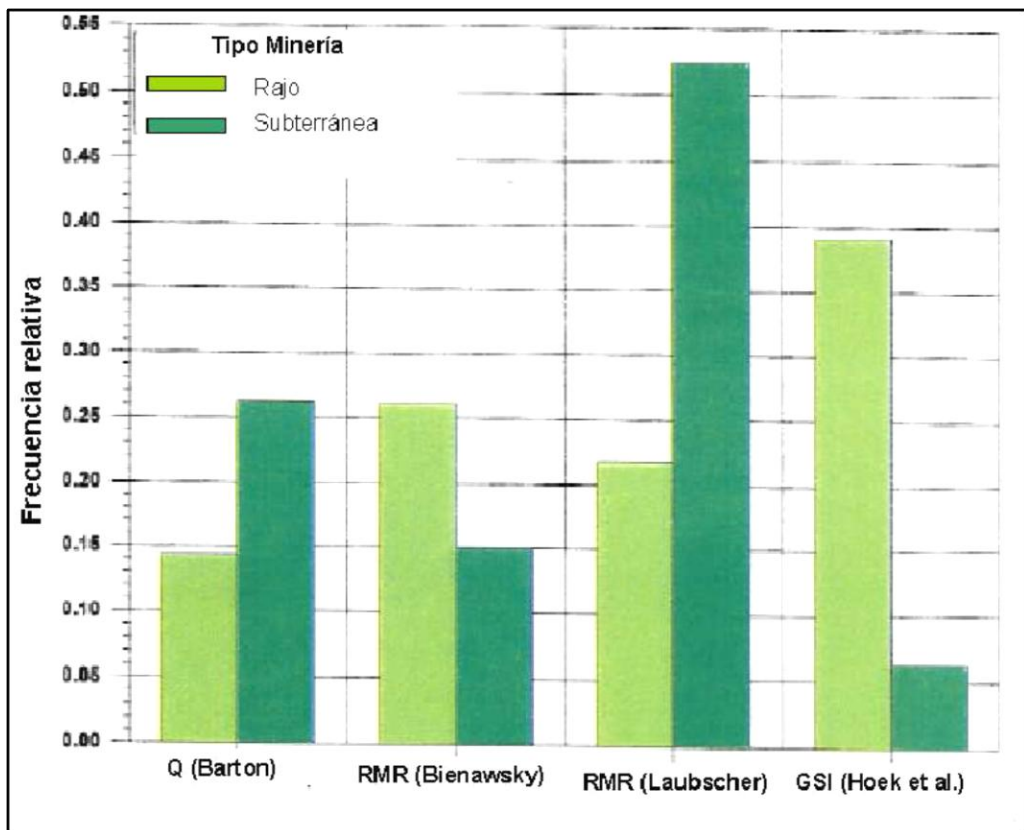
siguientes propuestos. Dado que la presente clasificación se realizará de acuerdo a los testigos de roca recuperados por una campaña de sondajes, el RQD ha sido determinado de acuerdo al primer procedimiento.

- El MRMR fue específicamente diseñado para establecer las condiciones de soporte en excavaciones subterráneas, por lo que entra en cierta ambigüedad cuando se trata de bancos superficiales. Además para macizos de calidad pobre (MRMR <40) la clasificación puede ser altamente influenciada por el espaciamiento de las discontinuidades y la condición de aguas debido a la alta importancia que tienen estos parámetros en su determinación, tal y como se puede apreciar en la figura 3.
- El Q de Barton fue principalmente diseñado con motivo de entregar una recomendación en la construcción de túneles en obras civiles, y su aplicación en minería a cielo abierto es muy reducida. No considera además el espaciamiento de las discontinuidades ni el UCS de la roca intacta en forma directa, sólo lo hace a través del RQD.
- Con respecto al SMR, este índice se presenta como un método óptimo, debido a que considera la orientación de los planos de discontinuidad con respecto a la cara del talud. Sin embargo, para el caso de la mina Franke, la orientación de dichos planos sólo ha sido definida de acuerdo a un escaneo óptico de pozos de sondajes, lo que no entrega mayor información acerca de la

persistencia de las estructuras, por lo que incorporarlas, y sus orientaciones, como factores de ajuste no es del todo correcto.

Consideremos también el resultado de un estudio de benchmarking realizado para el proyecto “Chuquicamata Subterráneo”, en el que se identifican las variables geotécnicas más utilizadas para realizar la determinación de ángulos de talud y el diseño de minería a rajo abierto y subterránea (ver siguiente figura). En el gráfico se puede ver como el GSI es largamente el método de caracterización geotécnica más usado en minería a cielo abierto, seguido por el RMR de Bieniawski.

Figura N° 16. *Uso de métodos de clasificación según tipo de minería.*



Fuente: Morales, 2009.

Se utilizará entonces en la presente caracterización geomecánica el Índice de Resistencia Geológica (GSI, Hoek (1994)), ya que considera eficientemente tanto la estructura del macizo como la condición de las discontinuidades. Además como apoyo se usará el RMR de Bieniawski (1989), el cual será obtenido a partir de los valores entregados por la caracterización geotécnica de tramos de sondajes y de los estimados a partir del GSI. (Morales, 2009, pp.15-17).

### 2.3. Definición de Términos.

- **Apilar:** Amontonar. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Banco:** Unidad básica de explotación en forma de gran escalón constituido por un plano vertical, o frente, y un plano horizontal, o plataforma de trabajo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Bancos:** Macizo de Mineral con dos caras descubiertas. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Berma:** Plataforma horizontal de un banco cuando llega a la posición final de la excavación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Burden:** Distancia del taladro hacia la cara libre. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Botadero:** Lugares especialmente destinados para recibir el material estéril de la mina a rajo abierto y los ripios que se obtienen al desarmar pilas de lixiviación. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Banco o cara:** Es la parte de cualquier mina donde se efectúa o efectúa trabajos de excavación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Berma de seguridad:** Es una pila o acumulación de material, capaz de detener a un vehículo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Camión de volteo:** Camión provisto de caja Movable para descargar automáticamente. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Cantera:** Explotación a cielo abierto para la explotación de rocas ornamentales y de construcción calizas, mármoles, granitos pizarras, etc. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Carga espaciada:** Carga constituida por explosivo a granel, cartuchos o fracciones de estos, separados por un material inerte o aire, e iniciados de forma instantánea o retardada. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Carga de columna:** Explosivo colocado por encima de la carga de fondo que llega hasta el retacado. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Carga operante:** Suma de las cargas de explosivo que se considera que detonan en un intervalo de tiempo inferior a 8ms dentro de una voladura. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Carguio:** Es el traslado de material quebrantado, roto disgregado, desde el frente de voladura hasta la tolva del vehículo. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Cebo:** Carga de explosivo de alta potencia y sensibilidad, en la que se sitúa el iniciador, y que sirve para aumentar el rendimiento de otros explosivos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Conector:** Accesorios de voladuras empleados para unir los cordones detonantes o hilos de los detonadores eléctricos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Cordón Detonante:** Cordón con cubierta de plástico y ánima de un explosivo potente y alta velocidad de detonación usada para iniciar las cargas de explosivo y transmitir la detonación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Cuneta:** Son aquellos que llevan las aguas a las bombas principales de las salas de bombas. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Cuña:** Queso, cecinas o carne que se le coloca al pan del manche, trozo de metal con que parten los palos cuando eran muy duros. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Chancado:** Proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas triturándolas con chancadoras y molinos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Calicata:** Pozo de sondeo en la exploración minera. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Cubicación:** Cuantificación de reservas de un yacimiento. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Capacitación:** Consiste en instruir conocimientos teóricos y prácticos del trabajo a los participantes. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Comité de Seguridad e Higiene Minera:** Está formado por representantes en capacidad no supervisora y supervisora, nombrados para considerar los asuntos de seguridad y salud. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Desacoplamiento:** Separación entre la superficie de una carga de explosivo y la pared del barreno donde se encuentra. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Desbroce:** Remoción de roca estéril. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Despegue:** Separación que se produce entre el material fragmentado y la roca remanente después de la voladura. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Detonador:** Accesorio de iniciación en forma de cápsula detonante que puede ser en los eléctricos de retardo (0.5 s), de microretardo (20 ó 30 ms) o instantáneos. También se diferencian en función del impulso de encendido. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Detritus:** Partículas o esquirlas de roca procedentes de la perforación de un barreno. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Disparo** Acción de provocar una voladura en sí. (Gonzales de Vallejo, 2006).



- **Disparo Eléctrico:** Acción de provocar una voladura Mediante el uso de la electricidad. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Densidad de carga:** Es la relación directa entre la densidad de un explosivo, medida en gramos por cm<sup>3</sup>, y el diámetro de perforación definido en la faena minera. Por lo general los explosivos se cargan por kilos o metros en las perforaciones. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Depósito:** Parte o fracción de la corteza terrestre donde a través de procesos geológicos se formaron, forman o acumulan, sustancias minerales útiles que pueden ser explotadas con beneficio económico, con los medios técnicos disponibles. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Desmante:** Son los desechos de las bocaminas, canchamínas e ingenios. Contienen sobras de mineral que se los vuelve a pallar o retratar en los ingenios. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Detonador:** Es todo dispositivo que contiene una carga detonante para iniciar un explosivo, normalmente se le conoce con el nombre de fulminante. Pueden ser eléctricos o no, instantáneos o con retardo. El término detonador no incluye al cordón detonante. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Estéril:** Se refiere al material que no tiene cobre o el mineral objeto.
- **Espaciamiento** Distancia entre dos taladros de la misma fila. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Echadero:** Es una labor minera vertical o semivertical que sirve como medio de transporte del mineral o desmonte de un nivel a otro. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Empresa Minera:** Es la persona jurídica, que ejecuta las acciones y trabajos de la actividad minera de acuerdo a las normas legales vigentes, diseños, métodos de explotación, estándares, procedimientos y prácticas establecidas. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Ergonomía:** Es el estudio sistemático o evaluación de la productividad y eficiencia del hombre con relación al lugar y ambiente de trabajo. Su propósito es la concepción de equipos para mejorar los métodos de trabajo con el fin de minimizar el estrés y la fatiga y con ello incrementar el rendimiento y la seguridad del trabajador. La Ergonomía, es definida también como Ingeniería Humana. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Espacio confinado:** Es aquel lugar de área reducida constituido por maquinaria, tanque, tolvas o labores subterráneas; en las cuales existen condiciones de alto riesgo, como falta de oxígeno, presencia de gases tóxicos u otros similares que requieran permiso de trabajo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Explosivos:** Son compuestos químicos susceptibles de descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas, y presión ocasionando efectos destructivos. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Fajas:** Es un sistema que usa motores eléctricos, para hacer girar cilindros que están semi envueltas por cintas o fajas de material flexible, especial extendido sobre soportes. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Fulminante:** Término utilizado para designar las cápsulas explosivas de un tipo común que se emplean con mecha para iniciar la detonación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Falla:** Faltar a menudo al trabajo y sin aviso. Interrupción imprevista de un trabajo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Gradiente:** Pendiente, subida declive repecho. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Ganga:** Minerales sin valor económico y que acompañan a los que contienen los elementos metálicos que se recuperan en el proceso industrial. Ocupan entre el **90 y 95 %** del volumen total de la roca. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Inducción u Orientación:** Capacitación inicial para ayudar al trabajador a ejecutar el trabajo en forma segura, eficiente y correcta. Estas se dividen normalmente en dos tipos: generales y de trabajo.
- 1. Inducción u Orientación General.- Es una presentación a los trabajadores con anterioridad a la asignación al puesto de trabajo sobre temas principales de la política, beneficios, servicios,

facilidades, reglas y prácticas generales, y el ambiente laboral de la organización. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- 2. Inducción u Orientación del Trabajo Específico. - Es orientar al trabajador con la información necesaria a fin de prepararlo para el trabajo específico. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Investigación de Incidentes y Accidentes:** Es un proceso de recopilación, evaluación de datos verbales y materiales que conducen a determinar las causas de los incidentes y/o accidentes, para tomar las acciones correctivas y prevenir la recurrencia. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Inspección:** Es un proceso de observación metódica para examinar situaciones críticas de prácticas, condiciones, equipos, materiales y estructuras. Son realizadas por personas capacitadas y conocedoras en la identificación de peligros y evaluación de riesgos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Laboreo:** Sector en que se efectúa la extracción del carbón. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Metal:** Sustancia que tiene un lustre específico y que es buen conductor del calor y de la electricidad y que se puede golpear y moldear en varias formas. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Mecha armada:** Es un sistema seguro de iniciación convencional de explosivos, integrado por accesorios tradicionales que son el fulminante corriente, la mecha de seguridad y un conector,

ensamblados con máquinas neumáticas de alta precisión. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Mecha Lenta:** Es un accesorio para voladura que posee capas de diferentes materiales que cubren el reguero de pólvora. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Mecha Rápida:** Es una mecha o cordón flexible que contiene dos alambres, uno de fierro y el otro de cobre, uno de los cuales está envuelto en toda su longitud por una masa pirotécnica especial, y ambos a la vez están cubiertos por un plástico impermeable. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Mina:** Para fines de fiscalización, incluye a todo:
  - a) Lugar donde se ha realizado rotura de la corteza terrestre o cualquier excavación hecha para explorar o producir minerales metálicos y no metálicos con título de concesión minera. (Gonzales de Vallejo, 2006).
  - b) Actividad incluida perforaciones de exploración, explotación, beneficio, depósito de desmonte, relaves, plantas de tratamiento de aguas de mina, entre otros. c) Mina cerrada o abandonada. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Open Pit Mining:** Minería a tajo abierto. Método de labores de minería para remover menas y minerales cerca de la superficie al remover primero el desecho o montera y luego romper y cargar el mineral. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Operaciones Mineras:** Conjunto de medios mineros que se ponen en juego para conseguir un resultado favorable durante y después de la actividad minera (Ver definición de actividad minera). (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Paraje:** Sitio, lugar, residencia, condición, disposición, lugar de nacimiento, lugar de laboreo minero, ocurrencia de minerales, etc. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Parrilla:** Hueco horadado en la roca, a ras del suelo, donde se vacía la carga y que comunica con otro nivel o sección, y está surcado por rieles macizos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Peligro:** Todo aquello que tiene potencial de causar daño a las personas, equipo, procesos y ambiente. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Plan de Emergencia:** Un documento guía comprensivo sobre las medidas que se deben tomar bajo varias condiciones de emergencia posibles. Incluye responsabilidades de individuos y departamentos, recursos de la organización disponibles para su uso, fuentes de ayuda fuera de la organización, métodos o procedimientos generales que se deben seguir, autoridad para tomar decisiones, requisitos para implementar procedimientos dentro del departamento, capacitación y práctica de procedimientos de emergencia, las comunicaciones y los informes exigidos. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Práctica:** Un conjunto de pautas positivas, útiles para la ejecución de un tipo específico de trabajo que puede no hacerse siempre de una forma determinada. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Prevención de Accidentes:** Es la combinación razonable, de políticas, estándares, procedimientos y prácticas, en el contexto de la actividad minera, para alcanzar los objetivos de Seguridad e Higiene Minera del empleador. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Rampa:** Plano helicoidal dispuesta para el desplazamiento de maquinarias, carga de un Banco o nivel a otro. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Ripios:** Se refiere al material que queda como residuo del mineral una vez que todo el cobre ha sido lixiviado, el cual es desechado en áreas especiales o botaderos de ripio. Corresponde a la cola del proceso de lixiviación. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Roca Mineral:** Denominación que se le da a la roca de cierta calidad (Ley). (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Roca Esteril:** Denominación a la roca de menor calidad a la requerida o sin ley. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Reglas:** Son principios, fórmulas o preceptos que se deberán cumplir siempre, sin ninguna excepción; para asegurar que una tarea sea bien hecha. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Reglamento:** Es el conjunto de disposiciones y la autorización de uso y aplicación de una norma, que abarca todos los procedimientos, prácticas o disposiciones detalladas, a las que la autoridad competente ha conferido el uso obligatorio. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Riesgo:** Es la posibilidad/probabilidad de que haya pérdida. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Rajo:** Labor para la explotación de una mina, en el plano de la veta, desde 30 m de largo y 30 de alto, o sea entre dos niveles, generalmente ascendente. También se llama tajo. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Sismógrafo:** Instrumento que mide y proporciona un registro permanente de las vibraciones del terreno inducidas por la perforación y voladura. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Sondajes:** Perforaciones de pequeño diámetro y gran longitud que se efectúan para alcanzar zonas inaccesibles desde la superficie o laboreos mineros para obtener muestras de dichas zonas para ser estudiadas y analizadas. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Salud:** En relación con el trabajo, abarca la ausencia de afecciones o enfermedades, incluyendo los elementos físicos y/o mentales; directamente relacionados con el desempeño competitivo del trabajador. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Supervisor:** Es la persona que tiene a su cargo un lugar de trabajo o autoridad sobre un trabajador o más. Esta calificado debido a su



conocimiento, capacitación y experiencia a organizar el trabajo y su desempeño, está familiarizado con las regulaciones que se aplica al trabajo y tiene conocimiento de cualquier peligro potencial o real a la salud o seguridad en el lugar de trabajo. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Tajo:** Corte hecho con instrumento adecuado, sitio hasta donde llega la cuadrilla de operarios que trabaja avanzando sobre el terreno. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Talud:** Inclinación o declive del parámetro de un terreno, es el plano inclinado que se forma entre la parte superior del Pitt y el pie de Banco más profundo formando un ángulo con la horizontal. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Talud del Pitt:** Inclinación o declive del inicio hasta el final del Pitt. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Talud del banco:** Inclinación del inicio hasta el final del Banco. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Transporte:** Es la operación unitaria final del minado, en algunos casos está separado del carguío del material quebrantado. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Tiro:** Carga de explosivos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Tensión:** Es el valor eficaz de la diferencia de potencial entre dos conductores cualquiera del circuito eléctrico. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Tensión Eléctrica Alta:** Es la tensión eléctrica de transmisión mayor de 35 kilo Voltios (35 kV). (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Tensión Eléctrica Baja:** Es la tensión eléctrica de utilización menor de 1 kilo Voltio (mil voltios = 1 kV). (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Tensión Eléctrica Media.** Es la tensión de distribución comprendida entre 1 kV y 35 kV. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Titular de Actividad Minera:** Es la persona natural o jurídica responsable de la operación minera en concordancia con la normatividad vigente. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Vibración:** Movimiento oscilante de un medio sólido o del líquido al paso de una onda elástica. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Voladura:** Es la operación unitaria del minado destinado a la acción y efecto de volar por el aire y hacer saltar con violencia alguna cosa. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Voladuras (tronaduras):** Procesos de fragmentación y desplazamiento de la roca con el uso de explosivos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Veta:** Filom de hilos de mineral que se encontraban en las minas.
- **Vieja:** Deidad y esposa del Tío. Así llaman los mineros a la roca de la mina, a la cual le rinden también tributo. (Gonzales de Vallejo, 2006).

- **Yacimiento:** Masa de roca localizada en la corteza terrestre que contiene uno a varios minerales en cantidad suficiente como para ser extraídos con beneficios económicos. (Gonzales de Vallejo, 2006).
- **Zonas de Alto Riesgo:** Son áreas o ambientes donde están presentes las condiciones de peligro inminente, que pueden presentarse por un diseño inadecuado o por condiciones físicas, eléctricas, mecánicas, ambientales inapropiadas, entre otros. (Gonzales de Vallejo, 2006).

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. *El Problema***

La caracterización geotécnica, tiene por propósito brindar la información técnica necesaria para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020. La necesidad de realizar el diseño final del botadero Este, requiere de la información técnica necesaria para ejecutar la construcción del Botadero Este Fase 3, dentro del alcance se encuentra el diseño del botadero, las especificaciones técnicas, programa de aseguramiento de la calidad y un estimado de las cantidades de materiales y movimiento de tierras.

Se ha observado que en el botadero este, la estabilidad de taludes involucra una problemática en temas de seguridad provocando la caída de terreno inestable provocando accidentes en los trabajadores y equipos y maquinarias que trabajan en el botadero ya que el botadero por el material suelto que tiene posee condiciones geológicas desfavorables motivo por el cual es necesario realizar la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.

#### **3.1.1. *Formulación del Problema***

##### **3.1.1.1. *Formulación del problema General***

¿Cómo influye la caracterización geotécnica en el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020?

### **3.1.1.2. Formulación de problemas específicos**

1. ¿Cuáles son los criterios de diseño?
2. ¿Cuál es Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico?
3. ¿Cuáles son las investigaciones geotécnicas?
4. ¿Cuál es la caracterización geotécnica?
5. ¿Cuál es el diseño del botadero?

### **3.1.2. Objetivos de la investigación**

#### **3.1.2.1. Objetivo General**

Realizar la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.

#### **3.1.2.2. Objetivos Específicos**

1. Determinar cuáles son los criterios de diseño.
2. Determinar cuál es Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico.
3. Determinar cuáles son las investigaciones geotécnicas.
4. Determinar cuál es la caracterización geotécnica.
5. Determinar cuál es el diseño del botadero.

### **3.1.3. Justificación e importancia**

La presente investigación se justifica porque, realizando la caracterización geotécnica se podrá diseñar el botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020

### **3.1.4. Delimitación De La Investigación**

Caracterización geotécnica está delimitada para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.

## **3.2. Hipótesis.**

### **Hipótesis General**

La caracterización geotécnica son factores condicionantes para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.

### **Hipótesis Nula**

La **NO** caracterización geotécnica **NO** son factores condicionantes para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.

### **Hipótesis Específicas**

1. Se determinará cuáles son los criterios de diseño.
2. Se determinará cuál es la Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico.
3. Se determinará cuáles son las investigaciones geotécnicas.

4. Se determinará cuál es la caracterización geotécnica.
5. Se determinará cuál es el diseño del botadero.

### **3.3. Variables**

#### **Variable Independiente (x):**

Caracterización geotécnica.

#### **Variable dependiente (y):**

Diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.

### **3.4. Diseño de la investigación**

#### **3.4.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es APLICADA, porque se realizara la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.

#### **3.4.2. Nivel de la investigación**

Será descriptiva, porque describe los resultados obtenidos después del diseño de la malla de perforación y voladura de rocas.

#### **3.4.3. Método**

El método es no experimental debido a que la manipulación de variables no es deliberada y solo se observa al fenómeno en su ambiente natural para después analizarlo.

#### **3.4.4. Población y muestra**

##### **Población**

Botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca  
S.A. – 2020.

##### **Muestra**

Botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca  
S.A. – 2020.

#### **3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

**Se aplicarán las técnicas de:**

**Análisis bibliográfico y documental:** que permitirán obtener información sobre la influencia de factores directos e indirectos en las vibraciones producidas de dicha unidad minera.

**Encuesta:** La encuesta permitirá trabajar con una muestra amplia, mediante un dialogo directo para la obtención de una valida y certera información.

**Observación:** recolección de datos de campos Botadero Este Fase 3.

**Instrumentos:**

**Fichas bibliográficas:** Es un instrumento que nos permite recolectar datos bibliográficos.



**Cuestionario:** Conformado por preguntas dirigidas a recolectar toda la información necesaria sobre nuestra investigación.

#### **3.4.6. Forma de tratamiento de los datos**

La aplicación del instrumento de medición va a producir un conjunto de datos, pero, tal como son recolectados serán poco informativos y difícilmente interpretables. Es por ello que será necesario el uso de software especializado.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### *4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos.*

Para realizar la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020, se necesita tener información técnica necesaria para ejecutar la construcción del Botadero el cual servirá como base para el diseño del botadero, detallando las especificaciones técnicas, el programa de aseguramiento de la calidad y un estimado de las cantidades de materiales y movimiento de tierras. Para el diseño de ingeniería del presente proyecto se ha tomado como criterio de diseño que los diques de contención del botadero tengan un talud externo de 2.0 H: 1 V y un talud interno de 1.5 H: 1 V, con un crecimiento hacia el interior del apilamiento. Los factores de seguridad en el caso de la estabilidad de taludes han sido considerados en 1.30 para condiciones estáticas a corto plazo, en 1.35 para condiciones estáticas a largo plazo, y en 1.00 para condiciones pseudo-estáticas a largo plazo. Se tiene que tener datos de la sismicidad de la zona de estudio determinándose que la aceleración máxima del terreno de 0.21 g. Las investigaciones geotécnicas realizadas en la zona del proyecto han consistido en la ejecución de calicatas el mapeo geológico - geotécnico y toma de muestras; posteriormente se ejecutaron ensayos de laboratorio. Las características geomorfológicas de la zona en estudio corresponden a una quebrada alta, rodeada de afloramientos rocosos compuestos por andesitas y areniscas cuarzosas cubiertos en su parte baja por suelos coluviales. En el valle se puede observar un relieve de baja pendiente con presencia de bofedales de potencia media. Para los análisis de estabilidad de taludes se ha utilizado el programa de cómputo Slide (Rocscience,

2010) versión 6, el cual permite desarrollar geometrías de los taludes complejas y la definición de los tipos y propiedades de los materiales de manera interactiva con el usuario. Se llevó a cabo un análisis bidimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana. Para el presente análisis se ha utilizado el método de Spencer empleando dovelas para el cálculo de superficie de falla tanto circulares, como en bloque. Los resultados de los análisis de estabilidad de taludes en todos los casos han arrojado valores de factor de seguridad por encima de los mínimos establecidos. El movimiento de tierras consiste principalmente en la colocación de relleno para la construcción de 2 diques de contención del botadero, los cuales presentan un talud externo de 2.0 H:1 V y un talud interno de 1.5 H:1 V; estos diques estarán contruidos de material de desmonte de mina de regular calidad.

#### **4.2. Criterios de diseño**

El diseño de los diques de contención y el sistema de subdrenaje para el diseño del Botadero, serán desarrollados sobre la base de los criterios de diseño establecidos y sobre datos de diseño que han sido calculados y establecidos por los estándares internacionales de la ingeniería geotécnica, civil, hidráulica e industria minera. Estos criterios pueden ir actualizándose durante el desarrollo del proyecto. Para el diseño del botadero se presenta la siguiente tabla de los criterios de diseño que fueron empleados a partir de cálculos de ingeniería.

Tabla N° 5. *Criterios de Diseño.*

Descripción	Unidad	Criterio Usado
<b>Botadero Este Fase 3</b>		
Estabilidad estática corto plazo, mínimo	F.S.	1.3
Estabilidad estática largo plazo, mínimo	F.S.	1.35
Estabilidad pseudoestática, mínimo	F.S.	1
Análisis de deformación	si FS Pseudoestático < 1.00	
Talud dique de contención externo	H:V	2 H : 1 V
Talud dique de contención interno	H:V	1.5 H : 1 V

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2018.

#### **4.3. Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico**

La actividad sísmica en el área del proyecto es principalmente producto de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana a lo largo de la costa peruana. El área en estudio se encuentra localizada en la Zona 3, área de alta sismicidad en el Perú, de acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica propuesto en la Norma de Diseño Sismorresistente E.030, del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006), Basado en la actividad sísmica histórica compilada por Silgado (1987), esta área es altamente activa, con mediciones de intensidad sísmica de hasta grado VI en la escala Mercalli Modificada. Además, nótese que la zona del proyecto se trata de una zona poco poblada.

##### **4.3.1. Aceleración de Diseño**

A partir de los estudios regionales probabilísticos de peligro sísmico llevados a cabo por diferentes autores, se recomendó utilizar una aceleración pico (PGA) en roca de 0.35 g para el diseño y análisis sísmico en el diseño del botadero. En la siguiente tabla se presentan el resumen de los valores de

PGA obtenidos a partir de análisis probabilísticos realizados por diferentes autores en el área.

Tabla N° 6. *Estimados de PGA a Partir de Estudios de Peligro Sísmico Probabilísticos.*

Estudio de Peligro Sísmico	PGA para Periodo de Retorno de 475 Años (g)
Sharma y Candia-Gallegos (1990)	0,20 - 0,25
Castillo y Alva (1993)	0,32 - 0,34
Región Nor Andina GSHAP (1999)	0,32 - 0,36

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2018.

El periodo de retorno antes indicado es consistente con lo estipulado por el Ministerio de Energía y Minas para el análisis sísmico de depósitos de relaves en condición de abandono y puede ser extrapolado para el caso botaderos de desmonte considerando el periodo de vida operativo y la etapa post-cierre. Por otro lado, según el Mapa de Fuentes Sismogénicas Superficiales del Perú, propuesto por los autores antes mencionados, la máxima magnitud que puede ocurrir en el área del proyecto asociada a estas fuentes es de 7.5. Por lo tanto, para el análisis sísmico para el diseño del botadero se recomienda utilizar un valor de 0.21g como aceleración máxima (PGA) esperada en la zona del proyecto.

#### **4.3.2. Coeficiente Sísmico**







De acuerdo a la literatura técnica existente ampliamente aceptada internacionalmente, se recomienda que el coeficiente sísmico a ser considerado en el análisis en la condición pseudoestática de diseño de taludes, sea obtenido como una fracción que varía entre 1/3 a 1/2 de la máxima aceleración esperada. Esta recomendación es consistente con las recomendaciones del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos

(U.S. Army Corps of Engineers, Hynes y Franklin, 1984), quienes sugieren el uso de un coeficiente sísmico pseudo-estático igual al 50% de la aceleración pico de diseño. Por lo tanto, se recomienda utilizar un coeficiente sísmico de 0,105 para el análisis pseudo-estático de diseño de taludes del Botadero Este Fase 3 del proyecto.

#### 4.4. Investigaciones geotécnicas

La evaluación de campo fue realizada con la finalidad de tener un perfil estratigráfico del suelo.

Figura N° 17. Perfil estratigráfico.

Profundidad (m)	SUCS	Gráfico	Condición de la muestra		Muestra	Código muestra	Comentarios
			 Disturbada	 En bloque			
			Descripción				
0	OL		Limo orgánico, plasticidad nula, firme, húmedo, color negro, estructura homogénea. Finos = 100,0 %.			S/M	Suelo orgánico. Presencia de raíces y vegetación superficial.
			Grava arcillosa con arena, plasticidad media, medianamente densa, muy húmeda a saturada, color marrón amarillento, estructura homogénea, grava subangulosa, con bolonería y bloques de tamaño máximo = 24" en 10,0%. Grava = 38,6,0 %. Arena = 32,5 %. Finos = 28,9 %.				Deposito residual.
1	GC					M-1	Df = 1,30 m.
Limite de la excavación.							

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2018.

#### 4.4.1. Mapeo Geológico Geotécnico

Durante la investigación de campo se realizó el mapeo geológico-geotécnico del área de estudio. El objetivo de este trabajo fue identificar los rasgos geológicos y unidades geológico-geotécnicas presentes.

#### 4.4.2. Calicatas y Trincheras

Par la investigación de campo se estudió los datos de una calicata la cual fue conveniente ubicada

Tabla N° 7. *Resumen de Calicatas y Trincheras.*

Área	Calicata	Nivel de agua (m)	Df (Nivel de cimentación propuesta m)	Suelo Orgánico (m)	Nivel Roca (m)	Prof. Total (m)
Botadero	CA - 01	1.3	1.3	0.4	NE	1.3

Fuente: El tesista

#### 4.4.3. Ensayos de Laboratorio

En las muestras tomadas de la investigación geotécnica se realizaron ensayos de caracterización física (análisis granulométrico por tamizado, límites de consistencia y contenido de humedad), ensayos de compactación Proctor estándar y ensayos de caracterización mecánica (ensayo de compresión triaxial) a fin de definir el uso de estos materiales como relleno estructural. En las muestras obtenidas en la exploración de campo, se llevaron a cabo ensayos estándar de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Las propiedades índices de los suelos ensayados se resumen en la Tabla N° 8 en términos de granulometría, límite de plasticidad y contenido de humedad.

Tabla N° 8. *Resumen de Ensayos de Clasificación de Suelos en el Botadero Este.*

Calicata	Muestra	Prof. (m)	Clasif. SUCS	Granulometría			LL (%)	IP (%)	Cont. Hum. (%)
				Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)			
CA - 01	M-1	0.40 – 1.30	GC	38.6	32.5	28.9	21	7	16.3

Fuente: Departamento de Ingeniería mina, 2018.

#### 4.5. *Caracterización geotécnica*

La zona donde se ejecutará el proyecto, se ubica a una elevación promedio de 4,060 m.s.n.m. Las investigaciones geotécnicas realizadas en campo sirvieron para identificar y definir las características geotécnicas de la zona de interés, así como de los materiales que constituirán material de préstamo para el proyecto.

##### 4.5.1. **Condiciones Geomorfológicas**

La geomorfología de la zona se caracteriza principalmente por ser una zona de quebrada alta, coronada por una cadena de cerros los que a su vez son coronados por afloramientos rocosos de naturaleza volcánica pertenecientes a la formación Calipuy. El relieve se presenta de plano a baja pendiente en el área inferior en donde discurren los pequeños flujos de agua, en los cuales se puede observar la presencia de bofedales de potencia media. La presencia de aguas meteóricas y subterráneas en las áreas bajas permite la formación de una buena cobertura vegetal produciendo también la argilización en las andesitas presentes en el basamento rocoso. En los cerros colindantes la pendiente varía de media a alta con pequeños depósitos coluviales y la presencia de rocas sueltas en la superficie producto de la gravedad; a mayor altura se encuentran los afloramientos rocosos compuestos por andesitas y



areniscas cuarzosas volcánicas, siendo la configuración general de arenisca cuarzosa en el techo y andesitas en el piso.

#### **4.5.2. Unidades Geológicas-Geotécnicas**

Las unidades geológicas-geotécnicas definidas en el área aledaña al Botadero corresponden a 4 unidades denominadas: Bofedales (Unidad Geotécnica I), Depósito Coluvial (Unidad Geotécnica II), Suelo Residual (Unidad Geotécnica III) y Basamento Rocoso (Unidad Geotécnica IV).

- **Bofedales (Unidad Geotécnica-Geotécnica I).** - Conformado por suelos orgánicos, de grano fino, constituidos por arcillas y limos ambos de baja plasticidad, son suelos húmedos a saturados de color marrón oscuro a negro. Clasificándose en el sistema SUCS como OL. En este caso particular se distribuyen en la zona central del valle Vizcacha, con un drenaje superficial deficiente.
- **Depósito Coluvial (Unidad Geotécnica-Geotécnica II).** - Esta unidad está conformada por material fragmentado, transportado y acumulado por la acción de la gravedad. Se sabe que estos suelos están compuestos por grava limosa con arena y grava arcillosa con arena, de plasticidad media a nula, su compacidad varía de medianamente densa a densa. Se presentan húmedas a ligeramente húmedas, de color pardo amarillento a oscuro y de estructura estratificada.
- **Suelo Residual (Unidad Geotécnica- Geotécnica III).** - Esta unidad está conformada por basamento rocoso que ha sufrido una fuerte meteorización y/o alteración in situ de la andesita, con la consiguiente

pérdida de sus propiedades de resistencia que caracterizan a materiales como rocosos y se emplaza en gran parte de la zona estudiada.

- **Basamento Rocoso (Unidad Geotécnica-Geotécnica IV).** - Esta unidad está conformada mayormente por afloramientos de arenisca cuarzosa de grano fino, color blanquecino a naranja claro, meteorizadas y de resistencia media y en algunos sectores de la zona de estudio presentan fragmentos de andesita, en general estos afloramientos presentan resistencia de R2 a R3, medianamente fracturadas y ligeramente meteorizadas, que subyace a los depósitos coluviales.

Esta unidad geológica-geotécnica es adecuada para nivel de cimentación, dependiendo del grado de fracturamiento y estructuras como fracturas abiertas y fallas.

En general pueden ser removidos con voladura y en algunos casos con tractor, sugiriéndose taludes de corte de 1:4 (H : V). Dada sus características, estos materiales pueden en general soportar taludes de corte muy pronunciados.

#### **4.5.3. Análisis geotécnico**

Los análisis de estabilidad de taludes del botadero fueron efectuados para evaluar las secciones más críticas, de mayor pendiente y de mayor altura, para el caso de falla global, bajo las condiciones de cargas estáticas y pseudo-estáticas. Se presenta a continuación una descripción de las consideraciones tomadas en cuenta para la ejecución de estos análisis.

#### **4.5.4. Procedimiento de Análisis de Estabilidad**

Para el análisis de estabilidad de taludes se utilizó el programa de cómputo SLIDE (Rocscience, 2010) versión 6. El análisis para calcular el factor de seguridad se llevó a cabo de manera bidimensional usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana. Para el presente análisis se ha utilizado el método de Spencer empleando dovelas para el cálculo de superficie de falla. La superficie de falla crítica es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad.

Se evaluaron superficies de falla circulares y en bloque. Para el análisis pseudo-estático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una fuerza horizontal igual al coeficiente sísmico multiplicado por el peso de la masa de la superficie de falla, de modo de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño. De acuerdo a lo referido en el ítem 3.2; el coeficiente sísmico horizontal utilizado es de 0.105.

#### **4.5.5. Criterios de Análisis**

Los factores de seguridad considerados en los análisis de estabilidad de taludes a corto plazo del presente diseño, cumplen con los mínimos requeridos según las recomendaciones de la guía ambiental para la estabilidad de taludes de residuos sólidos del MINEM y las agencias United States Society of Dam (USSD) y United States Bureau of Reclamation (USBR).

En el caso del análisis de largo plazo se ha:

- Mínimo factor de seguridad estático a corto plazo igual a 1,30.

- Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1,35.
- Mínimo factor de seguridad pseudoestático a largo plazo a 1,00.

Se debe indicar que un factor de seguridad pseudo-estático mayor que 1,0 no significa que el material apilado en el botadero no se moverá durante un terremoto.

Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes en la estructura.

Cabe recalcar que la configuración del Botadero Este Fase 3 presentada en este estudio es de carácter temporal, por lo que solamente se realizarán análisis de estabilidad de taludes en condiciones estáticas para los crecimientos hasta la cota 4,065 msnm. El análisis pseudo-estático solo se ha realizado a manera de verificación de la estabilidad de la configuración final del botadero (cota 4,135 msnm).

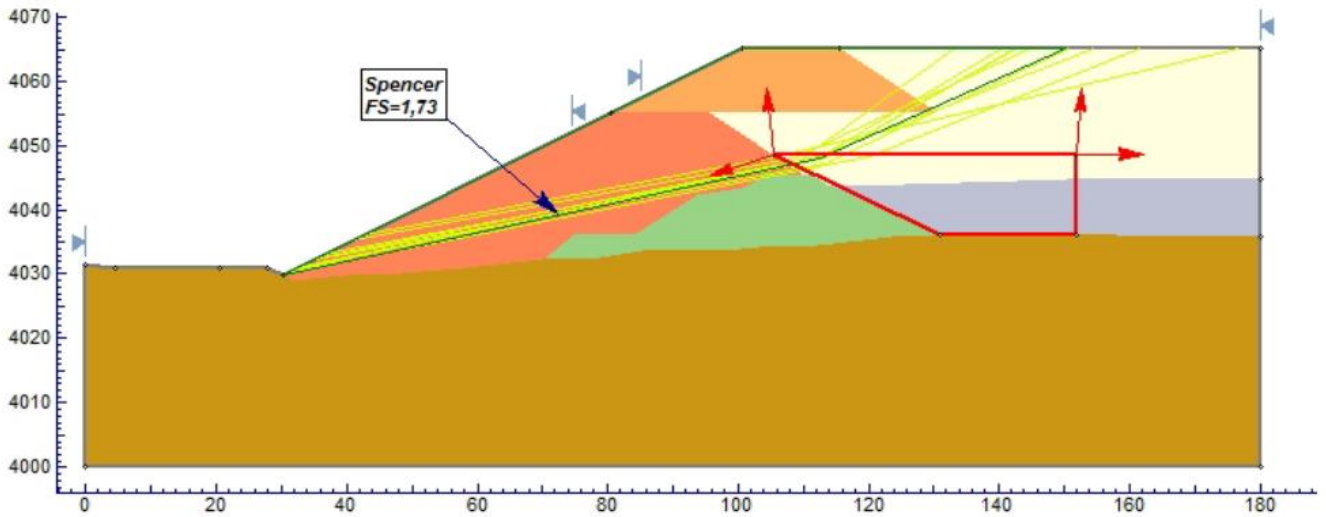
#### **4.5.6. Condiciones Analizadas**

Se han tomado en cuenta las siguientes condiciones para el análisis:

El análisis en condición estática ha considerado la condición más crítica representada por las secciones de mayor altura y de mayor pendiente, que corresponde a la Sección A - A', mostradas en las siguientes figuras N° 18 y 19, respectivamente. Este análisis ha sido realizado considerando un crecimiento a la cota 4,065 msnm.

Figura N° 18. *Análisis de Estabilidad, Botadero Este Fase 3. Sección Geotécnica A - A', Falla Bloque, Análisis Estático*

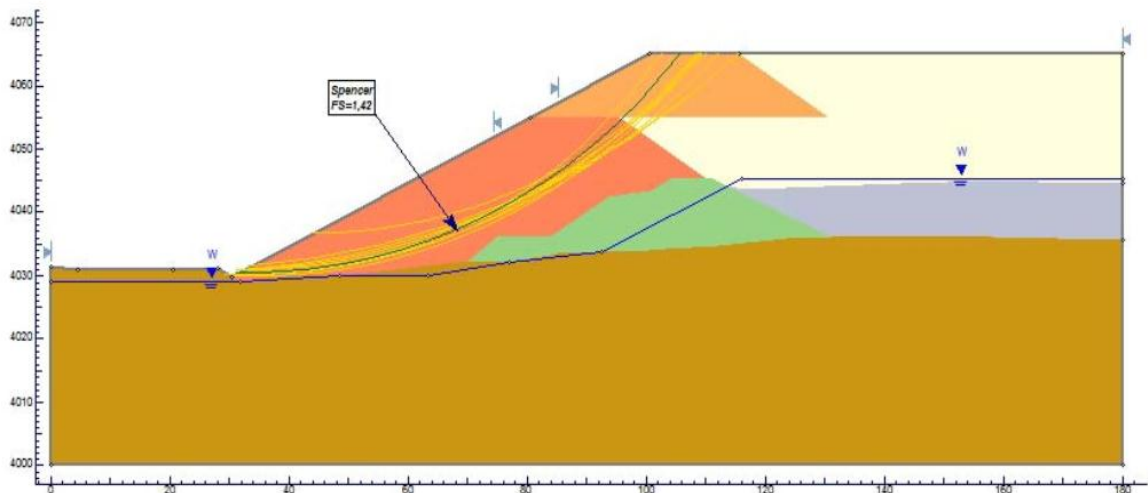
Material	$\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	C ( $\text{kN/m}^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	Agua superficial
Material Inadecuado	17	0	15	W
Suelo Residual	20	0	32	W
Desmonte de mina etapa 1	20	0	32	W
Desmonte de mina etapa 2	20	0	32	W
Turba	17	0	10	W
Enrocado existente	20	0	37	W



Fuente: El tesista

Figura N° 19. *Análisis de Estabilidad, Botadero Este Fase 3, Sección Geotécnica 2-2', Falla Circular, Análisis Estático*

Material	$\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	C ( $\text{kN/m}^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )	Agua superficial
Material Inadecuado	17	0	15	W
Suelo Residual	20	0	32	W
Desmonte de mina etapa	20	0	32	W
Desmonte de mina etapa 2	20	0	32	W
Turba	17	0	10	W
Enrocado existente	20	0	37	W



Fuente: El tesista

En general, en ambos casos se asumió que las potenciales fallas a ocurrir son del tipo circular como también en bloque, puesto que los materiales con propiedades más desfavorables son el material inadecuado y la turba existente.

#### **4.5.7. Suelo Residual**

El material que es parte de la cimentación del Botadero tiene características gravosas y limosas.

#### **4.5.8. Desmante de Mina**

El desmante de buena calidad se considera que es un material inerte (no mineralizado) que proviene de la zona de explotación (tajo abierto), y que presenta buenas características geotécnicas y además puede ser utilizado como material de relleno estructural.

#### **4.5.9. Material Inadecuado**

Este material está compuesto por una grava arcillo-limosa con arena (GC-GM), de baja plasticidad. Por lo general este material se encuentra saturado, se ha asumido conservadoramente un valor de resistencia al corte no drenada ( $S_u$ ) de 15 kPa y un peso específico de 17 kN/m<sup>3</sup>.

#### **4.5.10. Turba**

Este material estará encapsulado totalmente por el material inadecuado, y considerando su naturaleza orgánica y arcillosa-limosa de baja plasticidad, sus propiedades geotécnicas de resistencia al corte variarán dependiendo del tipo de análisis con respecto al tiempo a realizar, es decir, si es corto o largo

plazo. Para el diseño del crecimiento del botadero, se consideró un análisis de estabilidad de taludes a corto plazo, tiene una resistencia al corte no drenado ( $S_u$ ) para este material de 10 kPa y un peso específico de 17 kN/m<sup>3</sup>.

#### 4.5.11. Enrocado Existente

De la investigación geotécnica de campo realizada en la zona, se sabe que este dique ha sido construido de material de enrocado con compactación controlada. Los parámetros geotécnicos asumidos en este tipo de material corresponden a un ángulo de fricción interno de  $37^\circ$ , cohesión nula y un peso específico de **20 kN/m<sup>3</sup>**.

#### 4.5.12. Resultados del Análisis de Estabilidad

La información sobre las sección geotécnica analizada, propiedades de los materiales y ubicación de la superficie de falla crítica con el menor factor de seguridad. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de los análisis de estabilidad de taludes realizados. En esta tabla se presentan los resultados para los casos estático y pseudoestático, según correspondan.

Tabla N° 2. Resultados de los Análisis de Estabilidad de Taludes

Sección de análisis	Etapa	Tipo de Falla	Factor de seguridad FS	
			Estático	Pseudoestático (k=0,105)
Sección A - A'	Inicial	Bloque	1.73	*
		Circular	1.42	

Fuente: El tesista

El resultado de los análisis de estabilidad puede ser resumido a continuación:

- El resultado del análisis de estabilidad de taludes realizado para la sección A - A' muestra un valor del factor de seguridad por encima de los mínimos establecidos en los criterios de análisis. El análisis de tipo de falla circular muestra la superficie de falla atravesando el material de desmonte de mina de regular calidad en su totalidad. En el caso de la falla tipo bloque, se ha considerado que la superficie de falla atraviere el depósito de turba.

#### **4.6. *Diseño del botadero***

El Botadero Este ha sido dimensionado para acopiar material inadecuado proveniente de la construcción de las ampliaciones. En la configuración de este botadero se ha buscado satisfacer la necesidad de un adecuado drenaje a pesar de la existencia de un depósito de turba existente en la zona del proyecto que dificulta la colocación de un sistema de sub-drenaje. Los diques de contención han sido proyectados en dos crecimientos de 10.0 m de altura cada uno, considerando en cada crecimiento una cresta de 15,0 m de ancho, con un talud externo de 2,0 H : 1 V y un talud interno de 1.5 H : 1 V.

##### **4.6.1. Corte y Eliminación de Material inadecuado**

El movimiento de tierras ligado al corte y eliminación de material inadecuado incluirá (sin limitarse solamente a ello) la excavación de material orgánico y material inadecuado existente dentro de los límites de construcción de los diques de contención del botadero. El volumen proveniente de este corte y eliminación es de 52,900 m<sup>3</sup>. La excavación deberá ser verificada, con la finalidad de determinar la extensión y profundidad de los materiales inadecuados existentes en la zona.



#### **4.6.2. Diques de Contención**

Los diques de contención han sido diseñados con la finalidad de los diques de contención es evitar que los materiales acopiados dentro del botadero puedan deslizarse. Los diques de contención serán conformados por material de desmonte de mina de calidad regular, cuya compactación estará realizada por el paso de los camiones de carga. El volumen a ser empleado en estos diques de contención asciende a 350,000 m<sup>3</sup>. La sección transversal de los diques de contención se compone por taludes de 2.0 H :1 V en la parte exterior del apilamiento y 1.5 H :1 V en la parte interior, con una altura sobre la superficie del terreno existente que varía de 0 a 18 m en el dique norte y 0 a 10 m en el dique sur; en los diques cuya cota de crecimiento es 4,055 m.s.n.m. De acuerdo a las investigaciones geotécnicas de campo realizadas en el eje de los diques de contención, se encontró que el nivel de desplante de la cimentación de los diques varía entre 0,5 y 3,5 m; sin embargo, la determinación final del nivel de desplante de cimentación para los diques se definirá durante la construcción.

#### **4.6.3. Sistema de Subdrenaje**

Una vez concluida la eliminación de los materiales inadecuados, se procederá con la instalación del sistema de subdrenaje. El sistema de subdrenaje tiene por finalidad captar los flujos de agua subterránea que se originen dentro de los límites del botadero, para posteriormente derivar los flujos hacia el colector de subdrenaje principal existente del Botadero Este. Los drenes están confinados en una zanja trapezoidal de profundidad y ancho variable, que serán rellenas con grava para drenaje y encapsuladas en

geotextil no tejido de 270 g/m<sup>2</sup>. Los subredes que se encuentran en la zona de apilamiento de material no adecuado adicional al geotextil en la parte superior tendrá dos capas de material de filtro drenante, como se muestra en el mismo plano mencionado anteriormente. Este sistema de subdrenaje incluye, en la zona del dique sur, una línea de subdrenaje libre para ser conectada a futuras ampliaciones del sistema de subdrenaje.

#### **4.7. *Discusión de resultados***

- De la sección A – A' en la etapa inicial el tipo de falla Bloque el factor de seguridad estático es 1.73 y Pseudoestática (k=0,105).
- De la sección A – A' en la etapa inicial el tipo de falla Circular el factor de seguridad estático es 1.42 y Pseudoestática (k=0,105).
- La orientación de los diques de contención en crecimiento se realizará hacia el interior del apilamiento.
- La configuración propuesta a presenta condiciones estables.
- El sistema de subdrenaje en la zona del apilamiento de turba debe ser instalado inmediatamente por debajo de la geomembrana existente.

## CONCLUSIONES.

1. Se realizó la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020. Determinándose que de la sección A – A´ en la etapa inicial el tipo de falla Bloque el factor de seguridad estático es 1.73 y Pseudoestática (k=0,105) y el tipo de falla Circular el factor de seguridad estático es 1.42 y Pseudoestática (k=0,105).
2. Se determinó los criterios de diseño y fueron los siguientes:

Descripción	Unidad	Criterio Usado
<b>Botadero Este Fase 3</b>		
Estabilidad estática corto plazo, mínimo	F.S.	1.3
Estabilidad estática largo plazo, mínimo	F.S.	1.35
Estabilidad pseudoestática, mínimo	F.S.	1
Análisis de deformación	si FS Pseudoestático < 1.00	
Talud dique de contención externo	H : V	2 H : 1 V
Talud dique de contención interno	H : V	1.5 H : 1 V

3. Se determinó cuál es Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico recomendándose utilizar un valor de 0.21g como aceleración máxima (PGA) esperada en la zona del proyecto
4. Se determinó de las investigaciones geotécnicas que en granulometría el 38.6% de grava, el 32.5% de arena y los finos fueron 28.9%, el LL% fue de 21% el IP 7% y el contenido de humedad fue de 16.3%

5. Se determino en la caracterización geotécnica que existen 4 unidades denominadas: Bofedales (Unidad Geotécnica I), Depósito Coluvial (Unidad Geotécnica II), Suelo Residual (Unidad Geotécnica III) y Basamento Rocoso (Unidad Geotécnica IV) y el mínimo factor de seguridad estático a corto plazo igual a 1,30; el mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1,35 y el mínimo factor de seguridad pseudoestático a largo plazo a 1,00.
6. Se determino cuál es el diseño del botadero con el corte y Eliminación de Material inadecuado, los diques de Contención y el sistema de Subdrenaje.
7. Se ha analizado un crecimiento de los diques de contención entre las cotas 4,055 y 4 065 msnm, con una orientación hacia el interior del apilamiento.
8. Los resultados de los análisis de estabilidad de taludes de los crecimientos de los diques de contención del botadero a la cota 4,065 msnm, indican que la configuración propuesta presenta condiciones estables.
9. El sistema de subdrenaje en la zona del apilamiento de turba debe ser instalado inmediatamente por debajo de la geomembrana existente (excavación en la turba existente). En la zona correspondiente al dique de contención sur. Se deberán dejar extremos sueltos del sistema de subdrenaje para posteriores ampliaciones.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020, debe ser realizado por profesionales de mucha experiencia por el gran tamaño que tendrá el botadero.
2. El relleno masivo de los diques de contención debe ser con material de desmonte de mina de regular a buena calidad.
3. Se debe tener en cuenta que para los crecimientos posteriores al actual (a la cota 4,065 m.s.n.m.), se debe utilizar material de desmonte de buena calidad para el relleno de los diques.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Chapilliquen, V. (2017). *Caracterización geotécnica del suelo y roca para el diseño de pozas sedimentadoras en la zona de Ciénega Norte – Tantauatay, Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, Cajamarca, Perú.
- Departamento de Ingeniería mina. (2018). *Estudio de estabilidad de botaderos*.
- Gonzales de Vallejo, L. (2006). *“Ingeniería Geológica”*. Madrid, España .
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Hernández Sampieri Roberto, FernMetodología de la Investigación. México: Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición*. México.
- Lanata, M. (2009). *Modelamiento de vibraciones en el campo cercano aplicado a lagunas Norte*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica. EPIM, Lima, Perú.
- López, J. C y Otros. (2006). *Manual de Construcción y Restauración de Escombreras*. Madrid, España.
- Minera Barrick Misquichilca S.A. (2004). *Technical & Economic Evaluation*. Alto Chicama, Perú.
- Morales, M. (2009). *Caracterización Geotécnica y Determinación de Ángulos de Talud en Yacimiento Franke*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile, Chile.
- Ortiz, W. (2016). *Diseño de botaderos de desmonte en Open Pit usando MINESIGHT 7.0 E.E. Pirámide CIS CUAJONE*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de san Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú.

Paucar, G. (2015). *Diseño y estabilidad de botaderos de desmonte para la remediación de pasivos ambientales de la mina Recuperada Huancavelica*. (Tesis de pregrado).

Universidad Nacional del Centro del Perú Facultad de Ingeniería Civil, Huancayo, Perú.

Reymer, D. (2013). *Gestión del sistema de despacho para la optimización del ciclo de acarreo en la Unidad Minera Lagunas Norte Cía. Minera Barrick Misquichilca*.

(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Geología, Geofísica y Minas Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, Arequipa, Perú.

Rincón, B. . (2016). *Caracterización geo mecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocárbón Sugamuxi” Municipio de Gámeza*

*Boyacá*. (Monografía de pregrado). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC Facultad Seccional Sogamoso. Escuela De Ingeniería Geológica. Sogamoso, Colombia.

# **ANEXO**



**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS**

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>POBLACION</b>
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿Cómo influye la caracterización geotécnica en el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Realizar la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> La caracterización geotécnica son factores condicionantes para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.</p> <p><b>Hipótesis Nula.</b> La NO caracterización geotécnica NO son factores condicionantes para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.</p>	<p><b>Tipo</b></p> <p>El tipo de investigación es APLICADA, porque se realizara la caracterización geotécnica para el diseño final del botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.</p> <p><b>Nivel de la investigación.</b></p> <p>Será descriptiva, porque describe los resultados obtenidos después del diseño de la malla de perforación y voladura de rocas.</p> <p><b>Método.</b></p> <p>El método es no experimental debido a que la manipulación de variables no es deliberada y solo se observa al fenómeno en su ambiente natural para después analizarlo.</p>	<p><b>Población y Muestra</b></p> <p>Botadero Este Fase 3, mina Lagunas Norte Minera Barrick Misquichilca S.A. – 2020.</p>
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicos</b>		
¿Cuáles son los criterios de diseño?	Determinar cuáles son los criterios de diseño.	Se determinará cuáles son los criterios de diseño.		
¿Cuál es Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico?	Determinar cuál es Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico.	Se determinará cuál es la Aceleración de Diseño y el Coeficiente Sísmico.		
¿Cuáles son las investigaciones geotécnicas?	Determinar cuáles son las investigaciones geotécnicas.	Se determinará cuáles son las investigaciones geotécnicas.		
¿Cuál es la caracterización geotécnica?	Determinar cuál es la caracterización geotécnica.	Se determinará cuál es la caracterización geotécnica.		
¿Cuál es el diseño del botadero?	Determinar cuál es el diseño del botadero.	Se determinará cuál es el diseño del botadero.		

Fuente: El tesista