



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES
EN LAS OPERACIONES MINERAS DE LA
CANTERA LOS CHANCAS III 5HNOS, DISTRITO
DE BAMBAMARCA, DEPARTAMENTO DE
CAJAMARCA, 2017**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
FIGUEROA TORRES, KRISTELL JHOSELIN**

Cajamarca - Perú

2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mis padres Arturo y Maruja, por su comprensión y ayuda en momentos malos y buenos, por ser ellos el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada una de mis metas, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ellos, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

Kristell Figueroa torres.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas y valor para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mis padres, porque siempre los he sentido presentes en mi vida. Y sé que están orgullosos de la persona en la cual me he convertido, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me han demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis hermanos, que con sus consejos me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida.

A la Universidad Alas Peruanas – Filial Cajamarca y en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

Kristell Figueroa torres,

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
CARÁTULA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación social.....	2
1.2.3. Delimitación temporal	2
1.2.4. Delimitación conceptual.....	3
1.3. Problemas de investigación	3
1.3.1. Problema principal.....	3
1.3.2. Problemas secundarios.....	3
1.4. Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Formulación de la hipótesis de la investigación	5
1.5.1. Hipótesis general.....	5
1.5.2. Hipótesis secundarias	5

	Pág.
1.5.3. Variables	5
1.6. Metodología de la investigación.....	7
1.6.1. Tipo y nivel de investigación.....	7
1.6.2. Método y diseño de la investigación.....	7
1.6.3. Población y muestra de la investigación.....	8
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	8
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. Antecedentes del Problema.....	11
2.1.1. A Nivel Global.....	11
2.1.2. A Nivel Nacional	13
2.1.3. A Nivel Local	15
2.2. Bases Teóricas	18
2.2.1. Mecanismos de Rotura.....	19
2.2.2. Métodos de Cálculo de Estabilidad	33
2.3. Definición de Términos Básicos.....	43
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
3.1. Ubicación y Accesibilidad.....	45
3.1.1. Ubicación Política.....	45
3.1.2. Accesibilidad	45
3.2. Climatología	47
3.3. Fisiografía y Geomorfología.....	48
3.3.1. Fisiografía.....	48
3.3.2. Geomorfología.....	49
3.4. Modelo Matemático.....	50
3.5. Geología	51

	Pág.
3.5.1. Formación Cajamarca (Ks-ca).....	51
3.5.2. Formación Celendín (Ks-ce).....	52
3.5.3. Depósitos Cuaternarios.....	53
3.6. Modelamiento Geomecánico: Puntos de Control.....	53
3.6.1. Clasificación RMR	54
3.6.2. Método Numérico de Hoek y Brown	64
3.7. Análisis de Estabilidad de Taludes	68
3.7.1. Análisis Estereométrico y Cinemático	68
3.7.2. Análisis de Equilibrio Límite (Slide V.6.0)	76
3.8. Proceso de contraste de hipótesis	77
3.8.1. Prueba de Hipótesis General	77
3.8.2. Prueba de Hipótesis Específicas	77
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS	84
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	85
Anexo 2: Fotografías	89
Anexo 3: Planos	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Deslizamiento circular.....	23
Figura 2: Deslizamiento circular combinado.	24
Figura 3: Desarrollo de deslizamiento curvilíneo.....	25
Figura 4: Geometría tridimensional de deslizamiento circular.....	27
Figura 5: Deslizamiento traslacional.	28
Figura 6: Rotura por vuelco.....	29
Figura 7: Rotura por vuelco secundario.	30
Figura 8: Rotura por pandeo.	31
Figura 9: Desprendimientos en roca.	33
Figura 10: Estimación del factor de seguridad según el primer método.....	39
Figura 11: Estimación factor de seguridad según segundo método.....	40
Figura 12: Estimación del factor de seguridad según el tercer método.....	41
Figura 13: Ruta de acceso desde Cajamarca hasta el Proyecto.....	46
Figura 14: Modelo matemático aplicado.	51
Figura 15: Formación Cajamarca presente en la Calera.....	52
Figura 16: Formación Celendín en los acreedores de la Calera.	52
Figura 17: Depósitos cuaternarios utilizados para la agricultura.	53
Figura 18: Aspecto del Macizo rocoso.	54
Figura 19: Persistencia en las discontinuidades.	58
Figura 20: Abertura en las discontinuidades.	59
Figura 21: Rugosidad en las discontinuidades.....	59
Figura 22: Relleno en las discontinuidades.....	60
Figura 23: Alteración en las discontinuidades.....	60
Figura 24: Análisis numérico realizado.	67
Figura 25: Planos mayores y polos de las discontinuidades y del Talud.	69
Figura 26: Concentración Fisher de los polos de las discontinuidades.....	70
Figura 27: Gráfico de rosa de las discontinuidades y el talud.	71
Figura 28: Interpretación final de la Rotura Planar.....	72
Figura 29: análisis Determinístico con el programa Dips v5.0.....	72
Figura 30: Resultado de Factor de seguridad.	73
Figura 31: Resultado de Factor de seguridad.	75

	Pág.
Figura 32: Resultados del Análisis de equilibrio límite por dovelas con Slide.	76
Figura 33: Horno de calcinación.....	89
Figura 34: Trabajos en cantera.	89
Figura 35: Zona de embolso.	90
Figura 36: Ensacado de cal.....	90
Figura 37: Desmonte de cantera.....	91
Figura 38: Vista de los hornos de calcinación.....	91
Figura 39: Vista de los hornos de calcinación vacíos.....	92
Figura 40: Vista panorámica de la cantera.....	92
Figura 41: Infraestructura de la calera.	93
Figura 42: Vista de cantera y almacenamiento de carbón antracita.....	93
Figura 43: Estratificación de las calizas.	94
Figura 44: Estratificación y accesos a cantera.....	94
Figura 45: Molino de cal.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2 Factores de seguridad.....	17
Tabla 3 Clasificación de tipos de movimientos.....	21
Tabla 4 Métodos de cálculo.....	34
Tabla 5 Accesibilidad a la zona.....	45
Tabla 6 Estación meteorológica más cercana al proyecto.....	47
Tabla 7 Datos de la estación meteorológica Bambamarca.....	48
Tabla 8 Coordenadas UTM-PSAD 56 de la estación geomecánica.....	53
Tabla 9 Clasificación de la resistencia.....	55
Tabla 10 Clasificación RQD.....	56
Tabla 11 Clasificación del espaciado.....	57
Tabla 12 Clasificación de la persistencia.....	58
Tabla 13 Clasificación de la abertura.....	59
Tabla 14 Clasificación de la alteración.....	61
Tabla 15 Presencia de agua.....	62
Tabla 16 Cálculo del RMR para el macizo rocoso.....	62
Tabla 17 Clasificación del RMR.....	63
Tabla 18 Clasificación de GSI para la cantera Los Chancas III5Hnos.....	64
Tabla 19 Resultados del análisis numérico del macizo con Hoek y Brown.	67
Tabla 20 Promedio de las discontinuidades y del Talud.....	70

RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo principal Evaluar la estabilidad de los taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos.

El modelamiento Geológico muestra que los taludes están formados por calizas de la Formación Cajamarca, encontrándose la Formación Celendín y Depósitos cuaternarios en los alrededores. En cuanto al modelamiento Geomecánico muestra un macizo Muy Bueno (RMR=82) según la clasificación RMR de Bieniawski (1989); según la metodología Hoek y Brown el macizo tiene una resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta de 75MPa, un GSI de 77, y un factor de disturbación de 0.7 para una buena voladura.

El modelamiento Matemático muestra una rotura planar según el Análisis Estereométrico con el Programa Dips v5.0, esta rotura planar se analizó con el Programa RocPlane V2.0, dando un factor de seguridad pseudo-estático de 6.8 y un FS dinámico y saturado de 6.5, descartando el peligro por rotura planar.

Los análisis de equilibrio límite se ha realizado por dovelas con un total de 24, el programa Slide v 6.0 (FS=7.), donde se evidencia el color azul que representa que el talud es estable.

Palabras Clave: Estabilidad de taludes, Factor de seguridad, Operaciones mineras, geomecánica.

ABSTRACT

The present thesis had as general objective to evaluate the stability of the slopes in the mining operations of the quarry Los Chancas III 5Hnos.

Geological modeling shows that the slopes are formed by limestones of the Cajamarca Formation, being the Formation Celendín and Quaternary Deposits in the surroundings. Geomechanical modeling shows a Very Good massif (RMR = 82) according to the RMR classification of Bieniawski (1989); according to the Hoek and Brown methodology the massif has a uniaxial compression strength of intact rock of 75MPa, a GSI of 77, a 12 and a disturbance factor of 0.7 for a good blast.

Mathematical modeling shows a planar break according to the Stereometric Analysis with the Dips Program v5.0, this planar break was analyzed with the Program RocPlane V2.0, giving a pseudo-static safety factor of 6.8 and a dynamic and saturated FS of 6.5, ruling out the danger of planar rupture.

Limit equilibrium analyzes have been performed by voussoirs with a total of 24, the Slide v 6.0 program (FS = 7.), Where the blue color is shown, which represents that the slope is stable.

Key words: Stability of slopes, Safety factor, Mining operations, geomechanics.

INTRODUCCIÓN

A pesar de que los recursos mineros no metálicos son estratégicos e indispensables dentro del desarrollo de nuestro país, el diseño adecuado de los taludes de las canteras para su explotación no se estudia a cabalidad, de manera que conduzca a una utilización eficiente dentro de su aprovechamiento. Contar con un adecuado estudio sería especialmente conveniente para la toma de decisiones con respecto al abastecimiento de óxido de calcio dentro de nuestra provincia.

La tesis se divide en cuatro capítulos principales, adicionalmente en la primera parte se elaboró la dedicatoria, agradecimiento, resumen, abstract e introducción.

En el Capítulo I, lleva por título Planteamiento Metodológico, donde se elaboró la descripción de la realidad problemática enfocado a la estabilidad de taludes; la delimitación de la investigación espacial, social, temporal y conceptual; los problemas de investigación, los objetivos, las hipótesis y finalmente la metodología basado en el libro de Hernández (2006).

En el Capítulo II, lleva por título Marco Teórico, que comprenden los antecedentes internacionales, nacionales y locales del problema; las bases teóricas enfocadas a las variables; y por último la definición de términos básicos.

En el Capítulo III, lleva por título Presentación de Resultados, donde se describen los aspectos generales como ubicación, accesibilidad, climatología, fisiografía y geomorfología; como tema de fondo se realizó el modelo matemático, modelo geomecánico, y el análisis de estabilidad de taludes.

En el Capítulo IV, lleva por título Proceso de Contraste de la Hipótesis, en este capítulo se contrasta la hipótesis tanto general y específicos, quedando aprobadas todas las hipótesis.

Finalmente se realizaron las conclusiones y recomendaciones como resultado del presente estudio.

En los anexos, se implementó las fotografías de la zona de trabajo, planos, y la ficha de toma de datos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

El desarrollo socioeconómico integral y armónico de un país se alcanza mediante el aprovechamiento técnico y racional de sus reservas naturales con miras a incrementar y mejorar las condiciones de vida de la colectividad. Para planificar este desarrollo es preciso inventariar las reservas naturales con que contamos y planificar su explotación técnica con miras a un verdadero aprovechamiento racional.

En Perú, varias de las concesiones mineras dedicadas a la explotación de distintos recursos minerales, tanto metálicos como no metálicos, no cumplen con las medidas de estabilidad de taludes que garanticen la seguridad de los trabajadores y que a su vez permitan un buen aprovechamiento del recurso; se afirma que: “La explotación se la ejecuta mediante taludes verticales no recomendados para la explotación de áridos y que no guardan los decretos de seguridad minera establecidos, en ocasiones se observan inclusive taludes negativos con alto riesgo de desprendimiento de material”. (Bustamante et al, 2013)

La estabilidad de taludes se evalúa mediante diversos parámetros se afirma que: “Una etapa fundamental de todo proyecto minero a cielo abierto considera llevar a cabo la caracterización geológico-geotécnica del macizo rocoso y la evaluación de los ángulos de talud. Con respecto al

análisis cinemático, 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". (Morales, 2013)

Para llegar a estabilizar los taludes de la cantera Los Chancas III 5Hnos, tanto en la etapa de operación como en la de cierre es necesario tener en cuenta los parámetros geométricos y geomecánicos. Se debe empezar a hacer estudios profundos sobre la estabilidad del talud que corre paralelo a la estratificación, teniendo en cuenta que son comunes los desprendimientos de partículas de calizas en condiciones estáticas del talud, resultando un peligro importante para los trabajadores de la cantera. (Guillén, 2014)

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se llevó a cabo en la cantera Los Chancas III 5 Hnos, se encuentra ubicada en el caserío de Maygasbamba, distrito de Bambamarca, provincia Hualgayoc y departamento de Cajamarca.

1.2.2. Delimitación social

En la investigación se trabajó con los trabajadores de la cantera Los Chancas III 5 Hnos y con pobladores del caserío de Maygasbamba.

1.2.3. Delimitación temporal

El presente trabajo de investigación se realizó desde el 15 de junio hasta el 15 de Septiembre del 2017.

1.2.4. Delimitación conceptual

Los conceptos mencionados a continuación, son todos aquellos que tenemos que tener presente a lo largo de este proyecto de tesis:

- Estabilidad de taludes
- Operaciones mineras
- Geotecnia
- Geomecánica

1.3. Problemas de investigación

1.3.1. Problema principal

¿Cómo la evaluación de la estabilidad de taludes influye en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017?

1.3.2. Problemas secundarios

- ¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso a tomar en cuenta para la evaluación de la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017?
- ¿Cuáles son los elementos geométricos adecuados de la cantera para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017?

- ¿Cuál es el factor de seguridad adecuado para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, en el año 2017.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso, para la evaluación de la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.
- Evaluar los elementos geométricos adecuados para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.
- Calcular el factor de seguridad (FS) adecuado para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

1.5. Formulación de la hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

Si se realiza la evaluación de la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos se logrará optimizar el control de la estabilidad de taludes, para evitar deslizamientos en la cantera, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

1.5.2. Hipótesis secundarias

- Si se determina las características geomecánicas del macizo rocoso, se logrará determinar su calidad mediante el RMR de Bienawski, por ende, ayudará a evaluar la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

- Si se evalúan los elementos geométricos adecuados se obtendrá la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

- Si se calcula el factor de seguridad adecuado se obtendrá la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.

1.5.3. Variables

1.5.3.1. Variable independiente

Estabilidad de taludes.

1.5.3.2. Variable dependiente

Operaciones mineras.

1.5.3.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1
Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR
Estabilidad de taludes	Por talud se entiende una porción de vertiente natural cuyo perfil original ha sido modificado con intervenciónes artificiales relevantes con respecto a la estabilidad. Por derrumbe se entiende una situación de inestabilidad que concierne vertientes.	Para realizar la evaluación de la estabilidad de taludes primero se determinarán los parámetros geométricos y geomecánicos. Luego se analiza el factor de seguridad adecuado para obtener la estabilidad del talud.	Tipos de inestabilidad	Derrumbes
				Corrimientos
			Análisis cinemático	Factor de seguridad
				Método de las rebanadas
Operaciones mineras	Son actividades económicas del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos.	Las operaciones mineras se miden de acuerdo a la productividad de cada actividad en el proceso de la obtención del óxido de calcio.	Estadística	Costo/TM.
				Densidad
				Tonelaje - Ley
			Producción	Toneladas de cal viva

Fuente: Guillen, (2014) y Montoya, (2014).

1.6. Metodología de la investigación

1.6.1. Tipo y nivel de investigación

a) Tipo de investigación

El tipo de investigación es Cuantitativa ya que se utilizó la recolección de datos de las condiciones actuales de estabilidad de taludes, para probar hipótesis, y se buscará el mejoramiento de estas. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014)

b) Nivel de la investigación

El nivel de la investigación fue descriptivo ya que se realizó la descripción de las características del macizo rocoso para la evaluación de estabilidad de taludes. (Hernández *et al.*, 2014)

1.6.2. Método y diseño de la investigación

a) Método de investigación

En el presente trabajo de investigación se utilizó del Método Científico, el cual consiste en un conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos. (Hernández *et al.*, 2014)

b) Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue transversal, ya que se analizaron los datos obtenidos de un grupo de datos para evaluar la estabilidad de taludes. (Hernández *et al.*, 2014)

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a) Población

Cantera Los Chancas III 5Hnos, distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca.

b) Muestra

Se estudió un talud usado en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

- Revisión bibliográfica:
 - Tesis realizadas con anterioridad.
 - Manuales técnicos.
 - Estudios en geotecnia

- Observación Directa: Se tiene como principal autor al investigador o tesista del tema.
 - Archivos digitales.
 - Tomas fotográficas
 - Visita In situ.
 - Análisis de resultados: factor de seguridad.

b) Instrumentos

Los instrumentos que se emplearon para la elaboración del presente trabajo de investigación fueron:

- Ficha de toma de datos en campo.
- Caracterización geomecánica de acuerdo al factor de seguridad.
- Ficha de determinación del GSI.

1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación

a) Justificación

Es necesario realizar evaluación de estabilidad de taludes, porque actualmente la cantera Los Chancas III 5Hnos no cuenta con un estudio de esta magnitud, lo cual genera problemas de derrumbes, deslizamientos y afecta la seguridad de las personas en el trabajo.

El estudio se realizó con la finalidad de que la explotación sea mejor planificada y diseñada; por ende, otorgar seguridad minera en las instalaciones, además se busca disminuir los posibles errores productivos.

Por otra parte, con este estudio se beneficiará la empresa Bendición de Dios S.R.L. para tener criterios técnicos en la explotación de caliza de su cantera Los Chancas III 5Hnos; además las personas, estudiantes y empresas que deseen investigar información sobre estabilidad de taludes en cantera podrán contar con esta tesis como referencia.

b) Importancia

Esta investigación es importante para que la empresa Bendición de Dios S.R.L., aplique la evaluación de estabilidad de taludes para mejorar las operaciones mineras en la cantera Los Chancas III 5Hnos.

c) Limitaciones

- La información es limitada ya que otras empresas del mismo rubro, no la comparten; por lo tanto, para la elaboración de

esta tesis se tuvo como guía los antecedentes nacionales e internacionales.

- Para la determinación de las características geomecánicas es necesario realizar ensayos uniaxiales o triaxiales, los cuales para nuestro presupuesto representa un costo elevado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. A Nivel Global

- Merchán (2013), presentaron su tesis para obtener el título de Ingenieros Civiles titulada *“Evaluación de la Estabilidad de los Taludes en un Sector de la Cantera de Materiales Pétreos “Las Victorias””* ante la Universidad de Cuenca – Ecuador. Este trabajo aplicó: Método del círculo de fricción, Método de Markland y los softwares Dips v5.103 y GEO5. El objetivo de esta tesis es evaluar la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera “Las Victorias” y proponer las medidas para su estabilización. Se concluyó que la calidad de las rocas de la cantera “Las Victorias” es de calidad buena según la caracterización geomecánica realizada. El talud analizado (talud base de apertura) se considera estable por las tres direcciones posibles de fallas, en relación con la dirección del agrietamiento presente en el macizo. Las principales inestabilidades que se producen son desprendimientos de rocas. Las medidas de estabilización propuestas permiten evitar potenciales inestabilidades a las que el talud es propenso. Al evaluar la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera “Las Victorias” se obtuvo que la estabilidad del talud de apertura es estable. Dentro de las recomendaciones que se proponen para

la estabilidad están: Corrección Geométrica, Construcción de Bermas, Saneamiento y Control de Voladuras.

- Guillén (2014), presentó su tesis para obtener el título de Ingeniero Civil titulada “*Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales*” ante la Universidad de San Carlos de Guatemala. El objetivo de esta tesis es realizar el estudio preliminar para la estabilización de taludes para evitar las fallas estructurales que podrían crearse por deslizamientos y hundimientos, considero que por los aspectos señalados es necesario crear y tener programas de estudio que cubren esta área de fallas para protección de los taludes. Se concluye que la filtración del agua es retenida en la estructura de los suelos en los diferentes estratos arcillosos y debido a su baja permeabilidad, puede producir en los suelos la pérdida de su consolidación, ocasionando en combinación con las cargas verticales, las fallas del talud representado por deslizamientos continuos en todo el talud.
- Casanova (2016), presentó su tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, titulada “*Análisis y Diseño de los Taludes en la Mina a Cielo Abierto de Diabasa de Triturados El Chocho*” ante la Pontificia Universidad Javeriana – Cali - Colombia. En esta investigación se tiene como objetivo realizar un análisis a largo plazo del factor de seguridad para garantizar la estabilidad de los taludes que quedarán al abandonar la mina “El Chocho”. Este análisis se realizó empleando métodos probabilísticos teniendo en cuenta la variabilidad de las propiedades geo mecánicas. Se concluyó que se utilizó el software Dips 6.0 con el cual se procesó la información y se revisó la posibilidad de las diferentes formas de falla que podían presentar en el talud. También fue necesario realizar simulaciones en el software RocPlane 3.0 y Swedge 6.0 para modelar la rotura plana y en cuña que pudieran

presentarse en el macizo rocoso. En general los diseños de los taludes en los que se está trabajando la explotación del material cumplen con un factor de seguridad que supera el exigido por la norma NSR10 que dice que debe ser mayor a 1,05 en condiciones de carga muerta, carga viva y sismo de diseño. Esto gracias a las propiedades mecánicas del macizo, la geometría, y sus buenas técnicas de voladura que permite tener taludes de 30 a 60 metros con inclinaciones o ángulos de estabilidad mayores de 70°. Cabe aclarar que esta inclinación es el Angulo de trabajo que se maneja en la mina durante la explotación del material, dicho ángulo es pasajero y se usa para obtener una mejor eficiencia en la explotación y permitir que el material caiga.

2.1.2. A Nivel Nacional

- Ale (2012), presentó su tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Geotécnica titulada "*Influencia de la Alteración Hidrotermal en la Calidad del Macizo Rocosos en Taludes de Tajos Abiertos*" a la Universidad Nacional de Ingeniería - Lima – Perú. El objetivo de esta tesis es realizar los análisis de estabilidad de taludes difieren según se trate de suelos o rocas. Se concluyó que en el Perú existen un gran número de yacimientos minerales los cuales han sido mineralizados mediante procesos hidrotermales. Estos procesos aparte de mineralizar una determinada zona, alteran a las rocas existentes, sobre las cuales posteriormente se deberán construir estructuras mineras de importancia como túneles, tajos abiertos, pads de lixiviación, presas de relave, etc. Este trabajo presenta una discusión sobre la influencia de la alteración hidrotermal en roca, y su importancia en la clasificación del macizo rocoso y el diseño de taludes de tajos abiertos. Partiendo de una breve reseña de los principales métodos de clasificación del macizo rocoso, de la revisión de información de registros de

perforaciones diamantinas en yacimientos hidrotermales, y de la interpretación de los resultados de los ensayos de laboratorio (compresión uniaxial e índice de carga puntual). Se compara la resistencia de la roca intacta en función al grado de alteración del macizo rocoso, y se realiza una correlación de sus valores, para finalmente insertarlo en el análisis de estabilidad de taludes de tajo.

- Morales (2013), presentó su proyecto de investigación titulada *“Evaluación de la Estabilidad de Taludes en la Mina Lourdes”* a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann– Tacna – Perú. El objetivo de esta tesis es realizar el análisis de la estabilidad de taludes permite establecer los parámetros para los diseños más seguros y para elegir las técnicas de mitigación más económicas y factibles. Se concluyó que se procedió al análisis de estabilidad para la condición de máximo encampane, es decir de 60 m (98 pies) de alto; estimando las fuerzas que tienden a producir el deslizamiento y las fuerzas resistentes. Obteniéndose un Factor de Seguridad de 2.13, lo que manifiesta la estabilidad de diseño para cada banco final propuesto en la pared Sur de la cantera. Se levantó información estructural mediante línea de detalle; determinándose como el sistema de discontinuidades más desfavorable, en la cantera LOURDES, al Sistema Fractura "B", con rumbo 277 NE y buzamiento 37° N hacia la cara libre del talud final. Configurando el riesgo potencial de una inestabilidad por falla de corte plana. Se procedió al análisis de estabilidad para la condición de máximo encampane, es decir de 30 m (65 pies) de alto; estimando las fuerzas que tienden a producir el deslizamiento y las fuerzas resistentes. Obteniéndose un Factor de Seguridad de 3.75, lo que manifiesta la estabilidad de diseño para cada banco final propuesto en la pared Sur de la cantera.

- Valeriano (2015), presentó su tesis para obtener el grado de Ingeniero de Minas titulada “*Caracterización Geotécnica y Modos de Falla Estructural en el Talud en Roca del Cerro Espinal Juliaca*” a la Universidad Nacional del Altiplano - Puno – Perú. El objetivo de esta tesis es realizar una caracterización geotécnica e identificar los modos de falla estructural en el talud de roca del Cerro Espinal Juliaca. Se concluyó que las estructuras tienen un RQD de 73.93, un RMR de 58.5 y un GSI de 53.5, dentro de las características geológicas tenemos que la litología presente en el talud está constituida por Fonolitas del grupo Mitu. Además las discontinuidades presentan superficies onduladas y ligeramente rugosas, la meteorización presente es de segundo grado, con muy poca presencia de agua, los rellenos en las discontinuidades son bandos, el ángulo de fricción promedio es 56.23° este ángulo es relativamente alto por lo cual este talud sigue estable, la resistencia a la compresión simple de la roca intacta tiene como valor promedio de 65.43 MPa y un índice de carga puntual de 2.90 MPa consideramos que la roca es de regular a buena resistencia. El análisis de estabilidad por el método de equilibrio límite para un modo de falla por vuelco en condiciones estáticas es igual a un factor de seguridad de 1.199 y en condiciones pseudoestáticas el factor de seguridad es igual a 1.084 estos valores son aceptables debido a la continua caída de bloques grandes de las partes altas hacia el pie del talud.

2.1.3. A Nivel Local

- Bustamante y Quiliche (2013), presentaron su proyecto de investigación para el curso de Geotecnia I titulado “*Análisis de Estabilidad de Taludes en rocas Areniscas, Calcáreas y volcánicas – Casos Prácticos*” en la Universidad Nacional de Cajamarca – Perú. El objetivo es explicar que la estabilidad de un talud depende tanto de su geometría-pendiente y altura-

como de las características intrínsecas del propio suelo que lo forma- ángulo de rozamiento interno y cohesión- y que definen su resistencia a cizalla. Se concluyó que el desplazamiento de un talud se produce por la rotura y posterior desplazamiento de una cuña de suelo a lo largo de un plano de debilidad, lo que ocasiona un desmoronamiento total o parcial de dicho talud. Las causas que producen este deslizamiento son muy diversas como por ejemplo filtraciones de agua, vibraciones, socavaciones, etc; lo que más difícil es su encuadre analítico. Para poder realizar la estabilidad de taludes es necesario entender las causas que producen la inestabilidad, algunas de dichas causas pueden ser por ejemplo: talud muy empinado por corte o relleno, exceso de presión de poros (niveles freáticos altos o interrupción de la trayectoria de drenaje), socavación por erosión del agua superficial, pérdida de resistencia con el tiempo por reptación e intemperismo, la superficie de falla se determina con sondajes e inclinómetros, estabilización de derrumbe o deslizamiento mediante tendido de talud o uso de contrafuertes o estructuras de retención.

- Montoya (2014), presentó su tesis para obtener el grado de Ingeniero Geólogo titulada "*Evaluación Geotécnica de los Taludes de la Carretera Cruz Blanca- El Gavilán*" a la Universidad Nacional de Cajamarca – Perú. El objetivo de esta tesis fue realizar la evaluación geotécnica de los macizos rocosos y suelos en la carretera Cruz Blanca - El Gavilán para definir la inestabilidad de los taludes. Se concluyó que el cálculo geotécnico reportaron valores del macizo rocoso y la matriz rocosa, de mayor influencia teniendo una estimación del factor de seguridad y así como: Resistencia a la compresión simple (MPa), Índice Geológico de Resistencia (GSI), Dip y Dip Direction. Los resultados obtenidos del programa Dips reporta un análisis geotécnico con respecto a su Dip y Dip Direction, en

rocas tenemos: 2 roturas planares y 3 roturas en cuña, siendo estas el ángulo de fricción un de los parámetros importantes para determinar la zona de riesgo de falla en el talud. Los factores de seguridad han sido determinados en condiciones: tensiones totales, tensiones efectivas, tensiones efectivas +, sismicidad, para obtener las condiciones geotécnicas de los taludes, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 2
Factores de seguridad.

Nombre	T.T.	T.E.	T.E. + Sismicidad
Tramo 01	0.759	0.049	0.009
Tramo 02	0.944	0.601	0.381
Tramo 04	0.651	0.649	0.431
Tramo 05	0.827	0.823	0.652
Tramo 06	0.743	0.009	0.011
Tramo 09	0.873	0.824	0.616

Fuente: Montoya (2014).

- Toro (2014), presentó su tesis para obtener el grado de Ingeniero Civil titulada “*Evaluación de la Inestabilidad de Taludes en la Carretera Las Pirias- Cruce Lambayeque, San Ignacio*” a la Universidad Nacional de Cajamarca – Perú. El objetivo fue evaluar los taludes inestables en la zona inestable de la carretera en mención. Se concluyó que el criterio de falla de taludes está basado en la ley de Mohr-Coulomb, la cual está a su vez en el método de fricción, dice que cuando el esfuerzo cortante actuante llega a un máximo igual al de su resistencia $S = C + O \cdot \text{ntg}$. Los factores que afectan la inestabilidad de taludes en promedio los más incidentes: Ángulo de fricción. $(\phi) = 12.71^\circ$, Cohesión $(c) = 27.46 \text{ kPa}$, Peso específico $\gamma = 27,34 \text{ kN/m}^3$. Y los parámetros hidrogeológicos. Así como la pendiente del talud (grado de inclinación), altura y longitud en promedio: Altura= 22.21 m, Pendiente = 62.98° y Longitud= 18.75 m. De los cuales en función del tipo de suelo (CL en la mayoría), dicha geometría de los taludes inestables no son la correcta. Como también no

se cuenta con medidas de protección en los 8 taludes inestables y drenaje adecuado de los ocho taludes inestables.

2.2. Bases Teóricas

Se aprecia que, durante la explotación de vías, presas, yacimientos minerales, etc., se han presentado problemas de deslizamientos causados por diferentes agentes ya sean naturales o humanos. Durante la explotación de diferentes obras como: vías, presas, yacimientos minerales, etc., se han evidenciado problemas de deslizamientos los mismos que probablemente fueron causados por aspectos como: condiciones climáticas adversas, condiciones geológicas desfavorables, zonas de alta sismicidad, intervenciones antrópicas. Todo esto aportando desfavorablemente para las obras en las que se trabaje (Recalde, 2015).

El método de explotación de una cantera de materiales pétreos representa un proceso tecnológico fundamental dentro de la minería a cielo abierto lo que conlleva complejidad ya que de él depende el rendimiento económico. Actualmente se registran numerosos casos en donde canteras y yacimientos minerales presentan problemas relacionados a inestabilidades por falla en taludes. Los terrenos en los que se producen movimientos se dividen en tres grupos: macizos rocosos, suelos y en algunos casos en materiales de relleno. Un elemento fundamental en la conformación de minas a cielo abierto son los taludes (taludes de banco), por los cuales se realiza el ingreso a los frentes de explotación. La evaluación y clasificación de los movimientos que se producen en los taludes poseen un gran fundamento científico y técnico, tanto para evaluar cualitativamente los movimientos, como para su cuantificación. La evaluación cuantitativa y cualitativa de la estabilidad de un talud se efectúa esencialmente al determinar su factor de seguridad, tanto por los métodos de equilibrio límite (exactos y no exactos), como por los métodos de deformaciones (métodos numéricos) (Recalde, 2015).

2.2.1. Mecanismos de Rotura

El mecanismo de rotura es la descripción del proceso físico que se produce en el macizo rocoso con el aumento de la carga o con la disminución de la resistencia y cuando el movimiento empieza y se propaga a lo largo de todo él. El objetivo de este capítulo es presentar sucintamente los distintos tipos de movimientos que se pueden producir en taludes rocosos y describir los factores que condicionan su desarrollo para luego concentrarnos en el tipo que interesa para esta tesis: el deslizamiento plano y circular en un macizo rocoso homogéneo e isótropo. La clasificación del tipo de movimiento tiene gran importancia por influir el análisis de estabilidad, control y medidas de estabilización aplicables. A su vez cada mecanismo de rotura tiene una cierta metodología para cuantificar estabilidad mediante el coeficiente de seguridad. El término deslizamientos implica desplazamientos a lo largo de las superficies de deslizamiento. Las inestabilidades de los taludes rocosos pueden a veces provocar roturas catastróficas abarcando grandes volúmenes de masa rocosa ó velocidades altas que provocan daños enormes (Guillén, 2014).

2.2.1.1. Tipos de rotura

El macizo rocoso puede presentar distintos modos de rotura dependiendo de los siguientes factores:

- Presencia o ausencia de las discontinuidades;
- Orientación de los planos de discontinuidades en relación con la cara exterior del talud;
- Espaciamiento de las discontinuidades en una, dos y tres dimensiones;
- La resistencia al corte de las paredes de discontinuidades;
- La continuidad de sus discontinuidades;
- La influencia del agua.

Los movimientos que se desarrollan en un talud en un macizo rocoso poco fracturado o con sistemas de discontinuidades muy marcados, se distinguen de los movimientos en suelos por intervenir como factor principal de su inestabilidad la presencia de discontinuidades naturales (fallas, diaclasas, juntas de estratificación, esquistosidad, etc.) antes de producirse un movimiento. En este sentido, los medios rocosos son medios discontinuos compuestos por bloques sólidos separados entre sí por discontinuidades, cuyas propiedades tensodeformacionales son de naturaleza anisótropa, donde la rotura se produce a lo largo de superficies preexistentes. Por otra parte, en macizos rocosos fuertemente fracturados, en los que puede considerarse que existe una distribución espacial isótropa de múltiples discontinuidades, la rotura se puede desarrollar a lo largo de múltiples micro superficies de corte y puede ser muy similar a la que se produce en un suelo y en ese caso el macizo rocoso puede considerarse como un medio continuo isótropo. En un talud, la inestabilidad se produce cuando una parte del macizo rocoso se mueve significativamente en relación a otra que permanece estable. Ello quiere decir que las masas inestables están delimitadas por superficies que llamamos superficies de deslizamiento y que conforman sus superficies de contorno. Sobre las superficies de deslizamiento las tensiones están en la condición límite, es decir que en ellas se verifica el criterio de rotura. En los medios rocosos las superficies de contorno son debidas unas veces a discontinuidades estructurales preexistentes, y otras veces a superficies de deslizamiento a través de la roca intacta o superficies mixtas. En otros casos cuando la roca está intensamente fracturada la rotura se produce a

lo largo de una superficie que atraviesa el macizo. Una de las clasificaciones más utilizadas para identificar los mecanismos de rotura es la elaborada por Vames (1978), para US Transportation Research Board y la National Research Council. Establece seis tipos de movimientos básicos. Se presentan resumidos en la Tabla 3 (Montoya, 2014).

Tabla 3
Clasificación de tipos de movimientos.

TIPOS DE MOVIMIENTOS			
1. Deslizamientos	Traslacionales	Planos	Superficie de rotura singular
			Superficie de rotura poligonal
			Cuñas
	Rotacionales		Bloques
			Masas fracturadas
2. Extensiones laterales			
3. Vuelcos			
4. Pandeos			
5. Desprendimientos			
6. Movimientos complejos			

Fuente: Montoya (2014).

Cada uno de los diferentes tipos de los movimientos citados en la Tabla 3 ocurre con distinta frecuencia. Por ejemplo, el denominado como "deslizamiento" ocurre más a menudo que el correspondiente al vuelco o al pandeo. Cada uno de los tipos de movimientos se analiza aplicando distintos métodos de análisis bajo distintas condiciones de equilibrio. En los movimientos de tipo rotura plana, rotura por cuña y vuelco, que dependen de la orientación de las discontinuidades, orientación de la cara exterior del talud y resistencia al corte, los factores geométricos tienen gran influencia en su estabilidad (Montoya, 2014).

2.2.1.2. Deslizamientos

Los deslizamientos pueden ser traslacionales o rotacionales. Se producen al superar la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento predeterminada. Los deslizamientos traslacionales se producen a través de superficies que tienen formas aproximadamente planas o curvas.

Según Hoek & Bray (1981), el deslizamiento circular en taludes en macizos rocosos ocurre cuando (Ale, 2012):

- No hay ninguna singularidad estructural dominante dentro de la masa deslizante (por ejemplo, un macizo rocoso extremadamente fracturado con ninguna orientación de discontinuidades predominante).
- Las partículas individuales son muy pequeñas en comparación con el tamaño del talud, y
- Las partículas individuales dentro de la masa rocosa no están conectadas entre sí como consecuencia de su forma.

Cuando el macizo rocoso se encuentra extremadamente fracturado o meteorizado, o cuando, además, se presentan capas menos resistentes próximas al pie del talud, la superficie de deslizamiento es muy similar a la que se produce en suelos, es decir se produce el deslizamiento rotacional. Geométricamente la forma de deslizamiento se acerca más a la superficie casi circular o cóncava que a cualquier otra (véase Figura 1). Los movimientos rotacionales a lo largo de las superficies circulares se desarrollan si hay discontinuidades preexistentes de características resistentes pobres, o cuando el talud es suficiente alto o abrupto, o ambas cosas a la vez para que las tensiones cortantes producidas por la excavación excedan la resistencia de la masa rocosa (Ale, 2012).

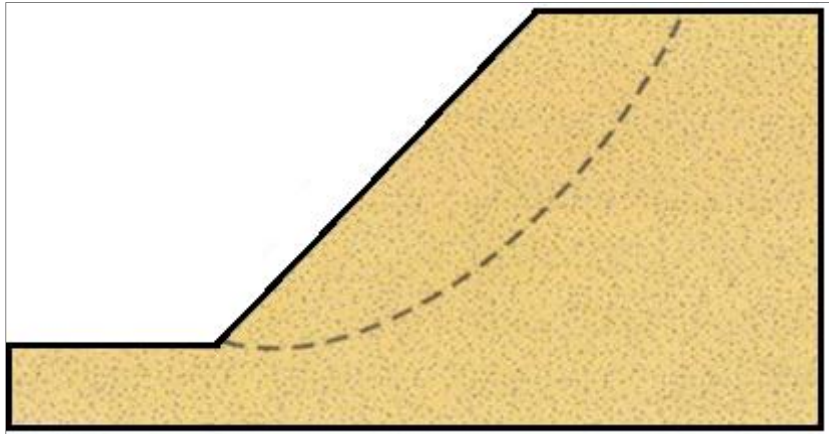


Figura 1: Deslizamiento circular.
Fuente: Ale (2012).

La superficie de deslizamiento circular es el clásico deslizamiento por corte típico para suelos. En medios rocosos, la razón predominante para que se produzca la rotura es la disminución de resistencia al esfuerzo cortante a lo largo de las juntas. Las superficies de deslizamiento en medios rocosos se desarrollan en parte a lo largo de juntas, y en parte cortando la roca matriz. Suele ocurrir en macizos muy diaclasados con tamaño de bloques muy pequeños respecto al talud, pero también es muy frecuente en rocas muy blandas, blandas o muy meteorizadas. Los tipos de roca que generan este tipo de rotura son también ricos en partículas arcillosas, o reblandecidos por decompresión y por influencia del agua cuando la presión intersticial es suficientemente alta como para producir la inestabilidad rotacional. Como consecuencia de este tipo de movimiento aparecen las grietas de tracción en la parte superior del deslizamiento y hacia la dirección del movimiento. Estos deslizamientos pueden estar también condicionadas por la rotura a través de discontinuidades preexistentes. Por ejemplo, a través de grietas de tracción, en combinación con deslizamientos planos, o formando la superficie circular por las diaclasas existentes (Ale, 2012).

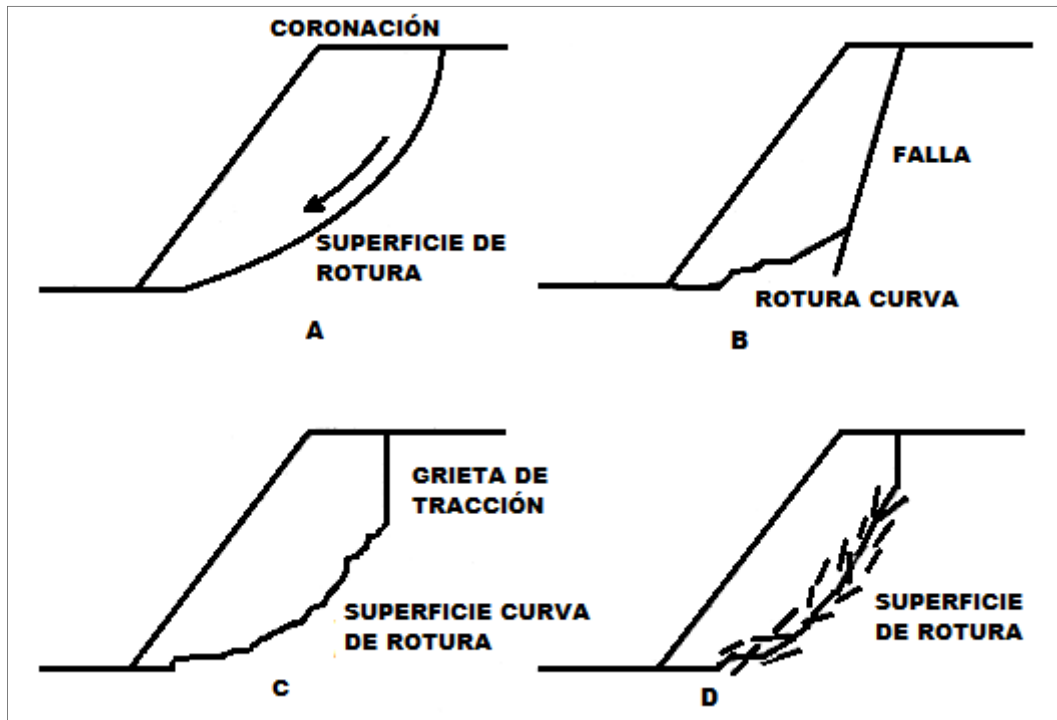


Figura 2: Deslizamiento circular combinado.
Fuente: Ale (2012).

En estos casos de deslizamiento rotacional se pueden y se suelen aplicar los métodos de cálculo de rebanadas típicos y válidos para suelos (Janbu, Bishop, Spencer, Morgenstem & Price, etc.), en donde incluso las superficies deslizantes se pueden forzar para que pasen por las zonas más débiles del terreno. Cuando se presentan grietas de tracción en cabeza del talud, (por meteorización o liberación de tensiones iniciales), no se pueden aplicar directamente los programas de cálculo que habitualmente utilizan esas bases teóricas. Se puede hacer un análisis similar al realizado por Hoek & Bray (1981), utilizando el método de Bishop con posible presencia de agua en la grieta de tracción (Ale, 2012). También se pueden presentar tipos de deslizamiento circular combinado tales como los representados en la Figura 2 y cuyo deslizamiento se puede asemejar de manera simplificada a un círculo. Estos son:

- Deslizamiento circular por cortante;

- Deslizamiento circular por cortante en combinación con deslizamiento plano;
- Deslizamiento circular por cortante en combinación con la grieta de tracción en la parte superior del talud; y
- Deslizamiento circular a través del macizo rocoso y a lo largo de discontinuidades.

El término "deslizamiento curvilíneo" (Hudson & Harrison, 1997) se utiliza para describir un grupo de inestabilidades tales como los mostrados en la Figura 3, que es complementaria a las Figuras 1 y 2. Este término, en términos coloquiales, se considera sinónimo al término más usual de deslizamiento circular que a su vez se considera que también tiene en cuenta un deslizamiento no circular (Ale, 2012).

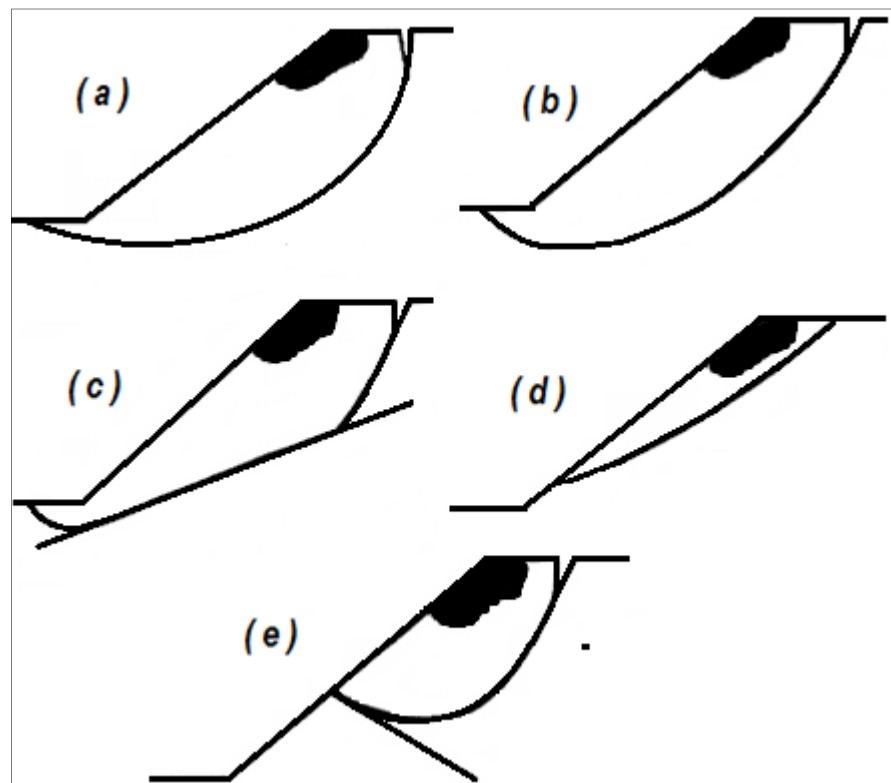


Figura 3: Desarrollo de deslizamiento curvilíneo.
Fuente: Ale (2012).

En la Figura 3 se presentan cinco diagramas de condiciones geológicas diferentes, bajo cuales los

deslizamientos curvilíneos se pueden desarrollar (Ale, 2012):

- Para material rocoso isótropo, la forma de superficie de deslizamiento tiende a tener una sección circular. Ocurre en la roca fuertemente diaclasada, la roca fragmentada, la roca alterada y meteorizada, en rocas blandas, etc (Ale, 2012).
- Para material rocoso anisótropo, tal como los que poseen una estructura laminada, donde la superficie de deslizamiento tiende a alargarse en la dirección paralela a la estructura laminada. Ocurre en las rocas laminadas como pizarras, esquistos, lutitas, etc (Ale, 2012).
- Para material rocoso con una discontinuidad muy marcada donde el deslizamiento tiende a seguir esta misma discontinuidad lo más posible. Ocurre en cualquier tipo de roca que contiene juntas, fallas, etc (Ale, 2012).
- En los materiales rocosos con una resistencia poco cohesiva y de naturaleza granular, la curvatura de deslizamiento es menos marcada y tiende a ser plana y la grieta de tracción casi no existe. Ocurre en la roca fuertemente fracturada, residual y adopta formas superficiales (Ale, 2012).
- En los materiales rocosos heterogéneos donde la diferencia entre dos materiales es muy marcada, siendo el material de abajo más resistente (Ale, 2012).

Basándose en datos tomados de la experiencia, en estos materiales se produce una superficie de deslizamiento de tipo curvilínea y normalmente termina con una grieta de tracción en la parte superior del mismo. La forma y la posición de la superficie de deslizamiento dependen de

las características resistentes del macizo rocoso, es decir de sus características estructurales. En las Figuras 1, 2 y 3 vienen presentadas las superficies de deslizamiento bidimensionales. En realidad, la superficie de deslizamiento circular es un fenómeno tridimensional (véase Figura 4), pero como simplificación, y del lado de la seguridad, se analizará en dos dimensiones (Ale, 2012).

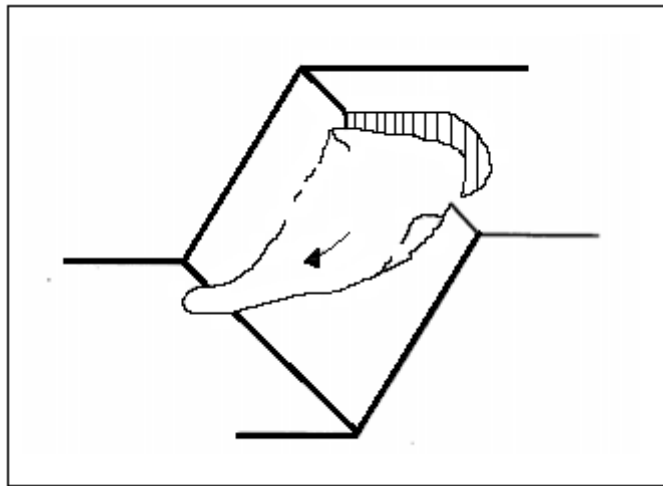


Figura 4: Geometría tridimensional de deslizamiento circular.
Fuente: Ale (2012).

La Figura 5 representa el deslizamiento traslacional sobre una superficie preexistente. La masa del terreno que se moviliza se mueve a lo largo de una superficie casi plana o suavemente ondulada, por discontinuidades bien marcadas con menor resistencia al corte; por ejemplo, en el contacto de calizas y margas, o por ejemplo sobre una superficie de esquistosidad con arcilla (Merchán & Sánchez, 2013).

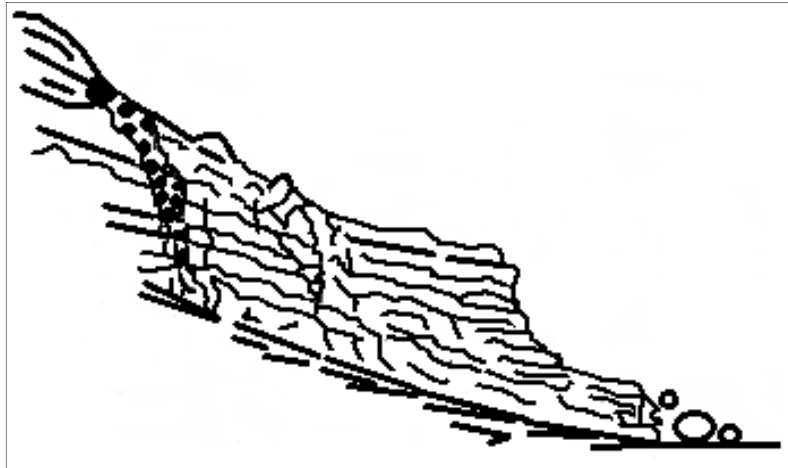


Figura 5: Deslizamiento traslacional.
Fuente: Ale (2012).

2.2.1.3. Rotura por Vuelco

Para que se produzca en un talud el fenómeno de vuelco, también conocido como "cabeceo", o a menudo con la denominación inglesa "toppling", es necesario que exista una familia de discontinuidades que siendo paralelas tengan casi el mismo rumbo que el talud, con buzamiento alto y orientación hacia el interior del talud. El vuelco conlleva la rotación de los bloques, o columnas, en torno de una base fija bajo la acción gravitatoria o presión de agua en las discontinuidades. Implica que un estrato tiende a quedar colgado y soportado por la resistencia pasiva de las capas de la base del talud. Goodman & Bray (1976) cifran en $\pm 10^\circ$ la diferencia máxima entre ambos para que se produzca el fenómeno. Las roturas por vuelco pueden manifestarse a cualquier escala y en casi todo tipo de roca, incluso pueden ser profundas y grandes. Pueden incluir también roca bastante sana. Ocurren tanto en taludes naturales como en taludes excavados, en desmontes en obras civiles o cortas mineras. En la Figura 6 se presentan tres tipos de vuelcos (Merchán & Sánchez, 2013):

- A - Vuelco por flexión ("flexural toppling").

- B - Vuelco de bloques rígidos ("block toppling").
- C - Vuelco por flexión de bloques (mixto) ("block-flexural toppling").

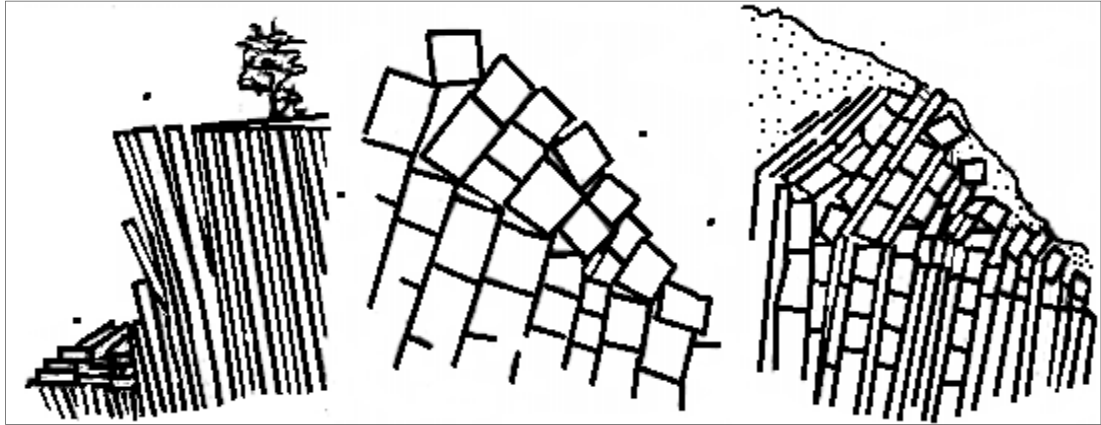


Figura 6: Rotura por vuelco.
Fuente: Ale (2012).

El vuelco por flexión se produce en rocas duras con discontinuidades bien definidas y con pendientes casi verticales. Puede ser provocado por la erosión de la base del talud. Se desarrolla como un mecanismo compuesto por flexiones pseudo-continuas del material, individualizado en columnas. Ello es debido a una serie de movimientos acumulados a lo largo de las discontinuidades, lo que conlleva el origen de grietas de tracción muy profundas. En este caso no existen formulaciones válidas que sean fáciles de aplicar para el cálculo. Este tipo de vuelco abarca a menudo, horizontalmente, la longitud de hasta cinco veces de altura del talud. El vuelco de bloques rígidos puede ocurrir en una roca dura con juntas ortogonales de gran espaciamiento, dando lugar a una geometría de columnas divididas en bloques. El empuje sobre los bloques inferiores origina su desplazamiento, y progresa hacia la parte superior del talud. En este caso existen distintos métodos de cálculo, como los de Goodman & Bray (1976), los ábacos de Zanbak (1983), de Ayala et al. (1985).

El método de Sagaseta et al. (2001) supone un avance en el tratamiento matemático y analítico de este problema. El vuelco mixto se caracteriza por una flexión pseudo-continua que afecta a columnas largas de roca con juntas transversales, y representa un caso que participa de las características de los dos mecanismos antes descritos. Existen también modos de rotura por vuelco de tipo secundario, es decir, provocado como consecuencia de otros modos de inestabilidad (véase Figura 7). Estos tipos de vuelco generalmente se inician por el corte del pie de talud por incidencias naturales, como erosión, o por las actividades de origen humano. En todos estos casos representados en la Figura 7, el primer modo de rotura viene dado como un deslizamiento, y como consecuencia del mismo se produce una rotura por vuelco (Merchán & Sánchez, 2013).

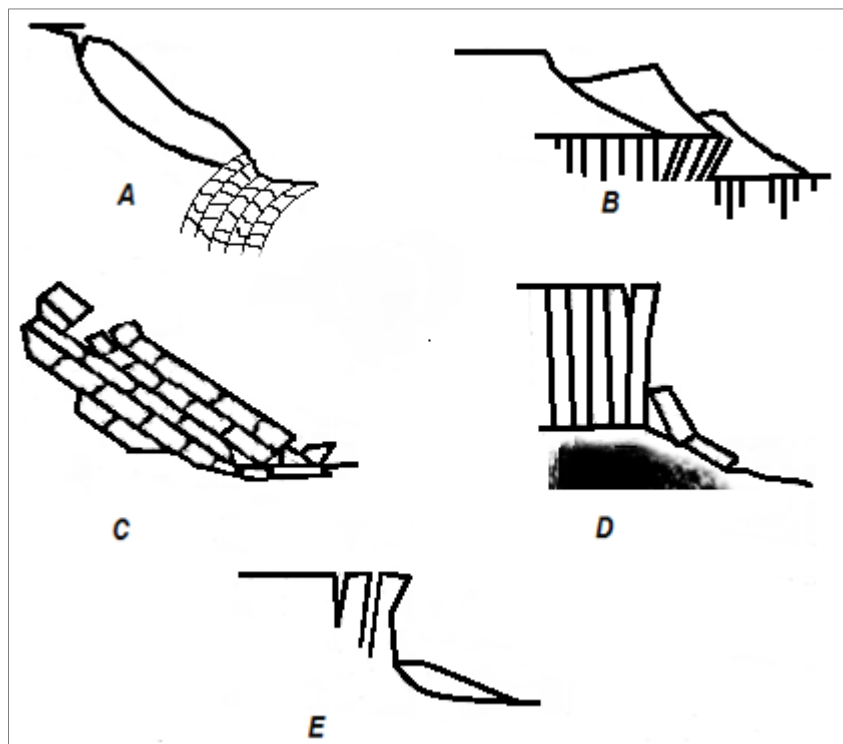


Figura 7: Rotura por vuelco secundario.
Fuente: Ale (2012).

2.2.1.4. Rotura por pandeo

El fenómeno de pandeo ("buckling") se produce cuando el buzamiento de discontinuidades es igual o mayor que el buzamiento del talud natural. Es decir, cuando la estratificación es subvertical, y cuando los estratos son suficientemente estrechos. Debe existir una gran diferencia entre dos de las tres dimensiones que definen geometría. Este tipo de rotura, bastante singular, puede darse en determinados taludes con un elevado ángulo de inclinación y con una estratificación o fracturación de la roca paralela al talud. Puede progresar hacia el interior del talud y llegar sucesivamente a estratos subyacentes. La rotura por pandeo se puede denominar también como vuelco inverso de los estratos. La rotura por pandeo se ve favorecida por la presencia de empujes sobre la placa o estrato superficial, procedentes del terreno subyacente, o por el efecto de la subpresión. También se produce por compresión de columnas de roca (Tapia, 2012).

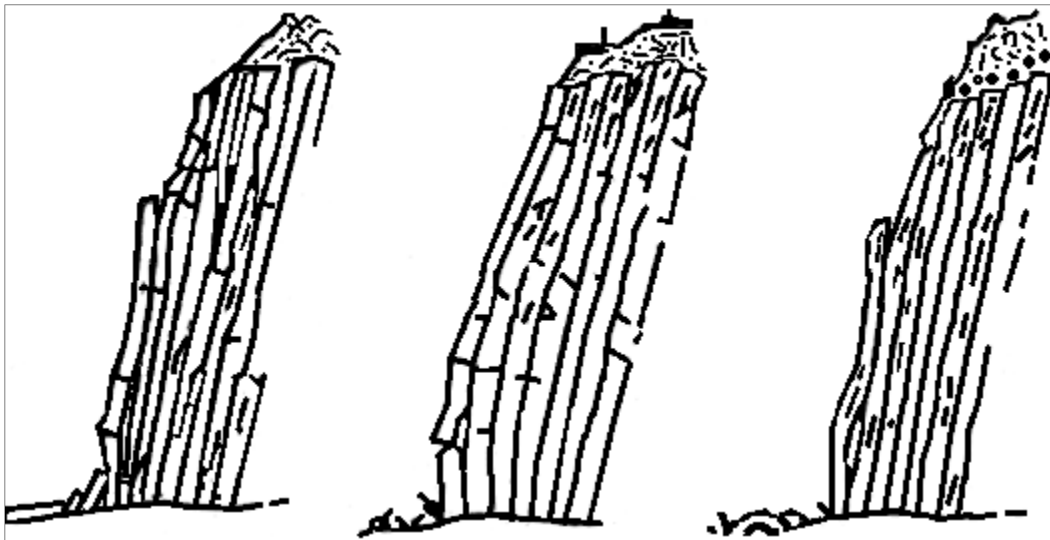


Figura 8: Rotura por pandeo.
Fuente: Ale (2012).

2.2.1.5. Desprendimientos

En los desprendimientos, una masa del terreno, o bloques sueltos, de cualquier tamaño, se separan de un talud escarpado, a lo largo de una superficie sobre la que hay poco o ningún desplazamiento tangencial, y se desplazan por el terreno rodando o rebotando, o cayendo verticalmente. Estas inestabilidades afectan frecuentemente a bloques aislados, aunque también pueden abarcar a grandes masas rocosas (Tapia, 2012). Frecuentemente, estos tipos de inestabilidades afectan a bloques aislados, originando movimientos de terreno, con velocidades extremadamente elevadas y con resultados catastróficos (véase Figura 9).

Las posibilidades de que ocurran estos tipos de inestabilidades vienen condicionadas por la fracturación, los buzamientos de la serie estratigráfica, la inclinación del terreno y disposición respecto al buzamiento, la resistencia de los estratos más rígidos, la potencia relativa de los estratos resistentes respecto a los estratos menos competentes, etc. Suelen ocurrir en medios geológicamente compuestos por alternancias sedimentarias de capas débiles y resistentes. Las causas que llevan a este tipo de movimiento son la meteorización de las capas más superficiales, la concentración de presiones en los bordes, la rotura por flexotracción, etc. La Figura 9 ilustra unas tipologías de los desprendimientos que se pueden encontrar. Estos desprendimientos vienen predeterminados por la grieta de tracción previamente originada. Caen dando lugar a trayectorias varias, donde el material puede caer libremente, saltar o rodar, dependiendo de la inclinación del talud (Tapia, 2012).

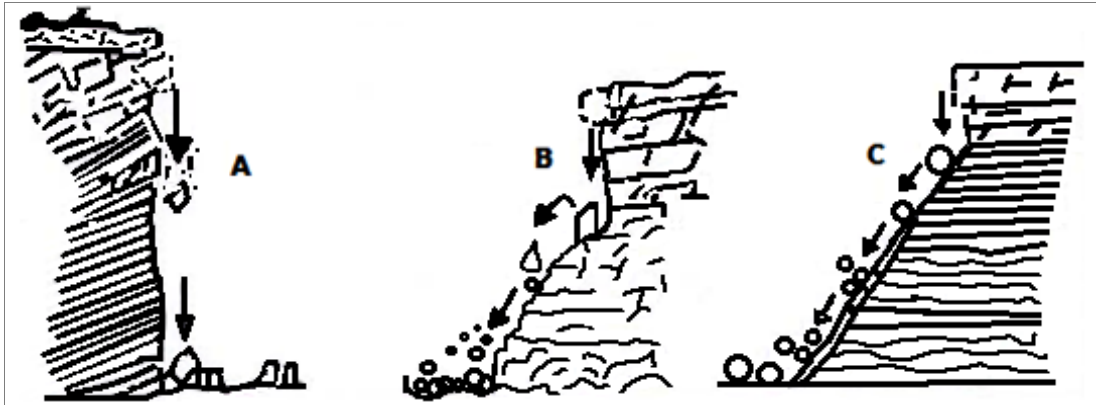


Figura 9: Desprendimientos en roca.
Fuente: Ale (2012).

A modo de síntesis puede considerarse que existen tres tipos distintos (véase Figura 9):

- A - Caída libre;
- B - Con rebote;
- C - Con rodamiento de las partículas.

Los métodos de análisis de desprendimientos tienen por finalidad la determinación de las trayectorias de los bloques inestables y la energía de los bloques generada durante su caída. Posibilitan determinar las medidas adecuadas de protección. Un ejemplo del caso de desprendimiento con el método de análisis y simulación numérica tridimensional (Morales, 2013).

2.2.2. Métodos de Cálculo de Estabilidad

En general, los métodos de cálculo aplicables al análisis de la estabilidad de taludes en macizos rocosos se pueden agrupar de la siguiente forma (Tabla 4) (Morales, 2013):

Tabla 4*Métodos de cálculo.*

Métodos de Cálculo	
1. Métodos completos	Método de elementos finitos
	Método de diferencias finitas
2. Métodos incompletos	Métodos estáticos
	Métodos cinemáticos
3. Métodos de equilibrio límite	
4. Métodos empíricos	
5. Métodos simplificados	Ábacos

Fuente: Montoya (2014).

Para la mayoría de los casos en mecánica de rocas, se suelen recomendar dos métodos extremos a aplicar para el cálculo - o el sencillo cálculo mediante el método de equilibrio límite o, el relativamente complejo análisis mediante el método de elementos finitos. El método de equilibrio límite es adecuado normalmente cuando el mecanismo de rotura se conoce o puede suponerse previamente, y cuando el comportamiento mecánico de las superficies de rotura es dúctil. Para condiciones complejas del macizo rocoso, o en medios escasamente diaclasados, no suele ser posible predecir la superficie de rotura, lo que conlleva la imposibilidad de aplicar el método de equilibrio límite. No es posible aplicarlo para modelar efectos progresivos de rotura. El método de elementos finitos es capaz de modelar situaciones complejas e incluso mecanismos progresivos haciendo iteraciones durante la solución del problema, donde cada nueva iteración tiene como parámetros de partida los parámetros de la iteración anterior. Sin embargo, este tipo de cálculo, requiere un conjunto de parámetros tensodeformacionales relativos al comportamiento mecánico del macizo rocoso, prácticamente imposible de conocer en la actualidad. En la práctica geotécnica el método de equilibrio límite se ha utilizado mucho para el análisis rutinario de estabilidad de taludes. Cuando se necesitan predicciones relacionadas con las deformaciones se acude al método de elementos finitos. Sin embargo, el método de equilibrio límite tiene la ventaja de su simplicidad y que provee el factor de seguridad como índice de

estabilidad. Para la roca fracturada ambos métodos (método de equilibrio límite y método de elementos finitos) se pueden aplicar dentro de las limitaciones de sus hipótesis fundamentales, y las herramientas de cálculo hoy en día disponibles pueden hacer coincidir los resultados. Específicamente, si el macizo rocoso se puede aproximar como medio continuo, estos métodos pueden ser coincidentes. De todos modos, el comportamiento del macizo rocoso depende de la geometría (existencia) de discontinuidades como fracturas, juntas, planos de estratificación o fallas, así que se deben considerar la interacción entre bloques individuales definidos por discontinuidades. En el futuro es posible que los métodos de elementos finitos lleguen a sustituir a los métodos de equilibrio límite. Sin embargo, hoy en día se tiene más confianza en los coeficientes de seguridad que proporcionan estos últimos métodos, aunque también se es consciente de la mayor potencialidad que tienen los métodos de elementos finitos, al analizar los problemas en tensiones y deformaciones conjuntamente (Morales, 2013).

2.2.2.1. Métodos completos

Los métodos completos estudian el proceso tensodeformacional al que se somete el macizo rocoso al excavar un talud. Por lo tanto, es necesario conocer las condiciones tensionales y deformacionales al completo. Parten de la discretización del macizo en una malla de elementos y permiten reproducir contornos complicados, terrenos heterogéneos, comportamientos no lineales, simular las fases de excavación del proceso constructivo, considerar campos tensionales anisótropos, etc. Es decir, permiten incorporar en el cálculo casi todas las limitaciones de otros métodos de cálculo. Su empleo en los últimos años ha venido favorecido por el desarrollo de los medios informáticos. Los métodos más usados dentro

de los métodos completos son el método de elementos finitos y el método de diferencias finitas (Montoya, 2014).

a) Método de Elementos Finitos

El método de elementos finitos, desarrollado a finales de los años 60, es el más usado en la actualidad dentro de los métodos numéricos en geotecnia. La idea básica de este método es la división del dominio del problema en triángulos, rectángulos, etc., para postular a priori la forma de la solución dentro de uno de los elementos. Una vez postulada la forma de la solución se establecen las condiciones que tal solución ha de cumplir para aproximarse lo más posible a la solución real del problema. Es necesario ir tomando elemento a elemento e ir componiendo individualmente para cada uno su matriz de rigidez. Todo ello conduce a un sistema de ecuaciones lineales cuya solución se resuelve mediante métodos directos o métodos iterativos. Una de las ventajas del método de elementos finitos es su sencillez de comprensión por parte de los técnicos. Es un método que tiene grandes posibilidades, pero en realidad también tiene limitaciones muy serias que restringen su campo de aplicación. Es difícil predecir el comportamiento mecánico del macizo rocoso y sus discontinuidades. Entre las limitaciones hay que destacar la dificultad de introducir las ecuaciones constitutivas verdaderamente representativas del comportamiento del terreno. El método de elementos finitos es el método más utilizado para el cálculo de estabilidad de taludes cuando se requiere el análisis en deformaciones (Montoya, 2014).

b) Método de Diferencias Finitas

En el método de diferencias finitas es imprescindible formular el sistema de ecuaciones diferenciales que rigen el problema. El principio fundamental de este método se basa en sustituir la expresión diferencial por una expresión equivalente en términos de incrementos finitos de las variables. Todas las variables del problema quedan discretizadas. Las variables geométricas discretizadas conllevan la subdivisión del dominio mediante una red ortogonal. La discretización de las ecuaciones diferenciales permite obtener expresiones que relacionan los valores de las variables y sus incrementos y por lo tanto permiten la solución del problema en forma incremental. El método de diferencias finitas ha sido aplicado a los problemas de filtración, a los problemas de consolidación unidimensional, a los problemas de interacción suelo estructura (por ejemplo, vigas y losas sobre cimiento elástico, pilotes sometidos a esfuerzos horizontales, hincas de pilotes, etc.), etc.

Las ventajas que tiene son su sencillez de programación y la facilidad de resolver los sistemas de ecuaciones que aparecen en los esquemas explícitos. La introducción de las condiciones de contorno en la malla que se emplea para discretizar el entorno del problema en 2D y 3D es, sin embargo, problemática. Considera el macizo rocoso como un conjunto de bloques rígidos o deformables. El programa más utilizado para resolver los problemas de medios continuos que emplea diferencias finitas es FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) (Cundall, 1971; Itasca, 1995) (Morales, 2013).

2.2.2.2. Métodos de equilibrio límite

Los métodos de equilibrio límite para el cálculo de estabilidad de taludes son los más utilizados en la práctica común por su gran sencillez y porque, a expensas de otras incertidumbres, el coeficiente de seguridad que proporcionan se asemeja enormemente al real.

Se acude al cálculo de estabilidad empleando un factor de seguridad (FS) que reduce los parámetros de resistencia para llevar el talud al estado de equilibrio límite (Guillén, 2014).

a. Factor de seguridad

El coeficiente de seguridad representa un número que cuantifica la diferencia entre las condiciones reales en que se encuentra el talud y las condiciones que le llevan a la rotura. Representa el objetivo fundamental del análisis de estabilidad del talud. El coeficiente de seguridad de un talud es el coeficiente mínimo de todos los coeficientes de seguridad posibles de todas las distintas superficies potenciales de deslizamiento (Guillén, 2014).

- De un elemento

Para cada punto del espacio de tensiones, existen varios métodos para el cálculo del factor de seguridad en la práctica.

- El primer método se podría deducir del criterio de rotura. Si el criterio de rotura es una expresión general del tipo:

$$f(\sigma_1, \sigma_3) = 0$$

Es equivalente a:

$$\sigma_1 = f(\sigma_3)$$

Siendo:

σ_1, σ_3 Tensiones principales mayor y menor en la rotura.

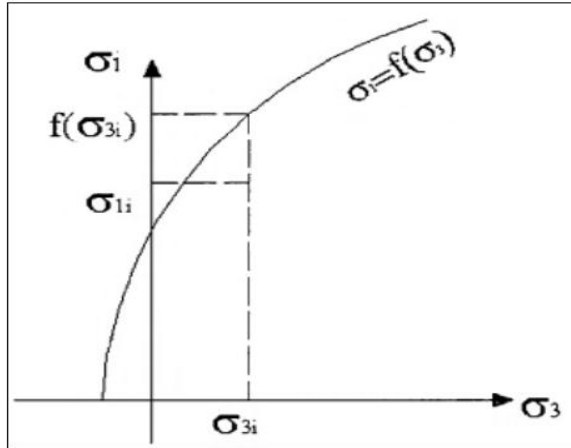


Figura 10: Estimación del factor de seguridad según el primer método.

Fuente: Montoya (2014).

El factor de seguridad se calcula de la siguiente forma en el cuadrante de compresión:

$$FS = (\sigma_{3i})/\sigma_{li}$$

Donde σ_{3i} y σ_{li} se obtienen del análisis de tensiones, en el punto, o elemento, en consideración (Montoya, 2014).

y si la tensión principal menor excede el valor de la resistencia a tracción ($-\sigma_{3i} < \sigma_t$):

$$FS = (-\sigma_t)/\sigma_{3i}$$

- El segundo método define el valor del factor de seguridad como cociente $FS = AC/BC$, donde BC es el radio del círculo de Mohr representativo del estado tensional en el punto considerado, y AC es el radio del círculo de rotura correspondiente dibujado en el punto C (véase Figura 11). Se conserva el mismo centro para los dos círculos. Este procedimiento se puede utilizar tanto para el criterio de rotura lineal de Mohr-Coulomb como para cualquier criterio de

rotura no lineal. Los valores de los radios son (Bustamante & Quiliche, 2013):

$$AC = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \text{ y } BC = \frac{\sigma_{1i} - \sigma_{3i}}{2}$$

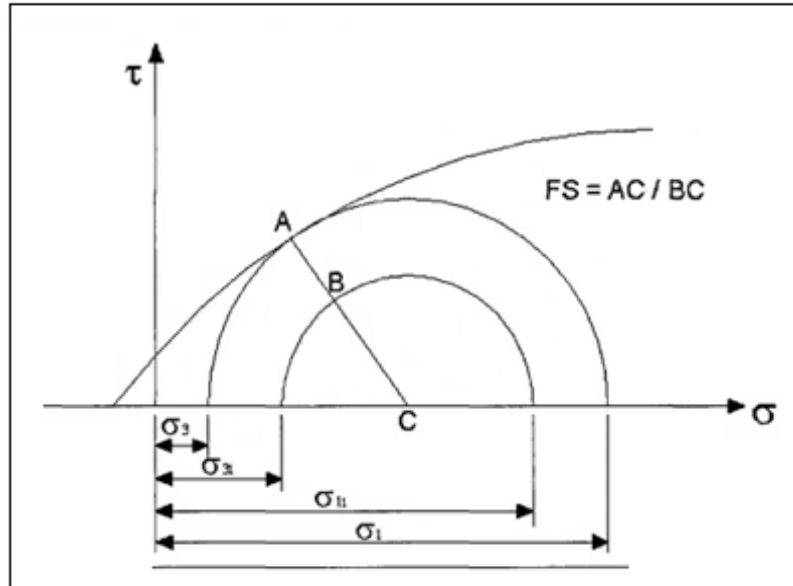


Figura 11: Estimación factor de seguridad según segundo método.
Fuente: Montoya (2014).

- El tercer método define el factor de seguridad como cociente de los radios de los círculos de Mohr ($FS = r/r_i$) (véase Figura 12). Se conserva el mismo valor correspondiente a la tensión principal menor. Los radios de los círculos de Mohr se definen mediante las siguientes expresiones (Merchán & Sánchez, 2013):

$$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_{3i}}{2} \text{ y } r_i = \frac{\sigma_{1i} - \sigma_{3i}}{2}$$

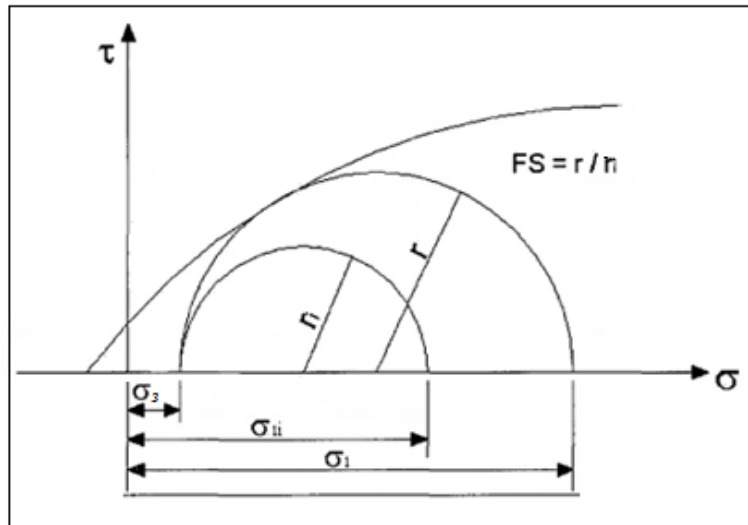


Figura 12: Estimación del factor de seguridad según el tercer método.
Fuente: Morales (2013).

- **De una superficie**

Para hallar el coeficiente de seguridad de cualquier superficie potencial de deslizamiento es necesario conocer:

- El mecanismo de rotura;
- Las superficies potenciales de rotura más relevantes;
- Las propiedades resistentes del macizo rocoso, de las interfaces entre los bloques de roca;
- Las cargas externas a las que el macizo rocoso pueda estar sometido;
- Los factores hidrogeológicos.

El coeficiente de seguridad (FS) de cualquier superficie de deslizamiento se suele determinar en función de la resistencia al corte, porque es el factor que afecta a la estabilidad. Viene dado por la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\int \tau_R \cdot ds}{\int \tau \cdot ds}$$

Donde:

TR: es la resistencia máxima que se puede movilizar a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento,

T: es la resistencia movilizada a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento,

ds: es el diferencial de longitud sobre la superficie de deslizamiento.

El valor del factor de seguridad menor que 1.0 indica que el deslizamiento es posible. Si hay varias superficies de deslizamiento con el valor del factor de seguridad calculado menor que 1.0 significa que todas pueden deslizar. Del valor de $FS = 1.0$ se puede calcular el ángulo de inclinación del talud máximo que se puede excavar en un macizo rocoso. El ángulo de inclinación del talud definitivo debería ser menor que el valor obtenido para el $FS = 1.0$ para disponer de un margen de seguridad. Los órdenes de magnitud que se suelen considerar como aceptables, bajo condiciones estáticas, respecto a los valores del coeficiente de seguridad son del orden de $FS = 1.3$ para taludes temporales, pero para taludes permanentes y en los sitios de gran importancia o especialmente sensibles se puede alcanzar el valor de $FS = 1.5$ como suficiente (Bustamante & Quiliche, 2013).

b. Análisis matemático

Para obtener el factor de seguridad bajo condiciones estáticas, se debe conseguir que la suma de fuerzas en direcciones vertical y horizontal y la suma de momentos sean nulos. Estas condiciones, junto con el criterio de rotura son insuficientes para que el problema

sea determinado. Se debe disponer de más información ya sea sobre la distribución de las fuerzas normales en las bases de rebanadas o ya sea sobre la distribución de las fuerzas entre rebanadas. En general, los distintos métodos de rebanadas se pueden clasificar en términos de (1) estática utilizada para derivar la ecuación del factor de seguridad y (2) hipótesis de fuerzas en interfaces entre rebanadas para hacer el problema determinado (Guillén, 2014).

2.3. Definición de Términos Básicos

- **Actividad Minera:**
Actividad de exploración, explotación, labor general, beneficio, comercialización, y transporte minero, en concordancia con la normatividad vigente (Ale, 2012).

- **Banco:**
Un banco puede ser comparado a un escalón en el terreno (Ale, 2012).

- **Cantera:**
Es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos. Las canteras suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen de la minería mundial (Recalde, 2015).

- **Caracterización geomecánicos:**
Constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros de diseño y de sostenimiento de túneles. El parámetro que define la

clasificación es el denominado índice RMR (Rock Mass Rating), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural (Tapia, 2012).

- **Estabilidad de taludes:**

Estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica - geotécnica. La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel. (Guillén, 2014)

- **Factor de seguridad:**

Resquebrajadura en la corteza terrestre por fuerzas tectónicas, que separaron a la roca; las fallas pueden extenderse por muchos kilómetros o tener apenas algunos centímetros de longitud; análogamente, el movimiento o desplazamiento a lo largo de la falla puede variar enormemente (Tapia, 2012).

- **Mina:**

Conjunto de labores o huecos necesarios para explotar un yacimiento y, en algunos casos, las plantas anexas para el tratamiento del mineral extraído. Las minas también reciben el nombre de "explotaciones mineras", o, simplemente, "explotaciones" (Tapia, 2012).

- **Parámetros geométricos:**

El diseño de una mina a cielo abierto se realiza dependiendo de diversos factores como lo son la forma geométrica del cuerpo mineral, la distribución del mineral dentro del cuerpo, la topografía de la zona, el máximo talud permisible de acuerdo a la consistencia de la roca, etc. (Tapia, 2012).

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Ubicación y Accesibilidad

3.1.1. Ubicación Política

- Caserío: Maygasbamba
- Distrito: Bambamarca
- Provincia: Hualgayoc
- Departamento: Cajamarca
- Zona: Norte del Perú

3.1.2. Accesibilidad

Para acceder a la cantera de la concesión, se parte de la ciudad de Cajamarca utilizando dos tipos de vías: una asfaltada y otra afirmada, que a continuación se describe:

Tabla 5

Accesibilidad a la zona.

Ruta	Tipo de Vía	Distancia	Tiempo	Móvil
Cajamarca - Bambamarca	Asfaltada por tramos	119 Km	2.5 Horas	Automóvil
Bambamarca - Maygasbamba	Afirmada	4 Km	15 Min.	Automóvil

Fuente: Elaboración propia, (2018).



Figura 13: Ruta de acceso desde Cajamarca hasta el Proyecto.
Fuente: Google Earth, (2018).

3.2. Climatología

El área del proyecto se caracteriza por un clima frío y húmedo con estaciones de lluvias y estiaje claramente definidas, típicamente la estación de lluvias es de Octubre hasta abril y la temporada de estiaje de mayo a septiembre. La precipitación anual promedio varía entre 1176 mm y 1362 mm, las temperaturas promedio diarias reflejan una variación entre 18 ° C y 0 °C, el área presenta un ecosistema de alta montaña ubicado en la región Jalca de acuerdo a la clasificación de las regiones naturales del Perú (Pulgar Vidal, 1976).

Característico de la Provincia Biogeográfica de los Andes Meridionales Tropicales: Montano Tropical; que incluye bosques húmedos por arriba de los 2,000 m hasta 3,800 m.s.n.m.

La temperatura máxima registrada es de 24 C° en temporada de verano y la mínima fue de 11 C°, la humedad relativa es aproximadamente de 78 %, la velocidad de viento es de 8.0 m/seg con una dirección predominante de SW a NE y de SE a NW.

Para el monitoreo de las condiciones meteorológicas actuales se cuenta con la estación meteorológica (SENAMHI) de Bambamarca que es la estación más cercana al proyecto cuya ubicación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6
Estación meteorológica más cercana al proyecto.

Estación	Dpto.	Provincia	Distrito	Altitud (msnm)	Longitud Oeste	Latitud Sur	Periodo de Registro
Bambamarca	Cajamarca	Hualgayoc	Bambamarca	2536	78° 31'06"	06° 40'	2016

Fuente: Elaboración propia, (2018).

Esta estación, ha registrado los datos que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7*Datos de la estación meteorológica Bambamarca.*

Mes	Temperatura (°C)			Vientos	
	Promedio	Máxima	Mínima	Dirección	Velocidad
Enero	15.81	19.66	11.96	NE	3
Febrero	17.13	21.49	12.78	NE	4
Marzo	16.96	20.85	13.07	N	3
Abril	17.33	22.18	12.49	NE	3
Mayo	16.58	21.44	11.73	NE	3
Junio	15.25	20.89	9.61	NE	3
Julio	15.40	21.47	9.336	NE	4
Agosto	15.63	21.92	9.35	N	4
Setiembre	16.33	22.06	10.59	N	4
Octubre	16.03	22.26	9.8	NE	4
Noviembre	16.16	21.46	10.86	NE	3

Fuente: SENAMHI (2016).

Además, presenta una precipitación promedio anual de 750 mm típica de una zona de vida de Bosque Seco Montano Bajo Tropical (bs-MBT).

3.3. Fisiografía y Geomorfología

3.3.1. Fisiografía

El proyecto se encuentra ubicado en la región inter montañosa de la zona del norte de la cordillera de los andes el proyecto se encuentra al sur de la ciudad de Bambamarca, la topografía regional se caracteriza por la presencia de montañas de cimas elevadas y accidentadas, ondulantes colinas y valles inter montañas con pendientes entre suaves y pronunciadas, así como quebradas.

3.3.1.1. Terrenos Inclinados con Suave Pendiente (TISP)

Son terrenos con pendientes de 1 a 5° casi sin accidentes topográficos de consideración, se encuentran principalmente a la zona oeste de la concesión.

3.3.1.2. Terrenos con Pendiente Moderada (TPM)

Son terrenos con pendientes de 5 a 15°, presentando ocasionalmente accidentes topográficos, se encuentran en las cercanías de la carretera a Chota.

3.3.1.3. Terrenos con Pendiente Fuerte (TPF)

Son terrenos con pendientes de 15 a 25° presentes en su mayoría en las zonas altas de la concesión.

3.3.2. Geomorfología

La topografía regional se caracteriza por la presencia de montañas de cimas elevadas y Accidentadas, ondulantes colinas y valles inter- montañosos con pendientes entre suaves y pronunciadas y quebradas que presentan pequeños lagos de altura. La elevación del lugar varía, pero en promedio es de aproximadamente 2,300 m.

En el área del proyecto, las cimas de las canteras que conforman Calera Bendición de Dios, forman la divisoria continental entre las cuencas del Océano Atlántico y Océano Pacífico. La cobertura vegetal de esta zona (andes nor occidentales) Permanente todo el año es una característica importante de esta zona.

La zona se encuentra dominada por un paisaje alto andino típico, con presencia de ladera, faldas de cerros, cimas, cerros, pendientes convexas, pendientes cóncavas, planicies, afloramientos rocosos y zonas muy escarpadas. La morfología de la zona es el resultado de la acción combinada de una intensa actividad volcánica, que ha sufrido los efectos de una significativa actividad glacial.

El ambiente geomorfológico dominante, está determinado preponderantemente por una superficie de ladera bastante amplia y lomadas, con valles de escorrentía temporal y permanente.

3.3.2.1. Montaña Fluvio - Erosional en Rocas Sedimentarias (MFE-RS)

Son aquellas que tienen una pendiente escarpada que van de 15° a 45° estas están presentes en la Formación Cajamarca ya que presentan una dureza muy alta y son difíciles de erosionarse fácilmente, pero debido a agentes externos como el agua, el aire ha quedado sin muestra de estratos.

3.3.2.2. Colina Fluvio - Erosional en Rocas Sedimentarias (CFE-RS)

Son aquellos terrenos que presenta una pendiente suave es decir menor a 35° , estas colinas se encuentran en la Formación Celendín.

3.4. Modelo Matemático

El modelo numérico confluente una parte de la información obtenida en los dos modelos anteriores, principalmente del modelo geomecánico. En este modelo, el análisis tenso-deformacional es objeto de estudio, lo cual se obtiene una vez satisfechas las condiciones de contorno del problema, las ecuaciones diferenciales de equilibrio y las ecuaciones constitutivas. La ventaja del modelo numérico consiste en la posibilidad de calcular tanto las tensiones como las deformaciones de un cuerpo sometido a fuerzas externas.

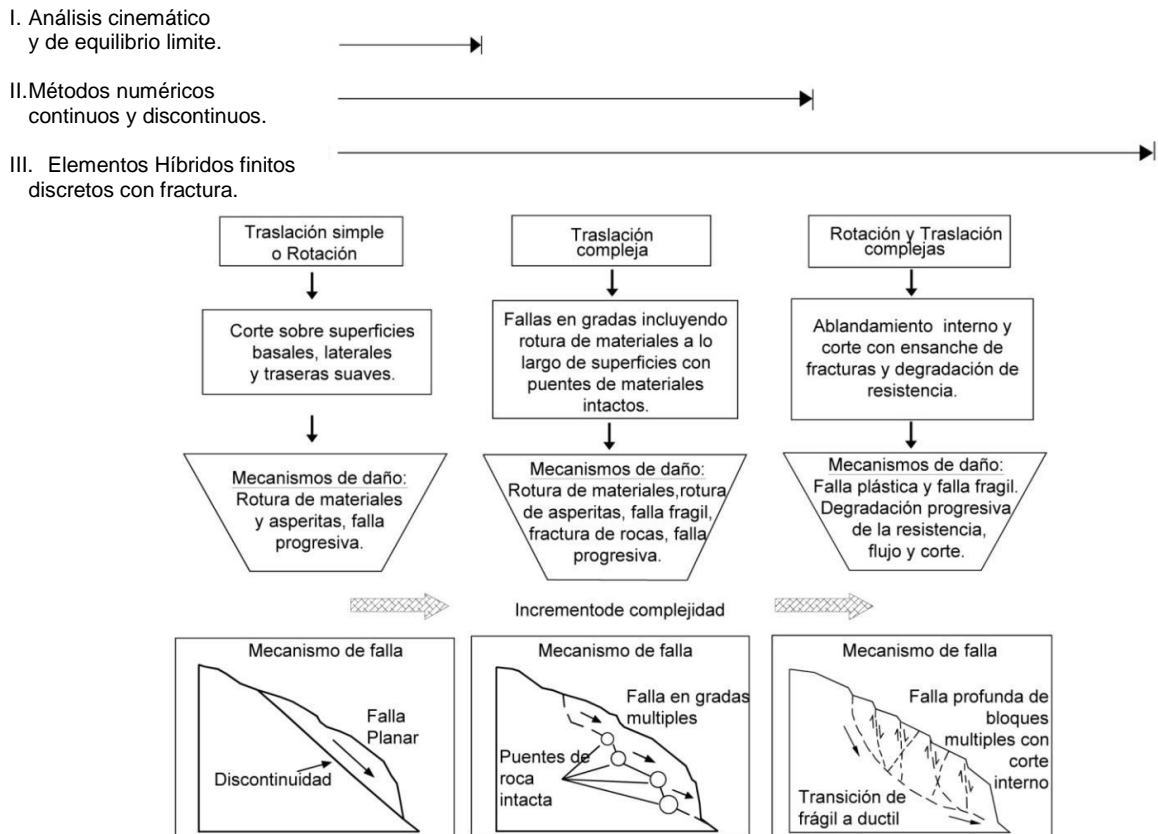


Figura 14: Modelo matemático aplicado.
Fuente: Ale, (2012).

3.5. Geología

La geología se encuentra representada por rocas calizas de la Formación Cajamarca y la Formación Celendín, que pertenecen al Depósitos Cuaternarios del tipo deluvial principalmente, tales se describen a continuación:

3.5.1. Formación Cajamarca (Ks-ca)

Están formadas por secuencias calcáreas del Cretáceo Superior, resalta la ocurrencia en bancos gruesos y duros por presentar una estratificación regular y uniforme de coloración grisácea. Consiste de caliza estratificada en forma de capa mediana y pura de color azul que intemperiza a tonos grises claros debido a su alta pureza prácticamente constituiría una caliza litográfica.



Figura 15: Formación Cajamarca presente en la Calera.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.

3.5.2. Formación Celendín (Ks-ce)

Están formadas por secuencias calcáreas del Cretáceo Superior, consiste en intercalación de estratos de calizas, con margas y lutitas. Los espesores de los estratos son menores a 1m, presentan un color crema amarillento debido a que son fácilmente erosionables.



Figura 16: Formación Celendín en los acreeedores de la Calera.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.

3.5.3. Depósitos Cuaternarios

Los depósitos cuaternarios son principalmente de tipo deluvial o sea que se han formado por la meteorización y erosión de las rocas, pero sin mayor movimiento ya que no existen muchas laderas ni fuertes precipitaciones para moverlos. Su composición es arcillosa siendo los demás componentes gravas y arenas, pero en variable cantidad.



Figura 17: Depósitos cuaternarios utilizados para la agricultura.
Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.

3.6. Modelamiento Geomecánico: Puntos de Control

Se tomó solo una estación geomecánica dentro de la zona de extracción de piedra caliza (Punto de control) ya que el macizo es uniforme y el área afectada no está muy apartada de dicha estación. Este punto de control tuvo las siguientes coordenadas:

Tabla 8
Coordenadas UTM-PSAD 56 de la estación geomecánica (Punto de Control).

Coordenadas UTM-PSAD 56 de la estación Geomecánica		
Este	Norte	Cota
772591	9263634	2750

Fuente: Elaboración propia, (2017)

El aspecto del macizo rocoso se puede ver en la siguiente fotografía:



Figura 18: Aspecto del Macizo rocoso.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.

Para estimar la calidad del macizo rocoso se tomaron dos parámetros, el primero es la clasificación geomecánica del RMR y el siguiente es el método numérico de Hoek y Brown.

3.6.1. Clasificación RMR

Para estimar la calidad del macizo rocoso se puede utilizar la clasificación de Bieniawski 1989 del RMR, con los siguientes parámetros:

3.6.1.1. Resistencia de la roca intacta

Las calizas de la Formación Cajamarca encontradas en la zona de la actividad tienen una clasificación R5, para la determinación de este parámetro usamos el martillo de geólogo con un promedio de 8 golpes. Un trozo de roca requiere de muchos golpes de la picota para fracturarse.

Tabla 9*Clasificación de la resistencia.*

Clase	Clasificación de la roca según su resistencia	Resistencia Uniaxial (MPa)	Estimación en Terreno de la Resistencia
R6	Extremadamente Resistente	> 250	Golpes de la picota, sólo causan descostramientos superficiales en la roca
R5	Muy Resistente	100 – 200	Un trozo de roca requiere varios golpes de la picota para fracturarse.
R4	Resistente	50 – 100	Un trozo de roca requiere más de un golpe de la picota para fracturarse.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de la picota, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.
R2	Débil	5 – 25	Un golpe con la punta de la picota deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortapluma pero con dificultad.
R1	Muy Débil	1 – 5	La roca se disgrega al ser golpeada con la punta de la picota. La roca puede ser descostrada con un cortapluma.
R0	Extremadamente Débil	0.25 – 1	La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.

Fuente: Bienawski, (1989).

De acuerdo a la clasificación de Bienawski se le asigna un puntaje de 12, para luego ser sumado con todos los parámetros.

3.6.1.2. RQD

Se pudo realizar el cálculo del RQD mediante la contabilización del número de discontinuidades, pero se puede realizar con la suposición que se está realizando una excavación de sondajes y realizar el cálculo del RQD según los trozos de roca intacta recuperados.

Se tomó una distancia lineal con la ayuda de un flexómetro, en el talud de la cantera de 7.9 metros, en los cuales se ha encontrado 5 discontinuidades. Por lo tanto:

- Distancia medida = 7.9 m
- Número de discontinuidades = 5

- Donde:

$$\lambda = \frac{N^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{distancia (m)}}$$

$$\lambda = \frac{5}{7.9 \text{ m}}$$

$$\lambda = 0.63$$

- RQD =

$$RQD = 100e^{(-0.1\lambda)(0.1\lambda+1)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.1*0.632)(0.1*0.632+1)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.0632)(1.0632)}$$

$$RQD = 100e^{(-0.06719424)}$$

$$RQD = 100 * 0.9343$$

$$RQD = 93.43 \%$$

Tabla 10

Clasificación RQD.

RQD (%)	Calidad de la roca
100 – 90	Muy Buena
90 – 75	Buena
75 – 50	Regular
50 – 25	Mala
0 – 25	Muy Mala

Fuente: Bienawski, (1989).

De acuerdo a la clasificación RMR de Bienawski se le asigna un puntaje de 20.

3.6.1.3. Espaciado entre las discontinuidades

Dentro de los 7.9 metros se encontraron 5 discontinuidades, las cuales se encontraban espaciadas de la siguiente manera:

$$D1 - D2 = E1 = 2.36$$

$$D2 - D3 = E2 = 1.72$$

$$D3 - D4 = E3 = 1.88$$

$$D4 - D5 = E4 = 1.94$$

$$Promedio = \frac{E1 + E2 + E3 + E4}{4}$$

$$Promedio = \frac{2.36 + 1.72 + 1.88 + 1.94}{4}$$

$$Promedio = 1.975 \text{ m.} = 197.5 \text{ cm}$$

Tabla 11
Clasificación del espaciado.

Descripción	Espaciado (cm)
Extremadamente cerrado	< 2cm
Muy cerrado	2cm – 6cm
Cerrado	6cm – 20cm
Moderado	20cm – 60cm
Espaciado	60cm - 2m
Extremadamente espaciado	> 2m

Fuente: Bienawski, (1989).

De acuerdo a la clasificación RMR de Bienawski se le asigna un puntaje de 15 cuando el espaciado se encuentra entre 60 cm a 2 m.

3.6.1.4. Condición de las discontinuidades

Las condiciones de las discontinuidades se resumen de la siguiente manera:

a. Longitud de las discontinuidades

Se midió en campo discontinuidades donde la mayoría varían desde 1 metro hasta 3 metros.



Figura 19: Persistencia en las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Tabla 12

Clasificación de la persistencia.

Descripción de Persistencia	
Persistencia	Longitud (m)
Muy Baja Persistencia	< 1
Baja Persistencia	1 – 3
Persistencia Media	3 – 10
Alta Persistencia	10 – 20
Muy Alta Persistencia	> 20

Fuente: Bienawski, (1989).

De acuerdo a la clasificación RMR de Bienawski se le asigna un puntaje de 4 cuando la persistencia de la mayoría de discontinuidades se encuentra entre 1 metro a 3 metros.

b. Abertura

Se midió en campo la abertura de las discontinuidades donde la mayoría varían de 1 a 5 mm.

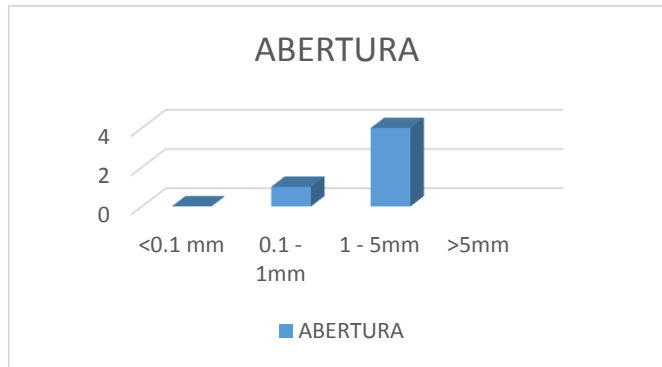


Figura 20: Abertura en las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Tabla 13

Clasificación de la abertura.

Descripción de la Abertura	
Descripción	Abertura
Muy Cerrada	Ninguna
Cerrada	< 0.1 mm
Parcialmente Abierta	0.1 – 1.0 mm
Abierta	1 – 5 mm
Muy Abierta	> 5 mm

Fuente: Bienawski, (1989).

De acuerdo a la clasificación RMR de Bienawski se le asigna un puntaje de 1 cuando la abertura de la mayoría de discontinuidades se encuentra entre 1 a 5 milímetros.

c. Rugosidad

Se identificó en campo la rugosidad de las discontinuidades donde la mayoría son muy rugosas.

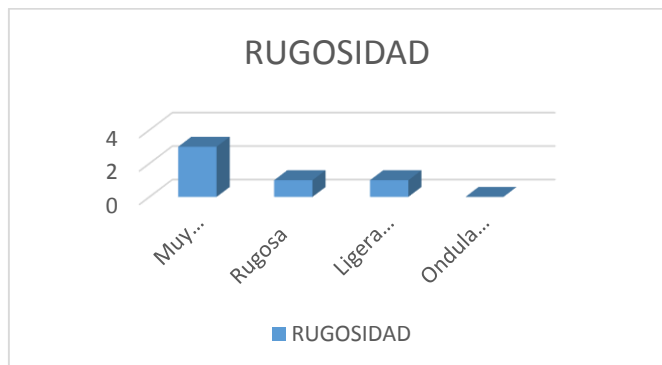


Figura 21: Rugosidad en las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

De acuerdo a la clasificación RMR de Bienawski se le asigna un puntaje de 6 cuando la rugosidad de la mayoría de discontinuidades son muy rugosas.

d. Relleno

Se identificó el relleno de en campo que se encuentra en las discontinuidades donde la mayoría son calcitas que son duras menores a 5mm.

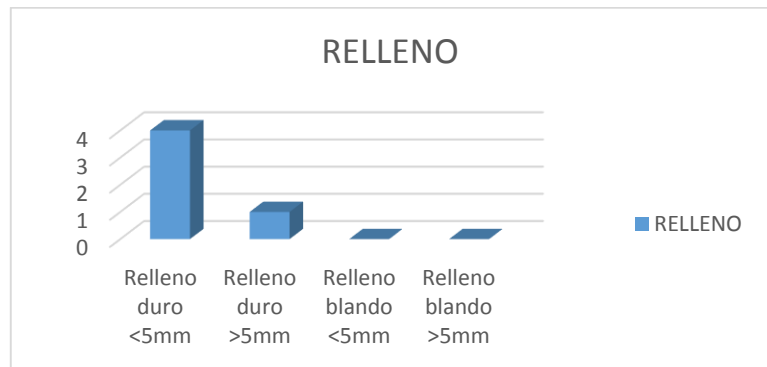


Figura 22: Relleno en las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

De acuerdo a la clasificación RMR de Bienawski se le asigna un puntaje de 4 cuando el relleno se encuentra menor a 5 milímetros y es duro.

e. Alteración: Ligeramente alteradas

Se identificó en campo la alteración de las discontinuidades donde la mayoría están ligeramente alteradas.

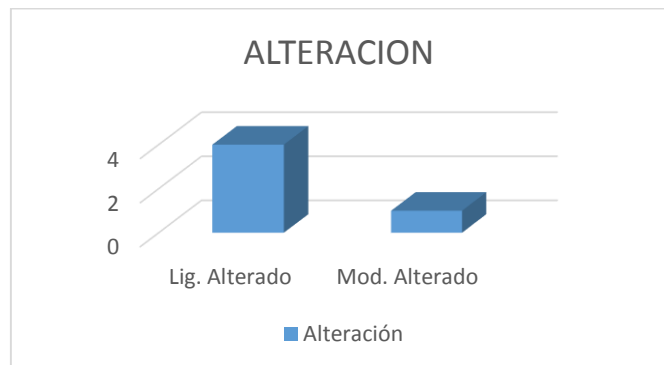


Figura 23: Alteración en las discontinuidades.
Fuente: Elaboración propia, (2018).

Tabla 14
Clasificación de la alteración.

Término	Descripción
Fresco	No hay señales visibles de meteorización. Si acaso una tenue decoloración en superficies de discontinuidades más desarrolladas.
Levemente meteorizado	Decoloración indica meteorización de la roca intacta y superficies de discontinuidad. La roca puede estar algo más débil externamente que en condición fresca.
Moderadamente meteorizado	Menos de la mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrada a suelo. La roca puede estar fresca o descompuesta y/o desintegrada a suelo.
Altamente meteorizado	Más de mitad de la roca está descompuesta y/o desintegrado. La estructura del macizo
Completamente meteorizado	Todo el material rocoso está descompuesto y/o desintegrado. La estructura del macizo original está prácticamente intacta.
Suelo residual	Todo el material rocoso está descompuesta o desintegrada a suelo. La estructura del macizo original y su textura ha sido destruida. Hay un gran cambio de volumen, pero el suelo no ha sido transportado.

Fuente: Bienawski, (1989).

De acuerdo a la clasificación RMR de Bienawski se le asigna un puntaje de 5 cuando la alteración es ligera.

3.6.1.5. Flujo de Agua en las Discontinuidades

Las discontinuidades se encontraron completamente secos.

Tabla 15
Presencia de agua.

DESCRIPCIÓN	PUNTAJE
Completamente Seco	15
Semi Húmedo	10
Húmedo	7
Mojado	4
Flujo de Agua	0

Fuente: Bienawski, (1989).

3.6.1.6. Clasificación según el RMR

Ahora a partir de los datos anteriores se calcula el RMR según las valoraciones de Bieniawski 1989 dadas en la siguiente tabla.

Los resultados del RMR se describen en la siguiente tabla:

Tabla 16
Cálculo del RMR para el macizo rocoso.
Fuente: Bienawski, (1989).

Sumamos las puntuaciones:

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	>10	10-4	4-2	2-1	Compresión Simple (MPa)			
		Compresión simple	>250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	<1	
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%			
	Puntuación		20	17	13	6	5			
3	Separación entre diaclasas		>2m	0.6-2m	0.2-0.6m	0.06-0.2m	<0.06m			
	Puntuación		20	15	10	8	5			
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m			
		Puntuación		6	4	2	1	0		
		Abertura		Nada	<0.1 mm	0.1-1.0mm	1-5mm	>5mm		
		Puntuación		6	5	4	1	0		
		Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
		Relleno		Ninguno	Relleno duro <5mm	Relleno duro >5mm	Relleno blando <5mm	Relleno blando >5mm		
		Puntuación		6	4	2	2	0		
		Alteración		Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación		6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10m de túnel	Nulo	<10litros/m in	10-25 litros/min	25-125 litros/min	>125 litros/min			
		Relación de agua / Tensión principal mayor		0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Estado general		Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación		15	10	7	4	0		

$$\text{RMR} = 12+20+15+4+1+6+4+5+15$$

$$\text{RMR} = 82$$

RESULTADO: CLASE I – Muy Buena.

Tabla 17

Clasificación del RMR.

PUNTUACION	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 21
CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala

Fuente: Bienawski, (1989).

La clasificación final del macizo rocoso según el RMR será de “Muy bueno” con una puntuación de 82.

3.6.2. Método Numérico de Hoek y Brown

Este método numérico nos permite calcular los parámetros ingenieriles del macizo rocoso según 4 parámetros de la roca intacta:

3.6.2.1. Resistencia de la roca intacta

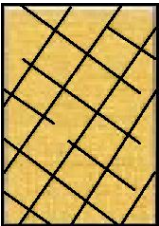
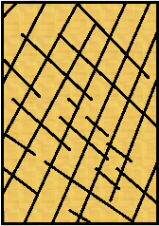



La resistencia a la compresión uniaxial al igual que en el caso anterior la resistencia será de 100 Mpa.

3.6.2.2. GSI

En el presente caso se puede describir el Índice de Resistencia Geológica GSI con la tabla de Hoek (1995) para macizos homogéneos.

Tabla 18
Clasificación de GSI para la cantera Los Chancas III5Hnos.

<p>Características del Macizo Rocos según GSI Modificado: Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas IN SITU con una wincha, la mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de paredes y relleno de las discontinuidades.</p> <p style="text-align: center;">ESTRUCTURAS</p>	<p style="text-align: center;">CONDICIONES SUPERFICIALES</p> <p>Muy Buena (Extremadamente resistente fresca) Superficies de discontinuidades muy rugosas e inalteradas, cerradas. (Se astilla con golpes de picota)</p>	<p>Buena (Muy Resistente, Levemente Alterada) Discontinuidades rocosas, Levemente alter. Manchas de oxidación (se rompen con varios golpes de picota)</p>	<p>Regular (Resistente y Levemente Alterada) Discontinuidades lisas, Moderadamente alteradas, ligeramente abiertas (se rompen con uno o dos golpes de picota)</p>	<p>Mala (Moderamt. Resistente, moderamt alterada) Superficies pulidas o con estrías, muy alteradas, relleno compacto o con fracturas de rocas. (se indenta superficiales)</p>	<p>Muy Mala (Blanda, muy alterada) Superficies pulidas y estrías, muy abiertas con relleno de arcillas blandas. (se disgrega profundamente)</p>
---	---	--	--	--	--

 <p>Levemente Fracturada Tres a menos sistemas de discontinuidades muy espaciadas entre sí. 2 a 6 fracturado por metro.</p>	LF/MB	LF/B	LF/R	LF/M	LF/MM
 <p>Moderadamente Fracturada Muy bien trabada, no disturbada, bloques cúbicos formados por tres sistemas, de discontinuidades ortogonales de 6 a 12 fracturado por metro.</p>	F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM
 <p>Muy Fracturada Moderadamente trabada, parcialmente disturbada, bloques angulosos formados por cuatro o más sistemas de discontinuidades. De 12 a 20 fracturado por metro.</p>	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM
 <p>Intensamente Fracturada Plegamiento y fallamiento con muchas discontinuidades, interceptadas formando bloques, angulosos o irregulares. Más de 20 fracturado por metro.</p>	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM
 <p>Triturada o Brechada Ligeramente trabada, masa rocosa, extremadamente rota con una mezcla de fragmentos fácilmente disgregables, angulosos y redondeados.</p>	T/MB	T/B	T/R	T/M	T/MM

Fuente: Montoya, (2014).

En este caso el macizo rocoso resulta ser roca Buena y moderadamente fracturada.

$$\text{RMR}_{89} > 23 \longrightarrow \text{GSI} = \text{RMR}_{89} - 5.$$

$$\text{GSI} = 82 - 5$$

$$\text{GSI} = 77.$$

3.6.2.3. Constante m_i

La constante m_i se puede calcular según las tablas de Hoek 2002 según el tipo de roca.

- En este caso, para las calizas nos resulta un m_i de 12.

3.6.2.4. La constante de disturbación D

La constante de disturbación D mide el grado de alteración física que ha sufrido el macizo durante la elaboración de un túnel o un talud.

- En el caso, la remoción del macizo rocoso para extraer la piedra caliza fue realizado con una voladura controlada por lo que el factor será de $D=0.7$.

3.6.2.5. Resultados del análisis Numérico

El análisis numérico se realizó con el software RocData v3 y se pueden ver en la siguiente figura:

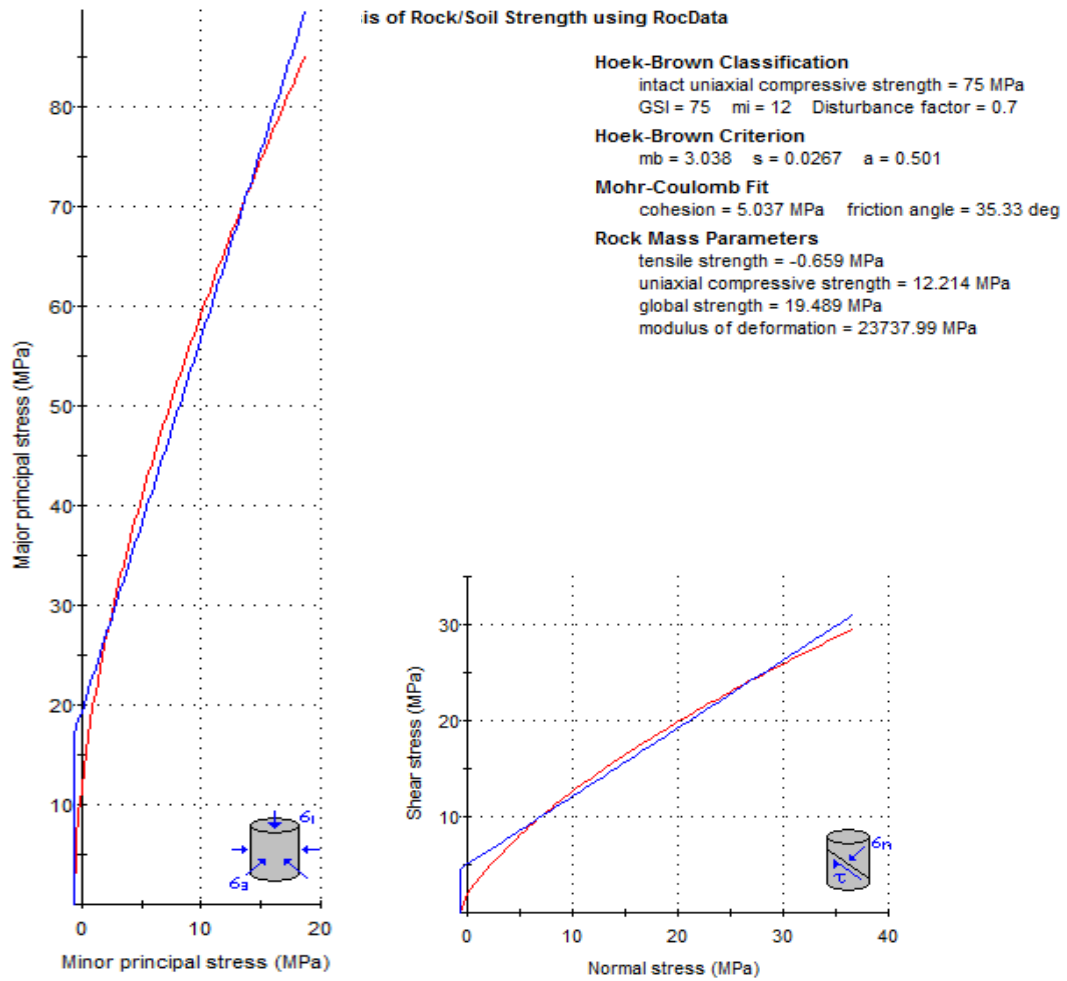


Figura 24: Análisis numérico realizado.
Fuente: Software RocData v3, (2017).

Además, los resultados se pueden resumir en la siguiente tabla:

Tabla 19
Resultados del análisis numérico del macizo rocoso con el método de Hoek y Brown.

	Sigci	75	MPa
Hoek – Brown Classification	GSI	75	-
	m_i	12	-
	D	0.7	-
Hoek – Brown Criterion	m_b	3.03825	-
	S	0.00266974	-
	a	0.500911	-
Failure Envelope Range	Application	General	-
	Sig3max	18.75	MPa
Mohr – Coulomb Fit	c	5.03671	-
	Phi	35.332	-
Rock Mass Parametes	Sigt	-0.659034	-
	Sigc	12.2141	-
	Sigcm	19.4885	-

Em	23738	-
----	-------	---

Fuente: Bustamante y Quiliche, (2013).

3.7. Análisis de Estabilidad de Taludes

El análisis de estabilidad se realizó con los siguientes métodos:

- Análisis Estereométrico y Cinemático (Programas Dips v5.0 y RocPlane v2.0)
- Análisis de Equilibrio Límite por Dovelas (Slide V.6.0)
- Análisis de Elementos Finitos y Diferencias Finitas (Programas Phase2 v8.0 y FlacSlop v7.0)

3.7.1. Análisis Estereométrico y Cinemático

3.7.1.1. Análisis Estereográfico con el programa Dips v5.0

A partir de los datos de las discontinuidades tomadas en campo se procedió al análisis estereográfico con el programa Dips de la siguiente manera:

- a. Se graficaron las discontinuidades tomadas en campo y el talud. Para la obtención de la figura 25, primero se ingresaron los datos de las diaclasas tomadas en campo tanto el Dip como el DipDirection. Se le asigna el tipo de diaclasa que es (Joint, fault) y automáticamente los datos 3D se grafican en el plano estereográfico 2D.

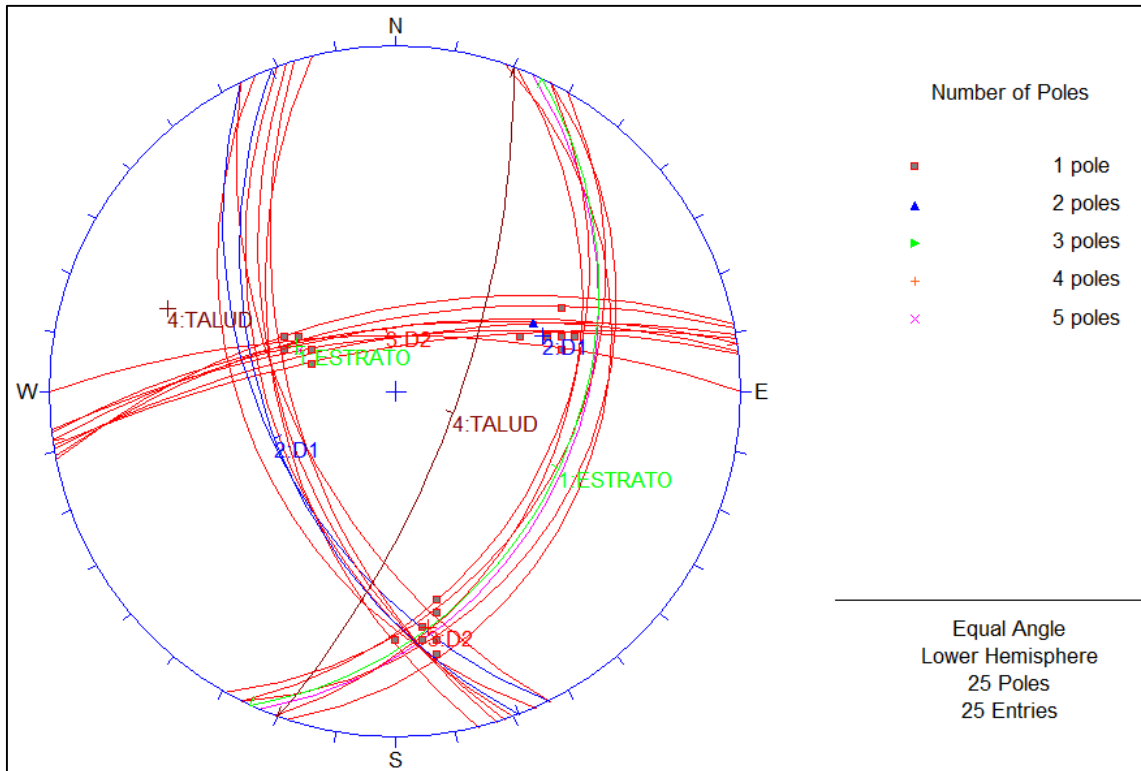


Figura 25: Planos mayores y polos de las discontinuidades y del Talud.
Fuente: Programa Dips v5.0, (2017).

La figura 25 muestra dos familias de diaclasas presentes en las estaciones geomecánicas, la familia D1 va de NW a SE y la familia 2 SW a NE. Se graficó también el talud que va de SW a NE y la estratificación que es paralela a la familia de diaclasas D2 va de SW a NE.

- b. Se calculó el promedio de las discontinuidades. Con el promedio de las discontinuidades presentadas en la figura 25 obtuvimos la figura 26.

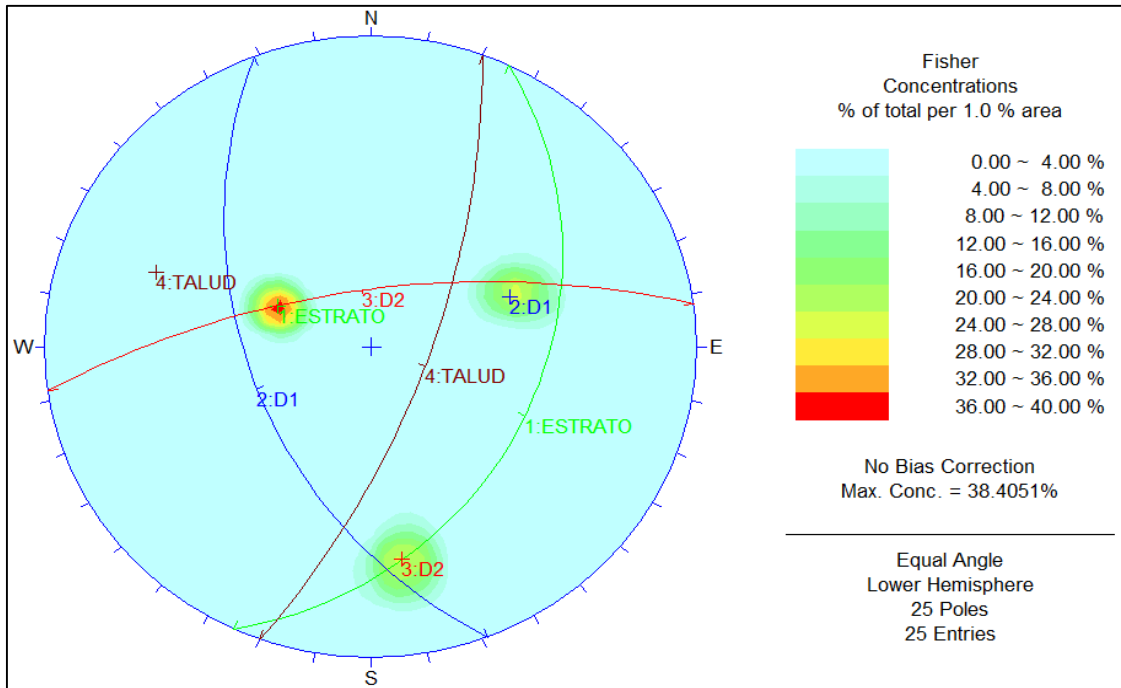


Figura 26: Concentración Fisher de los polos de las discontinuidades.
Fuente: Programa Dips v5.0, (2017).

La figura 26 muestra como líneas al promedio de las diaclasas que representan la proyección 3D. Y los puntos de colores representan los polos de concentración polos.

Tabla 20

Promedio de las discontinuidades y del Talud.

Discontinuidad	Azimut	DIP	DD
Estrato	25	35	115
D1	159	49	249
D2	262	69	352
Talud	20	70	110

Fuente: Datos tomados en las operaciones mineras de la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista Kristell Figueroa - Bambamarca, 2017.

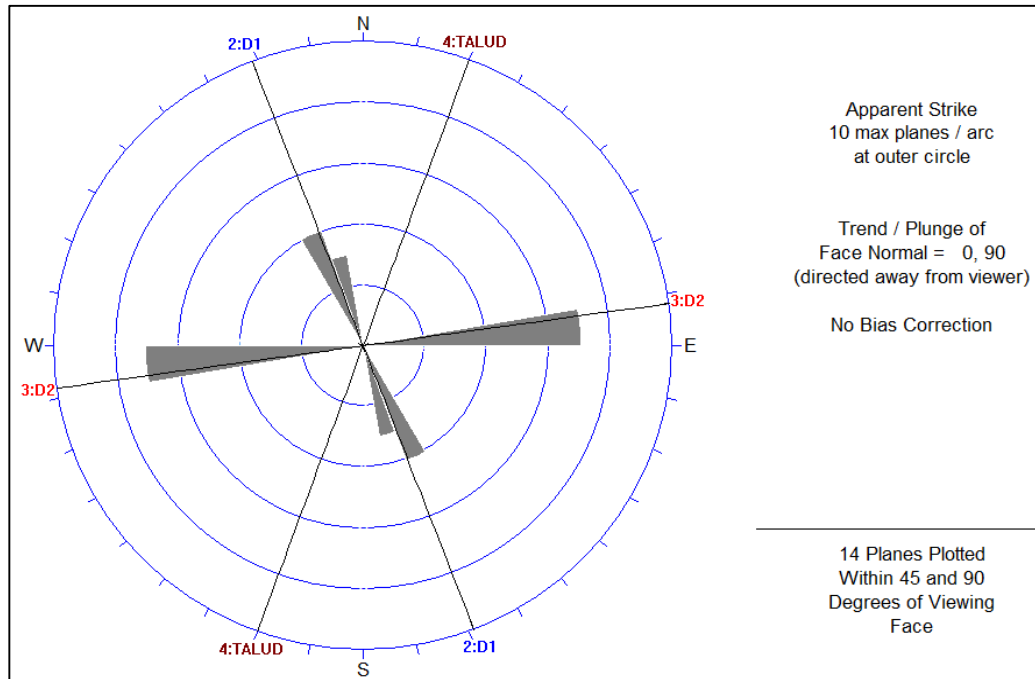


Figura 27: Gráfico de rosa de las discontinuidades y el talud.
Fuente: Programa Dips v5.0, (2017).

La figura 27 muestra un diagrama de rosas, representan sistemas principales de esfuerzos de en función a la orientación, mediante las orientaciones de las diaclasas se logra orientar los esfuerzos principales, para esta tesis el esfuerzo mayor es el de la familia D2 que va de SW a NE y representa más del 60%.

- c. Se graficaron los promedios de las discontinuidades y se observó las posibles roturas planares y/o cuñas.

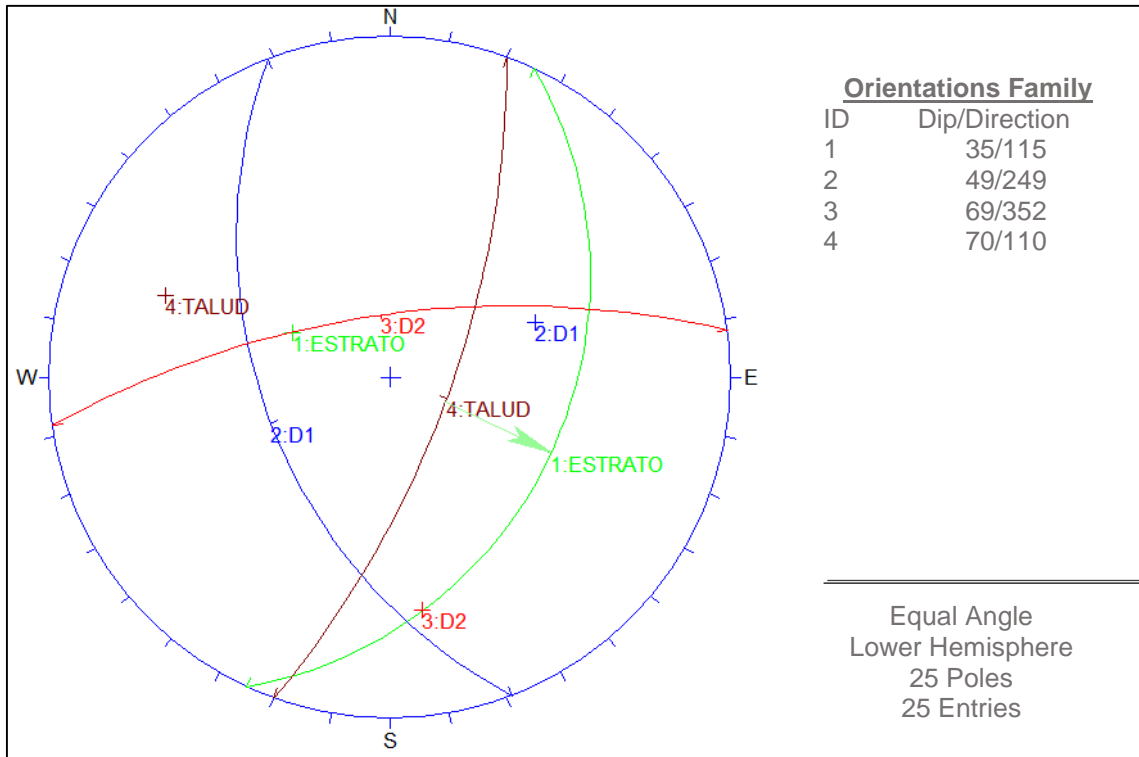


Figura 28: Interpretación final de la Rotura Planar generada por el Estrato a favor de la pendiente del Talud.

Fuente: Programa Dips v5.0, (2017).

Existe rotura planar entre el estrato y el talud.

3.7.1.2. Análisis cinemático con el Programa RocPlane

Para el análisis determinístico de la rotura planar entre el plano de estratificación y la cara del talud se utilizó los siguientes datos de geometría:

Geometry:	
Slope Height	= 2.5 m
Wedge Weight	= 11.2309 t/m
Wedge Volume	= 4.1596 m ³ /m
Rock Unit Weight	= 2.7 t/m ³
Slope Angle	= 70 °
Failure Plane Angle	= 35 °
Upper Face Angle	= 10 °
Bench Width	: Not Present
Waviness	= 0 °
Intersection Point (B) of slope and upper face = (0.909926 , 2.5)	
Intersection point (C) of failure plane and upper face = (4.46582 , 3.127)	
Failure plane length (Origin --> C) = 5.45176 m	
Slope length (Origin --> B) = 2.65882 m	

Figura 29: análisis Determinístico con el programa Dips v5.0.

Fuente: Programa RocPlane, (2017).

Se realizaron los siguientes análisis:

- **Análisis Pseudo-estático**

Considerando ausentes tanto la sismicidad y el agua subterránea, los valores de resistencia son los siguientes:

Strength:

Shear Strength Model : Hoek-Brown
UCS = 779.541 t/m²
m value: 3.038
s value: 0.0267
Shear Strength: 113.891 t/m²

El resultado es un Factor de seguridad de 6.8, a continuación, se muestra más detallado:

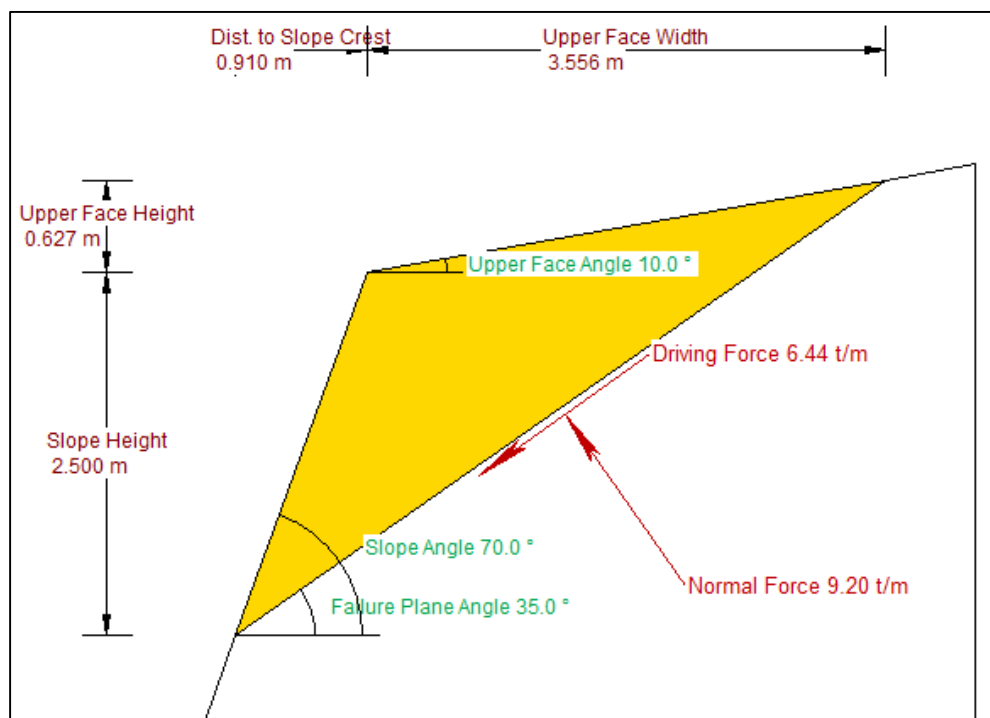


Figura 30: Resultado de Factor de seguridad.

Fuente: Programa RocPlane, (2017).

La figura 30, muestra la estabilidad sísmica de estructuras ha sido analizada usando una forma pseudoestática, se considera estable ya q su factor de seguridad es mayor a 1, considerando que su ángulo de talud es 70° y su altura de banco 2.5 metros.

Factor of Safety	6.8
Driving Force	6.44 t/m
Resisting Force	113.89 t/m
Wedge Weight	11.23 t/m
Wedge Volume	4.16 m ³ /m
Shear Strength	113.89 t/m ²
Normal Force	9.20 t/m
Plane Waviness	0.0°

Se concluye que el talud es muy estable frente a roturas planares.

3.7.1.3. Análisis sísmico y de infiltración

Se utilizaron los siguientes valores:

Strength:

Shear Strength Model : Hoek-Brown
 UCS = 779.541 t/m²
 m value: 3.038
 s value: 0.0267
 Shear Strength: 102.563 t/m²

Water Pressure:

Water Unit Weight = 1 t/m³
 Pressure Distribution Model : Peak Pressure - Mid Height
 Percent Filled : 100 %
 Water Force on Failure Plane = 4.26191 t/m

Seismic Force:

Direction : Horizontal
 Seismic Coefficient : 0.3
 Seismic Force : 3.36928 t/m

External Forces : Not Present

El resultado es un Factor de seguridad de 6.5, a continuación, se muestra más detallado:

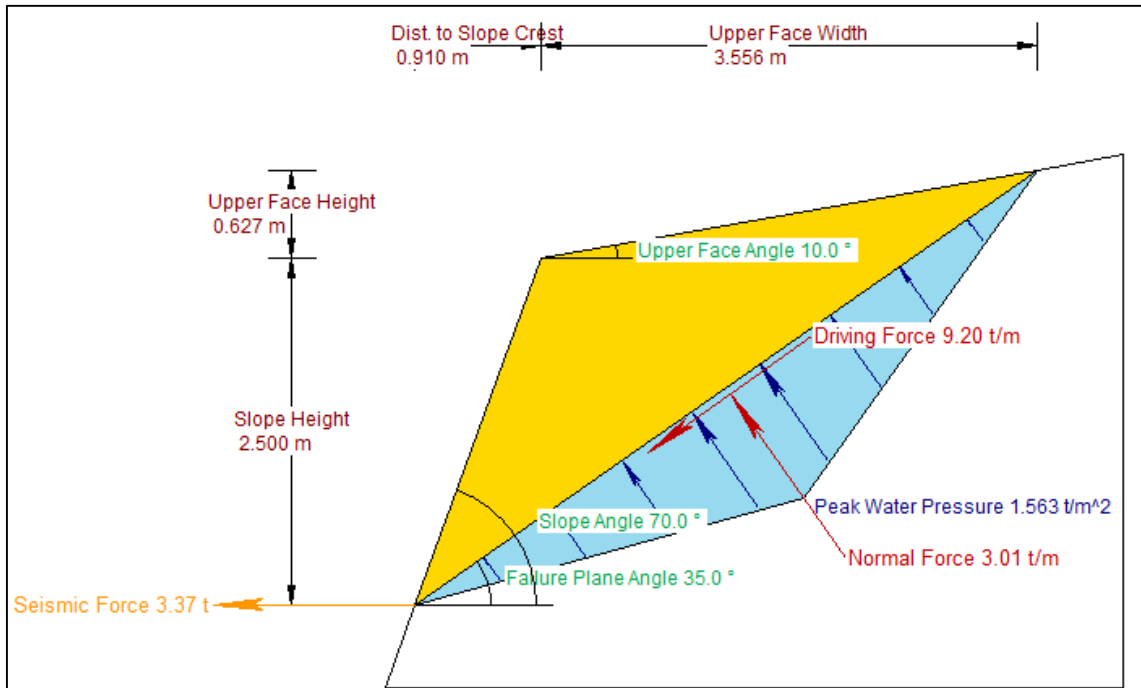


Figura 31: Resultado de Factor de seguridad.
Fuente: Programa RocPlane, (2017).

La figura 31, muestra el diseño de talud para obtener un factor de seguridad estable, con un ángulo de talud de 70° , con una altura de talud de 2.5 metros, el peso específico para calizas, la ondulación para roca firme es cero, el ángulo de variación sobre el talud se considera 10° . Se usó el método de Hoek – Brown.

Factor of Safety	6.5
Driving Force	9.20 t/m
Resisting Force	102.56 t/m
Wedge Weight	11.23 t/m
Wedge Volume	4.16 m ³ /m
Shear Strength	102.56 t/m ²
Normal Force	3.01 t/m
Seismic Force	3.37 t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	4.26 t/m

Se concluye que el talud es muy estable frente a roturas planares.

3.7.2. Análisis de Equilibrio Límite (Slide V.6.0)

Este análisis se realizó por dovelas se ingresaron las coordenadas máximas y mínimas de los taludes a evaluar, también se ingresaron datos del suelo como la resistencia la cual fue un solo estrato duro de caliza, con su respectivo peso específico, ángulo de fricción, cohesión y presencia de nivel freático. se consideró directamente un análisis sísmico y con presión de agua, el método elegido fue de Morgenstern-price, y los resultados se muestran a continuación:

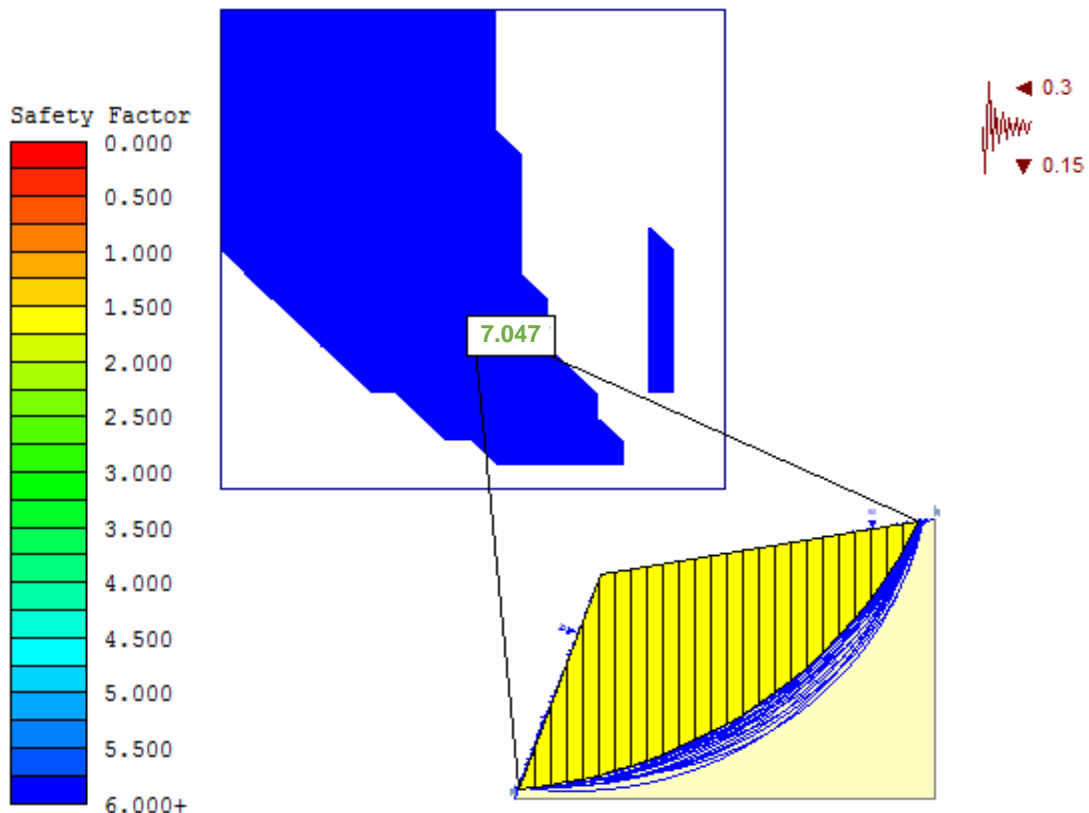


Figura 32: Resultados del Análisis de equilibrio límite por dovelas con el programa Slide.

Fuente: Programa Slide V.6.0, (2017).

En la figura 32 se muestra que el talud se dividió en 24 dovelas, el recuadro azul muestra que no se evidencia ninguna cuña de falla, el color azul representa la estabilidad del talud.

Results
Gle/morgenstern-price
Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Definid

Minimum Depth: Not Definid
Every Available Surface: 7.047
Factor of Safety: 7.047
Center: -0.447, 5.330
Radius: 5.239
Left Slip Surface Endpoint: 0.042, 0.115
Right Slip Surface Endpoint: 4.292, 3.096

El factor de seguridad es mayor a 6 (7.047) Esto quiere decir que no se produce ninguna falla circular.

3.8. Proceso de contraste de hipótesis

3.8.1. Prueba de Hipótesis General

Con la evaluación de la estabilidad de taludes se ha corroborado que la roca es resistente y que el factor de seguridad es favorable para la estabilidad de taludes, por ende, se logrará optimizar las operaciones ya que se operará con mayor seguridad minera. Queda aprobada esta hipótesis.

3.8.2. Prueba de Hipótesis Especificas

- Se determinó los parámetros geomecánicos del macizo rocoso en la cual la resistencia a compresión simple es 100 MPa a 250 MPa, RQD (Rock Quality Designation) es muy bueno, el espaciado promedio es 1.975 m, con lo cual se logró evaluar de la estabilidad de los taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos. Queda aprobada esta hipótesis.
- De acuerdo a la determinación de los elementos geométricos de las canteras como: talud banco, ancho de plataformas de trabajo, altura de bancos y prisma de deslizamiento; se determinó que los taludes son estables en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos es buena. Queda aprobada esta hipótesis.

- Considerando que el análisis cinemático y estabilidad de los taludes de las canteras, es favorable para la explotación de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017. Queda aprobada esta hipótesis.

CONCLUSIONES

- El modelamiento Geológico muestra que los taludes están formados por calizas de la Formación Cajamarca, encontrándose la Formación Celendín y Depósitos cuaternarios en los alrededores.
- El modelamiento Geomecánico muestra un macizo Muy Bueno (RMR=82) según la clasificación RMR de Bieniawski (1989); según la metodología Hoek y Brown el macizo tiene una resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta de 100 MPa, un GSI de 77, un m_i de 12 y un factor de disturbación de 0.7 para una buena voladura.
- El modelamiento Matemático muestra una rotura planar según el Análisis Estereométrico con el Programa Dips v5.0, esta rotura planar se analizó con el Programa RocPlane V2.0, dando un factor de seguridad pseudo-estático de 6.8 y un FS dinámico y saturado de 6.5, descartando el peligro por rotura planar.
- Los análisis de equilibrio límite se ha realizado por dovelas con un total de 24, el programa Slide v 6.0 (FS=7.), donde se evidencia el color azul que representa que el talud es estable.

RECOMENDACIONES

- Utilizar los resultados de este estudio de análisis de estabilidad de taludes para realizar los estudios de explotación del material calcáreo y movimientos de rocas en el “Proyecto Calera Bendición de Dios”.
- Implementar un plan de contingencia ante derrumbes y desprendimientos de rocas generados por la inestabilidad de taludes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alaya, F. (1985). Análisis del riesgo por movimientos en ladera. *Tesis Doctoral*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero. Recuperado el 15 de Noviembre de 2017, de <https://books.google.com.pe/books?id=xa6>.
- Ale, J. (2012). Influencia de la Alteración Hidrotermal en la Calidad del Macizo Rocosos en Taludes de Tajos Abiertos. *Tesis de Maestría*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado el 23 de Noviembre de 2017, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1235/1/ale_vj.pdf
- Bustamante, F., & Quiliche, C. (2013). Análisis de Estabilidad de Taludes en rocas Areniscas, Calcáreas y volcánicas – Casos Prácticos. *Proyecto de Investigación para el curso de Geotecnia I*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado el 5 de Diciembre de 2017, de <https://es.scribd.com/document/184269490>
- Goodman, R., & Bray, J. (1976). Toppling of Rock Slopes. *Proceeding Paper*. New York, Estados Unidos: Buy this book. Recuperado el 6 de Marzo de 2018, de <http://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp>
- Google Earth. (2018). Freeware. *Microsoft Windows*. Estados Unidos: macOS. Recuperado el 5 de Marzo de 2018, de <https://earth.google.es>
- Guillén, C. (2014). Estabilidad de Taludes en los Departamentos de Guatemala y Alta Verapaz, Casos Reales. *Tesis Profesional*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado el 15 de Octubre de 2017, de <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08>
- Hernández, R. (2006). Metodología de la Investigación. 5, 257-300. México : Interamericana Editores. Recuperado el 15 de Mayo de 2017, de <https://www.esup.edu.pe>
- Merchán, J., & Sánchez, D. (2013). Evaluación de la Estabilidad de los Taludes en un Sector de la Cantera de Materiales Pétreos “Las Victorias”. *Tesis*

Profesional. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 13 de Agosto de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream>.

Montoya, F. (2014). Evaluación Geotécnica de los Taludes de la Carretera Cruz Blanca- El Gavilán. *Tesis Profesional*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado el 3 de Marzo de 2018, de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC>.

Morales, D. (2013). Evaluación de la Estabilidad de Taludes en la Mina Lourdes. *Proyecto de Investigación*. Tacna, Perú: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Recuperado el 6 de Octubre de 2017, de <http://www.unjbg.edu.pe/coin2/pdf>

Recalde, E. (2015). Metodología de Planificación Minera a Corto Plazo y Diseño Minero a Mediano Plazo en la Cantera Pifo. *Tesis Profesional*. Guayaquil, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado el 18 de Noviembre de 2017, de <http://www.monografias.com/trabajos-pdf>.

Sagaseta, C. (2001). A General Analytical Solution for the Required Anchor Forcé in Rock Slopes with Toppling Failure. *Int. Journal Rock*. California, Estados Unidos: Int. Journal Rock. Recuperado el 16 de Febrero de 2018, de <http://oa.upm.es/722/1/04200507.pdf>

Tapia, A. (2012). Comparativa de los Métodos de Cálculo en Análisis de Estabilidad de Taludes. *Tesis Profesional*. México: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 17 de Enero de 2018, de tesis.ipn.mx/bitstream/handle.

Toro, J. (2014). Evaluación de la Inestabilidad de Taludes en la Carretera Las Pirias- Cruce Lambayeque, San Ignacio. *Tesis Profesional*. Perú: Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado el 10 de Agosto de 2017, de <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC>.

Valeriano, F. (2015). Caracterización Geotécnica y Modos de Falla Estructural en el Talud en Roca del Cerro Espinal Juliaca. *Tesis Profesional*. Puno,

Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado el 25 de Agosto de 2017, de <http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle>.

Zanbak, C. (1983). Design Charts for Rock Slopes Susceptible to Toppling. *Geology and Geological Engrg.* Virginia, Estados Unidos: Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles. Recuperado el 5 de Marzo de 2018, de <https://books.google.com.pe>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS OPERACIONES MINERAS DE LA CANTERA LOS CHANCAS III 5HNOS, DISTRITO DE BAMBAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2017”

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACION	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema principal: ¿Cómo la evaluación de la estabilidad de taludes influye en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017?</p>	<p>Objetivo General: Evaluar la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, en el año 2017.</p>	<p>Hipótesis general: Si se realiza la evaluación de la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos se logrará optimizar las operaciones mineras con respecto a la seguridad de los trabajadores, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017.</p>	<p>- Variable 1 Estabilidad de taludes. - Variable 2 Operaciones mineras.</p>	<p>Tipo de investigación El tipo de investigación es Cuantitativa ya que se utilizó la recolección de datos de las condiciones actuales de estabilidad de taludes, para probar hipótesis, y se buscará el mejoramiento de estas. Nivel de investigación El nivel de la investigación fue descriptivo ya que se realizó la descripción de las condiciones actuales de la estabilidad de taludes; es decir, se dirigió a responder las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales que acarrea al no estabilizar los taludes. Diseño de investigación En el presente trabajo de investigación se utilizó del Método Científico como método general. El cual consiste en un conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos. Población Cantera Los Chancas III 5Hnos, distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca. Muestra Se estudió un talud usado en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos.</p>
<p>Problemas secundarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son las características geomecánicas del macizo rocoso a tomar en cuenta para la evaluación de la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017? - ¿Cuáles son los elementos geométricos adecuados de la cantera para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017? - ¿Cuál es el factor de seguridad adecuado para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017? 	<p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las características geomecánicas del macizo rocoso, para la evaluación de la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017. - Evaluar los elementos geométricos adecuados para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017. - Calcular el factor de seguridad adecuado para obtener la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017. 	<p>Hipótesis secundarias:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se determina las características geomecánicas del macizo rocoso, se logrará determinar su calidad, por ende, ayudará a evaluar la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017. - Si se evalúan los elementos geométricos adecuados se obtendrá la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017. - Si se calcula el factor de seguridad adecuado se obtendrá la estabilidad de taludes en las operaciones mineras de la cantera Los Chancas III 5Hnos, en el distrito de Bambamarca, departamento de Cajamarca, durante el año 2017. 		

Fuente: Elaboración propia (2017).

REGISTRO GEOLÓGICO-GEOTECNICO				PROYECTO :		TESIS PROFESIONAL											UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS (Tabla Modificado por: Reinaldo Rodríguez)												
UBICACIÓN :				CAJAMARCA-HUALGAYOC-BAMBAMARCA-MAYGASBAMBA																									
CODIGO		WMC-2017-1		TRAMO :		LUGAR DE EXTRACCIÓN DE PIEDRA CALIZA																							
RESPONSABLE		Kristell Figueroa Torres		HOJA Nº :		1																							
SISTEMA		UTM-WGS-84-17S		EJECUTADO POR:				Kristell Figueroa Torres				FECHA:			4 de Agosto del 2017														
PROPIEDADES DE LAS DISCONTINUIDADES CARTOGRAFIADAS																													
DATA GPS				MACIZO ROCOSO							RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAIXIAL (MPa)																		
DIS. Nro.	ESTE	NORTE	COTA	LITOLOG / FORMAC.	METEORIZACION	GRADO FRACT.	GSI	TIPOS		SIÓN	RQD Tramo	ORIENTACIÓN			ESPACIADO (m)	PERSIST (m)	ABERTURA (mm)	RUGOS.	RELLENO		ALTERAC - METEOR	AGUA	CALIDAD DE INFORM.						
								E=Estratif.	D=Diaclasa			Z / R	DIP	DD					TIPO	DUREZA									
					1=Fresco	1 = Alto	Bloq-Regul	Fn=F. Norm		ND: 15	DIRECCION.			1=> 2	1 = < 1	1=Nada	1=Muy Rug	1 = Arcilloso	1 = Ninguna	1=Inalterada	1 = Seco	1= Lec. Real							
					2=Lev Met	2 = Med	Bloq-Irregul	Fi=F. Inversa		L: 1.8				2= 2-0,6	2 = 1-3	2=< 0.1	2=Rugosa	2 = Qz / Silic	2=Duro<5mm	2=Lig. Alt	2 = Humedo	2=Lect Apar							
					3 =Mod	3 = Bajo	Bloq/Des	Fd=F. Direcc		λ= 4.2				3= 0,6-0,2	3 = 3-10	3=0,1-1,0	3=Lig. Rug	3 = Calcita	3=Duro>5mm	3=Mod. Alt	3 = Mojado	3=Lec Proy							
					4=Alt Met		Fract	mf=Microfalla		RQD= 93.4				4=0,2-0,06	4=10-20	4 =1,0-5,0	4=Ond.-lisa	4 = Oxidos	4=Suave<5mm.	4=Muy Alt	4 = Goteo								
					5=Compl		Agregar MB, B, M, P, MP	C=Contacto						5= < 0,06	5 = >20	9= > 5	5=Suave	5 = Roca Trit.	5=Suave>5mm.	5=Descomp	5 = Flujo								
																		6 = Bx											
																		7 = Panizo											
																		8 = Veta											
E1	772591	9263634	2750	Ks-ca	2	3	75	E	75			25	35	115	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
2							BI-MB	E	75			27	34	117	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
3								E	75			26	31	116	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
4								E	75			24	38	114	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
5								E	75			21	39	111	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
6								E	75			21	31	111	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
7								E	75			23	35	113	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
8								E	75			29	36	119	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
9								E	75			21	32	111	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
10								E	75			22	34	112	25	1	4	1	3	2	2	2	1						
11								D1	75			159	49	249	25	1	4	1	3	2	2	2	1						

12								D1	75		158	43	248	25	1	4	1	3	2	2	2	1
13								D1	75		153	55	243	25	1	4	1	3	2	2	2	1
14								D1	75		161	55	251	25	1	4	1	3	2	2	2	1
15								D1	75		161	56	251	25	1	4	1	3	2	2	2	1
16								D1	75		165	54	255	25	1	4	1	3	2	2	2	1
17								D1	75		155	48	245	25	1	4	1	3	2	2	2	1
18								D1	75		154	47	244	25	1	4	1	3	2	2	2	1
19								D2	75		262	69	352	25	1	4	1	3	2	2	2	1
20								D2	75		260	63	350	25	1	4	1	3	2	2	2	1
21								D2	75		269	72	359	25	1	4	1	3	2	2	2	1
22								D2	75		262	71	352	25	1	4	1	3	2	2	2	1
23								D2	75		261	74	351	25	1	4	1	3	2	2	2	1
24								D2	75		260	67	350	25	1	4	1	3	2	2	2	1
25								D2	75		260	71	350	25	1	4	1	3	2	2	2	1
E2	772584	9263641	2748	Ks-ca	3	3	75	E	75		20	40	125	25	1	4	1	3	2	2	2	1
1								D3	150		15	35	123									
2								D3	150		17	36	121									
3								D3	150		16	41	132									
4								D3	150		18	42	134									
5								D3	150		19	43	126									
6								D3	150		20	34	128									
7								D3	150		21	35	121									

8								D4	100		72	93	196									
9								D4	100		69	102	187									
10								D4	100		73	104	186									
11								D4	100		75	97	178									
12								D4	100		76	98	198									
E4	772562	9263639	2753	Ks-ca	3	3	75	E	100		159	43	245	25	1	4	1	3	2	2	2	1
1								D1	100		164	45	235									
2								D1	100		161	44	241									
3								D1	100		156	43	261									
4								D1	100		155	47	248									
5								D1	100		151	46	247									
6								D1	100		157	44	243									
7								D1	100		156	48	246									
8								D2	100		264	76	3									
9								D2	100		270	81	357									
10								D2	100		271	86	4									
11								D2	100		263	88	10									
12								D2	100		267	78	358									

Anexo 2: Fotografías



Figura 33: Horno de calcinación.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 34: Trabajos en cantera.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 35: Zona de embolso.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 36: Ensacado de cal.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 37: Desmonte de cantera.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 38: Vista de los hornos de calcinación.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 39: Vista de los hornos de calcinación vacíos.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 40: Vista panorámica de la cantera.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 41: Infraestructura de la calera.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 42: Vista de cantera y almacenamiento de carbón antracita.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 43: Estratificación de las calizas.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 44: Estratificación y accesos a cantera.

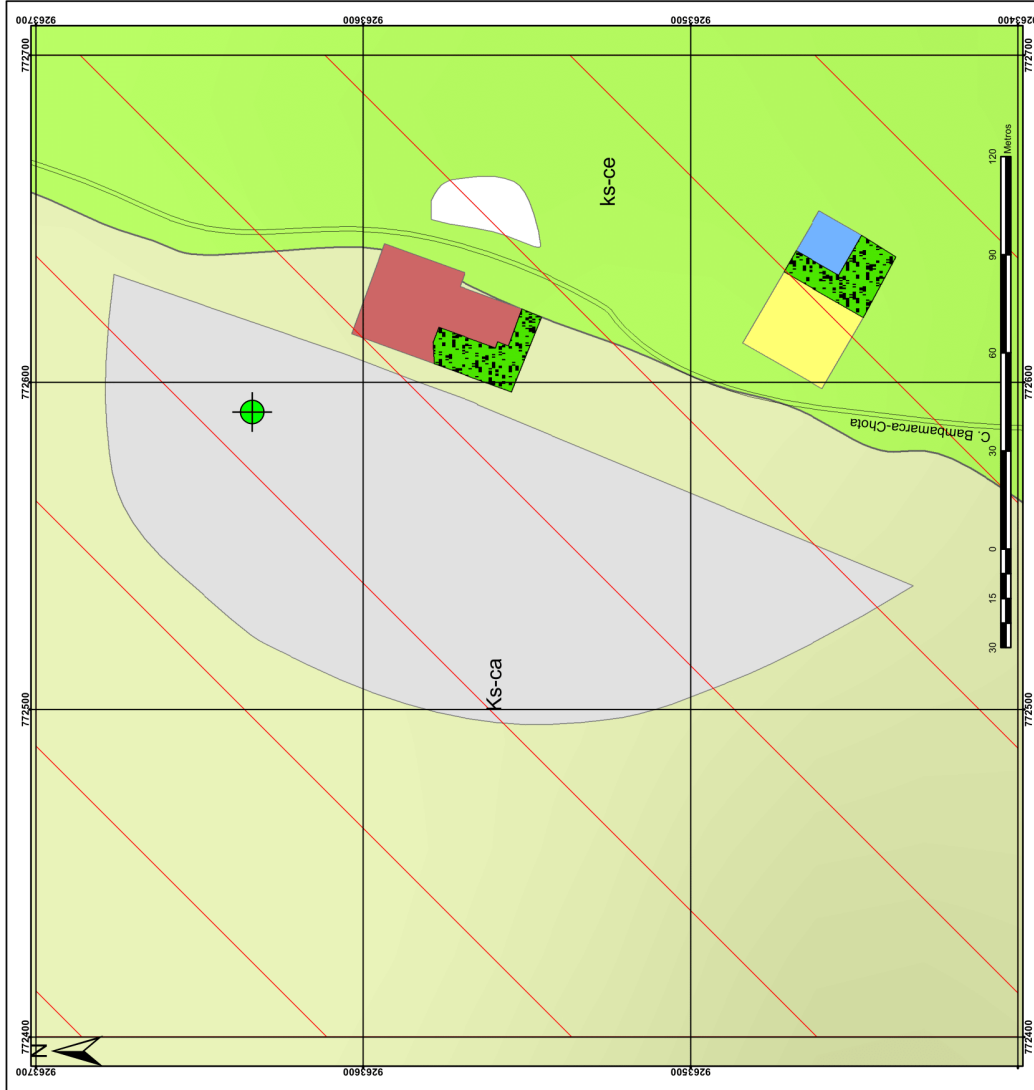
Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.



Figura 45: Molino de cal.

Fuente: Fotografía tomada en la cantera los Chancas III 5HNOS, por la tesista - Bambamarca, 2017.

Anexo 3: Planos



PLANO N° 01

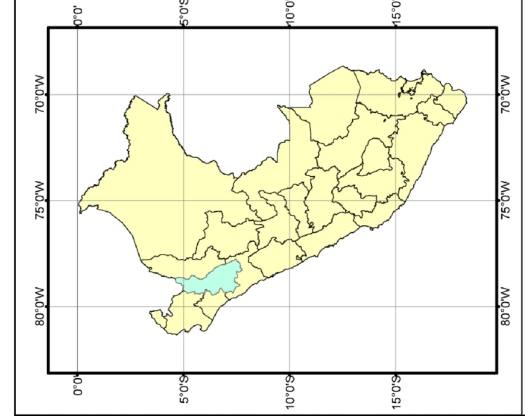
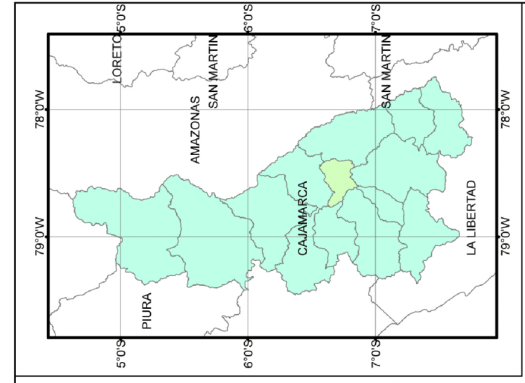
UBICACIÓN:
CASERIO de MAYGASBAMBA
DISTRITO de BAMBAMARCA,
PROVINCIA de HUALGAYOC,
DEPARTAMENTO de CAJAMARCA.

PLANO GEOLÓGICO

Elaborado por: Kristell Jhoselin Figueroa Torres
Revisado por: Ing. Fernando Toledo Aguilar

TESIS:
"EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS OPERACIONES MINERAS DE LA CANTERA LOS CHANCAS IIIHSHNOS, DISTRITO DE BAMBAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2017"
CONCESION MINERA NO METALICA LOS CHANCAS III 5 HNOS CODIGO: 010039903
TITULAR: CALERA BENEDICION DE DIOS E.I.R.L.

FECHA: JUNIO DEL 2018 **SISTEMA DE COORDENADAS:** UTM **DATUM:** PSAD 56 **ESCALA:** 1:1500



COORDENADAS UTM	
PSAD 56 DE LA ESTACION	772591
GEOMECÁNICA ESTE	9263634
NORTE	2750
COTA	2750

SIMBOLOGÍA

- VIA AFIRMADA
- CAMINO
- HIDROGRAFÍA

UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS

- DEPOSITOS DELUVIALES (Q-de)
- FORMACIÓN CELENDIN (ks-ce)
- FORMACIÓN CAJAMARCA (ks-ca)

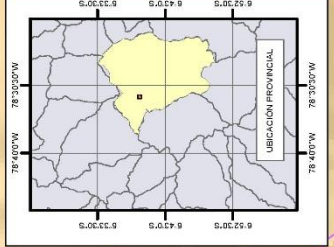
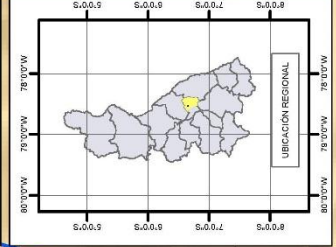
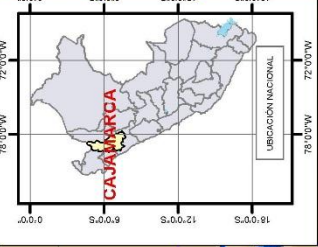
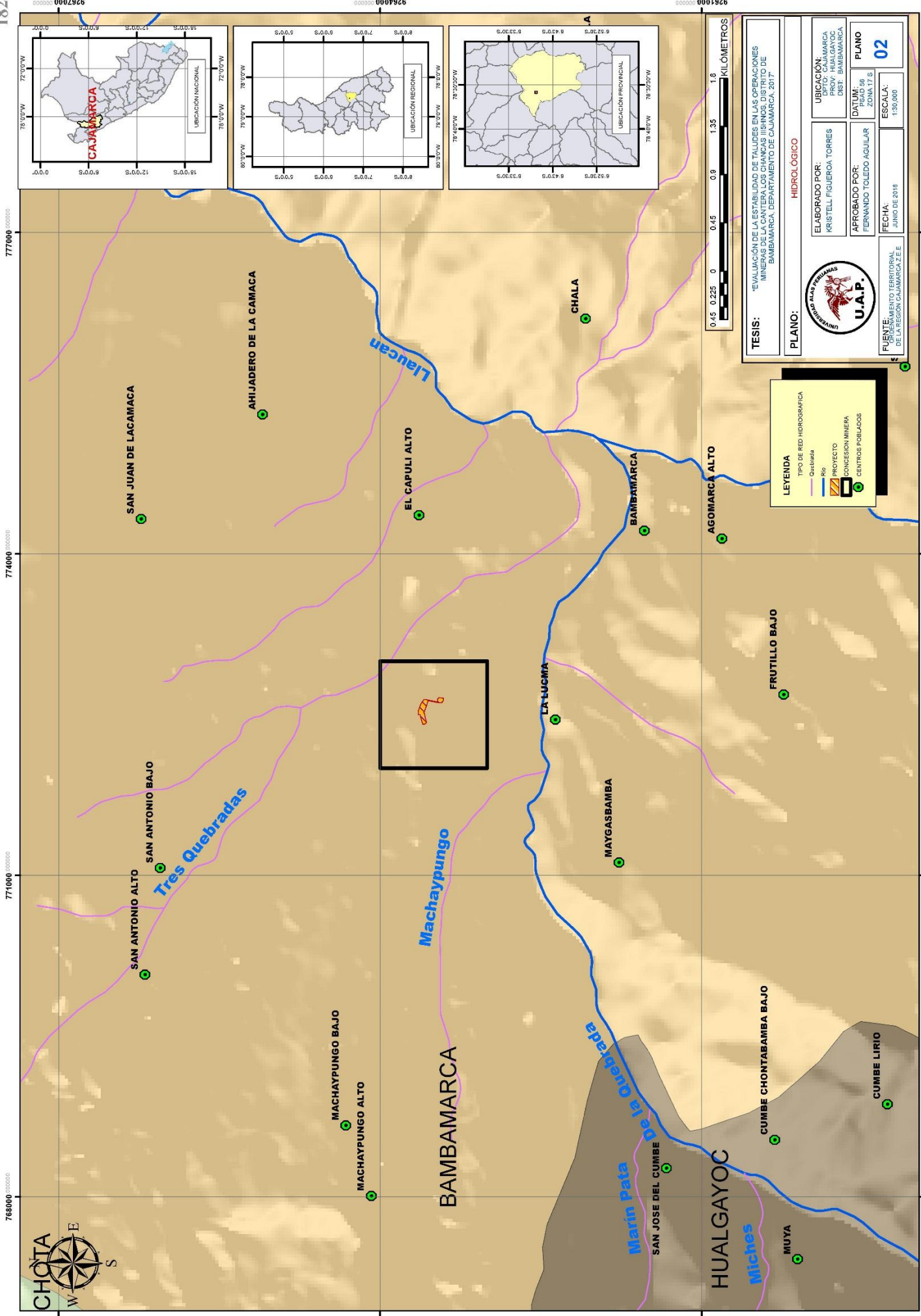
LEYENDA

- AREA DE INFLUENCIA DE EXPLOTACIÓN
- ZONA DE EXTRACCIÓN
- INSTALACIONES DE PROCESAMIENTO
- ALMACEN DE CAL AGRÍCOLA
- OFICINAS ADMINISTRATIVAS
- ESTACIONAMIENTO
- AREAS VERDES

ESTACION GEOMECÁNICA (PUNTO DE CONTROL)



CHOTA



TESIS: "EVALUACION DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS OPERACIONES MINERAS DE LA CANTERA LOS CHANCAS IIIIINOS, DISTRITO DE BAMBAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2017"

PLANO: HIDROLOGICO

ELABORADO POR: KRISTELL FIGUEROA TORRES

APROBADO POR: FERNANDO TOLEDO AGUILAR

FECHA: JUNIO DE 2018

UBICACION: DPTO: CAJAMARCA, DIST: BAMBAMARCA

DATUM: ZONA 18 S, ZONA 17 S

ESCALA: 1:50,000

PLANO: 02

FUENTE: GOBIERNO REGIONAL DE LA REGION CAJAMARCA Z.E.E

LEYENDA

TIPO DE RED HIDROGRAFICA

- Caudalera
- Rio
- PROYECTO
- CONCESION MINERA
- CENTROS POBLADOS



777000

774000

771000

768000

777000

774000

771000

768000

9267000

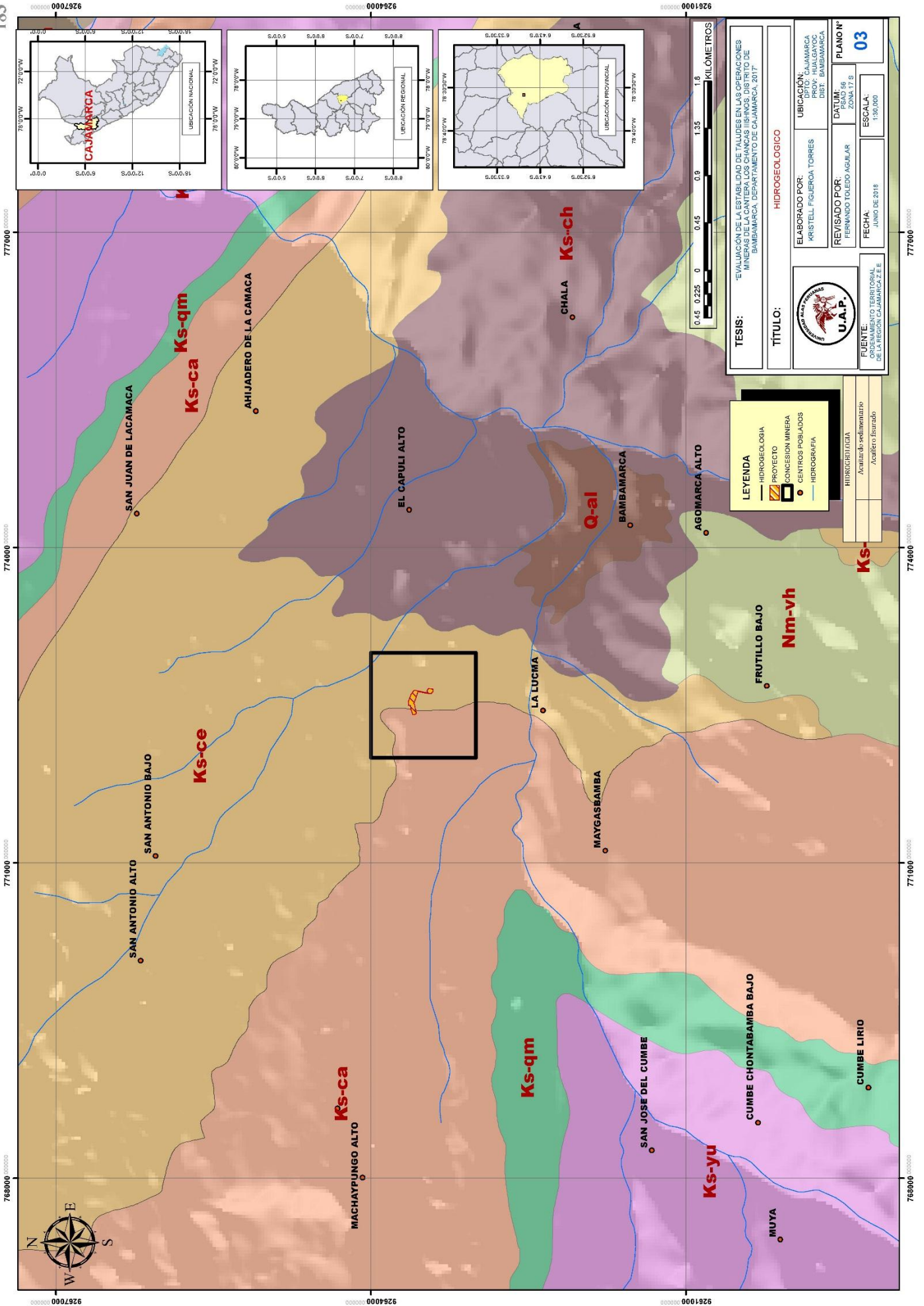
9264000

9261000

9267000

9264000

9261000



LEYENDA

- HIDROGEOLOGIA
- PROYECTO
- ▭ CONCESION MINERA
- CENTROS POBLADOS
- HIDROGRAFIA

HIDROGEOLOGIA

Acuífero sedimentario
Acuífero fríasido

TESIS: EVALUACION DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS OPERACIONES MINERAS DE LA CANTERAS CHANKAS Y BAMBAMARCA, DISTRITO DE BAMBAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2017.

TITULO: HIDROGEOLOGICO

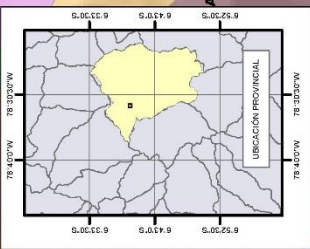
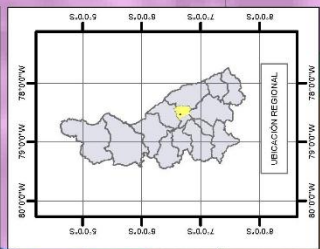
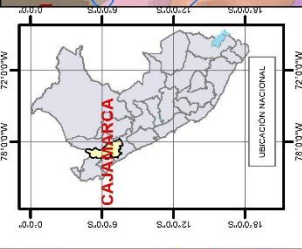
ELABORADO POR: KRISTELL FIGUEROA TORRES
UBICACION: CAJAMARCA, DPTO. CAJAMARCA, PROV. HUALGAYOC, DIST. BAMBAMARCA

REVISADO POR: FERNANDO TOLEDO AGUILAR
DATUM: S-JZONA 17 S

PLANO N°: 03

FECHA: JUNIO DE 2018
ESCALA: 1:30,000

FUENTE: COORDINADO TERRITORIAL DE LA REGION CAJAMARCA S.E.E



SECCION LONGITUDINAL MIRANDO AL NORTE

CORRESPONDE AL ÁREA EXPLOTADA Y AL ÁREA POR EXPLOTAR

TESIS:
"EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES EN LAS OPERACIONES MINERAS DE LA CANTERA LOS CHANCAS III HORNOS, DISTRITO DE BAMBAMARCA, DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA, 2017".

Elaborado por: Kristell Figueroa Torres
Revisado por: Fernando Toledo Aguilar

Datum: PSAD - 56 - Zona 17S
Escala: 1: 570

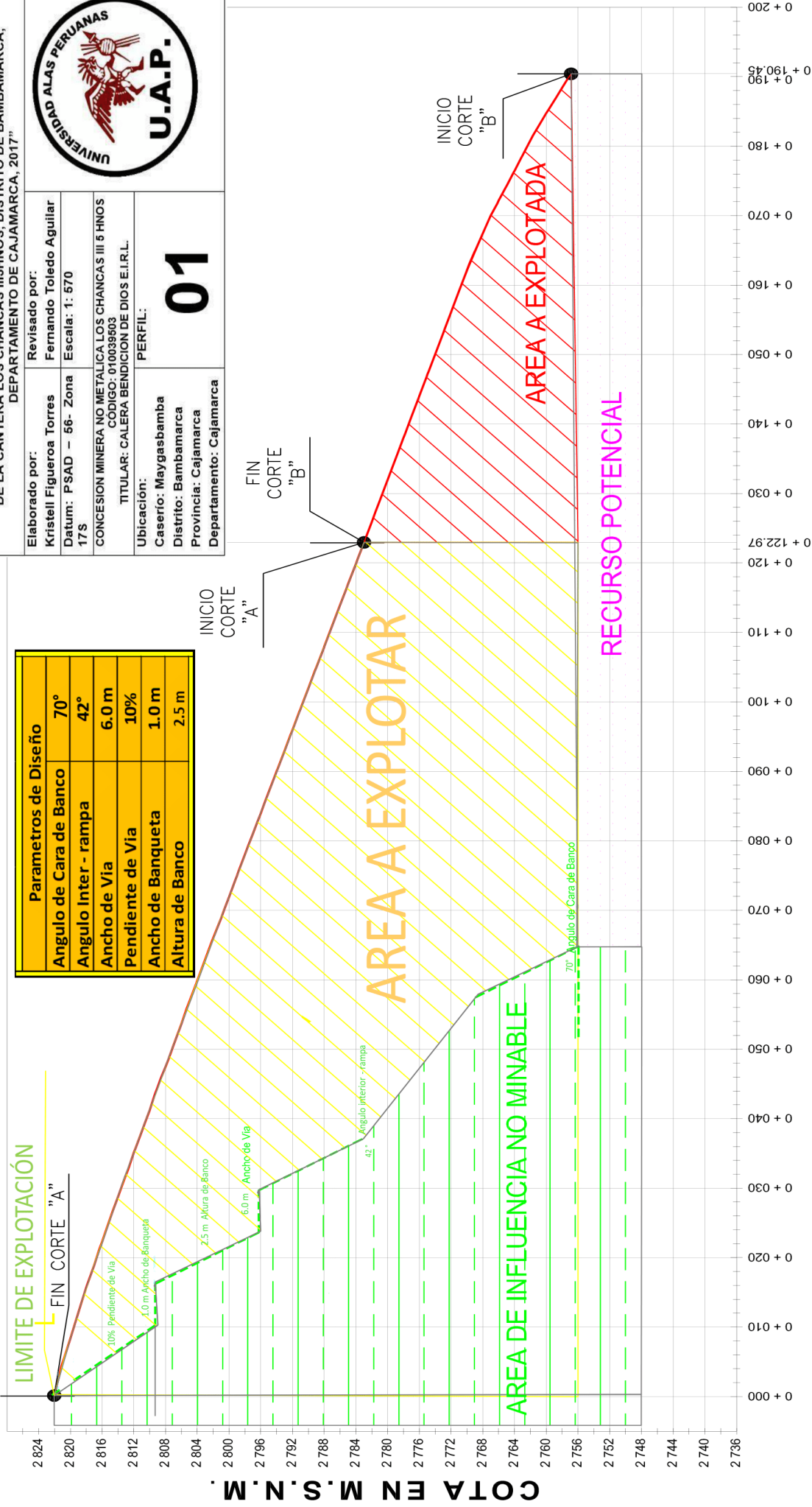
CONCESION MINERA NO METALICA LOS CHANCAS III 5 HNOS
CODIGO: 010039603

TITULAR: CALERA BENEDICION DE DIOS E.I.R.L.

Ubicación:
Casero: Maygasbamba
Distrito: Bambamarca
Provincia: Cajamarca
Departamento: Cajamarca

PERFIL:
01

Parametros de Diseño	
Angulo de Cara de Banco	70°
Angulo Inter - rampa	42°
Ancho de Vía	6.0 m
Pendiente de Vía	10%
Ancho de Banqueta	1.0 m
Altura de Banco	2.5 m



PROGRESIVAS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL