



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“INFLUENCIA DE LA EVALUACIÓN
GEOMECÁNICA EN LA ESTABILIDAD DE
TALUDES DE LA CANTERA AYLAMBO, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA GEÓLOGA

Autor:

Bach. Milagros Guadalupe Montoya Yupanqui

Asesor:

Ing. Ricardo Portilla Castañeda

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios, por llenarme de sabiduría, paciencia y fuerza para cumplir cada meta propuesta, por aquellas personas que puso en mi camino y que han sido mi soporte durante todo este tiempo. A mi querida madre, por su sacrificio, su apoyo, su ejemplo y su amor que me impulsaron a ser una persona de bien y a seguir en el camino sin miedo. A mi amado padre, por sus consejos, su ánimo, su alegría y sobre todo por su ejemplo de lucha y superación, que me levantaron en momentos de flaqueza, porque sé que la felicidad que ahora siento, también es la suya. A mis sobrinos por cada momento compartido y por llenar mi vida de tanta alegría. A mis abuelitos por su amor incondicional. A mi familia y amigos por su gran apoyo y cariño. ¡A todos ustedes, mil gracias por estar siempre ahí!

Milagros.

AGRADECIMIENTO

Al finalizar el desarrollo de la presente investigación, viene un sentimiento de profundo agradecimiento con aquellas personas que lo hicieron posible. De manera especial quiero agradecer a los Ingenieros: Shonel Cáceres Pérez, Ricardo Portilla Castañeda, Rafael Ocas Boñón, Daniel Alva Huamán; por su gran capacidad para guiar esta investigación a través de sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación, que además han permitido nuestra formación como investigadora. Ha sido un verdadero privilegio contar con su ayuda. A mis amigos que me han brindado su amistad, apoyo y ánimo en todo momento durante toda mi vida universitaria. Con todo mi cariño, gracias a Dios y a mi familia por ser mi apoyo y guiarme a lo largo de mi vida, y sobre todo por darme fortaleza en momentos de debilidad. Para ustedes muchas gracias por todo. Milagros.

Tabla de contenidos

	Pág.
DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	15
1.3.1. Objetivo general.....	15
1.3.2. Objetivos específicos	15
1.4. Hipótesis.....	15
1.4.1. Hipótesis general.....	15
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	16
2.1. Tipo de investigación	16
2.2. Población y muestra (Materiales y métodos)	16
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	17
2.4. Procedimiento.....	17
CAPÍTULO III. RESULTADOS	19
3.1. Generalidades	19
3.1.1. Ubicación Geográfica	19
3.1.2. Ubicación Política	19
3.1.3. Accesibilidad.....	21
3.1.4. Clima y vegetación.....	23
3.2. Geología regional	24
3.2.1. Estratigrafía.....	24
3.2.2. Geología estructural	28
3.2.3. Características litológicas	29
3.3. Levantamiento topográfico	31
3.4. Caracterización geomecánica/geotécnica.....	32
3.4.1. Evaluación del GSI (Geological Strength Index)	32
3.4.2. Evaluación del RMR.....	35

3.5.	Evaluación del RMR en la cantera Aylambo	40
3.5.1.	Resistencia de la roca intacta	40
3.5.2.	Índice de calidad de la roca, RQD	42
3.5.3.	Espaciamiento de las discontinuidades	43
3.5.4.	Condición de las discontinuidades (Jc)	45
3.5.6.	Valoración del macizo rocoso RMR	48
3.5.7.	Orientación de las discontinuidades	48
3.6.	Análisis cinemático	49
3.6.1.	Falla planar	51
3.6.2.	Falla por cuña	53
3.6.3.	Falla por vuelco	55
3.7.	Análisis de estabilidad del talud	57
3.7.1.	Sismicidad	58
3.7.2.	Zonas sísmicas del Perú	58
3.7.3.	Coefficiente de sismicidad	59
3.7.4.	Análisis estático	61
3.7.5.	Análisis pseudoestático	62
3.7.6.	Diseño del talud corregido	63
3.8.	Cálculo del SMR (Slope Mass Rating)	64
3.9.	Mapa de la cantera Aylambo	69
3.9.1.	Estimación de tiempo de vida	70
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		72
4.1.	Discusión	72
4.2.	Conclusiones	75
REFERENCIAS		76
ANEXOS		79
Anexo N°1: Tabla de datos tomados con GPS a la cantera Aylambo		79
Anexo N°2: Tabla de reconocimiento de GSI en campo.		84
Anexo N°3: Tabla de recolección de datos geomecánicos de campo.		85
Anexo N°4: Tabla para hablar el SMR (Slope Mass Rating)		86
Anexo N°5: Fotografía de reconocimiento de estratos		87
Anexo N° 6: Toma de datos geomecánicos		88
Anexo N° 7: Resistencia a la compresión uniaxial ¡Error! Marcador no definido.		
Anexo N° 8: Corte producido por la compresión uniaxial		90
Anexo N° 9: Toma del ángulo de fricción		91
Anexo N°10: Planos de accesibilidad, ubicación, geológico y de la cantera Aylambo.		92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas UTM WGS84 de la Cantera Aylambo.....	19
Tabla 2. Acceso a la Cantera Aylambo.....	21
Tabla 3. Clasificación de RMR.....	36
Tabla 4. Parámetros y Valores para el RMR ₈₉	37
Tabla 5. Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca.....	39
Tabla 6. Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”.....	41
Tabla 7. Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD	43
Tabla 8. Sistema de discontinuidades en el macizo rocoso	44
Tabla 9. Rango de Valores para el Espaciamiento de discontinuidades.....	45
Tabla 10. Rango de Valores en Relación a la Condiciones de las Discontinuidades	47
Tabla 11. Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos.....	48
Tabla 12. Ajuste de la Valoración por Orientación de las Fisuras	49
Tabla 13. Datos de las Juntas.....	50
Tabla 14. Datos para Análisis Cinemático.....	50
Tabla 15. Coeficiente de Sismicidad	59
Tabla 16. Datos RockData	60
Tabla 17. Factor de Ajuste F1, F2 Y F3	66
Tabla 18. Factor de Ajuste F4.....	67
Tabla 19. Parámetros del SMR	68
Tabla 20. Medidas de Sostenimiento	68
Tabla 21. Volumen y Área Total	69
Tabla 22. Volumen y Área Extraído	69
Tabla 23. Volumen y Área que Falta Extraer	69
Tabla 24. Tiempo de vida para la explotación de la cantera.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Plano de Ubicación de la cantera Aylambo.....	20
Figura 2. Plano de Accesibilidad de la cantera Aylambo.	22
Figura 3. Fotografía tomada en la parte superior de la cantera Aylambo.....	23
Figura 4. Plano Geológico de la cantera Aylambo.	24
Figura 5. Simbología de las formaciones geológicas de la zona de estudio.	25
Figura 6. Imagen satelital de la falla normal ubicada en la zona de estudio.	28
Figura 7. Imagen satelital del pliegue tumbado ubicada en la zona de estudio.....	29
Figura 8. Representación de la meteorización físico – química que existe cerca los límites de la cantera Aylambo.	31
Figura 9. Estimación de GSI de la cantera Aylambo a través de la observación realizada en campo.	33
Figura 10. Macizo rocoso para la evaluación del valor de GSI.....	34
Figura 11. Puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta” UCS.....	40
Figura 12. Imagen del metro cuadrado para hallar el RQD.....	42
Figura 13. Puntaje asociado al espaciamiento de discontinuidades del macizo rocoso.	44
Figura 14. Imagen de la condición de las discontinuidades del macizo rocoso.	46
Figura 15. Mecanismo de rotura planar.	51
Figura 16. Análisis estereográfico de rotura planar utilizando como criterio el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de ± 20	52
Figura 17. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 0% de deslizamiento planar.	52
Figura 18. Mecanismo de rotura por cuña.	53
Figura 19. Análisis estereográfico utilizando como criterio el cono de fricción, y el talud sin límites laterales.....	54
Figura 20. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 1.94% de deslizamiento en cuña.	55
Figura 21. Mecanismo de rotura por vuelco.	56

Figura 22. Análisis estereográfico utilizando como criterio límites laterales de ± 20 , y la envolvente del talud.	56
Figura 23. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 28.57% de deslizamiento por vuelco.	57
Figura 24. Zonas sísmicas del Perú.	59
Figura 25. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer en condiciones estáticas.	61
Figura 26. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer en condiciones pseudoestáticas.	62
Figura 27. Análisis del talud corregido por el método de Spencer en condiciones pseudoestáticas.	63
Figura 28. Imagen de volumen de la cantera.	70
Figura 29. Plano Compósito de la cantera Aylambo.	71

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Cohesión	35
Ecuación 2: Ángulo de fricción	35
Ecuación 3: Cálculo de RMR.	36
Ecuación 4: RQD a través de λ	38
Ecuación 5: RQD a través de J_v	38
Ecuación 6. Fórmula para hallar λ	42
Ecuación 7. Fórmula Cálculo de SMR	64
Ecuación 8: Expectativa de la medida en años.	70

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue conocer la influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera Aylambo. Se realizó una investigación descriptiva. Según su enfoque una investigación cuantitativa y según su alcance de carácter explicativo. Como resultado se obtuvo que la evaluación geomecánica influye en la estabilidad de los taludes de la cantera Aylambo. Se calculó los parámetros geomecánicos del GSI con un valor de 32 y RMR con un puntaje de 46, siendo este de calidad Regular. Se realizó el análisis cinemático encontrando un 28,57% de deslizamiento por vuelco. Se obtuvo el Factor de Seguridad en condiciones estáticas de 1,010 y un Factor de Seguridad de 0,650 para condiciones pseudoestáticas, pero con la corrección de la geometría del talud se obtuvo un Factor de Seguridad de 1,513 en condiciones pseudoestáticas. Se halló el SMR obtenido como puntuación 43,25 siendo este de clase III b (parcialmente estable). Se propuso medidas de sostenimiento como cunetas al pie de talud, pernos sistemáticos, hormigón lanzado localizado y/o muro de pie; también que el talud conste de 3 bancos con un ángulo de 60° una altura de talud de 17m y un ancho de berma de 20m, para que sea estable.

Palabras clave: Análisis geomecánico, mecánica de suelos, mecánica de rocas, estabilidad de taludes.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El aumento de la demanda en el sector de la construcción a nivel mundial durante los últimos años, ha generado un incremento en la extracción de materia prima; siendo las canteras cercanas a los principales núcleos urbanos, las preferidas para la obtención de material debido a su cercanía. (Caizaluisa & Criollo, 2015).

Al nivel nacional la minería y la ingeniería civil se encuentran con problemas relacionados a la estabilidad de taludes, ya sean estos suelos o macizos rocosos. La identificación de los modos de falla a través del círculo de fricción y software Dips como lo hicieron Sorbino & Nicotera (2012) en un talud es primordial para un posterior análisis de estabilidad que por causa de desprendimientos pueden causar inestabilidad y de esta manera proponer correcciones o controles de ingeniería.

Los trabajos en la cantera Aylambo se han realizado durante varios años con el objetivo de extraer material usado en diferentes construcciones en la ciudad de Cajamarca y pueblos aledaños, esto ha generado un gran frente de talud de roca, que, desde el punto de vista de la ingeniería, ha generado un cambio de las condiciones naturales y de estabilidad en las que se encontraba antes de la explotación. Por esta razón, es necesario realizar el análisis de estabilidad del talud de la cantera Aylambo, tomando en cuenta que, según Hoek & Bray (1974) este análisis permitirá determinar el factor de seguridad tomando en cuenta que el macizo rocoso detrás del talud es único y que no existen recetas normalizadas ni soluciones rutinarias que garanticen una respuesta correcta cada vez que sean aplicadas, por esta razón es necesario realizar este estudio.

Durante el paso del tiempo se identificó caídas de rocas desde las partes más altas del talud hacia el pie del talud de la cantera Aylambo, estos están generalmente relacionados con un control estructural definido por la orientación de las discontinuidades presentes en el talud. La presencia de algunas grietas en la parte superior de talud nos hace creer que en algún momento este podría inestabilizarse. Como lo dicen Richard, Dagrain, Poyol, & Detournay (2012) el agente externo responsable de la inestabilidad es una fuerza de masa: el peso y eventualmente los efectos de filtración a los que debe añadirse, generalmente como factor secundario, posibles cargas externas, que se deben analizar para evitar la inestabilidad de los taludes de la cantera Aylambo.

Para poder conocer la influencia de esta problemática es necesario realizar el reconocimiento de la litología de la cantera Aylambo, un levantamiento topográfico, toma de muestras con sus respectivos análisis y una clasificación geomecánica. De igual manera, para el análisis de estabilidad se usará el método de Spencer a través del programa de análisis de estabilidad de taludes denominado Slide, como lo hizo Nicksiar (2012). También resulta necesario hacer el análisis de estabilidad de taludes (SMR), para identificar zonas de inestabilidad para la estabilidad del talud y proponer según lo obtenido la Corrección Geométrica, Construcción de Bermas o Saneamiento tal y como lo recomiendan (Caizaluisa & Criollo, 2015).

Esta caracterización geotécnica y la identificación de los modos de falla más recurrentes contribuirán a la solución de la problemática desarrollándose de manera más detallada a lo largo de esta tesis.

Los métodos que se usarán permiten, de forma sencilla, estimar la calidad del macizo rocoso, mediante la cuantificación de parámetros de fácil medición, los cuales

se establecen en el campo de manera rápida y con costos económicos mínimos, como lo aseguraron (Carrillo, Linkimer, Rodríguez, & Zúñiga, 2002).

Para poder entender de mejor manera esta investigación es necesario conocer algunos términos, que ha sido definidos de la siguiente manera.

Un talud es una superficie inclinada del terreno. Las pendientes con ángulo superior a 30° con la horizontal y de altura total acumulada superior a tres metros se consideran como talud. (Melentijevic, 2005).

El ángulo de fricción es la representación matemática del coeficiente de rozamiento en forma de \tan' . Este depende de varios factores como el tamaño de los granos, la forma de los mismos, la distribución de tamaños y la densidad. (Melentijevic, 2005).

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas del suelo y es usada en mecánica de suelos para representar la resistencia al cortante producida por la cementación, mientras que en la física este término se utiliza para representar la tensión. (Melentijevic, 2005).

Un deslizamiento es un tipo de corrimiento o movimiento de masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud. Se produce cuando una gran masa de terreno se convierte en zona inestable. (Melentijevic, 2005).

El factor de seguridad es la relación entre las fuerzas que ayudan a la estabilidad del terreno y las que producen su inestabilidad. (Melentijevic, 2005).

El GSI es un sistema para la estimación de las propiedades geomecánicas del macizo rocoso a partir de observaciones geológicas de campo. Las observaciones se basan en la apariencia del macizo a nivel de estructura y a nivel de condición de la superficie. A nivel de estructura se tiene en cuenta el nivel de alteración que sufren las rocas, la unión que existe entre ellas, que viene dada por las formas y aristas que presentan, así como de su cohesión. Para las condiciones de la superficie, se tiene en cuenta si ésta está alterada,

si ha sufrido erosión o qué tipo de textura presenta, y el tipo de recubrimiento existente. (Pérez, 2012).

El RMR, introducido por Bieniawski 1976, es posiblemente la clasificación geomecánica más usada, inicialmente pensado para valorar la estabilidad y los soportes requeridos en túneles, ha resultado ser apto también para la valoración de la estabilidad en taludes. El RMR permite también la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. (Perez, 2012).

El RQD fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la cualidad del macizo rocoso basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo. El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo. Si no se disponen de sondeos, existen ecuaciones que permiten el cálculo del RQD. Pérez (2012).

La cantera Aylambo se dedica a la extracción de material de construcción y una posible inestabilidad del talud de la cantera Aylambo, podría ocasionar problemas divididos en tres aspectos; aspecto ambiental, como la contaminación visual, la polución de este material en los lugares aledaños; aspecto económico, costo de remoción de los materiales caídos y los costos de estabilización final del talud; aspecto social, la no conservación del patrimonio arqueológico Aylambo y la pérdida de vidas humanas. Por esta razón y debido a la necesidad de la empresa dueña de la concesión minera es necesario realizar el presente estudio.

Esta investigación servirá como conocimiento previo para las canteras colindantes a la cantera Aylambo, ya que, las características litológicas y geomecánicas presentan similitud con la presente investigación.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera la evaluación geomecánica influye en la estabilidad de los taludes de la cantera Aylambo, 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera Aylambo, 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la cantera Aylambo.

Realizar el análisis cinemático de la cantera Aylambo.

Obtener el factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas de la cantera Aylambo.

Hallar el SMR y proponer las medidas de estabilidad.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al realizar la evaluación geomecánica se conocerá la influencia de la estabilidad en la cantera Aylambo, 2019.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Es una investigación descriptiva - relacional. Según su enfoque será una investigación cuantitativa y según el alcance es de carácter explicativo, ya que; existe un control mínimo de la variable independiente y se trabaja con un solo grupo al cual se le aplica un estímulo (Caracterización Geomecánica) para determinar su efecto en la variable dependiente (Factor de Seguridad).

2.2. Población y muestra (Materiales y métodos)

Población: Todos los macizos rocosos de la cantera Aylambo.

Muestra: El macizo rocoso de la estación geomecánica.

Materiales y Métodos: En la etapa de campo se estudió la cantera mediante de método empírico de observación conociendo la litología, geología y toda la estructura del macizo rocoso. Usando los siguientes materiales.

Planos: Geológico, satelital y de ubicación, usado para realizar el reconocimiento de litología y ubicación en la cantera Aylambo.

Rayador: Instrumento utilizado para el reconocimiento de las propiedades físicas (dureza) de las muestras.

Ácido: Usado para comprobar las composiciones químicas de las muestras observables, usando ácido clorhídrico (HCl).

Picota: Instrumento utilizado para extracción de muestras en cada salida de campo.

Lupa: 10 X (10 aumentos) y 20X (20 aumentos), que nos ayudará a reconocer los diferentes componentes minerales de las rocas.

Colores: Usados principalmente para diferenciar los tipos litologías y formaciones.

GPS: Servirá para ubicarnos en la zona donde se realizó el trabajo de campo a través de coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator), según el elipsoide

internacional utilizado para la zona sudamericana P.S.A.D 56 (Provisional South American Datum 1956).

Cámara Fotográfica: Usada para poder tener registro de lo encontrado en campo y poder organizar la información de forma correcta.

Brújula: Usada para tomar las direcciones de los estratos y diaclasas de la cantera Aylambo.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica usada para la recolección de información fue la observación, un análisis documental basado en datos de libros y boletines. Se usaron instrumentos de recolección de datos como: ficha de observación para hallar RMR, ficha de observación de GSI y un cuaderno de campo. En el caso del análisis de datos se hizo a través de softwares como: Slide 7.0, ArcGis, Dips 6.0, Google Earth, RockData.

2.4. Procedimiento

Etapa Pre Campo:

En esta etapa se buscó la compilación literaria, principalmente de libros de Mecánica de Rocas, Geotecnia, Geomecánica y Estabilidad de taludes.

Se realizó una búsqueda sistemática para obtener los mejores artículos con información verificada y verdaderamente útil.

Se procedió a realizar los planos de accesibilidad, ubicación y satelital.

Se realizó obtuvieron las tablas necesarias para realizar el análisis geomecánico de campo.

Etapa de Campo:

Se hizo el reconocimiento de la formaciones y estructuras de la cantera Aylambo.

Se realizó el análisis geomecánico de la roca a través de los materiales e instrumentos preparados en gabinete.

Se hizo la toma de registro fotográfico.

Se realizó la toma de muestras para laboratorio.

Se realizó un levantamiento topográfico con GPS.

Etapas Post Campo:

Se llevaron las muestras al laboratorio para realizarle ensayos con la finalidad de obtener el ángulo de fricción, cohesión y peso unitario.

Se realizó la evaluación de GSI a partir de observaciones geológicas de campo, luego se escoge en la tabla la situación que más se acerca a la realidad del macizo a estudio, obteniendo de esta forma, el valor del GSI. (Pérez , 2012).

Se realizó la evaluación del RMR a través de la valoración de la caracterización geomecánica, en la que se tienen en cuenta los parámetros del macizo rocoso, a cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se obtiene como la suma de todos ellos. (Pérez , 2012).

El RMR permitió la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, de manera que éstas serán comprobadas con los resultados de laboratorio.

Se realizó el análisis SMR para conocer las medidas de sostenimiento recomendadas.

Se hizo el análisis cinemático de las discontinuidades a través del programa Dips.

Se realizó el cálculo de los parámetros m_b , a , s ; a través del programa RockData.

Se llevó a cabo el análisis del factor de seguridad, a través del software Slide, luego realizamos el cálculo respectivo utilizando el método de Spencer.

Se propuso algunas recomendaciones para mantener la estabilidad de la cantera Aylambo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Generalidades

3.1.1. Ubicación Geográfica

Tabla 1

Coordenadas UTM WGS84 de la Cantera Aylambo

PUNTO	ESTE	NORTE
Punto 1	775100,00	9203700,00
Punto 2	775000,00	9203800,00
Punto 3	774920,00	9203690,00
Punto 4	775020,00	9203610,00

Nota: Coordenadas tomadas con GPS en UTM WSG84 de los límites de la cantera Aylambo. Fuente:
Elaboración propia.

3.1.2. Ubicación Política

La ubicación política en el cual se desarrolló la investigación.

PAIS: Perú.

DEPARTAMENTO: Cajamarca.

PROVINCIA: Cajamarca.

CENTRO POBLADO: Aylambo.

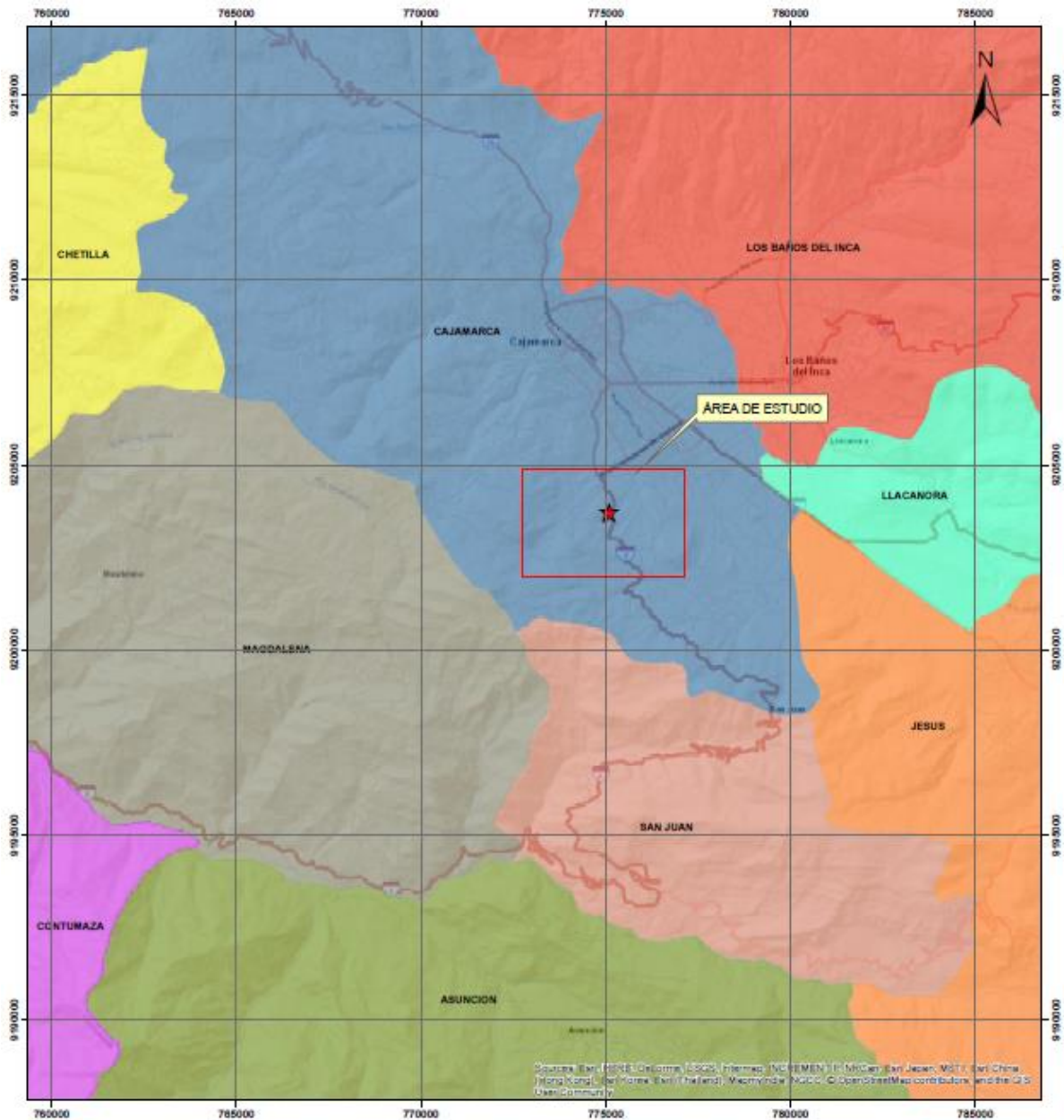


Figura 1. Plano de Ubicación de la cantera Aylambo.



3.1.3. Accesibilidad

Tabla 2

Acceso a la Cantera Aylambo

DE:	A:	DISTANCIA	TIEMPO	TIPO DE ACCESO
Lima	Cajamarca	997 Km.	45 minutos	Aéreo
		aproximadamente	15 horas	Terrestre
Cajamarca	Aylambo	8 Km.	30 minutos	Terrestre
		aproximadamente		

Nota: Acceso a la cantera Aylambo, tomando en cuenta el tiempo y distancia desde la ciudad capital de Perú. Se considera desde Lima ya que esta tesis puede servir como antecedente internacional para investigadores de otros países. Donde la abreviatura “Km” hace referencia a kilómetros. Fuente: Elaboración propia.

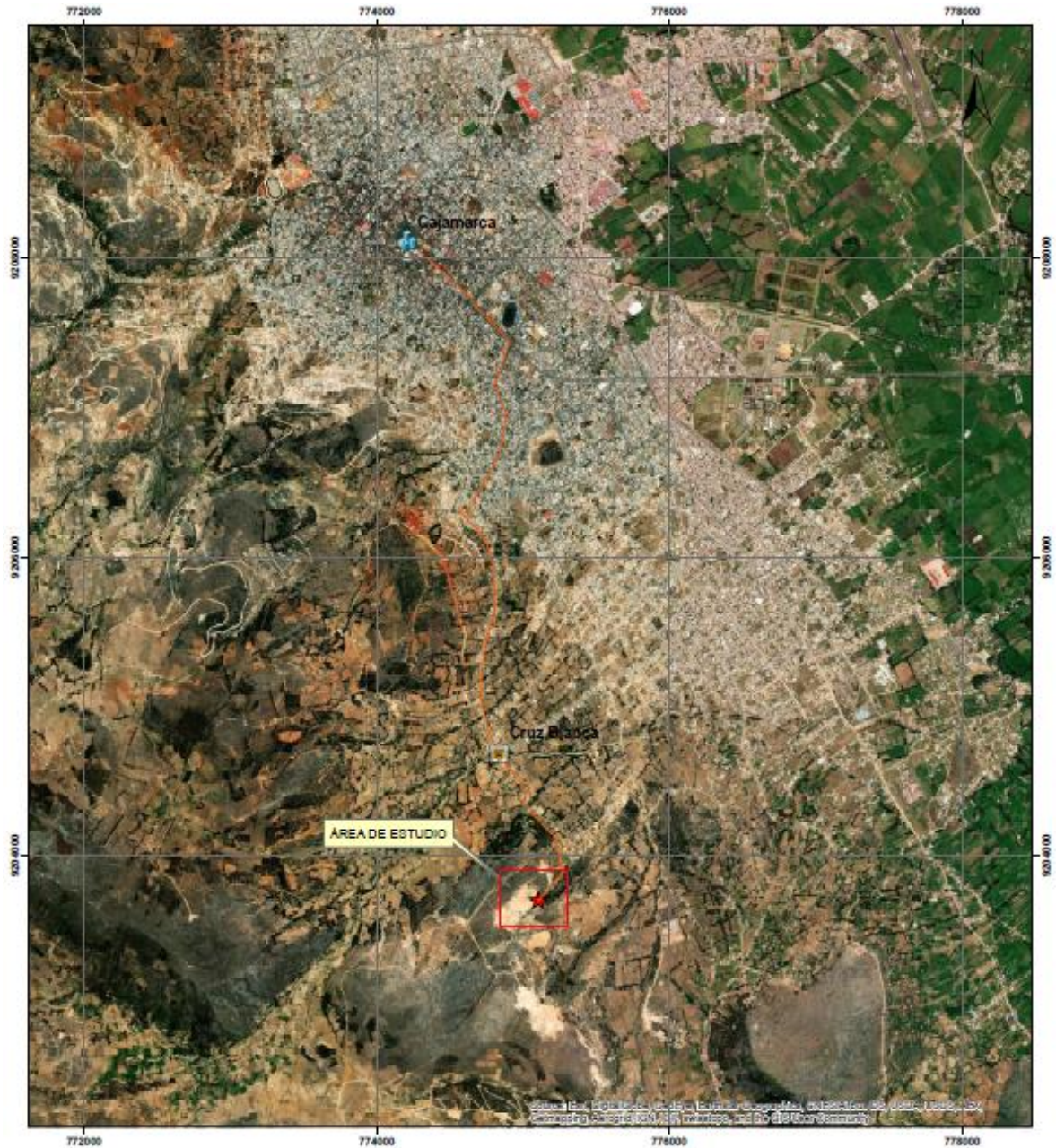


Figura 2. Plano de Accesibilidad de la cantera Aylambo.



3.1.4. Clima y vegetación

El clima en el centro poblado de Aylambo, los veranos suelen ser frescos y nublados, mientras que los inviernos son cortos, fríos, secos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 5°C a 19°C, rara vez baja a menos de 3°C o sube más de 21°C.

La vegetación en el centro poblado de Aylambo es característica del clima típico de los altos andinos peruanos, podemos encontrar algunos pinos, eucalipto en gran abundancia y quishuar seco.



Figura 3. Fotografía tomada en la parte superior de la cantera Aylambo.

3.2. Geología regional

3.2.1. Estratigrafía

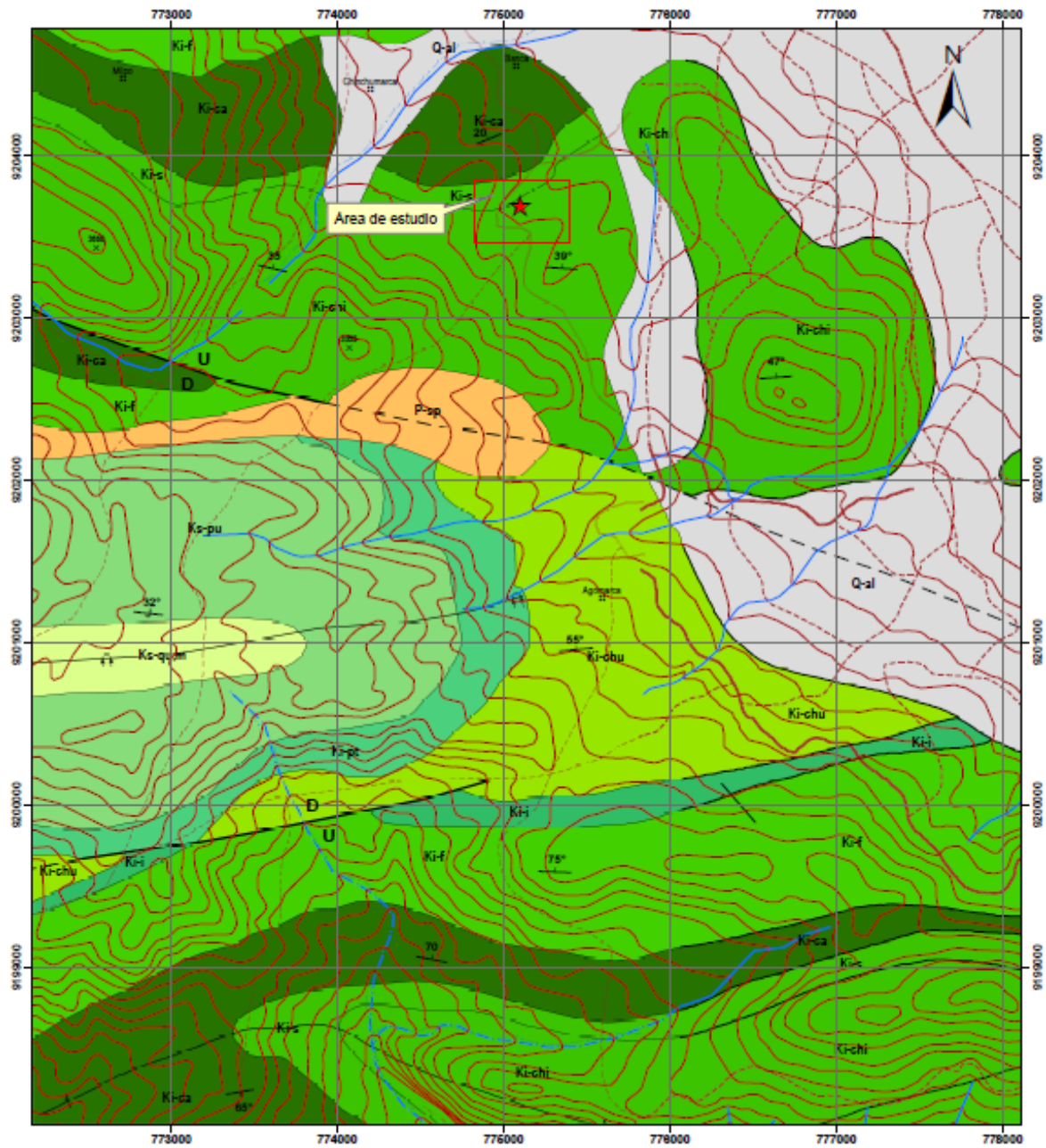


Figura 4. Plano Geológico de la cantera Aylambo.

SÍMBOLOS	
10°	Rumbo y buzamiento de estratos
Ψ_D	Falla normal
\times	Eje de anticlinal
\ltimes	Eje de sinclinal tumbado
\frown	Contacto geológico
\sim	Curva de nivel - primaria
$-$	Carretera afirmada, transitable
$- - -$	Camino de herradura
\sim	Río secundario
\sim	Quebrada

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	EDAD (MA)	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS			
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENA		Depósito aluvial	Q-al	Gravas y arenas redondeadas y limos que se localizan en los meandros y cauces abandonados de los ríos,	
		PLEISTOCENA	0.01 2.6 5.3				
	NEÓGENO	MIOCENA	23.0 33.9				
		PALEÓGENO	OLIGOCENA	56.0 66.0	Formación San Pablo	P-sp	Tobas blanco amarillentas, areniscas rojizas, aglomerados y piroclastos.
	MESOZOICA		CRETÁCEO	SUPERIOR		Grupo Quilquiñán - Mujarrun	Ks-qu,m
				Grupo Pulluicana	Ks-pu	Calizas gris parduscas, fosilíferas (exogyra), margas y escasos niveles de lutitas. Hacia el piso con horizontes de chert y calizas nodulares	
			Formación Pariatambo	Ki-pt	Calizas bituminosas, intercaladas con lutitas grises de estratificación delgada		
			Formación Chúlec	Ki-chu	Calizas arenosas lutitas cálcarea y margas con presencia de fósiles		
			Formación Inca -	Ki-i	Areniscas ferruginosas, argilitas, limolitas y lutitas		
			Formación Farrat	Ki-f	Areniscas cuarzosas blanquecinas de bancos potentes y horizontes litarenosas		
		Formación Carhuaz	Ki-ca	Areniscas rojizas y areniscas cuarzosas intercaladas con horizontes de lutitas grises			
		Formación Santa	Ki-s	Lutitas grises y calizas margosas			
	INFERIOR	100.0 145.0	Formación Chimú	Ki-chi	Areniscas cuarzosas fracturadas, lutitas y niveles de carbón en la parte inferior		

Figura 5. Simbología de las formaciones geológicas de la zona de estudio.

La zona de estudio está ubicada sobre la zona sur occidental, en el proceso de relleno sedimentario del Berriasiano – Valanginiano (Cretácico Inferior) de hace 140 M.a. aproximadamente. Además, esta zona está conformada por una unidad litológica sedimentaria representada por el cretáceo inferior perteneciente al Grupo Goyllarisquizga.

3.2.1.1. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

Este grupo en su facies de plataforma ha sido estudiado bajo la denominación de Grupo Goyllarisquizga y en su facies de cuenca ha sido diferenciado en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. Litológicamente consiste en

areniscas cuarzosas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior. Su grosor oscila entre los 200 y 500 m., con tendencia a adelgazarse hacia el oeste. Edad y Correlación, la ausencia de fósiles en este grupo, no permite determinar su edad con precisión, pero sus relaciones estratigráficas son las mismas a las encontradas en las regiones vecinas y los Andes Centrales del Perú, por lo que se le asigna al Neocomiano Aptiano. Reyes Luis (1980).

3.2.1.2. Formación Chimú (Ki-Chi)

La formación Chimú, tiene afloramientos que se destacan nítidamente en la topografía por su dureza y estructuras, originando grandes farallones. Litológicamente, la formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso, con ocasionales lentes de granos de cuarzo poco redondeados. Edad y Correlación, por sus relaciones estratigráficas se ubica a la formación Chimú en el Valanginiano inferior a medio, pues yace sobre la formación Chicama del Titoniano e infrayace a la formación Santa del Valanginiano superior. Reyes Luis (1980).

3.2.1.3. Formación Santa (Ki-s)

Consiste en una intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. La formación Santa intemperiza generalmente con un tono gris marrón. Siempre se obtienen terrenos blancos, deleznable y fangosos. Ocasionalmente tiene horizontes fosilíferos. Edad y Correlación, a la formación Santa puede asignársele al Valanginiano ya que, en

la sección superior se han encontrado *Dobrodgeiceras broggianum* (LISSON) del Valanginiano superior (BENAVIDES, 1956). Reyes Luis (1980).

3.2.1.4. Formación Carhuaz (Ki-ca)

Esta formación tiene aproximadamente un grosor de 500 m., con incremento hacia el sur y disminución hacia el noreste. Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en el campo. Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. Edad y Correlación, probablemente las edades, Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano corresponden a esta formación. Reyes Luis (1980).

3.2.1.5. Formación Farrat (Ki-f)

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. aumentando en el sector suroeste. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje. Edad y Correlación, esta formación infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano, por lo que se le asigna una edad Aptiana. Reyes Luis (1980).

3.2.1.6. Depósito Cuaternario Aluvial (Q-Al):

Dentro de los depósitos aluviales se han considerado los materiales con poco transporte, y en los fluviales se consideran las diferentes terrazas dejadas por los ríos. Depósitos que se acumulan en áreas favorables en los flancos de los valles y quebradas tributarias, están conformados por conglomerados polimícticos poco consolidados, con clastos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa. Cruzado Vásquez (2009).

3.2.2. Geología estructural

La zona de estudio se encuentra influenciada por diferentes estructuras geológicas como podemos notar en la figura 4 “Plano geológico de la zona de estudio”.

3.2.2.1. Falla normal

Este tipo de falla la encontramos al Sur Oeste de la zona de estudio y se forman por tensión de fuerzas extensivas, lo que generan es que se fracture la corteza terrestre y hacer que un bloque de roca se deslice hacía abajo con respecto a otro bloque, a través de un plano de falla.

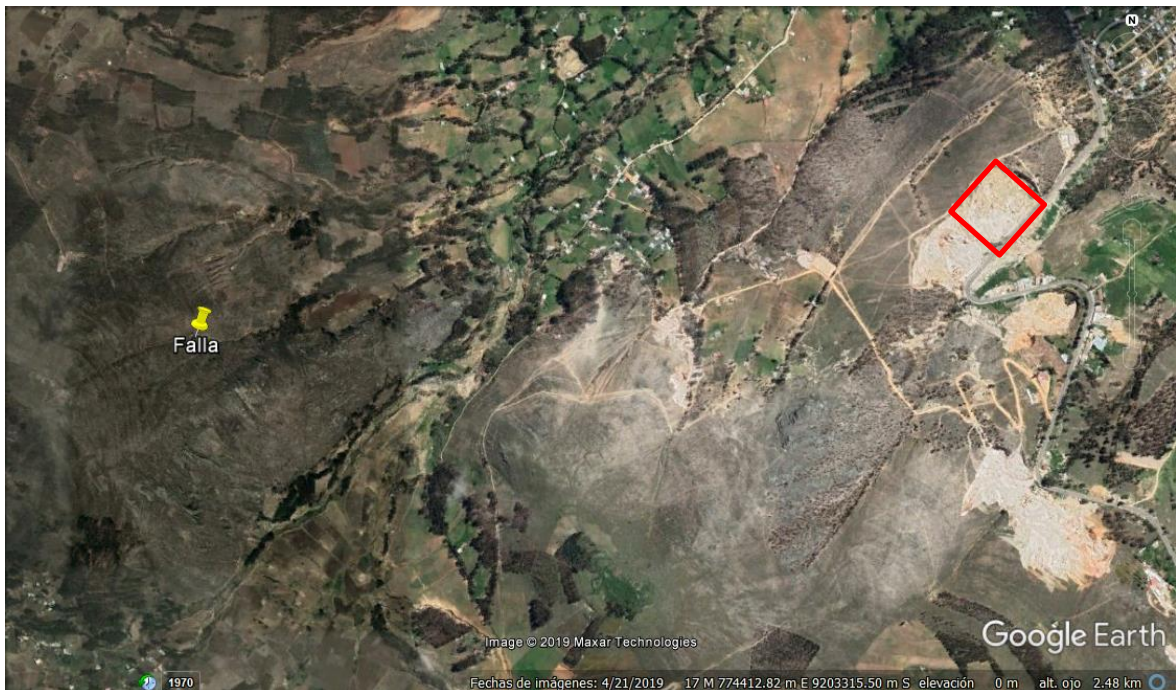


Figura 6. Imagen satelital de la falla normal ubicada en la zona de estudio.

3.2.2.2. Pliegue sinclinal tumbado

Este tipo de pliegue lo encontramos al Sur Oeste de la zona de estudio y es un plegamiento que se caracteriza por que las rocas más jóvenes se encuentran ubicadas en la parte cóncava o núcleo de la flexión y ambos flancos se encuentran inclinados con la misma dirección.

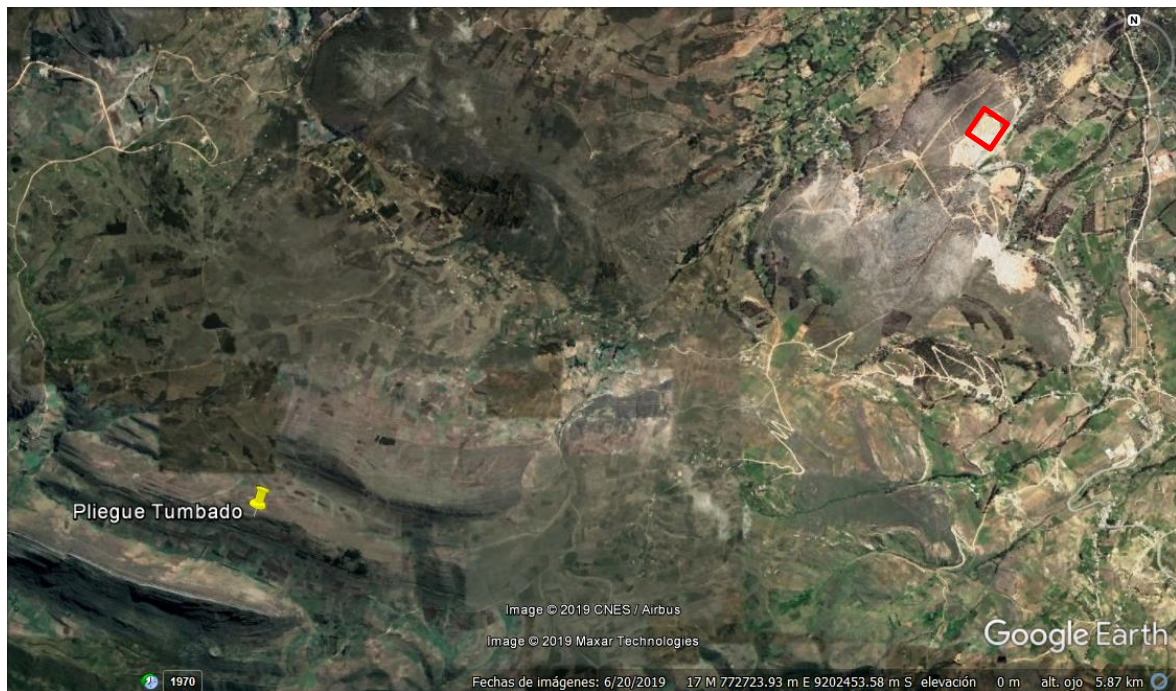


Figura 7. Imagen satelital del pliegue tumbado ubicada en la zona de estudio.

3.2.2.3. Dirección y ángulo de buzamiento

La estratificación tiene una orientación Nor Oeste y el ángulo de buzamiento es de aproximadamente 40°.

3.2.3. Características litológicas

3.2.3.1. Tipo de roca

La zona de estudio sólo cuenta con areniscas, tanto en la parte inferior de la cantera como en la superior. La roca se encuentra fracturada por diatropismo. En los estratos podemos encontrar discordancias, puesto que presentan algunas ausencias de correspondencia o conformidad entre las rocas o capas de rocas. En cuanto a la dureza de las rocas se puede decir que están en grado medio de dureza puesto que algunas soportan 6 golpes (las no meteorizadas) y otras sólo 4 (las meteorizadas). Los colores de las rocas son desde tonos blancuzcos hasta medios rojizos, por la presencia de óxidos de fierro.

3.2.3.2. Textura

Las rocas de la cantera Aylambo son de granos gruesos, finos o medianos, bien redondeados; de textura detrítica o plástica. Las areniscas figuran entre las rocas consolidadas más porosas, aunque ciertas cuarcitas sedimentarias pueden tener menos de 1% de espacios vacíos. Según el tamaño y la disposición de los espacios vacíos o poros, las areniscas muestran diversos grados de permeabilidad.

3.2.3.3. Meteorización

En la cantera Aylambo se encuentra una meteorización principalmente fluvial (debido a lluvias) ya que pudimos observar las cárcavas que se han formado en el talud; además podemos recalcar la meteorización química ya que muchas de las rocas que se encuentran expuestas tienen un color diferente y además su dureza se ha mermado considerablemente.

En la cantera se puede observar producto de la erosión (corriente de agua), que ha traído consigo rocas sedimentarias y cantos rodados de distintos tamaños para su posterior acumulación en un depósito coluvial.



Figura 8. Representación de la meteorización físico – química que existe cerca los límites de la cantera Aylambo.

3.3. Levantamiento topográfico

Se efectuó previamente el reconocimiento en campo programándose así el trabajo del levantamiento topográfico a través de GPS, el Anexo N°1 se especifican los puntos tomados en campo.

3.4. Caracterización geomecánica/geotécnica

3.4.1. Evaluación del GSI (Geological Strength Index)

Una vez realizadas las observaciones se procede a realizar la relación tal y como se observa en la figura N°9 esta tabla se representa con los valores del GSI que varían desde 1 hasta 100. Los valores cercanos al 1 corresponden a las situaciones del macizo rocoso de menor calidad, es decir con la superficie muy erosionada, con arcilla blanda en las juntas, y con una estructura poco resistente debido a las formas redondas, y a la gran cantidad de fragmentación que sufre el macizo. Por el contrario, valores de GSI cercanos a 100, implican macizos de gran calidad, ya que significa una estructura marcada por una pequeña fragmentación en la que abundan las formas prismáticas y superficies rugosas sin erosión. (Pérez, 2012).

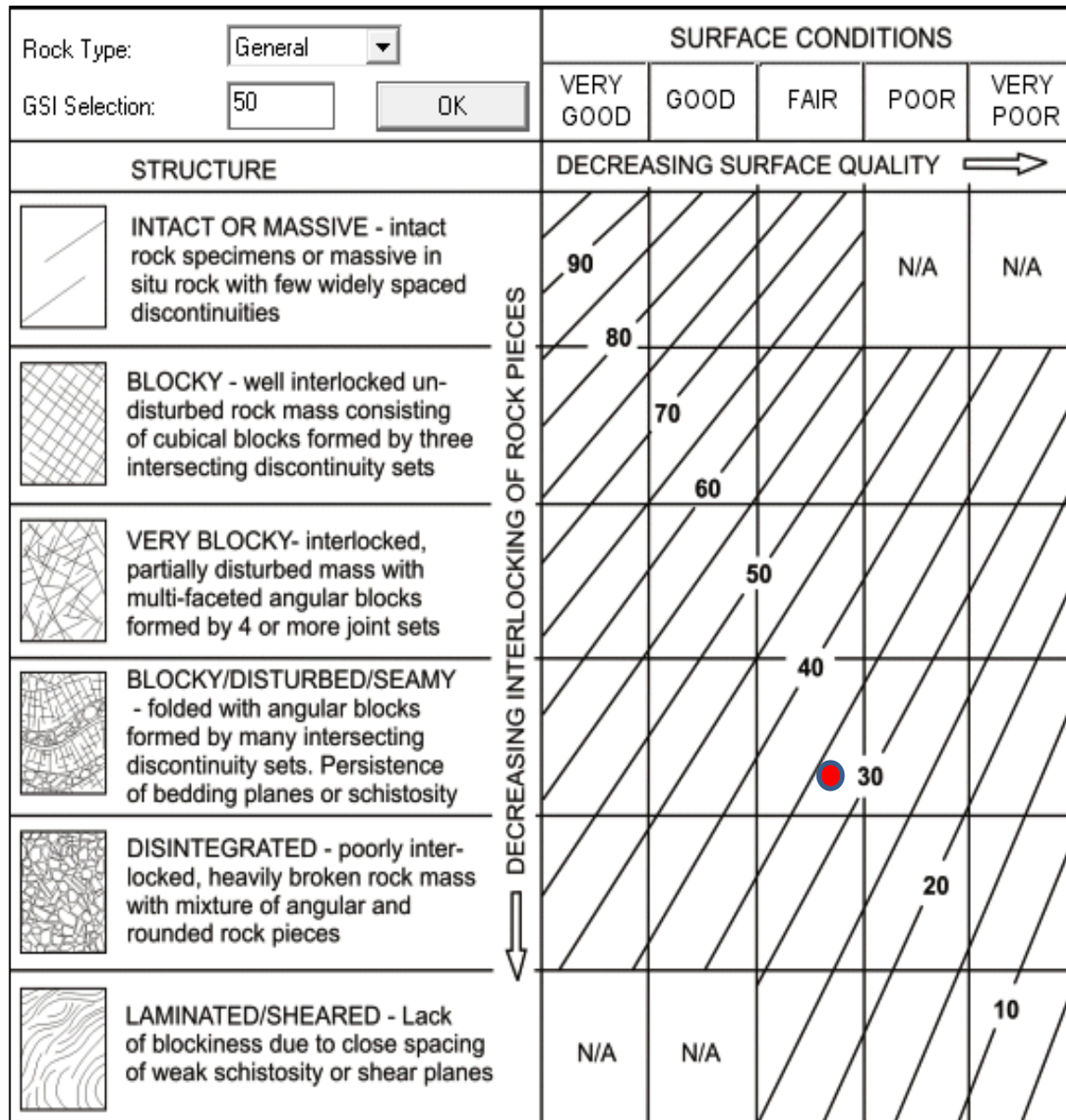


Figura 9. Estimación de GSI de la cantera Aylambo a través de la observación realizada en campo.



Figura 10. Macizo rocoso para la evaluación del valor de GSI.

El macizo rocoso de la cantera Aylambo tiene un valor aproximado entre 32-35 de GSI. Lo que quiere decir que tenemos una roca fractura o perturbada ya que el macizo rocoso está plegado, formado por bloques angulares que se han conformado por la intersección de la varios. Dando como resultado una condición de superficie regular a mala siendo esta lisa, meteorizada y alterada.

3.4.2. Evaluación del RMR

El RMR, es apto para la valoración de la estabilidad en taludes y permite también la obtención de la cohesión y ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb. En las siguientes ecuaciones se muestran las relaciones entre RMR y los parámetros resistentes. (Pérez, 2012).

Ecuación 1: *Cohesión*

$$c = 5RMR(KPa)$$

Ecuación 2: *Ángulo de fricción*

$$\phi = 5 + \frac{RMR}{2} (\text{deg})$$

Para calcular el valor del RMR se toma en cuenta los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- (1) Resistencia del material intacto que se obtiene mediante ensayo de carga puntual o compresión simple.
- (2) RQD (detallado más adelante en este mismo apartado).
- (3) Espaciado de las discontinuidades, hace referencia a la longitud entre discontinuidades dentro de la zona a estudio.
- (4) Condición de las discontinuidades, que incluye:

Longitud de la discontinuidad.

Abertura.

Rugosidad.

Relleno.

Alteración.

(5) Presencia de agua subterránea A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se obtiene como la suma de todos ellos.

A cada uno de los parámetros anteriores se le asigna un valor, el RMR se obtiene como la suma de todos ellos.

Ecuación 3: *Cálculo de RMR.*

$$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$$

Hay que tener en cuenta que existen dos versiones para la obtención del RMR, el RMR76, del año 1976, y el RMR89, del año 1989. La diferencia reside en los valores que se les asignan a los parámetros de: presencia de agua subterránea, condición de las discontinuidades, y RQD conjuntamente con el espaciado de las discontinuidades. Pérez (2012).

Tabla 3

Clasificación de RMR

Clase	Calidad de roca	RMR
I	Muy buena	81 – 100
II	Buena	61 – 80
III	Regular	41 – 60
IV	Mala	21 – 40
V	Muy mala	0 – 20

NOTA: Clasificación de RMR que oscila entre (0 – 100). Fuente. Bieniawski (1989).

Tabla 4

 Parámetros y Valores para el RMR₈₉

Parámetros		Valores					
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	>10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	
		Compresión simple	>250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa
	Valor		15	12	7	4	2
2	RQD		90 – 100%	15 – 90%	50 – 75%	25 – 50%	<125%
	Valor		20	17	13	8	3
3	Espaciado de las discontinuidades		>2 m	0,6 – 2 m	0,2 – 0,6 m	6 – 20 cm	<6 cm
	Valor		20	15	10	8	5
Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad		<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
		Valor		6	4	2	1
	Abertura		Nada	<0,1 mm	0,1 – 1,0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
		Valor		6	5	3	1
	Rugosidad		Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
		Valor		6	5	3	1
	Relleno		Ninguno	Relleno duro <5 mm	Relleno duro >5 mm	Relleno blando <5 mm	Relleno blando >5 mm
		Valor		6	4	2	2
	Alteración		Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente Alterada	Muy Alterada	Descompuesta
		Valor		6	5	3	1
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua/Pprinc	0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	>0,5
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua Fluyendo
	Valor		15	10	7	4	0

 Nota: Parámetros y rango de valores para la clasificación geomecánica RMR₈₉. Fuente. Bieniawski (1989).

Una vez obtenido el RMR para el macizo, se pueden obtener los parámetros resistentes, cohesión y el ángulo de fricción, mediante las ecuaciones 2 y 3.

3.4.2.1. RQD (Rock Quality Designation Index)

Cuando no se tienen testigos de perforación, el RQD se puede expresar a partir de ecuaciones.

Ecuación 4: *RQD a través de λ*

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

Donde (λ): es la frecuencia media de discontinuidades por metro.

Ecuación 5: *RQD a través de J_v*

$$RQD = 115 - 3.3J_v \rightarrow J_v > 4.5$$

$$RQD = 100 \rightarrow J_v \leq 4.5$$

Donde: J_v es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m³.

Una vez obtenido el valor de RQD, la calidad de la roca viene dada según la tabla N° 5.

Tabla 5

Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca

RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
<25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Nota: Puntaje obtenido expresado en porcentaje. Fuente. Deere et al. (1967).

3.5. Evaluación del RMR en la cantera Aylambo

3.5.1. Resistencia de la roca intacta

La roca se rompe en promedio con 5 golpes de picota.

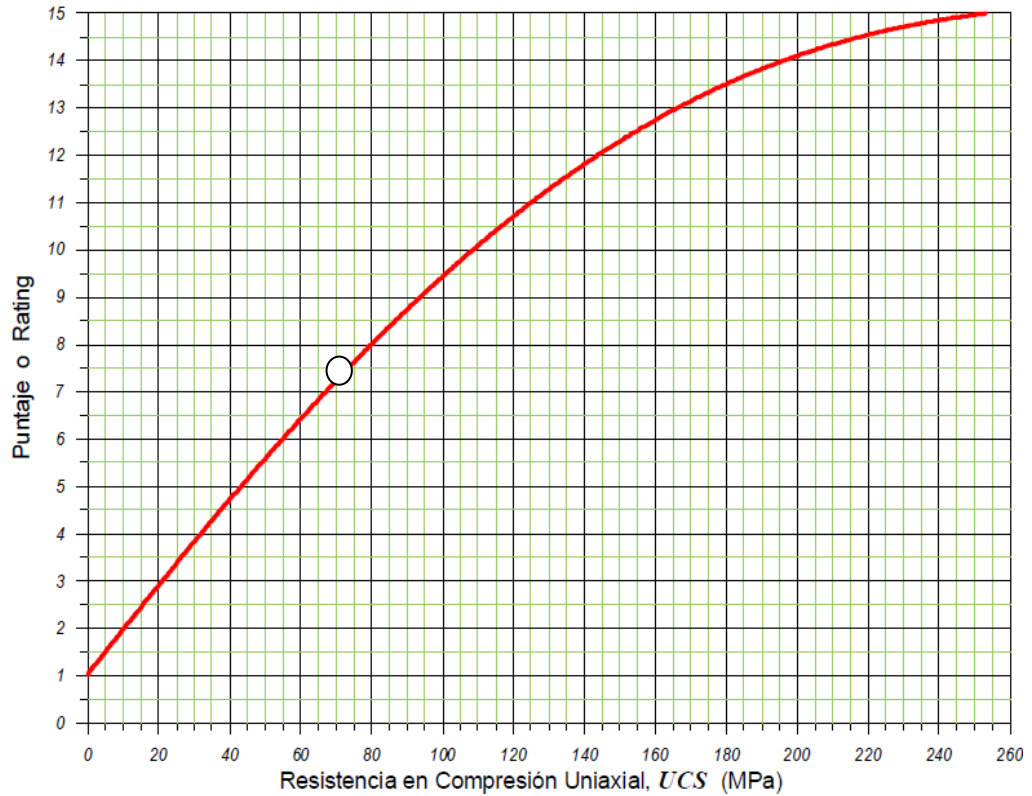


Figura 11. Puntaje asociado a la resistencia a la compresión uniaxial de la roca “intacta” UCS.

Tabla 6

Rango de Valores para la Resistencia de la roca “intacta”

UCS (MPa)	PLS (MPa)	Puntaje	Comentarios
<1	En este rango no se	0	
1 a 5	recomienda el uso de ensayos de carga puntual para estimar	1	Resistencia Muy Baja
5 a 25	la resistencia a la roca “intacta”	2	
25 a 50	1 a 2	4	Resistencia Baja
50 a 100	2 a 4	7	Resistencia Moderada
100 a 250	4 a 10	12	Resistencia Alta
>250	>10	15	Resistencia Muy Alta

Nota: Puntaje obtenido de resistencia de la roca intacta UCS. Fuente: Karzulovic (2006).

3.5.2. Índice de calidad de la roca, RQD

El RQD se ha estimado midiendo la cantidad de discontinuidades en 1m² del talud.



Figura 12. Imagen del metro cuadrado para hallar el RQD

$$RQD = 115 - 3.3(J_v)$$

En donde → J_v : número de discontinuidades en 1m²

$$RQD = 115 - 3.3 (21)$$

$$RQD = 45.7$$

De acuerdo con la clasificación de Deere (1964), la roca se considera de mala calidad geotécnica y su valoración va de 7 a 11.

También se halló el valor RQD mediante la fórmula:

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

Donde (λ): es la frecuencia media de discontinuidades por metro.

Ecuación 6. Fórmula para hallar λ

$$\lambda = \frac{\text{cantidad de fracturas}}{\text{longitud de sondeo}}$$

El error comprobado es de $\pm 5\%$

Aplicando la fórmula tenemos:

Cantidad de fracturas 89 en 5 mts.

ENTONCES:

$$\lambda = \frac{89}{5} = 17.8$$

$$RQD = 100 * e^{-0.1(17.8)} (0.1(17.8) + 1) = 46.881\%$$

Tabla 7

Rango de Valores para el Índice de calidad del RQD

Calidad de Macizo	RQD (%)	Puntaje
MUY MALA calidad geotécnica	<25	3
MALA calidad geotécnica	25 a 50	8
REGULAR calidad geotécnica	50 a 75	13
BUENA calidad geotécnica	75 a 90	17
EXCELENTE calidad geotécnica	90 a 100	20

Nota: Puntaje obtenido asociado al índice de calidad RQD del macizo rocoso. Fuente: Karzulovic (2006).

Según lo obtenido con los cálculos el RQD se encuentra entre un 25 a 50 % lo que quiere decir que la calidad del macizo rocoso es de MALA calidad geotécnica, recibiendo un puntaje de 8.

3.5.3. Espaciamiento de las discontinuidades

En este punto se midieron 3 sistemas de discontinuidades (denominado 1, 2 y 3) que corresponden a los estratos como estructura principal 1 y los otros a fracturas perpendiculares a la estratificación con orientación (2 y 3).

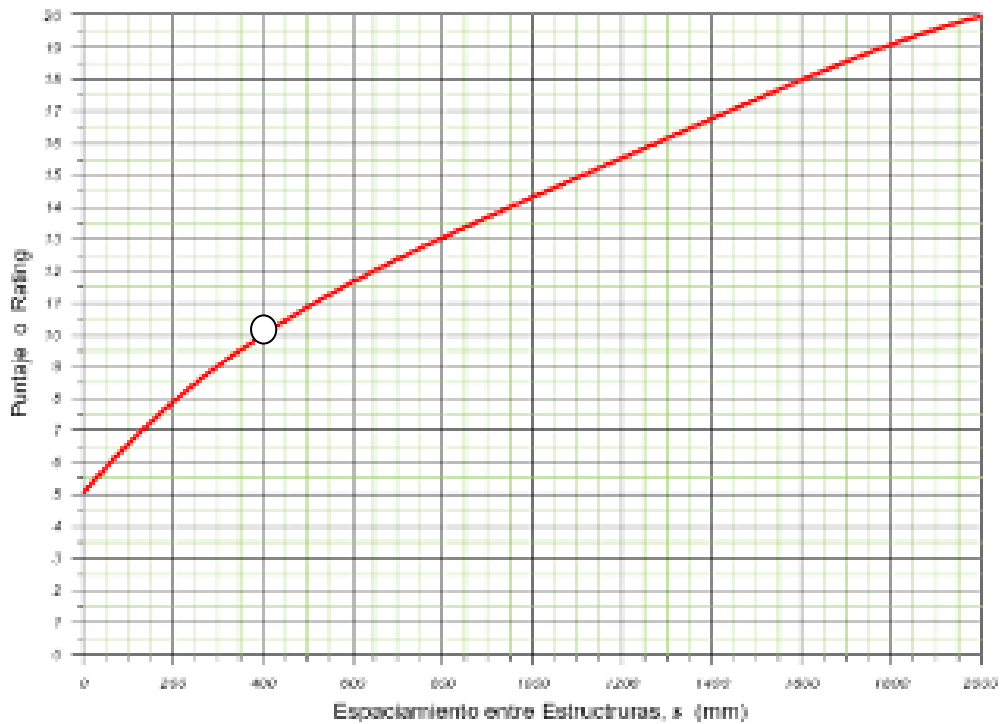


Figura 13. Puntaje asociado al espaciamiento de discontinuidades del macizo rocoso.

El rumbo y espaciamiento de las discontinuidades se resumen en el siguiente cuadro.

Tabla 8

Sistema de discontinuidades en el macizo rocoso

Sistema	Rumbo	Dirección de buzamiento	Ángulo de buzamiento	Espaciamiento de Discontinuidades (m)
1	N 70° W	20°	40°	0.6 – 2
2	S 10° E	80°	75°	0.2 – 0.6
3	S 60° W	60°	78°	0.2 – 0.6

NOTA: Sistemas de discontinuidades en el macizo rocoso, detallando las direcciones y buzamiento del estarato y las dos discontinuidades. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Rango de Valores para el Espaciamiento de discontinuidades

Descripción del Espaciamiento	S (mm)	Puntaje
MUY JUNTO o EXTREMADAMENTE JUNTO	<60	5
JUNTO	60 a 200	8
MODERADO	200 a 600	10
SEPARADO	600 a 2000	15
MUY SEPARADO	>2 000	20

Nota: Puntajes asociados al espaciamiento entre discontinuidades. Fuente: Karzulovic (2006).

La valoración del espaciamiento entre las discontinuidades es entre 200 a 600 mm los que nos un puntaje de 10 siendo estas moderadamente separadas.

3.5.4. Condición de las discontinuidades (Jc)

La condición de las estructuras se describe según lo observado en el macizo rocoso, además se puede apreciar la condición en las fotografías que acompañan a la descripción.

La persistencia de las fracturas va de 3 a 10 m, obteniendo valoración de 2.

Las aperturas que se observan en el macizo van de 1 a 5 mm, valoración 1.

Las fracturas **son algo rugosas** obteniendo una valoración de 3.

El relleno es blando menor a 5mm obteniendo una valoración de 2.

En cuanto a **la meteorización** el macizo rocoso se consideró como moderadamente alterado, valoración 3.

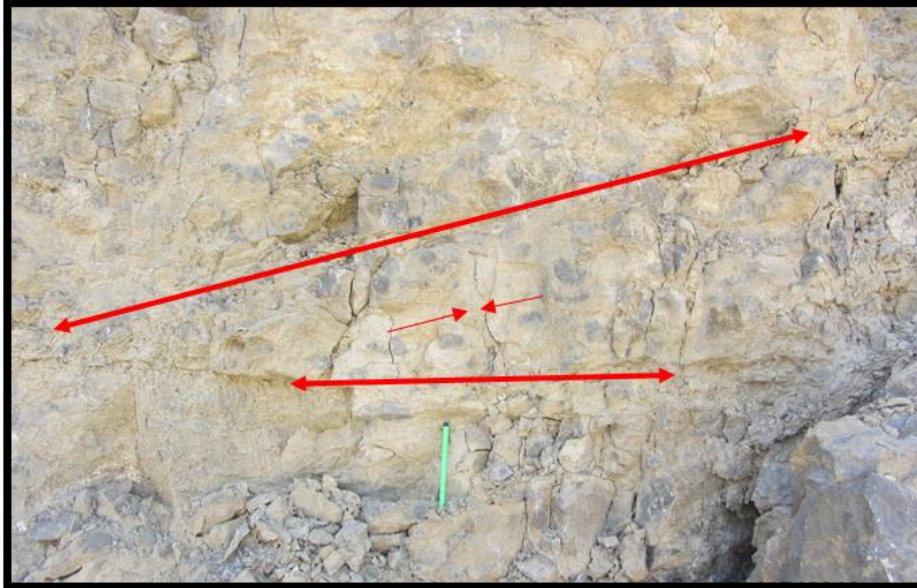


Figura 14. Imagen de la condición de las discontinuidades del macizo rocoso.

Tabla 10

Rango de Valores en Relación a la Condiciones de las Discontinuidades

Parámetro de la Estructura	Condición o Características & Puntaje o Rating				
Persistencia o	<1	1 a 3	3 a 10	10 a 20	>20
Extensión (m)	6	4	2	1	0
Apertura o	0	<0,1	0,1 a 1	1 a 5	>5
Espesor (mm)	6	5	4	1	0
Rugosidad	Muy	Rugosa	Algo	Lisa	Pulida
	Rugosa		Rugosa		
	6	5	3	1	0
Material de	Ninguno	Duro <5	Duro >5	Blando <5	Blando >5
Relleno		mm	mm	mm	mm
	6	4	2	2	0
Intemperización	Fresca	Algo	Alteración	Muy	Descompuesta
o Alteración		Alterada	Moderada	alterada	
	6	5	3	1	0

Nota: Puntajes obtenidos en relación a la condición de las discontinuidades del macizo rocoso (Jc).

3.5.5. Condición del agua

El macizo rocoso se presenta totalmente seco, pero por consideraciones geotécnica se lo toma como húmedo por lo tanto su valoración es de 10, según la clasificación propuesta por Deere en 1964.

3.5.6. Valoración del macizo rocoso RMR

Tabla 11

Valoración del RMR al sumar los puntajes obtenidos

PARÁMETRO	PUNTAJE
Resistencia de la roca intacta	7
RQD	8
Espaciamiento de las discontinuidades	10
Longitud de las discontinuidades	2
Apertura	1
Rugosidad	3
Relleno	2
Meteorización	2
Condición de agua	10
TOTAL (RMR)	46

Nota: Valoración del RMR al sumar todos los parámetros obtenidos. Fuente: Bieniawski (1989).

La valoración total del macizo rocoso es de 46, Este valor corresponde con un macizo rocoso de categoría III, es decir de calidad Regular.

3.5.7. Orientación de las discontinuidades

El rumbo del talud es N 86° W. Las discontinuidades principales (estratificación), tienen un rumbo N 80° W siendo su dirección de buzamiento perpendicular a la dirección de excavación, por lo tanto, al RMR se le resta 2, que es el rango RMR para obras de tipo taludes, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12

Ajuste de la Valoración por Orientación de las Fisuras

Condición de la orientación de las fisuras	Ajuste en la Valoración	Valor de RMR	RMR Ajustado
Medianamente desfavorable	-2	46	44

Nota: Ajuste de la valoración del RMR al ser medianamente desfavorable. Fuente. Bieniawski (1989).

De esta manera el RMR, caracterizaría un macizo rocoso de clase III, considerado un macizo de calidad Regular.

Como señalamos en el apartado 3.4.2. se puede obtener dos parámetros que no servirán para el desarrollo de la presente tesis. Estas son:

COHESIÓN

$$c = 5 * 46 \text{ (KPa)}$$

$$c = 230 \text{ (KPa)}$$

ÁNGULO DE FRICCIÓN.

$$\phi = 5 + \frac{46}{2} \text{ (deg)}$$

$$\phi = 28 \text{ (deg)}$$

Se obtuvo una cohesión de 200 – 300 Kpa y un ángulo de fricción 25° - 35°, los datos también fueron validados con los resultados de laboratorio.

3.6. Análisis cinemático

El análisis cinemático es una aproximación sencilla a la evaluación de la estabilidad del diseño de las excavaciones en macizos rocosos, con gran control estructural y una distribución no homogénea o isótropa de las discontinuidades. Este análisis está basado fundamentalmente en la orientación de las discontinuidades principales y el ángulo de fricción o rozamiento, Hoek y Bray (1981).

Para esto es necesario considerar los siguientes datos:

Tabla 13

Datos de las Juntas

JUNTAS	AZIMUT	DIP	DIP DIRECTION
J1	290	40	20
	292	42	22
	292	41	22
	291	41	21
	291	41	21
	291	43	21
	292	41	22
	170	75	260
	173	76	263
J2	172	78	262
	172	78	262
	171	75	261
	173	75	263
	170	76	260
	240	78	330
	239	77	329
	240	78	330
J3	241	76	331
	240	77	330
	239	76	329
	240	75	330

Nota: Datos tomados en campo a través una brújula tanto del estrato como de sus discontinuidades en la cantera Aylambo. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Datos para Análisis Cinemático

Ángulo de Fricción	Azimet de Talud	Dip de Talud	Dip Direction de Talud
75°	220	75	130

Nota: Datos tomados en laboratorio y campo, referentes a la arenisca y a los datos del talud de la cantera Aylambo. Fuente: Elaboración propia.

3.6.1. Falla planar

La rotura plana de taludes tiene lugar sobre todo en macizos rocosos constituidos por rocas de resistencia media o alta afectadas por fallas y diaclasas. Este tipo de rotura consiste en el deslizamiento de una masa de roca a lo largo de un plano de discontinuidad que ha quedado descalzado por la cara del talud.

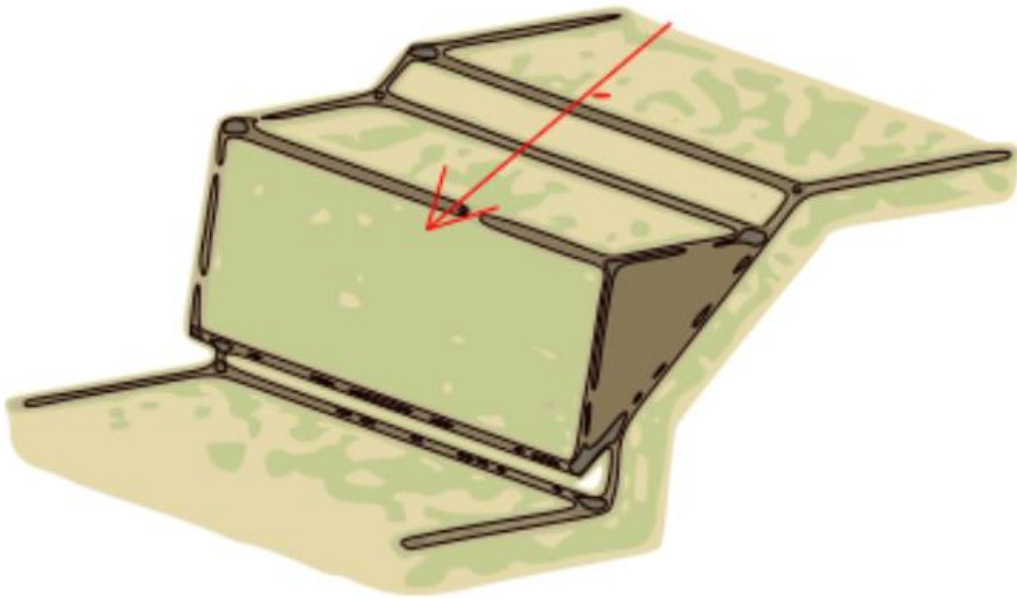


Figura 15. Mecanismo de rotura planar.

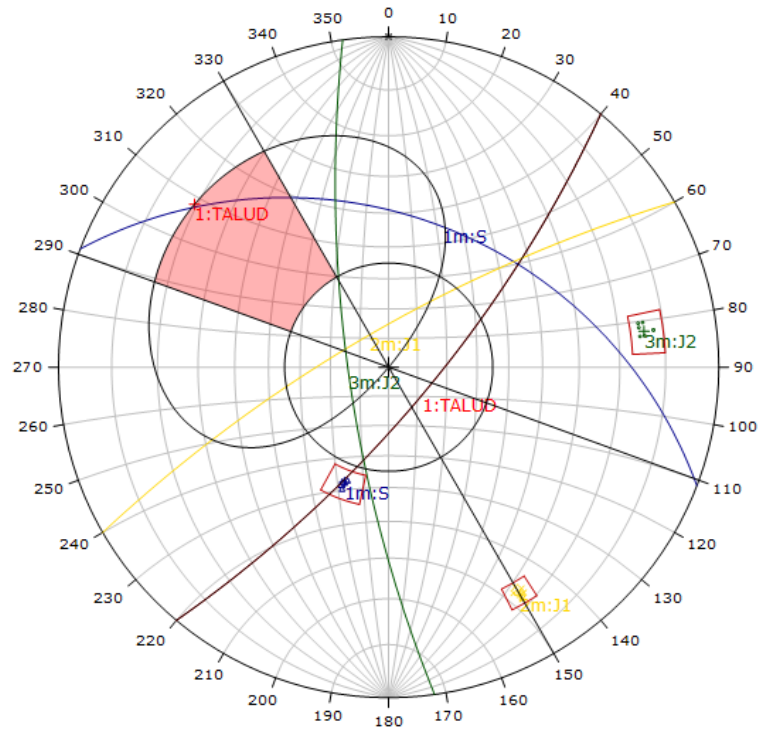


Figura 16. Análisis estereográfico de rotura planar utilizando como criterio el cono de fricción, la envolvente del talud y límites laterales de ± 20 .

Se aprecia que en ninguna de las discontinuidades se produce la falla del tipo planar debido a las características de orientación del macizo rocoso.

Symbol	TIPO	Quantity
•	J2	7
x	J3	7
Δ	S	7

Kinematic Analysis	Planar Sliding		
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	130		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	21	0.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	21 (21 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 17. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 0% de deslizamiento planar.

3.6.2. Falla por cuña

La rotura en cuña es un tipo de deslizamiento que está controlado por dos o más discontinuidades (estratificación, esquistosidad, diaclasas, fallas, etc). Este tipo de deslizamientos generalmente se dan en macizos pocos resistentes, con discontinuidades bien marcadas.

Este tipo de rotura es sin duda alguna una de las más comunes en taludes excavados en roca, fácilmente observable en múltiples carreteras cualquier cantera o mina a cielo abierto y no extraña en zonas de montaña.

Cuando la cuña está formada por intersecciones de dos discontinuidades o superficies de la debilidad, si ambas superficies se inclinan en sentido diferente, se denomina cuña directa, cuando la inclinación de dichas discontinuidades va en el mismo sentido, reciben el nombre de cuña inversa.

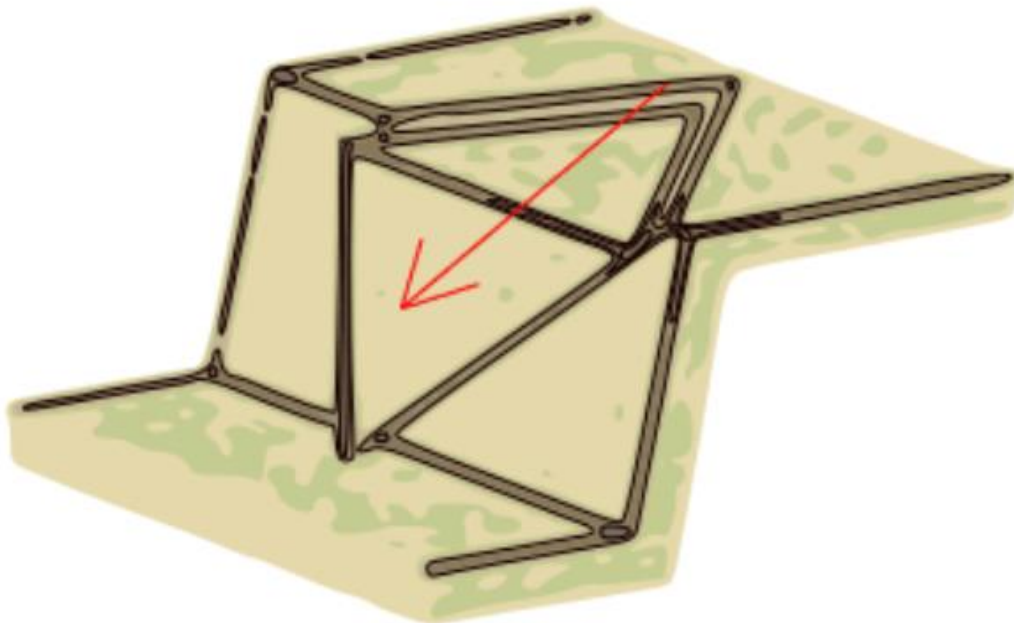


Figura 18. Mecanismo de rotura por cuña.

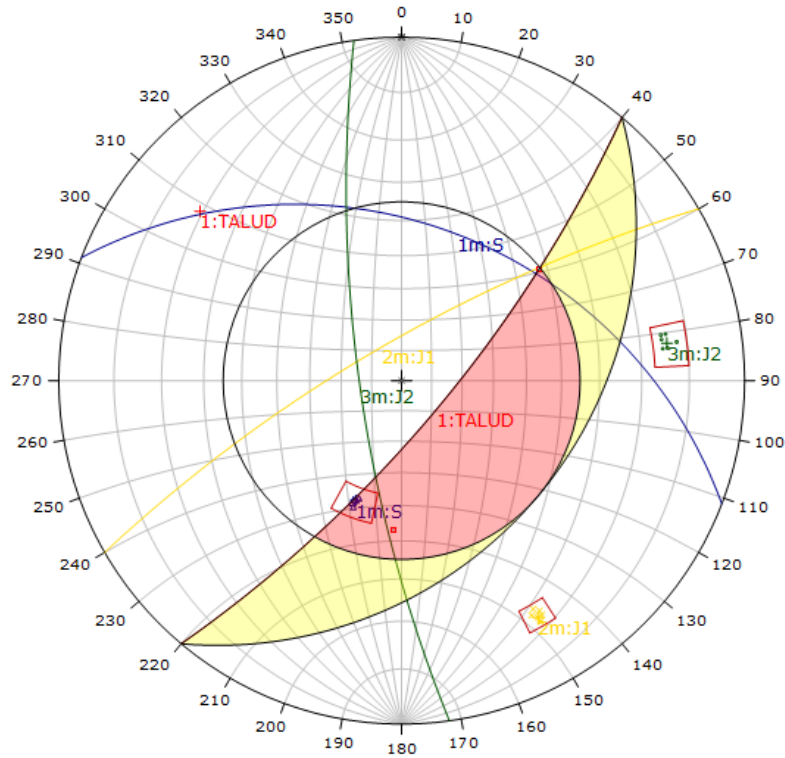


Figura 19. Análisis estereográfico utilizando como criterio el cono de fricción, y el talud sin límites laterales.

Se aprecia que las intersecciones de las discontinuidades tienen una probabilidad muy baja y por las características de orientación del macizo rocoso no se producirá la falla en cuña.

Symbol	TIPO	Quantity	
•	J2	7	
×	J3	7	
△	S	7	
Symbol	Feature		
■	Critical Intersection		
Kinematic Analysis	Wedge Sliding		
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	130		
Friction Angle	35°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	4	206	1.94%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	21 (21 Entries)		
Intersection Mode	Grid Data Planes		
Intersections Count	206		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Figura 20. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 1.94% de deslizamiento en cuña.

3.6.3. Falla por vuelco

Se genera en taludes de macizos rocosos donde los estratos o discontinuidades presentan buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o subparalela al mismo. Las discontinuidades o estratos ocurren fracturados en bloques que se encuentran a favor de discontinuidades ortogonales entre sí. Este tipo de rotura implica un movimiento de rotación de los bloques

Para que se produzca vuelco los planos de discontinuidad deben ser sensiblemente paralelos al talud y aflorar abruptamente y con gran inclinación en él. Asimismo, el centro de gravedad de los bloques y columnas de roca en que las discontinuidades subdividen el macizo debe caer fuera de la dimensión de su base. Para poder compatibilizar este movimiento diferencial entre el pie y la parte superior, debe darse el movimiento de todo el bloque, por lo que es necesario que se supere la fuerza de rozamiento máxima movilizable por fricción entre bloques.

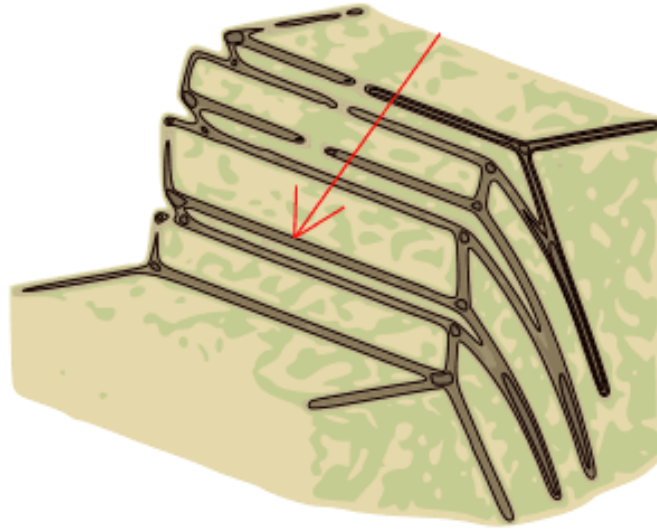


Figura 21. Mecanismo de rotura por vuelco.

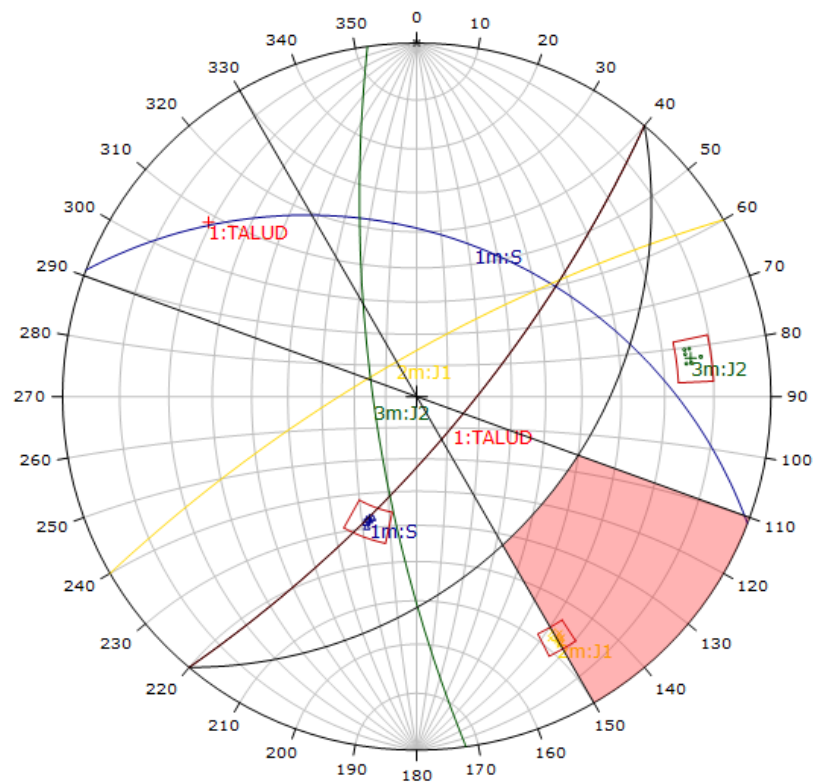


Figura 22. Análisis estereográfico utilizando como criterio límites laterales de ± 20 , y la envolvente del talud.

Se aprecia que la familia J1 es un plano favorable para producirse la falla en vuelco debido a las características de la orientación del macizo rocoso.

Symbol	TIPO	Quantity		
•	J2	7		
×	J3	7		
△	S	7		

Kinematic Analysis	Flexural Toppling		
Slope Dip	75		
Slope Dip Direction	130		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	6	21	28.57%
Flexural Toppling (Set 2)	6	7	85.71%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	21 (21 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 23. Valores de ángulo de fricción y del talud, con probabilidad de 28.57% de deslizamiento por vuelco.

3.7. Análisis de estabilidad del talud

Para conocer la estabilidad un talud o taludes es necesario obtener un Factor de Seguridad (FS) que es definido como la razón entre a resistencia al corte disponible del suelo y las tensiones actuantes a lo largo de la superficie potencial de falla. Según la Norma E020 – Estabilización de Suelo y Taludes, considera: que el $FS > 1.5$ en condiciones de Estabilidad Estática y $FS > 1.25$ en condiciones de Estabilidad Pseudo-estática.

Este análisis se hace a través del software de nombre SLIDE, que es un software de análisis de Estabilidad de Taludes en 2D que utiliza métodos de equilibrio límite para el cálculo de la estabilidad. Su ámbito de aplicación en minería y obra civil es muy variado, permitiendo evaluar un gran número de problemáticas geotécnicas, como es el caso de la presente investigación.

3.7.1. Sismicidad

Los sismos son fenómenos naturales causados por movimientos de las fallas geológicas en la corteza terrestre. Al moverse las fallas, se producen ondas de diferentes tipos y de gran poder, las cuales viajan a través de las rocas y pueden activar deslizamientos de tierra. En el caso de un sismo, existe el triple efecto de aumento del esfuerzo cortante, disminución de la resistencia por aumento de la presión de poros y deformación, asociados con la onda sísmica; pudiéndose llegar a la falla al cortante y hasta la licuación en el caso de los suelos granulares saturados. Suárez Díaz (2009).

3.7.2. Zonas sísmicas del Perú

El territorio nacional se considera dividido en cuatro zonas. La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como en la información neotectónica. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2016).

Proyecto de Norma E 030, 2014

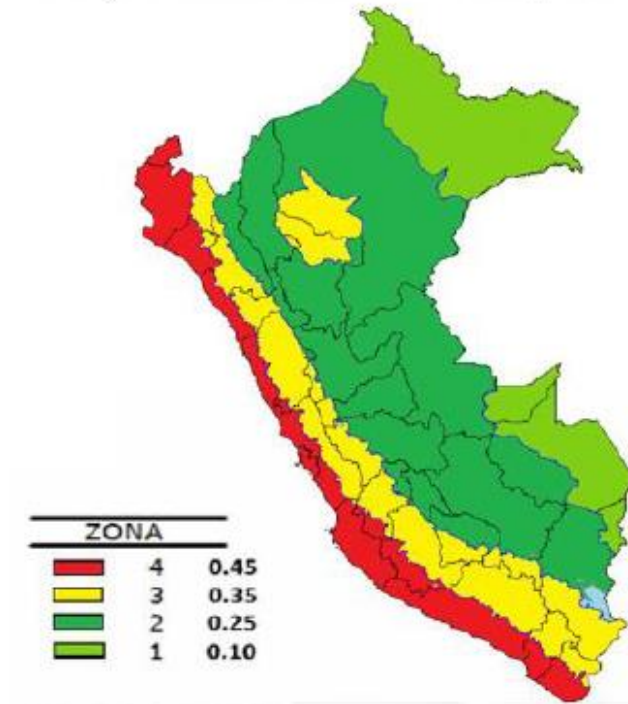


Figura 24. Zonas sísmicas del Perú.

3.7.3. Coeficiente de sismicidad

El coeficiente de Sismicidad fue calculado para un tiempo de operación de obra de 50 años y un periodo de retorno de 475 años, según la ubicación del talud con las siguientes coordenadas Geográficas:

Tabla 15

Coeficiente de Sismicidad

Ubicación	Latitud	Longitud
Talud Aylambo	-7.2	-78.5

Nota: Datos del coeficiente de sismicidad de la cantera Aylambo, según su ubicación geográfica. Fuente:

Elaboración propia.

PE = Probabilidad de Excedencia.

PO = Periodo de Operación en años.

TO = Tiempo de Retorno en años.

Para poder realizar este análisis de estabilidad a través del programa Slide, es necesario obtener los siguientes parámetros con el software RockData, teniendo en consideración la estación de control geomecánico.

Tabla 16

Datos RockData

Parámetro	Resultado
mb	0,132
s	1,2e-5
a	0,520
UCS (kN/m ²)	50 100

Nota: Datos de los parámetros útiles para el cálculo de factor de seguridad en Slide. Fuente:

Elaboración propia.

3.7.4. Análisis estático

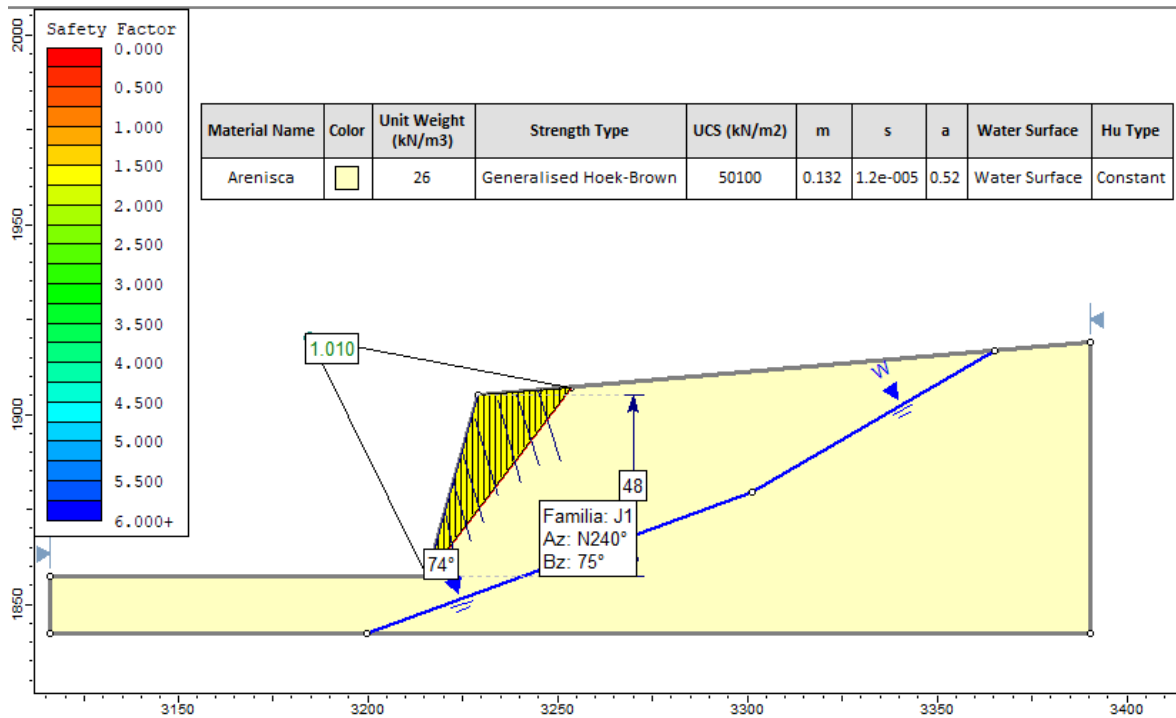


Figura 25. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer en condiciones estáticas.

Se aprecia que el talud es inestable en su condición inicial con un Factor de Seguridad de 1,010 en condiciones estáticas para una posible falla en vuelco producida por la familia J1 con buzamiento de 75°.

3.7.5. Análisis pseudoestático

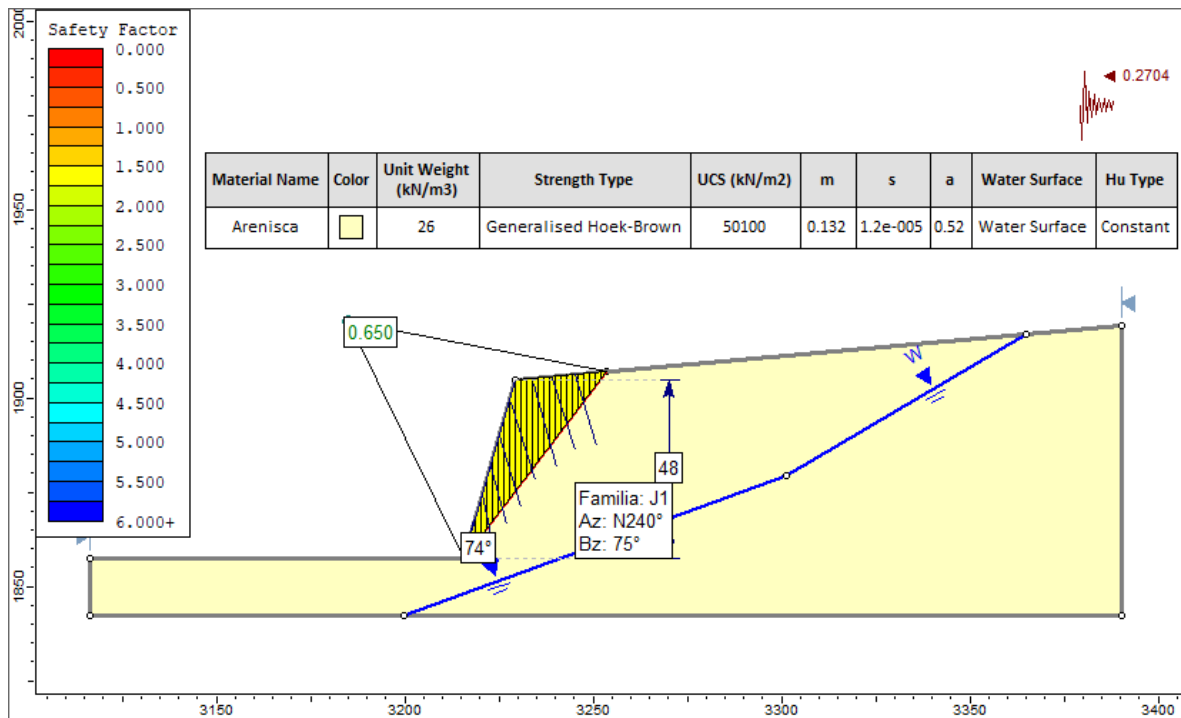


Figura 26. Análisis del Factor de Seguridad por el método de Spencer en condiciones pseudoestáticas.

Se aprecia que el talud es inestable en su condición inicial con un Factor de Seguridad es de 0,650 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2704 y un coeficiente vertical de 0.

3.7.6. Diseño del talud corregido

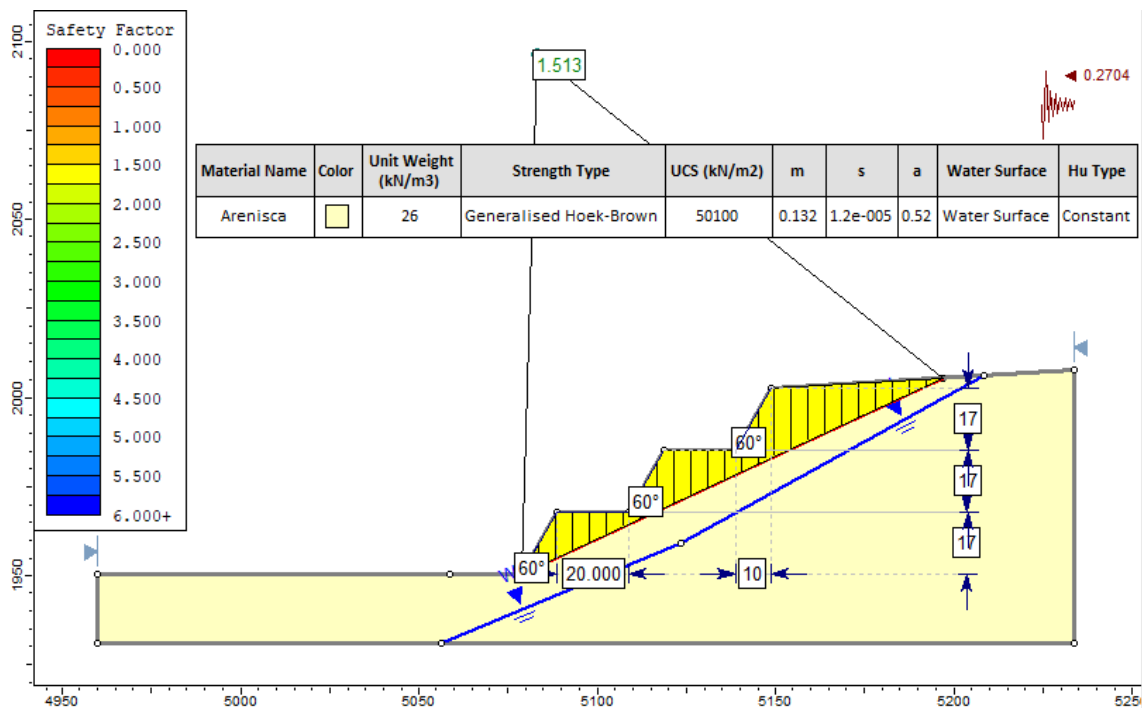


Figura 27. Análisis del talud corregido por el método de Spencer en condiciones pseudoestáticas.

Se aprecia que el talud estable luego de aplicar correcciones en su geometría, obteniendo un Factor de Seguridad de 1,513 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2704.

La estabilidad del talud se obtuvo por la creación de 3 bancos, una altura de banco de 17m, un ancho de berma de 20m, un ángulo de banco de 60° y con un ángulo global de 37°.

3.8. Cálculo del SMR (Slope Mass Rating)

Para este análisis proponemos el uso de la metodología SMR, el cual corresponde a un método para determinar los factores de corrección adecuados para aplicar la clasificación RMR a taludes. La clasificación SMR nos brinda:

Una división en clases de estabilidad.

El riesgo de inestabilidad que se corre en cada forma posible de rotura: Plana o Cuña, Vuelco o Rotura en Masa.

Sugiere recomendaciones para métodos de soporte y/o corrección.

La relación que sugiere Romana para esta clasificación es la mostrada en la Ecuación 9 y comprende un "factor de ajuste", que función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado. Romana (1985) y Robertson (1988).

Ecuación 7. *Fórmula Cálculo de SMR*

$$SMR = RMR_b + F1 * F2 * F3 + F4$$

Dónde:

RMR_b es el índice RMR básico resultante de aplicar la clasificación de Bieniawski.

F_1 depende del paralelismo entre el rumbo de las juntas y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambos rumbos son paralelos) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja). Estos valores, establecidos empíricamente, se ajustan aproximadamente a la expresión:

$$F1 = (1 - \text{sen } a_j - a_s)^2$$

Donde a_j y a_s son los valores del buzamiento de la junta (a_j) y del talud (a_s).

F_2 depende del buzamiento de la junta en la rotura plana. En cierto sentido es una medida de la probabilidad de la resistencia a esfuerzo cortante de la junta. Varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°). Fue establecido empíricamente, pero puede ajustarse aproximadamente según la relación:

$$F_2 = (tg^2 * bj)^2$$

Donde bj es el buzamiento de la junta. F_2 vale 1,00 para las roturas por vuelco.

F_3 se refiere a la relación entre los buzamientos del talud y de las discontinuidades.

Adopta los valores originales propuestos por Bieniawski, que son siempre negativos.

F_4 es un factor de corrección que depende del método de excavación empleado para la ejecución del talud.

Tabla 17

Factor de Ajuste F1, F2 Y F3

Caso	Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P aj-as		30° - 20°			
T aj-as- 108°	>30°		20° - 10°	10° - 5°	<5°
Valor F1 (P/T)	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P bj	<20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	>45°
Valor F2 (P)	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Valor F2 (T)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
P bj-bs	>10°	10° - 0°	0°		<-10
T bj+bs	<110°	110° - 120°	>120°	0° - (-10°)	---
Valor F3 (P/T)	0	-6	-25	-50	-60

Nota: Factor de Ajuste para las Juntas.

Donde;

P = Rotura Plana

T = Rotura por vuelco

as = dirección de buzamiento del talud

bs = buzamiento del talud

aj = dirección de buzamiento de las juntas

bj = buzamiento de las juntas

$$F1 = [1 - \sin(\alpha_j - \alpha_s)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(240^\circ - 220^\circ)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(20^\circ)]^2$$

$$F1 = 0.43$$

F2 (para roturas en vuelco)

$$F2 = 1$$

$$F3 = (\beta_j + \beta_j = 77 + 75 = 152)$$

$$F3 = -25$$

Tabla 18

Factor de Ajuste F4

Método	Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Voladura o mecánico	Voladura Deficiente
F4	+15	+10	+8	0	-8

Nota: Factor de Ajuste según el Método de Excavación.

$$F4 = 10$$

$$SMR = RMR + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

$$SMR = 44 + (0.43 \times 1 \times -25) + 10$$

$$SMR = 43,25$$

Tabla 19

Parámetros del SMR

SMR	ESTABILIDAD
100 – 81	Totalmente Estable
80 – 61	Estable
60 – 41	Parcialmente Estable
40 – 21	Inestable
<20	Totalmente Inestable

Nota: Parámetros para la estabilidad del talud de la estación de la cantera Aylambo. Fuente: Romana (1985).

Tabla 20

Medidas de Sostenimiento

Clase	SMR	Soporte
I a	91 – 100	Ninguno
I b	81 – 90	Ninguno / Saneamiento
II a	71 – 80	(Ninguno / Cunetas) Pernos Puntuales
II b	61 – 70	Cunetas al pie de talud / malla Pernos Puntuales o Sistemáticos Cuneta y / o malla
III a	51 – 60	Pernos Puntuales o sistemáticos Hormigón lanzado localizado
III b	41 – 60	(Cunetas al pie de talud y / o malla) Pernos sistemáticos / Anclajes Hormigón lanzado localizado Muro de pie
IV a	31 – 40	Anclaje Hormigón lanzado sistemático (Reexcavación). Drenaje.
IV b	21 – 30	Hormigón lanzado reforzado sistemático Muro de pie y / o concreto (Reexcavación). Drenaje profundo
V a	<20	Muros de contención Reexcavación

Nota: Medidas de sostenimiento recomendadas para cada clase de estabilidad según el SMR. Fuente:

Gavilanes y Andrade (2004).

3.9. Mapa de la cantera Aylambo

Para esto se tomaron en cuenta datos obtenidos por el software ArcGIS.

Tabla 21

Volumen y Área Total

Volumen m³	Área m²
8218712,82	186375,67

Nota: Volumen y área total del cerro donde se encuentra ubicada la cantera Aylambo. Fuente: ArcGIS.

Tabla 22

Volumen y Área Extraído

Volumen m³	Área m²
707144,62	29549,59

Nota: Volumen y área extraído de la cantera Aylambo hasta la fecha. Fuente: ArcGIS.

Tabla 23

Volumen y Área que Falta Extraer

Volumen m³	Área m²
7511568,196	756826,077

Nota: Volumen y área que falta extraer de la cantera Aylambo, se halla realizando la diferencia entre el volumen total y el volumen extraído. Fuente: ArcGIS.

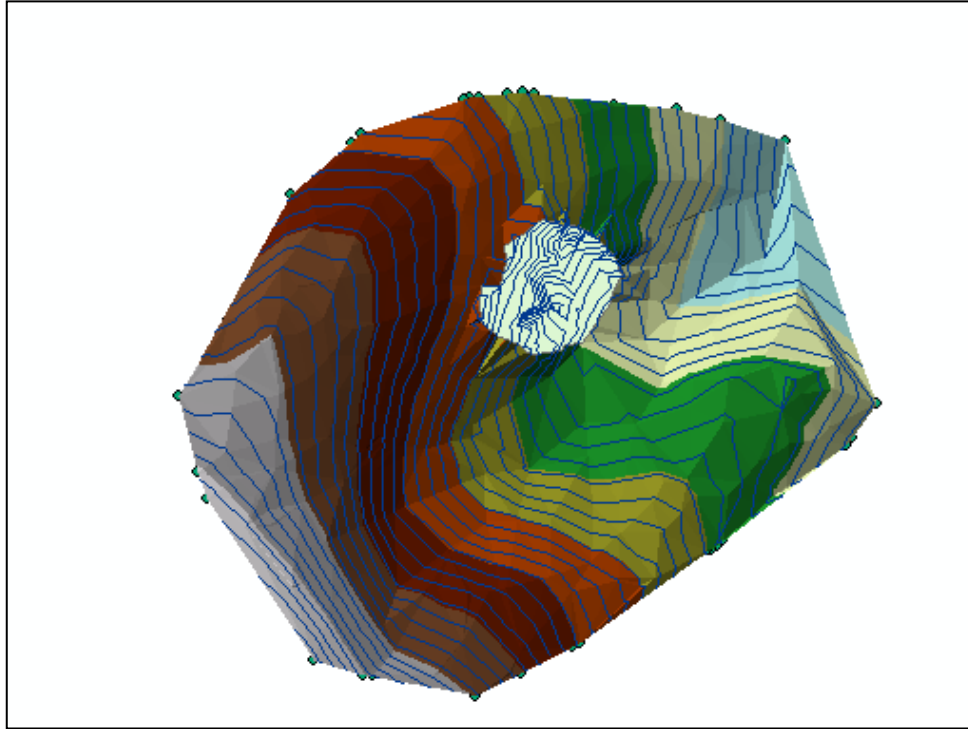


Figura 28. Imagen de volumen de la cantera.

3.9.1. Estimación de tiempo de vida

El valor actual o presente de la cantera se obtiene a través de cálculos indicados, determinadas a base del régimen de explotación de la misma y la capacidad de absorción del mercado.

POR DERECHO DE CANTERA

La determinación de la ganancia anual, es resultado de la determinación anual del monto total por derechos de extracción percibidos. El número de años será el resultado de la relación entre cantidad total cubicada y volumen extraíble por años, es decir:

Ecuación 8: *Expectativa de la medida en años.*

$$\text{Expectativa de la cantera medida en años} = \frac{\text{Cantidad total cúbica}}{\text{Volumen total extracción anual}}$$

Tabla 24

Tiempo de vida para la explotación de la cantera.

Volumen Restante	Volumen Total	Tiempo de Vida
7511568,19	707144,62	10, 62

Nota: Tiempo de vida para la explotación de la cantera Aylambo, se halla sacando dividiendo el volumen restante entre el volumen total. Fuente: ArcGIS.

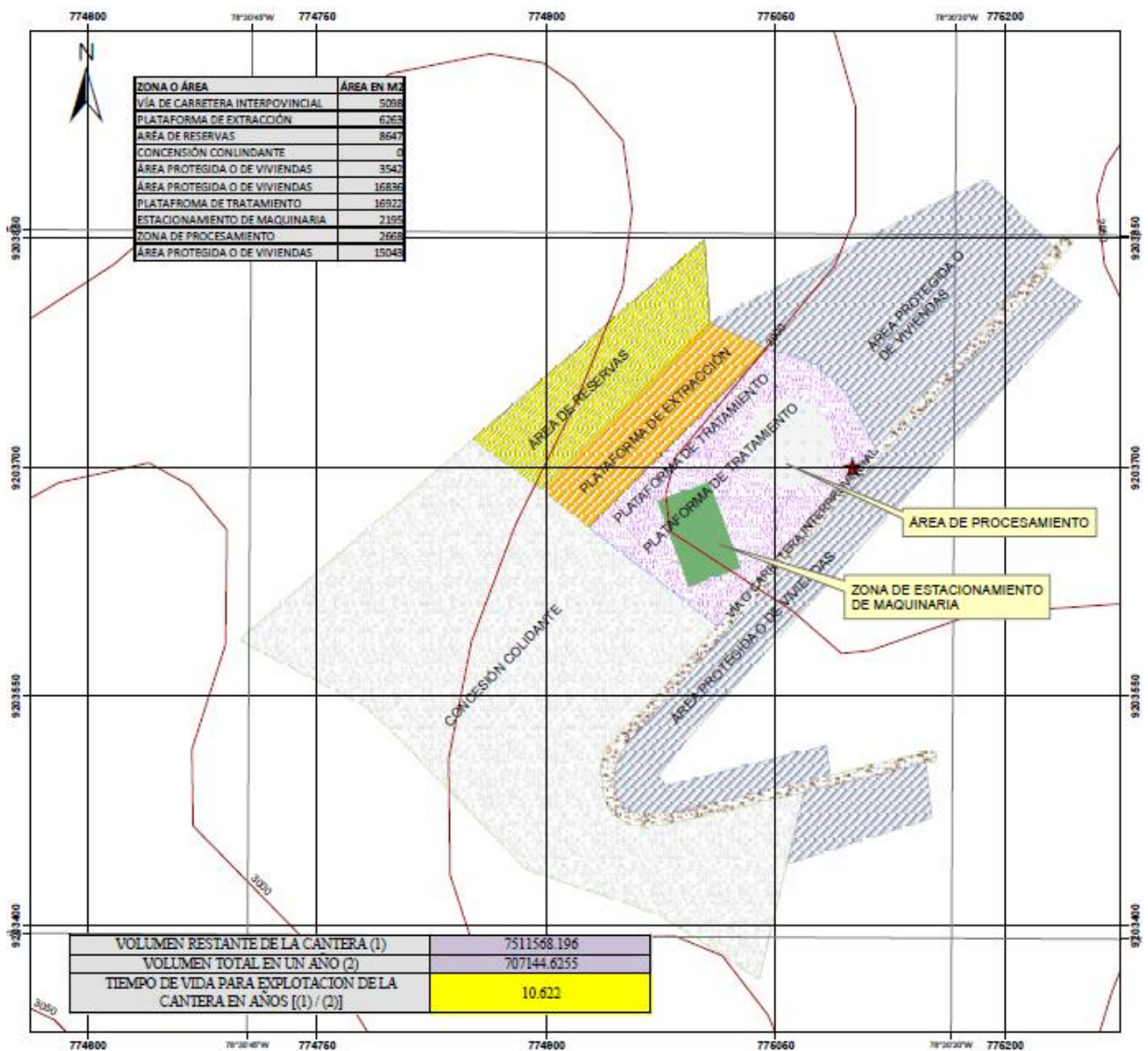


Figura 29. Plano Compósito de la cantera Aylambo.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Tras describir y analizar los diferentes resultados obtenidos con la investigación al talud de la cantera Aylambo se procederá a realizar la discusión. La hipótesis general que planteábamos fue conocer si habría influencia de la evaluación geomecánica en la estabilidad de taludes de la cantera Aylambo, la cual a través de los resultados obtenidos vimos que si tiene influencia ya que se podrían proponer medidas de corrección para que se más seguro.

Se pudo obtener los resultados gracias a softwares como Dips 5.0 así como lo hicieron Sorbino & Nicotera (2012) en su trabajo sobre la evaluación de la estabilidad de los taludes de la cantera “Las Victorias”, ubicado en Cuenca – Ecuador, ellos realizaron su trabajo de caracterización geomecánica evaluándola mediante mediciones in situ e información existente, al igual que se hizo para la presente tesis. Ellos aplicaron: Método del círculo de fricción, los softwares Dips v5.103 y GEO5, mientras que en esta tesis se aplicó también el programa Dips 6.0. Ellos con los resultados que obtuvieron se pudo afirmar que existe estabilidad global en los taludes del macizo, así como mediante un estudio más minucioso se logra precisar que existe inestabilidad local en determinados sectores por causa de desprendimientos y voladuras al igual que lo que ocurre en la presente tesis. Con ello podemos notar que no es de suma necesidad usar el software GEO5, ya que con Dips v5. se pueden obtener los mismos resultados.

Otro punto importante es que comprobamos que las caídas de rocas desde las partes más altas del talud hacia el pie del talud que existían en la cantera Aylambo están relacionadas con lo que Richard, Dagrain, Poyol, & Detournay (2012), afirman que el agente externo responsable de la inestabilidad es una fuerza de masa: el peso y

eventualmente los efectos de filtración a los que debe añadirse, generalmente como factor secundario, posibles cargas externas.

Se logró conocer la influencia de la evaluación geotécnica realizando el reconocimiento de la litología de la cantera Aylambo, un levantamiento topográfico, toma de muestras con sus respectivos análisis y una clasificación geomecánica, como también para el análisis de estabilidad se usó el software Slide 7.0, como lo hizo Nicksiar (2012), pero en su estudio se obtuvo una calidad de roca mala, resultando inestable para una superficie de rotura compuesta de factor de seguridad menor a los 1.3, de acuerdo a los rangos denominados estables para canteras a cielo abierto de matriz rocosa. Proponiendo la corrección del deslizamiento mediante el uso de métodos técnicos y rentables como la extracción y relocalización de material, abatimiento de taludes, diseño de sistemas de drenajes superficiales, uso de explosivos, y generación de nuevos bancos, mientras que en la presente tesis el talud salió de igual manera inestable con un factor de seguridad de 1,010 para lo que se propuso la corrección de la geometría del talud, a través de bancos.

También se logró obtener el (SMR) y proponer algún tipo de sostenimiento como lo hicieron Caizaluisa & Criollo Andagoya (2015), en la investigación realizada en Quito, Ecuador de dos canteras la primera “La Cantera Fucusucu III”, que poseía un diseño de explotación y liquidación, sin embargo, se identificaron zonas de inestabilidad para las cuales se propuso una corrección en los elementos geométricos de dichos taludes, con el fin de garantizar una estabilidad temporal durante la etapa de operación y una a largo plazo durante la etapa de liquidación, mientras en el caso de la presente tesis no se ha propuesto la corrección de la geometría del talud, solo sostenimientos de acuerdo a los resultados, tampoco se ha hecho un diseño de explotación ni de liquidación. La segunda cantera llamada “La Cantera Esperanza” se

explotaba de manera antitécnica, por esa razón realizaron un diseño de explotación y uno de liquidación, tomando como base la topografía del área y sus características geomecánicas; además se ha estimado el volumen de reservas extraíbles en la cantera a través de un análisis gráfico, método de Isolíneas, en este caso se asemeja por lo realizado en esta tesis ya que también se tomó en cuenta la topografía de la cantera y sus características geomecánicas para calcular el volumen de reservas extraíbles de la cantera Aylambo. En el caso de las dos canteras al obtener el (SMR), identificaron zonas de inestabilidad para y propusieron una Corrección Geométrica, Construcción de Bermas y Saneamiento tal, mientras que nosotros cunetas al pie de talud.

Existieron también algunas limitaciones para el desarrollo de la presente tesis y que retrasaron de alguna manera su avance.

La carencia de tablas editables para la modificación de parámetros geomecánicas, teniendo la necesidad en algunos de tipear las mismas.

La carencia de equipos como brújula, GPS, picota; para realizar las evaluaciones en campo, limitando a realizarlo de la forma más rápida.

El presupuesto se limitaba a tomar transporte público, por ello se perdía tiempo ya que cada vehículo aparece cada una hora.

Esta investigación solo se limita a saber si habrá influencia al realizar la evaluación geotécnica en el talud de la cantera Aylambo, no considera otros aspectos como diseño o modelamiento de la misma.

También es necesario realizar algunas recomendaciones.

Se deben realizar estudios de investigación de tipo experimental donde el profesional aplique todo lo señalado en la presente tesis y pueda complementar la información para obtener un diseño de explotación correcto.

Estructurar un plan de mercado que permita obtener mayor producción y clientes fijos para mantener la rentabilidad de la cantera Aylambo.

Si se pudiera explotar la cantera Aylambo nuevamente, sería de gran aporte que se otorgue trabajo a los mismos pobladores del centro poblado Aylambo.

4.2. Conclusiones

Se determinó que la evaluación geomecánica (parámetros geomecánicos) influyen en la estabilidad de la cantera Aylambo, ya que se pudo obtener resultados que propongan medidas de sostenimiento y de estabilidad.

Se realizó la caracterización geomecánica del macizo rocoso de la cantera Aylambo obteniendo los resultados de los parámetros del GSI de 32 y RMR con un puntaje de 46, estando dentro a una calidad geomecánica regular.

Se realizó el análisis cinemático encontrando que hay un 28,57% de deslizamiento por vuelco.

Se obtuvieron los Factores de Seguridad del talud en su condición inicial, con resultados de: 1,010 en condiciones estáticas para una posible falla en vuelco producida por la familia J1 con buzamiento de 75° y un Factor de Seguridad de 0,650 para condiciones pseudoestáticas con coeficiente de sismicidad horizontal de 0.2704 y un coeficiente vertical de 0. Por ello se realizó el diseño del talud con 3 bancos, una altura de banco de 17m, un ancho de berma de 20m, un ángulo de banco de 60° y con un ángulo global de 37° , obteniendo de esta manera un Factor de Seguridad de 1,513.

Se halló el SMR obtenido como puntuación 43,25 siendo este de clase III b (parcialmente estable), y proponiendo medidas de sostenimiento como cunetas al pie de talud y/o malla, pernos sistemáticos/anclajes, hormigón lanzado localizado y muro de pie.

REFERENCIAS

- Alpizar, A. (2012). *Metodología de análisis de estabilidad de taludes para proyectos viales*. p.12 XI Congreso Nacional de Geotecnia, Congeo San José, Costa Rica. [Consultado: 20 de Oct. de 19].
- Arreygue, Garduño, & Canuti. (2010). *Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma, en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México*. (tesis doctoral). México. [Consultado: 1 de May. de 18].
- Caizaluisa, J & Criollo, A. (2015). *Caracterización Geomecánica del Macizo Rocosó para el plan de cierre y liquidación de las Canteras ubicadas en las Parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu iii”) y de Pintag (“Esperanza”)*. (tesis maestría). Ecuador. [Consultado: 15 de May. de 19].
- Carrillo, Linkimer, Rodríguez, & Zúñiga. (2002). *Clasificación Geomecánica y Análisis Estabilidad de Taludes del Macizo Rocosó Coris, Cartago, Costa Rica*. Costa Rica. [Consultado: 12 de May. de 19].
- Cruzado, D. (2009). *Estudios de Geología. Perú*. [Consultado: 19 de Agos. de 19].
- Estaire, Gepp & Olivenza. (2013). *Factores de seguridad en la estabilidad de taludes de acuerdo con el Eurocódigo EC-7 y el Anejo Nacional Español*. España. [Consultado: 20 de Jul. de 19].
- Gutiérrez, Torres, & Rodríguez. (2013). *La importante actividad minera en el Sinclinal de Truchas en relación a la explotación de pizarras para techas*. 2013. México. [Consultado: 1 de May. de 18].
- Kazulovic, A. (2006). *Sistemas de clasificación y clasificación geotécnica de macizos rocosos*. Chile. [Consultado: 19 de Agos. de 19].
- Lafuente & Marín. (2008). *“Metodologías de la investigación en las ciencias sociales: fases, fuentes y selección de técnicas”*. Colombia. [Consultado: 22 de Abr. de 18].

- Melentijevic, S. (2009). *Definiciones geotécnicas*. 2008. Serbia. [Consultado: 10 de Jul. de 19].
- Mendoza, Ramos, & Cunha. (2012). *Analysis of the construction process and geotechnical parameters variability on the loading capacity of micropiles using random finite elements*. Brasil. [Consultado: 1 de May. de 18].
- Ministerio de Vivienda, Construcción & Saneamiento. (2016). *Zonas sísmicas del Perú*. Perú. [Consultado: 15 de Oct. de 19].
- Nicksiar. (2012). *Evaluación de métodos para determinar el inicio de grietas en pruebas de compresión en rocas de baja porosidad*. Canadá. [Consultado: 1 de May. de 18].
- Ochoa. (2012). *Definiciones y terminos de la geoténica*. España. [Consultado: 20 de Jul. de 19].
- Pérez, F. (2012). *Solución numérica de problemas de oxidación mediante el método de simulación por redes*. (tesis doctoral). Cartagena, Colombia. [Consultado: 15 de Jun. de 19].
- Pocoví, Gracia, Casas, & Rico. (2013). *Análisis del riesgo kárstico en medios urbanos asentados sobre depósitos aluviales cementados (mallacán) en la Cuenca del Ebro (España)*. (tesis maestría). España. [Consultado: 1 de May. de 18].
- Qing, & otros. (2014). “Un método de superficie de respuesta múltiple para el análisis de confiabilidad de taludes considerando la variabilidad espacial de las propiedades del suelo. Estados Unidos [Consultado: 1 de May. de 18].
- Quiles & Herrera. (2011). *Fundamentación metodológica*. España. [Consultado: 22 de Abr. de 18].
- Reyes, L. (1980). *Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba*. Perú. [Consultado: 19 de Agos. de 19].
- Richard, Dagrain, Poyol, & Detournay. (2012). *Determinación de la resistencia de la roca desde pruebas de rayado*. pp. 91–100. Minnesota, Estados Unidos. [Consultado: 2 de Febr. de 19].

- Rodríguez, Zafra, & Quintero. (2015). *The systematic review of the scientific literataure and the need to visualize the results of the investigations*. Brasil. [Consultado: 22 de Abr. de 18].
- Sorbino & Nicotera. (2012), *Mecánica de suelos no saturados en derrumbes de flujo inducidos por lluvia*. Naples, Italia. [Consultado: 1 de May. de 18].
- Suarez, J. (2009). *Análisis geotécnico sísmico*. Bucaramanga, Colombia. [Consultado: 15 de Oct. de 19].
- Torres, R& Clever, J. (2015). *Analisis de estabilidad de taludes en el macizo rocoso de la cantera palma sola mediante los sistemas de clasificacion geomecanica RMR_Rock mass rating y SMR_Slope mass rating*. Geominas, vol. 36, no. 46, 2008, p. 69+. Academic OneFile, [Accessed 10 Nov. 2018].
- Zhang & Zhao. (2013), *Una revisión de técnicas experimentales dinámicas y comportamiento mecánico de materiales de roca*. [Consultado: 1 de May. de 18].

ANEXOS

Anexo N°1: Tabla de datos tomados con GPS a la cantera Aylambo.

PUNTOS	ESTE	NORTE	COTA
1	775001.00	9203620.00	2917.00
2	774957.00	9203632.00	2932.00
3	774930.00	9203646.00	2943.00
4	775074.00	9203594.00	2892.00
5	775147.00	9203650.00	2883.00
6	775191.00	9203716.00	2879.00
7	775191.00	9203743.00	2880.00
8	775153.00	9203739.00	2888.00
9	775106.00	9203797.00	2907.00
10	775028.00	9203864.00	2928.00
11	774953.00	9203830.00	2946.00
12	774907.00	9203807.00	2957.00
13	774871.00	9203764.00	2964.00
14	774830.00	9203755.00	2970.00
15	774911.00	9203722.00	2954.00
16	774926.00	9203770.00	2953.00
17	774948.00	9203794.00	2947.00
18	774942.00	9203895.00	2945.00
19	774936.00	9203924.00	2944.00
20	774994.00	9203959.00	2931.00
21	775262.00	9203964.00	2875.00
22	775222.00	9203805.00	2880.00
23	775178.00	9203626.00	2885.00
24	775178.00	9203624.00	2886.00
25	775172.00	9203575.00	2897.00
26	775171.00	9203573.00	2897.00
27	775064.00	9203540.00	2899.00
28	775041.00	9203570.00	2899.00
29	775004.00	9203571.00	2908.00
30	774986.00	9203549.00	2911.00
31	774912.00	9203556.00	2936.00
32	774908.00	9203621.00	2945.00
33	774872.00	9203630.00	2956.00
34	774858.00	9203611.00	2958.00
35	774856.00	9203607.00	2958.00
36	774841.00	9203569.00	2958.00
37	774839.00	9203546.00	2957.00
38	774839.00	9203545.00	2957.00

39	774869.00	9203522.00	2945.00
40	775038.00	9203633.00	2906.00
41	775044.00	9203646.00	2906.00
42	775062.00	9203652.00	2900.00
43	775073.00	9203670.00	2897.00
44	775088.00	9203681.00	2894.00
45	775095.00	9203705.00	2897.00
46	775100.00	9203747.00	2904.00
47	775086.00	9203766.00	2910.00
48	775072.00	9203784.00	2915.00
49	775063.00	9203788.00	2918.00
50	775052.00	9203792.00	2921.00
51	774921.00	9203672.00	2949.00
52	774923.00	9203698.00	2950.00
53	774932.00	9203721.00	2949.00
54	774950.00	9203730.00	2945.00
55	774964.00	9203754.00	2944.00
56	774968.00	9203779.00	2943.00
57	774985.00	9203791.00	2939.00
58	775008.00	9203799.00	2933.00
59	775031.00	9203800.00	2927.00
60	774998.00	9203792.00	2936.00
61	775023.00	9203771.00	2929.00
62	775045.00	9203748.00	2920.00
63	775049.00	9203762.00	2921.00
64	775007.00	9203662.00	2922.00
65	774951.00	9203645.00	2936.00
66	774984.00	9203622.00	2922.00
67	774791.00	9203666.00	2978.00
68	774781.00	9203563.00	2974.00
69	774850.00	9203503.00	2949.00
70	775071.00	9203491.00	2908.00
71	775145.00	9203505.00	2909.00
72	775238.00	9203596.00	2898.00
73	775269.00	9203667.00	2881.00
74	775272.00	9203675.00	2880.00
75	775306.00	9203772.00	2863.00
76	775307.00	9203773.00	2863.00
77	775307.00	9203848.00	2864.00
78	775308.00	9203856.00	2864.00
79	775280.00	9203940.00	2873.00
80	775280.00	9203944.00	2873.00
81	775266.00	9203981.00	2872.00
82	775263.00	9203982.00	2872.00
83	775067.00	9204019.00	2912.00
84	774913.00	9203996.00	2937.00

85	774812.00	9203869.00	2966.00
86	774804.00	9203856.00	2969.00
87	774718.00	9203730.00	2988.00
88	774720.00	9203697.00	2989.00
89	774724.00	9203614.00	2989.00
90	774725.00	9203576.00	2988.00
91	774726.00	9203562.00	2988.00
92	774727.00	9203556.00	2987.00
93	774781.00	9203521.00	2972.00
94	774787.00	9203518.00	2970.00
95	774834.00	9203481.00	2953.00
96	774841.00	9203476.00	2951.00
97	774848.00	9203469.00	2949.00
98	774850.00	9203469.00	2948.00
99	774861.00	9203469.00	2944.00
100	774936.00	9203454.00	2928.00
101	774950.00	9203454.00	2925.00
102	774861.00	9203882.00	2959.00
103	775060.00	9203867.00	2921.00
104	775192.00	9203819.00	2889.00
105	775066.00	9203796.00	2918.00
106	775089.00	9203782.00	2911.00
107	775112.00	9203760.00	2903.00
108	775109.00	9203706.00	2894.00
109	775065.00	9203680.00	2902.00
110	775028.00	9203625.00	2909.00
111	775012.00	9203621.00	2913.00
112	775011.00	9203651.00	2919.00
113	774952.00	9203669.00	2940.00
114	774972.00	9203728.00	2940.00
115	775076.00	9203741.00	2909.00
116	775055.00	9203682.00	2906.00
117	775000.00	9203731.00	2932.00
118	775004.00	9203745.00	2932.00
119	775144.00	9203770.00	2895.00
120	775161.00	9203808.00	2895.00
121	775152.00	9203839.00	2900.00
122	775115.00	9203871.00	2909.00
123	775112.00	9203871.00	2909.00
124	775075.00	9203909.00	2916.00
125	775074.00	9203909.00	2916.00
126	775068.00	9203962.00	2915.00
127	775067.00	9203968.00	2915.00
128	775067.00	9203969.00	2915.00
129	775059.00	9203987.00	2915.00
130	775017.00	9203933.00	2928.00







131	775015.00	9203931.00	2928.00
132	774979.00	9203907.00	2937.00
133	774956.00	9203882.00	2943.00
134	774949.00	9203874.00	2945.00
135	774947.00	9203870.00	2946.00
136	774871.00	9203825.00	2962.00
137	774816.00	9203800.00	2971.00
138	774794.00	9203769.00	2975.00
139	774794.00	9203746.00	2976.00
140	774794.00	9203734.00	2977.00
141	774808.00	9203727.00	2975.00
142	774809.00	9203718.00	2974.00
143	774809.00	9203712.00	2975.00
144	774833.00	9203709.00	2970.00
145	774873.00	9203686.00	2961.00
146	774889.00	9203669.00	2957.00
147	774897.00	9203662.00	2954.00
148	774898.00	9203660.00	2954.00
149	775058.00	9203654.00	2904.00
150	775067.00	9203661.00	2901.00
151	775074.00	9203670.00	2900.00
152	775088.00	9203686.00	2899.00
153	775103.00	9203701.00	2899.00
154	775120.00	9203720.00	2897.00
155	775115.00	9203724.00	2903.00
156	775111.00	9203734.00	2908.00
157	775107.00	9203744.00	2911.00
158	775102.00	9203752.00	2917.00
159	775097.00	9203759.00	2919.00
160	775094.00	9203760.00	2917.00
161	775083.00	9203771.00	2926.00
162	775074.00	9203777.00	2929.00
163	775066.00	9203780.00	2928.00
164	775033.00	9203793.00	2938.00
165	775022.00	9203795.00	2935.00
166	775007.00	9203800.00	2942.00
167	774996.00	9203795.00	2945.00
168	774981.00	9203781.00	2948.00
169	774968.00	9203775.00	2951.00
170	774965.00	9203749.00	2950.00
171	774955.00	9203739.00	2954.00
172	774941.00	9203706.00	2955.00
173	774932.00	9203702.00	2953.00
174	774917.00	9203681.00	2959.00
175	774920.00	9203665.00	2956.00
176	774929.00	9203645.00	2948.00

177	774953.00	9203633.00	2940.00
178	774973.00	9203626.00	2929.00
179	774984.00	9203616.00	2928.00
180	774994.00	9203612.00	2921.00
181	775012.00	9203614.00	2919.00
182	775026.00	9203625.00	2915.00
183	775035.00	9203627.00	2907.00
184	775054.00	9203648.00	2905.00

Nota: Puntos tomados con la ayuda de GPS a toda la cantera Aylambo.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°2: Tabla de reconocimiento de GSI en campo.

<p>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)</p> <p>From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.</p>		SURFACE CONDITIONS				
STRUCTURE		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Slidensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Slidensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
		DECREASING SURFACE QUALITY →				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90	80	N/A	N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70	N/A	N/A	N/A
	VERY BLOCKY - Interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70	60	50	N/A	N/A
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60	50	40	30	N/A
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50	40	30	20	N/A
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A	20	10	N/A

Anexo N°3: Tabla de recolección de datos geomecánicos de campo.

Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo puntual carga	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MP	< 1 MPa
	valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	valor	15	10	7	4	0			

Anexo N°4: Tabla para hablar el SMR (Slope Mass Rating)

Case		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$<5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
P/T	F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$>45^\circ$
P	F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ-0^\circ$	0°	$0^\circ-(-10^\circ)$	$<-10^\circ$
P	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ-120^\circ$	$>120^\circ$		
P/T	F3	0	-6	-25	-50	-60

(B) Adjustment rating for methods of excavation (Romana 1992).

Method	Natural slope	Presplitting	Smooth blasting	Regular blasting	Deficient blasting
F4	+15	+10	+8	0	-8

Note: *P*, plane failure; α_s , slope dip direction; α_j , joint dip direction; *T*, toppling failure; β_s , slope dip; β_j , joint dip.

Anexo N°5: Fotografía de reconocimiento de estratos.



Anexo N° 6: Toma de datos geomecánicos.



Anexo N° 7: Resistencia a la compresión uniaxial



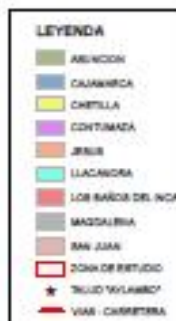
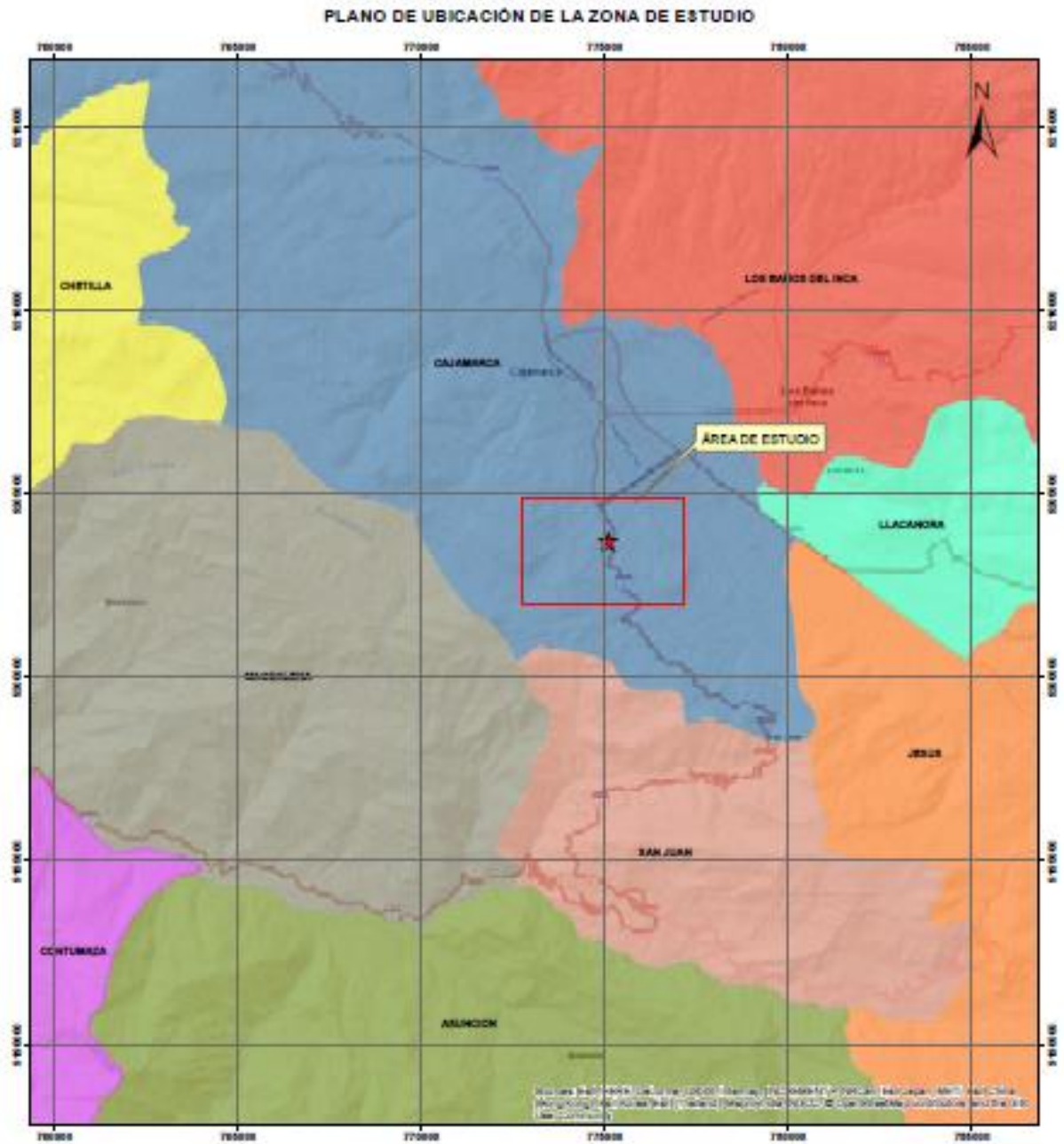
Anexo N° 8: Corte producido por la compresión uniaxial



Anexo N° 9: Toma del ángulo de fricción



Anexo N° 10: Planos de accesibilidad, ubicación,
geológico y de la cantera Aylambo.



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
St. Milagros Guadalupe, Montoya Yupanqui			
INFLUENCIA DE LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDOS DE LA CANTERA AYLAMBO, 2019			
	PLANO DE UBICACIÓN		PLANO N° 01
	DPTO. Cajamarca	PROV. Cajamarca	DISTRITO Cajamarca
			Sistema de coordenadas UTM WGS84 ESCALA: 1:100000

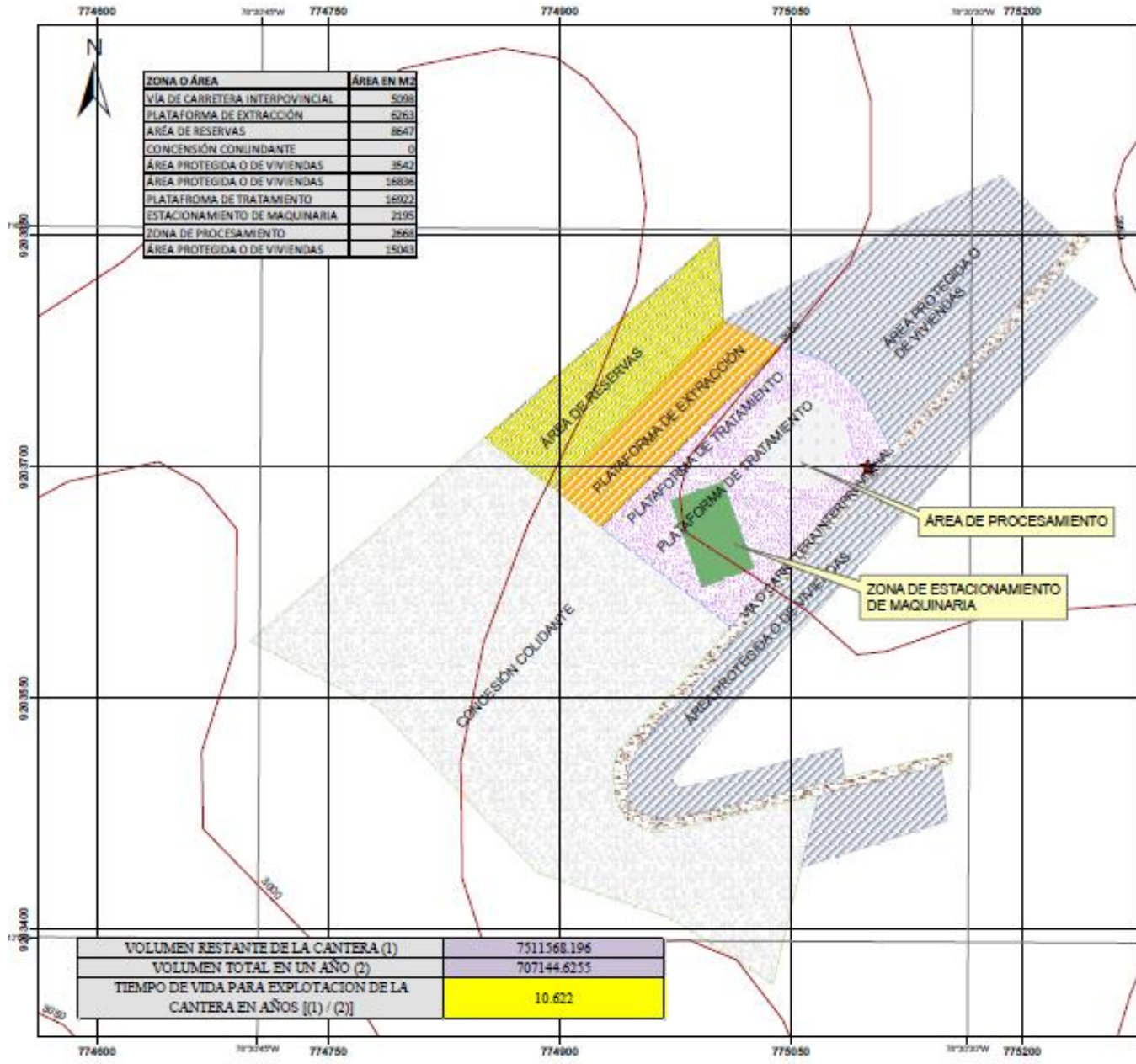


Leyenda

- Via Pavimentada Tarma - Cajamarca - Carretera Aylambo
- Cajamarca
- Cruz Blanca
- ★ talud
- Zona_estudio

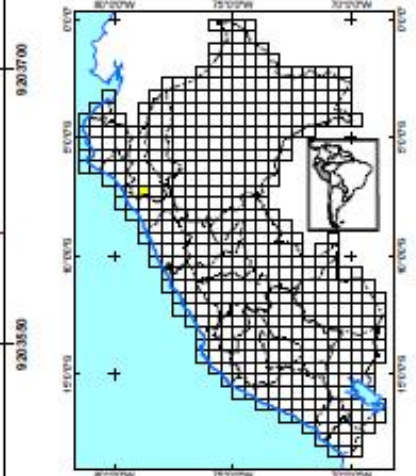
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Mg. Milagros Guadalupe, Montoya Yupanqui			
INFLUENCIA DE LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE LA CANTERA AYLAMBO, 2019			
	PLANO ACCESIBILIDAD		PLANO N° 02
	EPSO	PRON	DISTRITO
Cajamarca	Cajamarca	Cajamarca	Sistema de coordenadas: UTM INGRES ESCALA: 1:25000

MAPA COMPÓSITO DE CANTERA "AYLAMBO"



ZONA O ÁREA	ÁREA EN M ²
VÍA DE CARRETERA INTERPROVINCIAL	5096
PLATAFORMA DE EXTRACCIÓN	6263
ÁREA DE RESERVAS	8647
CONCESIÓN CONJUNTA	0
ÁREA PROTEGIDA O DE VIVIENDAS	3542
ÁREA PROTEGIDA O DE VIVIENDAS	16836
PLATAFORMA DE TRATAMIENTO	16922
ESTACIONAMIENTO DE MAQUINARIA	2195
ZONA DE PROCESAMIENTO	2668
ÁREA PROTEGIDA O DE VIVIENDAS	15043

VOLUMEN RESTANTE DE LA CANTERA (1)	7511568.196
VOLUMEN TOTAL EN UN AÑO (2)	707144.6255
TIEMPO DE VIDA PARA EXPLOTACION DE LA CANTERA EN AÑOS [(1) / (2)]	10.622



UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA			
Carrera de Ingeniería Geológica			
Sr. Milagros Guadalupe, Moritaya Yupanqui			
INFLUENCIA DE LA EVALUACIÓN GEOTÉCNICA EN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DE LA CANTERA AYLAMBO, 2019			
	PLANO COMPÓSITO DE LA CANTERA		PLANO N° 04
	DPTO. Cajamarca	PROV. Cajamarca	DISTRITO Cajamarca