

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Geológica

“ESTUDIO GEOMECÁNICO PARA EL DISEÑO DE LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES EN LA EXPLOTACIÓN DE CALIZAS PARA LA CALERA LA ENCALADA CHIM CHIM, CAJAMARCA 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Geólogo

Autores:

Orlando Infante Chilón

Oscar Lino Orrillo Carranza

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2019



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios por guiar mis pasos, a toda mi familia, en especial a mis padres, pues que nos han apoyado a lo largo de toda la vida, haciéndonos cumplir con el logro de culminar los estudios, con mucho amor y cariño de darme la oportunidad de cumplir mi meta soñada.

Orlando Infante Chilón

Dedico esta tesis agradeciendo a Dios, a mis padres y hermanos por estar siempre brindándome fuerzas de aliento, consejos para poder continuar con una de mis metas, para toda mi familia es esta dedicatoria, ya que gracias a ellos pude culminar este logro y de brindarme el apoyo de poder estudiar en esta dicha universidad.

Oscar Lino Orrillo Carranza

AGRADECIMIENTO

A La universidad Privada del Norte que me dio la bienvenida al mundo estudiantil como tal, las oportunidades que me brindo; por tanto, agradezco a nuestros docentes, asesor y compañeros en general por todos los conocimientos que me otorgo y a la empresa por darnos la oportunidad de realizar nuestro proyecto de investigación.

Orlando Infante Chilón

A mi pilar fundamental la Universidad Privada del Norte, por darme la oportunidad de continuar mis objetivos personales y profesionales, agradezco a todos los docentes y asesor por la dedicación brindada durante este lapso de aprendizaje.

A mi familia por estar siempre en todo momento brindándome su apoyo incondicional y a la empresa, gracias por el apoyo y acceso a la zona que se me brindo para poder realizar este proyecto de investigación.

Oscar Lino Orrillo Carranza

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	7
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	9
CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	15
CAPITULO III: RESULTADOS.....	19
CAPITULO IV: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES.....	65
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Coordenadas UTM WGS 84 de la Calera La Encalada Chim Chim</i>	19
Tabla 2. <i>Vías de acceso a la zona de estudio</i>	20
Tabla 3. <i>Datos Tomados en Campo</i>	23
Tabla 4. <i>Parámetro y rango de valores de la resistencia de la roca intacta de la estación 1</i>	26
Tabla 5. <i>Parámetro y rango de valores de la resistencia de la roca intacta de la estación 2</i>	27
Tabla 6. <i>Parámetro y rango de valores de la resistencia de la roca intacta de la zona de estudio</i>	28
Tabla 7. <i>Parámetro y rango de valores del RQD de la estación 1</i>	29
Tabla 8. <i>Parámetro y rango de valores del RQD de la estación 2</i>	30
Tabla 9. <i>Parámetro y rango de valores del RQD de la estación 3</i>	31
Tabla 10. <i>Parámetro y rango de valores del espaciado de las discontinuidades de la estación 1</i>	32
Tabla 11. <i>Parámetro y rango de valores del espaciado de las discontinuidades de la estación 2</i>	33
Tabla 12. <i>Parámetro y rango de valores del espaciado de las discontinuidades de la estación 3</i>	33
Tabla 13. <i>Parámetro y rango de valores de la longitud de la discontinuidad de la estación 1</i>	34
Tabla 14. <i>Parámetro y rango de valores de la longitud de la discontinuidad de la estación 2</i>	35
Tabla 15. <i>Parámetro y rango de valores de la longitud de la discontinuidad de la zona de estudio</i>	35
Tabla 16. <i>Parámetro y rango de valores de la abertura de la estación 1</i>	36
Tabla 17. <i>Parámetro y rango de valores de la abertura de la estación 2</i>	37
Tabla 18. <i>Parámetro y rango de valores de la abertura de la zona de estudio</i>	38
Tabla 19. <i>Parámetro y rango de valores de la rugosidad de la estación 1</i>	39
Tabla 20. <i>Parámetro y rango de valores de la rugosidad de la estación 2</i>	40
Tabla 21. <i>Parámetro y rango de valores de la rugosidad de la estación 3</i>	41
Tabla 22. <i>Parámetro y rango de valores del relleno de la estación 1</i>	42
Tabla 23. <i>Parámetro y rango de valores del relleno de la estación 2</i>	42
Tabla 24. <i>Parámetro y rango de valores del relleno de la zona de estudio</i>	43
Tabla 25. <i>Parámetro y rango de valores de la alteración de la estación 1</i>	44
Tabla 26. <i>Parámetro y rango de valores de la alteración de la estación 2</i>	45
Tabla 27. <i>Parámetro y rango de valores de la alteración de la zona de estudio</i>	46
Tabla 28. <i>Parámetro y rango de valores del flujo de agua en las juntas en la estación 1</i>	47
Tabla 29. <i>Parámetro y rango de valores del flujo de agua en las juntas en la estación 2</i>	48
Tabla 30. <i>Parámetro y rango de valores del flujo de agua en las juntas en la estación 3</i>	49
Tabla 31. <i>Valores del RMR de la estación 1</i>	50
Tabla 32. <i>Valores del RMR de la estación 2</i>	50
Tabla 33. <i>Valores del RMR de la estación 3</i>	51
Tabla 34. <i>Factor De Ajuste Para Las discontinuidades (Romana, 1985)</i>	55
Tabla 35. <i>Clase de estabilidad según el SMR (Romana, 1985)</i>	56
Tabla 36. <i>Parámetros del SMR Romana 1985 para la estabilidad de taludes de la estación 1</i>	57
Tabla 37. <i>Parámetros del SMR Romana 1985 para la estabilidad de taludes de la estación 2</i>	58
Tabla 38. <i>Parámetros del SMR Romana 1985 para la estabilidad de taludes de la estación 3</i>	59
Tabla 39. <i>Resumen de los resultados de la zona de estudio de la calera la encalada Chim Chim</i>	60

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Plano de ubicación de la zona de estudio.	19
<i>Figura 2.</i> Plano de Accesibilidad de la zona de estudio.	20
<i>Figura 3.</i> Formación Cajamarca.....	21
<i>Figura 4.</i> Proyección estereográfica de las discontinuidades	23
<i>Figura 5.</i> Análisis cinemático de falla de Cuña.....	24
<i>Figura 6.</i> Análisis cinemático de falla de planar	25
<i>Figura 7.</i> Medición de ensayo de carga puntual de la roca de la estación 1	26
<i>Figura 8.</i> Medición del ensayo de carga puntual de la roca de la estación 2.....	27
<i>Figura 9.</i> Medición de resistencia de comprensión simple	28
<i>Figura 10.</i> Medición de la estación 1	29
<i>Figura 11.</i> Identificación del número de juntas del macizo rocoso de la estación 3	31
<i>Figura 12.</i> Midiendo las distancias del espaciado discontinuidades de la estación 1	32
<i>Figura 13.</i> Midiendo la Longitud de las discontinuidades de la estación 1.....	34
<i>Figura 14.</i> Midiendo la abertura de la roca, estación 1	36
<i>Figura 15.</i> Midiendo la abertura de la roca, estación 2	37
<i>Figura 16.</i> Midiendo la abertura de la zona de estudio	38
<i>Figura 17.</i> Rugosidad de la roca de la estación 1	39
<i>Figura 18.</i> Rugosidad de la roca de la estación 2	40
<i>Figura 19.</i> Rugosidad de la roca de la estación 3	41
<i>Figura 20.</i> Midiendo el Relleno de la roca de la estación 3.....	43
<i>Figura 21.</i> Alteración de la roca, estación 1	44
<i>Figura 22.</i> Alteración de la roca, estación 2	45
<i>Figura 23.</i> Alteración de la roca de la estación 3	46
<i>Figura 24.</i> Observando la humedad de la estación 1.....	47
<i>Figura 25.</i> Observando la Humedad de la estación 2.....	48
<i>Figura 26.</i> Observando la humedad de la estación 3.....	49
<i>Figura 27.</i> El eje de la excavación es perpendicular a la dirección de los estratos y se encuentra a favor del buzamiento	51
<i>Figura 28.</i> Calculando el GSI de la estación 1	52
<i>Figura 29.</i> Calculando el GSI de la estación 2.....	53
<i>Figura 30.</i> Calculando el GSI de la estación 3.....	54
<i>Figura 31.</i> Diseño del talud mediante el Slide de la Calera La Encalada Chim Chim.....	61
<i>Figura 32.</i> Diseño del talud corregido de la Calera La Encalada Chim Chim.....	62
<i>Figura 33.</i> Parámetros para identificar el macizo rocoso según Bieniawski (RMR).....	69
<i>Figura 34.</i> Registramos todos los puntos tomados en campo en una tabla de recolección de datos.....	70
<i>Figura 35.</i> Procesamientos de datos tomados en campo para la clasificación del GSI.....	70
<i>Figura 36.</i> Personal usando herramientas para la extracción de la roca	71
<i>Figura 37.</i> Extracción de la caliza	71
<i>Figura 38.</i> Uso de Herramientas a través del personal para chancar la roca	72
<i>Figura 39.</i> Trozos pequeños de la roca caliza con el uso de combas	72
<i>Figura 40.</i> Instrumento de medición de ensayo de carga puntual de la roca caliza	73
<i>Figura 41.</i> Instrumento de medición de la resistencia de comprensión simple de la roca	73
<i>Figura 42.</i> Retiro de la roca caliza del instrumento de medición de comprensión simple	74
<i>Figura 43.</i> Roca hecha pedazos después de ser medido con el instrumento de comprensión simple	74
<i>Figura 44.</i> Tabla de recolección de datos para realizar el mapeo Geomecánico	75
<i>Figura 45.</i> Registro geomecánico para calcular el RMR Y SMR (Excel)	75

ÍNDICE DE ECUACIONES

$RQD = 115 - 3.3 (J_v)$...Ecuación 1	29
$RMR = (1) + (2) + (3) + (4) + (5)$...Ecuación 2.....	50
$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$...Ecuación 3	55

RESUMEN

En la presente investigación presenta el estudio geomecánico para el diseño de la estabilidad de taludes en un sector de la calera La Encalada Chim Chim Chuquipuquio en el distrito de Baños del Inca.

El objetivo Cuál es el diseño más eficiente para la estabilidad de taludes al realizar el estudio geomecánico en la explotación de calizas para la calera la Encalada Chim Chim, Cajamarca. Los macizos rocosos de la calera están compuestos de roca caliza de la Formación Cajamarca donde se realizará tres estaciones geomecánicas.

El estudio de la estabilidad de los taludes, se realizará con la toma de datos descriptivos y mediciones geométricas, donde se usarán tablas geomecánicas del RMR, GSI y SMR, se aplicará, los softwares de Dips v6.0, Slide v6.0., y los ensayos de laboratorio de carga puntual y la resistencia de comprensión simple.

Con los resultados que se obtienen se puede afirmar que existe una inestabilidad en los taludes del macizo rocoso, donde se expone a procesos de gravedad, meteorización y condiciones climatológicas en determinado sector.

Dentro de las recomendaciones que se proponen para la estabilidad de los taludes están: La corrección geométrica, la altura de cada banco del talud debe ser de 6.5 m y un ángulo de 65° y además la construcción de bermas de seguridad.

Palabras clave: Geomecánica, Talud, Macizo Rcoso, Estabilidad.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En nuestro país, pese a la gran cantidad de demanda de rocas no metálicas, las canteras de explotación de calizas no cuentan con un estudio geomecánico menos aun el diseño para la estabilidad de taludes durante su explotación, por lo que se pone en riesgo la estabilidad generando grandes pérdidas económicas.

Actualmente en Cajamarca las canteras de roca caliza para la producción de óxido de calcio, son explotadas, sin ningún criterio técnico y mucho menos se realiza una evaluación geomecánica para un diseño de taludes adecuado, debido a ello, es que estas zonas de operaciones quedan expuestas a posibles deslizamientos que pueden afectar a las zonas aledañas de la calera.

Herrera (2007), argumenta que la estabilidad de los taludes en una explotación a cielo abierto no solamente es un aspecto de fundamental importancia, sino que es una de las claves de la viabilidad del proyecto, su seguridad y su rentabilidad. Es por ello que debe ser analizada desde las etapas iniciales del proyecto y ser controlada y seguida con los datos obtenidos durante la explotación.

Añazco (2017), en su estudio de “caracterización geomecánica y diseño de taludes en la Cantera Calizas Huayco”, realizó la propuesta de diseño de taludes de un sector de la cantera “CALIZAS HUAYCO” mediante la caracterización geomecánica del macizo rocoso y el análisis cinemático de taludes donde los resultados del análisis cinemático de taludes demuestran que, para la geometría del sector de diseño y en base a la caracterización estructural del macizo, existe una mayor probabilidad de falla en

cuña (35%) que falla planar ($< 5\%$), debido fundamentalmente a la variación de la dirección de buzamiento de la estratificación en esta zona.

Tarrillo (2018), en su tesis de “grado de estabilidad de los taludes críticos de la carretera Baños del Inca - Llacanora” presento los resultados de la evaluación de inestabilidad de los taludes ubicados en las progresivas 4+540 m, 4+600 m, 4+840 m, 5+020 m, donde los taludes no son estables ya que en condiciones secas son mayores a 1 ($F.S > 1$) pero con la presencia de agua se vuelven inestables y en caso de sismos estos presentan una falla inminente ($F.S < 1$). Los valores que afectan a la inestabilidad de talud en promedio son: ángulo de fricción: 29.21° y una cohesión de 0.52 kg/cm^2 además de los factores hidrogeológicos.

Villanueva (2018), en su estudio de la “evaluación geotécnica para analizar la inestabilidad de los taludes en la carretera de los km 128 a km 140 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, distrito de San Juan, provincia y departamento de Cajamarca”. Se analizó los taludes de la carretera San Juan – Choropampa comprendida entre el km 128 al km 140; en base a las características geológicas y geotécnicas de los diferentes suelos y rocas, del total de diez taludes analizados, se determinó que: el talud uno, dos, tres, cuatro, cinco y seis son inestables por obtener un factor de seguridad menor a 1.53 considerado para esta investigación según la norma AASHTO LRFD; sin embargo, el talud siete, ocho, nueve y diez presenta un factor de seguridad superior al 1.53 por lo que representan taludes estables, haciendo referencia que se han analizado bajo condiciones estáticas y de obra permanente.

Echeverria (2018), en su tesis de la “Estabilidad de taludes para la explotación y cierre de dos tajos de agregados en el distrito de Palca-Tarma-Junín”, las canteras de minería no metálica presentan problemas de inestabilidad en sus etapas de explotación a corto, mediano y largo plazo, producto de factores desencadenantes como los sismos, movimiento de tierra y otros que durante los laboreos. Se presenta una estabilidad superior a lo mínimo exigido; los cálculos del factor de seguridad obtenido mediante métodos de equilibrio límite dan un factor de seguridad pseudo-estático para condiciones de largo plazo igual a 2.82 y 3.02 respectivamente, el cual es superior a 1.3 requerido para estas condiciones de análisis. Por lo tanto, los taludes de los tajos uno y dos son estables a escala global y no se requiere de la implementación de elementos de sostenimiento en el macizo rocoso.

Alvarado & Villanueva (2019), presentaron la evaluación geomecánica y geotécnica para el diseño de la estabilidad de los taludes de la cantera “Agocucho”, usando las clasificaciones geomecánicas: RMR, SMR Y GSI y uso de los softwares Dips v5.103 y Slide. Al evaluar la estabilidad de los taludes, se obtiene un factor de seguridad de 0.580 lo cual nos dice que es inestable, y al aplicar el nuevo diseño el factor de seguridad se incrementó a 1.926. Mediante la evaluación geomecánica, aplicando los métodos de Bieniawski y Romana se puede observar que existe correlación en los resultados, ya que por Bieniawski la calidad del macizo representada por el RMR = 46 es media y por Romana la calidad del macizo representada por el SMR = 38.5 corresponde a una descripción mala y una condición inestable. Según los resultados de la evaluación el diseño presenta los siguientes parámetros geométricos: 2 bancos de 15 m, altura total = 30 m, ángulo de inclinación de cada banco de la cantera = 45°, bermas = 15 m y plataforma de trabajo = 60 m.

Mamani (2019), presento el análisis de estabilidad de taludes para explotación de cantera de arcilla en el distrito de Paccha, provincia de la Oroya, Junín, tiene por finalidad optimizar la explotación de arcilla y minimizar el volumen de excavación en desmote y prever el factor de seguridad, así como el comportamiento de los taludes, donde el análisis de estabilidad global de los bancos se encuentra estable en condiciones pseudo-estáticas donde determinamos que los bancos de 10 m de altura y un ángulo de 61° tendrá un factor de seguridad de $FS= 1.32$. El análisis de la estabilidad de talud ha sido determinado a partir del resultado de la evaluación geomecánica utilizando el software DIPS, para identificar las principales familias y el tipo de falla, donde se determina que el talud se encuentra parcialmente estable, con probabilidad de falla local por cuña.

Por ello, el análisis de los datos de la geomecánica es de suma importancia para el diseño de la estabilidad durante la explotación de yacimientos no metálicos (canteras). En la calera la Encalada Chim Chim, en el distrito de Baños del Inca, se analizará detalladamente las características del macizo rocoso, esto implica la necesidad de establecer los parámetros geomecánicos del área y proponer el diseño de la estabilidad de los taludes durante su explotación de calizas con la finalidad de mitigar los peligros geológicos existentes, la cual garantice la seguridad de las personas y permite definir el sistema de sostenimiento preliminar de talud.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el diseño más eficiente para la estabilidad de taludes al realizar el estudio geomecánico en la explotación de calizas para la calera la Encalada Chim Chim, Cajamarca 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Proponer el diseño de la estabilidad de taludes en la explotación de calizas al realizar el estudio geomecánico de los macizos rocosos de la calera La Encalada, Chim Chim, Cajamarca.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar las zonas de inestabilidad de la calera la Encalada Chim Chim.
- Elaborar el plano de explotación efectiva de rocas calizas para la calera la Encalada Chim Chim.
- Determinar la calidad de los macizos rocosos usando las clasificaciones de RMR, GSI, SMR.
- Determinar la influencia de la orientación de las estructuras sobre la estabilidad del macizo rocoso.
- Determinar el factor de seguridad antes y después del diseño de la estabilidad de taludes.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El estudio geomecánico permitirá realizar el diseño óptimo para la estabilidad de taludes de la calera La Encalada de Chim Chim, Cajamarca.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Al analizar el macizo rocoso de la calera la Encalada Chim Chim se identificarán zonas con inestabilidad de taludes.
- Al realizar el estudio se podrá determinar el área de explotación efectiva de rocas caliza para la calera la Encalada Chim Chim.
- Al realizar el estudio geomecánico se determinará la calidad de los macizos rocosos.
- La orientación e inclinación de las estructuras en los macizos es desfavorable para la estabilidad de los taludes.
- El factor de seguridad antes del diseño de la estabilidad de los taludes en la cantera es desfavorable. Y luego de elaborar el diseño se tendrá la estabilidad necesaria.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El diseño es no experimental, es el que se realiza sin manipular en forma deliberada ninguna variable. El investigador no sustituye intencionalmente las variables independientes. Se observan los hechos tal y como se presentan en su contexto real y en un tiempo determinado o no, para luego analizarlos. Por lo tanto, en este diseño no se construye una situación específica si no que se observa las que existen. (Santa Palella y Feliberto Martins, 2010, pag.87).

De tipo DESCRIPTIVO, el cual consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. Los resultados de este tipo de investigación se ubican en un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de los conocimientos se refiere. (Arias, 2012, p. 24).

De acuerdo a lo mencionado se tomarán los datos realizando el estudio geomecánico, se hará un análisis y una descripción de las variables relacionadas a la investigación. De igual forma los resultados que se obtendrán a partir de la caracterización geomecánica servirán para el del diseño de la estabilidad de taludes haciendo manipulación de los parámetros geométricos de la calera la Encalada Chim Chim.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Población: El macizo rocoso de la calera La Encalada Chim Chim, Cajamarca.

Muestra: Tres estaciones geomecánicas en la zona de extracción de roca caliza para la producción de cal.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La recolección de información se hará sobre el macizo rocoso de la calera la Encalada, donde se estudiará todos los parámetros geomecánicos. Para ello se utilizó equipos, herramientas, útiles de escritorio y otros instrumentos que son utilizados en trabajos de campo, que sirven para la toma de datos del macizo rocoso para el diseño de estabilidad de los taludes de la calera La Encalada Chim Chim.

Los equipos e instrumentos para la recolección de información para el desarrollo del presente trabajo de investigación son:

- ✓ **Libreta de campo:** toma de datos y para la realización de los diferentes dibujos observados en el campo.
- ✓ **Ficha de observación:** utilizada para la toma de datos de campo de una manera ordenada.
- ✓ **Brújula:** este instrumento nos será de mucha para la toma de datos, ya que nos va a servir para sacar nuestro rumbo y buzamiento de las estructuras geológicas como: fallas, estratos, fracturas, entre otros.
- ✓ **Flexómetro:** utilizado para la medición de longitudes en el trabajo de campo.
- ✓ **Picota de geólogo:** instrumento utilizado para extracción de muestras en cada salida de campo.
- ✓ **Sistema de Posicionamiento Global (GPS):** utilizado para la ubicación en el lugar de la toma de datos, las lecturas tomadas son las desde el inicio del sector en estudio hasta el final del mismo.
- ✓ **Softwares:** ArcGis v 10.6, Dips y Slide, usados para crear planos, determinar el tipo de falla y diseñar la estabilidad del talud.

2.4. Procedimiento

Para la elaboración del trabajo de investigación, se va realizar de acuerdo al procedimiento siguiente:

✓ **Etapa de pre campo**

En esta fase de la investigación se elabora un plan de trabajo estratégico y cronológicamente organizado con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados en el trabajo de investigación. En esta etapa hacemos la investigación bibliográfica sobre trabajos similares y revisión de imágenes satelitales de la zona de trabajo.

✓ **Etapa de Campo**

Estudio geomecánico

El trabajo se desarrollará en un sector estudiado, para lo cual se realizará tres estaciones geomecánicas, donde se recolectarán los datos correspondientes para realizar el mapeo geomecánico, clasificar el macizo rocoso y obtener el valor del RMR, GSI y SMR para la estación estudiada. Para ello se manejará fichas de campo y cuadros de clasificación.

Clasificación de Bieniawski del RMR

El parámetro que define la clasificación es denominado índice RMR, que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.
2. RQD
3. Espaciado de las discontinuidades
4. Estado de las discontinuidades
5. Presencia de agua

Clasificación de Hoek y Brown (GSI)

Hoek et al, (1995) han propuesto un índice geológico de resistencia, GSI que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y las características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades.

✓ Etapa de gabinete

Procesamiento de Datos

Para ello toda la data de campo se estudiará, analizará y luego procesarla, los resultados plasmados en tablas, figuras y planos.

Los datos tomados en cada estación geomecánica, todos estos anotados en la ficha de registro geológico geotécnico como: Coordenadas UTM, cota, formación geológica, la meteorización, grado de fracturamiento, calidad de la roca (RQD), así como las propiedades de las discontinuidades como: el tipo de discontinuidad o fractura, Dip y Dip direction, espaciado, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, alteración y meteorización; todos estos datos se analizaran para caracterizar el macizo rocoso y obtener el RMR de Bieniawski (1989), SMR, GSI de cada estación geomecánica.

Con la ayuda del software DIPS, se obtendrá la proyección estereográfica, la concentración de polos y el tipo de falla predominante. Para realizar el diseño de estabilidad de los taludes se realizará utilizando el software de análisis Slide v.6.0.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

Se ubica en el departamento de Cajamarca, distrito de los Baños del Inca en el km 16.5, centro poblado de Chim Chim Chuquipuquio.

Tabla 1

Coordenadas UTM WGS 84 de la calera La Encalada Chim Chim

Vértices	Norte	Este
1	9 210 300	785 600
2	9 210 100	785 650
3	9 210 100	785 400
4	9 210 300	785 450

Fuente: Elaboración Propia, 2019

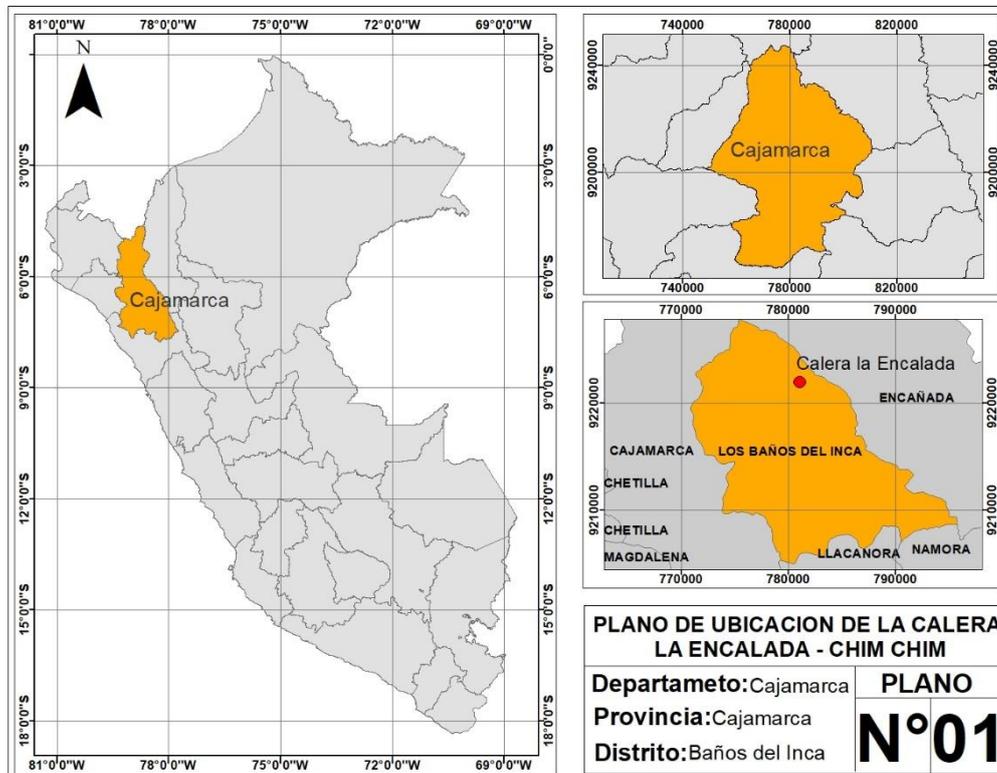


Figura 1. Plano de ubicación de la zona de estudio.

3.1.2. Accesibilidad

Para llegar a la calera la Encalada Chim Chim, lo hacemos mediante tramos, primero se inicia en la ciudad de Cajamarca hasta la escuela Chim Chim Chuquipuquio carretera a la Encañada, y luego por una trocha con dirección a la calera.

Tabla 2

Vías de acceso a la zona de estudio

TRAMO	DISTANCIA (km)	TIEMPO (Horas/min)	TIPO DE VÍA
Cajamarca – Baños del Inca	6 km	20 min	Carretera asfaltada
Baños del Inca – Chim Chim Chuquipuquio	16.5 km	20 min	Carretera asfaltada
Chim Chim Chuquipuquio - Calera	2.5 km	10 min	Trocha

Fuente: Elaboración Propia, 2019

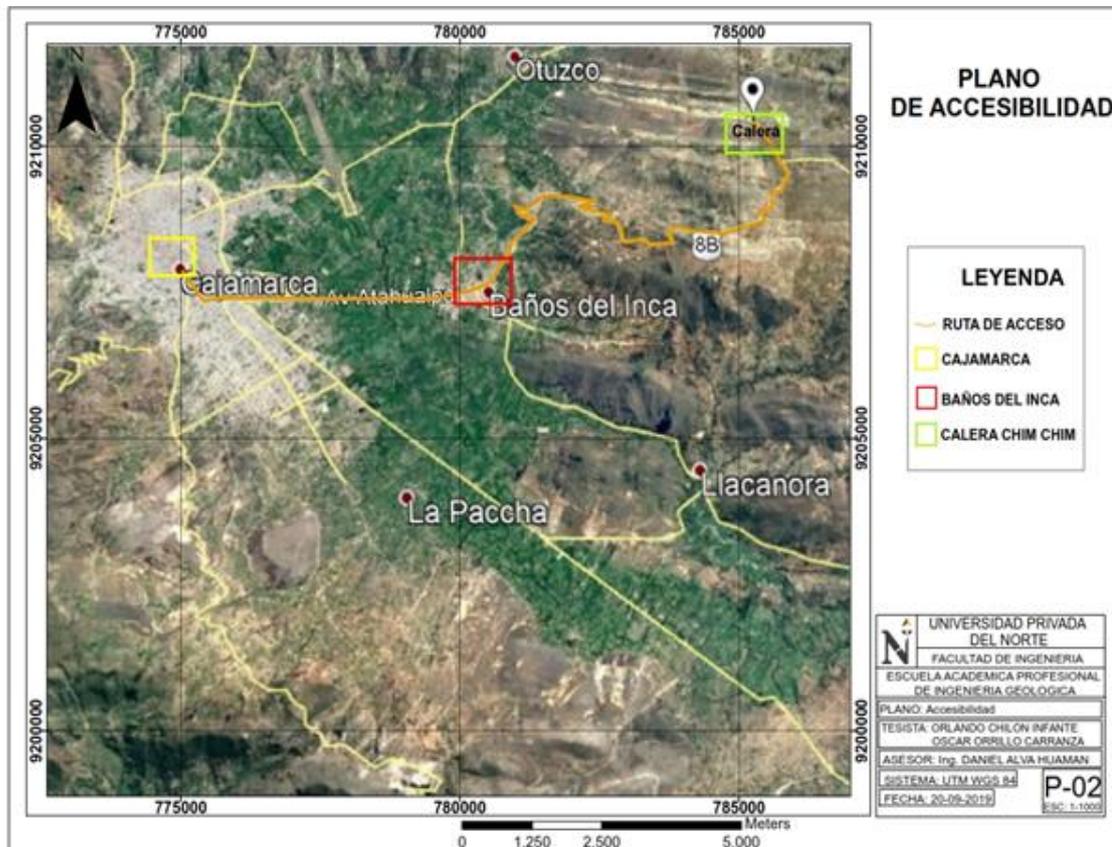


Figura 2. Plano de Accesibilidad de la zona de estudio.

3.1.3. GEOLOGÍA

La geología de la calera la Encalada Chim Chim está conformada por rocas del Cretácico Superior siendo la más representativa la Formación Cajamarca que conforma calizas grises oscuras y margas.

FORMACIÓN CAJAMARCA (Ks - ca)

Esta Formación consiste de calizas gris oscuras o azuladas, con delgados lechos de lutitas y margas. Las calizas se presentan en bancos gruesos con escasos fósiles.

Esta formación yace concordantemente sobre la Formación Quilquiñán y con la misma relación infrayace a la Formación Celendín. Su grosor varía entre los 600 y 700 m.

Edad y correlación. - el *Coilopoceras neweli* asigna a la Formación Cajamarca la edad perteneciente al Turoniano superior. Se correlaciona con la parte superior de la Formación Jumasha, corresponde a la parte inferior de la formación Otuzco. (Cruzado; Crisólogo, 2009, p. 25).



Figura 3. Formación Cajamarca

DEPOSITOS LAGUNARES (Q- Ia)

Los depósitos lagunares se encuentran en diferentes lugares y niveles, dispuestos en bancos sub horizontales constituidos por material fino areno-arcilloso, a los que algunas veces se intercalan gravas y delgados conglomerados. Estos depósitos se hallan en la Pampa de la Culebra, Pampa de Polloc, entre Cajamarca y Baños del Inca, Namora, Matara, Ichocán- San Marcos. (Cruzado; Crisólogo, 2009, p. 36).

EXPLOTACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO

Se extrae la roca caliza desde mismo lugar para luego ser transportado a un horno de 7 m de profundidad, para que esta se funda con ayuda del carbón a 1500 °C y se convierta en cal viva para el uso en el campo de minería, cemento. La explotación de la roca se realiza a tajo abierto.

La roca extraída se realiza con el personal capacitado; lo cual, emplean: palas, carretilla, comba, barretas y explosivos.

La caliza es partida en varios pedazos mediante una comba en donde es carreado a una carretilla y esta será transportada al horno para ser fundido mediante el uso de carbón antracita y con dicha temperatura esta será ser transformado en cal viva.

3.2. Análisis con el software Dips

Para este análisis con el software se suele trabajar con los polos de los planos, es decir, con la proyección estereográfica de la recta normal al plano, de manera de facilitar la definición de sets estructurales (orientaciones preferenciales de estructuras y planos), donde el software se encarga de proyectar planos y estructuras tomando como base los datos de sus orientaciones respectivas.

Tabla 3

Datos Tomados en Campo

PUNTO	DIP	DIP DIR
1	89	196
2	88	195
3	87	186
4	86	185
5	70	188
6	65	185
7	87	205
8	89	120
9	73	255
10	89	206
11	85	194
12	87	201

Fuente: Elaboración Propia, 2019

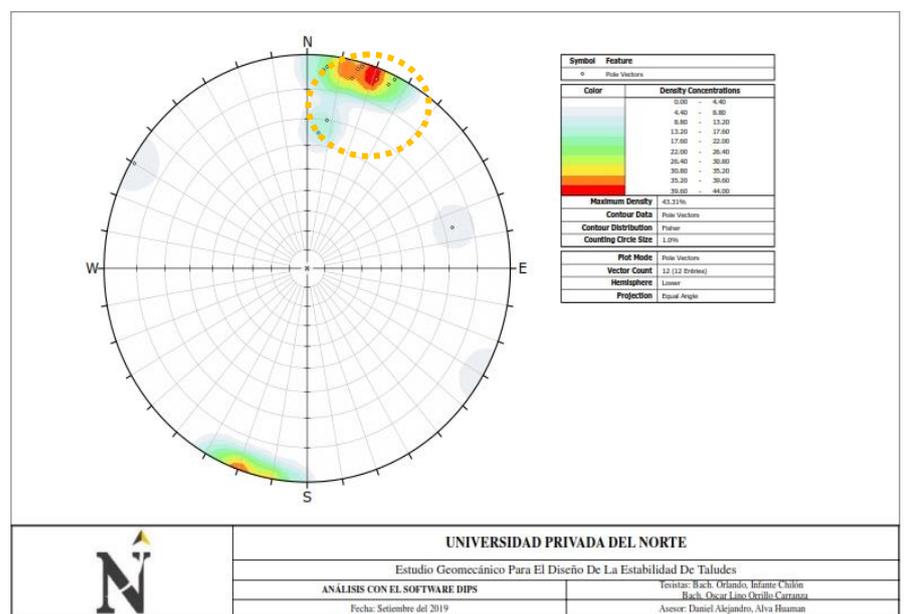


Figura 4. Proyección estereográfica de las discontinuidades

Interpretación: Se puede observar que la mayor concentración de esfuerzos se encuentra al Noreste.

3.2.1. Análisis cinemático de la calera La Encalada Chim Chim

Falla por Cuña

La rotura en cuña es un tipo de deslizamiento trasnacional que está controlado por dos o más discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, etc). Este tipo de deslizamientos generalmente se dan en macizos rocos 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.

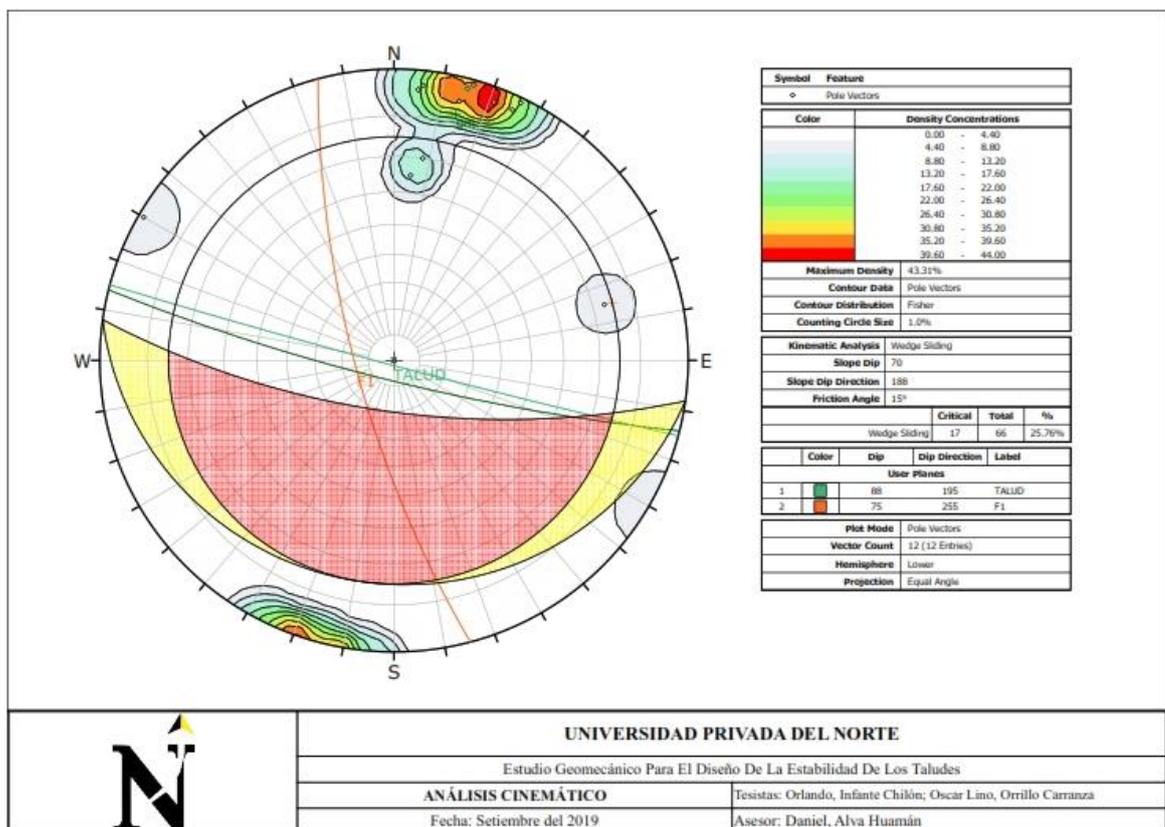


Figura 5. Análisis cinemático de falla de Cuña

La probabilidad de que el talud falle es de un 25.76%, ya que la parte de color rojo sombreada es la zona crítica en la cual, formaran cuñas y generaran la inestabilidad del talud.

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. En la Figura 6 se muestra esquemáticamente este tipo de rotura.

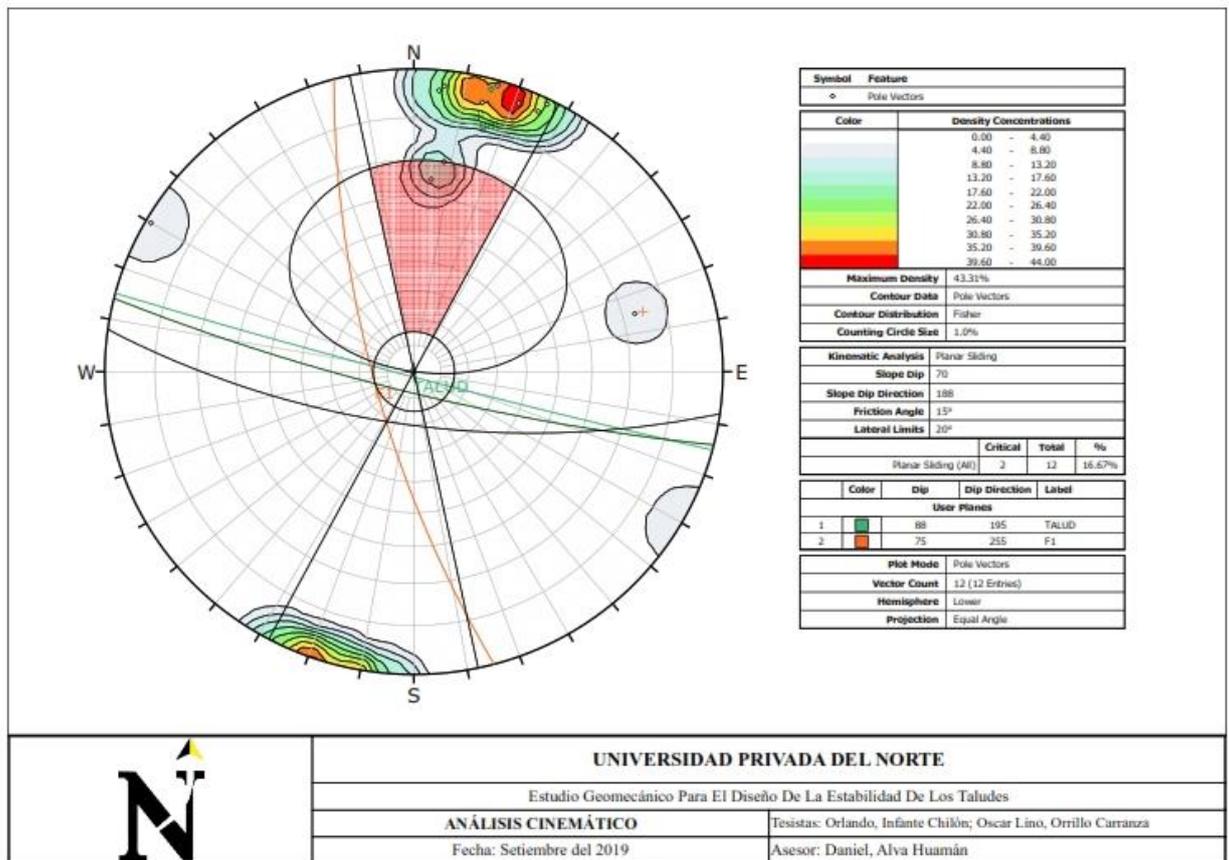


Figura 6. Análisis cinemático de falla de planar

La probabilidad de que el talud falle es de un 16.67%, ya que la parte de color rojo es la zona crítica en la cual, se encuentra un polo muy cercano el cual generaría la inestabilidad del talud.

3.3. PARÁMETROS PARA LA CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (BIENIAWSKI 1989)

3.3.1. PRIMER PARÁMETRO: resistencia de la roca intacta

✓ Estación 1

Interpretación: En el ensayo de carga puntual de laboratorio de la estación 1 se obtuvo una resistencia de 1.06 MPa, lo cual tiene una valoración de 4.

Tabla 4

Parámetro y rango de valores de la resistencia de la roca intacta de la estación 1

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE								
ESTACIÓN 1								
RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	ENSAYO CARGA PUNTUAL	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	COMPRESIÓN SIMPLE(MPa)		
	COMPRESIÓN SIMPLE	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	SERIE	Nº:12011940						
VALOR		15	12	7	4	2	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 7. Medición de ensayo de carga puntual de la roca de la estación 1

✓ Estación 2

Interpretación: En el ensayo de carga puntual de laboratorio de la estación 2 se obtuvo una resistencia de 1.10 MPa lo cual tiene una valoración de 4.

Tabla 5

Parámetro y rango de valores de la resistencia de la roca intacta de la estación 2

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE								
ESTACIÓN 2								
RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	ENSAYO CARGA PUNTUAL	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	COMPRESIÓN SIMPLE(MPa)		
	COMPRESIÓN SIMPLE	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	SERIE	Nº:12011940						
VALOR		15	12	7	4	2	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 8. Medición del ensayo de carga puntual de la roca de la estación 2

✓ Estación 3

Interpretación:

- En el ensayo de carga puntual de laboratorio de la estación 1 se obtuvo una resistencia de 1.08 MPa, lo cual tiene una valoración de 4.
- En la resistencia compresión simple se obtuvo un valor de 33.73 MPa, que se encuentra entre rango de 25 a 50 MPa y tiene una valoración de 4.

Tabla 6

Parámetro y rango de valores de la resistencia de la roca intacta de la zona de estudio

UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE								
ESTACIÓN 1								
RESISTENCIA DE LA ROCA INTACTA	ENSAYO CARGA PUNTUAL	<10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	COMPRESIÓN SIMPLE(MPa)		
	COMPRESIÓN SIMPLE	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
SERIE N°:12011940								
VALOR		15	12	7	4	2	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 9. Medición de resistencia de compresión simple

3.3.2. SEGUNDO PARÁMETRO, RQD

✓ Estación 1

Interpretación: El valor obtenido es de 68.8, se encuentra entre el rango 50 a 75 que corresponde a una calidad es Regular.

Tabla 7

Parámetro y rango de valores del RQD de la estación 1

RQD (%)	90%- 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%
CALIDAD	Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala
VALOR	20	17	13	6	3

Fuente: Bieniawski,1989

Se usa la siguiente formula del

$$\mathbf{RQD = 115 - 3.3 (J_v)...Ecuación 1}$$

donde J_v es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso.

Calculamos el RQD para la estación 1

$$RQD = 115 - (3.3 (14))$$

$$RQD = 68.8 \%, \text{ Calidad regular}$$



Figura 10. Medición de la estación 1

✓ Estación 2

Interpretación: El valor obtenido es de 62.2, se encuentra entre el rango 50 a 75 que corresponde a una calidad es Regular.

Tabla 8

Parámetro y rango de valores del RQD de la estación 2

RQD (%)	90%- 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%
CALIDAD	Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala
VALOR	20	17	13	6	3

Fuente: Bieniawski,1989

Calculamos el RQD para la estación 2

Se usa la siguiente formula del

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 (\text{Jv})$$

donde Jv es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso.

$$\text{RQD} = 115 - (3.3 (16))$$

$$\text{RQD} = 62.2 \%, \text{ Calidad Regular}$$

✓ Estación 3

Interpretación: El valor obtenido es de 42.4, se encuentra entre el rango 50 a 75 que corresponde a una calidad es Mala.

Tabla 9

Parámetro y rango de valores del RQD de la zona de estudio

RQD (%)	90%- 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	<25%
CALIDAD	Excelente	Buena	Regular	Mala	Muy mala
VALOR	20	17	13	6	3

Fuente: Bieniawski,1989

Calculamos el RQD de la zona de estudio de la estación 3

$$\text{RQD} = 115 - 3.3 (\text{Jv})$$

$$\text{RQD} = 115 - (3.3 (22))$$

$$\text{RQD} = 42.4 \%, \text{ Calidad Mala}$$



Figura 11. Identificación del número de juntas del macizo rocoso de la estación 3

3.3.3. TERCER PARÁMETRO: Espaciado de las discontinuidades

✓ Estación 1

Interpretación: El espaciado de las discontinuidades es de 12 cm y tiene un valor de 8.

Tabla 10

Parámetro y rango de valores del espaciado de las discontinuidades de la estación 1

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

Fuente: Bieniawski,1989



Figura 12. Midiendo las distancias del espaciado discontinuidades de la estación 1

✓ Estación 2

Interpretación: El espaciado de las discontinuidades es de 76 cm y tiene un valor de 15.

Tabla 11

Parámetro y rango de valores del espaciado de las discontinuidades de la estación 2

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

Fuente: Bieniawski,1989

✓ Estación 3

Interpretación: El espaciado de las discontinuidades es de 45 cm y tiene un valor de 10.

Tabla 12

Parámetro y rango de valores del espaciado de las discontinuidades de la zona de estudio

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

Fuente: Bieniawski,1989

3.3.4. CUARTO PARÁMETRO: Estado de las discontinuidades.

3.3.4.1. LONGITUD

✓ Estación 1

Interpretación: La longitud de la discontinuidad es de 70 cm y tiene un valor de 6.

Tabla 13

Parámetro y rango de valores de la longitud de la discontinuidad de la estación 1

LONGITUD DE LA DISCONTINUIDAD	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
VALOR	6	4	2	1	0

Fuente: Bieniawski,1989



Figura 13. Midiendo la Longitud de las discontinuidades de la estación 1

✓ Estación 2

Interpretación: La longitud de la discontinuidad es de 35 cm y tiene un valor de 6.

Tabla 14

Parámetro y rango de valores de la longitud de la discontinuidad de la estación 2

LONGITUD DE LA DISCONTINUIDAD	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
VALOR	6	4	2	1	0

Fuente: Bieniawski,1989

✓ Estación 3

Interpretación: La longitud de la discontinuidad es de 1.60 y tiene un valor de 4.

Tabla 15

Parámetro y rango de valores de la longitud de la discontinuidad de la zona de estudio

LONGITUD DE LA DISCONTINUIDAD	<1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	>20 m
VALOR	6	4	2	1	0

Fuente: Bieniawski,1989

3.3.4.2. ABERTURA

✓ Estación 1

Interpretación: La abertura de la estación 1 tiene una dimensión 3 mm y un valor que equivale a 1.

Tabla 16

Parámetro y rango de valores de la abertura de la estación 1

ABERTURA	Nada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski,1989



Figura 14. Midiendo la abertura de la roca, estación 1

✓ Estación 2.

Interpretación: La abertura de la estación 2 tiene una dimensión de 5 mm y un valor que equivale a 1.

Tabla 17

Parámetro y rango de valores de la abertura de la estación 2

ABERTURA	Nada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 15. Midiendo la abertura de la roca, estación 2

✓ Estación 3

Interpretación: La abertura de la estación 1 tiene una dimensión de 1.8 mm y un valor que equivale a 1.

Tabla 18

Parámetro y rango de valores de la abertura de la zona de estudio

ABERTURA	Nada	<0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	>5 mm
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski,1989



Figura 16. Midiendo la abertura de la zona de estudio

3.3.4.3. RUGOSIDAD

✓ Estación 1.

Interpretación: La rugosidad es ligeramente rugosa y tiene un valor de 3.

Tabla 19

Parámetro y rango de valores de la rugosidad de la estación 1

RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 17. Rugosidad de la roca de la estación 1

✓ Estación 2

Interpretación: La rugosidad es ligeramente rugosa y tiene un valor de 3.

Tabla 20

Parámetro y rango de valores de la rugosidad de la estación 2

RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 18. Rugosidad de la roca de la estación 2

✓ Estación 3.

Interpretación: La rugosidad es rugosa y tiene un valor de 3.

Tabla 21

Parámetro y rango de valores de la rugosidad de la estación 3

RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989

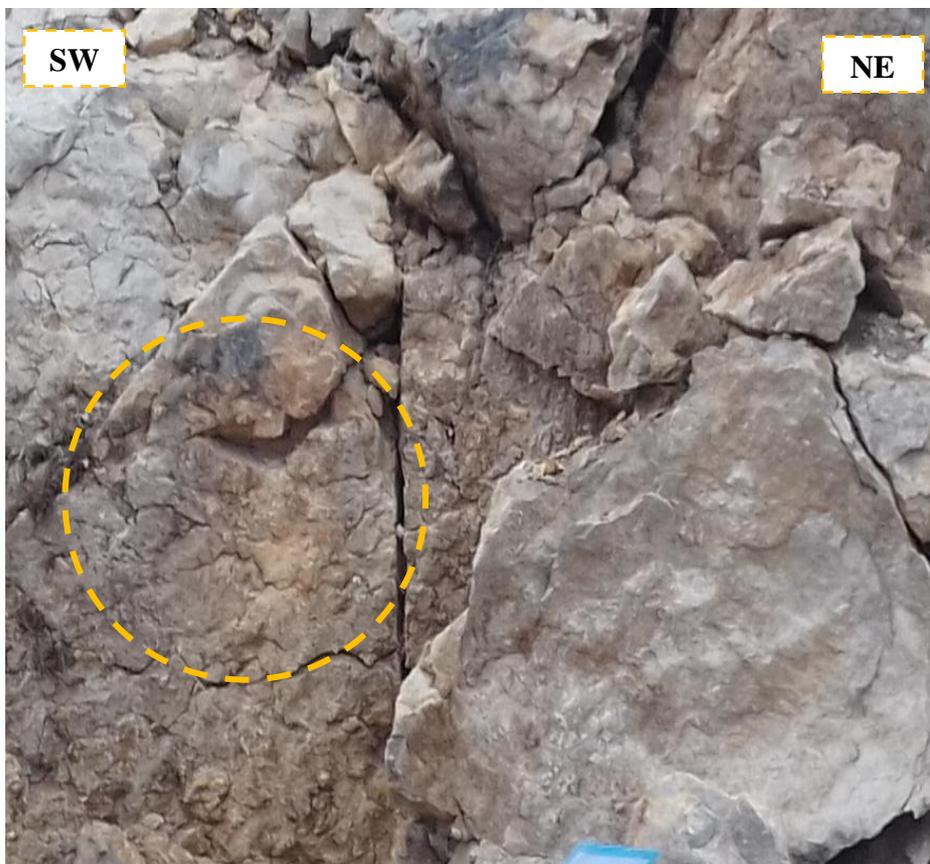


Figura 19. Rugosidad de la roca de la estación 3

3.3.4.4. RELLENO

✓ Estación 1

Interpretación: No contiene relleno y tiene un valor de 6.

Tabla 22

Parámetro y rango de valores del relleno de la estación 1

		Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando
RELLENO	Ninguno	< 5mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
VALOR	6	4	2	2	0

Fuente: Bieniawski,1989

✓ Estación 2

Interpretación: El relleno 10 mm con contenido de margas y tiene un valor de 2

Tabla 23

Parámetro y rango de valores del relleno de la estación 2

		Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando
RELLENO	Ninguno	< 5mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
VALOR	6	4	2	2	0

✓ Estación 3

Interpretación: El relleno 50 mm con contenido de margas y tiene un valor de 2

Tabla 24

Parámetro y rango de valores del relleno de la zona de estudio

		Relleno duro	Relleno duro	Relleno blando	Relleno blando
RELLENO	Ninguno	< 5mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
VALOR	6	4	2	2	0

Fuente: Bieniawski,1989



Figura 20. Midiendo el Relleno de la roca de la estación 3

3.3.4.5. ALTERACIÓN

✓ Estación 1.

Interpretación: La alteración es moderadamente alterada y tiene un valor de 3.

Tabla 25

Parámetro y rango de valores de la alteración de la estación 1

ALTERACIÓN	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 21. Alteración de la roca, estación 1

✓ Estación 2

Interpretación: La alteración es moderadamente alterada y tiene un valor de 3.

Tabla 26

Parámetro y rango de valores de la alteración de la estación 2

ALTERACIÓN	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 22. Alteración de la roca, estación 2

✓ Estación 3

Interpretación: La alteración es moderadamente alterada y tiene un valor de 3.

Tabla 27

Parámetro y rango de valores de la alteración de la zona de estudio

ALTERACIÓN	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
VALOR	6	5	3	1	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 23. Alteración de la roca de la estación 3

SUMAMOS EL TOTAL DEL CUARTO PARÁMETRO (ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES)

- ✓ Estación 1: El valor total es de 19.
- ✓ Estación 2: El valor total es 15.
- ✓ Estación 3: El valor total es 13.

3.3.5. QUINTO PARÁMETRO Flujo de agua de las juntas

✓ Estación 1

Interpretación: El flujo de agua en las juntas tiene un valor de 10 (húmeda).

Tabla 28

Parámetro y rango de valores del flujo de agua en las juntas en la estación 1

FLUJO DE	Relación					
AGUA	Pagua/Pprinc	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
EN LAS	Condiciones	Completamente	Ligeramente	Húmedas	Goteos	Agua
JUNTAS	generales	seca	húmeda			Fluyente
VALOR		15	10	7	4	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 24. Observando la humedad de la estación 1

✓ Estación 2

Interpretación: El flujo de agua en las juntas tiene un valor de 7 (Húmeda)

Tabla 29

Parámetro y rango de valores del flujo de agua en las juntas en la estación 2

FLUJO DE	Relación					
AGUA	Pagua/Pprinc	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
EN LAS	Condiciones	Completamente	Ligeramente	Húmedas	Goteos	Agua
JUNTAS	generales	seca	húmeda			Fluyente
VALOR		15	10	7	4	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 25. Observando la humedad de la estación 2

✓ Estación 3

Interpretación: El flujo de agua en las juntas tiene un valor de 15 (Húmeda).

Tabla 30

Parámetro y rango de valores del flujo de agua en las juntas en la estación 3

FLUJO DE	Relación					
AGUA	Pagua/Pprinc	0	0 – 0.1	0.1 – 0.2	0.2 – 0.5	> 0.5
EN LAS	Condiciones	Completamente	Ligeramente	Húmedas	Goteos	Agua
JUNTAS	generales	seca	húmeda			Fluyente
VALOR		15	10	7	4	0

Fuente: Bieniawski, 1989



Figura 26. Observando la humedad de la estación 3

3.4. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SEGÚN EL RMR

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

$$\text{RMR} = (1) + (2) + (3) + (4) + (5) \dots \text{Ecuación 2}$$

3.4.1. CALCULAMOS EL RMR

✓ Estación 1

$$\text{RMR (89)} = 4 + 13 + 8 + 19 + 7 = 51$$

Tabla 31

Valores del RMR de la estación 1

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
RMR	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20

Fuente: Bieniawski, 1989

Interpretación: El RMR es igual a 51 y se encuentra entre el rango 60 a 41 con Clase III. Por lo tanto, la calidad es regular.

✓ Estación 2

$$\text{RMR (89)} = 4 + 13 + 15 + 15 + 7 = 54$$

Tabla 32

Valores del RMR de la estación 2

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
RMR	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20

Fuente: Bieniawski, 1989

Interpretación: El RMR es igual a 54 y se encuentra entre el rango 60 a 41 con Clase III. Por lo tanto, la calidad es regular.

✓ Estación 3

$$\text{RMR (89)} = 4 + 6 + 10 + 13 + 7$$

$$\text{RMR (89)} = 40$$

Tabla 33

Valores del RMR de la estación 3

CLASE	I	II	III	IV	V
CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala
RMR	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20

Fuente: Bieniawski, 1989

Interpretación: El RMR es igual a 40 y se encuentra entre el rango 40 a 21 con Clase III. Por lo tanto, la calidad es Mala.



Figura 27. El eje de la excavación es perpendicular a la dirección de los estratos y se encuentra a favor del buzamiento

3.5. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SEGÚN EL GSI

✓ Estación 1

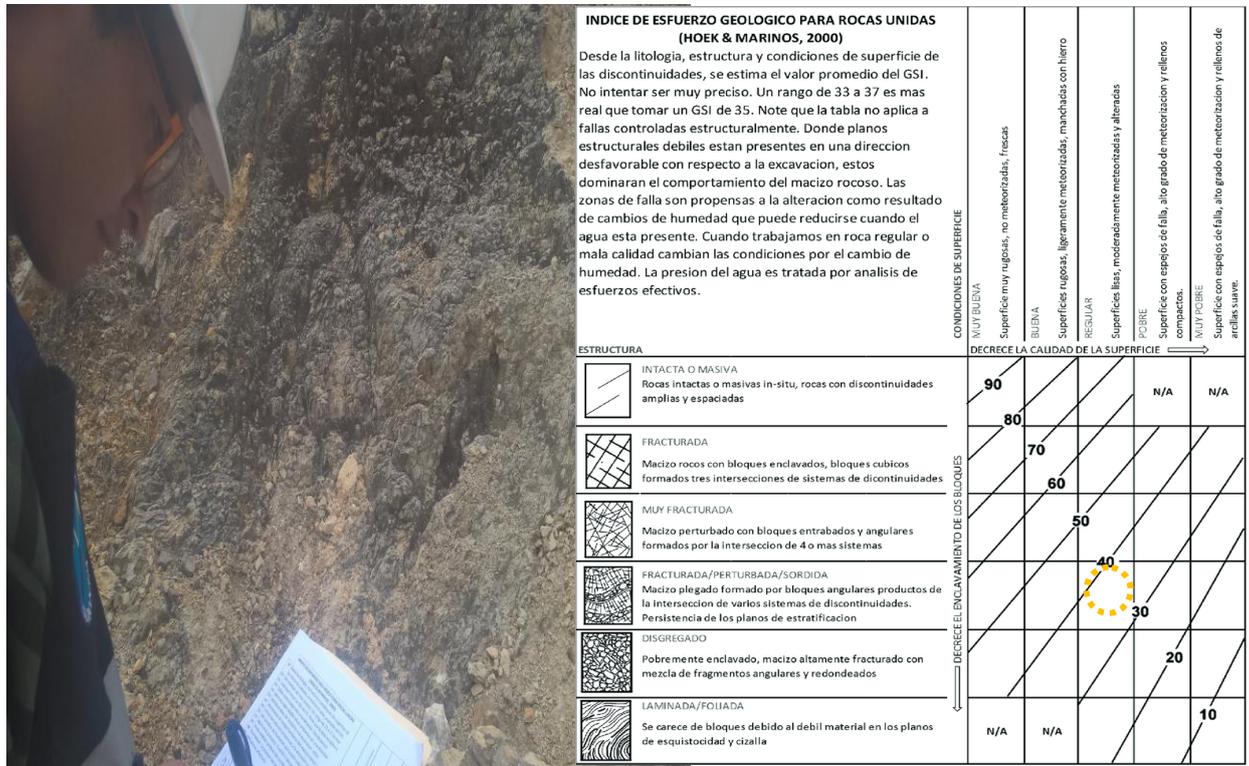


Figura 28. Calculando el GSI de la estación 1

Por lo tanto, obtenemos:

✓ Según su estructura tenemos que es Fracturada/Perturbada/Sordida: macizo plegado formado por bloques angulares productos de la intersección de varios sistemas de discontinuidades.

Persistencia de los planos de estratificación.

✓ Según la condición de superficie es Regular: superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas.

Interpretación: La clasificación geomecánica según el GSI tiene un valor de 38.

✓ Estación 2

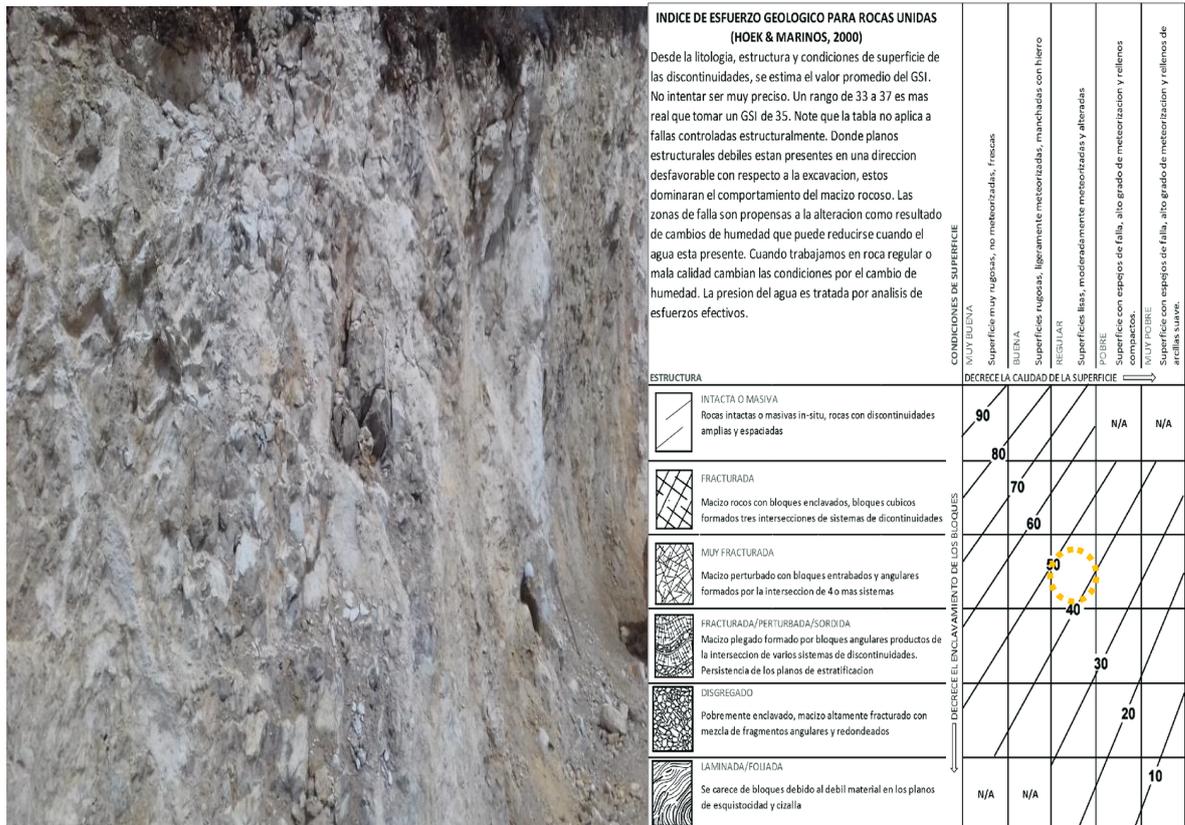


Figura 29. Calculando el GSI de la estación 2

Por lo tanto, obtenemos:

✓ Según su estructura tenemos que es Muy Fracturada: macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la intersección de 4 o más sistemas.

✓ Según la condición de superficie es Regular: superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteras.

Interpretación: La clasificación geomecánica según el GSI tiene un valor de 46.

✓ Estación 3

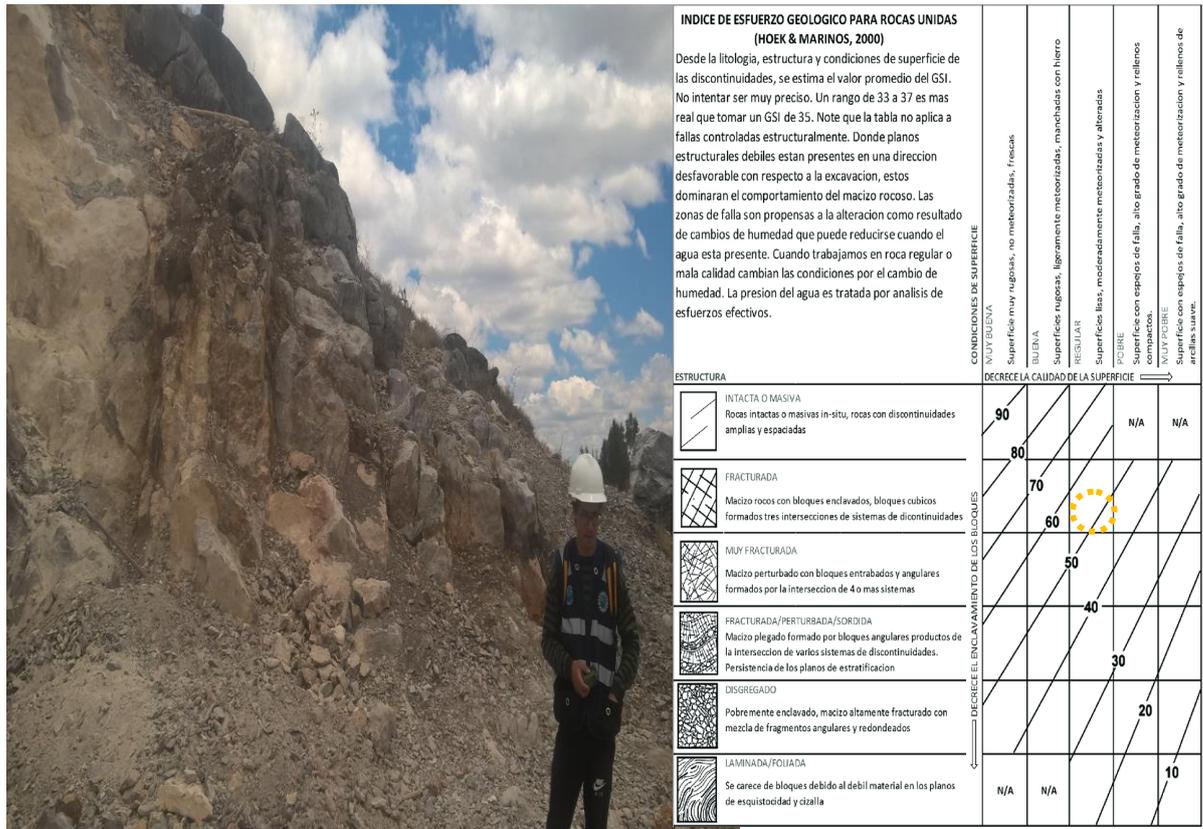


Figura 30. Calculando el GSI de la estación 3

Por lo tanto, obtenemos:

✓ Según su estructura tenemos que es Fracturada: macizo rocoso con bloques enclavadas. Bloques cúbicos formados tres intersecciones de sistema de discontinuidades.

✓ Según la condición de superficie es Regular: superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteras.

Interpretación: La clasificación geomecánica según el GSI tiene un valor de 62

3.5. CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA SEGÚN EL SMR

Permite evaluar la estabilidad de una excavación, el índice SMR incluye cuatro factores de ajuste:

- ✓ **F1:** depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud.
- ✓ **F2:** depende del buzamiento de la discontinuidad en la rotura plana.
- ✓ **F3:** refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud.
- ✓ **F4:** ha sido establecido empíricamente

Su cálculo está definido por la expresión:

$$\text{SMR} = \text{RMR} + (\text{F1} * \text{F2} * \text{F3}) + \text{F4} \dots \text{Ecuación 3}$$

Tabla 34

Factor De Ajuste Para Las discontinuidades (Romana, 1985)

CASO	Muy Favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy Desfavorable
P aj-as					
T aj-as-180°	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
P/T F1	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
bj	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
F2	0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
T F2	1	1	1	1	1
P bj - bs	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (- 10°)	< - 10°
T bj + bs	< 110°	110° - 120°	> 120°	---	---
P/T F3	0	-6	-25	-50	- 60
MÉTODO	Talud Natural	Precorte	Voladura Suave	Exacavación Mecánica	Voladura Deficiente
F4	15	10	8	0	-8

Fuente: SMR, (Romana, 1985)

En donde:

P: rotura plana

T: rotura por vuelco

bj: buzamiento de las juntas = 89°

bs: buzamiento del talud = 75°

aj: dirección de buzamiento de las juntas = 125°

as: dirección de buzamiento del talud = 160°

Tabla 35

Clase de estabilidad según el SMR (Romana, 1985)

Clase N°	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 - 100
Descripción	Muy Mala	Mala	Normal	Buena	Muy Buena
Estabilidad	Totalmente Inestable	Inestable	Parcialmente Estable	Estable	Totalmente Estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por la masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas Juntas	Algunos Bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Fuente: SMR, (Romana, 1985)

3.5.1. CALCULAMOS EL SMR

✓ Estación 1

CALCULAMOS F1

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

$$F1 = [1 - \sin(103^\circ - 99^\circ)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(4)]^2$$

$$F1 = 0,86$$

CALCULAMOS EL F2

β_j : es el buzamiento de la discontinuidad

$$\beta_j = N 75^\circ E$$

$$F2 = \text{tg}^2(\beta_j)$$

$$F2 = \text{tg}^2(75^\circ)$$

$$F2 = 1$$

CALCULAMOS F3

$$F3 = -25$$

CALCULAMOS F4

$$F4 = 0$$

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

$$SMR = 51 + [0.86 \times 1 \times (-25)] + 0$$

$$SMR = 29.5$$

El valor del SMR = 29.5 nos da Clase N° IV de macizo rocoso correspondiente a una Descripción de Mala y una Estabilidad de Inestable.

Tabla 36

Parámetros del SMR Romana 1985 para la estabilidad de taludes de la estación 1

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

Fuente: SMR, (Romana, 1985)

✓ Estación 2

CALCULAMOS F1

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

$$F1 = [1 - \sin(155^\circ - 130^\circ)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(25)]^2$$

$$F1 = 0,82$$

CALCULAMOS EL F2

β_j : es el buzamiento de la discontinuidad

$$\beta_j = N 49^\circ E$$

$$F2 = \text{tg}^2(\beta_j)$$

$$F2 = \text{tg}^2(85^\circ)$$

$$F2 = 0.47$$

CALCULAMOS F3

$$F3 = - 25$$

CALCULAMOS F4

$$F4 = + 0$$

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

$$SMR = 54 + [0.82 * 0.47 * (-25)] + 0$$

$$SMR = 44.36$$

El valor del SMR = 44.36 nos da Clase N° III de macizo rocoso correspondiente a una Descripción de Normal y una Estabilidad de Parcialmente estable.

Tabla 37

Parámetros del SMR Romana 1985 para la estabilidad de taludes de la estación 2

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

Fuente: SMR, (Romana, 1985)

✓ Estación 3

CALCULAMOS F1

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

$$F1 = [1 - \sin(160^\circ - 125^\circ)]^2$$

$$F1 = [1 - \sin(25^\circ)]^2$$

$$F1 = 0,67$$

CALCULAMOS EL F2

β_j : es el buzamiento de la discontinuidad

$$\beta_j = N^\circ E$$

$$F2 = \text{tg}^2(\beta_j)$$

$$F2 = \text{tg}^2(75^\circ)$$

$$F2 = 1$$

CALCULAMOS F3

$$F3 = -25$$

CALCULAMOS F4

$$F4 = +8$$

$$SMR = RMR + (F1 * F2 * F3) + F4$$

$$SMR = 40 + [0.67 * 1 * (-25)] + 8$$

$$SMR = 31.25$$

El valor del SMR = 31.25 nos da Clase N° IV de macizo rocoso correspondiente a una

Descripción de Mala y una Estabilidad de Inestable.

Tabla 38

Parámetros del SMR Romana 1985 para la estabilidad de taludes de la estación 3

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

Fuente: SMR, (Romana, 1985)

RESUMEN DE RESULTADOS

En esta tabla se detalla todos los datos sacados en campo de las tres estaciones y los cálculos respectivos usando las diferentes clasificaciones geomecánicas como el RQD, RMR, GSI y SMR.

Tabla 39

Resumen de los resultados de la zona de estudio de la calera la encalada Chim Chim

ANÁLISIS	DESCRIPCIÓN	RESULTADOS		
RQD	Calidad de la roca regular	E1: 68.8 %	E2: 62.2 %	E3: 42.4%
RMR	Calidad regular, Clase III	E1: 51	E2: 54	E3: 40
GSI	Según su estructura:	Fractura/Perturbada	Muy Fracturada	Fracturada
	Según la condición:	Regular	Regular	Regular
SMR	Mala, Inestable	E1: 29.5	E2: 44.36	E3: 31.25

Fuente: Elaboración Propia, 2019

3.6. Análisis del talud actual de la calera la Encalada Chim Chim

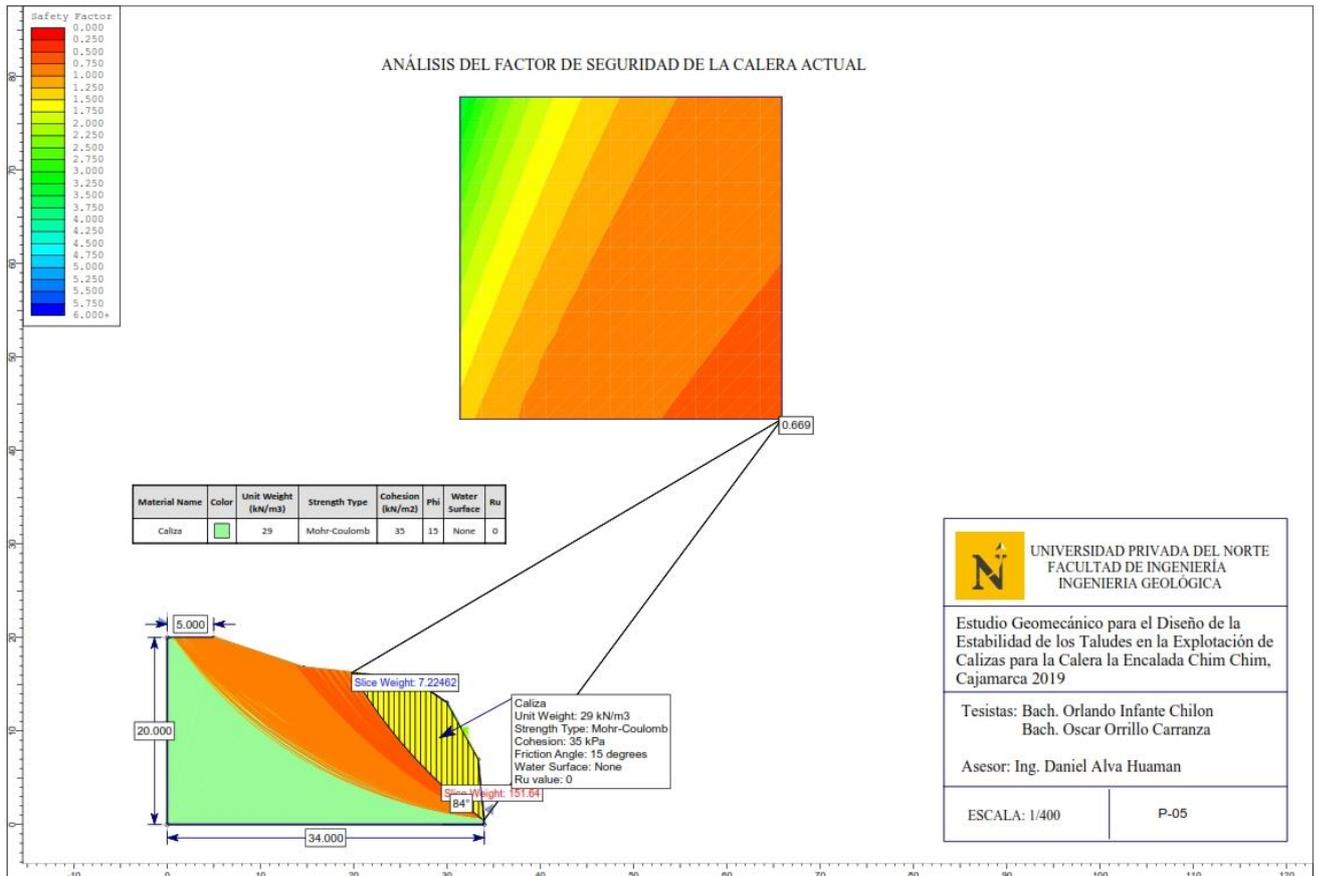


Figura 31. Análisis del talud actual mediante el Slide de la Calera La Encalada Chim Chim

Según el análisis actual de estabilidad para la explotación de caliza de la calera la Encalada Chim Chim está conformado por los siguientes elementos:

- ❖ Altura= 20 m.
- ❖ Ángulo de talud de trabajo = 84°
- ❖ Berma = 5 m.
- ❖ Plataformas de trabajo = 34 m.
- ❖ Factor de seguridad = 0.669.

Interpretación: El factor seguridad de la calera tiene un valor 0.669 y por lo tanto es inestable.

3.7. Diseño del talud para la explotación de calizas

Los parámetros que configuran la propuesta de diseño geométrico para la zona de estudio de la calera, se han desarrollado con el fin de maximizar de manera más eficiente y segura el talud y hacia el personal que trabaja.

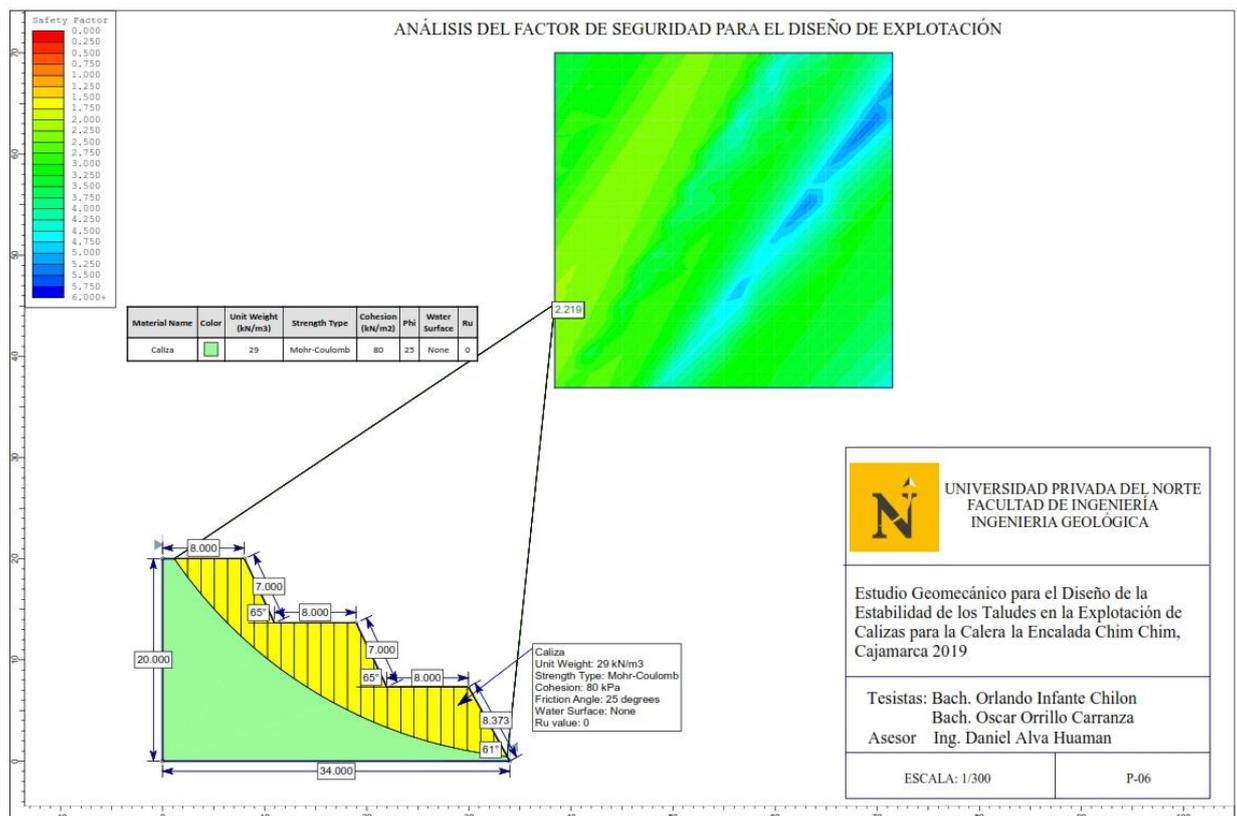


Figura 32. Diseño del talud corregido de la Calera La Encalada Chim Chim

- ❖ 3 Bancos = 6.5 m.
- ❖ Altura = 20 m
- ❖ Ángulo de los bancos = 65°
- ❖ Bermas = 8 m.
- ❖ Plataforma de trabajo = 34 m.
- ❖ Factor de seguridad = 2.151

Interpretación: El factor de seguridad del talud modificado tiene un valor de 2.219, por lo tanto, es estable.

3.8. TÉCNICAS DE MITIGACIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD

Después de realizar el estudio geomecánico y el análisis de estabilidad de los taludes, donde el talud analizado en la calera “La Encalada Chim Chim”, es inestable, y esto genere desprendimientos de roca debido a factores geológicos.

Para evitar que esto ocurra se proponen las siguientes técnicas de mitigación para la estabilización:

✓ Corrección de la Geometría del talud

El talud analizado posee un ángulo y una altura diferente. Aspecto que produce inestabilidad de pequeños bloques. Por lo que se realizó un análisis y se confirmó los parámetros geométricos. Mediante la medición de la geometría de los taludes se logra redistribuir las fuerzas debido al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable.

❖ Abatimiento o cambio de pendiente del talud

El abatimiento del talud sería la modificación de su pendiente con el fin de lograr que esta sea menor para aumentar su estabilidad.

✓ Empleo de Bermas del talud.

Se debe considerar a la berma de seguridad, una pendiente invertida para permitir el drenaje del agua y evitar que la misma corra por la cresta del talud hacia otras bermas y produzca la erosión del macizo y la formación de grietas.

La berma ayuda a la estabilización de un talud, donde va cumplir la función de detener pequeños derrumbes y caídas que pueden llegar a presentar en el talud, por lo que esta medida impide además la acumulación del agua en las plataformas de trabajo.

✓ **Protección de la superficie**

Para la protección de la superficie o revestimiento del talud, se utilizará para la prevención y protección de erosión en los mismos, protegiendo sus zonas críticas y cumpliendo las funciones de disminución de la infiltración y mantenimiento del suelo en condiciones estables de humedad.

A continuación, se describen las principales prácticas de protección de la superficie de un talud utilizadas para tal fin:

❖ **Geosintéticos**

En general, son elementos planos y flexibles que se acomodan y adhieren a la superficie del terreno, evitando que el agua y el entren directamente en contacto con el suelo y provoquen erosiones, donde se usara un tipo de geosintético llamado biomanta.

- **Biomantas.** En estos casos son requeridas soluciones que no solamente permitan el desarrollo de la vegetación, sino que desaparezcan después de que la superficie del talud se haya estabilizado, será producido con fibra de coco u otras fibras naturales.

❖ **Redes de Alta Resistencia**

Son revestimientos que funcionan como protección ante la caída de rocas en taludes rocosos. En estas intervenciones, es necesario el máximo nivel de seguridad, siendo que cualquier desprendimiento puede afectar seriamente bienes y personas. En estos casos se exigen materiales de alta resistencia y que al mismo tiempo sean flexibles para que puedan acompañar y adherirse a la superficie del talud

Las inspecciones y los saneos deben realizarse de forma sistemática en los siguientes casos:

- ✓ Después de lluvias o heladas.
- ✓ Cuando se haya producido el desprendimiento de masas considerables de roca.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Existen varios puntos que sobre el aspecto geomecánico son importantes puntualizar. Al realizar la clasificación y caracterización de los macizos rocosos contenidos en las tres estaciones de la calera La Encalada Chim Chim, todos los criterios aplicados (RMR, GSI y SMR) coinciden que está ante una roca de calidad regular a mala lo que se traduce a que existe una alta vulnerabilidad a que ocurran procesos de inestabilidad o falla en los cortes realizados.

En el talud de la zona geomecánica, presenta en la parte superior del último nivel de meteorización, llegando incluso a deslizarse grandes bloques de rocas, donde se determinará el diseño de la estabilidad de los taludes en la explotación de las calizas para la calera.

Por su parte, el talud presenta hacia su extremo noreste importantes evidencias de falla de cuña a lo largo del talud, controlado por familias de diaclasas y la foliación general.

Mediante el estudio geomecánico de Alvarado & Villanueva, aplicando los métodos de Bieniawski y Romana se puede observar que existe correlación en los resultados, correspondiente a una descripción de regular y una condición inestable.

4.2. Conclusiones

- ❖ Los macizos rocosos de la calera La Encalada Chim Chim se clasifican ingenierilmente como:
 - a. El RQD en la zona de estudio pertenece a una calidad geomécanica regular.
 - b. Según RMR se determinó la clase del macizo rocoso que pertenece a la clase número III con una calidad regular.
 - c. La evaluación del GSI, según su estructura los macizos rocosos son de clase Fracturada/perturbada, y según las condiciones de superficie es regular.
- ❖ El modelo geomecánico fue estudiado mediante tres métodos de clasificación, el RMR, GSI y SMR, cada sistema tiene sus propios criterios para clasificar a los macizos rocosos.
- ❖ Según la clasificación geomecánica de SMR resultan que el talud de la calera es inestable.
- ❖ Al evaluar la estabilidad de los taludes, se obtiene un factor de seguridad de 0.669 lo cual nos dice que es inestable, y al aplicar el nuevo diseño el factor de seguridad es 2.219 lo cual nos indica que es estable y tendrá una mayor seguridad para el personal que trabaja.
- ❖ Según los resultados de del estudio geomecánico para el diseño del talud se presenta los siguientes parámetros geométricos: 3 bancos de 6.5 m, altura total = 20 m, ángulo de inclinación de cada banco de la calera = 65° , bermas = 8 m y plataforma de trabajo = 34 m que permiten una estabilidad temporal durante la operación.

REFERENCIAS

- Alberti J., Canales R., y Elizabeth B. (2006). Técnicas De Mitigación Para El Control De Deslizamientos En Taludes Y Su Aplicación A Un Caso Específico.
- Añazco, L. (2017). Caracterización Geomecánica y Diseño de Taludes en la Cantera Calizas Huayco.
- Bañon Blázquez, Luis y José Bevia García (2008). Manual de Diseño y estabilidad de Taludes.
- Bieniawski, Z. (1989). Engineering rock mass classifications. John Wiley and Sons.
- Echeverria, L. (2018). Estabilidad de taludes para la explotación y cierre de dos tajos de agregados en el distrito de Palca-Tarma-Junín.
- Ferrer, M. y Ayala, F. (1997). Relaciones entre desencadenamiento de movimientos y condiciones meteorológicas para algunos deslizamientos de España. IV Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Granada. Vol. I, pp.185 -198.
- Francisco Bongiorno. Índice de la calidad de la roca RQD, Clasificaciones del macizo rocoso según Bieniawski.
- Hebert Sotelo Aedo, 2005. Sistemas de evaluación de la Estabilidad de Taludes - Jefe del Departamento de Geotecnia CESEL S.A.
- Herrera Herbert, Juan (2007). Diseño de Explotaciones de Cantera. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas, Madrid.
- Instituto Tecnológico Geo minero de España (1987). Manual de Ingeniería de Taludes.
- Juan Montero Olarte. Caracterización Geológica De Macizos Rocosos.

ANEXOS

Anexo n°1. Se hace el uso de esta tabla para la Clasificación del RMR de Bieniawski

CLASIFICACION GEOMECANICA RMR (BIENIAWSKI, 1989)									
1	RESISTENCIA A LA MATRIZ ROCOSA (MPa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL	> 10	10 - 4	4 - 2	2 - 1	COMPRESION SIMPLE (MPa)		
		COMPRESION SIMPLE	>250	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	<1
	PUNTUACION		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 % - 100 %	75 % - 90 %	50 % - 75 %	25 % - 50 %	< 25 %		
	PUNTUACION		20	17	13	8	3		
3	SEPARACION DE DIACLASA		> 2 m	0.6 - 2 m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06 m		
	PUNTUACION		20	15	10	8	5		
4	ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES	LONG DE LA DISCONTINUIDAD	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
		PUNTUACION	6	4	2	1	0		
		ABERTURA	Nada	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
		PUNTUACION	6	5	3	1	0		
		RUGOSIDAD	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente Rugosa	Ondulada	Suave		
		PUNTUACION	6	5	3	1	0		
		RELLENO	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		PUNTUACION	6	4	2	2	0		
		ALTERACION	Inalterada	Ligeramente Alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		PUNTUACION	6	5	3	1	0		
5	AGUA FREATICA	CAUDAL POR 10m DE TUNEL	Nulo	< 10 litros/min	10 - 25 litros/min	25 - 125 litros/min	> 125 litros/min		
		RELACION: PRESION DE AGUA/TENSION 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		
		PUNTUACION		15	10	7	4	0	
CLASIFICACION	CLASE	I	II	III	IV	V			
	CALIDAD	Muy Buena	Buena	Regular	Mala	Muy Mala			
	PUNTUACION	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20			

Figura 33. Parámetros para identificar el macizo rocoso según Bieniawski (RMR)

Anexo n° 2. Se realiza las anotaciones respectivas sacadas en campo mediante los materiales de geología como GPS, Brújula y tablas de recolección de datos.



Figura 34. Registramos todos los puntos tomados en campo en una tabla de recolección de datos.



Figura 35. Procesamientos de datos tomados en campo para la clasificación del GSI.

Anexo n°3. Uso de herramientas para la extracción y transporte de la caliza como palas, barretillas, combas y carretilla.



Figura 36. Personal usando herramientas para la extracción de la roca



Figura 37. Extracción de la caliza

Anexo n°4. Una vez extraída la roca se hace uso de la comba para el respectivo chancado para que luego sea transportado en una carretilla al horno a una temperatura de 1500 °C que será transformado en caliza viva.



Figura 38. Uso de Herramientas a través del personal para chancar la roca



Figura 39. Trozos pequeños de la roca caliza con el uso de combas

Anexo n°5. Se realiza la toma de datos de la resistencia de la roca caliza con ayuda de un instrumento que sirve para medir el ensayo de carga puntual la medición de la resistencia de compresión de la caliza para que luego se haga los cálculos correspondientes para el RMR.



Figura 40. Instrumento de medición de ensayo de carga puntual de la roca caliza



Figura 41. Instrumento de medición de la resistencia de compresión simple de la roca

Anexo n°7. Una vez echo la medición con el instrumento de la resistencia de
compresión simple, se hace el uso del retiro de la roca.



Figura 42. Retiro de la roca caliza del instrumento de medición de compresión simple



Figura 43. Roca hecha pedazos después de ser medido con el instrumento de
compresión simple

