



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Geológica

“INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS
GEOTÉCNICOS EN EL DISEÑO DE UNA
DESMONTERA PARA LABORES
SUBTERRÁNEAS, HUALGAYOC 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Geólogo

Autor:

Leidy Kimberly Roncal Zelada

Asesor:

Ing. Mg. Rafael Ocas Boñon

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia quienes son fuente de esperanza,
fuerza moral y parte activa en todos los sentidos de mi
vida, gracias por entender, comprender, pero sobre
todo por su amor y enseñarme a nunca desmayar.

Kimberly Roncal

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis maestros ,quienes han sido abierto a responder nuestras dudas académicas sacrificando su tiempo, logrando que nos enamoremos de nuestras carreras.

Kimberly Roncal

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN.....	10
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	15
1.4. Hipótesis.....	16
CAPITULO II. METODOLOGÍA	17
2.1. Tipo de investigación	17
2.2. Población	17
2.3. Muestra	17
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	17
CAPÍTULO III. RESULTADOS	20
3.1. Aspectos generales	20
3.2. Identificación de zonas críticas	26
3.3. RMR y GSI.....	34
3.4. Diseño de la desmontera	59
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	67

4.1. Discusión.....	67
4.2. Conclusiones	69
REFERENCIAS	71
ANEXOS	73
Anexo N° 1: Fotografías	73
Anexo No 2: Parámetros Estándares de suelos.	75
Anexo No 3: Sección A-A´del diseño final.....	76
Anexo No 4: Influencia de los valores de RMR.....	77

Índice de tablas

Tabla 1 Ficha de clasificación geomecánica	18
Tabla 2 Ficha de toma de datos de campo.....	19
Tabla 3 Ubicación de la desmontera.....	20
Tabla 4 Accesibilidad a la desmontera	21
Tabla 5 Dimensiones de la zanja.	32
Tabla 6 Coordenadas de ubicación.....	34
Tabla 7 Parámetros del RMR para la estación 1.....	39
Tabla 8: coordenadas de la estación 2	41
Tabla 9 parámetros del RMR para la Estación 2	45
Tabla 10: coordenadas de la estación 3	47
Tabla 11: Parámetros del RMR para la estación 3	51
Tabla 12: Coordenadas de la estación 4	53
Tabla 13 Parámetros del RMR para la estación 4.....	57
Tabla 14 Resultados final del RMR para cada estación Geomecánica	58

Índice de Figuras

Figura 1: Ubicación de la desmontera	20
Figura 2: Pendiente moderada	22
Figura 3: Pendiente muy fuerte	22
Figura 4: Geología de la Región Cajamarca.....	24
Figura 5: Geología Local.....	26
Figura 6: deslizamiento.	27
Figura 7: Desprendimiento de roca.	28
Figura 8: Discontinuidades semiparalelas a la cara del talud.....	29
Figura 9: Análisis cinemático de las discontinuidades semiparalelas al talud.	29
Figura 10: Alcance del desprendimiento de roca en RocFall.....	30
Figura 11: Diseño geométrico del muro con trinchera.....	31
Figura 12: Parámetros para el diseño de la zanja.	32
Figura 13: modelo general de muro y zanja.	33
Figura 14: resultados del muro y la zanja en RocFall	33
Figura 17: Afloramiento rocoso.	35
Figura 18: Identificación de la resistencia en MPa.	35
Figura 19: Espacio entre discontinuidades.....	36
Figura 20: Persistencia.	36
Figura 21: Abertura entre discontinuidades.	37
Figura 22: Rugosidad	37
Figura 23: Relleno de fracturas	38
Figura 24: alteración.....	38
Figura 25: valor de GSI para la estación 1.	40

Figura 26: prueba de resistencia en campo.....	41
Figura 27: Datos para RQD.....	42
Figura 28: espaciamiento entre discontinuidades.....	42
Figura 29: persistencia de las discontinuidades.	43
Figura 30: Abertura entre discontinuidades.	43
Figura 31: Rugosidad de la superficie	44
Figura 32: Relleno de las fracturas y alteración.....	44
Figura 33: valor del GSI para la estación 2	46
Figura 34: resistencia a la compresión en campo.....	47
Figura 35: valor de resistencia en MPa	48
Figura 36: toma de datos para RQD.....	48
Figura 37: espaciamiento.....	49
Figura 38: Persistencia	49
Figura 39: abertura entre discontinuidades.....	50
Figura 40: Rugosidad entre las discontinuidades	50
Figura 41: Relleno y alteración	51
Figura 42: valor de GSI para la estación 3	52
Figura 43: resistencia a la compresión en campo.....	53
Figura 44: datos para RQD.....	54
Figura 45: espaciamiento entre discontinuidades.....	54
Figura 46: persistencia.....	55
Figura 47: abertura entre discontinuidades.....	56
Figura 48: rugosidad.....	56
Figura 49: Relleno y alteración	57
Figura 50: Valor del GSI para la estación 4	58

Figura 51: Mapa de influencia de los valores Geomecánicos en la desmontera Anexo 4	59
.....	
Figura 52: vista en planta de la desmontera y el método del Secciones para calcular volumen.	61
.....	
Figura 53: vista panorámica de la desmontera.	661
Figura 54: tipos de rotura circular.	62
Figura 55: diseño Geométrico de la desmontera.	63
Figura 56: Estabilidad del diseño en condiciones estáticas.....	64
Figura 57: Estabilidad del diseño en condiciones pseudoestáticas.	64
Figura 58: Diseño 3D final de la desmontera.	65
Figura 59. Toma de persistencia.....	73
Figura 60. Medición de persistencia de la discontinuidad.	73
Figura 61. Identificación de discontinuidades.....	74
Figura 62. Toma de rumbo y buzamiento.	74
Figura 63. Medición de tramo de conteo de discontinuidades. ¡Error! Marcador no definido.	

RESUMEN

La investigación tiene por objetivo determinar la influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, en Hualgayoc. Para lo cual se trabajó con una población conformada por los macizos rocosos del Cerro Jesús, del cual fue extraída la muestra que se compone por 3 estaciones de evaluación de los parámetros geotécnicos, ya que la técnica de viene a ser la observación directa, se usó tablas geomecánicas del RMR y GSI para determinar la calidad del macizo rocoso, así mismo para para el posterior tratamiento y análisis de los datos obtenidos en campo se usaron softwares como ArcGIS, Dips, RocData, RocFall, Slide y AutoCAD Civil 3D. Como resultado de la investigación los resultados del análisis geomecánico mostró que la roca de fundación de la de la desmontera es favorable su construcción y según los criterios geotécnicos la desmontera deberá tener 3 bancos de 7 metros para que pueda encontrar el ángulo de reposo adecuado, además teniendo en cuenta que según el análisis se prevé posible toppling oblicuo de parte del talud cerro, con lo cual también será necesario construir un muro y una zanja para controlar las rocas que caigan y también el drenar los flujos de agua dentro de la desmontera.

Palabras claves: Parámetros geotécnicos, desmontera.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Los vertederos de minas pueden clasificarse como vertederos de lixiviación o desmonte, dependiendo de su viabilidad económica para ser procesados, una condición que ha experimentado un gran progreso en las últimas décadas y ha permitido que las minas construyan vertederos más grandes y más altos, como resultado toda la configuración de la mina ha cambiado, trayendo consigo preocupaciones sobre la seguridad y el medio ambiente (J. P. Ortiz, 2017), por lo tanto las desmonteras requieren especial consideración en su diseño para que estas no se conviertan en problemas a futuro, y en vista de que el diseño debería estar estrechamente ligado a un estudio previo,

Según el registro publicado en el portal GEOCATMIN, actualmente en la zona de estudio existen 233 desmonteras que fueron depositadas sin ningún tipo de estudio previo, ni criterio técnico para su estabilización física y química.

(Radhakanta & Debashish, 2010) en su investigación en minería metálica y de carbón en proyectos en la India advierten que “un vertido de residuos sin previo el análisis ha causado fallas en las desmonteras” siendo uno de los principales motivos de inestabilidad.

Vilca (2019) menciona que los depósitos de desmonte han sido y son una estructura de mucha importancia para la minería, debido a su importancia en el ciclo de operación. Un control inadecuado o poco interés de las empresas mineras hacia dichas

estructuras han generado pasivos ambientales muy visibles a los ojos de la población en general, que han catalogado a la actividad minera altamente contaminador.

Sin embargo, en la actualidad en algunos lugares mineros del Perú el desmonte es depositado en áreas en las cuales no se ha realizado una adecuada evaluación, he incluso se construyen pudiendo contaminar drenajes cercanos a estos, y en el peor de los casos son abandonados y a futuro se convierten en pasivos ambientales.

Los factores que afectan la estabilidad de un botadero son la configuración de un botadero teniendo en cuenta altura, volumen y ángulo del talud; el Grado de confinamiento y fundación del talud; Condiciones de la fundación, considerando fundación competente, intermedia y débil; Propiedades de los materiales; Métodos de construcción; Piezometría y condiciones climáticas; Ratio de descarga; Sísmica y estabilidad dinámica (ISEM, 2019).

En la investigación de Vilcas (2019), planteó la siguiente configuración geométrica para el depósito de desmonte que contará con un talud interbanqueta de 2H: 1V y talud global de 2.5H:1V. La altura entre banquetas será de 10 m y el ancho de banqueta de 5m para permitir el acceso para descarga de desmonte. El depósito de desmonte Santa Rosa, ha sido diseñado para albergar una capacidad de material de desmonte de mina de aproximadamente 196 511.00 m³ (422 500.00 ton) en un área total aproximada de 2.0 ha, considerando una densidad del material de 2.15 ton/m³, para 10.2 años de vida. Huaman (2013), en su investigación, concluye que, el depósito de desmonte tendrá una extensión superficial de aproximadamente 53980 m² y permitirá almacenar un volumen de desmonte de aproximadamente 1100000 m³. El material del depósito alcanzará su estabilización mecánica por consolidación, por peso propio y por ganancia de resistencia en el tiempo por efecto físico químico. La altura del depósito será de aproximadamente 67.50 metros, El crecimiento del depósito será con el método

aguas arriba y con formación de 03 banquetas de 8.0 metros de ancho y altura de taludes de 15, 17 y 20 metros. La pendiente de los taludes será de 1.5 H: 1.0 V.

(S. Ortiz, 2011) explica que los depósitos de desmontera de la Mina Santa Rosa en Puno algunas de sus desmonteras se encuentran en riesgo de invadir un bofedal cuyo nivel freático alcanza la superficie, por lo tanto recomienda la construcción de zanjas y la instalación de una malla para amortiguar la caída de rocas, en vista de que las desmonteras no fueron tratadas a tiempo estas se convierten posibles peligros y focos de contaminación ambiental, de acuerdo a las mediciones de aguas que percolan a través del botadero.

En el trabajo de Mendoza (2016) donde realiza el análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay, concluye que en el análisis de factores de seguridad para las condiciones pseudoestáticas se evidenció que el cambio de este valor, para distintas secciones, no sigue la misma proporción de cambio que para las condiciones estáticas, siendo esta última mayor. Por lo tanto, en el caso pseudoestático la geometría del talud no influye considerablemente a la estabilidad del mismo. Es decir, que la estabilidad será proporcionada por las características geotécnicas de los materiales presentes.

En el estudio de Centeno (2018) para el diseño estructural del botadero de la mina Constancia - Hudbay” Mediante los análisis químicos ácido-base (ABA), se determinó los niveles de ácidos del material proyectado a ser desmonte y se clasificó en; desmonte generador de ácidos (NAG) y desmonte no generador de ácidos (PAG). Por tal efecto se logró el dimensionamiento de desmonte en; 190Mtn de NAG y 480Mtn de PAG respectivamente, 13 representando el 80% y 20% del desmonte total.

El diseño geométrico de un depósito de desmonte se realiza considerando la información obtenida en los ensayos in situ y de laboratorio, el análisis teórico y la

modelización numérica. Sin embargo, en el proceso de optimización y aprovechamiento de los espacios sobre el cual se emplazan estas estructuras requiere un mayor conocimiento del material a analizar con el objeto de conocer los comportamientos elastoplásticos ante una posible falla. (Villanueva, Lino, & Huaña, 2017)

Los estudios geológicos, geotécnicos de taludes están dirigidos al diseño de taludes estables en función de las condiciones requeridas (corto, medio o largo plazo, relación coste-seguridad, grado de riesgo aceptado, etc.) así como a la estabilización de taludes inestables. La metodología seguida en los estudios de estabilidad de taludes parte del conocimiento geológico, hidrogeológico y geomecánico del macizo rocoso o suelo. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

Se tiene que obtener toda la información posible sobre las características geológicas, geotécnicas, topográficas y ambientales que permitan realizar una descripción de los problemas lo más preciso posible y un proponer un diseño efectivo de solución. Para una investigación es necesario conocer cuáles son los parámetros básicos que afectan la estabilidad. (Suárez, 2002).

En los estudios geotécnicos, para la determinar la estabilidad de talud, la metodología que se debe de seguir es igual en todas las fases. Un aspecto del estudio de estabilidad de un talud que se debe de tener en cuenta y resolver al principio, en cuanto se dispone de los datos de la investigación geológico-geotécnica, es el modo de falla más probable que puede producirse en dicho talud o ladera. (Oyanguren & Alejano, 2007).

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

Los botaderos son acumulaciones de material estéril o de contenido mineral de bajo rendimiento económico que son apilados en montones fuera del área de proceso. Es necesario considerar un control geotécnico y conocer los riesgos que implica su construcción. Los tipos de botaderos más conocidos son Relleno de valles, que se desarrollan total o parcialmente rellenando valles. El aspecto más importante en este tipo de botaderos es la prevención de los embalses de agua en la cabecera de los valles; Relleno a través de valles, donde su construcción se realiza de un extremo a otro de un valle atravesando los drenajes; Relleno a media ladera, contruidos sobre terrenos inclinados que no bloquean ningún cauce de agua o cualquier sistema de drenaje; Relleno desde la cresta de la montaña, es un caso especial de rellenos de media ladera, el crecimiento del botadero se realiza desde las líneas de cresta en ambas direcciones; Relleno en acopios, son las llamadas pilas que consisten en amontonamientos de material de desmonte con taludes formados en todas las direcciones (ISEM, 2019). Por lo tanto, la presente investigación podría contribuir para determinar la influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño adecuado de una desmontera, lo cual beneficiaría a la futura reanudación de labores subterráneas, y además brindaría mayor estabilidad física y ambiental para el distrito de Hualgayoc.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el nivel de influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera, en Hualgayoc 2019?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de los parámetros geotécnicos en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, Hualgayoc 2019.

1.3.2. Objetivos específicos

- Describir las formaciones geológicas de la zona de investigación.
- Identificar los riesgos geológicos existentes en la zona.
- Determinar la calidad del macizo rocoso sobre el que descansará la desmontera.
- Proponer un diseño geométrico adecuado para la desmontera.
- Determinar la capacidad y vida útil de la desmontera.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Los parámetros geotécnicos influyen significativamente en el diseño de una desmontera para labores subterráneas, Hualgayoc 2019.

1.4.2. Hipótesis específicas

Al realizar el cartografiado geológico se determinarán las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio.

Al realizar la evaluación de peligros se podrán identificar los riesgos geológicos.

Al realizar la caracterización geomecánica se podrá determinar la calidad del macizo rocoso.

Con la evaluación de los parámetros geotécnicos se podrá determinar la capacidad y vida útil de la desmontera.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según su propósito: La investigación fue descriptiva relacional, ya que se relacionó los parámetros geotécnicos, características geomecánicas, y se diseña la desmontera.

Según su profundidad: La investigación fue explicativa, porque se dio estudio a las relaciones de influencia entre las dos variables, es decir de los parámetros geotécnicos y el diseño de la desmontera.

Según la naturaleza de sus datos: La investigación fue cuantitativa, ya que se utilizó métodos cuantitativos para determinar los parámetros geotécnicos.

2.2. Población

Los macizos rocosos del cerro Jesús.

2.3. Muestra

estaciones de evaluación de los parámetros geotécnicos.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

La técnica viene a ser la observación directa, uso de tablas geomecánicas RMR y GSI para determinar la calidad del macizo rocoso, plano topográfico base para al cartografiado, uso de software ArcGIS para elaboración de planos, Dips para el análisis

de rotura, RocData para determinar parámetros geotécnicos, RocFall para el análisis de caída de rocas, Slide para hallar el factor de seguridad.

Para el procesamiento y análisis de datos de utilizó la herramienta estadística Kriging, para determinar la calidad del macizo.

AutoCAD Civil 3D para hallar la capacidad de la desmontera.

2.4.1. Instrumentos

- Ficha de clasificación geomecánica

Tabla 1

Ficha de clasificación geomecánica

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

Puntuación	15	10	7	4	0
------------	----	----	---	---	---

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Aspectos generales

3.1.1. Ubicación

En forma general se tiene:

Tabla 3

Ubicación de la desmontera.

DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO
Hualgayoc	Hualgayoc	Cajamarca

La desmontera se encuentran a 88.5 Km al norte de la ciudad de Cajamarca a través de la carretera pública 3N, a 1 km de la ciudad de Hualgayoc.

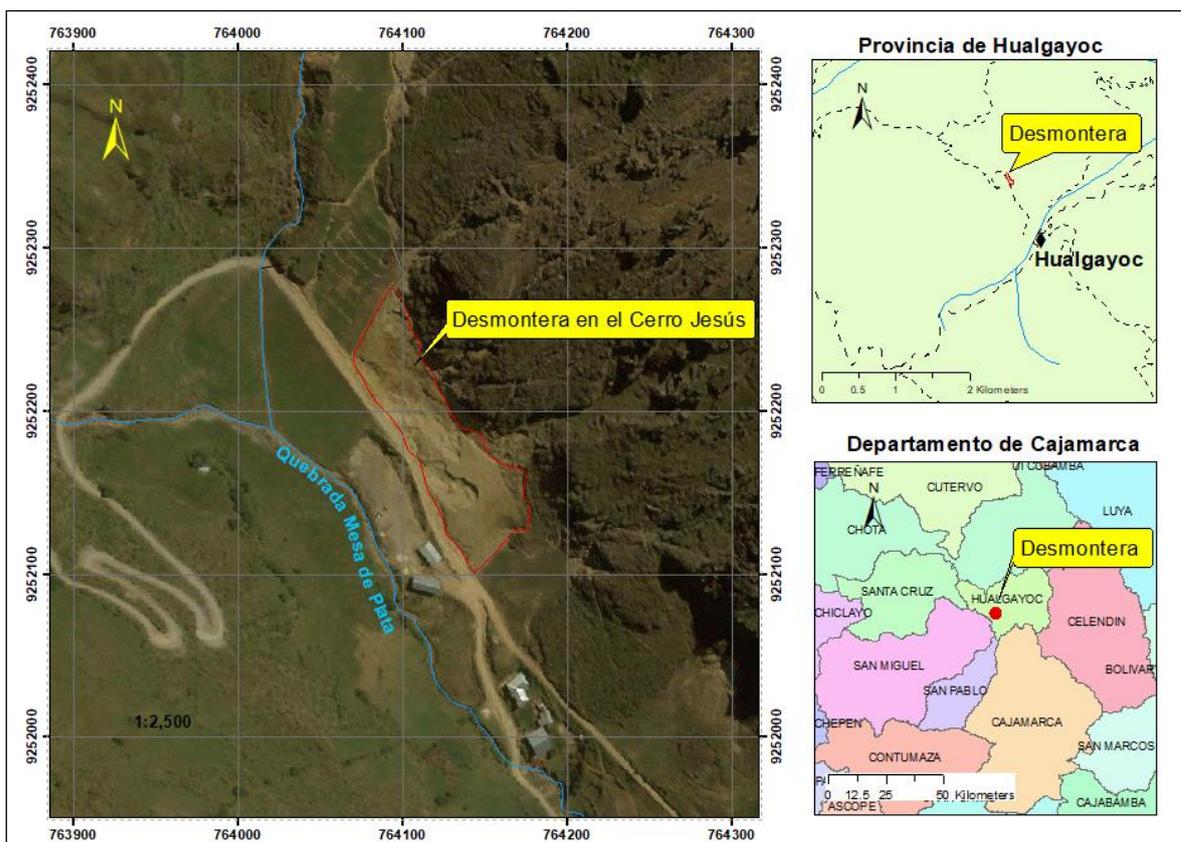


Figura 1: *Ubicación de la desmontera*

3.1.2. Accesibilidad

Para llegar a la desmontera en el cerro Jesús se accede mediante vehículo a través de una vía asfaltada Cajamarca – Bambamarca, luego un corto tramo por una carretera afirmada.

Tabla 4
Accesibilidad a la desmontera

TRAMO	TIPO DE CARRETERA	CONDICIONES	DIST. EN KM.	TIEMPO EN HRS.
Cajamarca - Hualgayoc	Asfaltada	Buena	88.5	2.2
Hualgayoc - desmontera	Afirmada	Regular	1	0.1

3.1.3. Geología

a. Fisiografía

Respecto al paisaje podemos indicar que el área de estudio tiene una gran riqueza de formas y elementos singulares del paisaje. Es dominado principalmente por montañas escarpadas, terrenos de pastos, roquedales y zonas de actividad minera. Tiene un carácter fuertemente antrópico, influenciado en gran medida por la actividad minera que se ha venido realizando desde hace varios cientos de años y en menor proporción por la actividad ganadera.

– Terrenos con Pendiente Moderada (TPM)

Son terrenos con pendientes de 5 a 15°, presentando ocasionalmente accidentes topográficos, se encuentran en los alrededores de la zona de estudio.



Figura 2: Pendiente moderada

– **Terrenos con Pendiente Fuerte (TPF)**

Son terrenos con pendientes de 25 a 35° presentes en su mayoría en las zonas altas de las montañas que rodean a la ciudad y la zona de estudio.



Figura 3: Pendiente muy fuerte

b. Geomorfología

Geomorfológicamente en la zona de Hualgayoc se diferencian unidades como escarpes en gran parte, montañas, pequeñas colinas y escasas terrazas fluviales. Su origen está ligado a procesos tectónicos, gravitacionales, deposicionales y erosivos, ocurridos a lo largo de su historia geológica, la profundización y ensanchamiento de valles por eventos de desglaciación.

La topografía regional se caracteriza por la presencia de montañas de cimas elevadas y Accidentadas, ondulantes colinas y valles inter- montañosos con pendientes pronunciadas y quebradas. La elevación del lugar en promedio es de aproximadamente 3600 m.

c. Geología regional

Según el Boletín N° 31 del INGEMET (1980), las formaciones más antiguas están representadas por sedimentos pérmico-triásico que afloran al NE de San Marcos. Sobre yaciendo a estos tenemos rocas efusivas del mesozoico en discordancia angular a los anteriores; asimismo las areniscas y cuarcitas se intercalan con las calizas y lutitas marinas de la formación Santa, estas características deposicionales continúan con las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Carhuaz, terminando en la parte superior con la formación Farrat. Es pues, evidente que durante la deposición del grupo Goyllarisquizga la cuenca siempre fue de mar somero, los afloramientos del Albiano se caracterizan por un cambio de facies del sector occidental al oriental representados por la formación Inca, Chúlec y Pariatambo.

Todas las secuencias sedimentarias se encuentran plegadas siguiendo la tendencia andina, así mismo estas se son cortadas por cuerpos subvolcánicos de variada composición, y muchos de ellos asociados a mineralización económica.

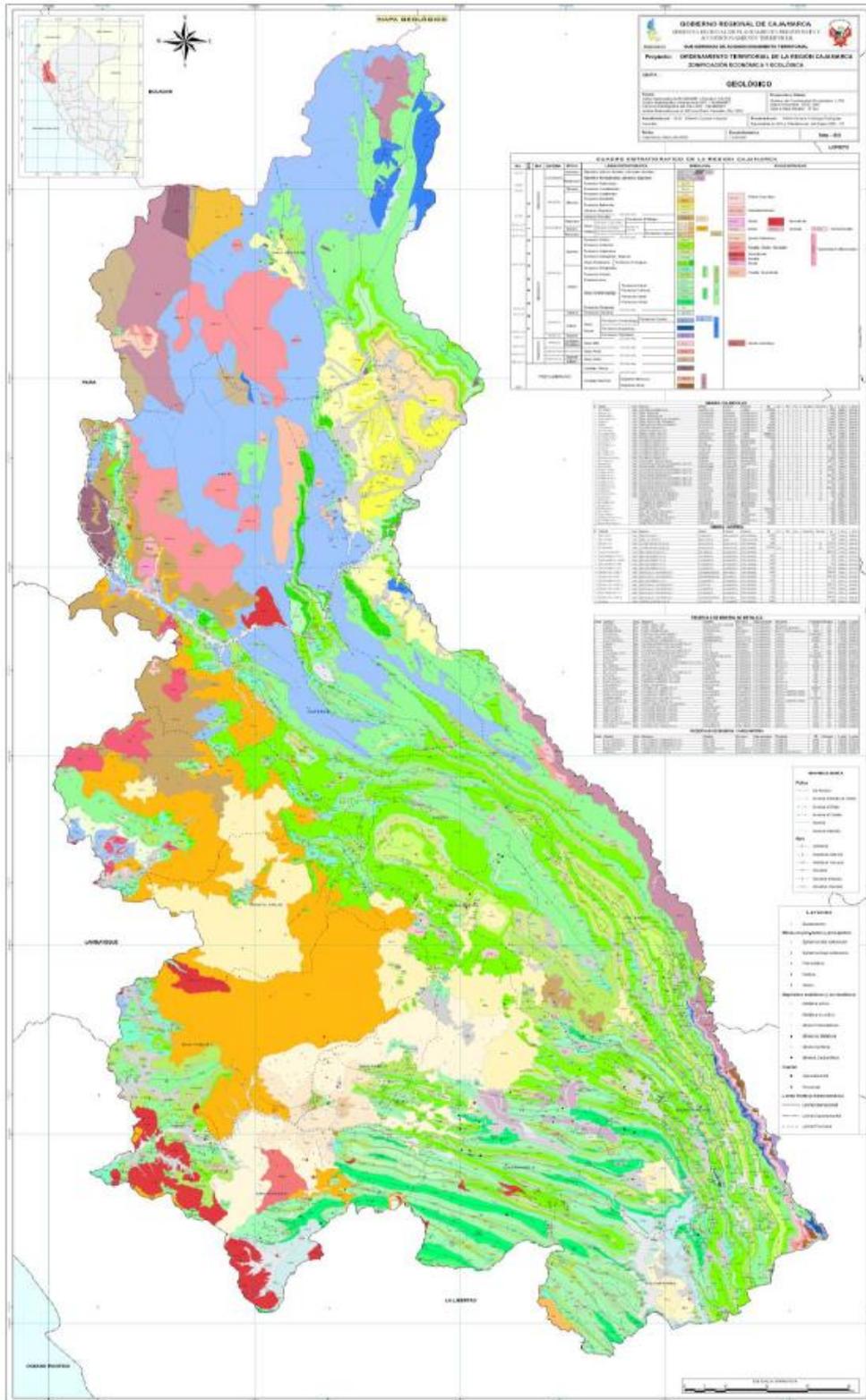


Figura 4: Geología de la Región Cajamarca

d. Geología local

En la zona de estudio afloran formaciones del cretáceo inferior y superior, las cuales se encuentran plegadas y falladas por la intensa actividad tectónica, además de distinguir intrusiones de cuerpos porfíricos de composición dacítica los cuales presentan alteración hidrotermal del tipo argílica en su mayoría, el cual contiene la mayor cantidad de labores subterráneas, dichos cuerpos intruyen a las rocas carbonatadas de la formación Yumagual del cretáceo superior.

Las rocas carbonatadas que se encuentran en el contacto con el intrusivo no presentan un cambio observable macroscópicamente que evidencia un cambio textural o químico. Por otro lado, el material que se encuentra depositado actualmente en la desmontera ha sido clasificado según la identificación en campo como un suelo de Gravas arcillosas **GC** en la clasificación SUCS, el cual se compone principalmente por fragmentos del pórfido dacítico con alteración pervasiva, donde algunos minerales han sido reemplazados y otros lixiviados con lo cual se puede encontrar abundantes fragmentos de sílice vuggy, también hay presencia de la alteración argílica, por ello se puede encontrar una cantidad significativa de arcillas, así mismo sulfuros diseminados como pirita en mayor proporción, galena, esfalerita y óxidos de hierro.

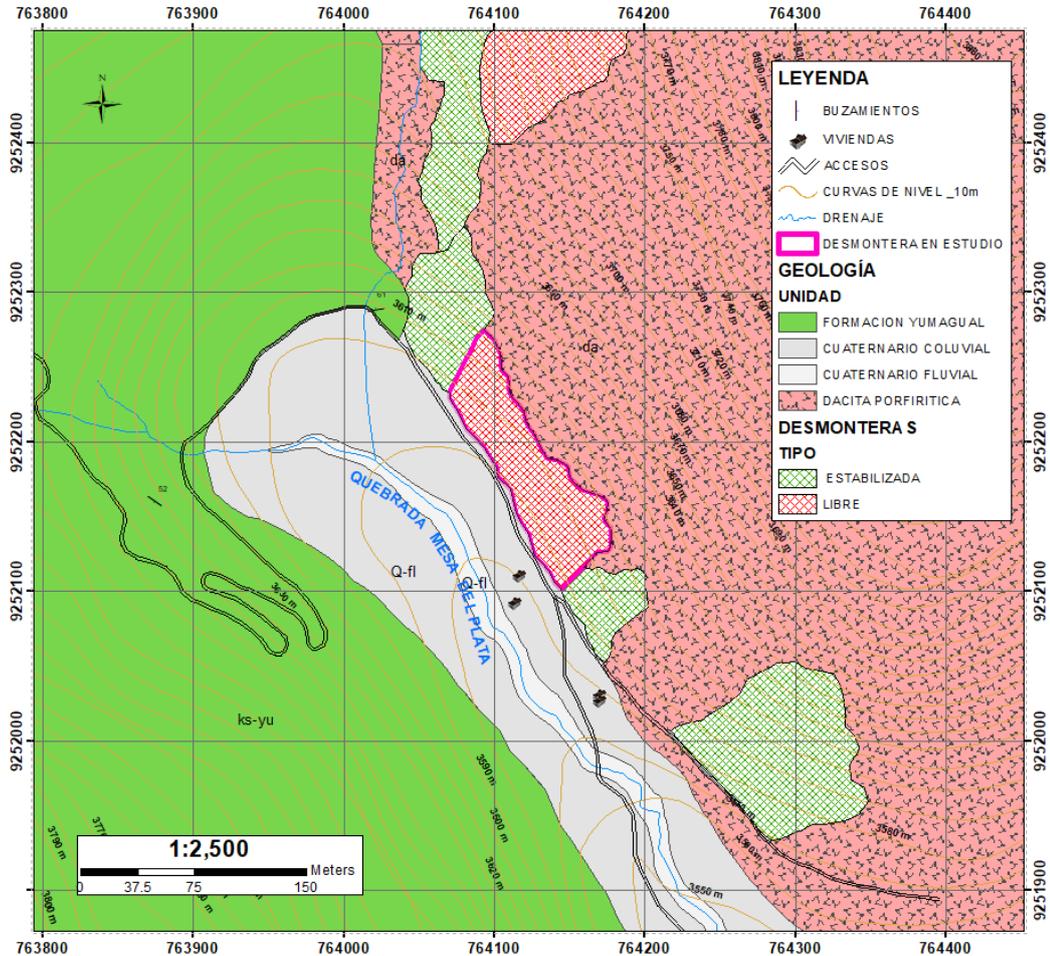


Figura 5: Geología Local

3.2. Identificación de zonas críticas

Según los registros del INGEMMET la zona de estudio no presenta peligros geológicos y el peligro de inundación sería BAJO por lo cual se trataría de una zona estable y segura, sin embargo, el estudio realizado en campo identificó evidencia de varios peligros como caída de roca, movimiento de tierras y erosión de laderas.

Se pueden diferenciar claramente el deslizamiento de una masa relativamente pequeña (figura 6), el cual supone un peligro latente para las viviendas aledañas ubicadas en la parte superior además de afectar al puente que se ubica a pocos metros de la zona de daño.



Figura 6: deslizamiento.

En cerro que se encuentra en el lado opuesto al cerro Jesús, el cual lleva el nombre de Cerro María se compone íntegramente por rocas carbonatadas bien estratificadas se observan una pendiente muy escarpada bajo la cual se encuentran los restos de roca que se han desprendido de la montaña.



Figura 7: Desprendimiento de roca.

Por otro lado, en la cara del talud en el cual se ubican las labores subterráneas se encontraron una familia de discontinuidades casi paralela a la cara del talud (Figura 8), lo cual podría generar deslizamiento por vuelco, y en cotas más altas también se generaría desprendimiento de roca, por ello se realizó el análisis cinemático en el software DIPS, con el cual corroboró el peligro de deslizamiento y finalmente el análisis como el software RocFall, para determinar el alcance de las rocas que podrían caer desde la parte superior de la montaña.



Figura 8: Discontinuidades semiparalelas a la cara del talud.

El talud tiene azimut de $N141^\circ$ y un Dip de 51° , y los datos tomados de las discontinuidades arrojan una dirección promedio de $N 146^\circ$ con un Dip de 87° (todos los datos tomados según la regla de la mano derecha)

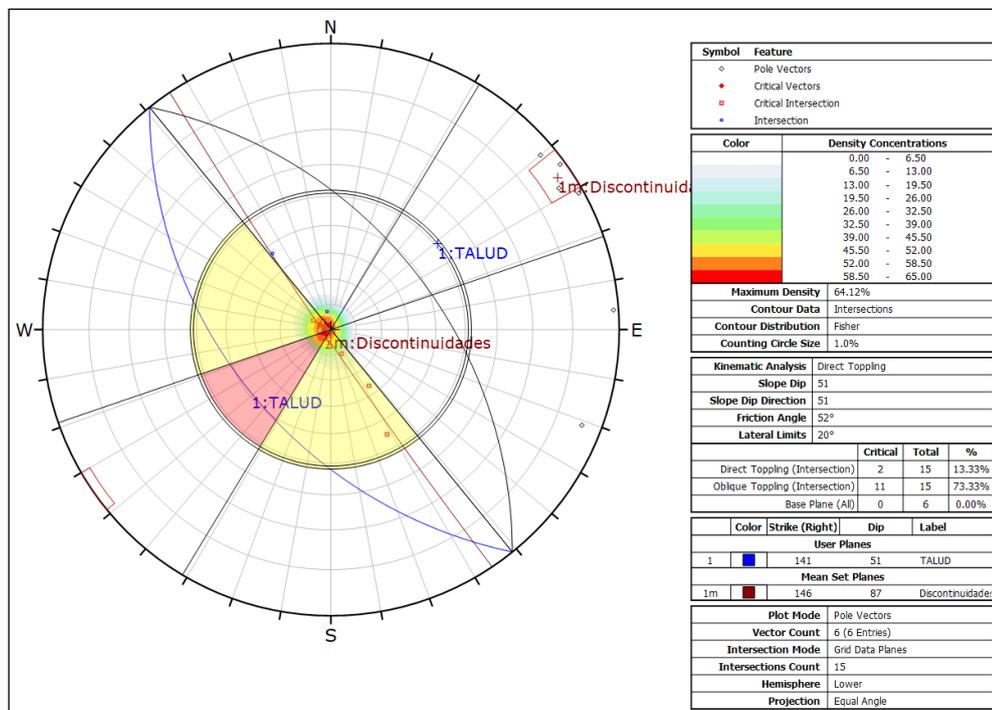


Figura 9: Análisis cinemático de las discontinuidades semiparalelas al talud.

Para el análisis cinemático se usó el software Dips de RocScience, con el cual se pudo visualizar los posibles escenarios de la cinemática de rotura, ya sea planar, por vuelco o cuñas, y como resultado arroja como resultado un 73% de probabilidad de que exista un OBLIQUE TOPPING, el cual como se puede apreciar en la figura 9 tendría un desplazamiento hacia el SW, el cual sería en dirección de la desmontera, la carretera y la quebrada.

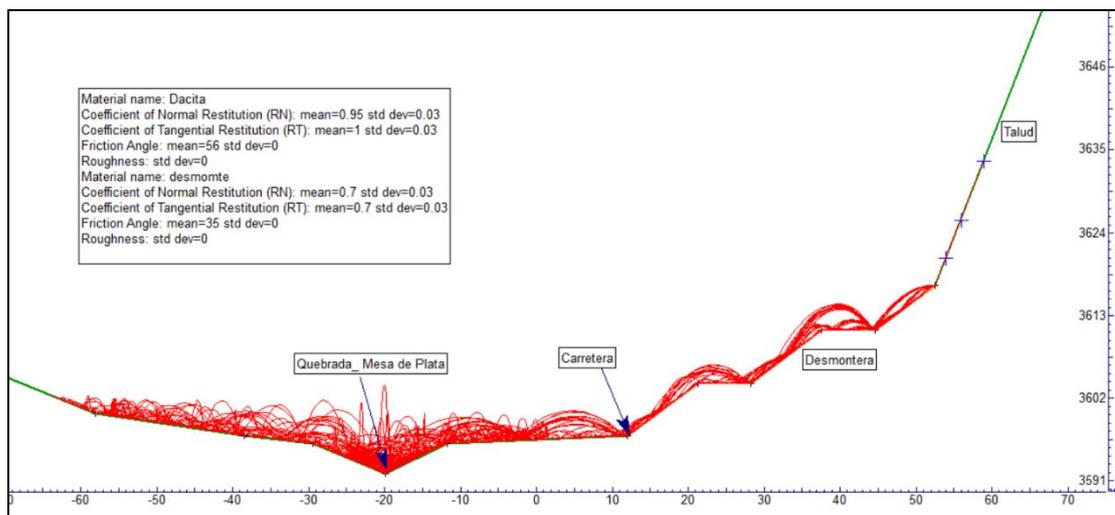


Figura 10: Alcance del desprendimiento de roca en RocFall.

Después de tener los resultados del análisis cinemático se hizo la simulación de la trayectoria y alcance que tendrían las rocas sueltas al caer a lo largo de todo el afloramiento y la desmontera, así mismo se demuestra que estas rocas alcanzarían la carretera con facilidad, también la quebrada Mesa de Plata y posiblemente algunas viviendas que se ubican en las cercanías de la desmontera.

La simulación se realizó considerando el diseño geométrico propuesto para la desmontera, el cual se expone a mayor detalle en el apartado 3.6 *Diseño de desmontera*. Con este peligro latente se hace necesario proponer una solución, por lo cual se considera prudente adicional un muro de contención de tipo alcancía a la desmontera el cual pueda cortar el trayecto de las rocas desprendidas.

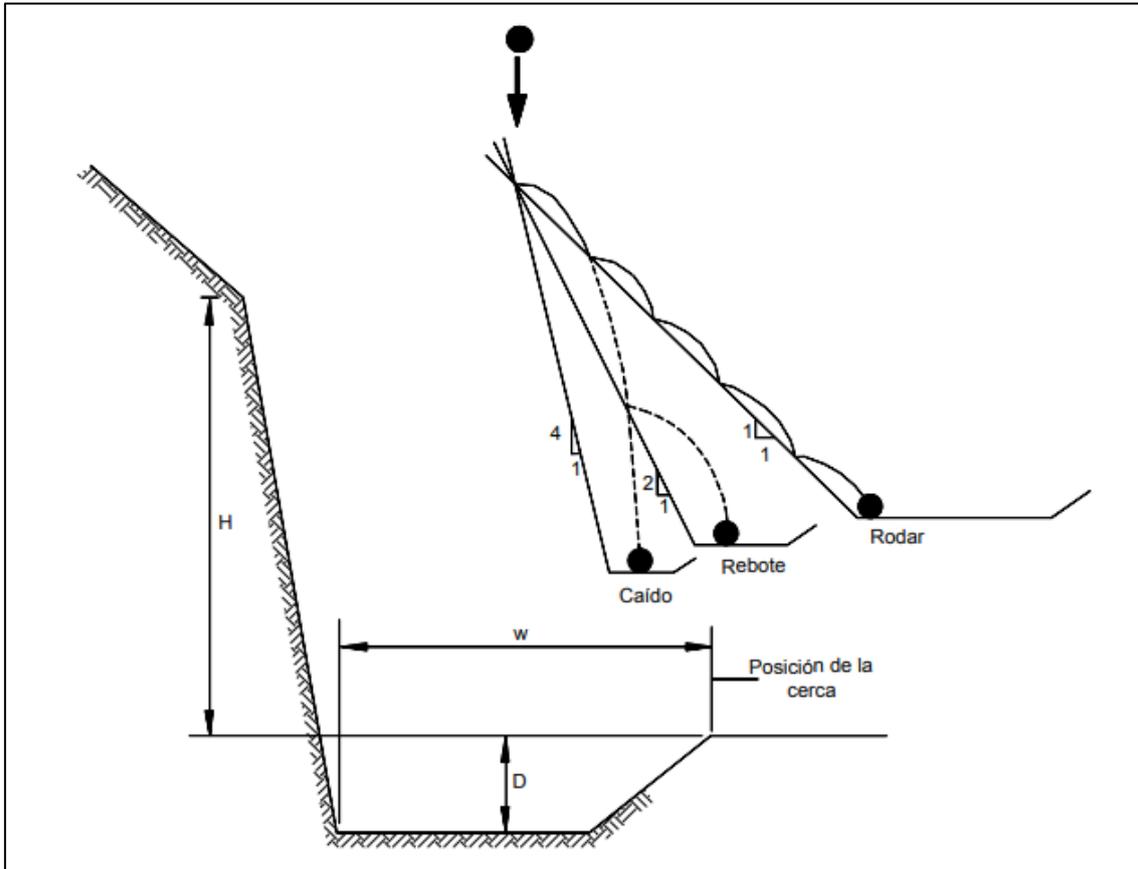


Figura 11: Diseño geométrico del muro con trinchera.

Según (Ritchie, 1963) considera que para el diseño de trincheras es necesario considerar diferentes factores previos para una estabilidad y duración de la misma por lo que menciona que para pendientes de 35 a 55 grados, los bloques tienden a rodar y se requiere de una pared vertical junto a la trinchera para que los bloques no traten de salirse, a continuación, se muestra una tabla con recomendaciones típicas de ancho y profundidad de las trincheras de acuerdo a la altura y pendiente del talud.

Pendiente del talud	Altura del talud m.	Ancho de zanja m.	Profundidad de zanja m.
Casi vertical	5 a 10	3.7	1.0
	10 a 20	4.6	1.2
	>20	6.1	1.2
0.25H 0.3H:1V	5 a 10	3.7	1.0
	10 a 20	4.6	1.2
	20 a 30	6.1	1.8
	>30	7.6	1.8
0.5H:1V	5 a 10	3.7	1.2
	10 a 20	4.6	1.8
	20 a 30	6.1	1.8
	>30	7.6	2.7
0.75H:1V	0 a 10	3.7	1.0
	10 a 20	4.6	1.2
	>20	4.6	1.8
1:1	0 a 10 10 a 20 >20	1.0 3.7 4.6	1.0 1.5 1.8

Figura 12: Parámetros para el diseño de la zanja.

- Por lo que se considera:

Tabla 5
Dimensiones de la zanja.

PENDIENTE DEL TALUD	ALTURA DEL TALUD (m)	ANCHO DE ZANJA (m)	PROFUNDIDAD DE ZANJA (m)
37 °	21	1m	1m

Según (Ritchie, 1963) Se recomienda que no aflore roca dura en el fondo de la zanja y si esto ocurre, se debe colocar una capa de roca suelta, arena o grava en el fondo de la zanja, para minimizar el rebote de los bloques. Entonces al considerar el diseño y fundamento propuesto por Ritchie, levantar un muro de contención más una zanja en la base nos permite utilizar la trinchera o zanja como control de sedimentos ya que se puede colocar mantos de caliza, arenas y gravas para para minimizar el rebote de los bloques y también como control de pH de los flujos de agua que se almacenarán en la

trinchera y que al ser canalizado se podría transportar el flujo de agua proveniente de la desmontera.

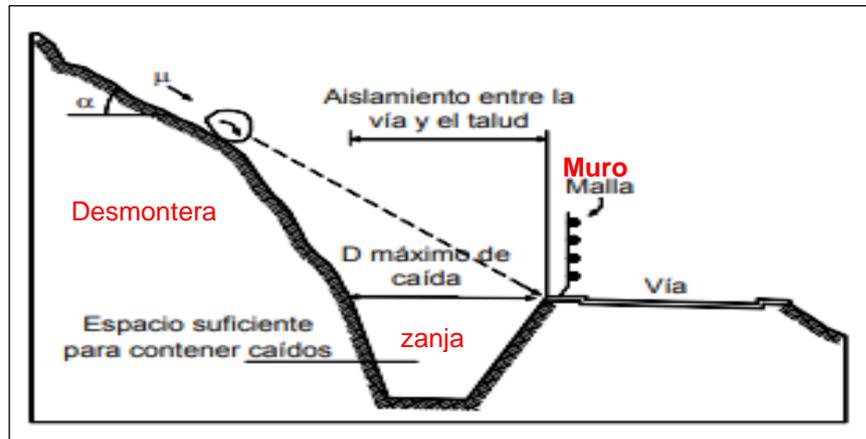


Figura 13: modelo general de muro y zanja.

La figura 13 muestra una adaptación de la desmontera al modelo propuesto por Ritchie.

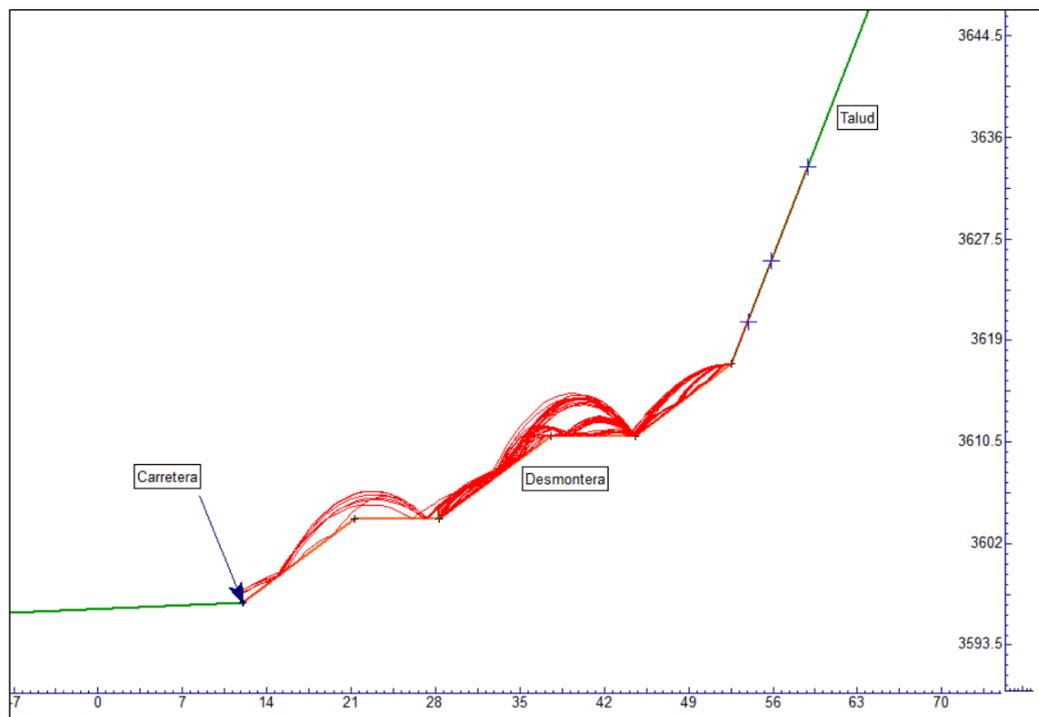


Figura 14: resultados del muro y la zanja en RocFall

Para ello el muro deberá tener una altura de 1.5 m y un ancho de 0.5 m, elaborado con concreto armado, el cual se extenderá a lo largo de toda la desmontera protegiendo la carretera.

3.3. RMR y GSI

3.3.1. Clasificación según el RMR 89

Este método permite 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 relativamente bajos. El método RMR incluye los siguientes parámetros: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca, Rock Quality Designation (RQD), espaciamiento de discontinuidades, condición de las discontinuidades, condición del agua y orientación de las discontinuidades.

ESTACIÓN N° 1

Tabla 6

Coordenadas de ubicación.

Este	Norte	Cota
764019	9252290	3621

Descripción:

El Macizo rocoso está dado por dos familias de discontinuidades, con presencia de óxidos Hematita, limonita, producto de alteración supérgena. Se trata de una roca caliza parduzca oscura estratificada con estratos que varían entre 0.2 a 0.9 m con ocasionales estratos de lutitas, de la formación Yumagual del cretáceo superior.

Parámetros

✚ Resistencia a la compresión:

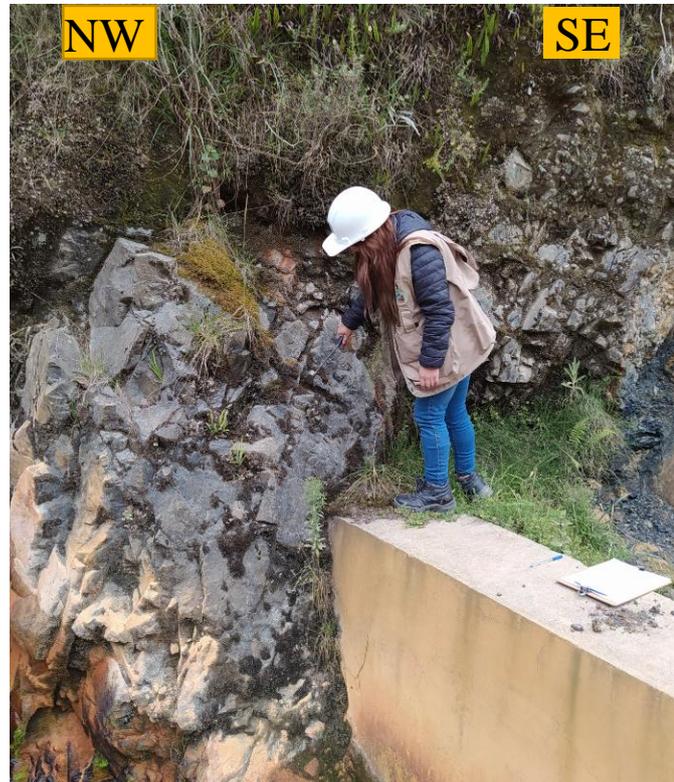


Figura 15: Afloramiento rocoso.

GRADO	INDICE DE RESISTENCIA - IDENTIFICACION EN CAMPO	RANG. RESISTENCIA A Mpa
R1	Deformable con golpes firmes con la punta del martillo	1 a 5
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Adquiere marcas poco profundas con golpe del martillo	5 a 25
R3	No se raya ni desconcha con el cuchillo. Se compe con un golpe fuerte del martillo.	25 a 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 a 100
R5	Se requiere artos golpes del martillo para romper la muestra	100 a 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

Figura 16: Identificación de la resistencia en MPa.

✚ Espaciamiento entre las discontinuidades



Figura 17: Espacio entre discontinuidades.

Condiciones de las Discontinuidades.

✚ Persistencia.



Figura 18: Persistencia.

✚ Apertura.



Figura 19: Abertura entre discontinuidades.

✚ Rugosidad.



Figura 20: Rugosidad

✚ Relleno.



Figura 21: Relleno de fracturas

✚ Alteración.



Figura 22: alteración.

 Agua subterránea

Tabla 7 Parámetros del RMR para la estación 1.

CLASIFICACIÓN BENIAWSKI RMR 89	DE	DESCRIPCIÓN	VALORES
PARÁMETROS			
• Resistencia a la compresión.		>50-100 MPa	7
• RQD		< 50-75%	13
• Espaciamiento entre discontinuidades		20-60 cm	10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES			
▪ Persistencia		10-20 m	1
▪ Apertura		Angosta 0.1-1.0mm	4
▪ Rugosidad		rugosa	5
▪ Relleno		Relleno blando <5mm	1
▪ Alteración		Moderadamente	3
▪ Condición de Agua		Húmedo	7
RMR BÁSICO			
		51	Regular (III)

GSI.

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS (Marinos & Hoek (2000))		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS				
<p>Estime el valor típico de <i>GSI</i> considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condición de las discontinuidades.</p> <p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI = 35$. <u>Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural.</u> Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para <i>GSI</i>.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de <i>GSI</i>; ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>		MUY BUENA Muy rugosas, cajas frescas o no intemperizadas	BUENA Rugosas, cajas ligeramente intemperizadas y algo oxidadas.	REGULAR Lisas, cajas moderadamente intemperizadas y algo alteradas	MALA Pulidas, cajas meteorizadas, con pátinas o con rellenos y/o fragmentos angulosos	MUY MALA Pulidas, cajas muy meteorizadas, con pátinas o con rellenos de arcilla blanda
ESTRUCTURA DEL MACIZO		DISMINUYE LA CALIDAD →				
 INTACTA o MASIVA Probetas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.	DISMINUYE TRABAZON ENTRE BLOQUES	90			N/A	N/A
 BLOCOSA Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.		80			50	40
 MUY BLOCOSA Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.		70				30
 BLOCOSA VETEADA Macizos plegados y con bloques angulosos formados por la intersección de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquelosidad son persistentes.		60				20
 DESINTEGRADA Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondeados, pobremente trabados.						10

Figura 23: valor de GSI para la estación 1.

El valor que se puede ubicar entre 43 y 48.

ESTACIÓN N°2

Tabla 8: coordenadas de la estación 2

Este	Norte	Cota
764112	9252286	3625

Descripción:

Macizo rocoso con 2 familias de discontinuidades y una secundaria, presenta relleno de óxidos en las fracturas, con presencia de alteración argílica. Se trata de un pórfido Dacítico. Las direcciones de las discontinuidades son paralelas al talud por lo que hay peligros geológicos, desprendimiento de rocas.

PARÁMETROS

- ✚ Resistencia a la compresión



Figura 24: prueba de resistencia en campo.

✚ Índice de calidad de la roca, RQD



Figura 25: Datos para RQD.

✚ Espaciamiento entre las discontinuidades



Figura 26: espaciamento entre discontinuidades.

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES.

 Persistencia.

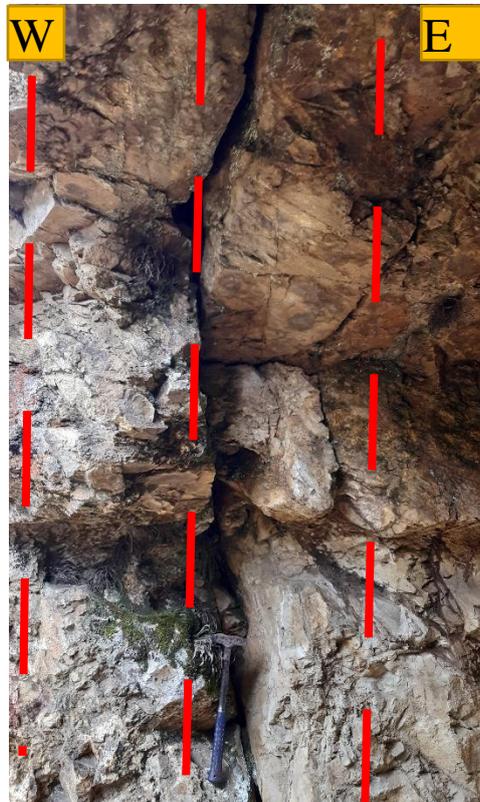


Figura 27: persistencia de las discontinuidades.

 Apertura.

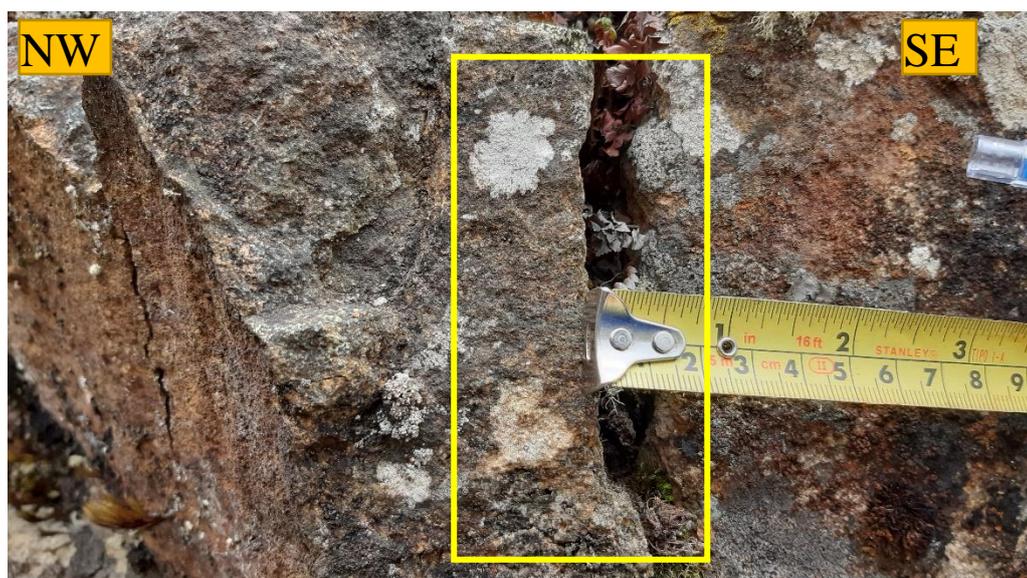


Figura 28: Abertura entre discontinuidades.

✚ Rugosidad.

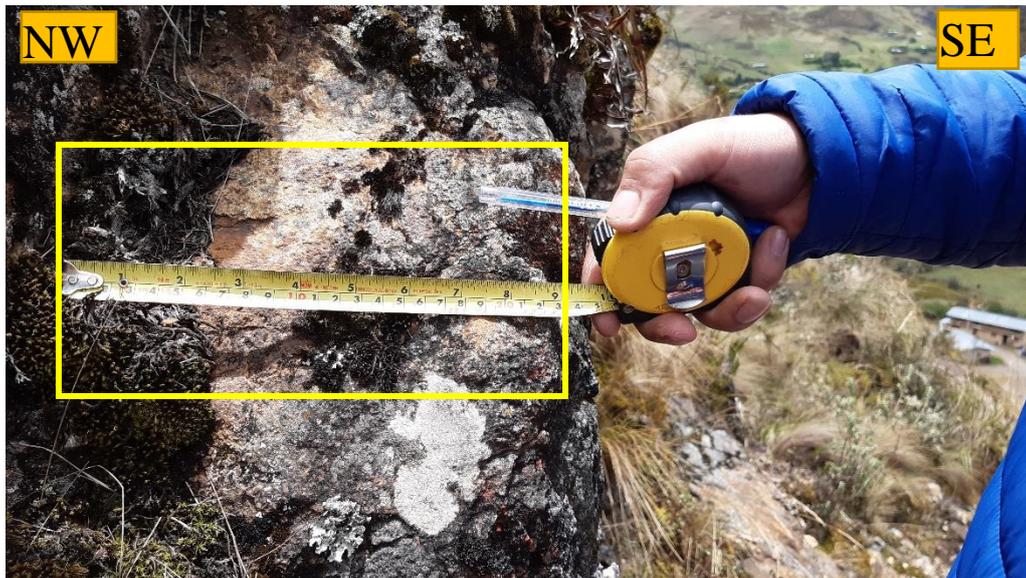


Figura 29: Rugosidad de la superficie

✚ Relleno y alteración.



Figura 30: Relleno de las fracturas y alteración.

Tabla 9
parámetros del RMR para la Estación 2

CLASIFICACIÓN BENIAWSKI	DE	DESCRIPCIÓN	VALORES
RMR 89			
PARÁMETROS			
• Resistencia a la compresión.		100-250 MPa	12
• RQD		< 50-75%	13
• Espaciamiento entre discontinuidades		16-20 cm	10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES			
▪ Persistencia		3-10m	2
▪ Apertura		Abierta 1.0-5.0mm	1
▪ Rugosidad		Ligeramente rugosa	5
▪ Relleno		Relleno blando <5mm	0
▪ Alteración		Moderadamente	3
▪ Condición de Agua		Húmedo	7
RMR BÁSICO			
		53	Regular (III)

GSI.

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS (Marinos & Hoek (2000))		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS				
<p>Estime el valor típico de <i>GSI</i> considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condición de las discontinuidades.</p> <p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI = 35$. <u>Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural.</u> Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para <i>GSI</i>.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de <i>GSI</i>; ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>		<p>MUY BUENA Muy rugosas, cajas frescas o no intemperizadas</p> <p>BUENA Rugosas, cajas ligeramente intemperizadas y algo oxidadas.</p> <p>REGULAR Lisas, cajas moderadamente intemperizadas y algo alteradas</p> <p>MALA Pulidas, cajas meteorizadas, con pántinas o con rellenos y/o fragmentos angulosos</p> <p>MUY MALA Pulidas, cajas muy meteorizadas, con pántinas o con rellenos de arena blanca</p>				
ESTRUCTURA DEL MACIZO		DISMINUYE LA CALIDAD →				
 <p>INTACTA o MASIVA Probetas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.</p>	90			N/A	N/A	
 <p>BLOCOSA Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.</p>	80			50	40	
 <p>MUY BLOCOSA Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.</p>	70		60	30	20	
 <p>BLOCOSA VETEADA Macizos plegados y con bloques angulosos formados por la intersección de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son persistentes.</p>	60					
 <p>DESINTEGRADA Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondeados, pobremente trabados.</p>					10	

Figura 31: valor del GSI para la estación 2

El valor estimado esta entre 50 y 45

ESTACIÓN 3

Tabla 10:
coordenadas de la estación 3

Este	Norte	Cota
764114	9252230	3656

Descripción:

Macizo rocoso con 2 familias de discontinuidades y una secundaria, presenta relleno de óxidos en las fracturas, con presencia de alteración. Se trata de un pórfido Dacítico. Las direcciones de las discontinuidades son semiparalelas a la cara del talud. Siendo la dirección del talud N141 con un Dip de 51S.

PARÁMETROS

✚ Resistencia a la compresión:



Figura 32: resistencia a la compresión en campo

GRADO	INDICE DE RESISTENCIA - IDENTIFICACION EN CAMPO	RANG. RESISTENCIA A Mpa
R1	Deformable con golpes firmes con la punta del martillo	1 a 5
R2	Se desconcha con dificultad con cuchilla. Adquiere marcas poco profundas con golpe del martillo	5 a 25
R3	No se raya ni desconcha con el cuchillo. Se compe con un golpe fuerte del martillo.	25 a 50
R4	La muestra se rompe con más de un golpe del martillo	50 a 100
R5	Se requiere artos golpes del martillo para romper la muestra	100 a 250
R6	Solo se rompe esquirlas de la muestra con el martillo	> 250

Figura 33: valor de resistencia en MPa

✚ Índice de calidad de la roca, RQD



Figura 34: toma de datos para RQD.

✚ Espaciamiento entre las discontinuidades



Figura 35:espaciamiento

Condiciones de las Discontinuidades.

✚ Persistencia.



Figura 36: Persistencia

✚ Apertura.



Figura 37: abertura entre discontinuidades.

✚ Rugosidad.



Figura 38: Rugosidad entre las discontinuidades

✚ Relleno y alteración.



Figura 39: Relleno y alteración

✚ Agua subterránea

Tabla 11: Parámetros del RMR para la estación 3

CLASIFICACIÓN BENIAWSKI	DE	DESCRIPCIÓN	VALORES
RMR 89			
PARÁMETROS			
• Resistencia a la compresión.		100-250 MPa	12
• RQD		< 50-75%	13
• Espaciamiento entre discontinuidades		16-20 cm	10
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES			
▪ Persistencia		10-20m	1
▪ Apertura		Abierta 1.0-5.0mm	1
▪ Rugosidad		rugosa	5
▪ Relleno		Relleno blando <5mm	1
▪ Alteración		Moderadamente	3
▪ Condición de Agua		Húmedo	7

RMR BÁSICO	53	Regular (III)
-------------------	----	---------------

GSI.

INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS (Marinos & Hoek (2000))		CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS				
<p>Estime el valor típico de GSI considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condición de las discontinuidades.</p> <p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI = 35$. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para GSI.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de GSI; ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>		<p>MUY BUENA Muy rugosas, cajas frescas o no intemperizadas</p> <p>BUENA Rugosas, cajas ligeramente intemperizadas y algo oxidadas.</p> <p>REGULAR Lisas, cajas moderadamente intemperizadas y algo alboradas</p> <p>MALA Pulidas, cajas meteorizadas, con pelinas o con refielos y/o fragmentos angulosos</p> <p>MUY MALA Pulidas, cajas muy meteorizadas, con pelinas o con refielos de arcilla blanca</p>				
ESTRUCTURA DEL MACIZO		DISMINUYE LA CALIDAD →				
 <p>INTACTA o MASIVA Probetas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.</p>		90			N/A	N/A
 <p>BLOCOSA Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.</p>		80			50	40
 <p>MUY BLOCOSA Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.</p>		70				30
 <p>BLOCOSA VETEADA Macizos plegados y con bloques angulosos formados por la intersección de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son persistentes.</p>		60				20
 <p>DESINTEGRADA Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondos, pobremente trabados.</p>						10
	DISMINUYE TRABAZON ENTRE BLOQUES					

Figura 40: valor de GSI para la estación 3

Los valores están entre 50 y 45.

ESTACIÓN 4.

Tabla 12:

Coordenadas de la estación 4

Este	Norte	Cota
764129.00	9252196.00	3624

Descripción:

Macizo rocoso con 2 familias de discontinuidades y una secundaria, presenta relleno de óxidos en las fracturas, con presencia de sílice residual. Se trata de un pórfido Dacítico. Las direcciones promedio de las discontinuidades que presenta es de N101 con Dip 89S.

PARÁMETROS

✚ Resistencia a la compresión:



Figura 41: resistencia a la compresión en campo.

✚ Índice de calidad de la roca, RQD



Figura 42: datos para RQD

✚ Espaciamiento entre las discontinuidades



Figura 43:espaciamiento entre discontinuidades

CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES.

✚ Persistencia.

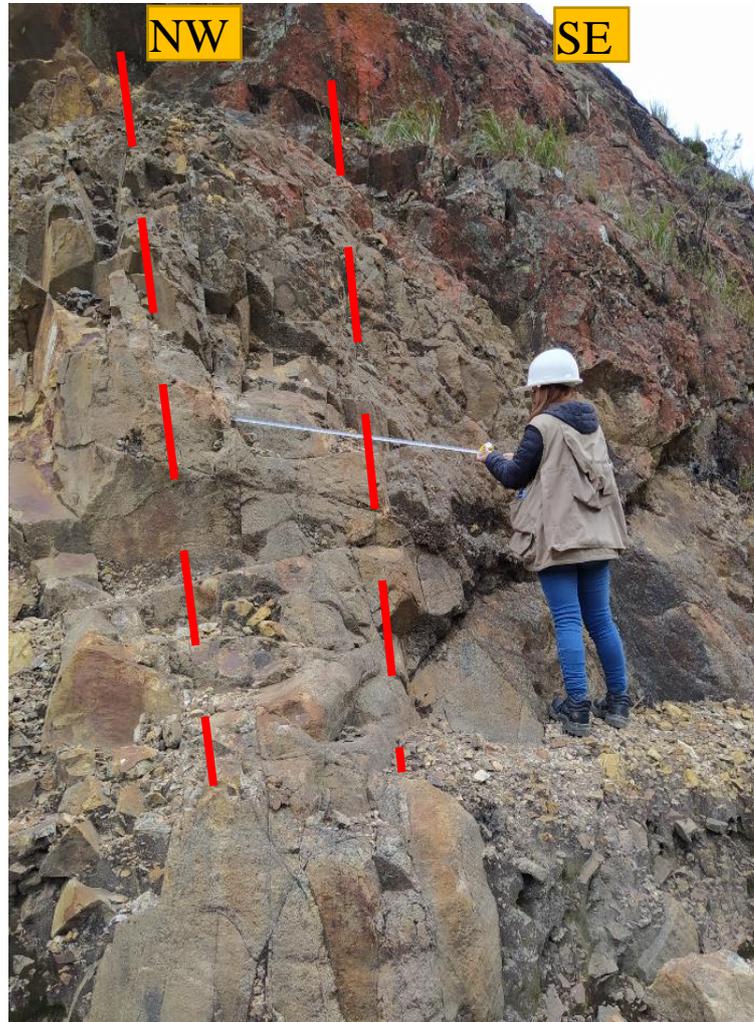


Figura 44: persistencia

✚ Apertura.



Figura 45: abertura entre discontinuidades

✚ Rugosidad.



Figura 46: rugosidad

✚ Relleno y alteración



Figura 47: Relleno y alteración

✚ Agua subterránea

*Tabla 13
Parámetros del RMR para la estación 4*

CLASIFICACIÓN BENIAWSKI	DE	DESCRIPCIÓN	VALORES
RMR 89			
PARÁMETROS			
• Resistencia a la compresión.		>100-250 MPa	12
• RQD		< 50-75%	13
• Espaciamiento discontinuidades	entre	6-20 cm	8
CONDICIÓN DE DISCONTINUIDADES			
▪ Persistencia		3-10 m	2
▪ Apertura		Angosta 1-5.0mm	1
▪ Rugosidad		Ligeramente rugosa	3
▪ Relleno		Relleno blando <5mm	1
▪ Alteración		Moderadamente	3

▪ Condición de Agua

Húmedo

7

GSI.

RMR BÁSICO	50	Regular (III)		
<p>INDICE DE RESISTENCIA GEOLOGICA MACIZOS ROCOSOS FRACTURADOS (Marinos & Hoek (2000))</p> <p>Estime el valor típico de <i>GSI</i> considerando el tipo de roca, la estructura del macizo rocoso, y la condición de las discontinuidades.</p> <p>NO trate de ser demasiado preciso. De hecho, el considerar $33 \leq GSI \leq 37$ es más realista que considerar $GSI = 35$. Note que esta tabla NO es aplicable a problemas con control estructural. Si hay estructuras desfavorablemente orientadas, ellas controlarán el comportamiento del macizo rocoso.</p> <p>En aquellos casos en que la resistencia al corte de las estructuras podría ser afectada por la humedad, deberá considerarse la eventual presencia de agua. Esto puede hacerse "desplazando hacia la derecha" el rango estimado para <i>GSI</i>.</p> <p>La presión del agua no se considera al evaluar el rango de <i>GSI</i>; ya que la misma se incorpora posteriormente en los análisis geotécnicos, los que se desarrollan considerando esfuerzos efectivos.</p>	<p>CONDICION DE LAS ESTRUCTURAS</p> <p>MUY BUENA Muy rugosas, cajas frescas o no intemperizadas</p> <p>BUENA Rugosa, cajas ligeramente intemperizadas y algo oxidadas.</p> <p>REGULAR Lisas, cajas moderadamente intemperizadas y algo alteradas</p> <p>MALA Pulidas, cajas intemperizadas, con pelinas o con refinos y/o fragmentos angulosos</p> <p>MUY MALA Pulidas, cajas muy meteorizadas, con pelinas o con refinos de arcilla blandas</p>			
<p>ESTRUCTURA DEL MACIZO</p> <p> INTACTA o MASIVA Probetas de roca intacta. Macizos masivos o con pocas y muy espaciadas estructuras.</p> <p> BLOCOSA Macizos con 3 sets de estructuras, que definen bloques cúbicos, bien trabados entre sí.</p> <p> MUY BLOCOSA Macizos con 4 sets de estructuras, o más, que definen bloques angulosos y trabados, pero que están parcialmente perturbados.</p> <p> BLOCOSA VETEADA Macizos plegados y con bloques angulosos formados por la interacción de muchas estructuras. Los planos de estratificación y/o esquistosidad son persistentes.</p> <p> DESINTEGRADA Macizo fuertemente fracturado, con una mezcla de bloques angulosos y redondos, pobremente trabados.</p>	<p>DISMINUYE LA CALIDAD →</p> <p>DISMINUYE TRABAZON ENTRE BLOQUES</p>			
	90			N/A
	80			50
	70		50	40
	60		40	30
			30	20
			20	10
			10	

Figura 48: Valor del GSI para la estación 4

Tabla 14
Resultados final del RMR para cada estación Geomecánica

TABLA DE DATOS DE LAS ESTACIONES GEOMECAÑICAS				
	ESTE	NORTE	RMR BASICO	RMR AJUSTADO
ESTACIÓN 1	764019	9252290	51	51
ESTACIÓN 2	764112	9252286	53	48
ESTACION 3	764114	9252230	54	49
ESTACIÓN 4	764129	9252196	50	50

Finalmente, con los datos finales se elaboró el mapa de influencia de la calidad del macizo rocoso en base a los datos del RMR, el cual se muestra en la figura a continuación:

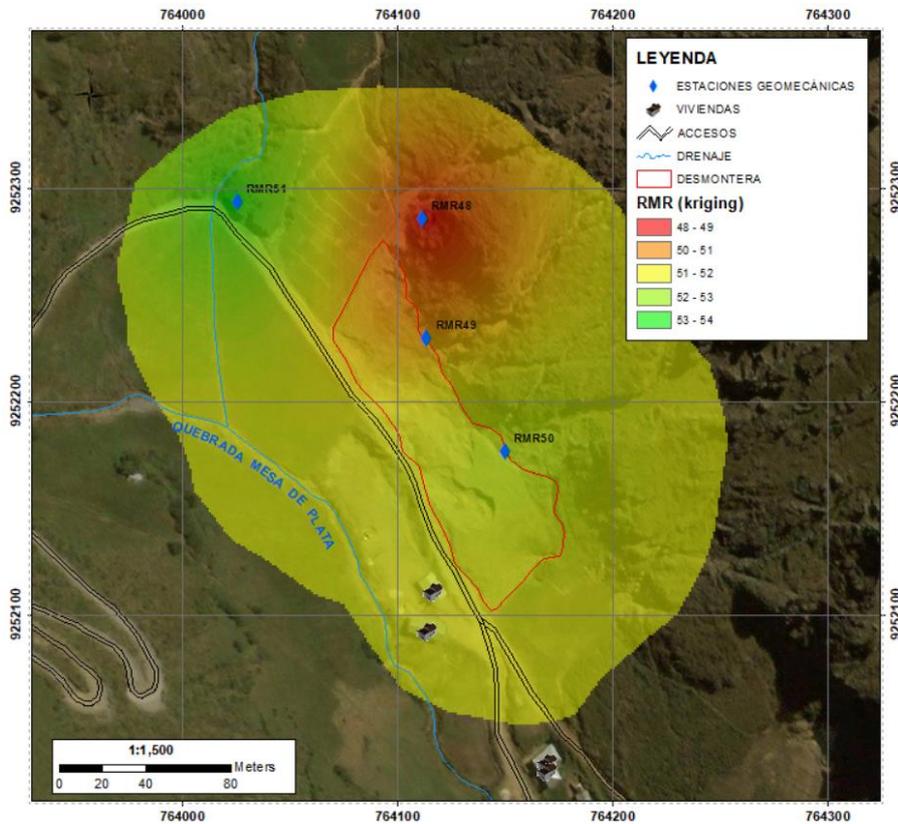


Figura 49: Mapa de influencia de los valores Geomecánicos en la desmontera Anexo 04.

3.4. Diseño de la desmontera

Debido a que en la zona de estudio existen una gran variedad de pasivos ambientales dejados por labores mineras anteriores, la desmontera localizada contiene material previamente depositados el cual ocupa un espacio al que llamaremos volumen actual, por lo cual el trabajo consiste en considerar la reactivación de las labores mineras en dicha zona con lo cual se estarían generando nuevos desechos de desmonte, el producto final es proponer un diseño geométrico de la desmontera suponiendo la deposición de material, todo esto considerando la influencia de los factores geológicos, geomecánicos, geotécnicos y ambientales.

Para calcular la cantidad de material actual de la desmontera se generó la topografía con imágenes DEM las cuales se trabajaron en AutoCAD Civil 3D para mejorar la precisión en el relieve, con esta información se procedió a interpolar el polígono que encierra el perímetro de la desmontera, y generar secciones de muestreo Figura 52, es decir secciones transversales para calcular el volumen del material, con una intercalación de 4 metros a lo largo de las 120 m, con lo cual se pudo calcular:

Volumen actual: 42135 m³

Densidad promedio del material: 2.7 kg/m³

Tonelaje material depositado actualmente: 113767.038 TM

Tonelaje según el diseño propuesto: 175254.193 TM

Al restar las dos cantidades: **61487.155 TM**

Considerando 15 TM x día

Mes: 520 TM

Año: 6240 TM

Vida útil de la Desmontera: 9.8 años.

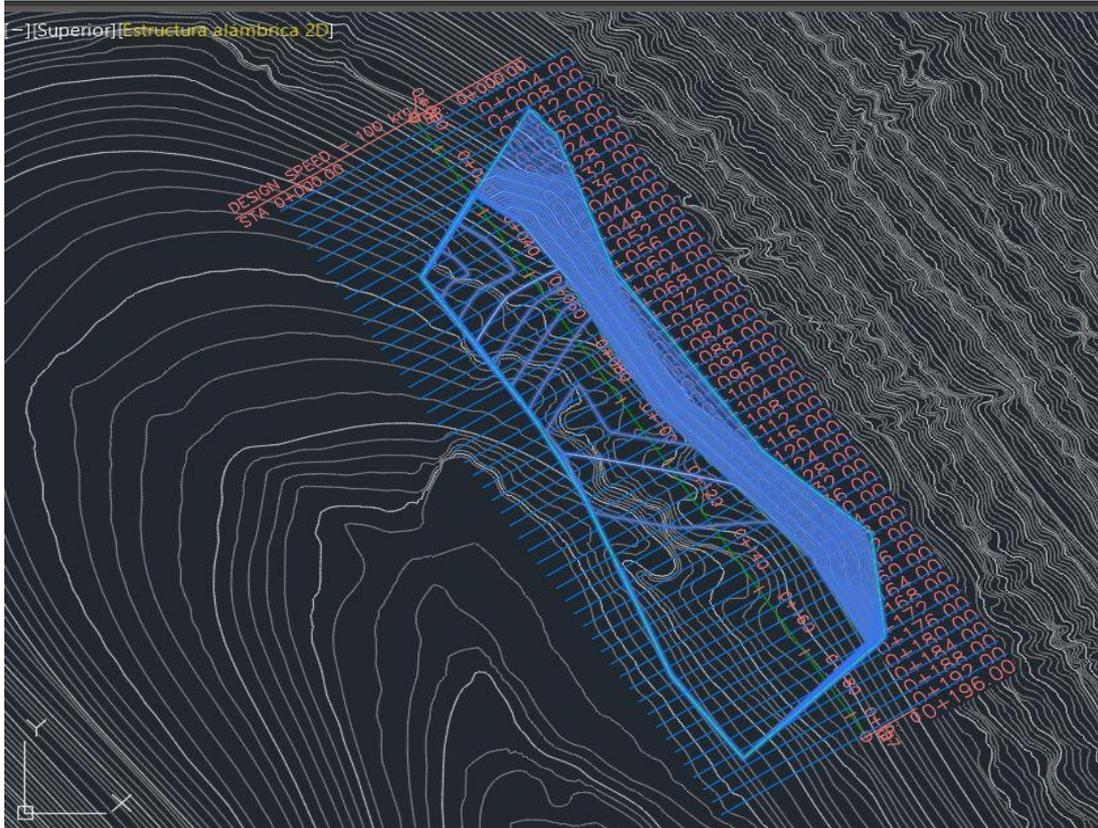


Figura 50: vista en planta de la desmontera y el método del Secciones para calcular volumen.



Figura 51: vista panorámica de la desmontera.

Para hacer la clasificación del suelo que compone la desmontera según (Juárez Badillo, 2005, p. 158) “Los materiales constituidos por partículas gruesas se identifican en campo sobre

una base prácticamente visual, extendiendo la muestra seca sobre una superficie para juzgarse manera aproximada la graduación, tamaño de partículas, forma y composición mineralógica”.

Entonces según lo observado en campo el material hallado corresponde a una mezcla de gravas y arenas envueltas por finos (ver anexo), y según los datos propuestos en el curso aplicado a la cimentación por José María Rodríguez- Jesús Serrad Tuesta en 1982, tendremos que el suelo tiene:

Cohesión: 20 kN/m²

Ángulo de fricción: 35°

Con respecto a las propiedades geotécnicas de la roca se detalla en el estudio geomecánico de la fundación.

Diseño del talud

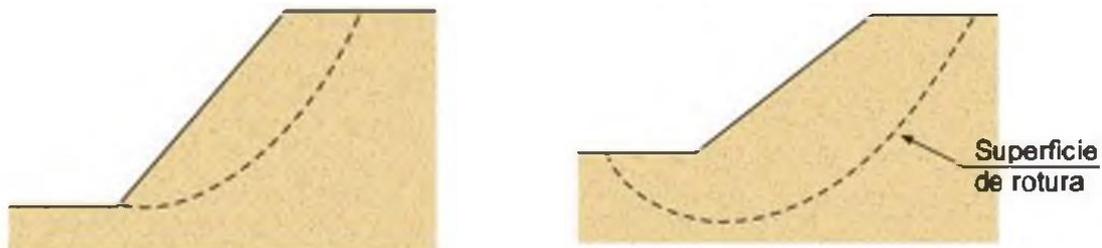


Figura 52: tipos de rotura circular.

Los taludes en suelos rompen generalmente a favor de superficies curvas, con forma diversa condicionada por la morfología y estratigrafía del talud; puede ser aproximadamente circular (la más frecuente), con su extremo inferior en el pie del talud, (deslizamiento de pie), cuando este está formado por terreno homogéneo o por varios estratos de propiedades geotécnicas. Homogéneas, además puede ser casi circular pero pasando por debajo del pie del talud (deslizamiento profundo).(Gonzales de Vallejo, Ferrer, Ortuño, & Otero, 2002)

La estabilidad de un talud está determinada por factores geométricos (altura e inclinación), factores geológicos (que condicionan la presencia de planos y zonas de debilidad y anisotropía en el talud), factores hidrogeológicos (presencia de agua) y factores geotécnicos o relacionados con el comportamiento mecánico del terreno (resistencia y deformabilidad).

La combinación de los factores citados puede determinar la condición de rotura a lo largo de una o varias superficies, y que sea cinemáticamente posible el movimiento de un cierto volumen. (Gonzales de Vallejo et al., 2002).

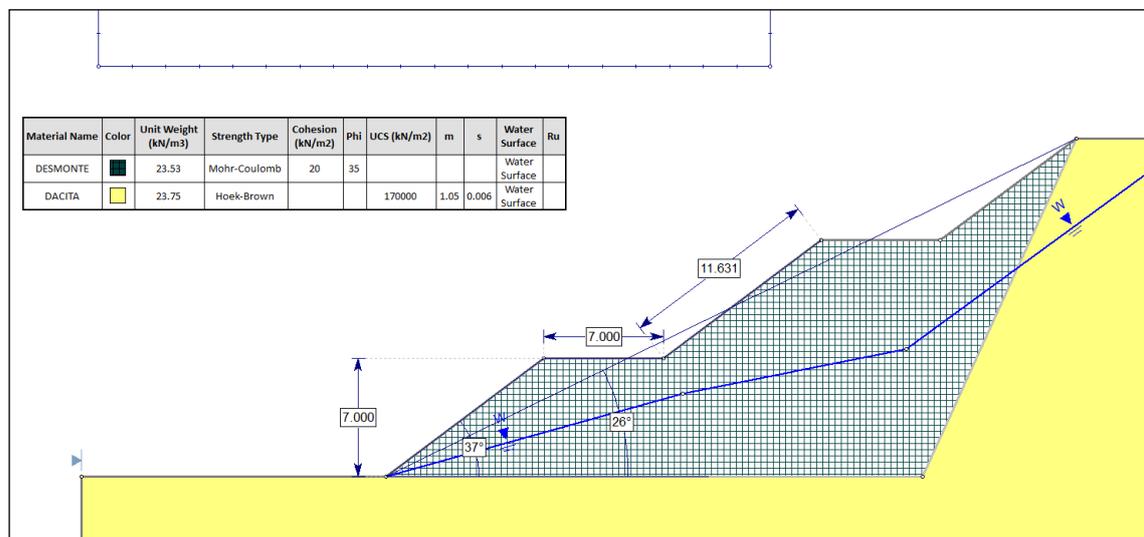


Figura 53: diseño Geométrico de la desmontera.

Entonces considerando los parámetros de diseño como alto de banco, bermas, también se sabe que por lo general el ángulo aceptado es de 26°, este valor va relacionado con los procesos de reclamación. El promedio del ángulo de reposo de los materiales en los botaderos es 37°. Ángulos mayores a 37° podrían ser considerados como botaderos sobre inclinados y estos están relacionados con el tipo de materiales que son descargados. (Aguirre, 2010)

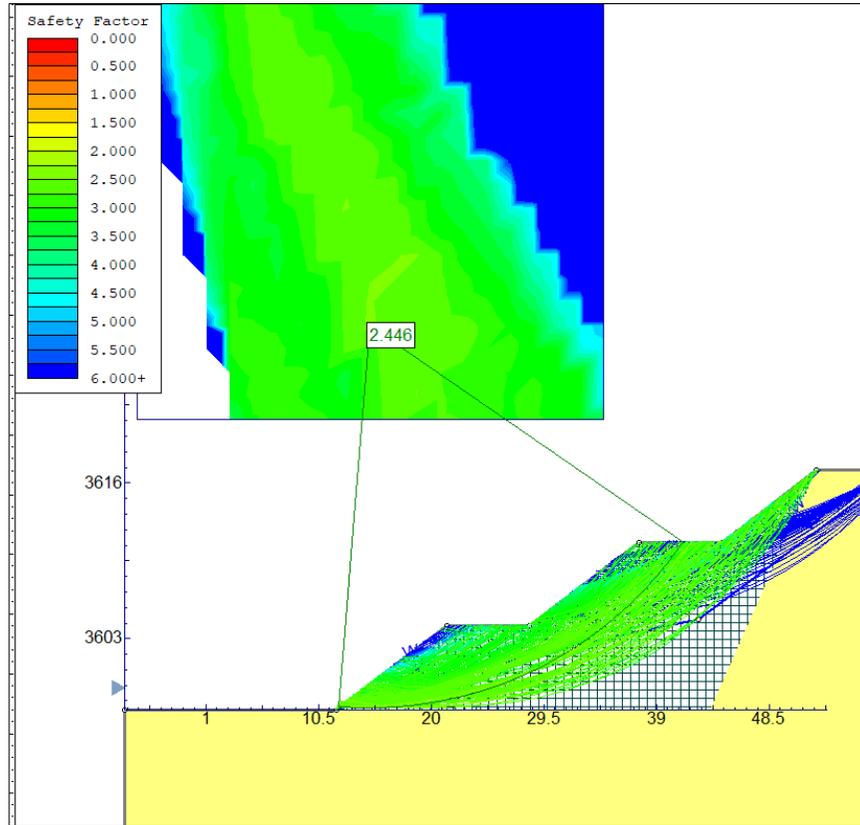


Figura 54: Estabilidad del diseño en condiciones estáticas

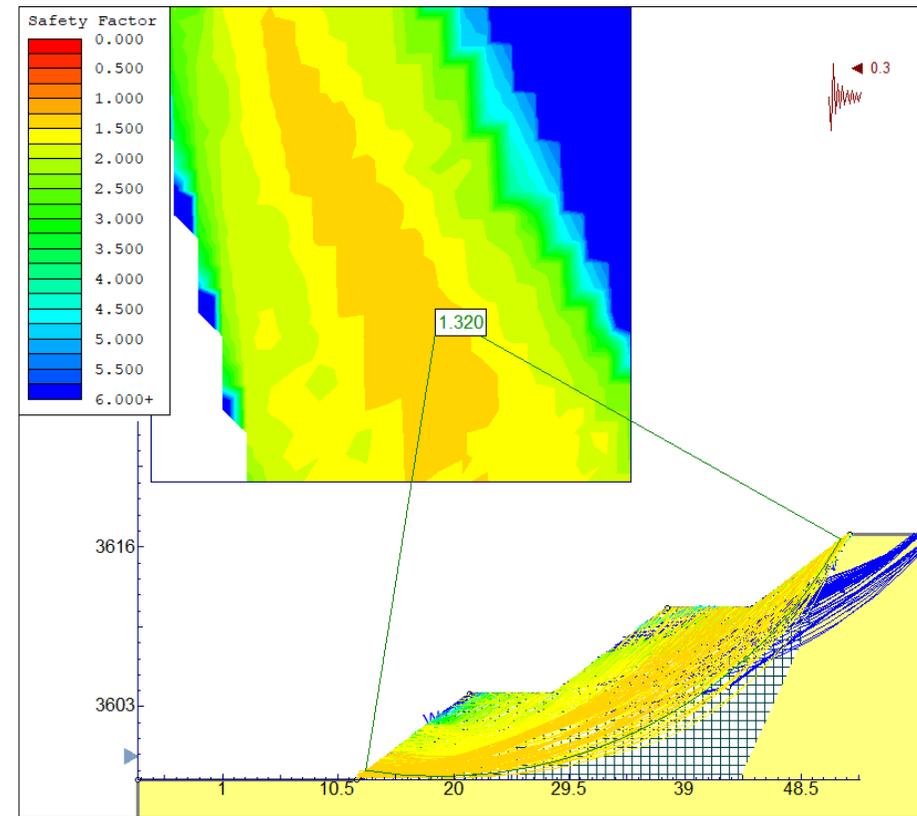


Figura 55: Estabilidad del diseño en condiciones pseudoestáticas.

Según estas consideraciones se propone un diseño con tres bancos ver figura 55, cuyas medidas están a continuación:

Altura de talud: 21 m

Número de bancos: 3

Ángulo Global: 26°

Ángulo de banco: 37°

Altura de banco: 7 m

Ancho de berma: 7 m



Figura 56: Diseño 3D final de la desmontera.

La figura 58 muestra cómo se vería la desmontera construida después de aplicarse las características geométricas propuestas considerando la influencia de los parámetros geotécnicos, cabe mencionar que las porciones de material que se observan de color oscuro y están dentro de la desmontera, pertenecen a la topografía del material depositado anteriormente sin ningún criterio técnico, el cual posteriormente puede ser removido para adaptarse al diseño con la pendiente de reposo estable.

Para ver la sección transversal del diseño final ver **anexo 3**.

Se estima que se va a generar 61487 TM de desmonte, los cuales se van a depositar en un espacio diseñado y acondicionado especialmente para este fin, que deberá considerar la estabilidad física y química en forma permanente. El 30 % del material estéril se almacena en interior mina para usar como relleno detrítico en los tajeos.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

(Ortiz, 2011) recomienda la construcción de zanjas y la instalación de una malla para amortiguar la caída de rocas, en vista de que las desmonteras no fueron tratadas a tiempo y se convirtieron en peligros y focos de contaminación ambiental, de acuerdo a las mediciones de aguas que percolan a través del botadero. En esta investigación no se puede construir una zanja de coronación debido a la topografía del cerro Jesús, que tiene ladera vertical casi de 90°, por tal motivo para el manejo del agua se propone construir un canal receptor del agua **ver anexo 5** que baja por una quebrada para desviarla a la zanja excavada para caída de rocas.

El depósito de desmonte Santa Rosa, ha sido diseñado para albergar una capacidad de material de desmonte de mina de aproximadamente 196 511.00 m³ (422 500.00 ton) en un área total aproximada de 2.0 ha, considerando una densidad del material de 2.15 ton/m³, para 10.2 años de vida (Vilcas, 2019), En la presente investigación la capacidad de la desmontera es de 61487.15 TM en un área de 0.66 ha, con una vida útil de 9.8 años que puede variar según la producción de las labores subterráneas.

Al igual que Huamán (2013), el material de la desmontera alcanzará su estabilización mecánica por consolidación, por peso propio y por ganancia de resistencia en el tiempo por efecto físico químico.

En el diseño estructural del botadero de la mina Constancia - Hudbay se clasificó el desmonte en desmonte generador de ácidos (NAG) y desmonte no generador de ácidos (PAG). (Centeno, 2018) Por tal efecto se logró el dimensionamiento de desmonte en; 190Mtn de NAG y 480Mtn de PAG respectivamente, 13 representando el 80% y 20%

del desmonte total. En nuestro caso no se realizó ensayos de laboratorio sobre el aspecto químico del material a depositar.

El desarrollo de la investigación es coherente con lo que menciona Villanueva, Lino & Huaña (2017) cuando dice que el diseño geométrico de un depósito de desmonte se realiza considerando la información obtenida en los ensayos in situ y de laboratorio, el análisis teórico y la modelización numérica, para la cual usamos los software RocData, Dips, Slide.

La metodología seguida en los estudios de estabilidad de taludes, en este caso taludes de desmontera en el Cerro Jesús, parte del conocimiento geológico, hidrogeológico y geomecánico del macizo rocoso o suelo. (Gonzalez de Vallejo, 2002)

4.2. Conclusiones

- Los parámetros geotécnicos tienen una influencia directa en el diseño de la desmontera ya que por medio de estos podemos conocer las características físicas del macizo rocoso como ángulo de fricción, cohesión y resistencia a la compresión, sumado a la interpretación adecuada de los valores obtenidos en campo y por medio de softwares especializados, podemos formular un diseño apropiado que se ajuste a las limitaciones del material.
- Las formaciones geológicas que rodean la zona de estudio de componen en su totalidad por dos unidades en todo el Norte y Oeste la formación Yumagual del cretáceo superior formando montañas escarpadas, y al Este un pórfido de composición dacítica el cual presenta alteración hidrotermal.
- Los principales riesgos geológicos en la zona de investigación son los deslizamientos que se ubican colindantes a la quebrada mesa de plata al comenzar el casco urbano, caída de rocas provenientes del cerro María el cual está compuesto enteramente por calizas de la formación Yumagual, y roturas por vuelco las cuales se pueden ver el rumbo casi paralelo a la dirección del talud que se encuentra en la parte baja del cerro Jesús en el cual se ubica la desmontera.
- La calidad de los macizos rocosos según el RMR para la estación 1 son: RMR ajustado con un valor de 51 y GSI de 44, para la estación 2 el RMR ajustado con un valor de 48 y un GSI de 48, para la estación 3 un RMR de 49 y GSI de 49, y finalmente para la estación 4 un RMR ajustado de 50 y un GSI de 54.
- El diseño propuesto para la desmontera requiere la construcción con 3 bancos de altura de 7 m con un ángulo de 37° y un ángulo global de 26° , el ancho de berma es de 7 m.

- El diseño propuesto para la desmontera tiene la capacidad de 61487 TM y un área de 0.66 ha, que tendrá una vida útil de 9.8 años al considerar una secuencia del llenado de 15 TM por día.

REFERENCIAS

- Centeno, A. (2018). *“Estudio Técnico Del Diseño Estructural Del Botadero De La Mina Constancia - Hudbay”*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Gonzalez de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica* (2da ed.). Madrid: Pearson Education.
- Huaman (2013), *Diseño del depósito de desmonte de mina Magistral Centro*, tesis pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Mendoza, J. (2016). *"Análisis De Estabilidad De Taludes De Suelos De Gran Altura En La Mina Antapaccay"*. Lima: Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Ortiz, J. P. (2017). Methodology for a dump design optimization in large-scale open pit mines. *Cogent Engineering*, 4(1), 1387955. doi: 10.1080/23311916.2017.1387955
- Ortiz, S. (2011). *Impacto ambiental producido por los botaderos de desmonte y Pads de lixiviación en la Mina Santa Rosa de Puno*. (Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann). Recuperado de <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/702>
- Ortiz, W. (2016). Tesis “Diseño De Botaderos De Desmonte En Open Pit Usando Minesight 7.0 E.E. Piramide Cis Cuajone ”. Arequipa: Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa.
- Oyanguren, R., & Alejano, P. (2007). *Mecánica De Rocas : Fundamentos E Ingeniería De Taludes*. Madrid.: Red DESIR
- Radhakanta, K., & Debashish, C. (2010). Discrete element approach for mine dump stability analysis. *Mining Science and Technology (China)*, 20(6), 809–813. doi: 10.1016/S1674-5264(09)60286-6

Suárez, J. (2002). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*.
Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.

ANEXOS

Anexo N° 1: Fotografías



Figura 57. Toma de persistencia.



Figura 58. Medición de persistencia de la discontinuidad.



Figura 59. Identificación de discontinuidades.

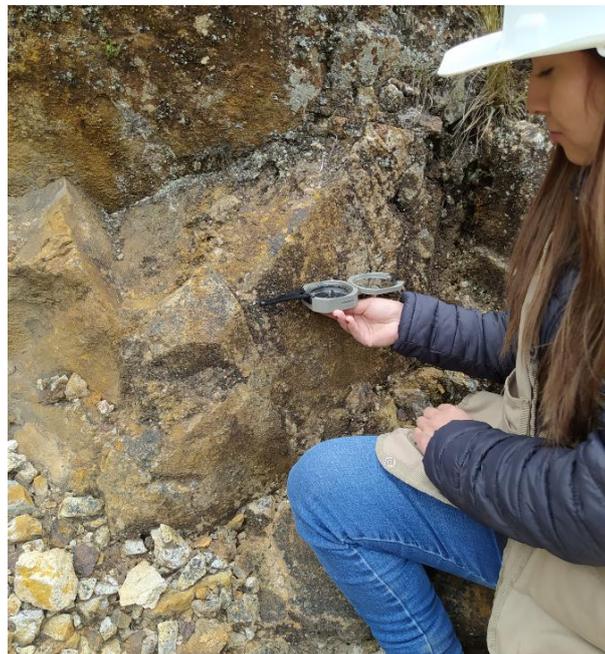


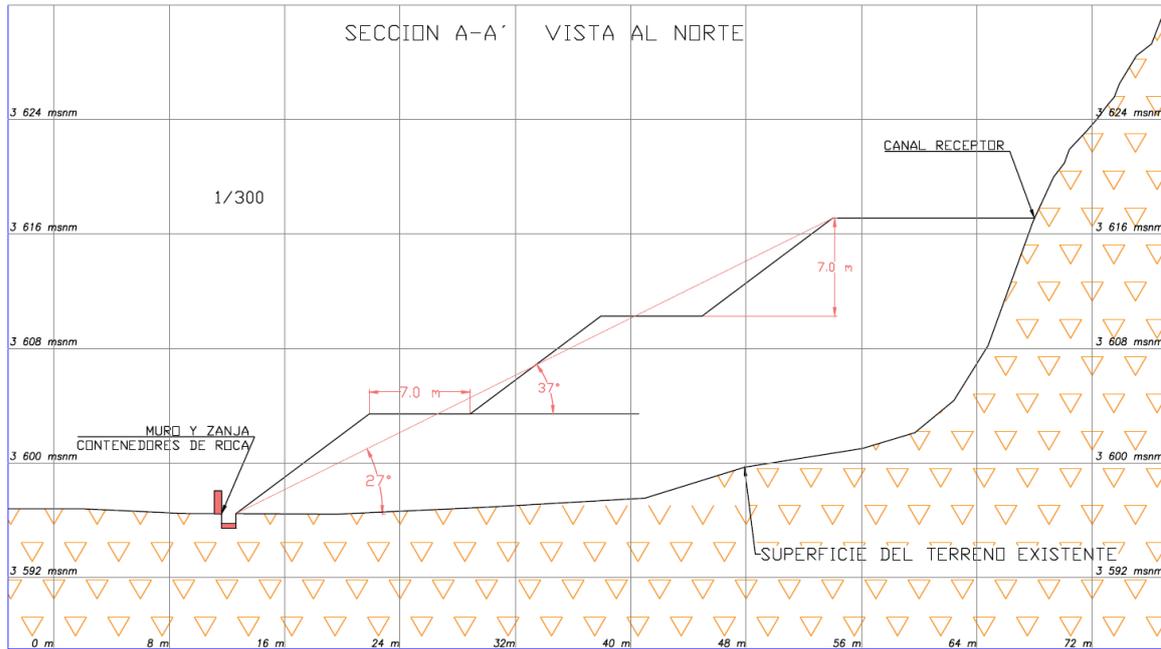
Figura 60. Toma de rumbo y buzamiento.

Anexo No 2: Parámetros Estándares de suelos.

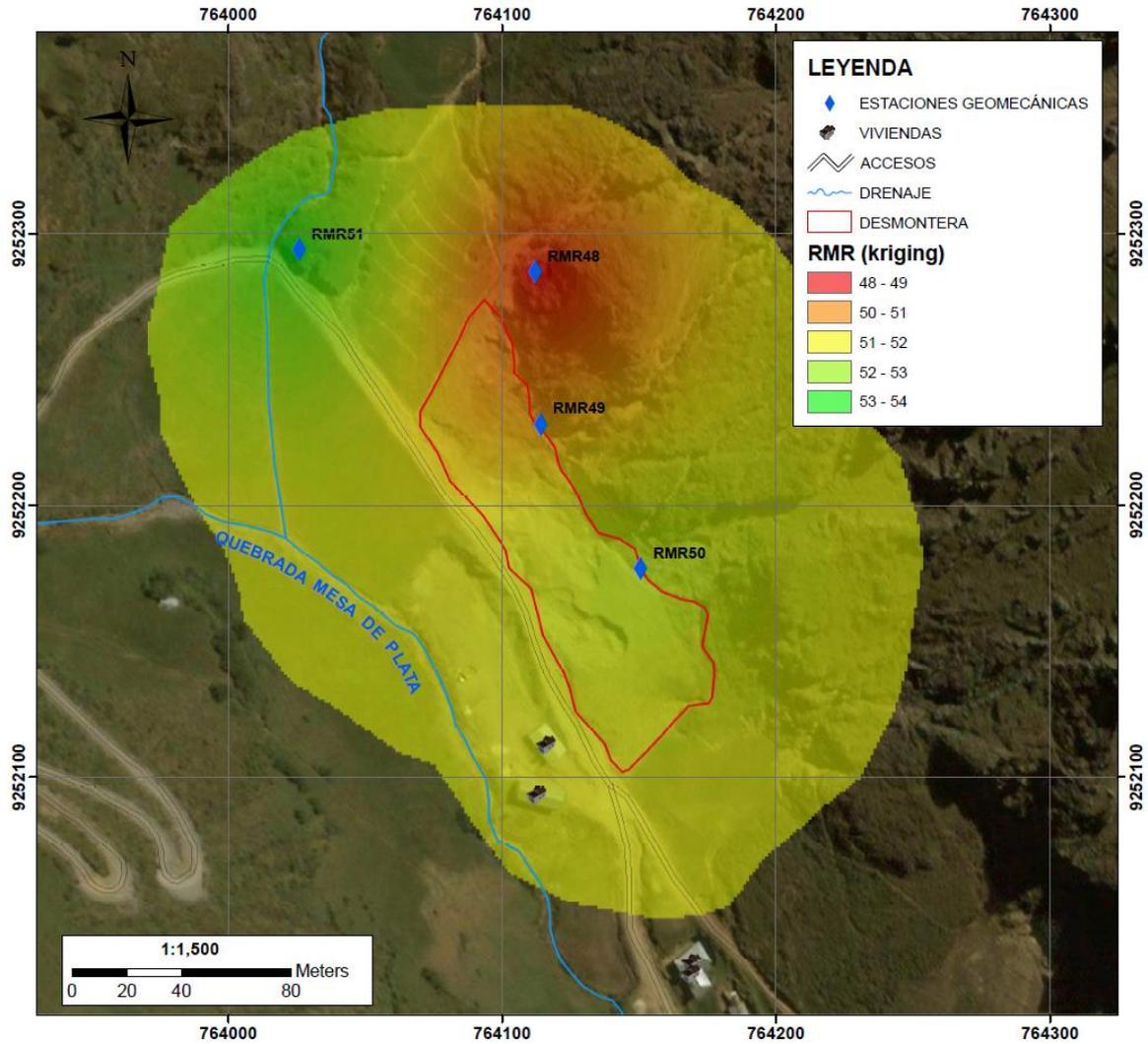
PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DEL SUELO																
TIPO DE SUELO	GRANULOMETRÍA		LÍMITE DE ATTEMBERG			PESO ESPECÍFICO		HUMD. NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD		RESISTENCIA AL CORTE			PERMEABILIDAD
	<0.06	<2.00	(fracción < 0.04 mm)			γ	γsum	W	D. Seca	wpm	Es=EO	(σ/σt)	Φ	c	Φ'	K
	mm	mm	wL	wP	lp	T/m3	T/m3	%	T/m3	%	Kp/cm2	α	(°)	T/m2	(°)	m/s
	%	%	%	%	%	T/m3	T/m3	%	T/m3	%	Kp/cm2	α	(°)	T/m2	(°)	m/s
Grava	<5	<60	-	-	-	1.6	0.95	5	1.7	8	400	0.6	34	-	32	2.00E-01
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	-	-	-	1.9	1.05	2	1.9	5	900	0.4	42	-	35	1.00E-02
			-	-	-	2.1	1.15	7	2	7	400	0.7	35	-	32	1.00E-02
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura	8	<60	-	-	-	2.3	1.35	13	2.25	4	1100	0.5	45	-	35	1.00E-06
			20	16	4	2.1	1.15	9	2.1	7	400	0.7	35	1	32	1.90E-09
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	15	<60	45	25	25	2.4	1.45	3	2.35	3	1200	0.5	43	0	35	1.00E-08
			20	16	4	2	1.05	13	1.9	10	150	0.9	28	3	22	1.00E-09
Arena uniforme fina	<5	<100	50	25	30	2.25	1.3	5	2.2	5	400	0.7	35	0.5	30	1.00E-11
			-	-	-	1.6	0.95	22	1.6	15	150	0.75	32	-	30	2.00E-04
Arena uniforme gruesa	<5	<100	-	-	-	1.9	1.1	8	1.75	10	300	0.6	40	-	22	1.00E-03
			-	-	-	1.6	0.95	16	1.6	13	250	0.7	34	-	30	5.00E-03
Arena bien graduada y arena con grava	<5	<100	-	-	-	1.9	1.1	8	1.75	8	700	0.55	42	-	34	2.00E-04
			-	-	-	1.8	1	11	1.9	10	200	0.7	33	-	32	5.00E-04
Arena con finos que no alteran la estructura granular	8	>60	-	-	-	2.1	1.2	5	2.15	6	600	0.55	41	-	34	2.00E-03
			20	16	4	2.9	1.05	15	2	13	150	0.8	32	1	30	1.00E-03
Arena con finos que alteran la estructura granular	15	>60	45	25	25	2.25	1.3	4	2.2	7	500	0.65	40	0	32	1.00E-07
			20	16	4	1.8	0.9	20	1.7	18	50	0.9	25	5	22	1.00E-07
Limo poco plástico	>50	>80	50	30	30	2.15	1.1	8	2	12	250	0.75	32	1	30	1.00E-10
			25	20	4	1.75	0.95	28	1.6	22	40	0.8	28	2	25	1.00E-04
Limo de plasticidad media a alta	>80	>100	35	28	11	2.1	1.1	15	1.8	15	110	0.6	35	0.5	30	5.00E-06
			35	22	7	1.7	0.85	35	1.55	23	30	0.9	25	3	22	2.00E-05
Arcilla de baja plasticidad	>80	100	50	25	20	2	1.05	20	1.75	16	70	0.7	33	1	29	2.00E-06
			25	15	7	1.9	0.95	28	1.65	20	20	1	24	6	20	1.00E-07
Arcilla de plasticidad media	>90	100	35	22	16	2.2	1.2	14	1.85	14	50	0.9	32	1.5	28	2.00E-09
			40	18	16	1.8	0.85	38	1.55	23	10	1	20	8	10	5.00E-06
Arcilla de alta plasticidad	100	100	50	25	28	2.1	1.1	18	1.75	17	30	0.95	30	2	20	1.00E-10
			60	20	33	1.65	0.7	55	1.45	27	6	1	17	10	6	1.00E-09
Limo o arcilla orgánicos	>80	100	85	35	55	2	1	20	1.65	20	20	1	27	3	15	1.00E-11
			45	30	10	1.55	0.55	60	1.45	27	5	1	20	7	15	1.00E-09
Turba	-	-	70	45	30	1.9	0.9	30	1.7	18	20	0.8	26	2	22	1.00E-11
			-	-	-	1.04	0.04	800	-	-	3	1	25	1.5	-	1.00E-05
Fango	-	-	-	-	-	1.3	0.3	100	-	-	8	1	30	0.5	-	1.00E-09
			-	-	100	30	50	1.23	0.25	200	-	-	4	1	22	2
			250	80	170	1.6	0.6	50	-	-	15	0.9	28	0.5	-	1.00E-08

Fuente: Curso aplicado a la cimentación, José María Rodríguez Ortiz - Jesús Serrad Tuesta, 1982, Colegio Oficial de Arquitectos, Madrid-España

Anexo No 3: Sección A-A' del diseño final



Anexo No 4: Influencia de los valores de RMR



Anexo No 5: Canal para drenar el agua proveniente del cerro Jesús

