



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ESTUDIO MINERO PARA EL DISEÑO DEL DEPÓSITO DE DESMONTE CON MURO DE CONTENCIÓN EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, CAJABAMBA 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera de Minas

Autor:

Ceslyp Lisseth Bautista Fernández

Asesor:

Ing. M.Sc. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres quienes son fuente de esperanza, inspiración, 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; dedicado a mis hermanos, familia en general por creer incondicionalmente en mí, como también a mi compañero por la motivación constante.

**Ceslyp Lisseth Bautista Fernández.**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios por darme las fuerzas necesarias en los momentos en que más las necesité, llenarme de infinitas bendiciones y brindarme la posibilidad de lograr cada meta trazada durante mi vida. Los siguientes párrafos van dirigidos a quienes me apoyaron y sostuvieron vigorosamente para conquistar los objetivos y metas proyectadas.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibido de mis amados padres, familiares y mi gran compañero.

A todos ellos, muchas gracias.

**Ceslyp Lisseth Bautista Fernández.**

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	8
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.3. OBJETIVOS .....	15
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	15
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	15
1.4. HIPÓTESIS .....	15
1.4.1. <i>Hipótesis General</i> .....	15
<b>CAPITULO II. METODOLOGÍA .....</b>	<b>16</b>
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	16
2.2. POBLACIÓN .....	16
2.3. MUESTRA .....	16
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	16
2.4.1. INSTRUMENTOS.....	17
<b>CAPITULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>533</b>
4.1. DISCUSIÓN .....	533
4.2. CONCLUSIONES .....	54
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>57</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: FICHA DE CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA. ....	17
TABLA 2: UBICACIÓN DE LA DESMONTERA. ....	19
TABLA 3: ACCESIBILIDAD A LA DESMONTERA.....	20
TABLA 4: MOVIMIENTO DE TIERRAS DEL TRAMO 0 M AL TRAMO 80 M.....	43
TABLA 5: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL MURO.....	45
TABLA 6: CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL MURO.....	45
TABLA 7: PUNTOS DE REFERENCIA DE LA EXTENSIÓN DEL TERRENO SUPERFICIAL. ....	48
TABLA 8: CÁLCULO DE VOLUMEN (M <sup>3</sup> ) PARA DOS BANCOS .....	48
TABLA 9: CÁLCULO DE VOLUMEN (M <sup>3</sup> ) PARA TRES BANCOS.....	48
TABLA 10: CÁLCULO DE VOLUMEN (Tm).....	49
TABLA 11: CÁLCULO DE VOLUMEN EN Tm DE CADA BANCO FINAL DEL DISEÑO. ....	49
TABLA 12: CÁLCULO DE VIDA ÚTIL DEL BOTADERO CON DOS BANCOS .....	49
TABLA 13: CÁLCULO DE VIDA ÚTIL DE BOTADERO CON TRES BANCOS.....	49
TABLA 14: DATOS DE CONTORNO DE BANCOS. ....	50
TABLA 15: CANTIDAD DE AGUA. ....	50
TABLA 16: DATOS DEL BANCO INFERIOR. ....	51
TABLA 17: DATOS DEL BANCO MEDIO. ....	51
TABLA 18: DATOS DEL BANCO SUPERIOR. ....	51
TABLA 19: GEOMETRÍAS DE LOS BANCOS EN MODELO 3D.....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1: FORMATO ESTIMACIÓN GSI .....	18
ILUSTRACIÓN 2: FORMATO DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA.....	18
ILUSTRACIÓN 3: UBICACIÓN DE LA DESMONTERA.....	19
ILUSTRACIÓN 4: UBICACIÓN DE LA DESMONTERA RESPECTO A ALGAMARCA.....	20
ILUSTRACIÓN 5: RELIEVE DE LA ZONA DE ALGAMARCA (A) VISTA AL NORTE, (B), VISTA AL ESTE. .....	22
ILUSTRACIÓN 6: CUARCITAS DE LA FORMACIÓN CHIMÚ.....	24
ILUSTRACIÓN 7: CALIZAS, ARENISCAS Y LUTITAS DE LA FORMACIÓN SANTA.....	25
ILUSTRACIÓN 8: ARENISCAS DE LA FORMACIÓN CARHUAZ.....	26
ILUSTRACIÓN 9: ARENISCAS DE LA FORMACIÓN FARRAT.....	26
ILUSTRACIÓN 10: COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	27
ILUSTRACIÓN 11: MAPA GEOLÓGICO.....	28
ILUSTRACIÓN 12: CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA GSI.....	29
ILUSTRACIÓN 13: ANÁLISIS DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS EN ROCDATA.....	30
ILUSTRACIÓN 14: PLANO QUE EVIDENCIA LOS RÍOS PRINCIPALES COLINDANTES A LA DESMONTERA (HIDROGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO).....	31
ILUSTRACIÓN 15: DESMONTERA CON DOS BANCOS.....	32
ILUSTRACIÓN 16: DESMONTERA CON TRES BANCOS.....	33
ILUSTRACIÓN 17: MÉTODO ORDINARY/FELLENIUS.....	33
ILUSTRACIÓN 18: MÉTODO BISHOP SIMPLIFIED.....	34
ILUSTRACIÓN 19: MÉTODO JAMBU SIMPLIFIED.....	34
ILUSTRACIÓN 20: ZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	36
ILUSTRACIÓN 21: FIGURAS DE CORTE Y RELLENO DE 0 M HASTA 10 M.....	37
ILUSTRACIÓN 22: FIGURA DE CORTE Y RELLENO DE 15 M A 25 M.....	38
ILUSTRACIÓN 23: FIGURA DE CORTE Y RELLENO DE 30 M A 40 M.....	39
ILUSTRACIÓN 24: FIGURA DE CORTE Y RELLENO DE 45 M A 55 M.....	40
ILUSTRACIÓN 25: FIGURA DE CORTE Y RELLENO DE 60 M A 70 M.....	41
ILUSTRACIÓN 26: CORTE Y RELLENO DE 75 M A 80 M.....	42
ILUSTRACIÓN 27: PREDIMENSIONAMIENTO DEL MURO DE CONTENCIÓN.....	44
ILUSTRACIÓN 28: ESQUEMATIZACIÓN DE CARGAS DENTRO DEL MURO DE CONTENCIÓN.....	46
ILUSTRACIÓN 29: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN.....	47
ILUSTRACIÓN 30: GEOMETRÍA DE LOS BANCOS.....	51
ILUSTRACIÓN 31: VISUALIZACIÓN EN 3D DE DISEÑO DE LA DESMONTERA.....	52

## RESUMEN

La presente investigación nace de la falta de un depósito de desmonte para una mina subterránea en Cajabamba, donde el material extraído se está acumulando en un área a la cual no se le ha hecho ninguna evaluación ni diseño para funcionar como desmontera.

El objetivo de la presente, es realizar el diseño del depósito de desmonte con muro de contención analizando la estabilidad física proponiendo el número de bancos necesarios, la estabilidad hidrológica, la capacidad y vida útil.

Dentro de la metodología utilizada tenemos la observación directa, evaluando el terreno el cual tiene como material de fundación roca arenisca y cuarcitas de la formación Chimú. Para el análisis de estabilidad se usó el software Slide de la firma Rocscience, para lo cual se determinó que la mejor estabilidad se obtiene al construir 3 bancos para el depósito de desmonte con alturas empezando desde la base de 11 m, 6m y 5 m, y con ángulo de inclinación de 34°.

El cálculo de la capacidad del depósito de desmonte es de **31064.5812 m<sup>3</sup>** un aproximado de **83874,3693 toneladas**.

La vida útil del depósito de desmonte es 7.5 años.

**Palabras claves:** Diseño, depósito, desmonte.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

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).

El material estéril extraído de la mina, debe ser dispuesto en lugares específicos y adecuados para este fin, por lo que tendremos que definir las características de estos lugares. Un buen lugar para un botadero lo constituirá el sector que cumpla de mejor manera todas las exigencias para su habilitación, tanto técnicas como económicas.

"Es la Acumulación de material estéril de granulometría heterogénea en la ladera de una montaña rocosa" (Ortiz, Canchari, & Giralda, 2011)

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.

Sjobery (1996), Deere (1987), Hook (1985) plantean en el diseño de la pendiente (talud) de las pilas o escombreras de desmonte en su forma estructural, para garantizar

las medidas de seguridad preventivo; modelos de equilibrio límite, análisis finito para encontrar un factor de seguridad compatible con la estabilidad física.

Según el MEM (2016), para las desmonteras, los factores mínimos de seguridad son 1.5 como factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas y 1.3 como factor mínimo de seguridad en condiciones pseudo-estáticas.

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 (Vilca, 2019).

Un componente inherente al depósito de desmonte es el talud, el cual es una superficie inclinada, de un macizo rocoso o suelo, que forme un ángulo con la horizontal. Los taludes pueden ser clasificados en taludes naturales, que básicamente son las pendientes naturales, y en taludes construidos que pueden ser los terraplenes o los cortes de terreno (Gerscovich, Vargas, & de Campos, 2006)

Las presas convencionales, botaderos de desmonte se diseñan para permanecer operativas durante un cierto período o vida útil y son consideradas como una inversión. Por esta razón la construcción, operación y mantenimiento suelen recibir un elevado estándar de calidad por parte de los dueños de la operación, además de ser las estructuras más grandes construidas por el hombre, deben permanecer a perpetuidad. En general, el modelo de recurrencia establece el número relativo de terremotos de diferentes niveles de magnitud. En la mayoría de los casos esta relación se especifica a través de la relación de Gutenberg-Richter,  $\log N = a - bM$ , donde N es el número

promedio de sismos de magnitud mayor o igual a  $M$ , y  $a$  y  $b$  son constantes propias de la fuente considerada. (Chambers & Higman, 2011).

El cálculo del volumen a utilizar en los depósitos de desmonte, se realiza con el fin de estimar el espacio físico necesario para la adecuada disposición del material estéril, de modo que podamos definir el lugar o lugares donde se dispondrán dicho material (Ortiz, 2016).

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).

Villanueva (2015) Nos dice que para el diseño de un depósito de desmonte se realizó la caracterización geotécnica del material, calibración de un modelo constitutivo de segundo orden y la simulación numérica con métodos de elementos finitos. Respecto a las propiedades dinámicas, el material fue sometido a un ensayo de columna resonante y corte torsional (RCTS) en la Universidad de Texas – USA. Se realizó la calibración del modelo constitutivo HS-Small con los resultados obtenidos de la caracterización geotécnica y se ejecutó un modelo numérico de la estructura. El modelo fue ejecutado en el programa de elementos finitos Plaxis 2D AE con el objetivo de conocer la interacción entre la estructura y la fundación, el comportamiento del

material en el proceso constructivo, el factor de seguridad y los desplazamientos inducidos por cargas monotónicas y dinámicas. En el análisis dinámico realizado se obtuvieron desplazamientos en X de 1.70 m, en Y de 1.20 m. Adicionalmente se obtuvo también las deformaciones de corte para cada caso analizado.

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 m<sup>3</sup> (422 500.00 ton) en un área total aproximada de 2.0 ha, considerando una densidad del material de 2.15 ton/m<sup>3</sup>, para 10.2 años de vida.

Ortiz (2016), realizó trabajos de campo como pruebas in-situ, se construyeron calicatas para obtener muestras y llevarlas a laboratorio para obtener los parámetros geotécnicos par el diseño, una vez obtenido los parámetros geotécnicos se desarrolló la simulación en MS 7.0. Concluye que es más económico hacer la descarga del material durante el periodo 2016-2018 en el botadero Cuajone se generaría un ahorro de 10.46M US\$. Y del periodo 2019 - 2020 en el botadero Cocotea Oeste. Todo el material de desmonte es en total de 336 millones de toneladas de la fase 8 hasta llegar a nivel de mineral.

Según los resultados obtenidos en laboratorio el material de desmonte no es generador de drenaje acido, el sistema de clasificación unificado de suelos (SUCS) gravas, arenas, limonitas. En los ensayos de compresión triaxial el ángulo de fricción interna para el depósito de desmonte Cuajone es 37 grados y Cocotea Oeste de 39 grados.

Huamán (2013), en su investigación, concluye que, el depósito de desmonte tendrá una extensión superficial de aproximadamente 53980 m<sup>2</sup> y permitirá almacenar un volumen de desmonte de aproximadamente 1100000 m<sup>3</sup>. 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.

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.

Acuña (2020) evaluó la estabilidad de dos desmonteras en la zona de Santa Bárbara, Huancavelica, donde concluyó que estas son inestables y deben ser removidas o estabilizadas mediante cortes y rellenos conformados con muros de pie, material de cobertura; Las desmonteras no son generadores de acidez y el contenido de mercurio se considera que es estable y no lixivia su contenido en los cuerpos receptores está

dentro de los Límites Máximos Permisibles, y serán revegetados colocándose una capa de material orgánico de 0,25 m de espesor para proseguir con la siembra y fertilización.

Las normas legales del Perú, proponen algunos parámetros tanto de diseño, sismológicos, geotécnicos y ambientales que apoyaran en analizar la estabilidad de depósito de desmonte., contempla las siguientes normas legales nacionales vigentes.

D.S. N° 016-93 EM, Reglamento para la protección ambiental en las actividades Minero-metalúrgicas.

D.Leg. N° 613 código del medio ambiente y de los recursos naturales.

D.S. N° 014-92-EM T.U.O de la Ley General de Minería

R.M. N° 011-96-EM/VMM Niveles Máximos Permisibles para efluentes líquidos

D.Leg. N° 17752. Ley General de Aguas y las modificaciones a los títulos I, II, II promulgados por D.S N° 007-83-SA.

El yacimiento polimetálico de Algamarca, ha sido explotado desde tiempos de los Incas, según consta en los escritos de su recorrido por el Perú, de Antonio Raymondi. Por los años de 1940 esta propiedad fue explorada y explotada por la familia Orbegoso y Tudela, hasta marzo de 1991. Durante este periodo se ha producido concentrado de cobre y plata, despachado hacia el exterior por el puerto de Salaverry, Trujillo en la Libertad. Este yacimiento es de alta sulfuración de tipo vetiforme y polimetálico de cobre y plata principalmente, emplazado en cajas de cuarcitas como rocas sedimentarias. Diversos estudios realizados por los profesionales que han laborado en esta empresa a través de los años de vida de esta mina demuestran e indican las virtudes y bondades de mineralización que ha tenido sus vetas explotadas. El método de explotación utilizado por la empresa anterior ha sido por tajeos y en forma de “shirinkage”, que consta de realizar 2 chimeneas paralelas, a ambos extremos del block

económico, las cuales servían de acceso, ventilación y extracción de los tajeos, originándose un subnivel de 2 o más metros del techo de la galería principal, quedando un puente de estas dimensiones, entre la galería y subnivel. A este puente se le creaba ciertos agujeros de sección de 1.5 m de diámetro, cada 5 m a 7m con la finalidad de crear chutes o buzones encribados con madera y que servían para extraer el mineral roto y acumulado en el tajeo.

Actualmente estos puentes de galerías y subniveles constituyen el potencial económico a extraerse por los mineros artesanales de la AMASBA, los cuales realizan trabajo en estos como es el caso de los trabajos en la veta San Blas que ha sido explotada en las minas Nivel 5, Nivel 4, Nivel 3, Mina Las Cuevas, Nivel 1, Nivel 0.

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.

La mina planea aumentar la producción de minerales dando como consecuencia una mayor producción de material estéril que por ley tiene que ser reubicada en áreas adaptadas para este fin, por lo tanto, la presente investigación permitirá diseñar un depósito de desmonte adecuado para la mina subterránea además del diseño del muro de contención, para así contribuir con el desarrollo prospero de la mina y evitar riesgos innecesarios por acumulación de material estéril en zonas inadecuadas. Por otra parte, la metodología puede ser utilizada en futuras investigaciones donde se requiera diseñar desmonteras.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es el diseño del depósito de desmonte con muro de contención para una mina subterránea en Cajabamba 2020?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar el depósito de desmonte con muro de contención al realizar un estudio del terreno para una mina subterránea, Cajabamba 2020.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Describir las formaciones geológicas de la zona de investigación.
- Determinar la calidad del macizo rocoso sobre el que se construirá el depósito de desmonte.
- Calcular el Factor de seguridad.
- Diseñar el muro de contención
- Confeccionar los perfiles de corte y rellenos
- Determinar la capacidad y vida útil de la desmontera.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis General**

El estudio permitirá diseñar el depósito de desmonte con muro de contención para una mina subterránea, Cajabamba 2020.

## **CAPITULO II. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de investigación**

Según el fin es aplicada ya que aplicamos los conocimientos adquiridos y sustento para el diseño del depósito de desmonte con muro de contención en la zona de Cajabamba.

Según su alcance, la investigación es descriptiva ya que se hará una descripción del terreno para diseñar el depósito de desmonte.

Por el enfoque es cuantitativa, ya que se realizaron medidas de datos.

### **2.2. Población**

Un área de 7 hectáreas de terreno para diseñar el depósito de desmonte con muro de contención para una mina subterránea en Cajabamba.

### **2.3. Muestra**

Por el tipo de recolección de datos, esta investigación no requiere muestra.

### **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, RocData para determinar parámetros geotécnicos, Slide para hallar el factor de seguridad.

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		

### Formato para estimación del GSI

CRITERIO GENERALIZADO DE HOEK Y BROWN		CONDICIONES DE LOS PLANOS DE LAS DISCONTINUIDADES		ESTRUCTURA	
$\sigma_1 - \sigma_3 + \sigma_3 \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^2$ <p> <math>\sigma_1</math> = Esfuerzo principal mayor  <math>\sigma_3</math> = Esfuerzo principal menor  <math>\sigma_c</math> = Resistencia a la compresión uniaxial de la roca matriz  <math>M</math> y <math>s</math> = Constantes que dependen de la composición y la estructura del macizo                 </p>		<p>MUY BUENA Muy negras, inalteradas, frescas.</p> <p>BUENA Rugosa, poco alterada, algo de óxido</p> <p>REGULAR Ovalada, moderadamente intemperizadas y alteradas</p> <p>MALA Pulsa y/o fallada, muy alterada, contenido relativo escaso de minerales angulosos</p> <p>MUY MALA Pulsa y/o fallada, muy alterada, contenido relativo a ciliosos y otros minerales finos</p>		<p>BLOQUIZADA: Masa de roca no tectonizada formada por bloques cúbicos con buena trabazón entre ellos formados por 3 familias de discontinuidades.</p> <p>MUY BLOQUIZADA: Masa de roca parcialmente tectonizada formada por múltiples bloques angulosos con regular trabazón y definidos por más de 4 familias de discontinuidades.</p> <p>BLOQUIZADA/TECTONIZADA/PLEGADA: Formada por bloques angulosos con múltiples sistemas que se intersectan. Persistencia de planos de estratificación o esquistosidad.</p> <p>DESINTEGRADA: Trabazón pobre, roca altamente fracturada con una combinación de fragmentos angulosos y redondeados.</p>	
	<p>W<sub>10</sub>/m 0.60</p> <p>W<sub>5</sub> 2190</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 75,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.2</p> <p>GSI 85</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.40</p> <p>W<sub>5</sub> 0.62</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 40,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.2</p> <p>GSI 75</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.26</p> <p>W<sub>5</sub> 0.315</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 20,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 62</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.16</p> <p>W<sub>5</sub> 0.023</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 9,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 48</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.08</p> <p>W<sub>5</sub> 0.0034</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 3,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 34</p>
	<p>W<sub>10</sub>/m 0.40</p> <p>W<sub>5</sub> 0.62</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 40,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.2</p> <p>GSI 75</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.29</p> <p>W<sub>5</sub> 0.623</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 24,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 65</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.16</p> <p>W<sub>5</sub> 0.303</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 9,200</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 48</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.11</p> <p>W<sub>5</sub> 0.001</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 5,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 38</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.07</p> <p>W<sub>5</sub> 0</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 2,500</p> <p>W<sub>2</sub> 0.3</p> <p>GSI 25</p>
	<p>W<sub>10</sub>/m 0.34</p> <p>W<sub>5</sub> 2012</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 18,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 50</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.17</p> <p>W<sub>5</sub> 0.3004</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 10,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 50</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.13</p> <p>W<sub>5</sub> 0.201</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 6,200</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 40</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.08</p> <p>W<sub>5</sub> 0</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 3,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.3</p> <p>GSI 30</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.06</p> <p>W<sub>5</sub> 0</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 2,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.3</p> <p>GSI 20</p>
	<p>W<sub>10</sub>/m 0.17</p> <p>W<sub>5</sub> 2004</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 10,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.25</p> <p>GSI 50</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.12</p> <p>W<sub>5</sub> 0.131</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 6,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.3</p> <p>GSI 40</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.08</p> <p>W<sub>5</sub> 0</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 3,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.3</p> <p>GSI 30</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.06</p> <p>W<sub>5</sub> 0</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 2,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.3</p> <p>GSI 20</p>	<p>W<sub>10</sub>/m 0.04</p> <p>W<sub>5</sub> 0</p> <p>W<sub>2</sub> 0.5</p> <p>E<sub>10</sub> 1,000</p> <p>W<sub>2</sub> 0.3</p> <p>GSI 10</p>

Ilustración 1: Formato estimación GSI

### Formato para determinar la resistencia

Intact Uniaxial Compressive Strength ✕

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rock salt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength (sigc):  MPa OK Cancel

Ilustración 2: Formato determinación de resistencia.

## CAPITULO III. RESULTADOS

### 3.1. Aspectos generales

#### 3.1.1. Ubicación

Tabla 2: Ubicación de la desmontera.

Distrito	Provincia	Departamento
Cachachi	Cajabamba	Cajamarca

La ubicación del depósito de desmonte se encuentra a 88.5 Km al sureste de la ciudad de Cajamarca a través de la carretera pública 3N, a 1 km de la ciudad de Algamarca.

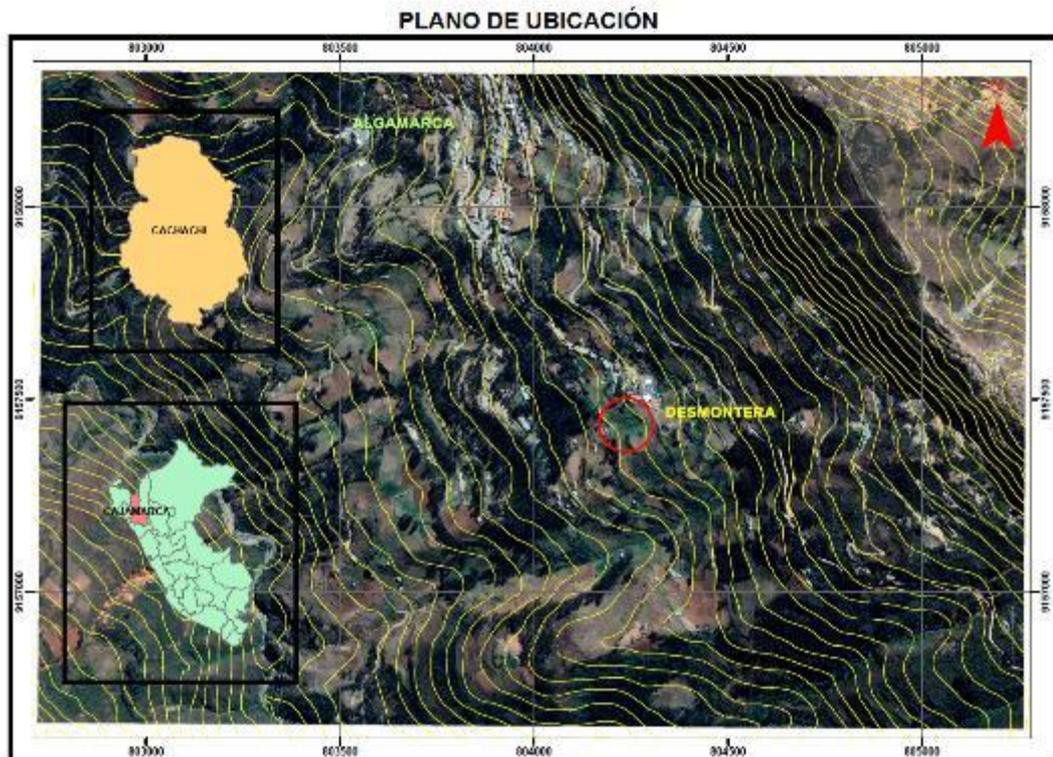


Ilustración 3: Ubicación de la desmontera.

## 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 3: Accesibilidad a la desmontera

Tramo	Tipo de carretera	Condiciones	Dist. en km.	Tiempo en Hrs.
Cajamarca - Algamarca	Asfaltada	Buena	88.5	2.2
Algamarca - desmontera	Afirmada	Regular	1	0.25



Ilustración 4: Ubicación de la desmontera respecto a Algamarca.

### **3.2. Geomorfología**

El distrito de Cachachi tiene una gran variedad de unidades geomorfológicas debido a los procesos endógenos y exógenos que conlleva estar en territorio de cordillera andina.

Las principales unidades morfológicas son las siguientes:

#### **Cadena montañosa**

Unidades morfológicas que se caracterizan por haber sido modeladas por las glaciaciones cuaternarias, como consecuencia de este efecto exógeno las glaciaciones han dejado nítidos paisajes de morfología glaciaria en las zonas alto andinas. Algo típico de esta acción es encontrar vertientes montañosas rocosas que forman valles en U alteradas por acumulación de morrenas. Estas han sido erosionadas y a partir de esto han formado diversos tipos de suelos. Esta morfología abarca la mayor parte del distrito de Cachachi.

#### **Colinas Andinas**

Son las principales unidades geomorfológicas que son causantes de los terrenos accidentados, equivalentes a 26.28% del área total en el distrito de Cachachi. Tiene su origen en dos episodios geológicos, el primero ocurrido en el terciario medio, tuvo lugar un alto y brusco periodo de erosión que redujo a un estado de penillanura a la mayor parte del relieve andino, el segundo evento es el levantamiento plio-pliosteceno de los andes, que se caracterizó por tener pendientes bruscas que trajeron el origen de drenajes que lavaron la antigua superficie creada por el terciario medio.

#### **Escarpes**

Son sectores de topografía muy accidentada conformada por laderas montañosas moderadamente ramificadas estructuralmente plegadas donde aún se conservan rasgos de las estructuras originales. La pendiente dominante corresponde al rango mayor a 50°.



(a)



(b)

*Ilustración 5: Relieve de la zona de Algamarcas (a) Vista al norte, (b), vista al Este.*

### 3.4. Geología

El anticlinal Algamarca alberga a todas las vetas polimetálicas que constituyen este depósito vetiforme, consta principalmente de cuarcitas blancas y muy duras de la Formación Chimú en la parte central como roca caja de la mineralización, así como lutitas carbonosas y areniscas de la Formación Santa encima de las cuarcitas y se les aprecia en los flancos del anticlinal, las cuales han servido como sellos que han permitido el entrapamiento de la mineralización en las cuarcitas. Tanto las rocas caja como las estructuras mineralizadas (vetas) son cortadas por los diversos sills y diques intrusivos, los cuales interrumpen estas estructuras en 2m hasta más de 60 m.

Tres zonas verticales marcan la mineralización en el yacimiento polimetálico de Algamarca, la zona de oxidación hacia la cúpula del anticlinal, la zona de enriquecimiento supergénico hacia la parte central y la mineralización hipógena hacia la parte baja del anticlinal.

La mineralización principalmente económica está determinada por la presencia de Tetraedrita – Tennantita como mena de Plata, Chalcopirita-Bornita como mena de Cobre y Electrum como mena de Oro y Plata. La presencia de Pirita-Marcasita y Cuarzo determina la mineralización ganga.

Existen en Algamarca 3 controles de mineralización marcados en este yacimiento control litológico, control estructural y control mineralógico. Los trabajos actuales de explotación y extracción de mineral se llevan en forma artesanal, de “Circado” y “Pallaqueo” de mineral sulfurado.

### 3.4.1. Estratigrafía

#### **Formación Chimú (Ki-chim):**

Consta de ortocuarcitas y areniscas cuarzosas duras, color blanco a gris claro, de grano fino a medio, bastante limpia, están estratificadas de gruesos estratos y las superficies intemperizadas con estas cuarcitas hay lutitas negras, plomas y amarillas, algunas capas de carbón sub-bituminoso. Localmente presenta ciertas capas de limonitas gris-crema. Tiene un grosor aprox. de 600 m.



*Ilustración 6: Cuarcitas de la formación Chimú.*

#### **Formación Santa (Ki-sa):**

Está formada por intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, el grosor de esta formación oscila entre los 125 m. Suprayace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz. El cambio de facies es notable.

Aflora en las partes altas y medias de las laderas del cerro Algamarca, se le puede seguir desde la quebrada Araqueda hasta Malvas, en esta parte bordea el cerro

Caupur y sigue por la quebrada de Rosahuayta, San Jose y Moyan Alto, sigue al Sur hasta las partes bajas del Cerro Gualasday.



*Ilustración 7: Calizas, areniscas y lutitas de la formación Santa.*

### **Formación Carhuaz (Ki-ca):**

Consta de una espesa secuencia de lutitas arenosas, areniscas de colores pardos rojizas en capas finas a delgadas. Es una formación mayormente continental. Hacia la parte superior contiene bancos de areniscas cuarzosas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. Esta formación yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordante a la form. Farrat. Grosor aprox. 500m. Aflora en las partes bajas del Anticlinal de Algamarca hacia La Masma por el NW, luego por Corralpampa y Chochoguera al SW.

Esta formación yace con suave discordancia sobre la Formación Santa e infrayace concordantemente a la Formación Farrat.



*Ilustración 8: Areniscas de la formación Carhuaz.*

### **Formación Farrat (Ki-fa)**

Representa el tope del Grupo Goyllarisquizaga, al oeste de la divisoria continental. Consiste en cuarcitas blancas en capas delgadas a medianas con intercalaciones de lutitas rojizas, en litología y estructural indican una depositación continental. Aflora por la zona NW en Guallasday, hasta Corralpampa, presenta rumbos de N40W, y buzamientos promedio de 52SW con potencias de 70 a 90 metros.



*Ilustración 9: Areniscas de la formación Farrat.*

## Cuaternario

### Depósitos aluviales

Consiste en fragmentos de cuarcitas, areniscas cuarzosas, calizas, margas, fragmentos de rocas intrusivas en forma angulosa a sub-redondeada además de material arcilloso que podemos encontrar en los sembríos en las partes bajas.

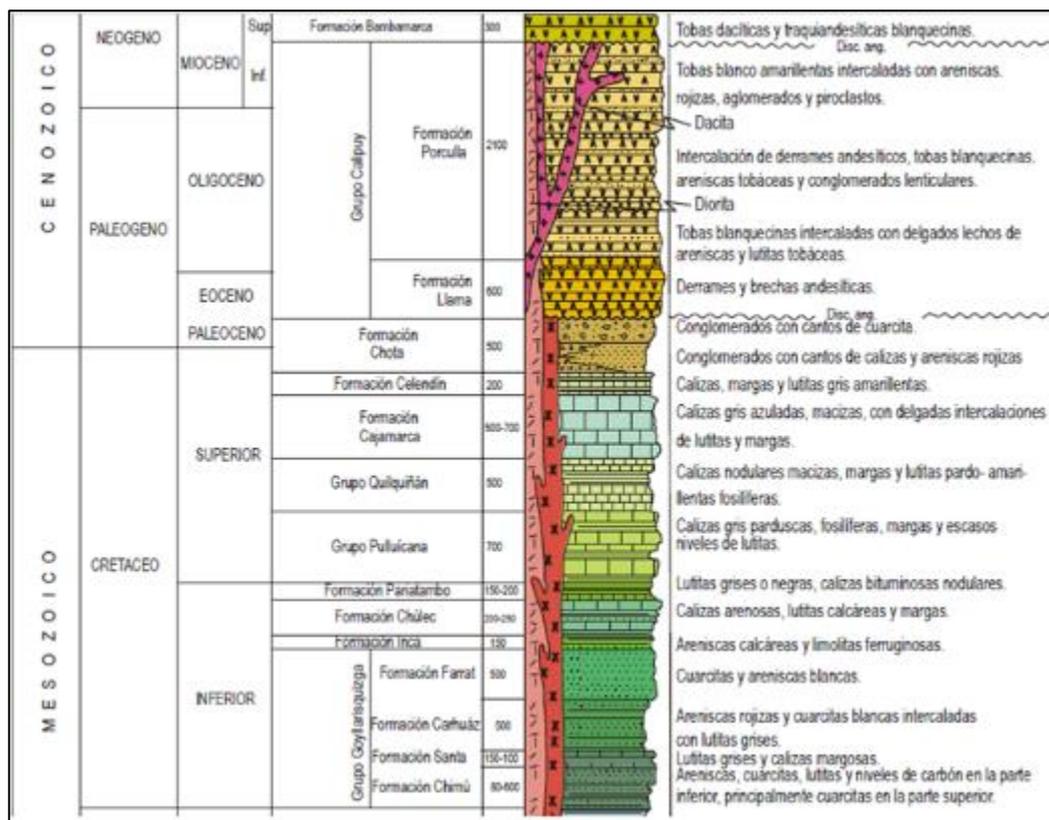


Ilustración 10: Columna estratigráfica de la zona de estudio.

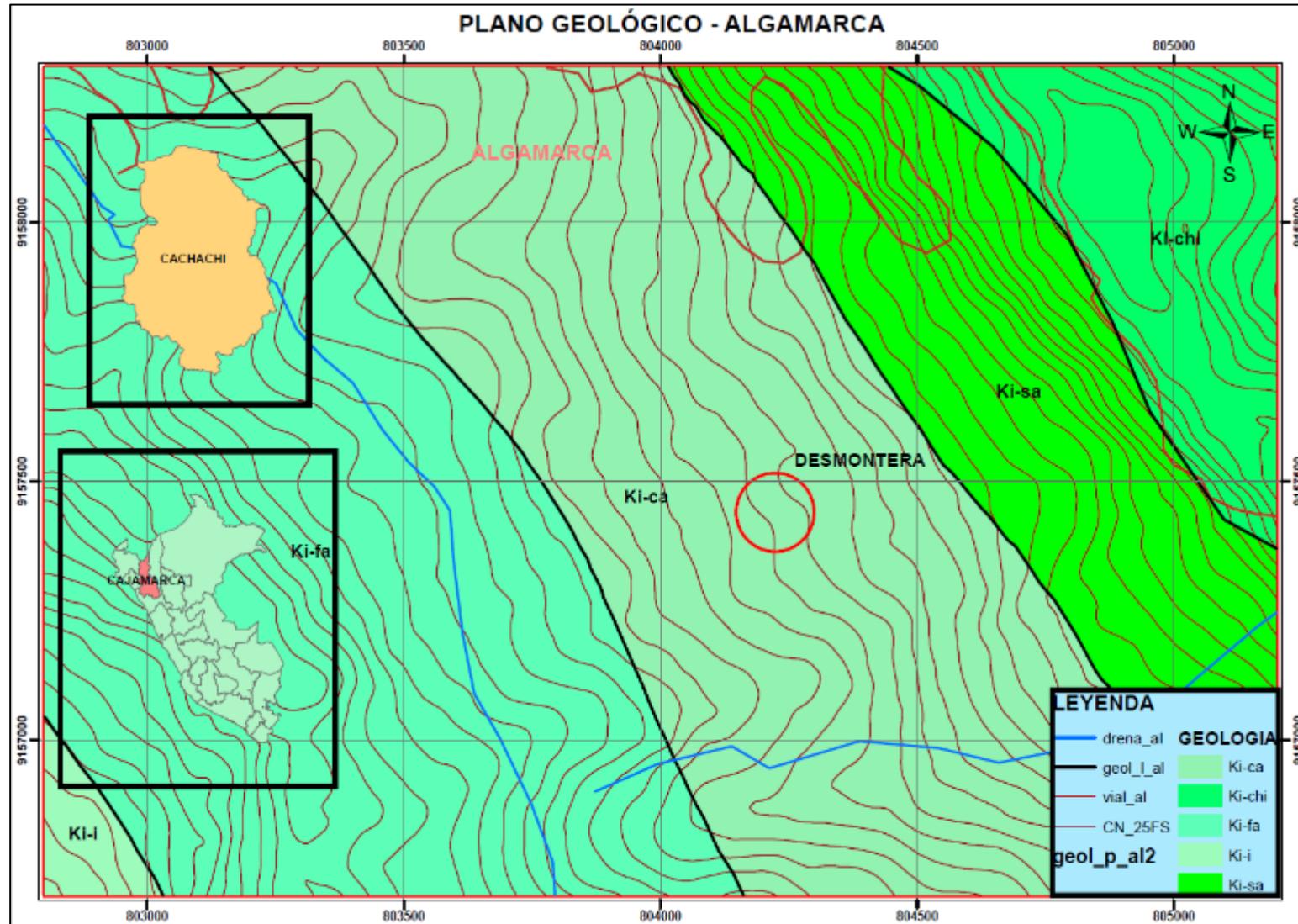


Ilustración 11: Mapa Geológico.

### Caracterización geomecánica GSI

Pick GSI Value		SURFACE CONDITIONS				
Rock Type: <input type="text" value="General"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="55"/> <input type="button" value="OK"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40		
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				30	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					20
						10
		N/A	N/A			

Ilustración 12: Caracterización geomecánica GSI

## Determinación de parámetros geotécnicos en RocData

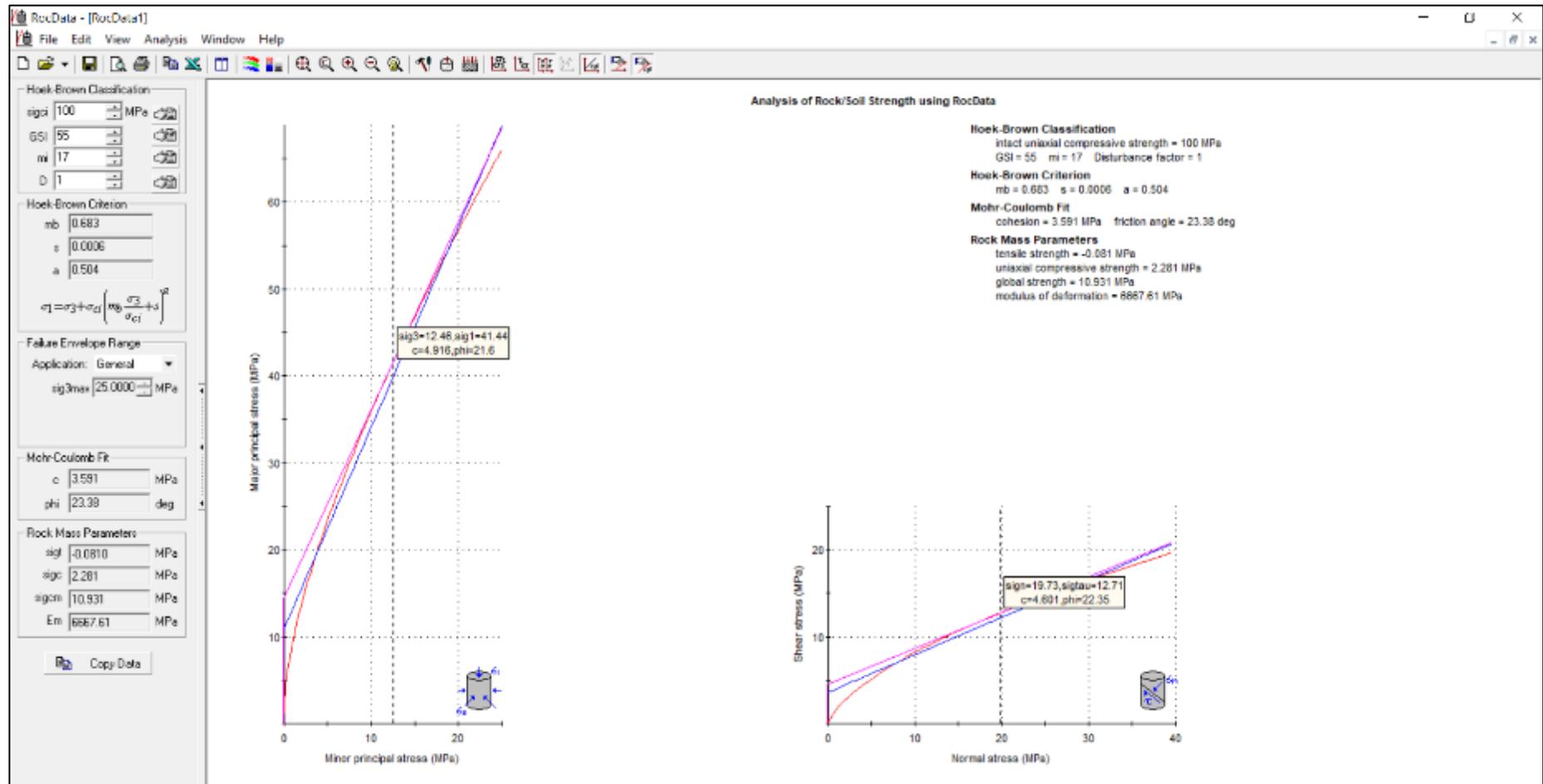


Ilustración 13: Análisis de parámetros geotécnicos en RocData.

Considerando un Valor de GSI de 55 y un mi correspondiente a arenisca de 17, obtenemos como constantes del macizo rocoso valores de  $mb=0.683$ ;  $s=0.0006$  y  $a=0.504$ , cohesión de 3.591 Mpa y un ángulo de fricción de  $23.38^\circ$

### 3.5. Estabilidad hidrológica:

Debido a la presencia de un manantial en el terreno predispuesto para realizar el proyecto del botadero, se tiene que adaptar alguna medida de prevención de contaminación al agua. En este caso la mejor manera sería cambiar el rumbo del manantial diseñando una pequeña captación y luego desviando el cauce del agua mediante un canal de drenaje, hasta llevarlo fuera de la zona del botadero. Ya que, posteriormente después de haber desarrollado esta medida, la superficie será cubierta por un revestimiento para evitar la contaminación del suelo y el agua.

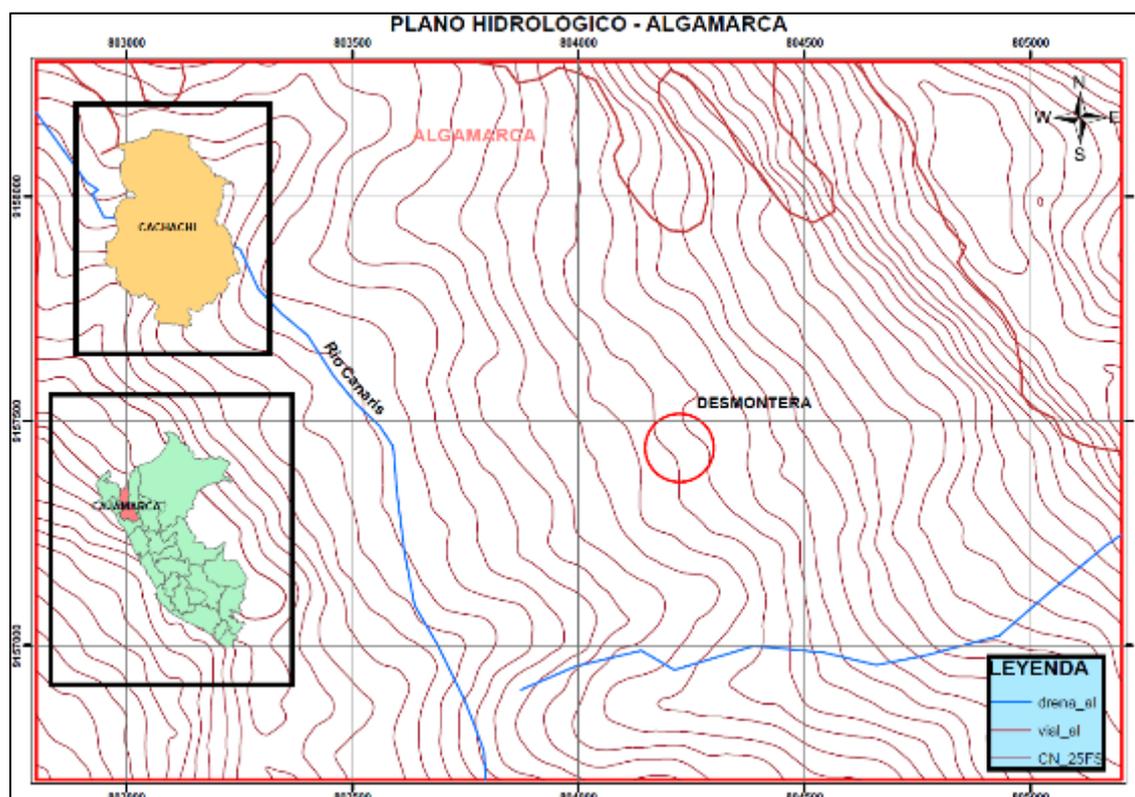
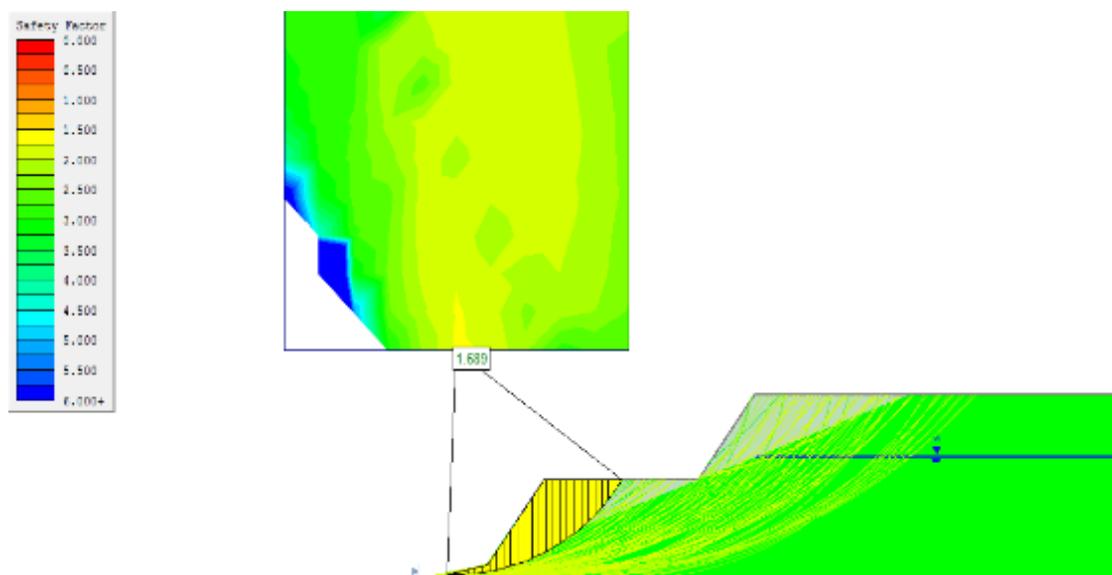


Ilustración 14: Plano que evidencia los ríos principales colindantes a la desmontera (Hidrografía de la zona de estudio).

### 3.6.4. Estabilidad Física:

Para realizar el diseño de estabilidad se tuvo que hacer diversos modelos y observar cuál de estos eran los más factibles. En un principio, después de haber delimitado la zona y observando el terreno en cuál se va a construir la desmontera se diseñó un botadero de 2 bancos, el cual tuvo un mejor Factor de Seguridad en cuanto al fallamiento que podría ocurrir.



*Ilustración 15: Desmontera con dos bancos.*

Sin embargo, analizando el volumen que este albergaría y también teniendo en cuenta la vida útil que se tendría, se optó por diseñar otro modelo en cuál se trabajaría con 3 bancos, que al momento de calcular el Factor de Seguridad arrojaba un dato similar al anterior, desde luego que la superficie de falla si cambiaría. Pero, tomando en cuenta el factor de seguridad y comparando 4 métodos conocidos se llegó a la conclusión de que el desarrollo de éste era factible; ya que, el volumen sería mayor y por ende también la vida útil del botadero llegaría a ampliarse.

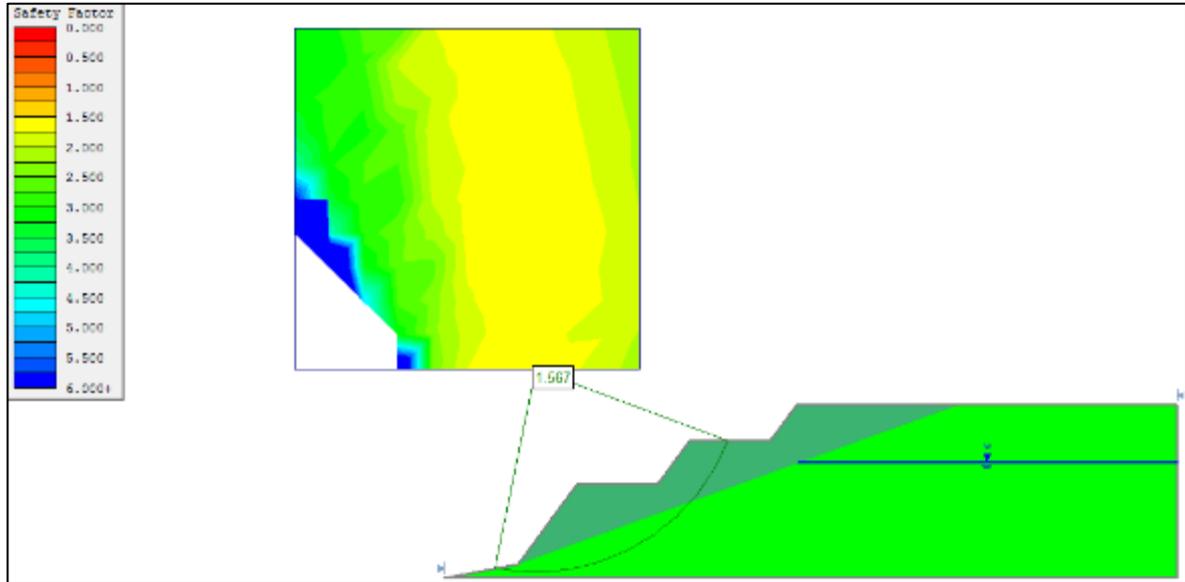


Ilustración 16: Desmontera con tres bancos.

### Método Ordinary/Fellenius

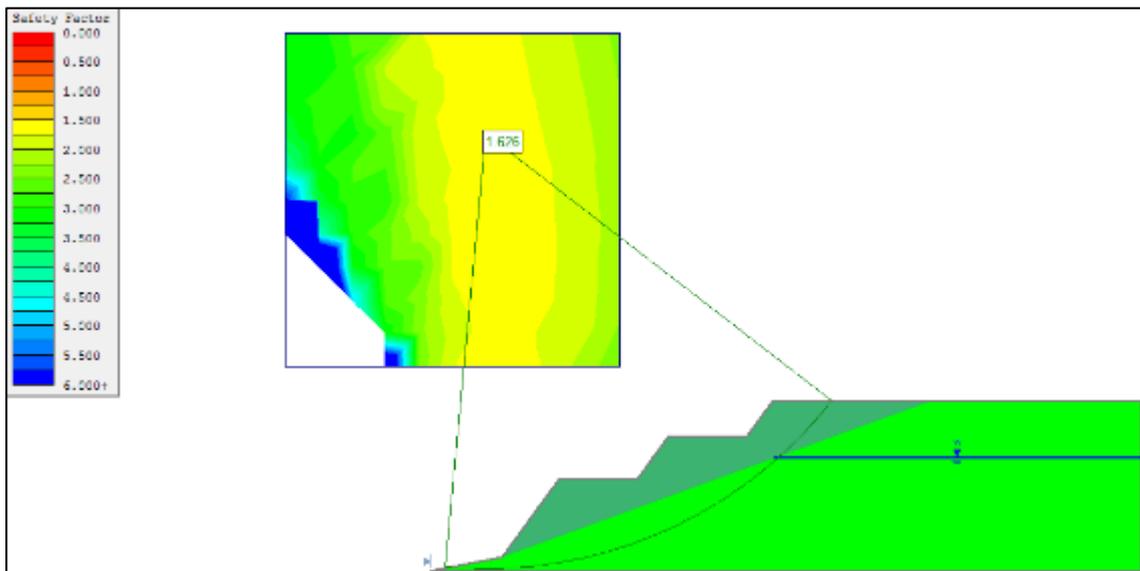


Ilustración 17: Método Ordinary/Fellenius

### Método Bishop Simplified

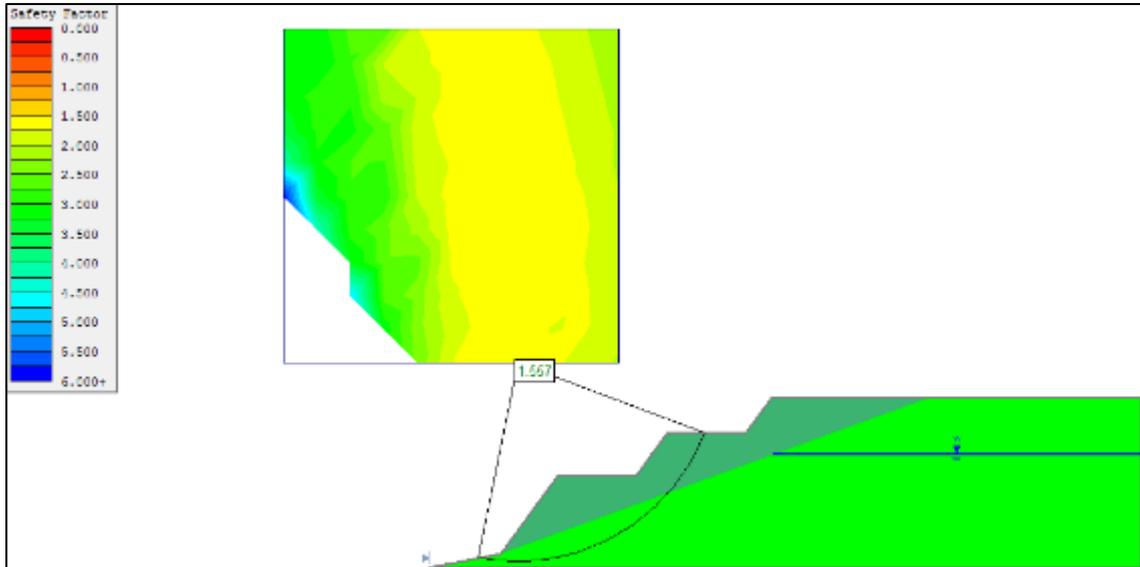


Ilustración 18: Método Bishop Simplified.

### Método Jambu Simplified

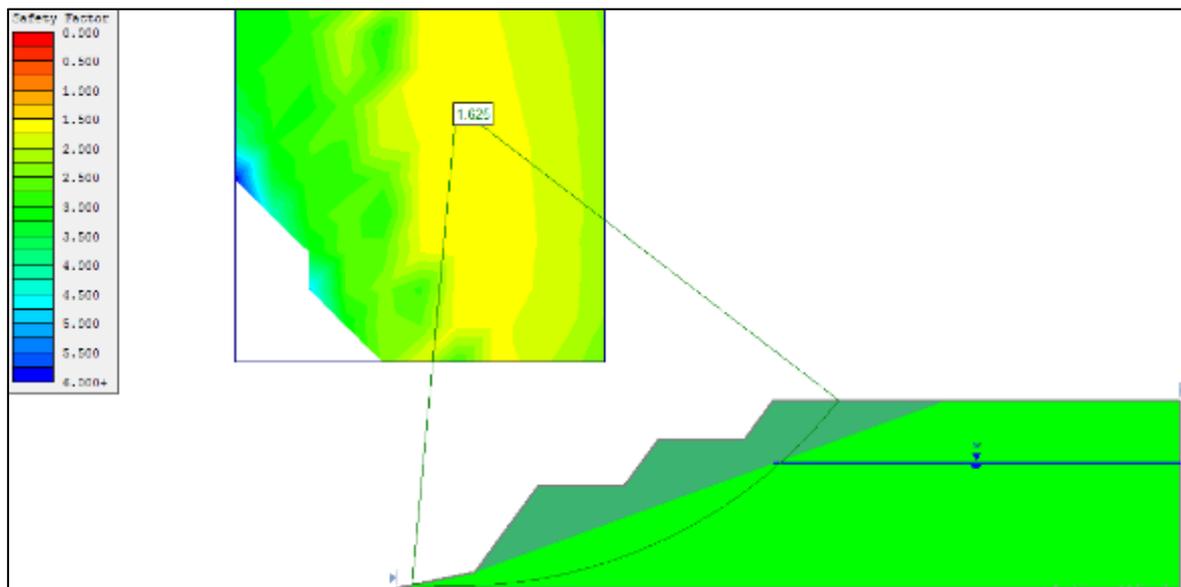


Ilustración 19: Método Jambu Simplified.

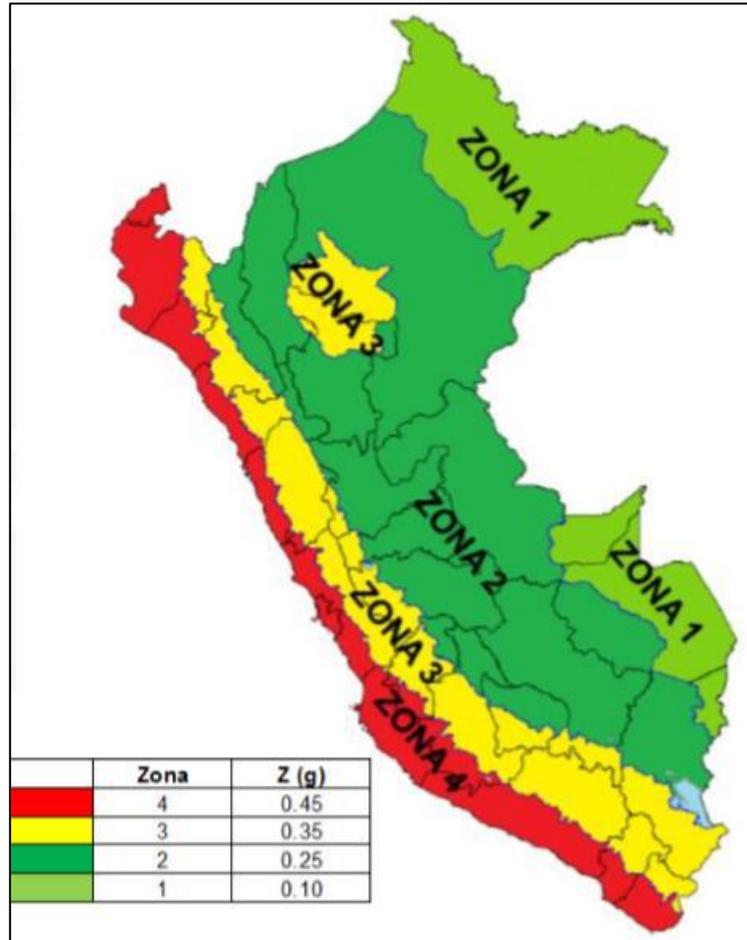
### **Método de Spencer**

Se escogió el método de Spencer ya que es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de esfuerzos como de momentos. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad. (Suárez, 2002).

Como se observa, tenemos 4 métodos donde el FS mínimo es de 1.557 y el FS máximo es de 1.626. Por lo que, la estabilidad del proyecto sería regular y no ocasionaría un colapso inmediato o a corto plazo. Sin embargo, para poder prevenir algún tipo de riesgo de colapso a corto plazo, se tiene que diseñar un muro de contención y de esta manera poder prevenir sucesos de riesgo.

### **Zonificación sísmica**

En la norma peruana E030 para el diseño sísmico resistente se describe cuatro (04) zonas con valores de  $Z$  que oscilan entre (0.10 - 0.45)  $g$ , donde “ $g$ ” es la aceleración de la gravedad. Según el Reglamento Nacional de Edificaciones



*Ilustración 20: Zonificación Sísmica.*

Fuente: (Norma E 030) (Reglamento Nacional De Edificaciones, 2016)

### 3.5. Superficie de terreno

#### 3.5.1. Perfiles de corte y relleno:

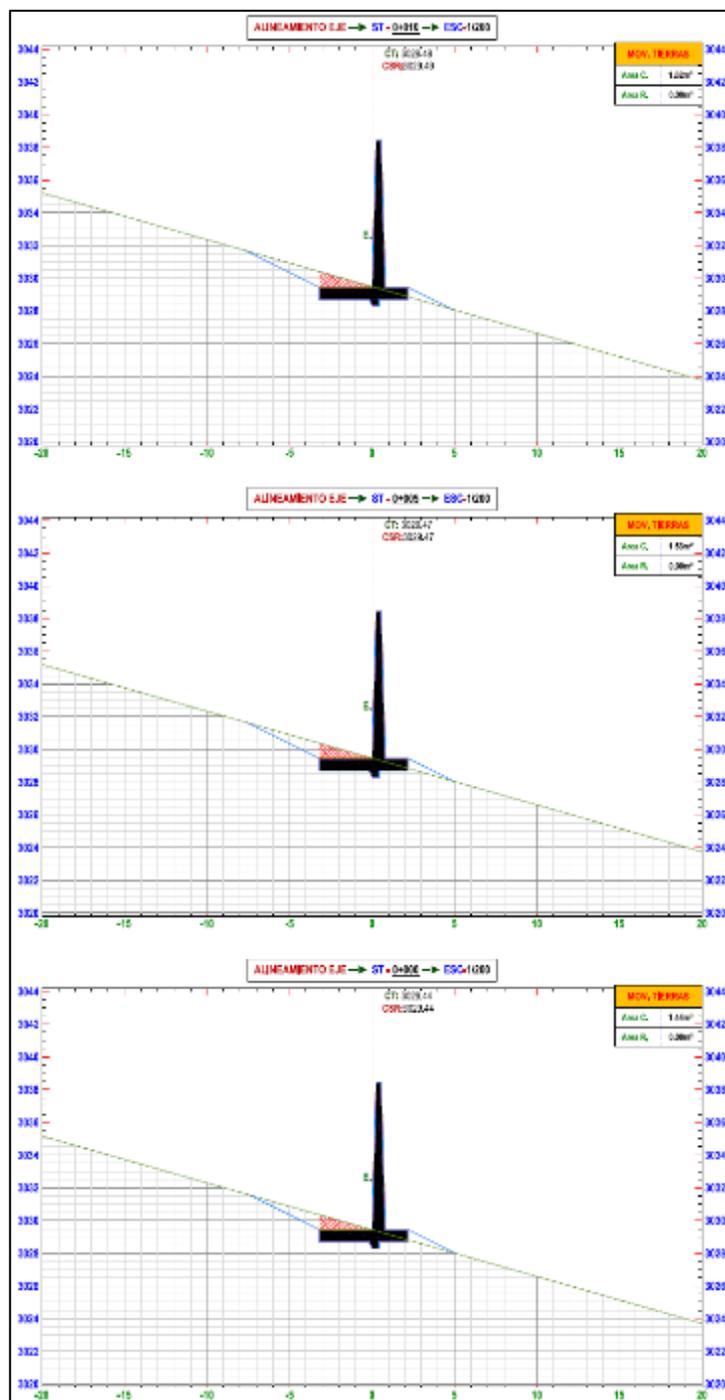
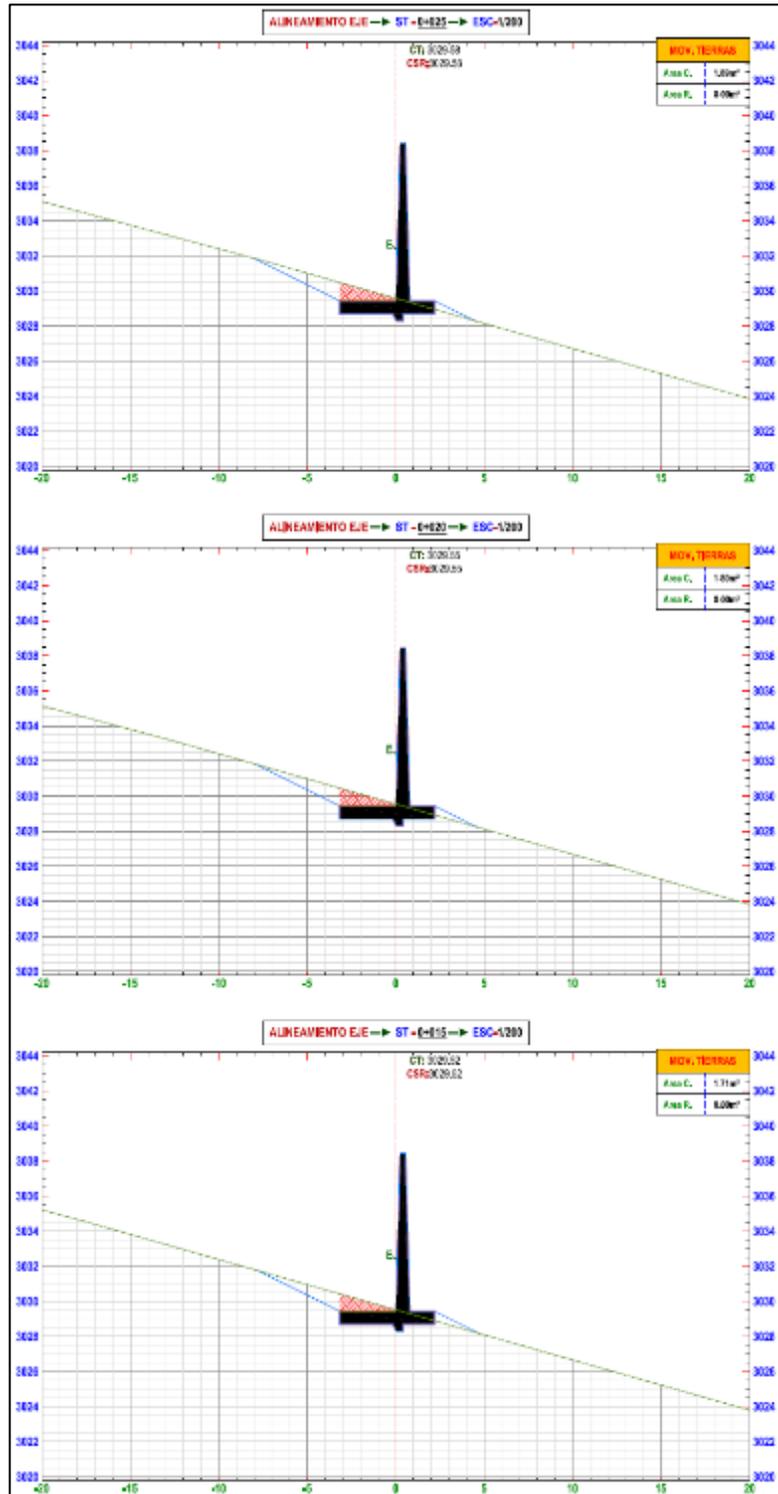


Ilustración 21: Figuras de corte y relleno de 0 m hasta 10 m.

Las 3 secciones muestran el diseño del muro y la parte marcada de color azul y rojo es donde se va realizar el corte, así como también donde se va tener que relleno. En la parte superior derecha están los volúmenes exactos que van a cortar y relleno.



*Ilustración 22: Figura de corte y relleno de 15 m a 25 m.*

*Las 3 secciones muestran el diseño del muro y la parte marcada de color azul y rojo es donde se va realizar el corte, así como también donde se va tener que rellenar. En la parte superior derecha están los volúmenes exactos que van a cortar y rellenar.*

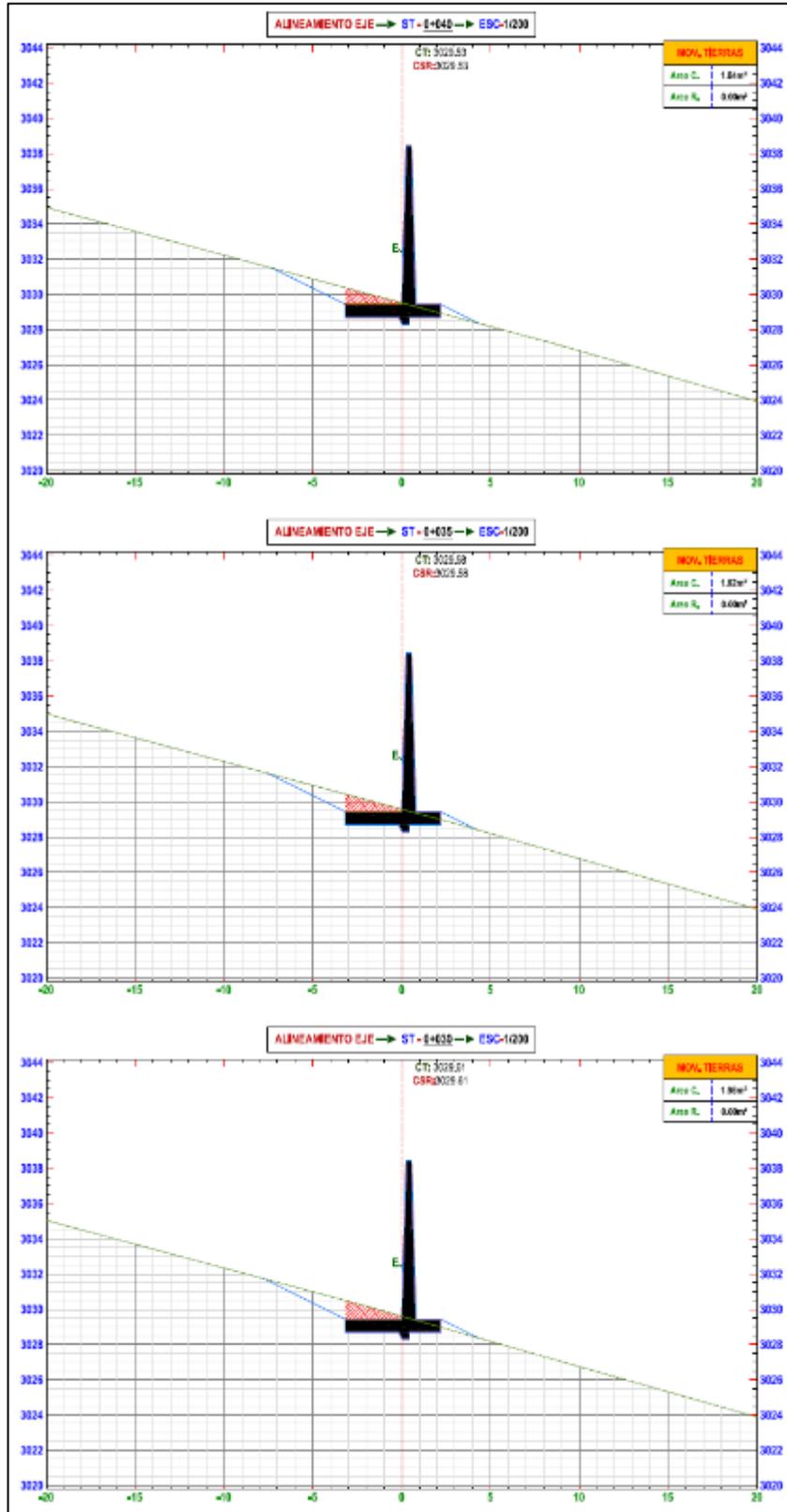


Ilustración 23: Figura de corte y relleno de 30 m a 40 m.

Las 3 secciones muestran el diseño del muro y la parte marcada de color azul y rojo es donde se va realizar el corte, así como también donde se va tener que rellenar. En la parte superior derecha están los volúmenes exactos que van a cortar y rellenar.

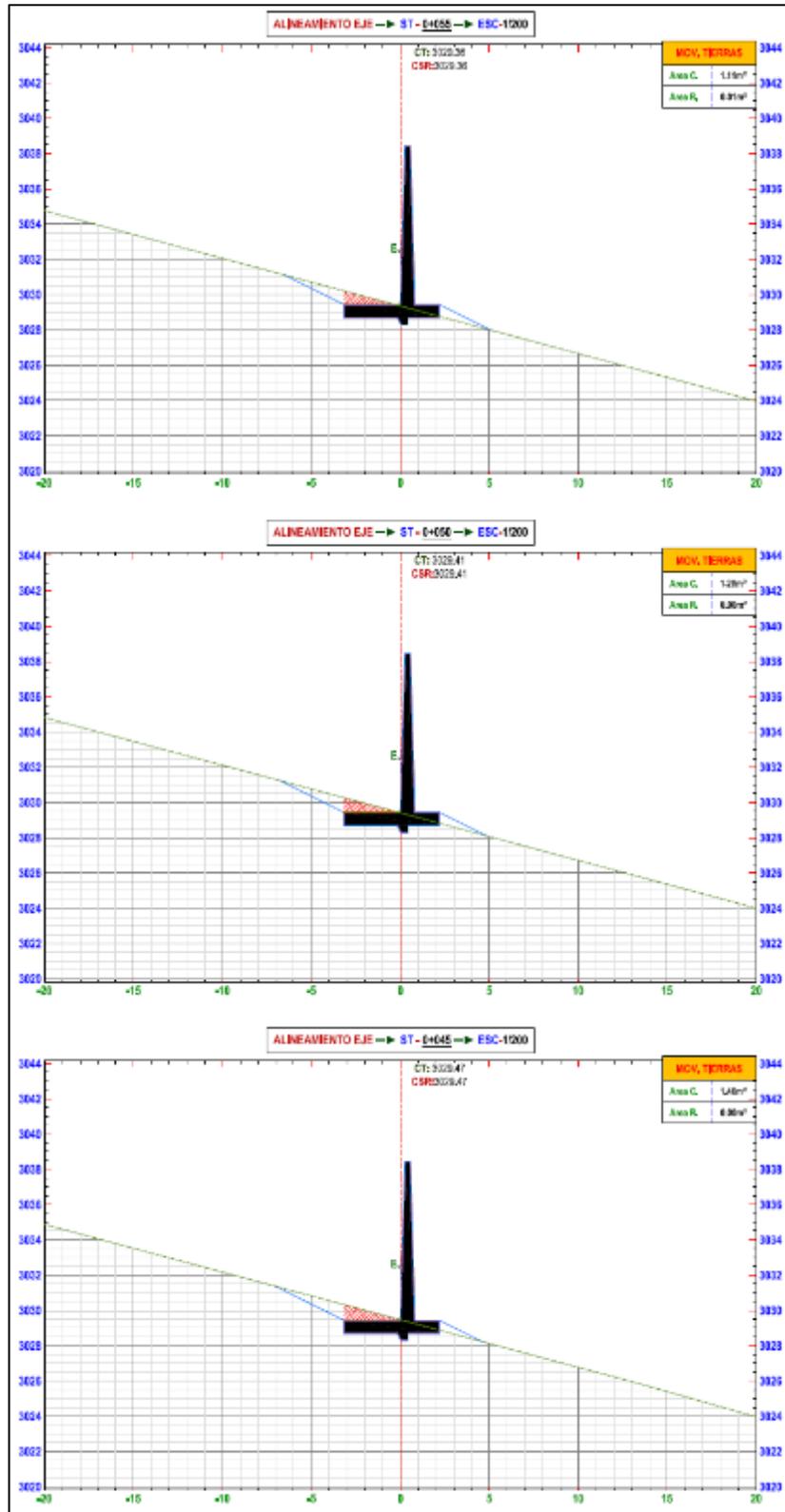


Ilustración 24: Figura de corte y relleno de 45 m a 55 m.

Las 3 secciones muestran el diseño del muro y la parte marcada de color azul y rojo es donde se va realizar el corte, así como también donde se va tener que rellenar. En la parte superior derecha están los volúmenes exactos que van a cortar y rellenar.

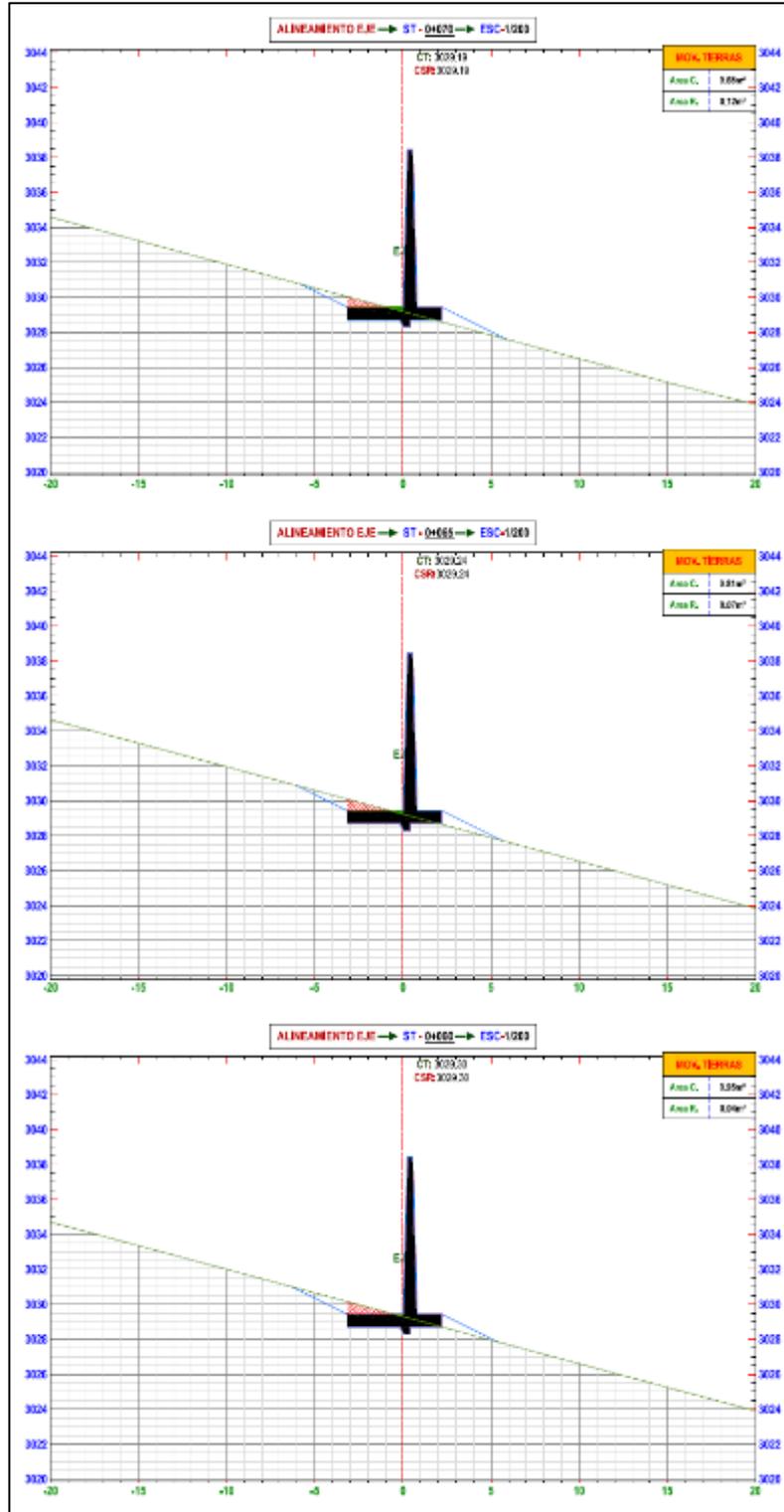


Ilustración 25: Figura de corte y relleno de 60 m a 70 m.

Las 3 secciones muestran el diseño del muro y la parte marcada de color azul y rojo es donde se va realizar el corte, así como también donde se va tener que rellenar. En la parte superior derecha están los volúmenes exactos que van a cortar y rellenar.

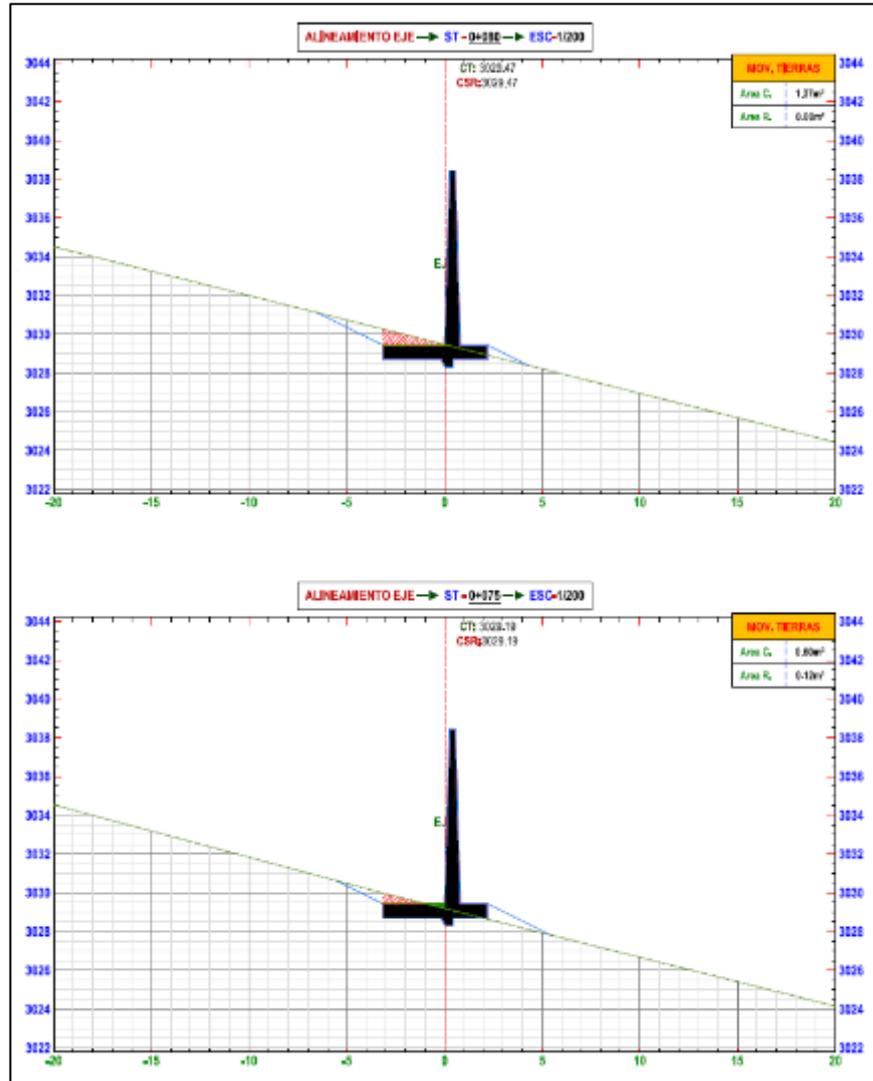


Ilustración 26: Corte y relleno de 75 m a 80 m.

Las 2 secciones muestran el diseño del muro y la parte marcada de color azul y rojo es donde se va realizar el corte, así como también donde se va tener que rellenar. En la parte superior derecha están los volúmenes exactos que van a cortar y rellenar.

*Tabla 4: Movimiento de tierras del tramo 0 M al tramo 80 M*

Esta tabla es el acumulativo de todo el corte y relleno que se a realizar, el cuál muestra el área que se va trabajar por tramos en m<sup>2</sup> y de igual manera el volumen en m<sup>3</sup>, detallado por cada tramo y al final el total de volumen a movilizar.

<b>Movimiento de tierras</b>							
<b>PROG.</b>	<b>Área C.m<sup>2</sup></b>	<b>Área R.m<sup>2</sup></b>	<b>Vol. C.m<sup>3</sup></b>	<b>Vol. R.m<sup>3</sup></b>	<b>Vol. C. Acum. m<sup>3</sup></b>	<b>Vol. R. Acum. m<sup>3</sup></b>	<b>Vol. Neto m<sup>3</sup></b>
<b>0+000</b>	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>0+005</b>	1.53	0.00	7.42	0.00	7.42	0.00	7.42
<b>0+010</b>	1.62	0.00	7.86	0.00	15.28	0.00	15.28
<b>0+015</b>	1.71	0.00	8.31	0.00	23.59	0.00	23.59
<b>0+020</b>	1.8	0.00	8.76	0.00	32.34	0.00	32.34
<b>0+025</b>	1.89	0.00	9.20	0.00	41.55	0.00	41.55
<b>0+030</b>	1.96	0.00	9.62	0.00	51.17	0.00	51.17
<b>0+035</b>	1.82	0.00	9.46	0.00	60.63	0.00	60.63
<b>0+040</b>	1.64	0.00	8.65	0.00	69.29	0.00	69.29
<b>0+045</b>	1.46	0.00	7.75	0.00	77.04	0.00	77.04
<b>0+050</b>	1.28	0.00	6.85	0.00	83.89	0.00	83.89
<b>0+055</b>	1.11	0.01	5.98	0.03	89.87	0.04	89.84
<b>0+060</b>	0.95	0.04	5.17	0.12	95.04	0.15	94.89
<b>0+065</b>	0.81	0.07	4.41	0.26	99.45	0.42	99.04
<b>0+070</b>	0.68	0.12	3.71	0.47	103.17	0.89	102.28
<b>0+075</b>	0.6	0.12	3.19	0.60	106.36	1.48	104.87
<b>0+080</b>	1.37	0.00	4.92	0.31	111.28	1.79	109.49

### 3.4.2.2. Diseño de muro de contención:

A continuación, se detalla el diseño con las respectivas características del muro de contención.

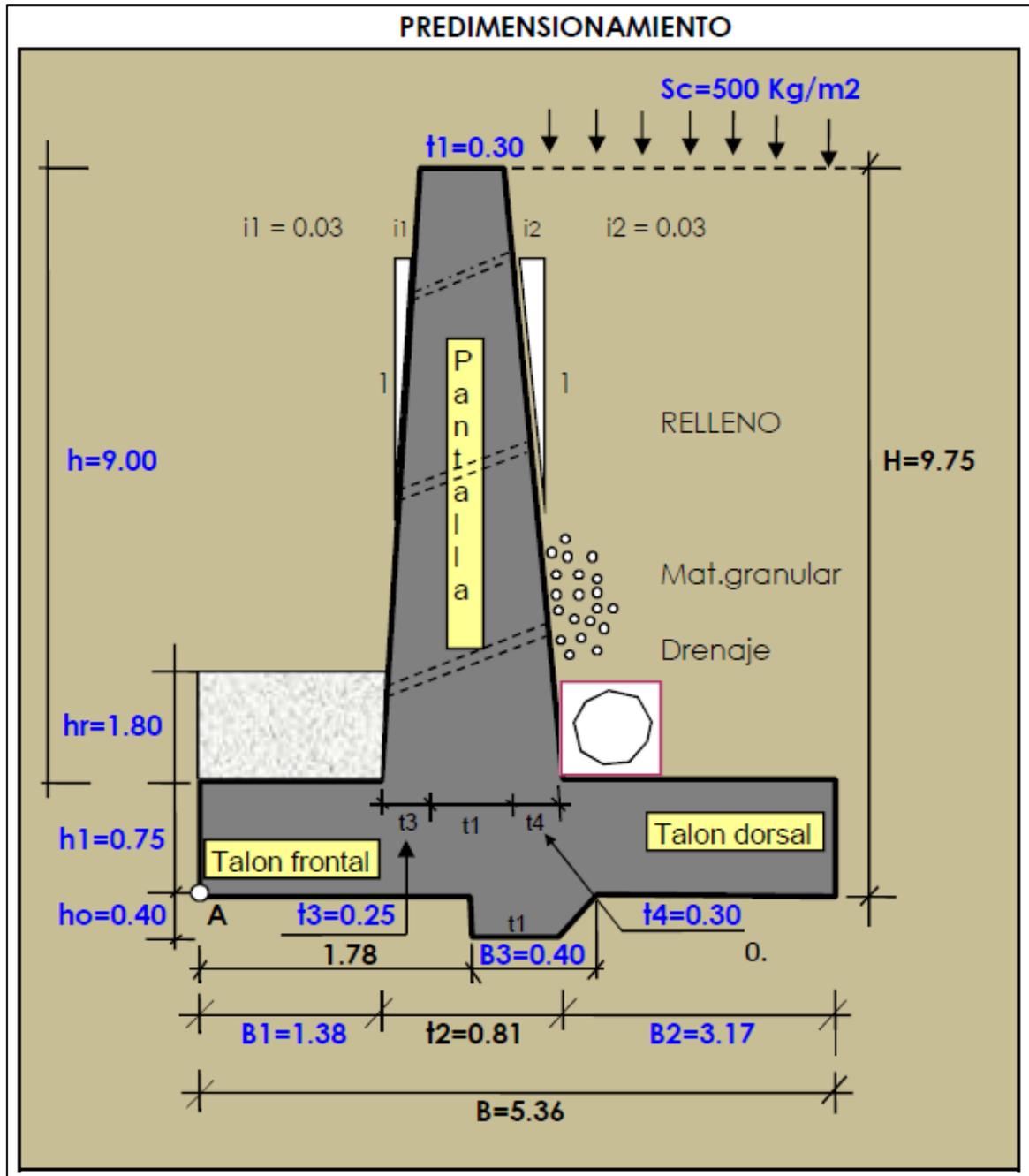


Ilustración 27: Predimensionamiento del muro de contención.

Esta imagen muestra las medidas que va tener la construcción del muro de contención de manera detallada, además se muestra el diseño del drenaje; así como también, la carga soportada.

Tabla 5: Cálculos para el diseño del muro

Datos			
<b>Peso específico del relleno</b>	gs	2600.00	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso específico del concreto</b>	gc°	2400.00	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Calidad diseño de concreto</b>	f'c	210.00	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Ang. Fricc. Intern. Suelo a contener</b>	Ø	30.00	°
<b>Capacidad portante del terreno</b>	st	0.95	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Coef. De fricción concreto-terreno</b>	f2	0.330	
<b>Espesor de recubrimiento del acero</b>	r	0.05	m
<b>Esfuerzo de fluencia del acero</b>	fy	4200.00	Kg/cm <sup>2</sup>

Tabla 6: Cálculos para el diseño del muro

ACERO DE REFUERZO		
Ø"	Área cm <sup>2</sup>	Ø cm
<b>1/4</b>	0.32	0.635
<b>3/8</b>	0.71	0.952
<b>1/2</b>	1.29	1.270
<b>5/8</b>	2.00	1.588
<b>3/4</b>	2.84	1.905
<b>7/8</b>	3.87	2.222
<b>1</b>	5.10	2.540
<b>1 3/8</b>	10.06	3.580

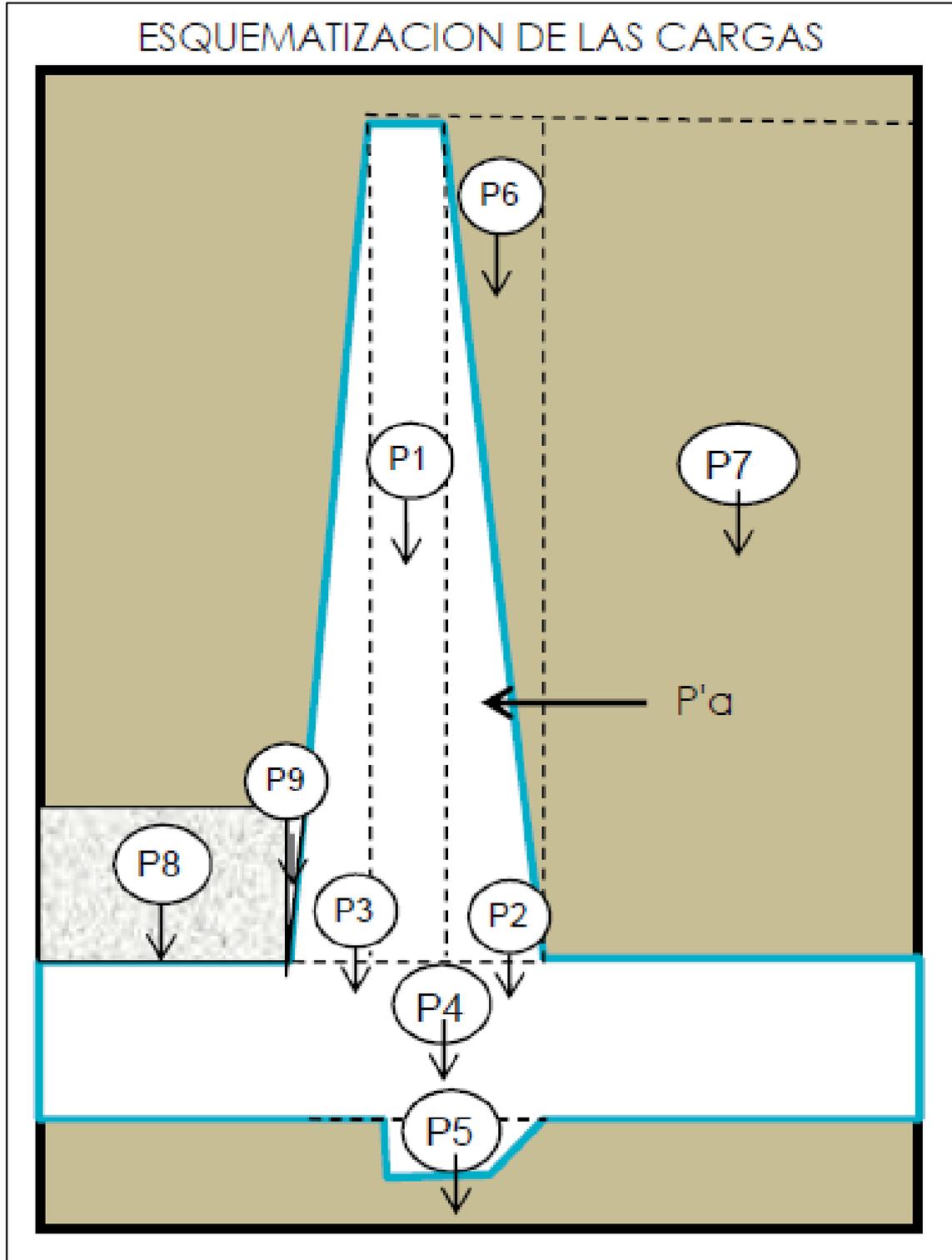
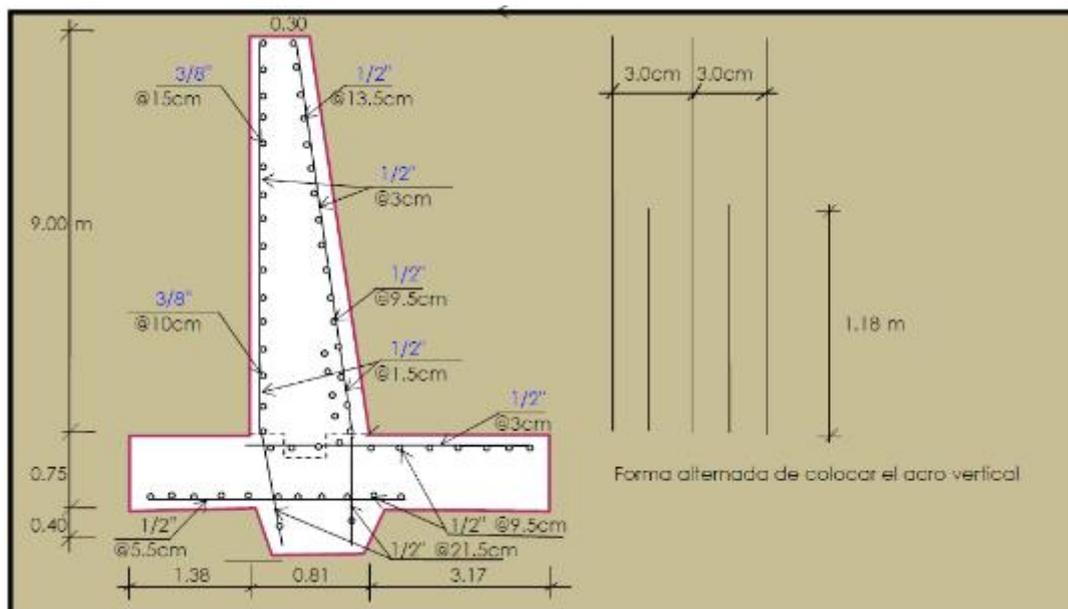


Ilustración 28: Esquematización de cargas dentro del muro de contención.



*Ilustración 29: Especificaciones técnicas del diseño de muro de contención.*

*. La imagen muestra el detalle del acero a utilizar, las medidas y la posición exacta para su construcción.*

Los cálculos para determinar las distintas medidas, las más adecuadas y concisas que son necesarias en esta investigación se trabajaron en el programa Microsoft Excel que, según Pérez y Garden (2009) lo definen como un software que permite realizar tareas contables y financieras gracias a sus funciones, desarrolladas específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo y que también permiten manipular datos numéricos en tablas formadas por la unión de filas y columnas.

Asimismo, para el cálculo del muro de contención se trabajó en una plantilla especialmente hecha para este tipo de trabajos referente a un muro de contención voladizo en el cual se adicionan datos específicos, arrojando el resultado más óptimo que se puedan utilizar para esta investigación.

### 3.6. Capacidad y vida útil de la desmontera:

#### 3.6.1. Dimensionamiento de la Desmontera:

Cubicación preliminar en la que se determina en forma aproximada la capacidad del botadero.

Tabla 7: Puntos de referencia de la extensión del terreno superficial.

Punto	y	x	Z
1	9157473	804174	3037
2	9157454	804183	3037
3	9157431	804196	3034
4	9157400	804203	3037
5	9157394	804206	3038
6	9157396	804225	3039
7	9157399	804242	3045
8	9157465	804240	3049
9	9157498	804236	3056

Tabla 8: Cálculo de volumen (m3) para dos bancos

	Banco 1	Banco 2	Total
<b>Área:</b>	135,74	135,74	
<b>Largo:</b>	85,5	94,19	
<b>Volumen total:</b>	11605,77	12785,3506	<b>24391,1206</b>

Tabla 9: Cálculo de volumen (m3) para tres bancos

	Banco 1	Banco 2	Banco 3	Total
<b>Área:</b>	119,996	119,996	105	
<b>Largo:</b>	85,5	94,19	90,5	
<b>Volumen total:</b>	11605,77	11302,4232	9502,5	<b>31064.5812</b>

Tabla 10: Cálculo de Volumen (Tm).

	Banco 1	Banco 2	Total
<b>Volumen T:</b>	11605,77	12785,3506	
<b>Densidad</b>			
<b>roca:</b>	2,7	2,7	
<b>Volumen Tm:</b>	31335,579	34520,4466	<b>65856,0256</b>

Tabla 11: Cálculo de volumen en Tm de cada banco final del diseño.

	Banco 1	Banco2	Banco 3	Total
<b>Volumen T:</b>	10259,658	11302,4232	9502,5	
<b>Densidad</b>				
<b>roca:</b>	2,7	2,7	2,7	
<b>Volumen Tm:</b>	27701,0766	30516,5427	25656,75	<b>83874,3693</b>

Tabla 12: Cálculo de vida útil del botadero con dos bancos

	Días	Días al año	Años
<b>Tm/día</b>	30		
<b>Tm Total:</b>	65856,0256		
<b>N° días:</b>	2195,20085	365	<b>6,01424892</b>

Tabla 13: Cálculo de vida útil de botadero con tres bancos.

	Días	Días al año	Años
<b>Tm/día</b>	30		
<b>Tm Total:</b>	83874,3693		
<b>N° días:</b>	2795,81231	365	<b>7,65975976</b>

Tabla 14: Datos de contorno de bancos.

	Contornos T1	
	X	Y
1	0	0
2	100	0
3	100	24
4	70	24
5	48	24
6	44.4	19
7	33.4	19
8	29	13
9	18	13
10	10	2
11	0	0

Tabla 15: Cantidad de agua.

AGUA	
X	Y
100	16
48,182	16

### 3.6.3. Característica de los Bancos:

A continuación, se muestran los datos geométricos a detalle de cada banco que se diseñó, teniendo en cuenta la altura de cada uno de ellos, el ancho de plataforma y el ángulo de talud que es muy importante para el sostenimiento y además tomando en cuenta el tipo de material que se va verter al botadero.

Tabla 16: Datos del Banco inferior.

Altura de Banco 1	Ancho de Plataforma	Ángulo de Talud
11 m	11m	34°

Tabla 17: Datos del Banco medio.

Altura de Banco 2	Ancho de Plataforma	Ángulo de Talud
6 m	11m	34°

Tabla 18: Datos del Banco superior.

Altura de Banco 3	Ancho de Plataforma	Ángulo de Talud
5 m	22m	34°

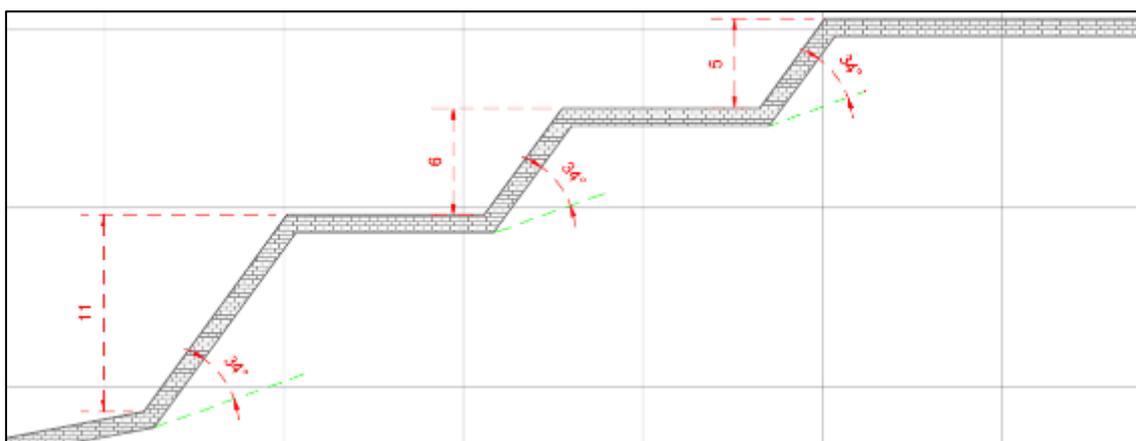


Ilustración 30: Geometría de los Bancos.

### 3.6.2. Modelo 3D del depósito de Desmonte:

Para poder visualizar mejor los detalles del botadero, se diseñó un modelo 3D referencial en las cuales se puede observar las geometrías de los bancos y el terreno. Así como también, las longitudes.

Tabla 19: Geometrías de los bancos en modelo 3D

Largo.	Ancho.	Nivel Mix.	Nivel Max.
67 m	85.5 – 94m	3034m	3056m

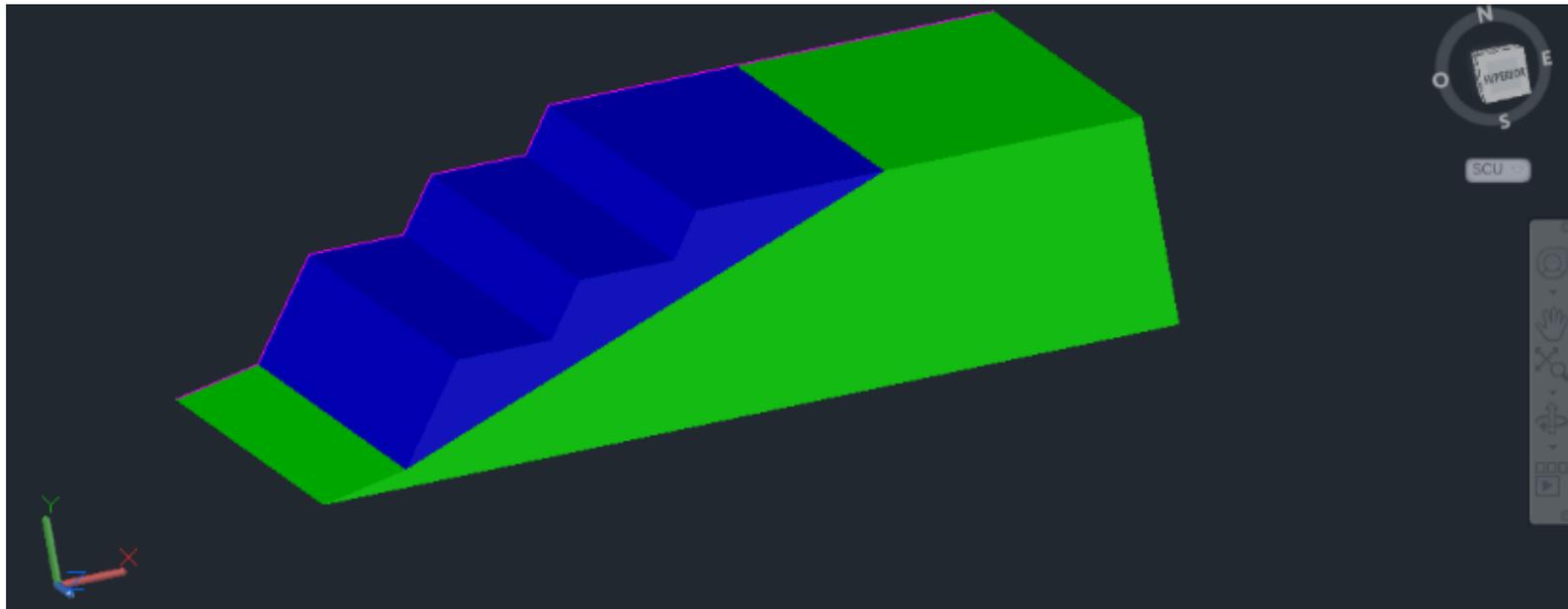


Ilustración 31: Visualización en 3D de diseño de la desmontera.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En concordancia con el MEM (2016), para el depósito de desmonte, los factores mínimos de seguridad son 1.5 como factor de seguridad mínimo en condiciones estáticas y 1.3 como factor mínimo de seguridad en condiciones pseudo-estáticas.

El cálculo del volumen a utilizar en los depósitos de desmonte, se realizó conforme dice Ortiz (2016) con el fin de estimar el espacio físico necesario para la adecuada disposición del material estéril, de modo que podamos definir el lugar o lugares donde se dispondrán dicho material.

En contraste con los trabajos de Vilcas (2019), y Huamán (2013) se planteó tres bancos con alturas de 11, 6 y 5 metros de abajo hacia arriba y con un ángulo de inclinación de  $34^\circ$  para lograr una mayor estabilidad.

Al igual que en el trabajo de Mendoza (2016) 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, y 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.

Del mismo modo que en el estudio de Centeno (2018) se recomienda realizar pruebas de acidez para determinar el riesgo por generación de drenajes ácidos hacia las partes bajas del depósito de desmonte donde a la vez se recomienda reencausar las aguas de un manantial que se encuentra a espaldas del depósito de desmonte. Y tal como menciona Acuña (2020) los taludes del depósito deben ser revegetados colocándose una capa de material orgánico para proseguir con la siembra y fertilización.

## 4.2. Conclusiones

El depósito de desmonte debe tener tres bancos para asegurar su estabilidad además de utilizar un muro de contención de concreto armado en voladizo.

Las formaciones geológicas de la zona de investigación pertenecen al cretácico inferior y son representadas por la formación Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat, compuestas principalmente por areniscas, destacando que la mineralización se da en cuarcitas de la formación Chimú.

La calidad del macizo rocoso sobre el que se construirá el depósito de desmonte según el uso de la clasificación del GSI tiene un valor de 55 que es de Regular calidad debido al nivel de fracturamiento que presenta.

Para asegurar la estabilidad hidrológica del depósito de desmonte se recomienda construir canales de derivación de aguas en la cabecera de la desmontera y una vez construida construir canales interbanquetas.

La capacidad del depósito de desmonte es de 31064.5812 m<sup>3</sup> y 83874,3693 toneladas y tiene vida útil de 7.6 años.

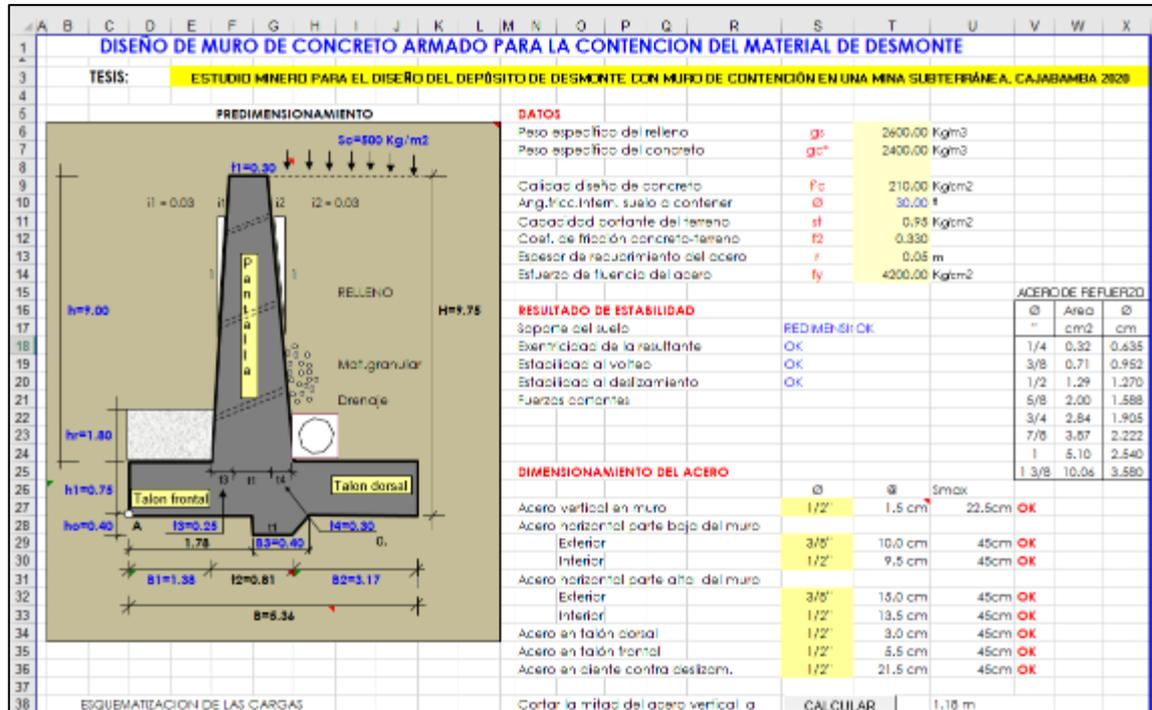
## REFERENCIAS

- Acuña R. (2020). Análisis geotécnico para la estabilidad de las desmonteras DSB1, y DSB2, Santa Bárbara, Huancavelica 2019.
- Centeno, A. (2018). *“Estudio Técnico Del Diseño Estructural Del Botadero De La Mina Constancia - Hudbay”*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Chambers, D., & Higman, B. (2011). Long Term Risks Of Tailings Dam Failure. Lindsay Newland Bowker.
- Gerscovich, D., Vargas, E., & de Campos, T. (2006). the evaluation of unsaturated flow in a natural slope . Rio de Janeiro: Engineering Geology.
- 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.
- Hoeck E. Carranza C. (2020) El criterio de rotura
- 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, 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.
- Suárez, J. (2002). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.

- Samaniego, A., Felix, O., & Villanueva, M. (2010). Diseño de Botaderos de Desmonte para Mina. Ayacucho: 1ra Jornada Iberoamericana Técnico-Científica de Medio Ambiente Subterráneo y Sostenibilidad MASYS 2010.
- Suárez, J. (2009). Deslizamientos. Análisis geotécnico Vol. 1. Barranquilla: U. Industrial de Santander.
- Suárez, J. (2002). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Bucaramanga: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Villanueva, M., Lino, E., & Huaña, O. (2017). Caracterización Geotécnica Y Diseño De Botaderos En Mina. Lima: SRK Consulting.
- Office, G. E. (1997). *Geotechnical Manual For Slopes*. Hong Kong: Homantin Kowloon.
- 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.

## ANEXOS

### Diseño de muro de concreto armado para la contención del material de desmonte.



Anexo No 2: Parámetros Estándares de suelos.

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

## Disposición de depósitos de desmonte en laderas

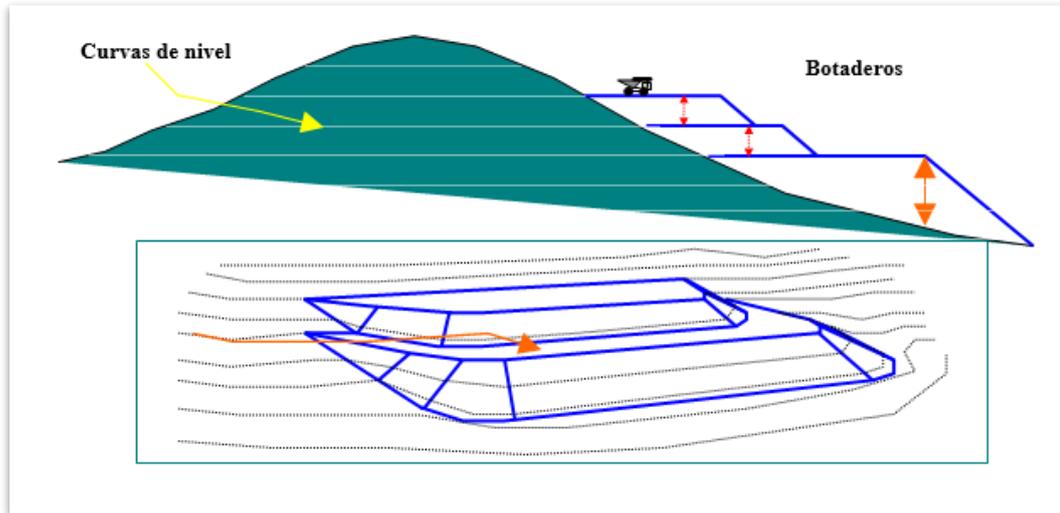


Figura 1: Botadero en laderas.

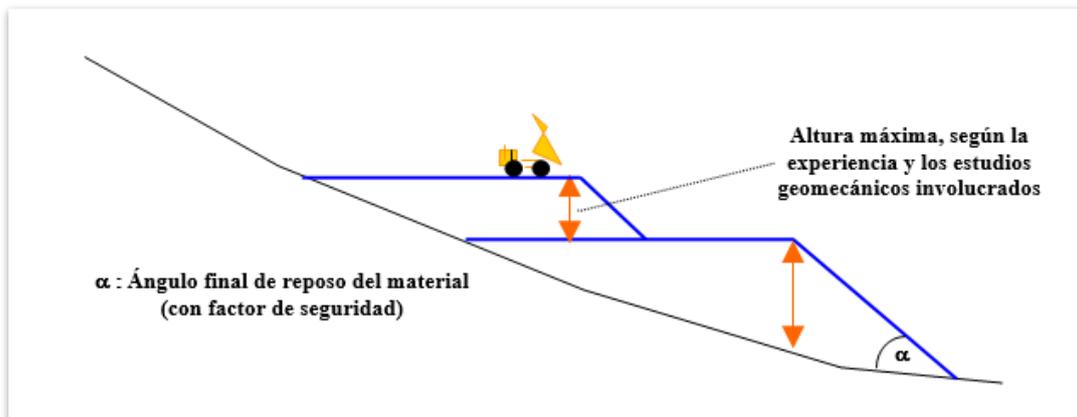


Figura 2: Diseño de talud con parámetros de seguridad y estabilidad.

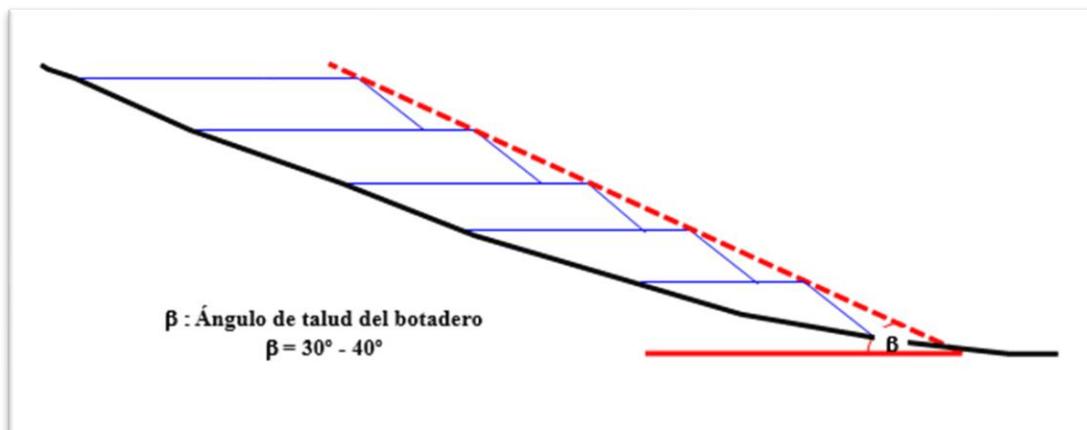


Figura 3: Ángulo general de taludes



