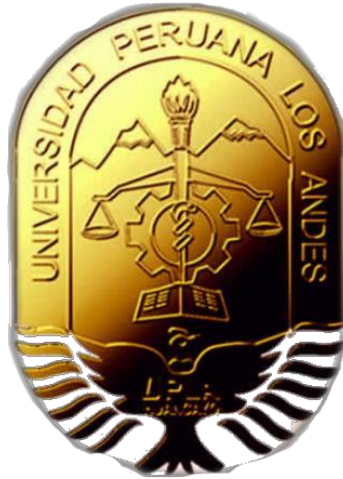


**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**RELACIÓN ENTRE MÉTODO GEOTÉCNICO PARA  
ESTABILIZACIÓN FÍSICA DEL DEPÓSITO DE DESMONTE  
Y PLAN DE CIERRE DE MINERA SANTA ROSA LA  
LIBERTAD 2016**

**Presentado por:**

**Bach. EDGAR ALEJANDRO CRISTOBAL INGA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Huancayo - Perú**

**2017**

## HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

---

Dr. Casio Aurelio Torres López  
Presidente

---

Ing. Vladimir Ordoñez Camposano  
Jurado Revisor

---

Ing. Nataly Lucia Córdova Zorrilla  
Jurado Revisor

---

Ing. Rando Porras Olarte  
Jurado Revisor

---

Mg. Miguel Ángel, Carlos Canales  
Secretario Docente

**ASESOR METODOLÓGICO**

Mg. Jorge Vladimir Pachas Huaytán.

**ASESOR TEMÁTICO**

Ing. Yina Milagro Ninahuanca Zavala

**Dedicatoria.**

*A Dios, a mis hijos ANDRE y MIKELA, esposa Paola a mis padres CIPRIANO y ELSA a mi hermana PAMELA que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.*

*Edgar A. C. I.*

**Agradecimiento.**

- *A Dios, a mis hijos ANDRE y MIKELA y a mi esposa PAOLA por ser la fortaleza de mí.*

- *A mis padres CIPRIANO y ELSA por apoyarme en las buenas y las malas, por ser mi ejemplo y guía,*

- *A los Docentes de Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes, por ayudarme en mi formación profesional.*

- *Al Mg. J. Vladimir P. H. gracias a sus enseñanzas, comprendí que no es difícil hacer una investigación.*

*Edgar. A. C. I.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS .....</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS .....</b>	<b>XII</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>XIV</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>21</b>
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	21
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	23
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	24
1.5. LIMITACIONES .....	25
1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....	25
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.2. BASES TEÓRICAS .....	39
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....	71
2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....	80
2.4.1. HIPOTESIS GENERAL.....	80

2.4.2.	HIPOTESIS ESPECIFICOS .....	81
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>82</b>
3.1.	VARIABLES .....	82
3.1.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE DEFINICION CONCEPTUAL.....	82
3.1.2.	VARIABLE DEPENDIENTE DEFINICION CONCEPTUAL .....	83
3.2.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	84
3.3.	TIPO DE ESTUDIO .....	84
3.4.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	85
3.5.	LUGAR Y PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN .....	85
3.6.	DISEÑO DEL ESTUDIO .....	86
3.7.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	87
3.8.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	89
3.9.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	93
3.10.	VALIDEZ Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS EMPLEADOS.....	93
3.10.1.	CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS .....	93
3.10.2.	VALIDEZ DE LOS INSTRUMENTOS .....	95
3.11.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	97
3.12.	ASPECTOS ÉTICOS .....	97
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS .....</b>		<b>99</b>
4.1.	RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS RESPECTO A LA VARIABLE INDEPENDIENTE ESTABILIZACION FISICA CON SUS TRES DIMENSIONES. ....	99
4.2.	RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS REALIZADAS RESPECTO A LA VARIABLE DEPENDIENTE PLAN DE CIERRE CON SUS TRES DIMENSIONES. ....	106
4.3.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN RESPECTO A LA VARIABLE INDEPENDIENTE ESTABILIZACION FISICA Y SUS TRES DIMENSIONES. ....	112

4.4.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN RESPECTO A LA VARIABLE DEPENDIENTE PLAN DE CIERRE Y SUS TRES DIMENSIONES. ....	148
4.5.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....	168
4.5.1.	CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS GENERAL.....	168
4.5.2.	CONTRASTACIÓN DE LAS HIPÓTESIS ESPECIFICAS .....	171
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....</b>		<b>180</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>		<b>182</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>185</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>186</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>188</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.2.1.2-1 - Pruebas (estándar y modificado) para ensayo proctor .....	43
Cuadro 2.2.1.2-2 - Valores Típicos del Coeficiente de Permeabilidad .....	45
Cuadro 2.2.1.3-1 – Determinación del número de curva de escorrentía - N.....	50
Cuadro 2.2.1.5-1 – LMP del balance entre minerales generadores de acido .....	54
Cuadro 2.2.2.2-1 – Factores de Seguridad Mínimos para análisis de estabilidad Física.	56
Cuadro 2.2.3.3-1 – Ancho de solera en función del caudal.....	66
Cuadro 2.2.3.3-2 – Ancho de solera en función del suelo.....	66
Cuadro 2.2.3.3-3 – Ancho de solera en función de pendiente.....	67
Cuadro 3.1-1 – Variable (Estabilización Física) .....	83
Cuadro 3.1-2 – Variable (Plan de Cierre).....	84
Cuadro 3.9-1 – Técnicas de Recolección de Datos .....	83
Cuadro 4.1-1 – Niveles de la Variable 1: Estabilización Física .....	99
Cuadro 4.1-2 – Niveles de la Dimensión 1: Método de Análisis .....	101
Cuadro 4.1-3 – Niveles de la Dimensión 2: Factor de Seguridad .....	102
Cuadro 4.1-4 – Niveles de la Dimensión 3: Análisis de Estabilidad.....	104
Cuadro 4.2-1 – Niveles de la Variable 2: Plan de Cierre .....	106
Cuadro 4.2-2 – Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica .....	107
Cuadro 4.2-3 – Niveles de la Dimensión 2: Estabilización Hidrológica.....	109
Cuadro 4.2-4 – Niveles de la Dimensión 3: Plan de Monitoreo.....	111
Cuadro 4.3.4.3-1 – Estaciones con registro de Precipitación .....	119
Cuadro 4.3.4.3-2 – Precipitación Mensual generado en mm (1963/2015).....	120
Cuadro 4.3.4.3-3 – Estaciones con registro de Precipitación .....	121

Cuadro 4.3.5.1-1 – Ubicación de calicatas .....	123
Cuadro 4.3.5.2-1 – Resultados de ensayos de caracterización física del Depósito de Desmonte .....	125
Cuadro 4.3.5.2-2 – Resultados de ensayos especiales del Depósito de Desmonte.....	126
Cuadro 4.3.6.1-1 – Parámetros para la regresión lineal múltiple .....	127
Cuadro 4.3.6.4-1 - Parámetros Morfométricos – Deposito Tentadora Sur.....	128
Cuadro 4.3.6.5-1 – Caudales de Diseño – Canales Tentadora Sur.....	129
Cuadro 4.3.7.1-1 – Resumen de los 10 terremotos de gran magnitud en Peru .....	130
Cuadro 4.3.8.1-1 – Resultados del ensayo ABA de la muestra de desmonte.....	134
Cuadro 4.3.9.1-1 – Valor ponderado de la MASA.....	136
Cuadro 4.3.9.1-2 – Matriz de Alternativas .....	136
Cuadro 4.3.9.1-3 – Resumen de coeficientes sísmicos para Diseño de Taludes.....	137
Cuadro 4.3.9.4-1 – Factores de Seguridad Mínimos aceptables empleando el método de Equilibrio Limite .....	138
Cuadro 4.3.10.1-1 – Parámetros Geotécnicos para Análisis de Estabilidad Deposito de Desmonte Tentadora Sur .....	141
Cuadro 4.3.10.3-1 – Resumen de resultados del análisis de estabilidad para condiciones iniciales – Etapa 1.....	143
Cuadro 4.3.10.3-2 – Resumen de resultados del análisis de estabilidad para condiciones finales – Etapa 1 .....	144
Cuadro 4.3.11.4-1 – Resumen de resultados del análisis de estabilidad para condiciones finales – Etapa 2 .....	148
Cuadro 4.4.2.1.3-1 – Dimensiones de Canales.....	155
Cuadro 4.4.5.1-1 – Presentación de los datos del Monitoreo .....	166
Cuadro 4.5.1-1 – Coeficiente de Correlación.....	169

Cuadro 4.5.2-1 – Coeficiente de Correlación .....	169
Cuadro 4.5.3-1 – Coeficiente de Correlación .....	174
Cuadro 4.5.4-1 – Coeficiente de Correlación .....	176

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.2.1.1-1 – Método de Banquetas .....	40
Gráfico 2.2.1.2-1 – Muestra de Partículas .....	41
Gráfico 2.2.1.2-2 – Limites de Atterberg .....	42
Gráfico 2.2.1.2-3 - Ensayo de Carga constante .....	44
Gráfico 2.2.1.2-4 - Permeámetro de Carga Variable .....	44
Gráfico 2.2.1.2-5 – Envolvente de Falla y Circulo de Mohr .....	47
Gráfico 2.2.1.2-6 – Detalle de la Celda para ensayo Triaxial .....	48
Gráfico 2.2.1.2-7 – Ensayo Triaxial “CD” .....	48
Gráfico 2.2.1.4-1 – Red de Flujo .....	52
Gráfico 2.2.2.1-1 – Metodología de Evaluación de Estabilidad.....	55
Gráfico 2.2.2.3-1 – Criterios de diseño de dique de contención... ..	56
Gráfico 2.2.2.3-2 – Revisión por volteo .....	58
Gráfico 2.2.2.3-3 – Revisión por deslizamiento a lo largo de la base .....	59
Gráfico 2.2.2.3-4 – Revisión de falla por capacidad de carga .....	60
Gráfico 2.2.3.2-1 – Revisión de falla por capacidad de carga .....	62
Gráfico 2.2.3.2-2 – Diagrama de análisis, Método de las Dovelas o Rabanadas .....	63
Gráfico 2.2.3.4-1 – Diseño de cobertura con material orgánico .....	69
Gráfico 3.5-1 – Unidad Minera Minera Santa Rosa – Deposito Tentadora Sur .....	86
Gráfico 3.7.2-1 – Muestreo no probabilístico “Muestreo por conveniencia” .....	88
Gráfico 4.1-1 – Niveles de la Variable 1: Estabilización Física.....	100
Gráfico 4.1-2 – Niveles de la Variable 1: Estabilización Física.....	100
Gráfico 4.1-3 – Niveles de la Dimensión 1: Método de Análisis .....	101
Gráfico 4.1-4 – Niveles de la Dimensión 1: Método de Análisis .....	102
Gráfico 4.1-5 – Niveles de la Dimensión 2: Factor de Seguridad .....	103
Gráfico 4.1-6 – Niveles de la Dimensión 2: Factor de Seguridad .....	103

Gráfico 4.1-7 – Niveles de la Dimensión 3: Análisis de Estabilidad .....	104
Gráfico 4.1-8 – Niveles de la Dimensión 3: Análisis de Estabilidad .....	105
Gráfico 4.2-1 – Niveles de la Variable 2: Plan de Cierre .....	106
Gráfico 4.2-2 – Niveles de la Variable 2: Plan de Cierre .....	107
Gráfico 4.2-3 – Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica .....	108
Gráfico 4.2-4 – Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica .....	108
Gráfico 4.2-5 – Niveles de la Dimensión 2: Estabilización Hidrológica .....	109
Gráfico 4.2-6 – Niveles de la Dimensión 2: Estabilización Hidrológica .....	110
Gráfico 4.2-7 – Niveles de la Dimensión 3: Plan de Monitoreo .....	111
Gráfico 4.2-8 – Niveles de la Dimensión 3: Plan de Monitoreo .....	112
Gráfico 4.3.7.2-1 – Zonificación Sísmica del Perú .....	131
Gráfico 4.3.7.2-2 – Mapa de Distribución de Máxima Intensidad Sísmica .....	132
Gráfico 4.3.7.2-3 – Mapa de Isoaceleraciones para 500 años de vida útil .....	133
Gráfico 4.3.10.2-1 – Sección 1-1 del D.Tentadora Sur en condiciones iniciales .....	142
Gráfico 4.3.10.2-2 – Sección 1-1 del D.Tentadora Sur en condiciones finales .....	143
Gráfico 4.3.10.3-1 – Detalle típico de Banqueteo y Perfilado .....	144
Gráfico 4.3.11.2-1 – Detalle típico de Apilamiento .....	146
Gráfico 4.3.11.3-2 – Sección 1-1 del D.Tentadora Sur-Etapa 2 final - Estatico .....	147
Gráfico 4.3.11.3-2 – Sección 1-1 del D.Tentadora Sur-Etapa 2 final - Pseudostatico .....	147
Gráfico 4.4.3.1-1 – Cobertura Tipo I .....	158
Gráfico 4.4.3.1-2 – Cobertura Tipo II .....	159

## RESUMEN

La presente investigación trata sobre el problema general ¿De qué manera se relaciona el método geotécnico para estabilización física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016?, siendo el objetivo general: Determinar la relación que existe entre el método geotécnico para estabilización física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016; para el efecto se formuló la hipótesis general: Existe una relación directa y significativa entre el método geotécnico de estabilización física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

La investigación es de tipo aplicada, con enfoque y diseño descriptivo correlacional. La muestra es no probabilística conformada por 11 ingenieros, utilizando cuestionarios y entrevistas, así mismo fueron los datos analizados y procesados teniendo como resultado un nivel de confianza de 95% y significancia del 5% que existe una relación directa positiva fuerte ( $r=0.822$ ) y significativa ( $t_c=7.6$ ) entre la variable Estabilización Física y la Variable Plan de Cierre.

La conclusión principal es: El método geotécnico empleado en el Deposito de Desmonte Tentadora Sur propone una estabilidad física, geoquímica e hidrológica que va de acuerdo a la normativa vigente en la remediación y que se relaciona con el Plan de Cierre final por parte de los Ministerios de Energía y Minas y del Ministerio del Ambiente que salvaguardan un ecosistema con ambiente saludable y adecuado

desarrollo de la vida y la preservación paisajista.

**Palabras clave:** Método Geotécnico, Estabilización Física, Plan de Cierre, Depósito de  
Desmonte Tentadora Sur

## **ABSTRACT**

The present investigation on the general problem is What Way is related the geotechnical method for physical stabilization of the Tentadora Sur Dismantling Depot and Mine Closure Plan of La Minera Santa Rosa La Libertad 2016, the general objective being: To determine the relationship between the geotechnical method for physical stabilization of the Deposit Of Desmonte Tentadora Sur and Mine Closure Plan of the Santa Rosa Mining Company La Libertad 2016; For this purpose the general hypothesis was formulated: There is a direct and significant relationship between the geotechnical method of physical stabilization of the Depot of Desmonte Tentadora Sur and Plan of Closing the Mine of Santa Rosa La Libertad 2016.

The research is applied type, with approach and descriptive correlational design. The sample is non-probabilistic, consisting of 11 engineers, using questionnaires and interviews, as well as the analyzed and processed data resulting in a 95% confidence level and 5% significance that there is a strong positive direct relationship (" $r$ " = 8,844) and significant ( $t_c =$ ) between the variable Physical Stabilization and the Variable Closing Plan.

The main conclusion is: The geotechnical method employed in the Tentadora Desemento Sur deposit proposes a physical, geochemical and hydrological stability that is in accordance with the regulations in force in the remediation and that is related to the Final Closing Plan by the Ministries Energy and Mines and the Ministry of the Environment that safeguard an ecosystem with healthy environment and adequate



development of life and landscape preservation.

**Keywords:** Geotechnical Method, Physical Stabilization, Mine Clousure Plan,  
Mine Dump

## INTRODUCCIÓN

Señor presidente del jurado examinador y señores miembros del jurado, presentamos a vuestro ilustrado criterios, la tesis de investigación titulado: **“RELACIÓN ENTRE MÉTODO GEOTÉCNICO PARA ESTABILIZACIÓN FÍSICA DEL DEPÓSITO DE DESMONTE Y PLAN DE CIERRE DE MINERA SANTA ROSA LA LIBERTAD 2016”**, el cual se ha elaborado, según las normas emanadas por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes.

En el Perú a partir del 2005 se regulo el tema referente al remediación de pasivos ambientales mediante un Plan de Cierre que concuerde con su Política Ambiental y en cumplimiento con las normas vigentes: Ley aprobado D.S. N° 033-2005, “Ley que Regula el Cierre de Minas” y con ello se abordó finalmente todas las etapas de la actividad de una mina. (Leturia, 2008).

El Plan de Cierre de Minas fue realizado por CESEL S.A. en 2006 el cual se tomaron información para nuestra investigación.

Asimismo la modificación del Plan de Cierre de Minas fue realizada por Minconsult S.R.L. en 2012 el cual indica que el pasivo ambiental Tentadora Sur en estudio no ha sido incluido en el Plan de Cierre debido a que no cuenta con un diseño de ingeniería básica. En este caso se recomienda primero realizar una evaluación y análisis de estabilidad a fin de poder determinar el método a usar para estabilizarlo y remediarlo con el fin de poder incluir en otra modificatoria al Plan de Cierre de la Mina Santa Rosa.

La presente investigación tiene la finalidad de determinar la relación que

existe entre la ESTABILIZACIÓN FÍSICA y PLAN DE CIERRE, para lo cual, en primer lugar, se realizó investigaciones geotécnicas de campo con la finalidad de evaluar las características y propiedades de los materiales físico-mecánicos más representativa de la cimentación y del Depósito de Desmonte para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos, luego se realizó un análisis de estabilidad física mediante equilibrio límite en condiciones actuales para determinar la estabilidad del Depósito de Desmonte Tentadora Sur (Etapa 1) que a lo largo de los años ha estado generando incertidumbre debido al mecanismo de falla que es el aumento a la carga actuante y falla en el dique existente que no ha sido bien compactado es así que se ha decidido poder aplicar un método geotécnico de estabilidad física que logre estabilizar dicho depósito. En segundo lugar el Depósito de Desmonte Tentadora Sur (Etapa 2) consistió en remover todo el material depositado y apilarlo sobre la Etapa 1 el cual primero se llegó a estabilizarlo para poder recibir todo el material de la remoción del área comprendida de 46.21 Ha que contenían un volumen de material de 2 700 000 m<sup>3</sup>, proveniente del Tajo Tentadora. Para garantizar la estabilidad física de la estructura se diseñó un Dique de Estabilidad N° 2 como apoyo al Dique de Estabilidad existente N° 1. En Tercer lugar se realizó un plan de cierre conceptual de dicha estructura para poder remediar que luego se adicionara al Plan de Cierre de toda la mina. Por todo esto, el presente trabajo de investigación en cumplimiento del reglamento de grados y títulos de la Universidad Peruana Los Andes para obtener el grado de Ingeniero Civil, la investigación para su mayor comprensión consta de cuatro capítulos, analizadas y distribuidos de la siguiente manera:

Con los resultados obtenidos se busca incentivar a las empresas mineras y al gobierno a darle mayor importancia al medio ambiente ya que estructuras como esta inestables puedan generar un impacto negativo al medio ambiente.

Por otro lado la investigación para su mayor comprensión consta de cuatro

capítulos, analizadas y distribuidos de la siguiente manera:

El **Capítulo I**, sobre el Descripción de la realidad problemática, la formulación de problema, los objetivos de la investigación general y específicos, la justificación de la investigación, limitaciones y viabilidad del estudio.

El **Capítulo II**, sobre el Marco Teórico, los Antecedentes de la Investigación, las Bases Teóricas, las Definiciones conceptuales, Formulación de hipótesis general y específicas.

El **Capítulo III**, sobre la Metodología de la Investigación, las Variables Independiente y Dependiente, el Diseño Metodológico, el Tipo de estudio, el Nivel de Investigación, el lugar y periodo de la investigación, el Diseño del estudio, la Población y muestra, Operacionalización de variables, Técnicas de recolección de datos, Validez y confiabilidad de los instrumentos empleados, Técnicas para el procesamiento, Aspectos éticos.

El **Capítulo IV**: sobre los Resultados, el Desarrollo de la Investigación respecto a la Variable Dependiente Estabilidad Física y Variable Independiente Plan de Cierre con sus tres dimensiones respectivamente, los resultados de las encuestas realizadas respecto a la Variable Independiente Estabilización Física y Variable Dependiente Plan de Cierre con sus tres dimensiones y la Contrastación de la Hipótesis general y específicas

El **Capítulo V**: sobre la Discusión y culminando esta investigación esta las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En espera de su aprobación.

Edgar Alejandro Cristóbal Inga.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Descripción de la realidad problemática**

Como consecuencia de las actividades mineras realizadas por la Unidad Minera Santa Rosa, ubicado en la localidad de Angamarca, Prov. Santiago de Chuco, Dpto. La Libertad, se han generado depósitos de desmonte, provocando áreas impactadas, con volúmenes y restos mineros de gran consideración, de características diversas en su mineralogía que fueron originados por diversas labores mineras tanto de explotación a tajo abierto, así como cateos y trabajos de exploración superficial. La unidad minera Santa Rosa viene operando tres tajos abiertos Tajo Clarita, Cochavara y Tentadora.

Los materiales de desmonte procedente del Tajo Tentadora fueron colocados en la zona sur del mismo sin considerar un diseño a nivel de ingeniería de detalle, donde posteriormente se produjo deslizamientos el cual pone en peligro el cauce del río San Francisco.

Esta investigación resalta y plantea la necesidad remediar la zona afectada en dos etapas aplicando metodologías para estabilización física con fines de Cierre de Mina del Depósito de Desmonte Tentadora Sur, el cual tiene relación con el Plan de Cierre de Mina de Minera Santa Rosa el cual se incluya en una futura ampliación del Plan de Cierre.

Cabe resaltar que el Plan de Cierre abarca tres importantes temas a nivel conceptual de Estabilidad que son Física, Geoquímica e Hidrológica en este caso esta investigación se enfocara en la estabilización física por el método de banquetas y dique de contención teniendo como temas secundarios a las demás estabilizaciones mencionadas líneas arriba que son parte de las actividades de cierre de operación final, para lo cual se aplicarán medidas para restaurar aquellas áreas que han sido alteradas, aplicando las mejores prácticas operativas afín de minimizar los riesgos hacia el entorno natural.

En el presente ítem se exponen los criterios utilizados para asegurar la estabilidad física de los diseños que se propone con fines de cierre. La estabilidad física implica el acondicionamiento de la estructura mediante trabajos de cortes, relleno y cobertura los cuales garanticen estabilidad duradera, para prevenir, mitigar y atenuar los impactos producidos por las operaciones minero-metalúrgicas, anticipándose al final de las fases de operación y abandono para evitar la generación de pasivos ambientales que es sujeto de análisis en función a sus características físicas y de resistencia. En tanto la Ley N° 28090 y su modificatoria (Ley N° 28234) establecen obligaciones y procedimientos a cumplir por los titulares mineros para la elaboración, presentación y ejecución del Plan de Cierre de Minas y la constitución de garantías ambientales respectivas.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera se relaciona el método geotécnico para estabilización física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Qué relación existe entre los métodos de análisis computacional para estabilidad física en el Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016?
- ¿Qué relación existe entre los factores de seguridad que determinan la estabilidad física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016?
- ¿De qué manera se relacionan los análisis de estabilidad que se aplicarían a la estabilidad física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y el Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General:**

Determinar la relación que existe entre el método geotécnico para estabilización física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016

#### **1.3.2. Objetivos Específicos:**

- Establecer la relación que existe entre los métodos de análisis computacional para estabilidad física en el Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.
- Determinar la relación que existe entre los factores de seguridad que determinan la estabilidad física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016

- Relacionar los análisis de estabilidad que se aplicarían a la estabilidad física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

##### **1.4.1. Teórica.**

Se llegara a obtener nuevos conocimientos logrando saber si la estabilización física al Depósito de Desmonte Tentadora Sur en una primera etapa luego para la siguiente etapa diseñar un nuevo apilamiento que con los criterios de diseño con fines de cierre de mina nos resulta estable para el medio ambiente entonces nos permitirá conocer y describir nuevos métodos de análisis de estabilidad física.

##### **1.4.2. Social o Practica**

La presente investigación asegura el bienestar personal, social y ambiental de las comunidades aledañas a las operaciones de mina ya que se está evaluando e investigando las posibles fallas en la estructura que ocasionarían impactos negativos en el medio ambiente y social.

##### **1.4.3. Metodológico**

Se propone para el análisis de estabilidad el método de Bishop simplificado el cual será un guía en los parámetros usados para esta investigación, con este método de análisis servirá como una línea base de investigación en futuros proyectos geotécnica dando por hecho que se realizara un ajuste a esta investigación ya que existe software de mayor complejidad y que ayudaran a otras evaluación y análisis para determinar otros parámetros de medición.



### **1.5.Limitaciones**

En nuestra investigación solo se está abarcando la Estabilización Física del Depósito de Desmonte aplicando una metodología geotécnica mediante banqueteo y perfilado con fines de cierre que contempla el Plan de Cierre de la Minera Santa Rosa y no se está usando otros tipo de método de estabilización como suelo reforzado ya que este tipo de estabilidad de talud en comparación al método de banqueteo en el aspecto costo es más económico, también no se está evaluando a nivel de Cierre de Mina la estabilizaciones Hidrológicas y Geoquímicas por ser temas que van de acuerdo a un grado superior como maestría.

### **1.6.Viabilidad del estudio**

El proyecto es viable ya que las variables a estudiar son reales y existentes, teniendo de esta manera los instrumentos necesarios para evaluarlos en campo y laboratorio.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. A nivel Nacionales:

- Aguirre (2007) realizo su tesis: *ESTUDIO GEOTÉCNICO Y SOLUCION A NIVEL DE INGENIERIA BASICA EN EL KM 484 OLEDUCTO NOR-PERUANO*, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil. La investigación llevo a las siguientes principales conclusiones:
  1. La zona alta del Km.484 corresponde a formaciones rocosas con discontinuidades, fracturas, fisuras y fallas. Los deslizamientos se dan en esta parte de Este a Oeste, por lo tanto el material depositado en las cercanías del oleoducto es producto de estas remociones de masa activas y la ubicación de mayor cantidad de puntos de control sobre estas zonas no sería adecuado.
  2. El área en la que se encuentra la tubería del Km. 484 es una zona de deslizamientos. La heterogeneidad del medio y la falta de datos de piezómetro en épocas prolongadas, hace que no se puede dar un diagnóstico para observar el comportamiento del nivel freático.

3. Se observa que los deslizamientos se producen en los meses de abril y mayo, coincidente con el fin del período lluvioso. Según el SENAMHI este período es de setiembre a mayo para esta zona (2400mm en promedio), lo que constituye el factor desencadenante de los fenómenos de geodinámica externa que se ven en la zona.
  4. La instalación de un sistema de drenaje profundo en el área - subdrenes perforados- presenta limitaciones por el tipo de suelo existente (coluvial). Este sistema podría generar una focalización en el drenaje del subsuelo y procesos de conificación que generaría problemas de tubificación y asentamientos diferenciales muy costosos de remediar.
  5. Las técnicas de monitoreo (Inclinometría, Piezometría y Topografía) en el área de estudio son adecuadas porque proporcionan tendencias y magnitudes de los movimientos.
- Torres (2007) realizó su tesis: *VALORACIÓN DEL RIESGO EN DESLIZAMIENTOS*, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:
1. Para la presente investigación podemos mencionar la importancia de la obtención de la “curva de confiabilidad” sobre los taludes de la zona estudiada. Esta curva representa de manera gráfica y resumida el nivel de riesgo y confiabilidad en la cual se encuentran los taludes estudiados. De la curva de confiabilidad

para condiciones estáticas y pseudoestáticas se determinó que un índice de confiabilidad  $\beta > 2$  permite asegurar un nivel de confiabilidad aceptable considerando las incertidumbres presentes en los parámetros geotécnicos de los suelos y rocas de la zona estudiada.

2. De la curva de confiabilidad se puede observar que existe una correlación entre el factor de seguridad calculado, el índice de confiabilidad, la pendiente del terreno y el índice de vulnerabilidad. Esta grafica indica específicamente que para conseguir un buen nivel de confiabilidad la pendiente del terreno debe ser menor a  $36^\circ$  para un factor de seguridad estático mínimo de 1.25, esto relacionado a un nivel de vulnerabilidad específico.
  3. Se observa una misma tendencia que presentan las curvas de confiabilidad tanto en condición estática como pseudoestático, presentan una tendencia ascendente, a mayores valores de confiabilidad se obtienen menores índices de vulnerabilidad.
  4. La metodología desarrollada en la presente investigación resulta una importante herramienta en el análisis y estimaciones de riesgo al deslizamiento en la ingeniería de taludes. En la actualidad la ingeniería de taludes posee una serie de herramientas poderosas que nos ayudan a predecir el posible comportamiento de un talud, desde sofisticados métodos de análisis por computadora hasta métodos mediante instrumentación geotécnica.
- Araujo (2011) realizo su tesis: *DISEÑO ESTRUCTURAL DE BOTADERO DE RIPIOS EN LA QUEBRADA MALETA*, a la

Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Cesar Vallejo, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil. La investigación llego a las siguientes principales conclusiones:

1. Se consideró un valor de aceleración básica de diseño horizontal de  $\frac{1}{2}$  de aceleración pico osea 0.15g, como valor de la aceleración de diseño, para un periodo de retorno de 500 años el proyecto se ubica en la zona 3.
2. Se logró obtener el caudal de diseño 15,000 m<sup>3</sup> para la poza captadora mediante el programa HEC hms.
3. El caudal obtenido para canal de coronación son los siguientes, Oeste 149 lts/seg, Norte 167 lts/seg y Este 102 lts/seg, el caudal obtenido para cunetas es Oeste 26 lts/seg y Este 19 lts/seg.
4. Con los resultados obtenidos del estudio de suelos caso más desfavorable con cohesión 10, Angulo de fricción interno 24, y la caracterización del ripio que será depositado, el talud del botadero de ripios está conformado por cinco bancos con inclinación de 1.5:1 H: V la altura de los bancos es de 25 metros, y altura del pie a la cresta de 125m.
5. Valiéndonos del programa Slide y las propiedades de los materiales que intervienen como soporte de la estructura, se realizaron los cálculos de estabilidad estático, pseudoestático y sísmico cumpliendo con los factores de seguridad 1.4 como indica las normas.
6. El área de emplazamiento del proyecto abarca una extensión de 13.5 has, y se depositara ripios para una capacidad de 7'875,000

TM provenientes del tajo seductora.

7. Se considera el diseño de un dique estructural con las siguientes características talud interior y exterior 1.5H: 1V, altura de 25 m, ancho de corona 10 m y una longitud de 105m.
- Guzmán (2012) realizó su tesis: *MITOS Y REALIDADES DE LOS PLANES DE CIERRE DE MINAS*, a la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Ingeniería, con la finalidad de optar el Grado Académico de Magíster en Ciencias con mención en Minería y Medio Ambiente. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:
1. Con la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) y los Planes de Cierre de Minas (PCM), se identifican y valoran económicamente tanto los impactos negativos como sociales
  2. El desarrollo de proyectos mineros en las zonas alejadas y sobre los 4000 msnm ha creado una dependencia y asistencialismo para con las comunidades por la ausencia casi total del Estado Peruano (no hay desarrollo de infraestructura vial, energética, educación salud y justicia) y la presencia casi obligada de las ONGs denominadas “Antimineras”.
  3. La historia de los proyectos mineros hasta el año 2005 se ha caracterizado en su gran mayoría por falta de comunicación y transparencia (Las Bambas marca el hito de cambio en desarrollo minero con responsabilidad social empresarial).
  4. La labor del Ministerio de Energía y Minas (MEM) y Ministerio del Ambiente en lo referente a capacitación y difusión proactiva

sobre desarrollo minero responsable es muy insipiente.

- Alvarado y Cornejo (2014) sustentaron su tesis: *ESTABILIZACION DE TALUDES EN LA COSTA VERDE – CALLAO TRAMO AV. SANTA – JR. VIRU (1.3 KM)*, a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad San Martín de Porres, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:
  1. En el caso de secciones críticas deberá como mínimo cortar el material que esté por encima de la línea que une el pie del talud con un punto ubicado a aproximadamente 3m medidos horizontalmente por delante del edificio involucrado.
  2. En el caso de secciones, deberá lograr un ángulo de  $47^\circ$  para poder asegurar que no habrá algún desprendimiento de materiales, será necesario la colocación de tierra vegetal para favorecer el crecimiento de césped que controle la estabilidad local (caída eventual de piedras). Según el análisis realizado, una solución para estabilizar la capa de 0.15m de terreno vegetal será la aplicación de geomallas y geomantas para la mejor adaptación del césped.
  3. La solución adoptada en este proyecto propone una solución integral al problema de estabilidad global y vegetalización de la Costa Verde; sin embargo, soluciones de este tipo representan montos elevados, por lo que se estimó necesario realizar el presupuesto del proyecto para poder tener un orden de magnitud del costo en caso se realicen obras de este tipo.

4. Este presupuesto demuestra que la partida de mayor incidencia en proyectos de este tipo es la de movimiento de tierras, sobre todo en zonas urbanas como Lima debido a que no se puede simplemente cortar y rellenar el material a una distancia corta sino que es necesario mover el material hasta botaderos especiales por lo que de tomar la decisión de realizar un proyecto de este tipo sería justificable la realización de un estudio para la implementación de botaderos más cercanos a la obra, pudiendo analizar la posibilidad de ampliar artificialmente las playas de Barranco y Miraflores con el material de desecho.

#### **2.1.2. A nivel Internacional:**

- Carreño (2008), sustentó su tesis: *DISEÑO DE ESCOMBRERAS DE LA MINA DE ROCA FOSFATICA (CONCESION RIECITO), CERRO RIECITO, MUNICIPIO JACURA, ESTADO FALCON* a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero de Minas. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:
  1. El volumen total de estéril a depositar en las escombreras es de 18.754,20 m<sup>3</sup> de capa vegetal, 4.163.937 m<sup>3</sup> de marga calcárea, 2.775.958 m<sup>3</sup> de caliza química y 230.770 m<sup>3</sup> de roca fosfática de bajo porcentaje, y un volumen muy pequeño proveniente de algunos lentes de arcilla. Tomando en cuenta el volumen de estéril a depositar, las escombreras se ubican en la categoría de medianas a pequeñas.
  2. Las escombreras de marga calcárea y caliza química se ubicaran



en un área disponible en la zona central del yacimiento, la cual quedara libre a medida que vaya avanzando la explotación de la roca fosfática. Este terreno es óptimo para cualquier tipo de estructura y tolerable para estructuras de gran volumen. Por otro lado, para el depósito de los estériles de roca fosfática de bajo porcentaje y de la capa vegetal, no se diseñaron las escombreras, ya que no se cuenta con información topográfica más amplia de la zona, y no están consideradas en esta tesis. Además de que los volúmenes a depositar de estos materiales es pequeño, por lo que localizar un espacio para su almacenamiento no representa mayor problema.

3. Tomando en cuenta los resultados de la clasificación del macizo rocoso según Bieniawski, se puede concluir que el macizo rocoso es de calidad buena y por lo tanto es una base sólida y segura para la implantación de la escombrera.
  4. Se diseñaron dos escombreras de tipo trapezoidal, conformada por terrazas con una inclinación de talud de 1.3:1, altura de 10 m y berma de 10 m. La inclinación general de los taludes de las escombreras es de 2.3:1.
- Moreno (2013), sustentó su tesis: *METODOLOGÍA DE DISEÑO DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA RELLENOS SANITARIOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS* a la Escuela de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío-Bío, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil. La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. En base a la investigación realizada en este proyecto de título se puede concluir, que de los factores relevantes que afectan la estabilidad de taludes de los rellenos sanitarios, las presiones intersticiales son las que más atenta contra la estabilidad del relleno, por lo que todo proyecto debe considerar que los líquidos lixiviados generados sean drenados de manera correcta y permanente, para evitar su acumulación. Esta condición, sumada a las presiones del biogás, elevarían las presiones intersticiales provocando una disminución de los parámetros mecánicos, disminuyendo las fuerzas resistentes sobre las superficies del deslizamiento.
2. Del análisis de los parámetros de caracterización geométrica de los taludes, se puede concluir que la condición geométrica que se propone en la normativa chilena está dentro de los rangos asumidos apropiados a nivel mundial.
3. La resistencia al corte de los RSU está mejor definida como cohesivo-friccional ( $c-\phi$ ), en donde el material fino y granular aportan a la fricción, y la acción de materiales fibrosos resistentes a la tracción estarán asociados a la cohesión.
4. La mayor dificultad para el estudio de estabilidad de un relleno sanitario se encuentra en la determinación de los parámetros resistentes, debido a la gran variedad de factores que interfieren como; tipo de residuo (heterogéneo) y su variación con respecto a las condiciones climáticas de cada región, la obtención de muestras representativas de las condiciones in situ, grado de

compactación, la inexistencia de procedimientos de muestreo y ensayos generalmente aceptados y contrastados por la comunidad científica, material de cobertura diaria, gestión de los lixiviados y biogás. Además, las propiedades geotécnicas de los residuos sólidos pueden cambiar en el tiempo como resultado de la descomposición.

5. Es posible definir una metodología de estabilidad de taludes en rellenos sanitarios basados en conceptos geotécnicos, como la Interpretación de la resistencia al corte de los RSU a través del criterio de rotura de Mohr-Coulomb.

- Amorós (2014), sustentó su tesis: *EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE UNA ESCOMBRERA MEDIANTE EL METODO DE OPTIMIZACION DE DISTRIBUCION DE DISCONTINUIDADES EN EL MARCO DEL EUROCODIGO 7*, a la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cartagena, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil.

La investigación llegó a las siguientes principales conclusiones:

1. Se ha demostrado que con un método poco común como es el análisis límite en el campo de la estabilidad se puede realizar un estudio satisfactorio concluyendo en resultados coherentes. En este contexto DLO ha demostrado ser un método que puede imponerse con el paso del tiempo debido a que presenta resultados de exactitud no lejana a los obtenidos mediante elementos finitos sin realizar una inversión de tiempo tan alta.

2. Así mismo se ha comprobado que la caracterización de una escombrera no es una tarea en la que no influyen solo los resultados obtenidos mediante los distintos equipos y ensayos, la interpretación del ingeniero es clave en este proceso por lo que pueden existir variación de conclusiones respecto a un mismo tipo de problema.
  3. Por último cabe destacar un llamamiento al incremento del uso del Euro código 7 debido a que realiza una evaluación de la seguridad más particularizada lo que se traduce en una exactitud mayor en los resultados ya que se aplican resultados parciales a cada característica importante del suelo que pueda afectar a la estabilidad global.
- Azorín (2014) sustento su tesis: *ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES MEDIANTE TÉCNICAS DE MODELACIÓN NUMÉRICA EN 3D UTILIZANDO PLAXIS 3D FOUNDATION*, a la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas de Cuba, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil. La investigación llego a las siguientes principales conclusiones:
1. Desde que, en 1776, se iniciara el estudio de estabilidad de taludes, estos análisis han ido experimentando modificaciones que han acercado cada vez más los resultados teóricos a los fenómenos ocurridos en la realidad. Estos cambios van desde el planteamiento, por Coulomb, de la superficie de deslizamiento plana hasta los métodos más utilizados en la actualidad (métodos de dovelas).

2. El programa computacional Plaxis resulta ser cómodo a la hora de modelar estructuras de tierra para caracterizar el comportamiento de las mismas. La introducción de los datos se realiza de forma sencilla y los resultados se expresan mediante diferentes métodos de salida de fácil interpretación.
  3. En el caso de estudio “Las Jardineras” se aprecia el colapso de la estructura debido, principalmente, al déficit de compactación de las capas que conforman el talud, agravado potencialmente por la intensa saturación que provocó, en la masa de suelo, un tramo roto de una conductora de agua.
  4. Las condiciones anteriores fueron impuestas en el modelo, realizado por Plaxis, de la masa de tierra en cuestión para analizar su comportamiento. Los resultados arrojaron la falla que a simple vista se aprecia en el área de estudio.
  5. Los datos de la falla dados por Plaxis concuerdan con los resultados del modelo en GeoStudio 2007, por lo que alcanzan un alto grado de confianza, aunque no concuerden completamente con lo referido en el Informe Ingeniero – Geológico realizado por la ENIA de colapso de la estructura.
  6. De forma general, puede concretarse que el programa computacional Plaxis es una herramienta útil para el análisis tridimensional de taludes, el cual goza de varias facilidades para su entendimiento, posterior trabajo y análisis de los resultados.
- Valladares (2015), sustentó su tesis: ESTABILIDAD DE TALUDES CON ANCLAJES, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad

Nacional Autónoma de México, con la finalidad de optar el Grado Académico de Ingeniero Civil. La investigación llevo a las siguientes principales conclusiones:

1. Antes de proponer la implementación de un sistema de anclaje para suelo o roca, debe hacerse un análisis de estabilidad para determinar si la estructura en cuestión es capaz de sostenerse por sí misma. Si no lo es, las anclas pueden aportar una fuerza estabilizante externa, tal que se alcance un factor de seguridad aceptable contra un tipo de falla. Una vez conocida la geometría de las anclas se debe hacer un análisis de estabilidad del conjunto formado por las anclas y la masa de suelo estabilizada.
2. La anclas se tensan con el fin de que los desplazamientos (principalmente los horizontales) del suelo y las estructuras asociadas, estén dentro de un rango aceptable. Esto se logra, únicamente, si el bulbo de anclaje está sujeto firmemente y la tensión del ancla se mantiene a lo largo de su vida útil.
3. La metodología propuesta proporciona una herramienta para la toma de decisiones, sin embargo, el uso de ella queda limitado a consideración del ingeniero responsable. Dicho metodología, como ya se explicó previamente, es aplicable únicamente para estabilizar taludes mediante anclas, lo cual abre una línea de investigación futura que pueden implicar elaborar nuevos procedimientos para estabilizar taludes con otros métodos tratados en la literatura.
4. El uso de anclas no es un método económico para estabilizar un

talud y tampoco el más eficiente, el uso del método dependerá primordialmente del presupuesto y de las condiciones geotécnicas.

5. Se obtiene un “insight” del caso de estudio que entre mayor sea la presión vertical la longitud del ancla será menor.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Depósito de Desmorte**

Según ORTIZ, CANCHARI & GIRALDO (2011, p.39) Los depósitos de desmorte de roca son instalaciones construidas y operadas para la recepción del desmorte de roca de la mina, ya sea éste material inerte o material con potencial de generar drenaje ácido de roca. El desarrollo, construcción y descargas de los depósitos de desmorte son llevados a cabo de tal manera de minimizar la posibilidad de generar drenaje ácido de roca mediante la colocación del material potencialmente generador de drenaje ácido en el interior del depósito, encapsulándolo de ese modo con material inerte (principalmente desmorte de material oxidado).

#### **2.2.1.1. Método de Conformación de Taludes**

##### **- Método de Banquetas**

Es un método en el que se usa el mismo material del botadero de desmorte, material de corte como relleno; se llega a estabilizar físicamente, pues se quita la sobrecarga que genera un gran volumen de masa en la parte superior. Para poder usar el método del banqueteo, muchas veces se necesita tener una topografía de pendiente baja en la parte del pie de talud como

se puede ver en la gráfico 2.2.1.1-1. Éste es el método más económico, pero a veces no se puede utilizar por las condiciones del entorno. (AMEC FOSTER WHEELER, 2012).

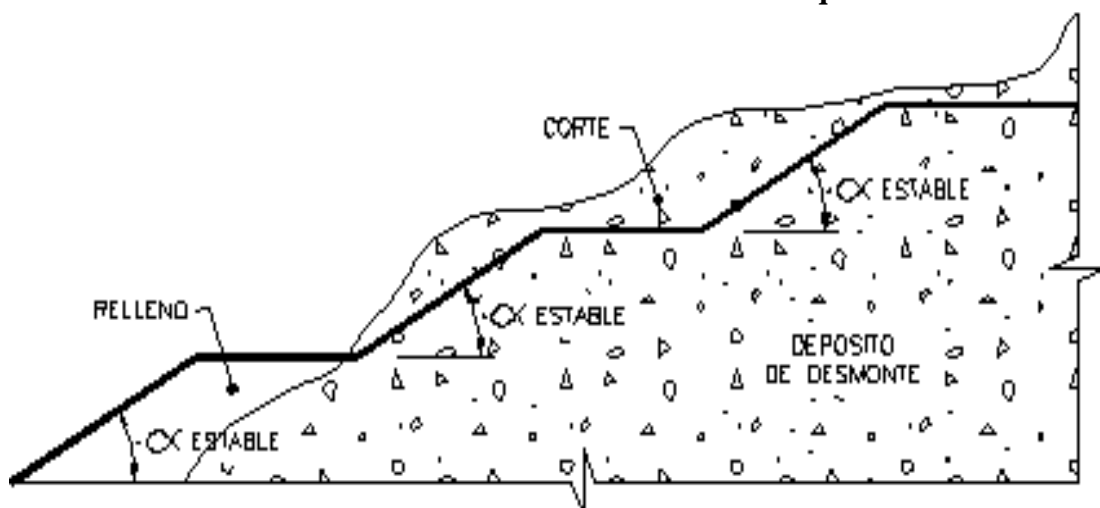
#### - Método de Gaviones

Es un método que contiene un muro de gaviones para la contención del pie de talud, se utiliza como muros de contención, lo cual ayuda a no desplazar, dándole una altura adecuada para lograr el ángulo de estabilidad. (AMEC FOSTER WHEELER, 2012).

#### - Método de Suelo Reforzado

El método del suelo reforzado nos permite utilizar ángulos mucho mayores que los métodos anteriores, debido al uso de las geomallas, llevándonos a contener mejor el pie del talud, no dejando que éste se prolongue más. (AMEC FOSTER WHEELER, 2012).

**Gráfico 2.2.1.1.-1- Método de Banqueteo**



*Fuente: Cesel 2006*



### 2.2.1.2. Estudios Geotécnicos

M.E.M., indica que se debe contar con los siguientes datos: Naturaleza del material, estratigrafía, densidad y alcance de la intemperización. Las propiedades de resistencia al corte de los depósitos de suelo y capas del basamento al pie de los taludes. (2010, pág. 14).

#### - **Determinación de las Propiedades Físicas.**

##### - **Pruebas de Laboratorio.**

"Para caracterizar un suelo, se determinan mediante pruebas de laboratorio de acuerdo al ASTM (1996)". (Rennat & Miller, 1997, pág. 19).

- Distribución del Tamaño del Grano- ASTM 0422.  
Determina la distribución de las partículas por tamaño de una muestra de suelo (Calsina Colqui, 2014).

**Gráfico 2.2.1.2.-1- Muestra de Partículas**



*Fuente: Muestra de Partículas - Elaboración Propia.*

- Límites Atterberg — ASTM D4318. Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definido por Atterberg, (Juárez Badillo & Rodríguez, 2004).

- Estado Líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.

**Gráfico 2.2.1.2.-2 - Límites de Atterberg**

**T A B L A 1.5**

**LIMITES DE ATTERBERG**

	ESTADO	ASPECTO Y COMPORTAMIENTO	LIMITE SEGUN CONTENIDO DE AGUA
	LIQUIDO	SOPA ESPESA, LIQUIDO VISCOSO	Límite Líquido (LL)
	PLASTICO	PASTA DENTAL, MANTECA BLANDA SE DEFORMA SIN AGRIETARSE	Límite plástico (LP)
	SEMISOLIDO	QUESO, CARAMELO BLANDO SE DEFORMA PERO SE AGRIETA	Límite de Retracción (LR)
	SOLIDO	CARAMELO DURO, GALLETAS SE RESQUEBRAJA AL DEFORMARSE	

*Fuente: Belandria, Norly, (2010).*

- Gravedad Específica- ASTM 0854. Es la relación del peso unitario de un cuerpo referida a la densidad del agua, se asume 2,65 (adimensional) como máximo valor de GS teórico. (Calsina Colqui, 2014).
- Densidad. Se empleado la Prueba Proctor, Según Belandria, el ensayo Próctor es una prueba de laboratorio que sirve para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de un suelo compactado, {2010, pág. 32}. En la Cuadro siguiente se especifican las diferentes pruebas (estándar y modificado).

**Cuadro 2.2.1.2.-1- Pruebas (estándar y modificado), para ensayo Proctor**

<b>Método Proctor</b>	<b>N</b>	<b>Volumen molde (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Pisón (kg)</b>	<b>Nº Capas</b>	<b>Altura Caída (cm)</b>	<b>Nº Golpes</b>	<b>Energía Compac/Volumen (Kg x m/m<sup>3</sup>)</b>
Estándar	a	943.33	2.49	3	30.48	25	60.5
Estándar	b	2123.03	2.49	3	30.48	55	60.5
Modificado	c	943.33	2.49	3	45.72	25	275.275
Modificado	d	2123.03	2.49	3	45.72	55	275.275

*Fuente: Belandria, Norly, (2010).*

- **Determinación de las Propiedades Mecánicas.**

- **Permeabilidad**

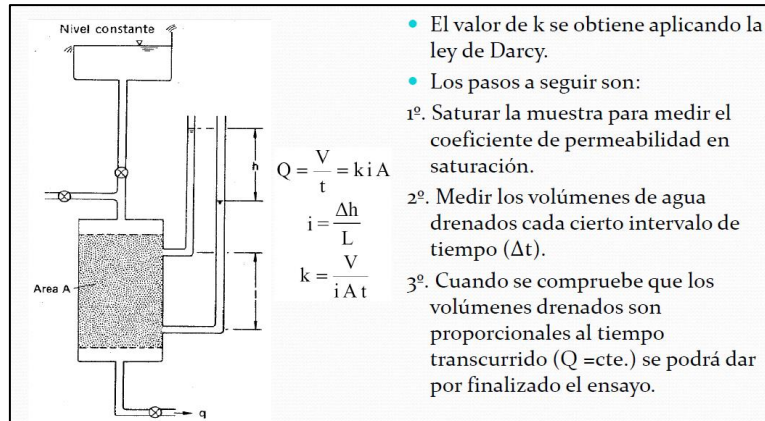
Es la facilidad con la que un fluido se mueve a través de un medio poroso. El permeámetro de carga constante (ASTM - 02434) es empleado para determinar la permeabilidad de suelos granulares, mientras que el permeámetro de carga descendente es más apropiado para suelos de baja permeabilidad. (Rennat & Miller, 1997, pág. 21)

La ley de Darcy, expresa la pérdida de carga. Expresa la facilidad con que el agua atraviesa el suelo, se expresa en cm/seg o m/día, se halla de la fórmula:

$$Q = q = KiA \text{ (Ley de Darcy)}$$

- K = Coeficiente de permeabilidad
- Q = Gasto de agua en cm/ seg o caudal
- I = Gradiente hidráulico =  $h/L$
- A = Área del suelo o sección de paso.

### Gráfico 2.2.1.2.-3- Ensayo de Carga Constante

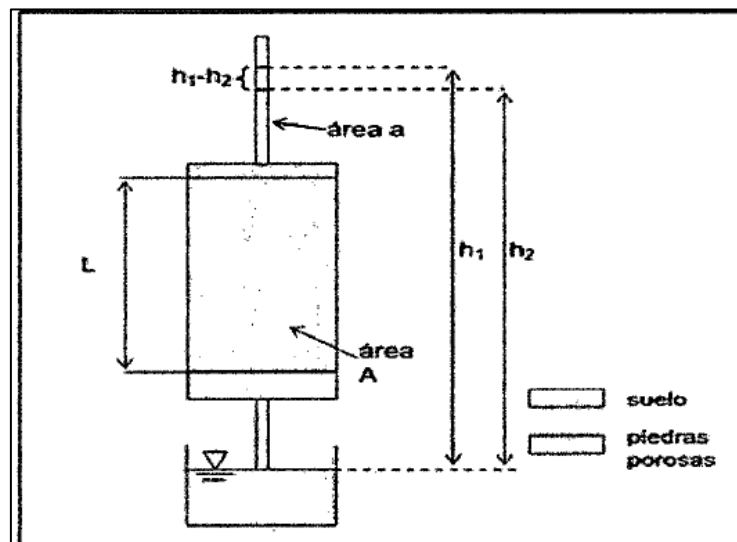


Fuente: Calsina Colqui, (Hidráulica en Suelos).

### - Permeabilidad de Carga Variable

La cantidad de agua escurrida es medida en forma indirecta por medio de la observación de la relación entre la caída del nivel de agua en un tubo recto colocado sobre la muestra y el tiempo transcurrido. La longitud L, el área A de la muestra y el área "a" del tubo recto son conocidos. En adición, las observaciones deben ser hechas en no menos de 2 niveles diferentes de agua en un tubo recto. (Angelone, Garibay, & Cauhapé, 2006, pág. 26)

### Gráfico 2.2.1.2.-4- Permeámetro de Carga Variable



Fuente: Geología y Geotecnia, FIC, (2006).

- **Permeabilidad con Permeámetro de Pared Flexible**

Permite determinar el coeficiente de permeabilidad, los permeámetros son las celdas del banco Triaxial. La permeabilidad es alta en gravas y baja en arcillas. (Suárez Díaz, 2002, pág. 254). Las ventajas de usar permeámetros de pared flexible son: Se controlan los esfuerzos principales, muestra mayor exactitud de los parámetros de conductividad de un suelo.

**Cuadro 2.2.1.2.-2- Valores Típicos del Coeficiente de Permeabilidad**

<b>MATERIAL</b>	<b>COEFICIENTE DE POROS</b>	<b>PERMEABILIDAD cm/seg</b>
Arcilla	<10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-3</sup>	<10.6
Limo	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-4</sup>
Arena	10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-4</sup> -10
Grava	10.1 +	10 —10 <sup>-2</sup>

*Fuente: Suarez, (2012).*

- **Resistencia al Corte**

- **Angulo de Fricción:**

El ángulo de fricción depende de la angulosidad y tamaño de las partículas, su constitución, mineralogía y densidad. Generalmente, el ángulo de fricción en suelos granulares varía de 2r a 42°, y la cohesión es baja.

La fricción pura de Coulomb equivale a la simple resistencia a la fuerza cortante en la teoría de la elasticidad. La fricción suele expresarse como  $(\theta)$ , donde  $\tan \theta = f$ , el coeficiente de fricción.

Entonces la componente friccional/ de la resistencia a la cortante,  $T_{max}$  de un suelo, equivale a  $N \tan \phi$ , donde  $N$  es la fuerza perpendicular que actúa sobre la masa. (Capote, 2014, pág. 9)

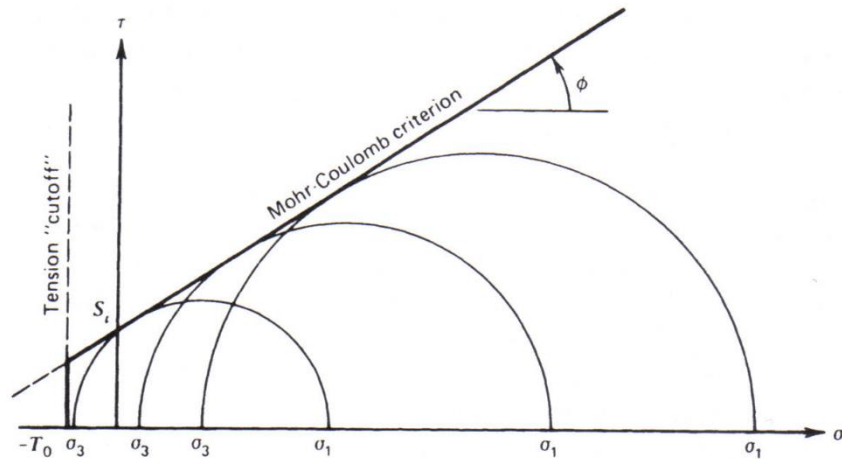
- **Cohesión:**

Cohesión. (Suárez Díaz, 2002, pág. 82}. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la cementación. Es la máxima resistencia a la tensión. Resulta de la interacción de factores, como la tensión capilar de las películas de agua, la adherencia coloidal de la superficie de las partículas, la atracción electrostática de las superficies cargadas, y condiciones de drenaje. (Capote Abreu, 1970, pág. 1)

- **Circulo de Mohr.**

Se utiliza para representar la resistencia al cortante de los suelos, utilizando la envolvente de falla, lo cual equivale a una combinación crítica de esfuerzos. (Suárez Díaz, 2002, pág. 85).

### Gráfico 2.2.1.2.-5- Envoltente de Falla y Círculo de Mohr



Fuente: Leoni, A, (1987),pág. 21

Los suelos al fallar al corte se comportan según la ecuación de Coulomb:

$$r = c' + (\delta - \mu) \tan \phi$$

$r$  = Esfuerzo de resistencia al corte

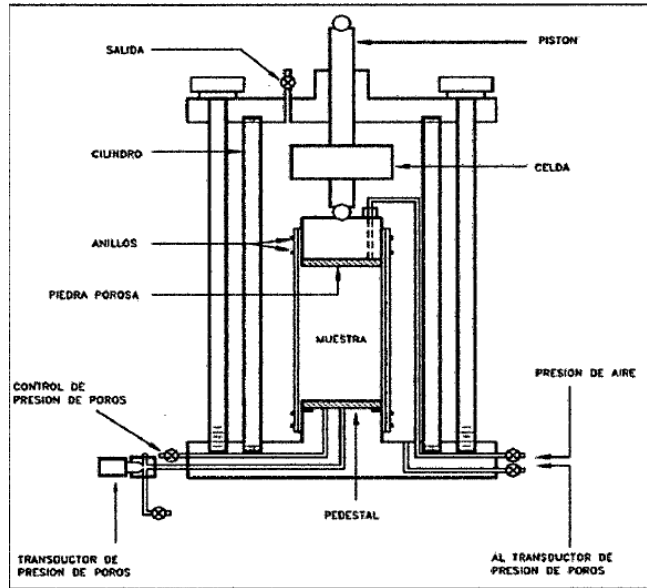
$c'$  = Cohesión o cementación efectiva

$\delta$  = Esfuerzo normal total

$\phi$  = Angulo de fricción interna del material

- **Medición de la resistencia al cortante.**
- **Ensayo Triaxial:** Permite determinar ( $c$  y  $\phi$ ) y características de deformación.

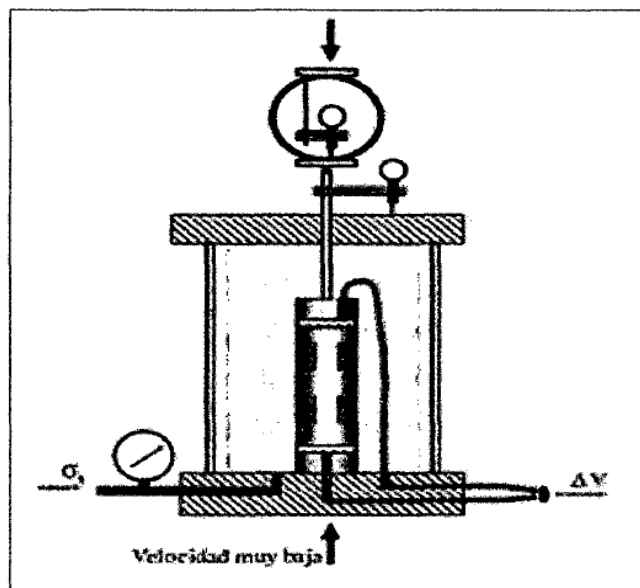
**Gráfico 2.2.1.2.-6- Detalle de la Celda para el Ensayo Triaxial**



*Fuente: Suarez Diaz (2002).pág. 90*

- **Ensayo Triaxial Consolidado Drenado:** Se realiza lentamente para permitir el drenaje del agua dentro de la muestra e impedir que se puedan generar presiones de poros. Son referidos para ensayos rutinarios (Geotechnical Engineering Office, 1979).

**Gráfico 2.2.1.2.-7- Ensayo Triaxial “CD”**



*Fuente: Suarez Diaz (2002).pág. 90*



### 2.2.1.3. Evaluación Hidrológica

Debido a la topografía abrupta que presenta gran parte del Perú y a la correspondiente falta de áreas planas para la construcción de botaderos de desmonte, muchos de estos están ubicados adyacentes a los ríos, corrientes o lagos. Dichas ubicaciones presentan aspectos particulares de diseño, influenciadas por las condiciones hidrológicas de la zona. Para el diseño de botaderos de desmonte, consideramos la evaluación hidrológica empleando eventos de avenidas extremas. (Rennat & Miller, 1997).

#### - Caudal de Diseño

(Samaniego, & Villanueva, 2010). La determinación del caudal de diseño deberá determinarse para un tiempo de retorno de 500 años, según disposiciones legales.

- Precipitación de diseño para duraciones menores a 24 horas.

Las intensidades máximas pueden ser calculadas a partir de las lluvias máximas sobre la base del modelo de Dick y Peschke. (M.T.C., 2012, pág. 37)

$$P = 91275.6 - 12036.9 \ln(H) - 416(\ln(H))^2 - 47.5(\ln(H))^3 + 13.9(\ln(H))^4$$

Donde

Pd = Precipitación total en mm.

H= Altitud en m.s.n.m.

#### - Caudal máximo de diseño

Tomando el método del Hidrógrama Triangular. Mockus desarrolló un Hidrógrama unitario sintético de forma triangular que resulta de la distribución de la lluvia efectiva unitaria, de

intensidad constante, distribución espacial homogénea y una duración determinista. (MVCS, 2006)

De la geometría del Hidrógrama unitario, se escribe el gasto pico como:

$$q_p = \frac{0.555 A}{t_b}$$

Dónde:

A = Área de la microcuenca, km<sup>2</sup>

t<sub>b</sub> = Tiempo base, horas = 2.67 t<sub>p</sub>

q<sub>p</sub> = Descarga pico, m<sup>3</sup>/s/mm

El tiempo de pico se expresa como:  $t_p = \frac{t_c}{2} + t_r \rightarrow t_r = 0.6t_c$

El caudal máximo se determina tomando en cuenta la precipitación efectiva.

$$Q_{max} = q_p \cdot P_e$$

$$P_e = \frac{(P - \frac{5080}{N} + 50.8)^2}{P + \frac{20320}{N} - 203.2}$$

Donde N es el número de escurrimiento, Pe y P están en mm.

**Cuadro 2.2.1.3.-1- Determinación del número de curva de escorrentía. - N**

DETERMINACION DEL NUMERO DE CURVA - N		
GRUPO	VELOCIDAD DE INFILTRACION mm/h	TIPO DE SUELO
A	7.6. - 11.5	Estratos de arena profundos
B	3.8 - 7.6	Arena - limosa
C	1.3 - 3.8	Limos arcillosos, arenas limosa poco profundas
D	0.0 - 1.3	Suelos expansibles en condiciones de humedad, arcillas de alta plasticidad.

Fuente: Ven Te Chow (1972).

**Cuadro 2.2.1.3.-2- Determinación del número de curva de  
escorrentía. - N**

CONDICION DE HUMEDAD ANTECEDENTE	PRECIPITACION ACUMULADA DE LAS 5 DIAS PREVIOS AL EVENTO CONSIDERADO			
I	0 - 3.60 cm			
II	3.60 - 5.30 cms			
III	más de 5.30 cms			
COBERTURA	A	B	C	D
Áreas Irrigadas	65	75	85	90
Pastos	40	60	75	80
Cuencas forestadas	35	55	70	80
Cuencas deforestadas	45	65	80	85
Áreas pavimentadas	75	85	90	95

*Fuente: Ven Te Chow (1972).*

#### **2.2.1.4. La Infiltración**

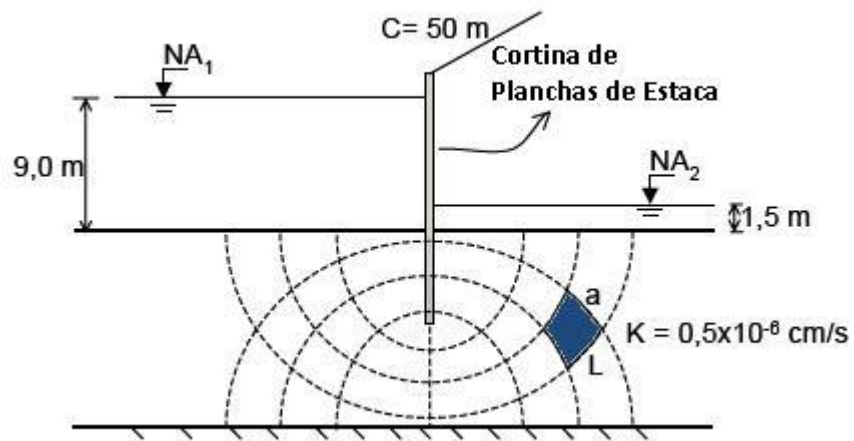
La infiltración se define como el movimiento del agua desde la superficie del terreno hacia el suelo o roca por los poros. El porcentaje de infiltración corresponde a la proporción de lluvia que se infiltra~ (Suárez Díaz, 2002, pág. 237).

La infiltración queda determinada por varios factores: (Cuba Valencia P, 2007}.1

- El tamaño, composición y estructura de partículas.
- Relación de vacíos.
- Grado de saturación.

En la red de flujo (figura 12), se estudia el equilibrio en la salida aguas abajo.

**Grafico 2.2.1.4.-1- Red de Flujo**



*Fuente: Angle (1972).*

- **Análisis De Filtraciones Utilizando SEEPIW- Plaxis V7.** El Plaxis V7 2016 es un software de elementos finitos, utilizado especialmente para el análisis de filtraciones de aguas subterráneas. Su formulación integral le permite considerar los análisis que va desde problemas simples a complejos, con suelos saturados y no saturados. El diseño asistido por computadora (CAD) como la tecnología única en SEEPIW le permite generar la malla de elementos finitos de las regiones de dibujo en la pantalla. Se puede aplicar de forma interactiva las condiciones de contorno y especificar las propiedades del material, e incluso se pueden estimar las funciones de parámetros importantes como por ejemplo el tamaño de grano, la conductividad saturada o el contenido de agua.

Los principales pasos para la evaluación de filtración con este programa son:

- Definición de la geometría, propiedades del suelo y su asignación a regiones.

- Definición de las condiciones límites: Asigna las condiciones de contorno a resolver.
- Definición de los elementos finitos de la malla: Este paso permite modelizar.
- Visualización de resultados: De forma predeterminada, la ventana CONTOUR mostrará los contornos de las líneas equipotenciales.

#### **2.2.1.5. Estudios Geoquímicos**

La prevención y el control de las aguas ácidas es un aspecto muy importante en aquellas minas donde existan sulfuros. Las aguas ácidas presentan los siguientes inconvenientes referentes a los efluentes provenientes de los pasivos ambientales:

- Impacto sobre la calidad del agua superficial y subterránea, que limita su reutilización.
- Impacto sobre la vida vegetal y animal del entorno.
- Dificultades en la revegetación y estabilidad de los taludes.
- **Evaluación de Pruebas Ácidas**

La capacidad de generación ácida, se determina a partir de su contenido de azufre como sulfuro y se denomina Potencial Ácido (PA). La capacidad para neutralizar se expresa a través del Potencial Neutralizante (PN) y se determina a través del contenido mineralógico que consumen ácido. (Samaniego, Félix, & Villanueva, 2010).

**Cuadro 2.2.1.5.-1- LMP del balance entre minerales generadores de acido**

<b>POTENCIAL DE GENERACION DE AGUAS ACIDAS</b>	<b>POTENCIAL NETO DE NEUTRALIZACION kg CaCO<sub>3</sub> equivalente/t material</b>	<b>PN/PA</b>
Improbable	> +20	> 3.0
Incierto	-20 < x < 20	1<x<3
Probable	<20	<1.0

*Fuente: M.E.M. 2012*

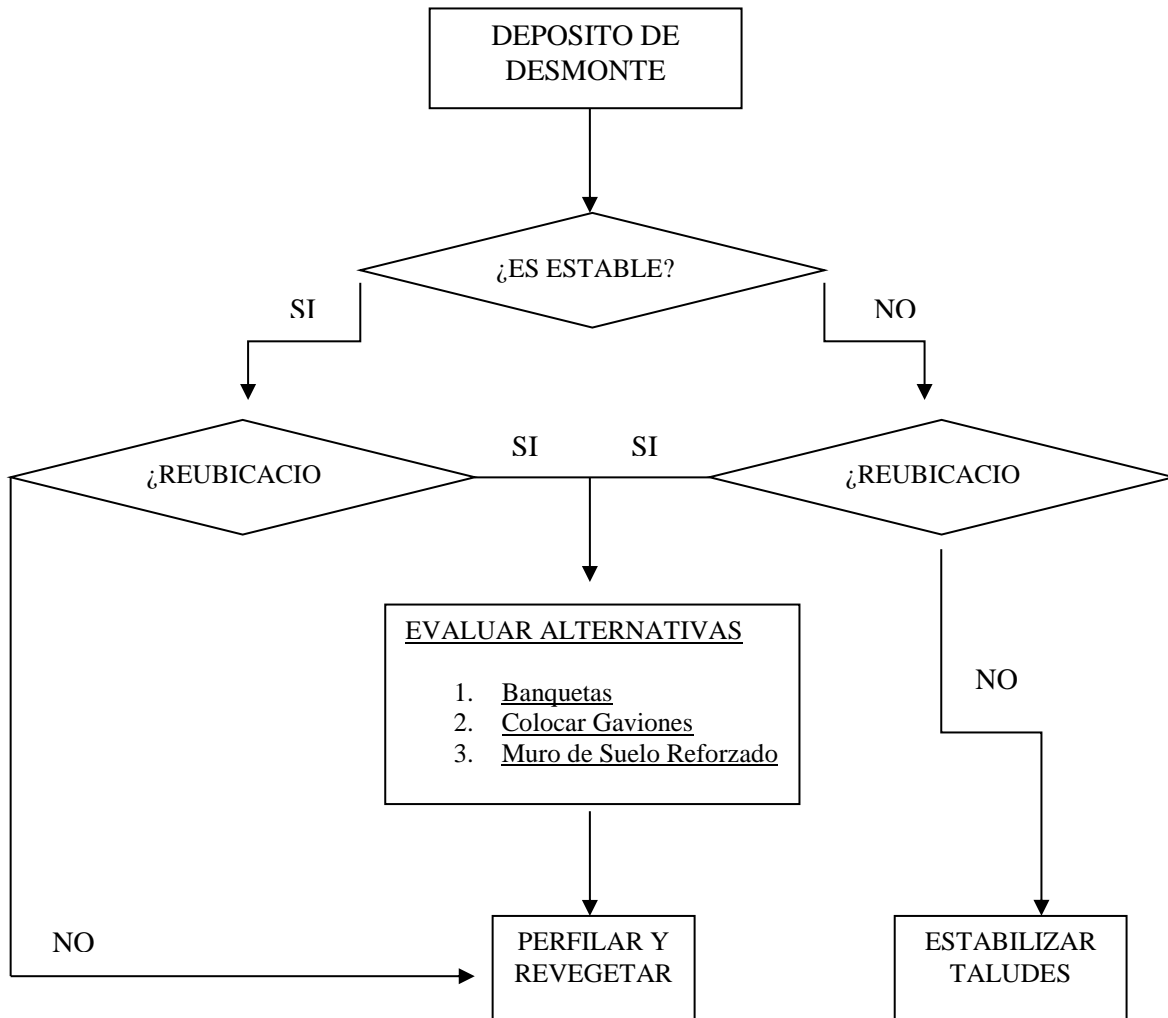
## **2.2.2. Evaluación de Estabilidad del Depósito de Desmonte**

La evaluación debe describir las medidas propuestas para estabilizar los taludes, tales como rebajado de taludes, bermas de pie, etc., señalando los métodos de análisis de estabilidad, ensayos y caracterización de materiales. (M. E.M., 2010, pág. 3)

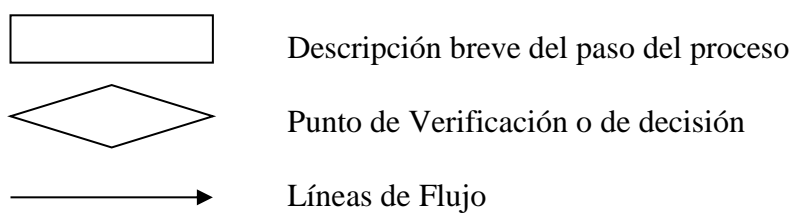
### **2.2.2.1. Metodología de Evaluación de Estabilidad del Depósito de Desmonte**

Se evalúa el procedimiento a seguir para la toma de decisión de la remediación de los pasivos ambientales, para ello un diagrama de Flujo nos muestra la metodología a seguir.

**Gráfico 2.2.2.1.-1- Metodología de Evaluación de Estabilidad**



La simbología que se utiliza no está reglamentada.



*Fuente: Elaboración propia*

### 2.2.2.2. Factor de Seguridad Mínimos

Para el caso de presas de tierra el U.S. Corp. of Enginners propone que los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable.

Samaniego, considera al botadero de desmonte como una

estructura es similar al de una presa de tierra, se puede determinar que los factores determinados en la Cuadro 2.1.2.2.-1, como parámetros comparativos para la evaluación de estabilidad de los taludes. (2010).

**Cuadro 2.2.2.2.-1- Factores de Seguridad Mínimos para análisis de Estabilidad Física**

CONDICION	FACTOR DE SEGURIDAD	
	USACE	MEM
Estático	1.5	1.5
Pseudo-estatico	1	1.2*

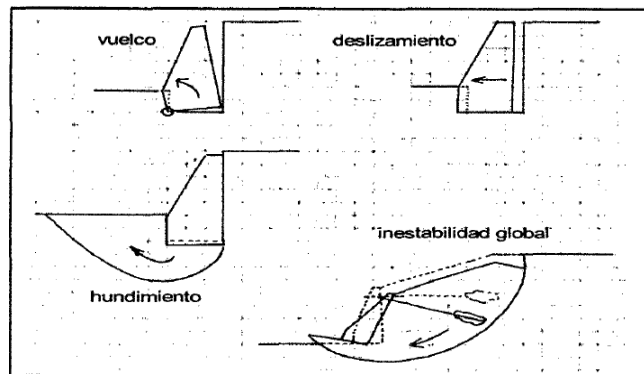
Nota: \* Sismo máximo, periodo de retorno de 100 años

uente: Ref. Antonio Samaniego, 2010

### 2.2.2.3. Revisiones de la Estabilidad

Para revisar la estabilidad de un muro de retención, son necesarios:

**Grafico 2.2.2.3.-1- Criterios de diseño de dique de contención.**



Fuente: E.T.S. (2002). Pág. 17

#### - Revisión por Volteo

El vuelco es típico de estructuras cimentadas sobre terrenos cuya capacidad portante es mayor que la necesaria para sostener la cimentación. (Herrera, 2012, pág. 8). (Braja



M., 2001), La figura 15, muestra las fuerzas que actúan sobre un muro por gravedad, con base en la suposición de que la presión activa de Rankine (Pa) actúa a lo largo de un plano vertical AB dibujado por el talón.

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cdot \cos(\delta + \theta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \theta)\sin(\theta - \alpha)}{\cos(\delta + \theta)\cos(\theta - \alpha)}} \right]}$$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma_2 H^2$$

$\gamma_2$  = peso específico del suelo en frente del talón y bajo la losa de base.

$K_a$  = coeficiente de presión activa de Rankine.

$c_2, \phi_2$  = cohesión y ángulo de fricción del suelo, respectivamente.

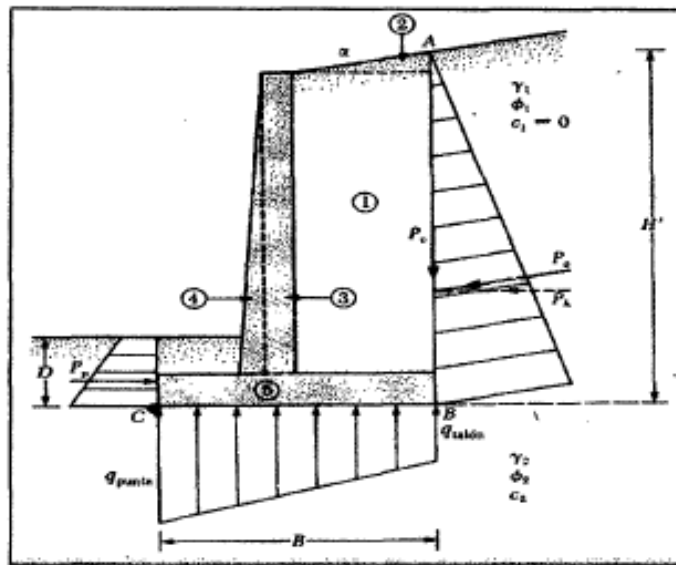
El factor de seguridad contra volteo respecto a la punta, se expresa como:

$$FS_{(\text{volteo})} = \frac{\sum M_r}{\sum M_o}$$

$\sum M_o$  = suma de momentos que tienden a voltear el muro respecto al punto C.

$\sum M_r$  = suma de momentos que tienden a resistir el volteo respecto al punto C.

**Grafico 2.2.2.3.-2- Revisión por volteo.**



Fuente: Braja m, (2001) pág. 396

El valor usual mínimo para el factor de seguridad con respecto al volteo es 2.0.

**- Revisión por falla de deslizamiento**

"El contacto de la cimentación con el terreno puede estar sometido a tensiones de corte. Si éstas superan la existencia de ese contacto se produciría el deslizamiento entre ambos elementos, cimentación y terreno". (Herrera Rodríguez, 2012, pág. 8).

$$FS_{(deslizamiento)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_d}$$

$\sum F_R$ =suma de fuerzas horizontales resistentes

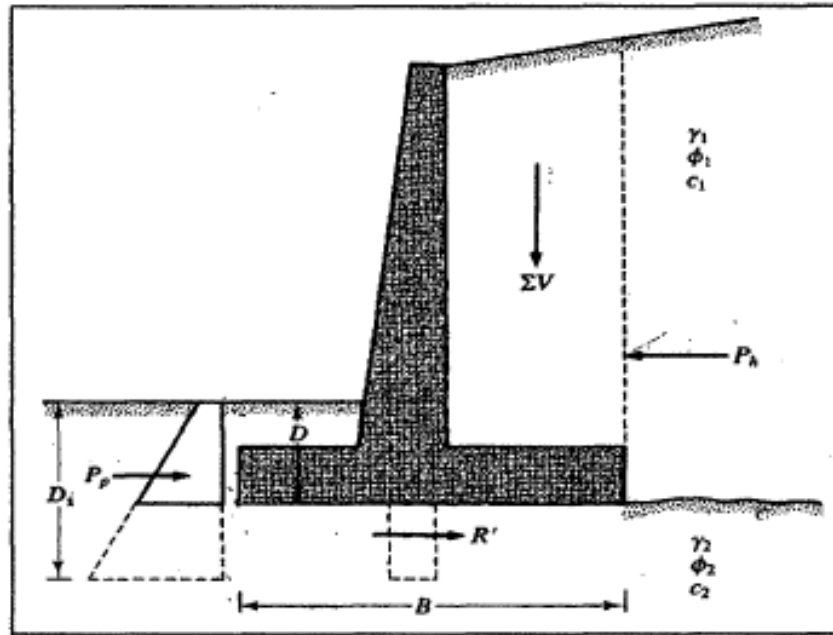
$\sum F_d$ =suma de fuerzas horizontales de empuje.

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma_2 D_2 K_p + 2C_2 D \sqrt{K_p}$$

Donde:

$$K_p = \tan^2(45 + \theta_2/2)$$

**Grafico 2.2.2.3.-3- Revisión por deslizamiento a lo largo de la base**



Fuente: Braja m, (20015) pág. 396

#### - Revisión por falla de la capacidad de carga

Los esfuerzos en los elementos estructurales que componen el cimiento, igual que cualquier otro elemento estructural, pueden sobrepasar su capacidad resistente. Los estados límites últimos que, en ese sentido, deben considerarse son los mismos que con el resto de los elementos estructurales. (Herrera Rodríguez, 2012, pág. 8).

Este fallo del terreno puede ocurrir cuando la carga actuante sobre el terreno, bajo algún elemento del cimiento, supera la carga de hundimiento. Debe evitarse este tipo de falla. El factor de seguridad debe reflejar no sólo la incertidumbre en

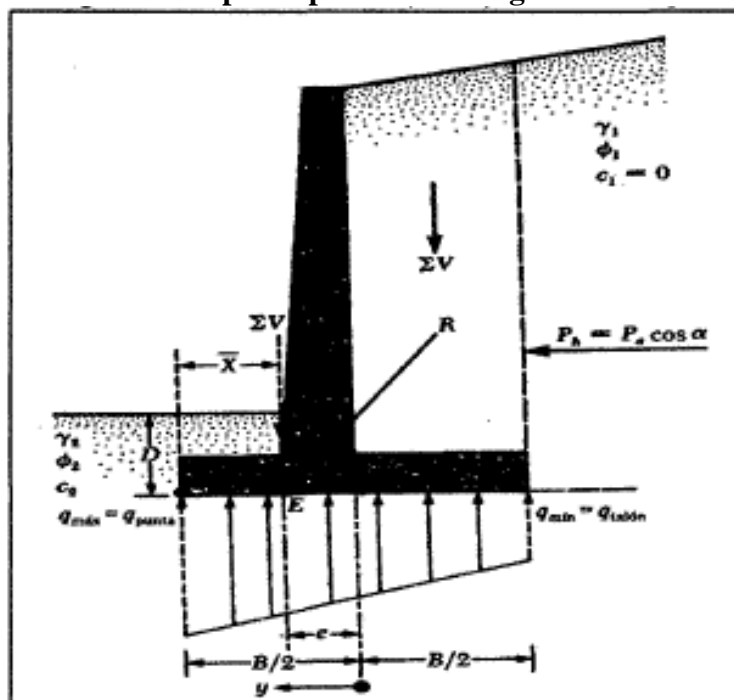
el análisis de capacidad portante, sino la observación teórica y práctica que el asentamiento no es excesiva. No debe usarse sin estimar el asentamiento. (Alva Hurtado, 2002, pág. 1)

La naturaleza de la variación de la presión vertical transmitida por la losa de base al suelo se muestra en la figura 2.1.2.3.-3. Note que  $q_{\text{punta}}$  y  $q_{\text{talón}}$  son las presiones máximas y mínimas que ocurren en los extremos de las secciones de la punta y el talón.

La suma de las fuerzas verticales que actúan sobre la losa de base es  $\Sigma V$  y la fuerza horizontal es  $P \alpha \cos \alpha$ , Sea  $R$  la fuerza resultante.

$$\vec{R} = \vec{\Sigma V} + \vec{(P \alpha \cos \alpha)}$$

**Grafico 2.2.2.3.-4- Revisión de falla por capacidad de carga**



Fuente: Braja m, (20015) pág. 402

## **2.2.3. Estabilidad del Depósito de Desmonte**

Los análisis de estabilidad de taludes es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta tanto en su diseño como durante la construcción y vida útil del botadero de desmonte.

### **2.2.3.1. Factores que afectan la estabilidad**

Se citan factores que influyen sobre la estabilidad de un botadero de desmonte:

- **Altura de vertido:** Es la distancia vertical entre la cresta del botadero de desmonte y la superficie del terreno sobre la cual está apoyado.
- **Talud de vertido:** Es el ángulo que forma la horizontal con la línea que va desde la cresta hasta el pie del botadero, este ángulo puede ir desde los 26° hasta los 37°.
- **Pendiente del cimientó:** Existirá un menor riesgo de deslizamiento cuando la pendiente del cimientó no supere los 10° y se coloquen rellenos de contención en el pie.
- **Tipo del cimientó:** Las condiciones del cimientó se configuran como el principal factor que aporta estabilidad a un botadero de desmonte.
- **Calidad del material vertido:** Las propiedades de los pasivos ambientales que serán depositados en el botadero de desmonte.
- **Método de construcción:** Generalmente los botaderos se construyen mediante una serie de plataformas en sentido ascendente o descendente. En la elección del método constructivo hay que tener en cuenta la capacidad disponible y

la estabilidad requerida.

- Condiciones climatológicas: La aparición de filtraciones en la cimentación y en el interior del botadero genera un riesgo potencial de desestabilización.
- Sismicidad: El mayor impacto que puede generar un movimiento sísmico natural sobre los botaderos es la licuefacción de sus materiales

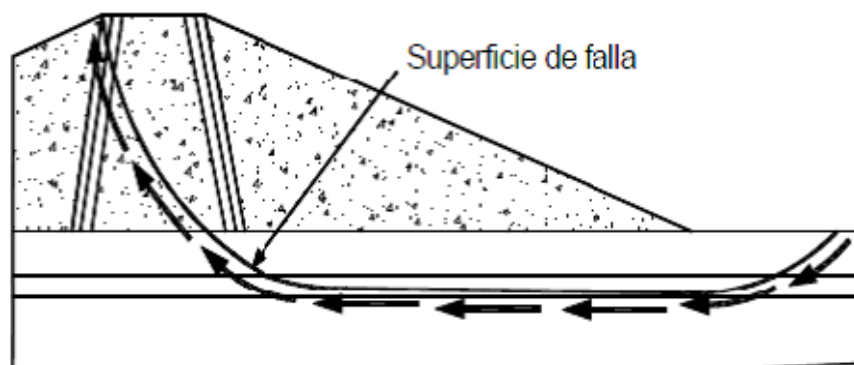
### 2.2.3.2. Estabilidad Física del Depósito de Desmonte

Los criterios de estabilidad aseguran un adecuado comportamiento de los taludes desde el punto de vista de la resistencia de los materiales involucrados.

#### - Superficie de Falla

Las fallas observadas en los materiales relativamente homogéneos, ocurren a lo largo de las superficies curvas. Por facilidad de cálculo, las superficies curvas se asimilan a círculos y la mayoría de los análisis de estabilidad de taludes se realizan suponiendo fallas circulares. (Petersen, 2011, pág. 6)

#### Grafico 2.2.3.2.-1- Revisión de falla por capacidad de carga

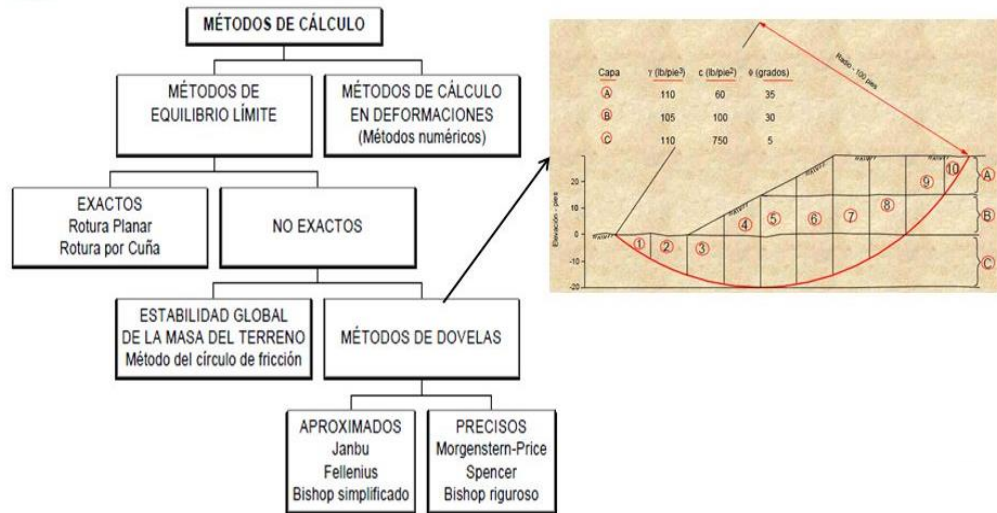


Fuente: *Engineering and Design Slope Stability – USACE*

- **Método de análisis de estabilidad física**

En la siguiente figura, se muestra los diferentes métodos de cálculo.

**Grafico 2.2.3.2.-2- Diagrama de análisis, Método de las Dovelas o Rabanadas.**



Fuente: ICOG – pág. 1

El sistema de equilibrio límite supone que en el caso de una falla, las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla equivalentes a un factor de seguridad de 1.0. (Suárez Díaz, 1998, pág. 121).

$$F. S. = \frac{\text{Resistencia al corte disponible}}{\text{Esfuerzo al cortante actuante}}$$

Se asume un criterio de "límite de equilibrio" donde el criterio de falla es satisfecho a lo largo de una determinada superficie. Se estudia un cuerpo libre en equilibrio, partiendo de las fuerzas actuantes y de las fuerzas resistentes que se requieren para producir el equilibrio. Calculada esta fuerza resistente, se compara con la del suelo y se obtiene un factor de seguridad. (Petersen, 2011, págs. 4-5)

En las superficies circulares donde existe momentos resistentes

y actuantes:

$$F. S. = \frac{\text{Momento Resistente disponible}}{\text{Momento actuante}}$$

- **Método de Alan Bishop.**

Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas. La solución de Bishop en su versión simplificada es: (Suárez Díaz, 1998, pág. 133)

$$F. S. = \sum \frac{[Cb + (W - ub)Tan\theta/ma]}{\sum w sen\alpha}$$

$$ma = \cos\alpha \left( 1 + \frac{tan\alpha \cdot tan\theta}{F. S.} \right)$$

b = Ancho de la Dovela

W = Peso de cada dovela

C',  $\varphi$  = Parámetros de resistencia del suelo.

U = Presión de poros en la base de cada

$\alpha$  = Angula del radio y la vertical en cada dovela.

Para la condición Pseudoestática, Ale analiza la estabilidad mediante el método de Bishop Modificado, (U.N.M.S.M., 2016), que se resume:

$$F. S. = \frac{\sum((C \cdot b + (W_i - u \cdot b) \cdot tan\theta))(sec\alpha / (1 + tan\alpha \cdot tan\theta) / F. S)}{\sum(W_i \cdot sen\alpha + k \cdot W(\cos\alpha - D / (2R)))}$$

Dónde:

N<sup>o</sup> = Fuerza normal efectiva

k = Coeficiente sísmico

### 2.2.3.3. Estabilidad Hidrológica del Depósito de Desmonte

El diseño hidrológico es el proceso de evaluación del impacto



de los eventos hidrológicos en un sistema de recursos hidráulicos. El diseño hidrológico puede utilizarse para desarrollar esquemas de una nueva estructura, como un dique para el control de crecientes, o para desarrollar programas de manejo y administración para controlar mejor un sistema existente. (Ven Te, 2000, pág. 427).

La inestabilidad general de un talud tiene lugar por un aumento en el contenido de agua en los, produciendo un mayor esfuerzo cortante. Las propiedades resistentes pueden mejorarse mediante una reducción de su contenido de humedad.

- **Drenaje y Control de aguas de escorrentía e internas de los Depósitos de Desmonte**

Para el cálculo de la sección hidráulica del canal de coronación se sigue la práctica habitual, que consiste en analizar el caso más desfavorable.

- El periodo de retomo del diseño del canal de coronación es de 500 años.
- Coeficiente de rugosidad de Manning (n). Depende de la naturaleza de la superficie en contacto con el agua. Los valores de n dados por Hartan para ser usados en las fórmulas de Ganguillet- Kutter, (Villón Bejar, 2007, pág. 72)
- Ancho de la solera (b). Una forma de fijar, es en función al caudal.

**Cuadro 2.2.3.3.-1- Ancho de solera en función del caudal**

<b>CAUDAL Q (m<sup>3</sup>/seg)</b>	<b>SOLERA b (m)</b>
Menor de 0.100	0.30
Entre 0.100 y 0.200	0.50
Entre 0.200 y 0.400	0.75
Mayor a 0.400	1.00

*Fuente: Elaboración propia*

- Talud (Z). Se designa como la relación de la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral, dependen de la clase del terreno. (Villón Bejar, 2007, pág. 136).

**Cuadro 2.2.3.3.-2- Ancho de solera en función del suelo**

<b>CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS</b>	<b>CANALES POCO PROFUNDOS</b>	<b>CANALES PROFUNDOS</b>
Roca en buenas condiciones	Vertical	0.25 : 1
Arcillas compactadas o conglomeradas	0.5 : 1	1.0 : 1
Limos arcillosos	1.0 : 1	1.5 : 1
Limos arenosos	1.5 : 1	2.0 : 1
Arenas sueltas	2.0 : 1	3.0 : 1

*Fuente: Elaboración propia*

- Velocidad mínima permitida (Vmin). Los valores mínimos sugeridos en canales revestidos, para evitar la sedimentación: 0.60-0.90 m/s.
- Margen libre (n. Depende del tamaño del canal, magnitud de las lluvias, etc.
- Pendiente (S). Su valor viene gobernado por la topografía; en la siguiente Cuadro se muestra las pendientes máximas en función del tipo del suelo:

**Cuadro 2.2.3.3.-3- Ancho de solera en función de pendiente**

TIPOS DE SUELOS	PENDIENTES (S) %
Suelos sueltos	0.5 1.0
Suelos francos	1.5 2.5
Suelos arcillosos	3.0 4.5

*Fuente: Elaboración propia*

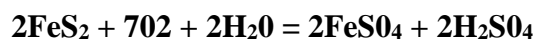
- Dimensiones finales. El diseño culmina con un ajuste de cifras, sobre todo redondeando el valor obtenido del ancho de fondo  $b$  y recalculando el resto. Usándose una ecuación en función de  $y$ . Se realizó el cálculo del tirante normal ( $y$ ) mediante iteraciones.

$$Q = \frac{S^{1/2} R^{2/3}}{n} A \rightarrow \frac{Q_n}{S^{1/2} b^{8/3}} = \frac{\left(\frac{y}{b} + \frac{y^2}{b^2} z\right)^{5/3}}{\left(1 + \frac{y}{b} 2\sqrt{1 + 2^2}\right)^{2/3}}$$

#### 2.2.3.4. Estabilidad Geoquímica

Para establecer la estabilidad geoquímica, es decir, el balance entre los minerales potencialmente generadores de ácido debe tenerse en cuenta que, para la generación de drenaje ácido de roca, se requiere el contacto del mineral de sulfuros con oxígeno y agua.

En este principio se basan los diferentes métodos de prevención de la generación de drenaje ácido. La reacción principal para la generación de ácido es:



#### - Tipos de Recubrimientos

Los siguientes tipos de coberturas que serán utilizadas para el recubrimiento de un Depósito de desmonte constituido

por materiales generadores de ácido.

Cobertura Tipo I Es una cobertura simple con una capa de suelo de material orgánico que puede ser de 0,15, 0,20 o 0,30 m, sobre la zona a restaurar. Se aplica cuando el material no genera drenaje ácido y no hay facilidad para el ascenso por capilaridad.

Cobertura Tipo II Es una cobertura con un material caliza, seguida de un material impermeable. Los espesores variarán dependiendo de las características de los botaderos de desmonte a cubrir que pueden ser 0, 15, 0,20 o 0,30 m de espesor, seguido de un material drenante, este es un material granular con un espesor de 0,20m, que permite fluir las precipitaciones y una capa superior de material orgánico que variara de espesor dependiendo del diseño que puede ser 0,15, 0,20 o 0,30 m, esto se usara para los Deposito de desmonte generadores de acidez.

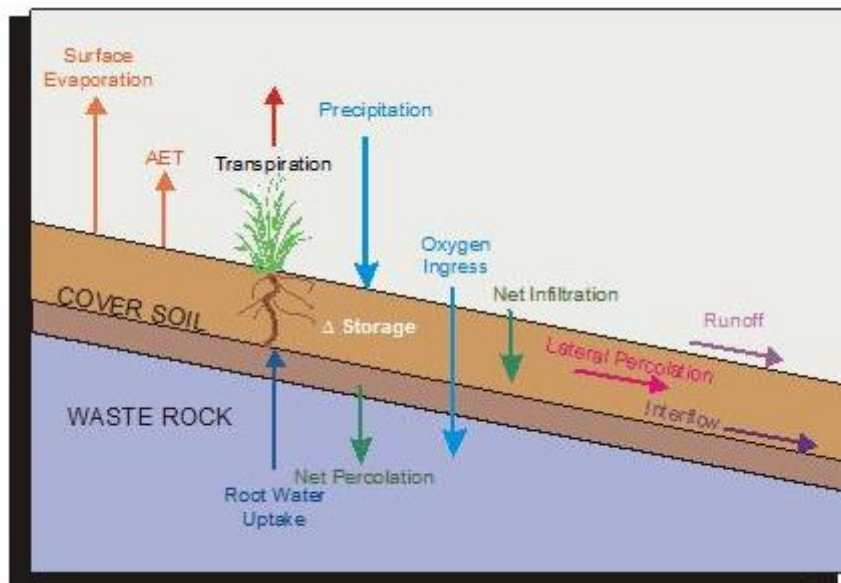
#### - **Diseño de Cobertura**

Según (M.E.M., 2010), Es necesario realizar un recubrimiento con material orgánico y elegir las plantas más adecuadas a las condiciones de la zona, cumpliendo los objetivos de mejorar, las características morfológicas del talud.

La expresión para determinar el F.S. considera la cuña activa.

$$W_A = \gamma h^2 \left( \frac{1}{h} - \frac{1}{\text{sen}\beta} - \frac{\tan\beta}{2} \right) \quad N_A = W_A \cos\beta \quad C_\alpha = C_\alpha \left( l \frac{h}{\text{sen}\beta} \right)$$

**Grafico 2.2.3.4.-1- Diseño de Cobertura con material orgánico**



*Fuente: Morales, 2008 pag.8*

#### **2.2.4. Plan de Cierre Mina**

El plan de cierre de minas es un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales efectuadas por los titulares de actividades mineras. Está destinado a adoptar las medidas necesarias antes, durante y después del cierre de operaciones, con la finalidad de eliminar, mitigar y controlar los efectos adversos al área utilizada o perturbada por la actividad minera, para que esta alcance características de ecosistema compatible con un ambiente saludable, adecuado para el desarrollo biológico y la preservación paisajista.

En este sentido, el plan de cierre de minas deberá describir las medidas de rehabilitación, su costo, la oportunidad y los métodos de control y verificación para las etapas de operación, cierre final y post cierre. Asimismo, deberá indicar el monto y plan de constitución de garantías ambientales exigibles. MANUAL DE LEGISLACION AMBIENTAL (2002).

#### **2.2.4.1. Remediación Pasivos Ambiental**

La remediación de Pasivos Ambientales Mineros puede definirse como el conjunto de actividades a ser implementadas a fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos deseados en el Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros.

El cierre de pasivos ambientales mineros normalmente incluye el diseño e implementación de diferentes medidas como estabilización física, geoquímica e hidrológica, tratamiento de drenaje ácido, recuperación o rehabilitación de terrenos, revegetación y rehabilitación de hábitats acuáticos, (M.E.M., 2010, pág. 6).

- **Actividades de Cierre**

Entre las actividades para el logro de la remediación ambiental se tiene:

- Demolición, Recuperación y Disposición.
- Estabilidad Física.
- Estabilidad Geoquímica e hidrológica.
- Revegetación.
- Rehabilitación de Hábitats Acuáticos.
- Programas Sociales.

- **Post-Cierre**

En el post-cierre se busca asegurar que las medidas de cierre recuperen en lo posible las condiciones ambientales iniciales del área del Proyecto; para lo cual es necesario e indispensable asegurar que las medidas de cierre se cumplan de manera efectiva, de manera tal que

los programas de mantenimiento y monitoreo, se constituyan en los medios técnicos que permitirán la evaluación efectiva de cada una de las medidas y obras establecidas para el Cierre. MANUAL DE LEGISLACION AMBIENTAL (2002).

Tipos de monitoreo post-cierre

- Monitoreo de la Estabilidad Física.
- Monitoreo de la Estabilidad Geoquímica.
- Monitoreo de Estabilidad Hidrológica.
- Monitoreo Biológico.
- Monitoreo Social.

## **2.3. Definiciones conceptuales**

### **2.3.1. Estabilización Física:**

Las superficies y estructuras que queden luego del cierre de las operaciones minero-metalúrgicas deberán ser físicamente estables de forma que no se constituyan en un peligro a la salud y seguridad pública, como resultado de fallas o deterioro físico. Se exceptúa de esta consideración a los movimientos de tierra que no pongan en peligro la seguridad y salud o el ambiente adyacente. (M.E.M., 2010, pág. 11)

### **2.3.2. Estabilización Química:**

El término "estabilidad química" se define en el Reglamento de Cierre de Minas como el comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o residuos mineros que, en su interacción con los factores ambientales, no genere emisiones o efluentes cuyo efecto implique el incumplimiento de los estándares de calidad ambiental, es decir, que eviten o controlen los riesgos de contaminación del agua, aire

o suelos, efectos negativos sobre la fauna y flora, los ecosistemas circundantes o sobre la salud y seguridad. (M.E.M., 2010, pág. 8)

### **2.3.3. Estabilización Hidrológica:**

El término "estabilidad hidrológica" se define en el Reglamento de Cierre de Minas como el comportamiento estable en el corto, mediano y largo plazo de los componentes o residuos mineros que en su interacción con los factores hidrológicos, no genere erosiones, saturaciones y contaminación del agua por residuos de minerales cuyo efecto implique el incumplimiento de los estándares de calidad ambiental, es decir, que eviten o controlen los riesgos de contaminación del agua, efectos negativos sobre la fauna y flora, los ecosistemas circundantes o sobre la salud y seguridad de las personas. (M.E.M., 2010, pág. 9)

### **2.3.4. Banquetas**

Es un método en el que se usa el mismo material del botadero de desmonte, material de corte como relleno; se llega a estabilizar físicamente, pues se quita la sobrecarga que genera un gran volumen de masa en la parte superior. Para poder usar el método del banqueteo, muchas veces se necesita tener una topografía de pendiente baja en la parte del pie de talud. Éste es el método más económico para esta investigación ya que se hace un reperfilado para generar una estabilidad de la estructura a fin de que no falle. (AMEC, 2016)

### **2.3.5. Analisis de Estabilidad**

Se refiere a la capacidad de una estructura bajo las fuerzas que actúan sobre ella de alcanzar un estado de equilibrio mecánico. Las combinaciones de fuerzas o acciones bajo las cuales una estructura no es estable se denominan inestabilidades y pueden ser de varios tipos:



Mediante un programa geotécnico se analiza la sección más desfavorable el cual se analiza su estabilidad. (ATIMMSA, 2012)

#### **2.3.6. Canales de Coronación**

Son canales que se construyen para desviar el agua que se escurre sobre la superficie y consecuentemente para evitar la erosión del terreno, especialmente en zonas de mucha pendiente o donde se ha efectuado el corte del terreno para la instalación de alguna estructura (unidad de captación, reservorio, etc.). (Cesel, 2006)

#### **2.3.7. Programa Slide V6.**

Es un software de uso geotécnico el cual permite evaluar varias condiciones de estabilidad. (Rocksiciencie, 2016)

#### **2.3.8. Caudal**

Puede referirse a caudal es la cantidad de fluido, medido en volumen, que se mueve en una unidad de tiempo; caudal másico, cantidad de masa.

#### **2.3.9. Maximas Avenidas**

La mayor parte de los estudios y proyectos de obras de ingeniería civil incluyen el dimensionamiento de elementos destinados a evacuar los caudales de avenida evitando daños en lo proyectado, aguas arriba y aguas abajo.

Aunque este tipo de cálculos suelen adaptarse a una metodología común en sus aspectos básicos, difieren notablemente en los datos e hipótesis de partida y en los parámetros de diseño, con lo cual los resultados no siempre resultan homogéneos.

Como consecuencia de ello, algunos diseños quedan insuficientes para evacuar los caudales producidos, creando cuellos de botella que generan problemas de inundaciones. En el otro extremo, otros diseños

basados en hipótesis más conservadoras, dan lugar a sobredimensionamientos que encarecen innecesariamente las obras de drenaje. (Sanchez, 2012 pág. 4)

#### **2.3.10. Asentamientos:**

Un asentamiento es una forma de inestabilidad gravitatoria que se caracteriza por el desplazamiento en un trecho relativamente corto a lo largo de una pendiente de una masa coherente de materiales poco consolidados o capas de roca. El movimiento se caracteriza por el deslizamiento a lo largo de una superficie plana o cóncava. Entre las causas de los asentamientos se encuentran movimientos sísmicos, absorción excesiva de agua, congelamiento y derretimiento, socavamiento en su base, y carga de la pendiente.

Se producen asentamientos traslacionales cuando una masa de terreno se desplaza a lo largo de una superficie plana.[2] Entre las superficies planas donde se producen estas fallas se encuentran planos de encuentro o depósitos, especialmente donde una capa permeable se encuentra sobre una superficie impermeable. Los asentamientos en bloque son un tipo de asentamientos traslacionales en los cuales uno o más trozos de roca se desplazan pendiente abajo como una masa relativamente coherente. (BRAJA, 2015, pag. 243)

#### **2.3.11. Evaporacion:**

Es el proceso por el cual las moléculas en estado líquido (por ejemplo, el agua) se hacen gaseosas espontáneamente (ej.: vapor de agua). Es lo opuesto a la condensación. Generalmente, la evaporación puede verse por la desaparición gradual del líquido cuando se expone a

un volumen significativo de gas. Por término medio, las moléculas no tienen bastante energía para escaparse del líquido, porque de lo contrario el líquido se convertiría en vapor rápidamente. Cuando las moléculas chocan, se transfieren la energía de una a otra en grados variantes según el modo en que chocan. (SANCHEZ, 2012)

### **2.3.12. Topografía**

Hecha la revisión bibliográfica correspondiente, según CONDE (1994, p.1) La topografía (de topos, "lugar", y grafos, "descripción") es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales (ver planimetría y altimetría). Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno, utilizando la denominación de geodesia para áreas mayores. De manera muy simple, puede decirse que para un topógrafo la Tierra es plana, mientras que para un geodesta no lo es.

Para eso se utiliza un sistema de coordenadas tridimensionales, siendo la X y la Y competencia de la planimetría, y la Z de la altimetría, el cual facilita la generación de planos topográficos y mapas en escalas grandes.

### **2.3.13. Piezómetro**

Hecha la revisión bibliográfica correspondiente, según SUAREZ (s.f. p.514) Piezómetro es el Instrumento que se utiliza para medir la presión de poros o nivel del agua en perforaciones, terraplenes, cañerías y estanques a presión. La aplicación geotécnica más común es para determinar la presión de agua en el terreno o el nivel de agua en

perforaciones. Pueden ser:

- **Piezómetros hidráulicos**

Se utilizan para medir la presión de poros en terraplenes y fundaciones de las presas. Este tipo consiste de uno o dos tubos llenos con fluido y una punta porosa; el piezómetro se conecta a un manómetro en el punto de observación. En el tipo de dos tubos, el segundo tubo sirve como un medio de limpieza para remover gas o sedimento acumulado.

- **Piezómetros Neumáticos**

Los piezómetros neumáticos se instalan también en la presa. Se utilizan donde las operaciones de construcción podrían dañar otro tipo de instrumentación. Su uso también minimiza la interferencia con los equipos de construcción.

- **Piezómetros de cuerda vibrante**

Se instalan en fundaciones y terraplenes para el monitoreo de la presión de agua de poros. Como los otros sistemas de piezómetros cerrados, se emplean en terraplenes donde la utilización de piezómetros de tubo abierto podrían ser dañados si interfieren con el equipo de construcción. En algunas instalaciones se han utilizado para chequear la precisión de instrumentos adyacentes. También se utilizan donde se requiere el monitoreo de presiones de poros negativas.

- **Piezómetro de resistencia eléctrica**

Se utilizan en terraplenes y fundaciones. Tiene como ventaja que el sitio de lectura es independiente de la localización del sensor y sus limitaciones están relacionadas principalmente a la medición de diminutos cambios de resistencia. Requiere de precauciones extras y técnicas apropiadas durante su instalación y lectura

- **Celdas de presión total**

Se utilizan para el monitoreo de la presión estática total (suelo y agua) en el terraplén de una presa de tierra, en su fundación, contra la superficie de conductos de concreto o estructuras adyacentes. Pueden ser neumáticas o eléctricas.

- **Piezómetros Casagrande**

Se usan para la medición de la presión del agua en terraplenes, fundaciones o en sitios seleccionados de los contrafuertes de las presas. Pueden instalarse en una perforación o en terraplenes durante construcción.

#### **2.3.14. Inclímetro**

El inclinómetro mide el cambio de inclinación de un tubo que se coloca en una perforación dentro del talud y de esta manera, se calcula la distribución de los movimientos laterales. De esta manera, se puede determinar la profundidad de la superficie de falla y la dirección y magnitud de los desplazamientos. SUAREZ (s.f. p.504).

#### **2.3.15. DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES MINEROS**

Según MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (2016) La Dirección Normativa de Asuntos Ambientales Mineros es el órgano encargado de proponer y evaluar los proyectos de normas que se requiera para garantizar el desarrollo sostenible del sector minero.

- La Dirección Normativa de Asuntos Ambientales Mineros tiene las funciones y atribuciones siguientes:
- Formular y proponer las normas técnicas y legales relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente.

- Proponer las normas para la evaluación de impactos ambientales y sociales derivados de las actividades del Sector Minería.
- Analizar y emitir opinión sobre las denuncias referidas a las funciones a cargo de la Dirección.
- Asesorar e informar a la Dirección General en temas relacionados al cumplimiento de los objetivos planeados por la Dirección General.
- Participar en los talleres y audiencias públicas en representación del Director General.
- Elaborar proyectos de dispositivos legales y otros documentos en el ámbito de su competencia.
- Participar en el proceso de difusión y capacitación de la normatividad referida a los temas ambientales mineros.
- Emitir opinión sobre los proyectos y solicitudes de cooperación internacional vinculada con los asuntos ambientales en el ámbito minero.
- Emitir opinión legal sobre los proyectos de dispositivos legales que se ponga a su consideración.

### **2.3.16. Ministerio de Energía y Minas**

Según MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS (2016) Es el Ministerio del Poder Ejecutivo encargado del sector energético y minero del Perú. A su vez, coordina para la igual distribución de la energía en la nación. Que tienen como objetivos principales:

- Promover el desarrollo y uso de los recursos energéticos de manera racional, eficiente y competitiva, en un contexto de descentralización y desarrollo regional, priorizando la inversión privada, la satisfacción de la demanda, así como el empleo de energías renovables en la

electrificación rural.

- Promover el desarrollo del subsector minero, impulsando la inversión privada y la estabilidad jurídica, fomentando la racional explotación y la introducción de tecnologías limpias en la pequeña minería y minería artesanal, en el marco del proceso de descentralización regional.
- Promover la preservación del ambiente, por parte de las empresas energéticas y mineras, así como fomentar las relaciones armoniosas entre las empresas del sector, los consumidores y la sociedad civil.
- Propiciar y desarrollar una cultura de planeamiento sectorial e institucional, así como administrar los recursos de manera eficiente y eficaz.

#### **2.3.17. Arcilla**

SUAREZ (s.f. p.343) mencionó “La arcillas son esencialmente hidróxidos de aluminio micro cristalinos formado por capas de silicatos, las cuales tienen una estructura en capas o partículas laminares”.

#### **2.3.18. Investigaciones Geotécnicas**

Consiste en los trabajos de investigación necesarios para la caracterización de los materiales del subsuelo para proyectos de construcción de edificios y obras de infraestructura, como puentes, vías, líneas eléctricas, presas, conducciones subterráneas, etc. GARCIA (2006 p.4).

#### **2.3.19. Programa de Monitoreo**

Se establecerá un programa de monitoreo ambiental, en el cierre, que incluirá la calidad de agua en los puntos establecidos en el presente EIA, con una frecuencia trimestral, por un período de dos años. Igualmente se

realizará el monitoreo de la calidad del aire, para vigilar la generación de material particulado con una frecuencia semestral durante dos años.

Control permanente de la estabilidad física y química de los depósitos de desmonte, así como medición periódica de los niveles freáticos en los piezómetros existentes. MINISTERIO DEL (2006).

#### **2.3.20. Control topográfico**

Consiste en verificar que lo que se va ejecutando en una obra coincida con lo proyectado, dentro de las precisiones que se determinen en el Pliego de Condiciones del proyecto.

Para ello, se realizan tomas de datos periódicos en cada una de las fases de la obra comparándose el resultado con el que se había proyectado cuando se diseñó la obra en cuestión. Es una manera de asegurar la correcta ejecución de una obra.

De igual forma, es extrapolable dicho método de control para hacer el seguimiento a lo largo del tiempo de estructuras o masas en movimiento, debiéndose realizar un histórico de los puntos controlados (informe sobre el desplazamiento de una desmontera, desplazamientos geológicos, control en pruebas de carga en estructuras, en pruebas de carga en puentes, etc.) CONDE (1994, p.69).

### **2.4. Formulación de hipótesis**

#### **2.4.1. Hipótesis general:**

Existe una relación directa y significativa entre el método geotécnico de estabilización física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.



#### **2.4.2. Hipótesis específicos:**

- Existe una relación directa y significativa entre los métodos de análisis computacional para estabilidad física como equilibrio límite en el Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.
- Existen una relación directa y significativa entre los factores de seguridad que determinan la estabilidad física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.
- Existen una relación directa y significativa entre los análisis de estabilidad que se aplica a la estabilidad física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Variables

##### 3.1.1. Variable independiente definición conceptual:

V1: (Estabilización Física): Los criterios utilizados en el diseño se basan en la aplicación de metodologías de análisis y diseño, para obras de ingeniería geotécnica. Las pruebas y ensayos para la obtención de la información de sitio y de los materiales existentes cumplen procedimientos estandarizados internacionalmente. Los criterios de diseño se basan en la aplicación de modelos, procedimientos de análisis y diseño que son actualizados permanentemente a la luz de los resultados obtenidos en proyectos similares.

En los análisis de estabilidad de taludes se considera un valor mínimo de Factor de Seguridad FS de 1.5 en la condición estática, sin sismo. Para la condición pseudo-estática se considera un coeficiente sísmico equivalente a  $\frac{1}{2}$  de la aceleración sísmica de diseño. El período de exposición sísmica es de 500 años. El valor del Factor de Seguridad mínimo para la condición Pseudo-estático es de FS=1.0.

Así mismo en nuestra investigación de acuerdo nuestra variable independiente que es Estabilización Física, en la metodología de investigación se observa los niveles y escala de valores que se encuentra en

el Cuadro 3.1-1, dicha variable dependiente tiene las siguientes dimensiones.

Dimensiones:

1. Métodos de Análisis
2. Factor de Seguridad
3. Análisis de Estabilidad

**Cuadro 3.1-1 - Variable (Estabilización Física)**

<b>VARIABLE ESTABILIZACION FISICA</b>	
<b>NIVELES</b>	<b>ESCALA DE VALORES</b>
Muy desfavorable	1 a 14
Desfavorable	15 a 31
Favorable	32 a 48
Muy favorable	49 a 65

*Fuente: Variable (Estabilización Física) - Elaboración Propia.*

### **3.1.2. Variable dependiente definición conceptual:**

V2: (Plan de Cierre): El plan de cierre de minas es un instrumento de gestión ambiental conformado por acciones técnicas y legales efectuadas por los titulares de actividades mineras. Está destinado a adoptar las medidas necesarias antes, durante y después del cierre de operaciones, con la finalidad de eliminar, mitigar y controlar los efectos adversos al área utilizada o perturbada por la actividad minera, para que esta alcance características de ecosistema compatible con un ambiente saludable, adecuado para el desarrollo biológico y la preservación paisajista.

En este sentido, el plan de cierre de minas deberá describir las medidas de rehabilitación, su costo, la oportunidad y los métodos de control y verificación para las etapas de operación, cierre final y post cierre. Asimismo, deberá indicar el monto y plan de constitución de garantías ambientales exigibles.

El titular de la actividad minera que no cuente con el plan de cierre de minas aprobado, está impedido de iniciar el desarrollo de operaciones mineras.

Así mismo en nuestra investigación de acuerdo nuestra variable dependiente que es Plan de Cierre en la metodología de investigación se observa los niveles y escala de valores que se encuentra en el Cuadro 3.1-2, dicha variable dependiente tiene las siguientes dimensiones.

Dimensiones:

1. Estabilización Geoquímica
2. Estabilización Hidrológica
3. Plan de Monitoreo

**Cuadro 3.1-2 - Variable (Plan de Cierre)**

<b>VARIABLE PLAN DE CIERRE</b>	
<b>NIVELES 1</b>	<b>ESCALA DE VALORES</b>
Muy desfavorable	1 a 6
Desfavorable	7 a 14
Favorable	15 a 22
Muy favorable	81 a 30

*Fuente: Variable (Plan de Cierre) - Elaboración Propia.*

### **3.2. Diseño Metodológico**

En la presente investigación, se utilizó el Método cuantitativo. En la actualidad según Cataldo, (1992, p.26): “El estudio del método científico es objeto de estudio de la epistemología. Así mismo, el significado de la palabra “método” ha variado. Ahora se le conoce como el conjunto de técnicas y procedimientos que le permiten al investigador realizar sus objetivos”.

### **3.3. Tipo de estudio:**

La investigación es aplicada porque busca la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo.

Esta se basa fundamentalmente en los hallazgos tecnológicos de la investigación básica, ocupándose del proceso de enlace entre la teoría y el producto. El presente ensayo presenta una visión sobre los pasos a seguir en el desarrollo de investigación aplicada, la importancia de la colaboración entre la universidad y la industria en el proceso de transferencia de tecnología, así como los aspectos relacionados a la protección de la propiedad intelectual durante este proceso.

#### **3.4. Nivel de investigación.**

Investigación correlacional, en este tipo de investigación se persigue fundamentalmente determinar el grado en el cual las variaciones en uno o varios factores son concomitantes con la variación en otro u otros factores. La existencia y fuerza de esta covariación normalmente se determina estadísticamente por medio de coeficientes de correlación. Es conveniente tener en cuenta que esta covariación no significa que entre los valores existan relaciones de causalidad, pues éstas se determinan por otros criterios que, además de la covariación, hay que tener en cuenta.

#### **3.5. Lugar y periodo de la investigación.**

La investigación se realizó en la Unidad Minera Santa Rosa en el Distrito de Angamarca, Dpto. La Libertad, durante los periodos de Noviembre del 2016 hasta Marzo del 2017, dicha estructura se encuentra ubicada en el Grafico 3.5-1.

### Gráfico 3.5-1- Unidad Minera Santa Rosa – Deposito Tentadora Sur

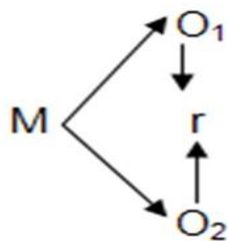


Fuente: *Google earth 2014*

#### 3.6. Diseño del estudio:

El diseño de investigación es el descriptivo – correlacional.

Según Sánchez, et al. (1998, p.79): Los diseños descriptivo– correlacionales, se orientan a la determinación del grado de relación existente entre dos a más variables de interés en una misma muestra de sujetos o el grado de relación existente entre dos fenómenos o eventos observados. El esquema es el siguiente:



Dónde:

M = Muestra

O1 = Observación de la variable 1.

O2 = Observación de la variable 2.

r = Correlación entre dichas variables.

### **3.7. Población y muestra**

#### **3.7.1. Población o universo.**

Según Hernández Sampieri, "una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones" (p. 65). Es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las entidades de la población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación.

La población se conformó por 18 Depósitos de Desmonte de Mina, 16 son de Desmonte de Tajos y 2 son de Material de Topsoil.

#### **3.7.2. Muestra de estudio**

La muestra de estudio corresponde al denominado muestreo no probabilístico o por conveniencia, se muestra en el grafico 3.7.2-1

Hernández (2014), dice que el muestreo por conveniencia es probablemente la técnica de muestreo más común. En el muestreo por conveniencia, las muestras son seleccionadas porque son accesibles para el investigador. Los sujetos son elegidos simplemente porque son fáciles de reclutar. Esta técnica es considerada la más fácil, la más barata y la que menos tiempo lleva.

Díaz (2010), dice cuándo utilizar el muestreo no probabilístico:

- Este tipo de muestreo puede ser utilizado cuando se quiere mostrar que existe un rasgo determinado en la población.
- También se puede utilizar cuando el investigador tiene como objetivo hacer un estudio cualitativo, piloto o exploratorio.
- Se puede utilizar cuando es imposible la aleatorización, como cuando la población es casi ilimitada.
- Se puede utilizar cuando la investigación no tiene como objetivo generar resultados que se utilicen para hacer generalizaciones respecto de toda la población.
- También es útil cuando el investigador tiene un presupuesto, tiempo y mano de obra limitados.

- Esta técnica también se puede utilizar en un estudio inicial que será llevado a cabo nuevamente utilizando un muestreo probabilístico aleatorio.

En este caso la muestra a investigar es DEPÓSITO DE DESMONTE TENTADORA SUR el cual se escogió en base a que no está como componente para cierre de mina.

**Gráfico 3.7.2-1 Muestreo no probabilístico “Muestreo por conveniencia”**



*Fuente: Elaboración propia*



### 3.8. Operacionalización de variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	Nº DE PREG.	%	ESCALA VALORATIVA	INSTRUMENTO
<i>Variable 1: Estabilización Física</i>	<b>1.1. Métodos de Análisis</b>	1.1.1. Emplear el método de Equilibrio Límite propuesto por Morgenstern y Price para determinar factor de seguridad.	1	El método de equilibrio límite propuesto por Morgenstern y Price evalúa el factor de seguridad.	8 Ítems	44.44%	Escala de medición: Ordinal.  Índices: 1: Totalmente en desacuerdo 2: En desacuerdo 3: Parcialmente de acuerdo 4: De acuerdo 5: Totalmente de acuerdo
			2	Considera que solamente Morgenstern planteó el método de equilibrio límite.			
			3	El método de equilibrio límite es influenciado por el factor de seguridad.			
			4	El método de equilibrio límite es 100% confiable.			
		1.1.2. Los análisis se efectuaron para las condiciones estática y pseudo-estática (sísmica).	5	Afirmaría que el análisis a condicione estática y pseudoestatica es bidimensional.			
			6	El análisis en condición estática y pseudoestatica se diferencian por el factor de seguridad.			
			7	La aceleración sísmica está relacionada con la condición estática y pseudoestatica.			
			8	Existen varios software especializados para el diseño de estabilidad de taludes			
	<b>1.2. Factor de Seguridad</b>	1.2.1. El mínimo valor de factor de seguridad en condición estática es mayor a 1.3 y/o 1.5.	9	El mínimo valor del factor de seguridad en condición estática es 1.3	4 Ítems	22.22%	
			10	El factor de seguridad de taludes es generado en base a métodos probabilísticos.			
		1.2.2. El mínimo valor de factor de seguridad en condición pseudo-estática es mayor a 1.0.	11	El mínimo valor de factor de seguridad en condición pseudo-estática es 1.0.			
			12	El factor de seguridad es calculado mediante el método de Spencer.			
	<b>1.3. Análisis de Estabilidad</b>	1.3.1. Considerar el Nivel Freático	13	Considera que el incremento del nivel freático es una causa fundamental para la inestabilidad de taludes.	6 Ítems	33.34%	

			14	El análisis de estabilidad de taludes contempla el nivel freático en los suelos.			2: En desacuerdo 3: Parcialmente de acuerdo 4: De acuerdo 5: Totalmente de acuerdo		
	1.3.2. Identificar una sección representativa en la zona para efectos de análisis.		15	La sección representativa para el análisis se debe determinar en base a la peor condición de estabilidad.					
			16	Para obtener la mayor confiabilidad en el diseño de taludes estables el cálculo de C y $\phi$ deben ser analizados o estimados de acuerdo a las condiciones reales.					
	1.3.3. Caracterizar los materiales del botadero y de la cimentación para obtener sus propiedades físicas y mecánicas para el análisis.		17	Se debe de caracterizar los materiales del suelo y de la cimentación para obtener sus propiedades físicas y mecánicas.					
			18	La identificación de los componentes de un talud con llevan a su clasificación y respectivamente al tipo de tratamiento.					

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS		Nº PREG.	%	ESCALA VALORATIVA	INSTRUMENTO
<i>Variable 2: Plan de Cierre</i>	<b>1.1. Estabilización Geoquímica</b>	1.1.1. Proponer el potencial de generación de ácido de roca del Tajo Tentadora.	1	La acumulación de roca con contenido sulfuroso en los desmontes generara acidez en el agua de contacto.	8 Ítems	40 %	Escala de medición: Ordinal.  Índices: 1: Totalmente en desacuerdo 2: En desacuerdo 3: Parcialmente de acuerdo 4: De acuerdo 5: Totalmente de acuerdo	<b>Cuestionario de encuesta</b>
			2	Se puede controlar o manejar el agua acida.				
			3	Se podrá evaluar mensualmente a través de ensayos el agua acida.				
			4	Considera que existen laboratorios aptos para el análisis del agua acida.				
		1.1.2. Conocer el comportamiento geoquímico de los materiales del Depósito de Desmonte.	5	Conocer el comportamiento geoquímico de los materiales permitirá determinar si existe algún agente químico en el subsuelo...				
			6	Al conocer el comportamiento geoquímico se puede identificar el fenómeno químico de los materiales en los depósitos de desmonte.				
			7	Considera que existe un factor determinante que genera el agua ácida.				
			8	Considera que existe algún otro mineral tan precioso como el oro en los depósitos de desmonte.				
	<b>1.2. Estabilización Hidrológica</b>	1.2.1. Proponer canales de coronación para control de aguas de contacto.	9	Considera usted que un término estructura hidráulico es igual que una obra hidráulica como un canal de coronación.	6 Ítems	30%	Escala de medición: Ordinal.  Índices: 1: Totalmente en desacuerdo 2: En desacuerdo 3: Parcialmente de acuerdo	
			10	Es necesario un análisis de precipitaciones para generar un balance de aguas y a su vez determinar los caudales de diseño para los canales de coronación.				
			11	Considera que el desempeño de un canal de coronación es 100% efectiva.				
		1.2.2. Construir cunetas en las Banquetas para controlar la erosión.	12	Se podrá construir cunetas en las banquetas en toda obra de manejo de aguas.				
			13	Es posible que una estructura las erosione si no existen cunetas y canales de coronación.				
			14	Se controla la generación de aguas acidas cuando se restringe el contacto agua y terreno.				

	<b>1.3. Plan de Monitoreo</b>	1.3.1. Monitoreo Físico	15	El monitoreo físico se controla a través de inclinómetros los cuales miden desplazamientos horizontales y verticales.	6 Ítems	30%	4: De acuerdo 5: Totalmente de acuerdo	
			16	El monitoreo físico evalúa la estabilidad de la estructura periódicamente.				
		1.3.2. Monitoreo geoquímico	17	El monitoreo geoquímico identifica las características del subsuelo.				
			18	Controla el sistema de aguas acidas que puedan afectar al medio ambiente.				
		1.3.3. Monitoreo hidrológico	19	El monitoreo hidrológico facilita el control de manejo de aguas.				
			20	El monitoreo hidrológico evalúa las precipitaciones para medir caudales.				

### 3.9. Técnicas de recolección de datos.

Según Sierra, (1995, p.245), el instrumento cuestionario de encuesta es “un conjunto de preguntas, preparados cuidadosamente sobre los hechos y aspectos que interesan en una investigación sociológica para su contestación por la población o su muestra a que se extiende el estudio emprendido”. Se puede observar en el Cuadro 3.9-1 las técnicas de instrumentos y datos a observar en la investigación realizada.

**Cuadro 3.9-1 - Técnicas de Recolección de datos**

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>	<b>Datos a observar</b>
<b>Fichaje</b>	Fichas bibliográficas, resumen, transcripción y resumen.	Marco teórico conceptual, recolectar y detectar la mayor cantidad de información relacionada con el trabajo de investigación.
<b>Cuestionarios</b>	Cuestionarios de encuesta sobre la percepción de la Variable Independiente Estabilización Física y Variable Dependiente Plan de Cierre	La descripción de los niveles de la Variable Independiente Diseño de Mezcla y Variable Dependiente Concreto reciclado de veredas como agregado grueso

*Fuente: Técnicas de Recolección de datos - Elaboración Propia.*

### 3.10. Validez y confiabilidad de los instrumentos empleados.

#### 3.10.1. Confiabilidad de los instrumentos

Para dar la confiabilidad del instrumento de medición se utilizó el coeficiente de Alpah de Cronbach, porque estima la consistencia interna de la prueba total. Se interpreta como el promedio de la correlación entre todos los reactivos que constituyen un test, además este coeficiente es considerado como una de las mejores medidas de la homogeneidad de un test.

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[ \frac{\sum S^2i}{S^2t} \right]$$

k= Numero de preguntas o ítems

$S^2i$  = Varianza de cada ítem

$S^2t$  = Varianza de la suma de los ítems

El Coeficiente de Confiabilidad del Cuestionario de Encuesta que sirvió para medir el ESTABILIZACION FISICA y el PLAN DE CIERRE mediante el método de mitades partidas se sintetiza de la siguiente manera:

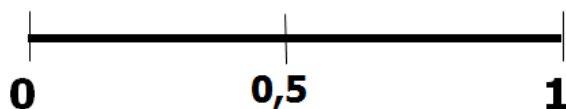
ESTABILIZACION FISICA		
Coef.correlacion=	0.99904	Media= 46.1
		DS= 42.8
Correccion =	0.99952	P75= 75
Prueba V con dsitribucion t		P25= 17.2
t =	161.298	
Ahora para alfa= 0,05 y 16 g.l. = 1,746 entonces este coeficiente es significativo		
PLAN DE CIERRE		
Coef.correlacion=	0.9978	Media= 43
		DS= 39.9
Correccion =	0.9989	P75= 69.9
Prueba V con dsitribucion t		P25= 16
t =	107	
Ahora para alfa= 0,05 y 16 g.l. = 1,746 entonces este coeficiente es significativo		

Confiabilidad del instrumento de medición: “ESTABILIZACION FISICA” nos dio como resultado del cálculo de 0.99904; se deduce que la consistencia interna de la prueba total tiene una Excelente confiabilidad.

Confiabilidad del instrumento de medición: “PLANDE CIERRE”, nos dio como resultado del cálculo de 0.9978; se deduce que la consistencia

interna de la prueba total tiene una Excelente confiabilidad.

Teniendo de referencia a (Herrera, 1998) los valores hallados pueden ser comprendidos entre la siguiente Cuadro:



**Valores de Confiabilidad.**

0,53 a menos	Confiabilidad nula
0,54 a 0,59	Confiabilidad baja
0,60 a 0,65	Confiable
0,66 a 0,71	Muy confiable
0,72 a 0,99	Excelente confiabilidad
1.0	Confiabilidad perfecta

Se deduce que ambos cuestionarios de encuesta tienen una excelente confiabilidad.

### **3.10.2. Validez de los instrumentos**

La validación de los instrumentos se realizó principalmente en el marco teórico de la categoría “validez de contenido” utilizando el procedimiento de criterio de expertos calificados, que determinarán la adecuación muestral de los ítems de los instrumentos. El Coeficiente de Validez del Cuestionario de Encuesta sobre la ESTABILIZACION FISICA y PLAN DE CIERRE se muestra en las fichas de validación en los anexos respectivos. Porcentualmente, las puntuaciones alcanzan el 85%. Ver anexos.

Como quiera que para los ítems sea válido se necesita un completo acuerdo entre los jueces (Escrura, 1991), concluimos que ambos cuestionarios de encuesta son válidos.

## Fiabilidad

[Conjunto\_de\_datos0]

## Escala: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

### Resumen de procesamiento de casos

		N	%
Casos	Válido	4	100,0
	Excluido <sup>a</sup>	0	,0
	Total	4	100,0

a. La eliminación por lista se basa en todas las variables del procedimiento.

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,918	10

Aplicando la siguiente fórmula para calcular el alfa de Cronbach:

$$\begin{array}{l} S_i^2 = 400.00 \\ S_t^2 = 2307.50 \\ K = 10 \end{array} \quad \rightarrow \quad \alpha = \left[ \frac{K}{K-1} \right] \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right] = 0.9185$$

Ahora bien, teniendo de referencia a (Oseda, 2011) los valores hallados pueden ser comprendidos entre la siguiente Cuadro:

0,53 a menos	Validez nula
0,54 a 0,59	Validez baja
0,60 a 0,65	Valida
0,66 a 0,71	Muy valida
<b>0,72 a 0,99</b>	<b>Excelente validez</b>
1.0	Validez perfecta



Se deduce que ambos cuestionarios de encuesta tienen una excelente validez.

### 3.11. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Se utilizó los modelos tabulares numéricos y gráficos, además el uso de los software aplicativos como el SPSS v.22.00 y el Ms-Excel v. 2013; donde se considerará.

Las Medidas de Tendencia Central (la media aritmética, la mediana y la moda), de Dispersión (La varianza y la desviación estándar y el coeficiente de variabilidad). Las de forma: la Asimetría y la Kurtosis.

Los estadígrafos de la Estadística Inferencial como la prueba “r” de Pearson y la Prueba “t” para investigaciones correlacionales.

Se utilizó el programa SPSS v. 22.00 para calcular los siguientes estadígrafos:

$$\text{La r de Pearson: } \mathbf{r} = \frac{\mathbf{n} \sum \mathbf{xy} - \sum \mathbf{x} \sum \mathbf{y}}{\sqrt{(\mathbf{n} \sum \mathbf{x}^2 - (\sum \mathbf{x})^2)(\mathbf{n} \sum \mathbf{y}^2 - (\sum \mathbf{y})^2)}}$$

### 3.12. Aspectos éticos

Los aspectos éticos de esta investigación contiene los siguientes principios fundamentales, que son de obligatoria aplicación:

- Respeto a la persona y a la personalidad, principio que se extiende a la dignidad e intimidad del individuo, sus creencias religiosas, su inclinación política, las prácticas derivadas de la pertenencia cultural, su capacidad de autodeterminación.
- La buena fe que expresan los individuos.

- La justicia que rige las relaciones entre las instancias involucradas, los investigadores y las personas participantes en el estudio.
- Proporcionalidad y razonabilidad que permitan sopesar la idoneidad del estudio.
- La no maleficencia dirigida a evitar riesgo o perjuicio que puedan sufrir los sujetos participantes o incluso los investigadores.
- La honestidad dada en la comunicación transparente entre las partes involucradas dentro de la investigación.
- No ejecutar la investigación que afecten negativamente la calidad de vida, la seguridad y la integridad de la población vulnerable y dependiente.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1.Resultados de las encuestas realizadas respecto a la Variable Independiente Estabilización Física con sus Tres Dimensiones.

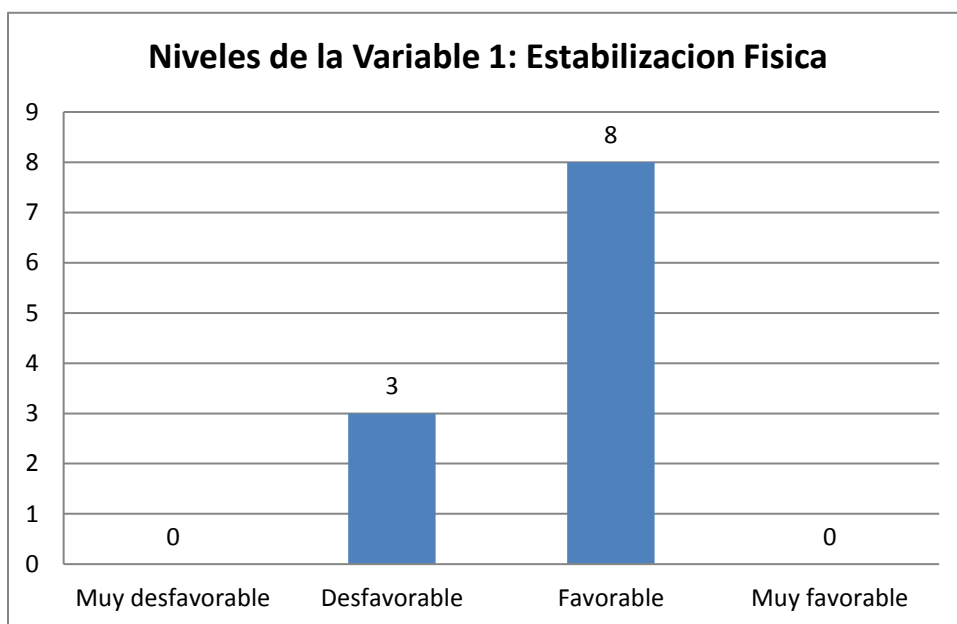
En el presente cuadro mostramos el consolidado de la variable “Estabilidad Física” y sus tres dimensiones Método de Análisis, Factor de Seguridad, Análisis de Estabilidad el cual se aplicó a la muestra de 11 profesionales de los cuales son 10 Ingenieros Civiles y 01 Ingeniero Ambiental ; el cual se presenta los siguientes cuadros y gráficos:

**Cuadro 4.1-1 - Niveles de la Variable 1: Estabilización Física**

Niveles de la Variable 1: Estabilización Física		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	3	27.27
Favorable	8	72.73
Muy favorable	0	0.00
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

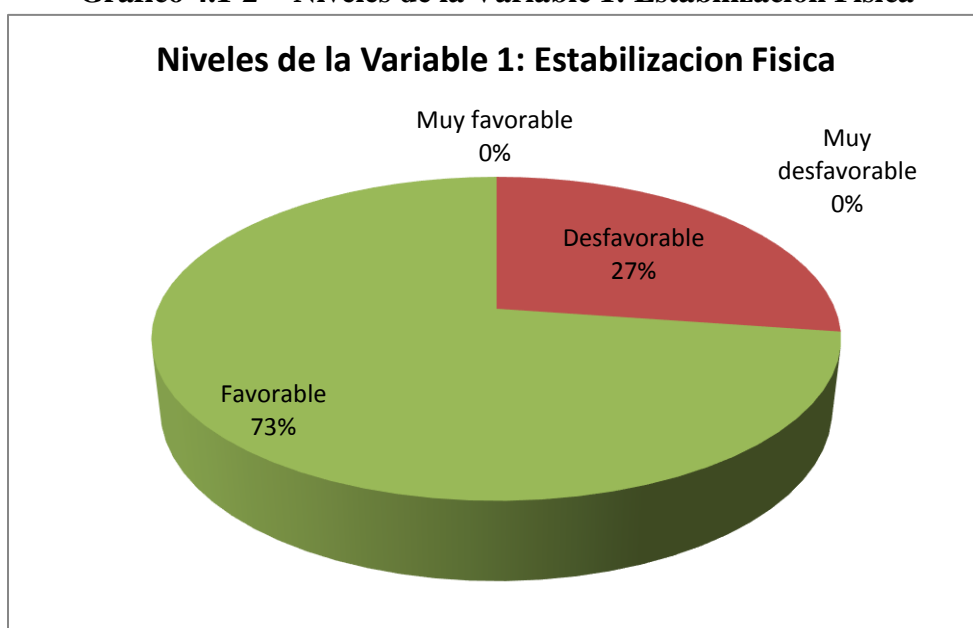
*Fuente: Base de datos Estabilización Física*

**Gráfico 4.1-1 - Niveles de la Variable 1: Estabilización Física**



*Fuente: Cuadro N° 4.1-1*

**Gráfico 4.1-2 - Niveles de la Variable 1: Estabilización Física**



*Fuente: Cuadro N°:4.1-1*

Según el Cuadro N° 4.1-1 y los Gráficos N° 4.1-1 y 4.1-2 se puede apreciar que los niveles de la variable N° 1 Estabilización Física de los 11 Ingenieros encuestados, 03 Ingenieros representa el (27%) perciben un Estabilización Física desfavorable; luego 8 Ingenieros que representan el (73%) perciben una Estabilización Física favorable; luego 0 Ingenieros es

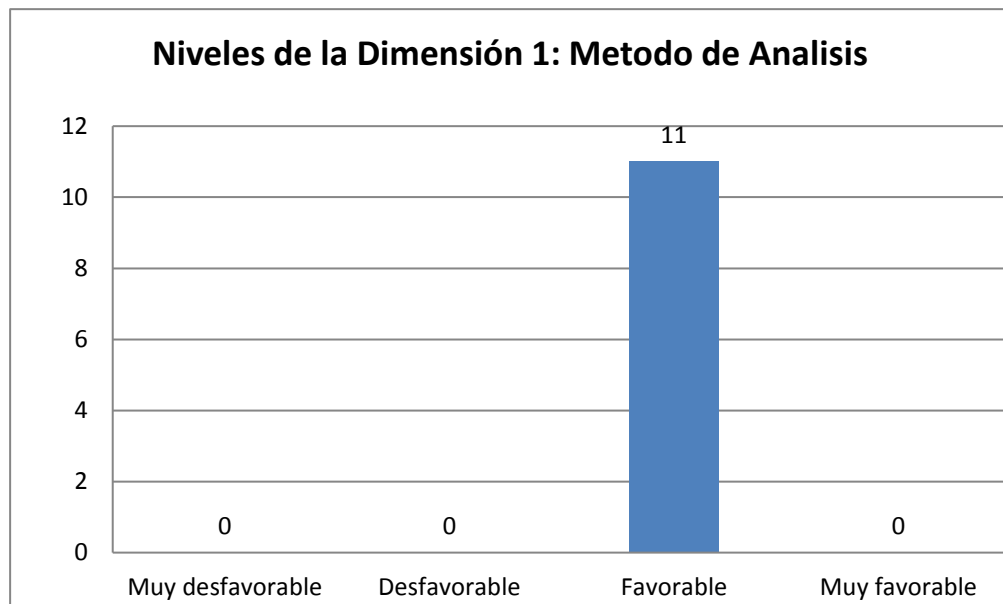
el (0%) perciben una Estabilización Física muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben una Estabilidad Física muy desfavorable.

**Cuadro 4.1-2 - Niveles de la Dimensión 1: Método de Análisis**

Niveles de la Dimensión 1: Métodos de Análisis		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	0	0.00
Favorable	11	100
Muy favorable	0	0.00
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

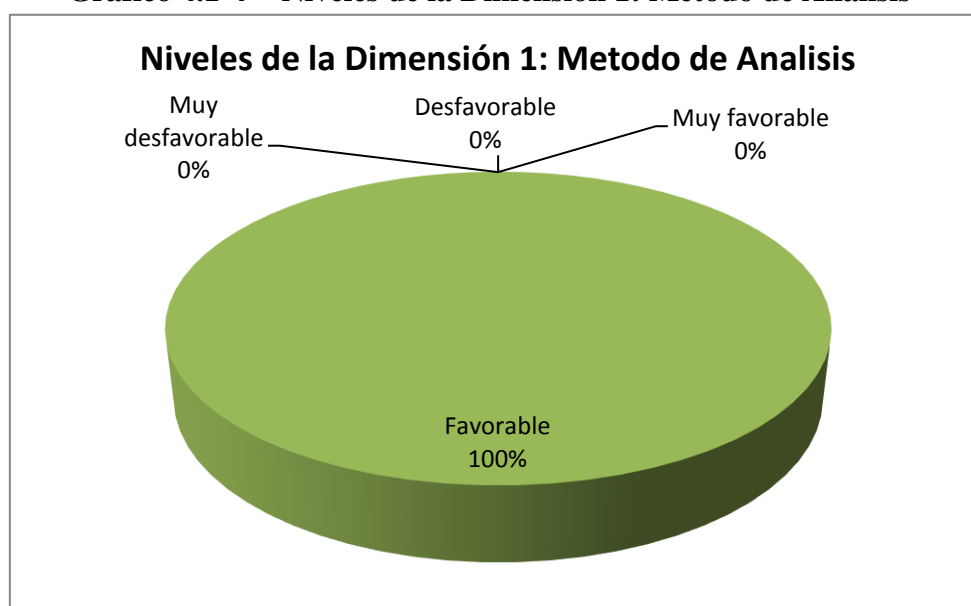
*Fuente: Base de datos Estabilización Física*

**Gráfico 4.1-3 - Niveles de la Dimensión 1: Método de Análisis**



*Fuente: Cuadro N° 4.1-2*

**Gráfico 4.1-4 - Niveles de la Dimensión 1: Método de Análisis**



*Fuente: Cuadro N°:4.1-2*

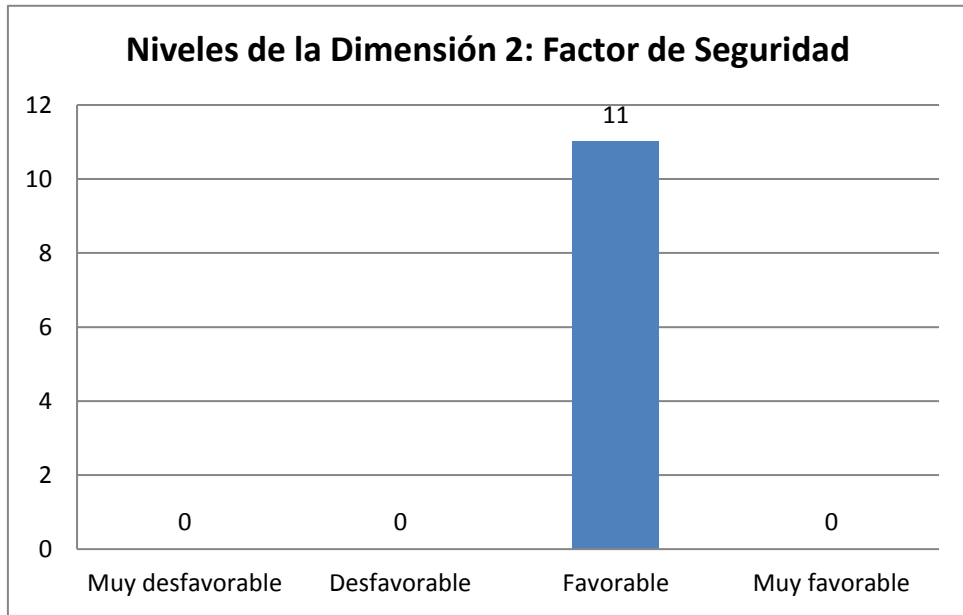
Según el Cuadro N° 4.1-2 y los Gráficos N° 4.1-3 y 4.1-4 se puede apreciar que los niveles de la Dimensión N° 1 Método de Análisis de los 11 Ingenieros encuestados, 11 Ingenieros representa el (100%) perciben un Método de Análisis favorable; luego 0 Ingenieros que representan el (0%) perciben un Método de Análisis desfavorable; luego 0 Ingenieros es el (0%) perciben un Método de Análisis muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben un Método de Análisis muy favorable.

**Cuadro 4.1-3 - Niveles de la Dimensión 2: Factor de Seguridad**

Niveles de la Dimensión 2: Factor de Seguridad		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	0	0.00
Favorable	11	100
Muy favorable	0	0.00
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

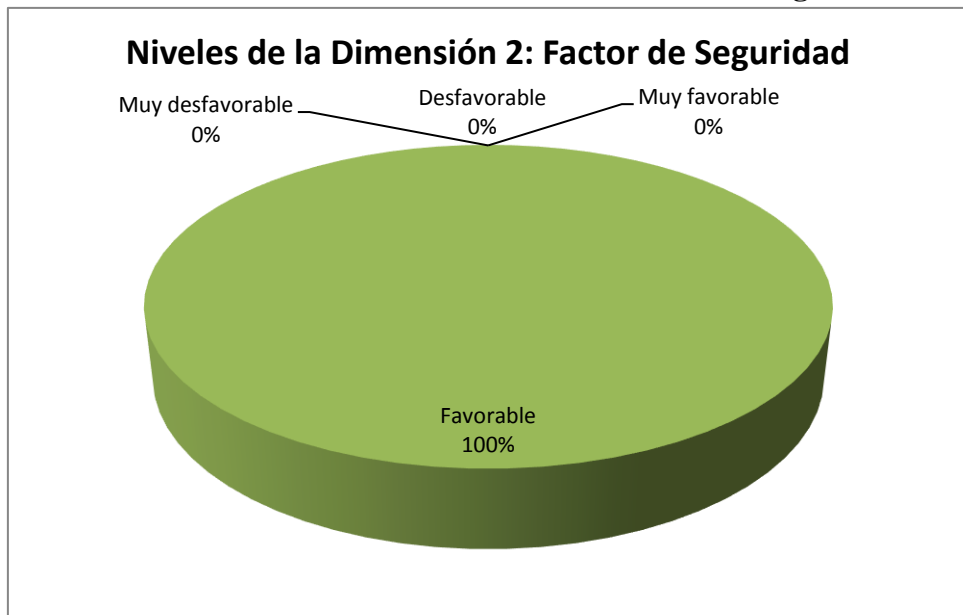
*Fuente: Base de datos Estabilización Física*

**Gráfico 4.1-5 - Niveles de la Dimensión 2: Factor de Seguridad**



*Fuente: Cuadro N° 4.1-3*

**Gráfico 4.1-6 - Niveles de la Dimensión 2: Factor de Seguridad**



*Fuente: Cuadro N°:4.1-3*

Según el Cuadro N° 4.1-3 y los Gráficos N° 4.1-5 y 4.1-6 se puede apreciar que los niveles de la Dimensión N° 2 Factor de Seguridad de los 11 Ingenieros encuestados, 11 Ingenieros representa el (100%) perciben un Factor de Seguridad favorable; luego 0 Ingenieros que representan el (0%) perciben un Factor de Seguridad desfavorable; luego 0 Ingenieros es el

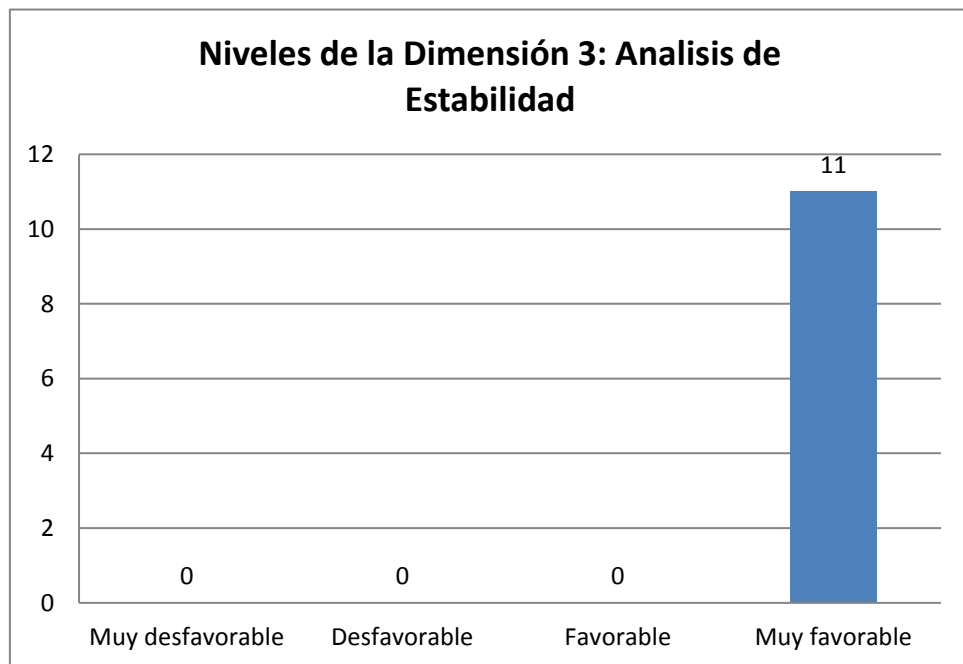
(0%) perciben un Factor de Seguridad muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben un Factor de Seguridad muy favorable.

**Cuadro 4.1-4 - Niveles de la Dimensión 3: Análisis de Estabilidad**

Niveles de la Dimensión 3: Análisis de Estabilidad		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	0	0.00
Favorable	0	0.00
Muy favorable	11	100.00
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

*Fuente: Base de datos Estabilización Física*

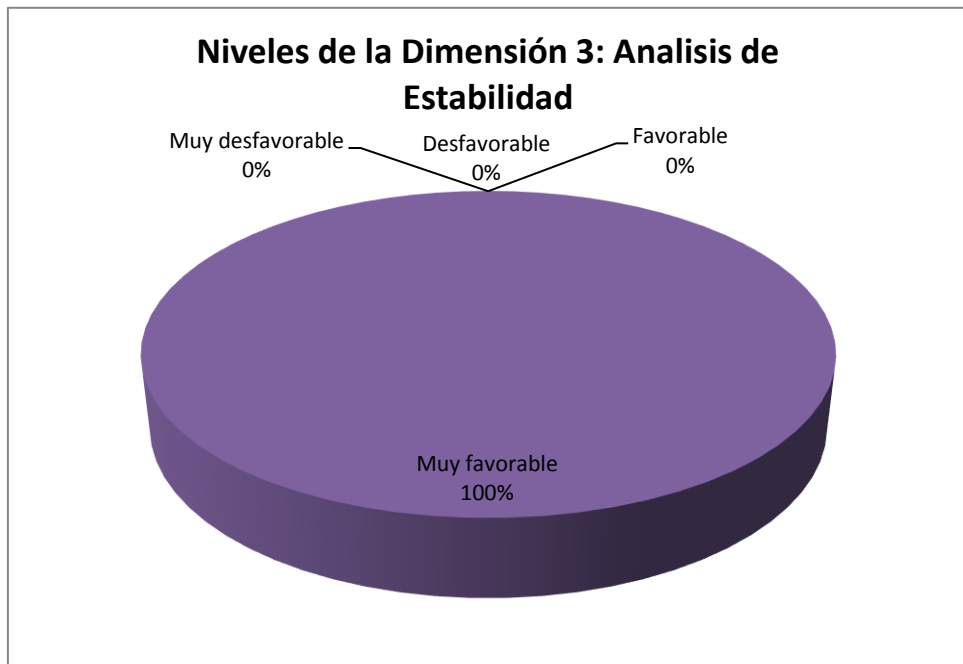
**Gráfico 4.1-7 - Niveles de la Dimensión 3: Análisis de Estabilidad**



*Fuente: Cuadro N° 4.1-4*



**Gráfico 4.1-8 - Niveles de la Dimensión 3: Análisis de Estabilidad**



*Fuente: Cuadro N°:4.1-4*

Según el Cuadro N° 4.1-4 y los Gráficos N° 4.1-7 y 4.1-8 se puede apreciar que los niveles de la Dimensión N° 3 Análisis de Estabilidad de los 11 Ingenieros encuestados, 11 Ingenieros representa el (100%) perciben un Análisis de Estabilidad muy favorable; luego 0 Ingenieros que representan el (0%) perciben un Análisis de Estabilidad favorable; luego 0 Ingenieros es el (0%) perciben un Análisis de Estabilidad muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben un Análisis de Estabilidad favorable.

#### 4.2.Resultados de las encuestas realizadas respecto a la Variable Dependiente

##### Plan de Cierre con sus Tres Dimensiones.

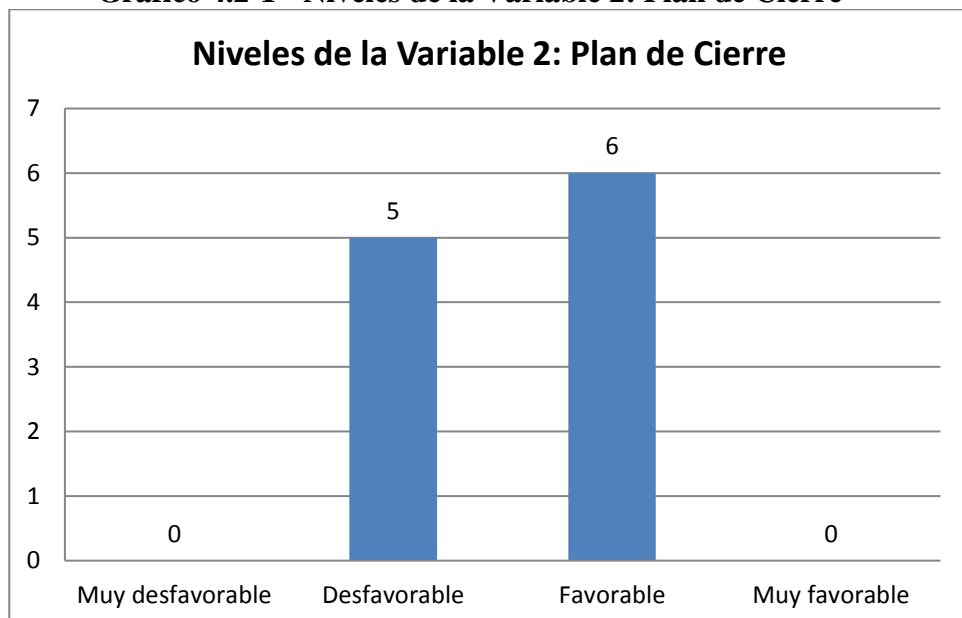
En el presente cuadro mostramos el consolidado de la variable “Plan de Cierre” y sus tres dimensiones Estabilización Geoquímica, Estabilización Hidrológica y Plan de Monitoreo el cual se aplicó a la muestra de 11 profesionales de los cuales son 10 Ingenieros Civiles y 01 Ingeniero Ambiental ; el cual se presenta los siguientes cuadros y gráficos:

**Cuadro 4.2-1- Niveles de la Variable 2: Plan de Cierre**

Niveles de la Variable 2: Plan de Cierre		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	5	45.45
Favorable	6	54.55
Muy favorable	0	0.00
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

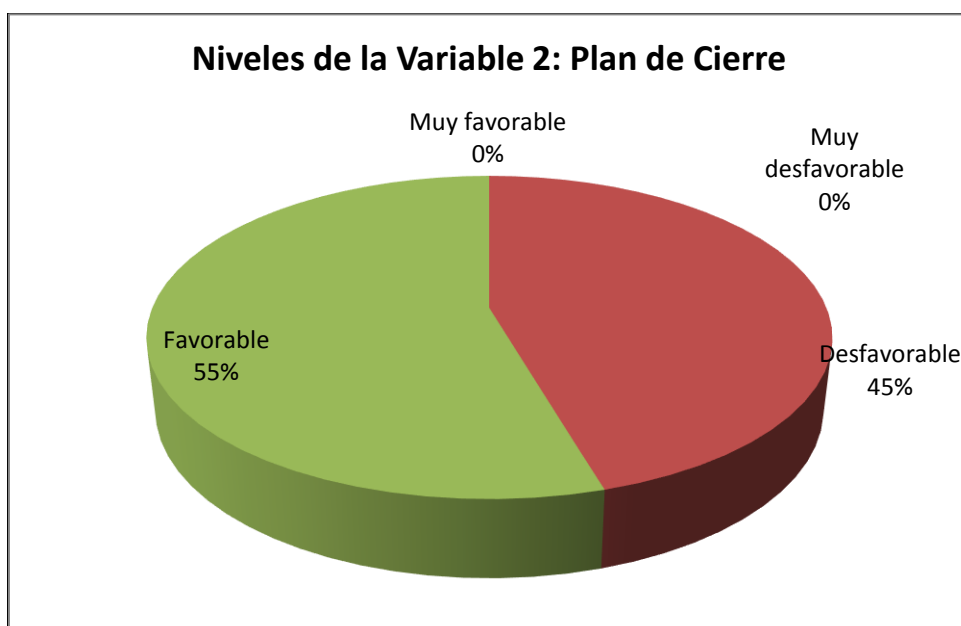
*Fuente: Base de datos Plan de Cierre*

**Gráfico 4.2-1 - Niveles de la Variable 2: Plan de Cierre**



*Fuente: Cuadro N° 4.3-2*

**Gráfico 4.2-2 Niveles de la Variable 2: Plan de Cierre**



*Fuente: Cuadro N° 4.2-1*

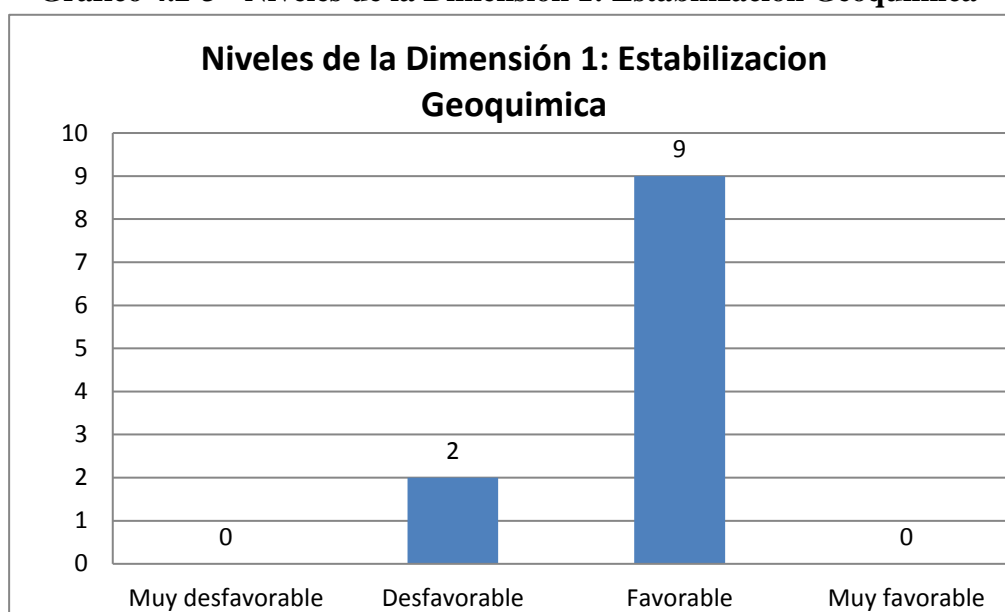
Según el Cuadro N°4.2-1 y los Gráficos N°4.2-1 y 4.2-2 se puede apreciar que los niveles de la variable N° 2 Plan de Cierre de los 11 Ingenieros encuestados, 05 representa el (45%) perciben un Plan de Cierre desfavorable; luego 06 Ingenieros que representan el (55%) perciben una Plan de Cierre favorable; luego 0 Ingenieros es el (0%) perciben una Plan de Cierre muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben una Plan de Cierre muy desfavorable.

**Cuadro 4.2-2 - Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica**

Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	2	18.18
Favorable	9	81.82
Muy favorable	0	0.00
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

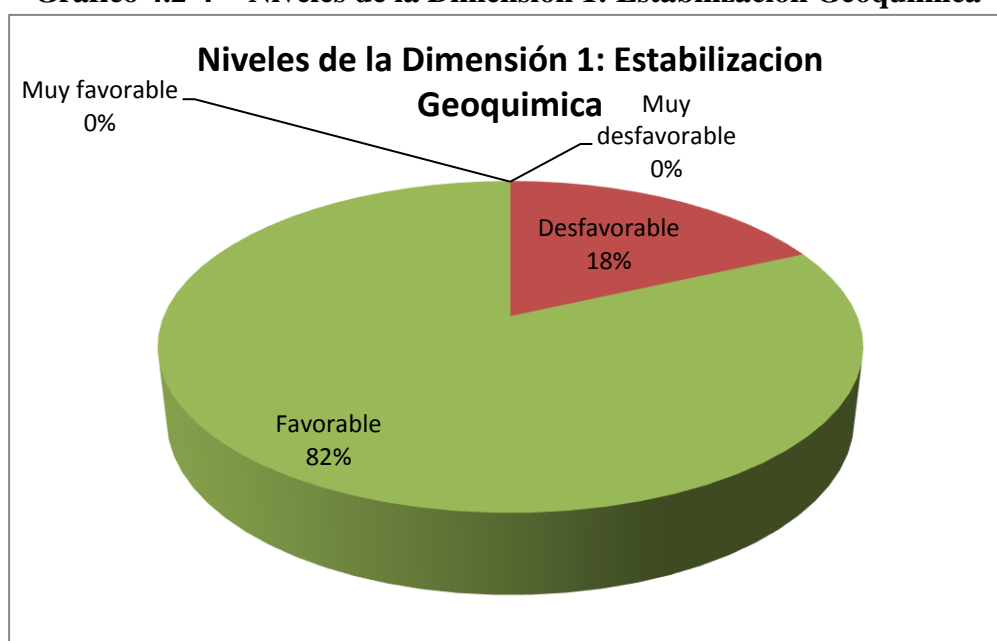
*Fuente: Base de datos Plan de Cierre*

**Gráfico 4.2-3 - Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica**



*Fuente: Cuadro N° 4.2-2*

**Gráfico 4.2-4 - Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica**



*Fuente: Cuadro N°:4.2-2*

Según el Cuadro N° 4.2-2 y los Gráficos N° 4.2-3 y 4.2-4 se puede apreciar que los niveles de la Dimensión N° 1 Estabilidad Geoquímica de los 11 Ingenieros encuestados, 02 Ingenieros representa el (18%) perciben una Estabilización Geoquímica desfavorable; luego 09 Ingenieros que representan el (82%) perciben una Estabilización Geoquímica favorable;

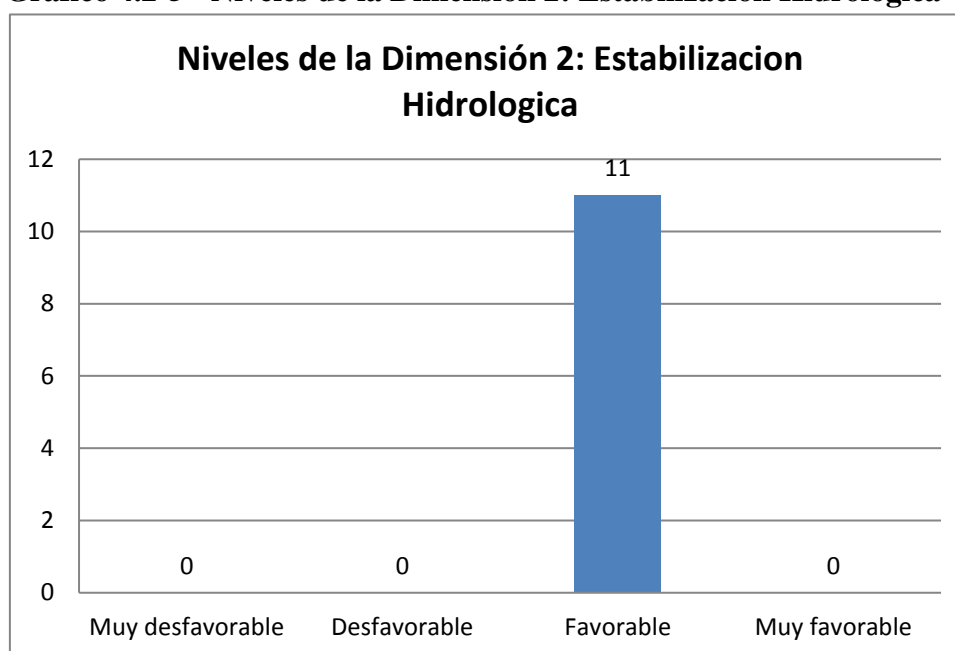
luego 0 Ingenieros es el (0%) perciben una Estabilización Geoquímica muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben un Estabilización Geoquímica muy favorable.

**Cuadro 4.2-3 - Niveles de la Dimensión 2: Estabilización Hidrológica**

Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Hidrológica		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	0	0.00
Favorable	11	100.00
Muy favorable	0	0.00
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

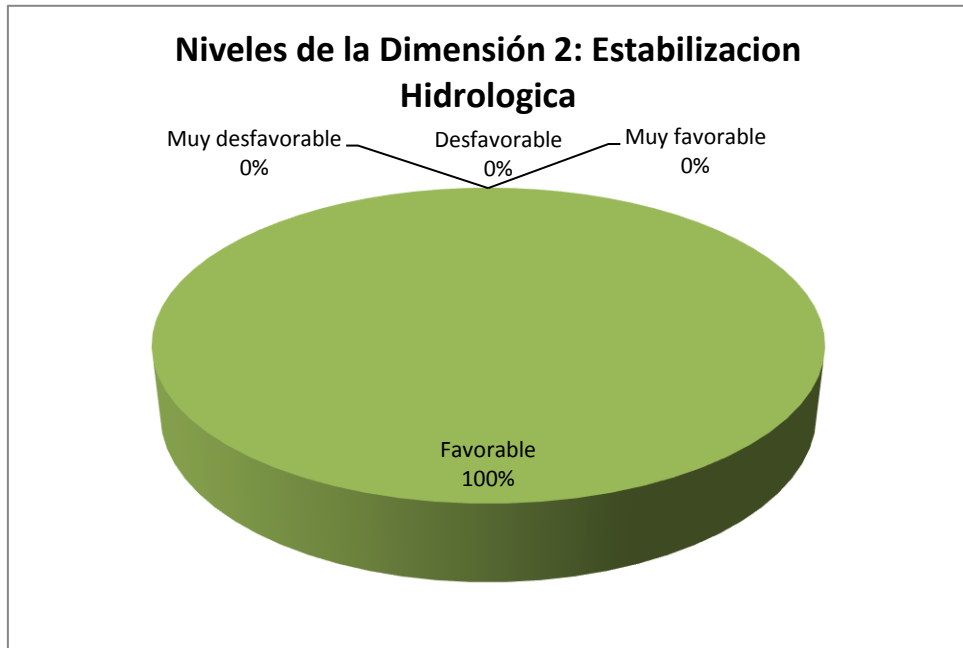
*Fuente: Base de datos Plan de Cierre*

**Gráfico 4.2-5 - Niveles de la Dimensión 2: Estabilización Hidrológica**



*Fuente: Cuadro N° 4.4-3*

**Gráfico 4.2-6 - Niveles de la Dimensión 1: Estabilización Geoquímica**



*Fuente: Cuadro N°:4.4-2*

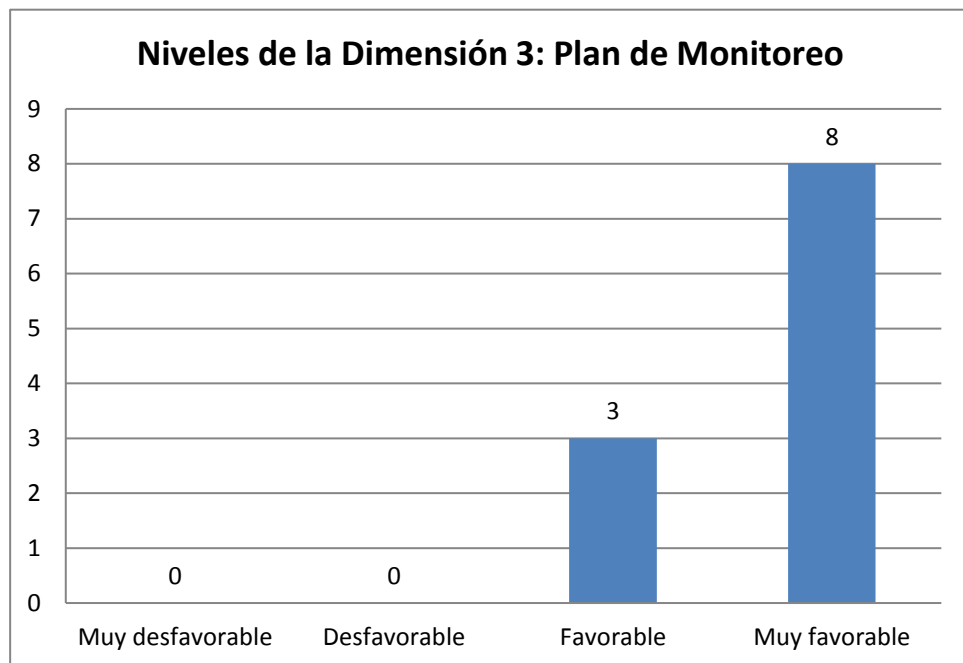
Según el Cuadro N° 4.2-3 y los Gráficos N° 4.2-5 y 4.2-6 se puede apreciar que los niveles de la Dimensión N° 2 Estabilidad Hidrológica de los 11 Ingenieros encuestados, 11 Ingenieros representa el (100%) perciben una Estabilización Hidrológica favorable; luego 0 Ingenieros que representan el (0%) perciben una Estabilización Hidrológica muy favorable; luego 0 Ingenieros es el (0%) perciben una Estabilización Hidrológica muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben un Estabilización Hidrológica muy desfavorable.

**Cuadro 4.2-4 - Niveles de la Dimensión 3: Plan de Monitoreo**

Niveles de la Dimensión 3: Plan de Monitoreo		
Niveles	Frecuencia	Porcentaje
Muy desfavorable	0	0.00
Desfavorable	0	0.00
Favorable	3	27.27
Muy favorable	8	72.73
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100.00</b>

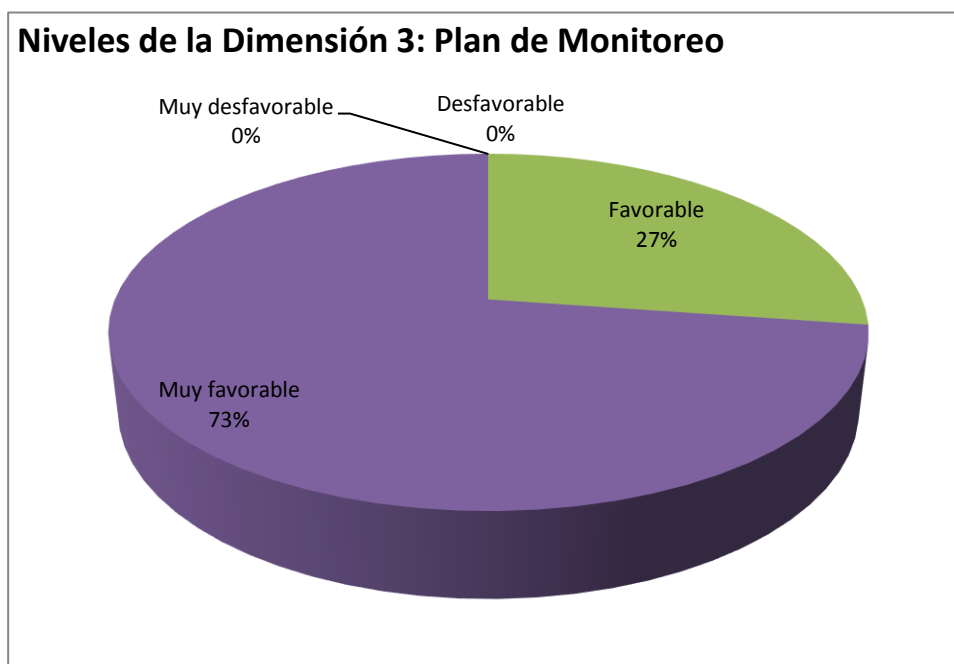
*Fuente: Base de datos Plan de Cierre*

**Gráfico 4.2-7 - Niveles de la Dimensión 3: Plan de Monitoreo**



*Fuente: Cuadro N° 4.2-4*

**Gráfico 4.2-8 - Niveles de la Dimensión 3: Plan de Monitoreo**



*Fuente: Cuadro N°:4.2-2*

Según el Cuadro N° 4.2-4 y los Gráficos N° 4.2-7 y 4.2-8 se puede apreciar que los niveles de la Dimensión N° 3 Plan de Monitoreo de los 11 Ingenieros encuestados, 03 Ingenieros representa el (27%) perciben una Plan de Monitoreo favorable; luego 08 Ingenieros que representan el (73%) perciben un muy favorable; luego 0 Ingenieros es el (0%) perciben un Plan de Monitoreo muy desfavorable y 0 Ingenieros que representa el (0%) perciben un Plan de Cierre desfavorable.

### **4.3. Desarrollo de la Investigación con respecto a la Variable Dependiente**

#### **Estabilización Física y con sus Tres dimensiones.**

##### **4.3.1. Descripción del Área a Estudiar**

La presente tesis tiene como población al Depósito de Desmonte Tentadora Sur, el cual esta estructura será estabilizada y remediada con el fin de incluir en el plan de cierre de Minera Santa Rosa.



#### **4.3.2. Descripción General de la Investigación**

Minera Aurífera Santa Rosa S.A. (COMARSA) viene operando tres minas a cielo abierto principales en su Unidad Minera Santa Rosa: los Tajos Clarita, Cochavara y Tentadora. En conjunto estos tajos producen 1'200,000 TM de mineral por mes, con ley de cabeza promedio de 0.37gr Au/TM.

Los materiales de desmonte procedentes del Tajo Tentadora fueron colocados en la zona sur del mismo, donde posteriormente se produjo un deslizamiento y la empresa ha programado la remediación del Depósito de Desmonte Tentadora Sur.

La zona a remediar, está ubicado al Sur del Tajo Tentadora y al oeste del río San Francisco.

#### **4.3.3. Aspectos Básicos de Ingeniería en estudio.**

##### **4.3.3.1. Localización**

El depósito de Desmonte Tentadora Sur, se encuentra ubicado entre las coordenadas 829296-830415-E y 9103174-9102846-N a 0.25 Km. hacia el Sur del Tajo Tentadora, dentro de la propiedad de Minera Aurífera Santa Rosa S.A., en el paraje de Pampa Larco. Políticamente pertenece al distrito de Angamarca, provincia de Santiago de Chuco, Departamento de La Libertad.

##### **4.3.3.2. Vías de Accesos**

El acceso a la unidad minera desde Lima es por vía terrestre a través de la Carretera Panamericana Norte hasta la ciudad de Trujillo (623 Km.), de aquí se continúa por una carretera asfaltada hasta el desvío a Otuzco y afirmada hasta llegar a la mina, con un recorrido total de 225 Km. COMARSA también tiene una pista de

aterrizaje cerca de sus instalaciones mineras, de tal manera que el acceso puede ser también por vía aérea, ya sea desde Lima o desde Trujillo.

#### **4.3.4. Recopilación de Información**

##### **4.3.4.1. Geología Local**

De acuerdo a los estudios efectuados, en la quebrada Ucumali, afloran rocas de las formaciones Chicama, Chimú, Santa-Carhuaz, así como rocas ígneas representadas por el Volcánico Calipuy y pequeños apófisis de roca intrusiva.

La Formación Chicama está constituida por limolitas, lutitas pizarrosas de color oscuro fosilíferas con intercalaciones de cuarcitas y areniscas color gris.

La Formación Chimú por cuarcitas de color gris claro alternándose con lutitas que contienen lentes de carbón. Sobreyacen a la Formación Chicama e infrayacen a la formación Santa-Carhuaz.

La Formación Santa – Carhuaz está conformada por calizas negras fosilíferas, limolitas y lutitas.

El volcánico Calipuy que aflora al este del área está formado por piroclastos y derrames volcánicos de composición dacítica a riolítica.

Cubriendo a estas rocas se halla material cuaternario, caracterizado por ser en la margen derecha del tipo limoso color marrón de consistencia firme, plástico, debajo del cual se halla la roca limolítica o lutácea fracturada y en la margen izquierda

superficialmente un suelo arcilloso debajo del cual se localiza material areno-arcilloso compacto que engloba partículas gravosas semiangulosas.

En el pie del talud del depósito de desmonte mencionan estudios anteriores haber encontrado afloramientos rocosos con fracturamiento pronunciado, sobre el cual se ha depositado material detrítico constituido por fragmentos rocosos del tamaño de bloques angulosos producto de la segregación del material que se arroja por el botadero. AREA DE GEOLOGIA MINA SANTA ROSA (2016).

#### **4.3.4.2. Geodinámica Interna y Externa**

Como parte de la evaluación de geodinámica externa, está la identificación de fenómenos activos o potenciales dentro de la zona de estudio las cuales se describen a continuación.

En el área donde se localiza la Mina COMARSA es destacable la ocurrencia de fenómenos de Geodinámica externa como derrumbes, deslizamientos, erosión de laderas, erosión de riberas generados por las fuertes lluvias que ocurren en la zona en época de lluvias lo que está asociado a las pendientes moderadas a fuertes de las laderas (30 a 40° en promedio), las prácticas inadecuadas del tratamiento de taludes, ayuda en esto las gradientes de los ríos y torrentes del área cuyo caudal en época de lluvias debe sobrepasar como mínimo en 10 veces el caudal de las épocas de estiaje, provocando problemas de sedimentación, transporte y erosión tanto en el cauce como en las márgenes.

En el caso de la quebrada Ucumali, el fenómeno (debris

Flow) que ocurrió en el Deposito de Desmonte Tentadora Sur, debe haberse originado debido al mal drenaje de las aguas superficiales y su superficiales del área, teniendo en cuenta que el agua de precipitación pluvial y sub-superficial que se infiltraban paulatinamente a través de los materiales que constituye el botadero hasta encontrar el terreno natural (con una permeabilidad diferente), fueron humedeciéndolo hasta saturarlo. Al no disponerse de un buen sistema de drenaje para las aguas y su respectivo muro o dique de contención para el sostenimiento del material del desmonte, que a la vez carecía de un talud con un ángulo de reposo apropiado para el tipo de material que se arrojaba, la saturación del material del pie del talud y el empuje de las aguas contenidas en el material, provoco la ruptura y su flujo pendiente abajo hasta el cauce del río San Francisco, quedando retenido en las márgenes y cauce de la quebrada Ucamali el material que se depositó en las áreas depresionadas y aquel que cubrió las salientes rocosas, cuya potencia en la actualidad se desconoce.

En la actualidad la estabilidad de los materiales desplazados en la quebrada Ucumali es aparente inestable, considerando que su consolidación va a ser materia de muchos años, pero cabe esperar la próxima temporada de lluvias para analizar su comportamiento futuro inmediato. AREA DE GEOLOGIA MINA SANTA ROSA (2016).

#### **4.3.4.3. Clima y Meteorología**

Para el estudio del Depósito de Desmonte, se empleó la

información registrada en las siguientes estaciones: Cachicadan, Mollepata, Cajabamba, Quiruvilca, Laguna Huangacocha y Huamachuco, la cual presenta la siguiente características:

- Las 6 estaciones elegidas (Cachicadan, Mollepata, Cajabamba, Quiruvilca, Laguna Huangacocha y Huamachuco), fueron debido a que en el área de estudio no se cuenta con información histórica de precipitación, las estaciones antes mencionadas, presentan similitudes hidrológicas y sobre todo son las más cercanas al Depósito de Desmonte y servirá de base para realizar la extrapolación de la precipitación al área de estudio, la data histórica lo registró el Servicio Nacional de Meteorología Hidrología (SENAMHI).
- Las altitudes de los 6 observatorios varían de 2480 m.s.n.m a 3950 m.s.n.m, en tanto, el área de captación del Depósito de Desmonte Tentadora Sur, oscila entre 3249 m.s.n.m a 3364 m.s.n.m., por ende las estaciones son representativas para el área de estudio.
- Las 6 estaciones meteorológicas elegidas han registrado precipitaciones en eventos del fenómeno del niño, clasificadas por la NOAA de la siguiente manera: Niños débiles (1963, 1968, 1969, 1976, 1977, 2004 y 2006), Niños moderados (1986, 1987, 1994, 2002 y 2011) y Niños fuertes (1965, 1972, 1982, 1991 y 1997).
- La Organización Mundial de Meteorológica, recomienda una data histórica consistente de 30 años, para procesar los

parámetros de una estación, las 6 elegidas cumple con dicha recomendación, las estaciones tienen un registro histórico de 52 años (1963/2015). (Ver Cuadro N° 4.3.4.3-1).

**Cuadro 4.3.4.3-1 Estaciones con Registro de Precipitación**

Estación	Tipo	Ubicación			Coordenadas		Altitud	Periodo Consistente	Años de Registro	Precipitación Total Anual en mm	Distancia al Botadero Tentadora en Km.	Fuente
		Departamento	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	m.s.n.m					
Cachicadan	PL	La Libertad	Santiago de Chuco	Cachicadan	78° 09'	08° 06'	2901	1963/2015	49	991.1	14.8	SENAMHI
Mollepata	PL	La Libertad	Santiago de Chuco	Mollepata	77° 58'	08° 11'	2803	1963/2015	49	526.5	12.3	SENAMHI
Cajabamba	CO	Cajamarca	Cajabamba	Cajabamba	78° 03'	07° 37'	2480	1963/2015	49	968.8	51.8	SENAMHI
Quiruvilca	PL	La Libertad	Santiago de Chuco	Quiruvilca	78° 19'	08° 00'	3950	1963/2015	49	1345	34.4	SENAMHI
Laguna Huangacocha	PL	La Libertad	Sánchez Carrión	Huamachuco	78° 08'	07° 55'	3920	1963/2015	49	1318.1	22.5	SENAMHI
Huamachuco	CO	La Libertad	Sánchez Carrión	Huamachuco	78° 03'	07° 49'	3030	1963/2015	49	973.3	29.8	SENAMHI

*Fuente: Estudio Hidrológico Tajo Tentadora (2015)*

- **Precipitación**

La precipitación promedio mensual en los componentes de la mina Comarsa, oscila entre 11.6mm (Julio) a 192.9mm (Marzo), el promedio es del orden de 94.1mm, en tanto, la precipitación total anual es de 1129.6mm.

(Ver Cuadro N° 4.3.4.3-2).

**Cuadro 4.3.4.3-2 Precipitación Mensual Generado en mm (1963/2015)**

Meses	Precipitación Promedio Mensual en mm	Aporte Mensual en %
ENE	136.8	12.1%
FEB	179.8	15.9%
MAR	192.9	17.1%
ABR	117.1	10.4%
MAY	48.7	4.3%
JUN	22.8	2.0%
JUL	11.6	1.0%
AGO	15.2	1.3%
SEP	47.7	4.2%
OCT	119.3	10.6%
NOV	109.2	9.7%
DIC	128.5	11.4%
Total Anual	1129.6	100.0%

*Fuente: Estudio Hidrológico Tajo Tentadora (2015)*

- **Determinación de Precipitación Máxima en 24 horas – Deposito de Desmonte Tentadora Sur**

El cálculo de la precipitación máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, en los componentes de la mina, se realizó mediante la regresión múltiple tomando como variables independientes la precipitación total anual y altitud de cada estación y como variable dependiente las precipitaciones máximas en 24 horas. (Ver Cuadro N° 4.3.4.3-3).



**Cuadro 4.3.4.3-3 Estaciones con Registro de Precipitación**

Estación	Ubicación			Coordenadas		Altitud	Años de Registro Histórico	Número de años	Fuente
	Departamento	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	m.s.n.m			
Cajabamba	Cajamarca	Cajabamba	Cajabamba	78° 03'	07° 37'	2550	1967, 1969/1981 y 1985/2010	40	SENAMHI
Huamachuco	La Libertad	Sánchez Carrión	Huamachuco	78° 03'	07° 49'	3150	1977/1990 y 1992/2010	33	SENAMHI
Mollepata	La Libertad	Santiago de Chuco	Mollepata	77° 57'	08° 11'	2580	1964/2010	47	SENAMHI
Laguna Huangacocha	La Libertad	Sánchez Carrión	Huamachuco	78° 04'	07° 56'	3780	1977/1995 y 1997/2010	33	SENAMHI
Quiruvilca	La Libertad	Santiago de Chuco	Quiruvilca	78° 19'	08° 00'	3980	1977/2010	34	SENAMHI
Cachicadan	La Libertad	Santiago de Chuco	Cachicadan	78° 09'	08° 06'	2890	1977/1981 y 1985/2010	31	SENAMHI

*Fuente: Estudio Hidrológico de Canales (2015)*

#### **4.3.5. Evaluación de los Parámetros Geotécnicos**

##### **4.3.5.1. Investigaciones Geotécnicas**

Para la ejecución de las investigaciones se ha realizado excavaciones de 5 Calicatas, así mismo se tomaron muestras representativas del suelo de cimentación, inalteradas para ensayos especiales, muestras alteradas para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos de resistencia.

Para determinar las características físico-mecánicas más representativa de la cimentación y del material del Depósito de desmonte se ha empleado diversos métodos de investigación de campo. También se realizó excavaciones de calicatas, trincheras para elaborar el perfil estratigráfico del suelo y la correspondiente toma de muestras de suelo de cimentación del botadero de desmonte para llevar a cabo las pruebas de laboratorio y determinar los parámetros geotécnicos, a continuación se describen cada uno de las investigaciones de campo.

##### **- Calicatas y trincheras**

Con la finalidad de conocer las propiedades físicas y condiciones geotécnicas (humedad, densidad y resistencia al corte) del suelo de cimentación se ha excavado 02 muestras de desmonte y 03 del terreno, hasta una profundidad máxima de 2.50m, (ver cuadro 4.3.5.1.-1) desde donde se ha extraído las muestras para los respectivos ensayos de laboratorio. Los resultados obtenidos nos han permitido determinar los parámetros geotécnicos para definir el modelo geotécnico y el posterior análisis de la estabilidad del depósito y determinación del talud final de cierre del componente.

**Cuadro 4.3.5.1-1 Ubicación de Calicatas**

<b>COORDENADAS DE CALICATAS</b>			
<b>CALICATA</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>MUESTRA</b>
C-1	9 102 917,85	829 502,70	M-1
C-2	9 103 187,92	829 545,29	M-1
C-3	9 103 277,05	829 897,57	M-2
C-4	9 102 994,06	829 882,38	M-3
C-5	9 102 875,96	830 179,12	M-4A

*Fuente: Elaboración Propia*

**- Registro de Investigación de los Suelos**

De acuerdo a los materiales identificados en las excavaciones de las calicatas y trincheras se ha elaborado un registro de sondajes donde se indica las características visuales y físicas encontradas en los suelos que conforman la columna estratigráfica, como son el color, humedad, compacidad, textura, clasificación, plasticidad, simbología gráfica, etc. (Ver anexo B).

**4.3.5.2. Ensayos de Laboratorio**

**- Ensayos físicos**

Con las muestras disturbadas e inalteradas extraídas de las calicatas de exploración se determinó las características físico mecánicas del suelo de cimentación y material de desmonte mediante los ensayos estándar de laboratorio, los resultados determinaron la gradación y por consiguiente la clasificación SUCS. Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Geotécnico del CISMID bajo las normas de la American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.), se describe a continuación:

Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D-422
Contenido de humedad	ASTM D-2216
Limite Líquido	ASTM D-423
Limite Plástico	ASTM D-424
Peso volumétrico	ASTM D-2937
Peso Específico Relativo de Sólidos	ASTM D-854
Corte Directo	ASTM D-3080
Triaxial CD	ASTM D-2850

- **Clasificación de Suelos**

Los ensayos de laboratorio efectuados a las muestras de los estratos encontrados en las excavaciones, considerados como representativos del área del depósito de botadero de desmontes, han determinado la clasificación de suelos según SUCS permitiendo elaborar la sección de los suelos encontrados en el terreno. En general los materiales encontrados en el suelo de cimentación del depósito de desmonte, de acuerdo a la clasificación SUCS, están descritos a continuación:

GC	=	Grava Arcillosa
GP-GC	=	Grava Arcillosa
GP-GM	=	Grava mal graduada limosa

Las características del suelo de cimentación y el material del cuerpo del Depósito de Desmonte y otros materiales se detallan en el siguiente cuadro: (4.3.5.2-1).

**Cuadro 4.3.5.2-1 Resultados de ensayos de caracterización física del Depósito de Desmonte**

Calicata	Prof.	Muestra	w	Límite	Índice	% pasa	% pasa	Clasific.
			(%)	Líquido	Plástico	N° 4	N° 200	SUCS
				(%)	(%)			
C-1	2.5	M-1	15.6	31	9	39.8	21.6	GC
C-2	1.5	M-1	4.8	NP	NP	39.5	7.3	GP-GM
C-3	1.5	M-2	2.5	18	6	24.7	8.4	GP-GC
RELLENO	1.5	M-3	6.6	NP	NP	37.3	9.6	GP-GM
RELLENO	1.5	M-4	10.4	22	9	64	20.6	SC

*Fuente: Laboratorio Ausenco Vector*

**- Ensayos Especiales**

Ensayo Triaxial de Tipo CU-CD: Para fines del presente estudio se ha realizado ensayos de triaxial tipo Consolidado-Drenado (CU) ASTM D-3080 con muestra inalterada, del suelo de cimentación y del material de desmonte, la que servirá para calcular los factores de seguridad de los taludes, en el modelo matemático de equilibrio limite.

En el anexo C se presenta los reportes de los ensayos de laboratorio y el cuadro 4.3.5.2-2 muestra el resumen de los resultados de ensayos especiales que hizo el Laboratorio Ausenco Vector en Lima.

**Cuadro 4.3.5.2-2 Resultados de ensayos especiales del Depósito de Desmonte**

Sondaje	Triaxial	Muestra	Profundidad (m)	Clasificación SUCS	Parámetros Totales	
	Tipo				Angulo de Fricción (°)	Cohesión (kPa)
C-01 Terreno	CU	Representativa	2.5	GC	33.4	33
C-02 Desmonte	CU	Representativa	1.5	GP-GM	12.7	32
M-3 Relleno	CU	Representativa	1.5	GP-GM	35	63
M-4A Desmonte	CU	Representativa	-	GP-GM	29.3	38

*Fuente: Laboratorio Ausenco Vector*

#### **4.3.6. Evaluación de los Parámetros Hidrológicos**

##### **4.3.6.1. Determinación de Precipitación Máxima en 24 Horas**

El cálculo de la precipitación máxima en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, en los componentes de la mina Comarsa, se realizó mediante la regresión múltiple tomando como variables independientes la precipitación total anual y altitud de cada estación y como variable dependiente las precipitaciones máximas en 24 horas. En el siguiente (Cuadro N° 4.3.6.1-1) se muestra las precipitaciones en una máxima de 24 horas según las estaciones cercanas al área de investigación.

**Cuadro 4.3.6.1-1 Parámetros para la regresión lineal múltiple**

Estación	Precipitación Máxima en 24 Horas en mm									Precipitación Total Anual (mm)	Altitud (m.s.n.m)
	Periodo de Retorno (T) en años										
	2	3	5	10	25	50	100	200	500		
Cajabamba	43	48	54	62	70	76	82	88	95	958.4	2550
Huamachuco	40	44	49	53	59	63	66	70	74	975.3	3150
Laguna Huangacocha	37	42	46	51	58	62	67	71	77	1159.8	3780
Quiruvilca	36	39	43	47	52	55	58	61	65	1341.3	3980
Cachicadan	36	40	45	51	58	64	69	75	82	960.1	2890
Mollepata	28	32	37	42	48	53	57	61	66	560.7	2580

*Fuente: Estudio Hidrológico de Canales 2012*

#### **4.3.6.2. Determinación de Máximas Avenidas para Canales y Cunetas**

Se realizó el cálculo de máximas avenidas, para determinar el caudal de diseño de los canales para un periodo de retorno de 500 años y cunetas de drenaje para un intervalo de recurrencia de 200 años, para el sistema de drenaje del Depósito de Desmonte Tentadora Sur. El software utilizado para tal efecto fue el Hydrologic Modeling System (HEC- HMS versión 3.5), es un programa computacional del Sistema de Modelación Hidrológica, la última versión, publicada en agosto de 2010, por el Cuerpo de Ingenieros de la armada de los Estados Unidos de Norteamérica.(Estudio Hidrológico de Canales 2012)

#### **4.3.6.3. Modelo Meteorológico**

Se define la tormenta de diseño que será utilizada en la simulación de la relación precipitación - escorrentía, para ello se utilizó la precipitación máxima en 24 horas determinadas para Mina Santa Rosa. Para obtener las respectivas tormentas de diseño, se utilizó lo indicado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), para tormentas tipo II correspondiente para lluvias orográficas.

#### 4.3.6.4. Parámetros Morfométricos

Se determinó los parámetros morfométricos de las áreas de captación de los canales y cunetas de drenaje del Depósito de Desmonte, utilizando el plano topográfico con curvas de nivel cada metro, proporcionado por la Minera Aurífera Santa Rosa.

Los parámetros morfométricos que se visualiza en (cuadro 4.1.6.4-1) son determinadas de las áreas de captación de las obras hidráulicas es: área, perímetro, cota máxima, cota mínima, desnivel máximo y pendiente.

**Cuadro 4.3.6.4-1 Parámetros Morfométricos – Deposito Tentadora Sur**

Parámetros Morfométricos	Área de Captación de Canales			
	CQSF-I-1	CQSF-I-3	CQSF-I-4	CQSF-I-5
Área (m <sup>2</sup> )	82031	43672	168797	267145
Perímetro (m.)	1495.2	2025.8	2144.3	2973.5
Índice de Gravelious	1.46	2.71	1.46	1.61
Cota Máxima (m.s.n.m)	3570	3548	3507	3635
Cota Mínima (m.s.n.m)	3473	3353	3072	3055
Desnivel Máximo (m)	97.0	195.0	435.0	580.0
Pendiente (%)	45.45	68.42	53.63	62.78

*Fuente: Estudio Hidrológico de Canales*

#### 4.3.6.5. Caudal de Diseño

Los canales ubicados en el sector I Santa Fé con códigos: CQSF-I-1, CQSF-I-2, CQSF-I-3, CQSF-I-4 y CQSF-I-5, deben ser diseñados para un caudal de 1.394 m<sup>3</sup>/s, 1.394 m<sup>3</sup>/s, 0.777 m<sup>3</sup>/s, 4.862 m<sup>3</sup>/s y 4.092 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años, asimismo se ha determinado caudales para 500 años de intervalo de



recurrencia. (Ver Cuadro 4.3.6.5.-1).

**Cuadro 4.3.6.5-1 Caudales de Diseño – Canales Tentadora Sur**

Canal	Caudal de Diseño en m <sup>3</sup> /s		Descripción
	T=100 años	T=500 años	
CQSF-I-1	1.394	1.675	Caudal que recibe corresponde a su área de drenaje.
CQSF-I-2	1.394	1.675	El canal no presenta área de drenaje es un canal de conducción, recibe flujos del canal CQSF-I-1.
CQSF-I-3	0.777	0.934	Caudal que recibe corresponde a su área de drenaje.
CQSF-I-4	4.862	5.843	El caudal corresponde a su área de drenaje además recibe el flujo de los canales CQSF-I-2 y CQSF-I-3.
CQSF-I-5	4.092	4.918	Caudal que recibe corresponde a su área de drenaje.

*Fuente: Estudio Hidrológico de Canales – Sanchez Tuya 2012.*

#### **4.3.7. Evaluación de los Parámetros Sísmicos**

##### **4.3.7.1. Sismicidad**

De acuerdo a los estudios realizados por ATIMMSA, 2008. De acuerdo a la zonificación sísmica del Perú, realizada por el Ministerio de Vivienda y construcciones (1977), el área de estudio estaría ubicada en la zona 3 considerada de “Sismicidad Alta”.

Dorbath (1990) indica que solo dos grandes sismos históricos han ocurrido en el Norte del Perú. El terremoto de 1,619 con una magnitud estimada de Mw 7.7-8.0 y una longitud de ruptura de aproximadamente 100 a 150 Km. que destruyó la ciudad de Trujillo, el otro sismo de magnitud estimada de Mw 7.9 produjo 50,000 muertes, este último corresponde a una falla normal dentro de la Placa Nazca y no a un deslizamiento a largo de la superficie de subducción. El otro evento sísmico histórico de magnitud 8.7 ocurrió el año de 1,907 evento relacionado a la zona de subducción. En el

Cuadro 4.3.7.1-1 se detalla información de los sismos ocurridos en zonas aledañas al área de estudio se presenta el registro histórico de los terremotos de gran magnitud en el Perú.

**Cuadro 4.3.7.1-1 Resumen de los 10 terremotos de gran magnitud en Perú**

Nº	Año	Mes	Día <sup>F</sup> u	Lat	Long	Prof. (Km.)	Valor de Magnitud	Escala de Magnitud	Distancia (Km.)
1	1907	11	16 <sup>e</sup>	-8.00	-76.80	150	8.7	Ms	134
2	1619	2	14 <sup>n</sup>	-7.90	-79.00	40	8.6	Ms	110
3	1725	1	7 <sup>t</sup>	-9.00	-79.00	40	7.6	Ms	146
4	1970	5	31 <sup>.</sup>	-9,20	-78.80	50	7.6		148
5	1916	11	10	-8.50	-77.80	15	7.1	Ms	50
6	1956	10	29 <sup>P</sup>	-8.50	-77.00	60	6.4	Ms	120
7	1984	6	5 <sup>e</sup>	-7.82	-76.71	33	5.8	mb	147
8	1937	6	22 <sup>l</sup>	-9.00	-79.00	150	5.7	UK	146
9	1939	11	26 <sup>i</sup>	-8.50	-77.50	130	5.5	UK	72
10	1961	7	3 <sup>s</sup> r	-8.70	-79.10	57	5.5	mb	135

*o Sísmico – Atimmsa*

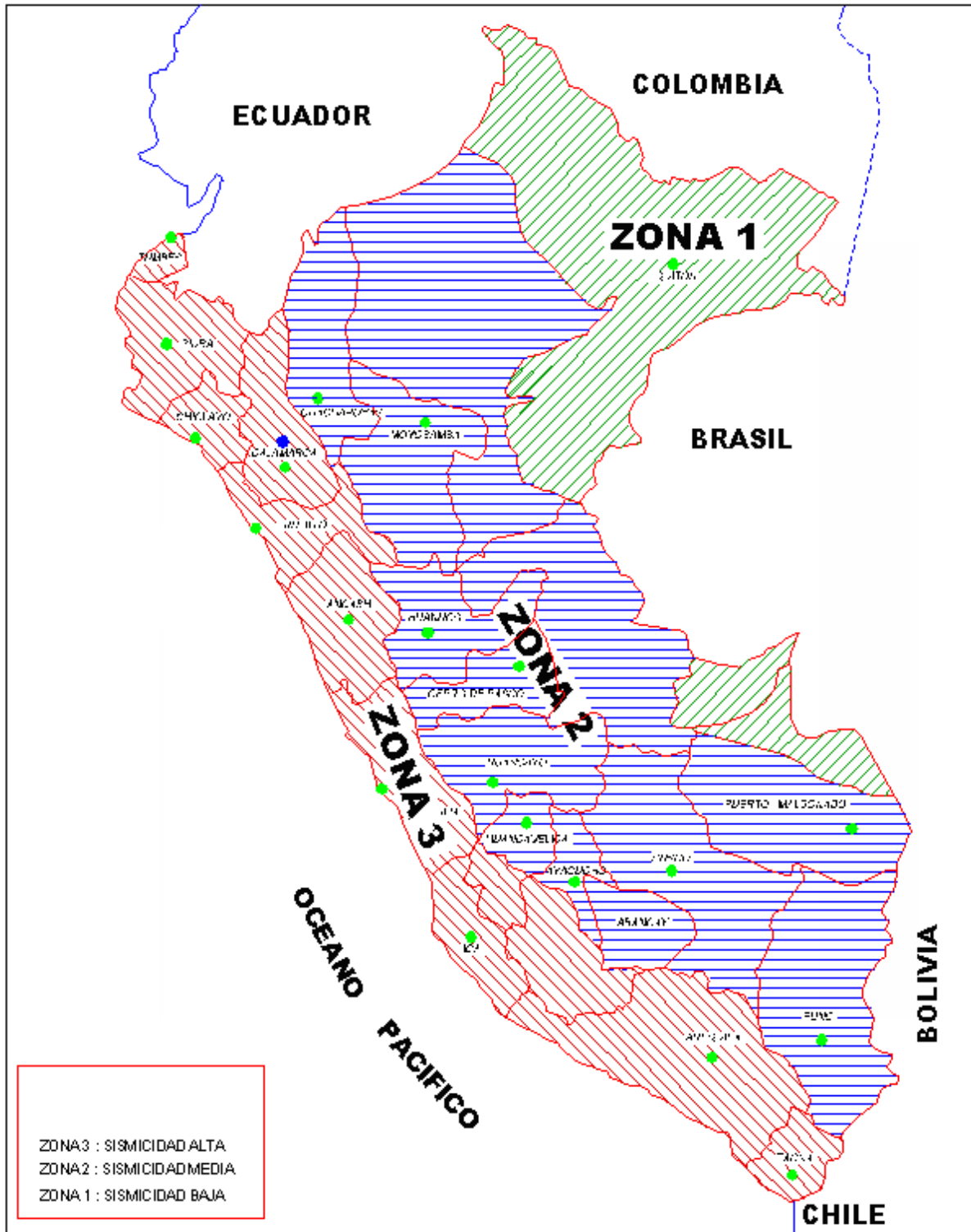
#### 4.3.7.2. Características de Sismos Máximo y Básico para Diseño

Para determinar los sismos máximos y básicos de diseño ha sido conveniente evaluar el peligro sísmico del área de las instalaciones para un periodo de retorno de 500 años.

Los Sismos Máximos a suceder en un periodo de retorno de 150 y 500 años serán de Intensidad VI y VIII respectivamente en la escala de Mercalli modificado según (Gutenberg y Richter). (ver gráfico 4.3.7.2-2 y 4.3.7.2-3)

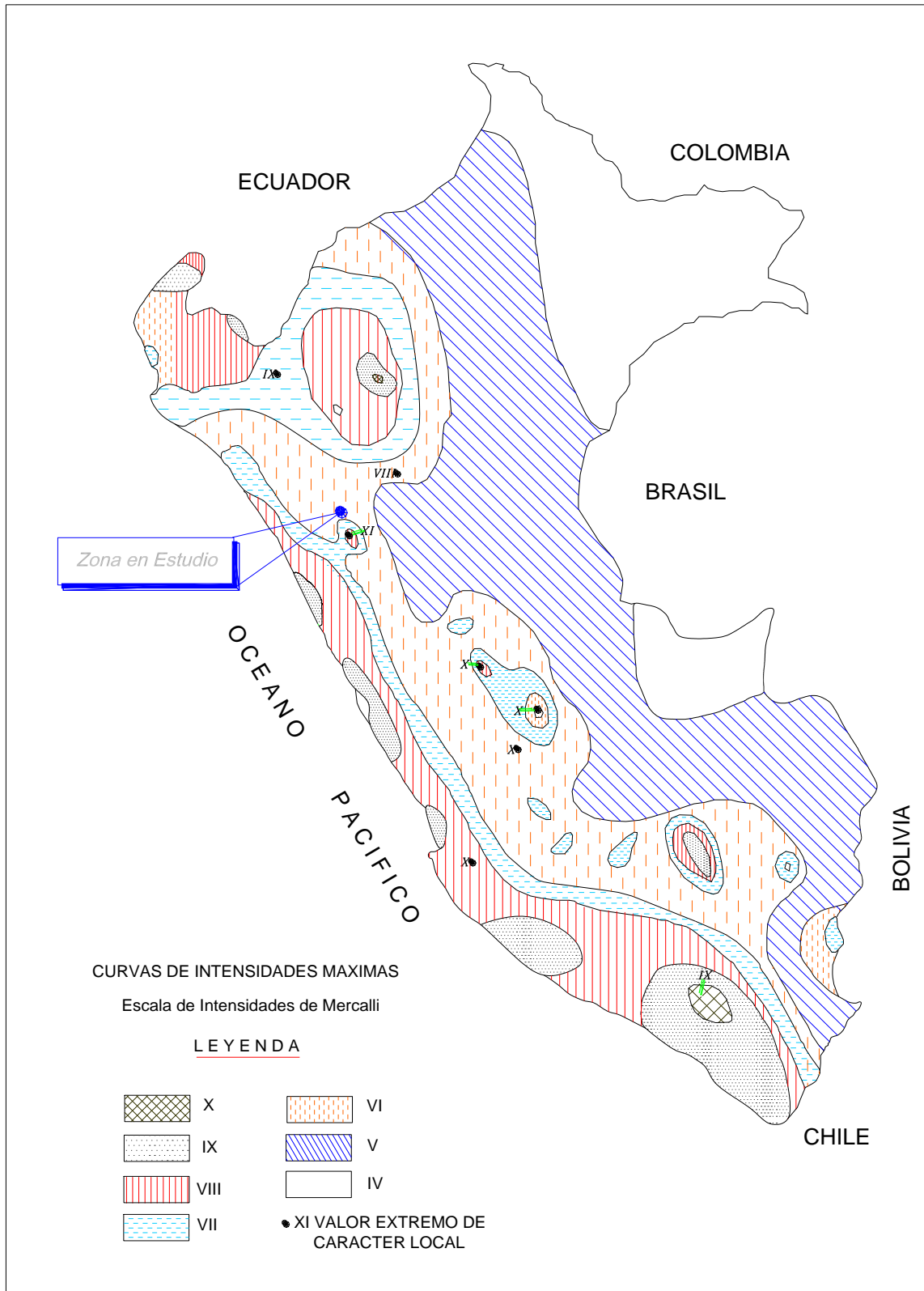
En el gráfico 4.3.7.2-1 se visualiza la zonificación sísmica del Perú donde nos indica que el área de investigación es en la zona 3 que es sismicidad alta.

Grafico 4.3.7.2-1 Zonificación Sísmica del Perú



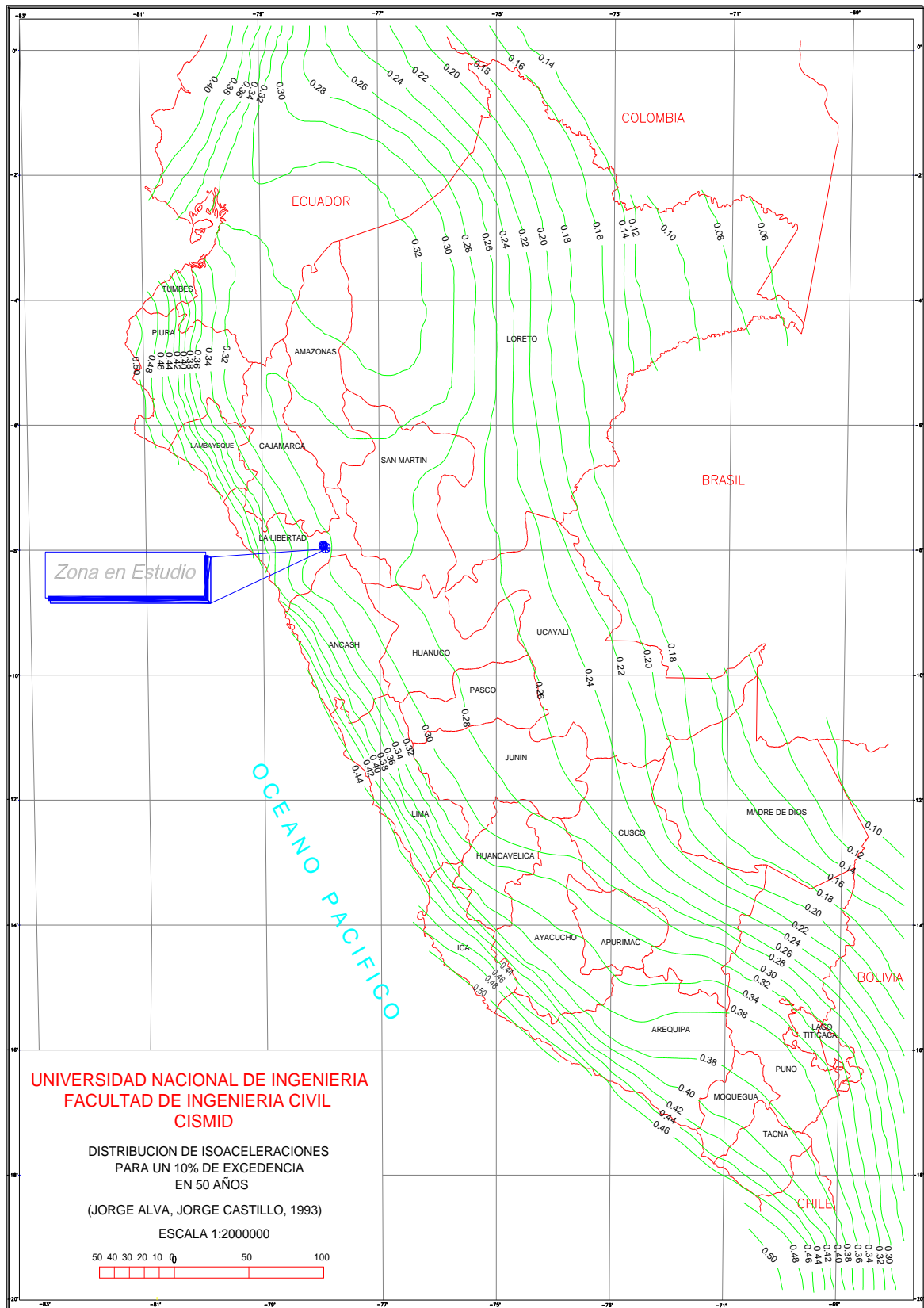
Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

**Grafico 4.3.7.2-2 Mapa de Distribución de Máxima Intensidad Sísmica**



*Fuente: Alva, J (1984)*

**Gráfico 4.3.7.2-3 Mapa de Isoaceleraciones para 500 años de vida útil**



*Fuente: Cismid, Universidad Nacional de Ingeniería*

#### 4.3.8. Evaluación de los Parámetros Geoquímicos

##### 4.3.8.1. Potencial Neto de Neutralización de Desmonte

Para predecir la posibilidad de generación de drenaje ácido del material de desmonte se tomaron muestras representativas. Las Pruebas de Balance Acido Base (método EPA-600/2-78-054) se realizaron en el Laboratorio de LABECO (Ensayo de Potencial de Generación ácido), ha permitido determinar la caracterización de los materiales referidos a la interpretación de las pruebas A.B.A. los resultados se detallan en el siguiente cuadro: (4.3.8.1-1)

**Cuadro 4.3.8.1-1 Resultados del ensayo ABA de la muestra de desmonte.**

PARÁMETROS	MUESTRA “representativa1 ”)	
	UNIDADES	RESULTADOS
PH en pasta	Unidades de PH	4.22
PA	Kg CaCO3 /TM	36.25
PN	Kg CaCO3 /TM	20.40
PNN	Kg CaCO3 /TM	-15.85

*Fuente: Laboratorio Labeco*

El Potencial Neto Neutralizante es la capacidad de un mineral para generar o consumir ácido. Se tiene que con valores de PN/PA igual a 0.56 y PNN igual a -15.85, el material está en el rango de  $PNN < 0$  y  $PN/PA < 1$  resulta de generación de acidez.

##### 4.3.9. Rediseño y Evaluación de la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur

El estudio de Estabilización Física del depósito de desmonte Tentadora Sur fue analizada considerando la sección más crítica, desde el punto de vista geotécnico y de la conformación natural del terreno

(topografía).

La sección A, que se muestra en el Plano 100-02-R-BTS, ilustra la disposición en planta de la sección seleccionada.

La evaluación de la estabilidad de los taludes de desmonte se efectuó considerando las condiciones actuales y las implícitas en la etapa de abandono o cierre final (remediado). Para cada caso se desarrollaron análisis de estabilidad bajo solicitaciones estática y sísmica.

Para llevar a efecto el análisis de estabilidad física se consideraron:

#### **4.3.9.1. Procedimiento de Selección de Diseño**

Destacamos el valor integrador de la Matriz de Selección de Alternativas (MASA) que, en un único gráfico, establece las características y atributos de las alternativas, influyendo en la elección más viable tanto económico, técnico, ambiental y social.

Los componentes que conforman la MASA los definimos a continuación:

- Alternativas; Posibilidades a utilizar en obras de remediación y protección.
- Características; Todas las características que enmarcan a las alternativas.
- Ponderación; Es un parámetro numérico a cada característica.

**Cuadro 4.3.9.1-1 Valor ponderado de la MASA**

VALOR PONDERADO	DESCRIPCION
1	Importancia muy débil
2	Importancia débil
3	Importancia Neutral
4	Importancia Fuerte
5	Importancia muy fuerte

*Fuente: Atimmsa (2015) Es un parámetro numérico a cada característica.*

La tabla 4.3.9.1-2, muestra la MASA, evaluando la mejor alternativa para diseñar el Depósito de desmonte para la remediación con fines de cierre de mina.

La mejor alternativa es método de banquetas.

**Cuadro 4.3.9.1-2 Matriz de Alternativas**

MATRIZ DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		ALTERNATIVAS		
		1	2	3
CARACTERÍSTICAS, ATRIBUTOS Y BONDADES		Banquetas	Gaviones	Suelo Reforzado
1	Costos	5	●	○
2	Sistema constructivo	4	○	○
3	Hurto de materiales colocados	3	△	○
4	Control y monitoreo	2	△	○
5	Tiempo de ejecución	2	○	○
6	Insumos	3	○	○
7	Impacto Visual	4	○	△
8	Aporte Social	2	△	△
9	Adherencia con la cobertura	4	○	○
10	Garantía de perpetuidad	4	○	○
Total		115	87	79

*Fuente: Métodos de Estabilización, Cesel (2006)*

#### 4.3.9.2. Coeficiente Sísmico

La información disponible procedente de estudios anteriores de ATIMMSA, fue revisada y con ella se pudo determinar lo siguiente:



**Cuadro 4.3.9.1-3 Resumen de Coeficientes sísmicos para Diseño de Taludes**

<b>Condición</b>	<b>Tiempo de Retorno (años)</b>	<b>Aceleración sísmica ag</b>	<b>Intensidad (Mercalli Modificado)</b>	<b>Fuente</b>
Diseño del Botadero (Condición inicial de operación normal)	150	0.15	7.75	Knight Piésold
Abandono	500	0.15 (extrapolación)	7.75 (extrapolación)	ATIMMSA

*Fuente: Generado en base a estudios anteriores, Elaboración Propia*

De acuerdo a lo señalado anteriormente, la aceleración basal ha sido considerada en 0.15g para las condiciones de operación y de abandono respectivamente.

Considerando una amplificación sísmica de la aceleración sísmica, de 2 a 3 veces, para la condición de operación, se obtiene una aceleración amplificada de 0.60 a 0.9g. El coeficiente sísmico horizontal adoptado para efectuar los análisis de estabilidad es de  $\frac{1}{2}$  a  $\frac{1}{3}$  de la aceleración amplificada, esto es una aceleración de 0.2 a 0.30g, debido al lapso de tiempo limitado en que las cargas se aplican sobre la estructura.

Aplicando el mismo criterio, para la condición de abandono, la aceleración a emplearse en los análisis pseudo estáticos, bajo la condición de abandono, será de 0.15g.

#### **4.3.9.3. Método de Análisis**

Para el análisis de la estabilidad de los taludes se ha utilizado las secciones transversales de la topografía proyectada a su máxima capacidad de almacenamiento de los depósitos de desmontes y el programa de cómputo SLIDE (Rocscience Inc, 1989-2003) versión 6. Este programa de cómputo

permite realizar el análisis de estabilidad de taludes a través del cálculo del Factor de Seguridad. Este es un programa completamente integrado, que permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y realiza el análisis de estabilidad taludes de deslizamiento circular y no circular en suelos o rocas con diferentes métodos, tales como el método de Bishop Simplificado, Janbu, Spencer, GLE/Morgenstern-Price y otros métodos de análisis.

El análisis para calcular el Factor de Seguridad se lleva a cabo bidimensionalmente usando el concepto de equilibrio límite y empleando diversos métodos. El programa puede ser usado para determinar la superficie circular o no circular potencial de falla más crítica, correspondiendo a un menor factor de seguridad del análisis.

#### 4.3.9.4. Factores de Seguridad

Los mínimos valores de los factores de seguridad obtenidos en los análisis de estabilidad considerados en la práctica ingenieril, de acuerdo con los estándares internaciones, se resumen en el siguiente cuadro: 4.3.9.4-1.

**Cuadro 4.3.9.4-1 Factores de Seguridad Mínimos Aceptables Empleando el Método de Equilibrio Límite**

Condición	Estándar	Criterio de Seguridad
1. Condiciones Estático	Factores de Seguridad de Método de Equilibrio Límite	FOS =1.3 - Condición de Operación FOS = 1.5 – Condición de Abandono
2. Sísmico sobre Condiciones Pseudo-Estáticos	Pérdidas de Estabilidad	1.0

*FOS= Estandar Internancional, Factor de Seguridad (Factor Of Safety)*

Hay que señalar que los valores que se obtienen de los cálculos de estabilidad sísmica empleando el método pseudo-estático, simula el efecto sísmico empleando una fuerza horizontal permanente que actúa en un solo

sentido. Esta concepción es conservadora, puesto que el efecto sísmico es oscilante, es transigente por naturaleza y el lapso de tiempo en que se produce es muy corto.

#### **4.3.9.5. Deformaciones inducidas por el efecto sísmico.**

Cuando se realizan análisis de estabilidad bajo condiciones sísmicas, se considera que un factor de seguridad levemente superior a 1.0 es aceptable para la condición de abandono. Sin embargo, factores de seguridad menores no representan, necesariamente, el colapso de la estructura, sino que llevan asociadas deformaciones permanentes, las cuales deben ser verificadas desde el punto de vista de tolerancia de las obras.

Es importante señalar que los análisis pseudo-estáticos frecuentemente tienden a ser conservadores, porque la fuerza sísmica horizontal aplicada a la superficie de falla se considera como permanente y actuando en una sola dirección, cuando en realidad la carga dinámica debida a un sismo es transiente por naturaleza y sólo actúa por un corto período de tiempo.

Por consiguiente, en este estudio se estimarán las deformaciones inducidas por efecto sísmico para cada una de las superficies potenciales de deslizamiento consideradas, cuando el factor de seguridad sea inferior a la unidad.

### **4.3.10. Análisis de Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur – Etapa 1**

#### **4.3.10.1. Caracterización de los Materiales**

Las propiedades de físicas y de resistencia mecánica de los materiales encontrados en la cimentación se han obtenido mediante la ejecución de

ensayos especiales a la muestra inalterada, para el material de baja permeabilidad se ha evaluado la permeabilidad del material en estado compactado principalmente, estos ensayos se realizaron en el laboratorio CISMID UNI.

- **Desmante tajo Tentadora**

Las propiedades del desmante, se han tomado de los ensayos realizados en AUSENCO VECTOR, Ensayo Triaxial, del material de desmante presenta una clasificación SUCS del tipo GP-GM, obteniéndose los valores efectivos siguientes, Angulo de fricción igual a  $29^\circ$  y una cohesión  $C=30\text{Kpa}$ , con una densidad promedio de  $20\text{ KN/m}^3$ , se estima para efectos del cálculo de estabilidad física  $\phi=29^\circ$  y  $C=15.0$ , con densidad  $20\text{ KN/m}^3$ .

- **Relleno estructural de dique de contención**

Los parámetros de resistencia del material de los rellenos estructurales para la conformación de dique de contención, fueron determinados a partir de un ensayo de resistencia cortante como ensayos triaxiales o corte directo a la matriz. El relleno estructural presenta una clasificación SUCS de tipo que va desde material GC a GM.

Las propiedades del Relleno Estructural, de manera conservadora se tomaran un ángulo de fricción interna de  $38^\circ$  y cohesión cero, por ser un material poco cohesivo o con baja cantidad de matriz fina o arcillosa. La densidad promedio del mineral es de  $20\text{Kn/m}^3$ .

- **Cimentación superficial Base de grano fino.**

La cimentación superficial principalmente es de grano fino, con algunas zonas de arena y presenta una clasificación SUCS de ML a SM, los

resultados indican que en términos de esfuerzos efectivos (no drenados), los parámetros de resistencia cortante de este material presentan el siguiente rango de variación:

Para el ML



Angulo de Fricción de  $\phi = 24^\circ$  a  $25^\circ$ ,  $C = 0 - 50$  kpa y densidad  $16 \text{KN/m}^3$ .

- **Basamento rocoso.**

Los parámetros de resistencia de la roca han sido evaluados en función de los estudios efectuados anteriormente por SEGECO 2003 y GOLDER 2007, donde se tienen valores para roca de regular calidad los siguientes parámetros,  $\phi = 27^\circ$  y  $C = 150$  Kpa con una densidad promedio  $22 \text{KN/m}^3$ .

Para la ejecución de los análisis de estabilidad, las propiedades de resistencia cortante se han tomado en la condición más conservadora. La descripción de los ensayos de laboratorio y los resultados de los mismos son detallados en el Anexo C Ensayos de Laboratorio. Finalmente, las propiedades de los materiales utilizados en los análisis de estabilidad están resumidas en la siguiente Tabla 4.3.10.1-1

**Cuadro 4.3.10.1-1 Parámetros Geotécnicos para el Análisis de Estabilidad de Taludes del Depósito de Desmonte Tentadora Sur**

Suelo o Material	$\gamma_d$ KN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{sat}$ KN/m <sup>3</sup>	C KN/m <sup>2</sup>	$\phi$ (°)
1.- Desmonte Tajo Tentadora 	20.00	21.00	5.00	29.00
3.- Base terreno 	18.00	19.00	5.00	27.00
4.- Relleno Estructural 	20.00	21.00	0.00	37.00
5.- Roca descompuesta 	22.00	23.00	150.00	25.00

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.10.2. Condiciones de Análisis de Estabilidad Física Inicial y Final – Etapa 1

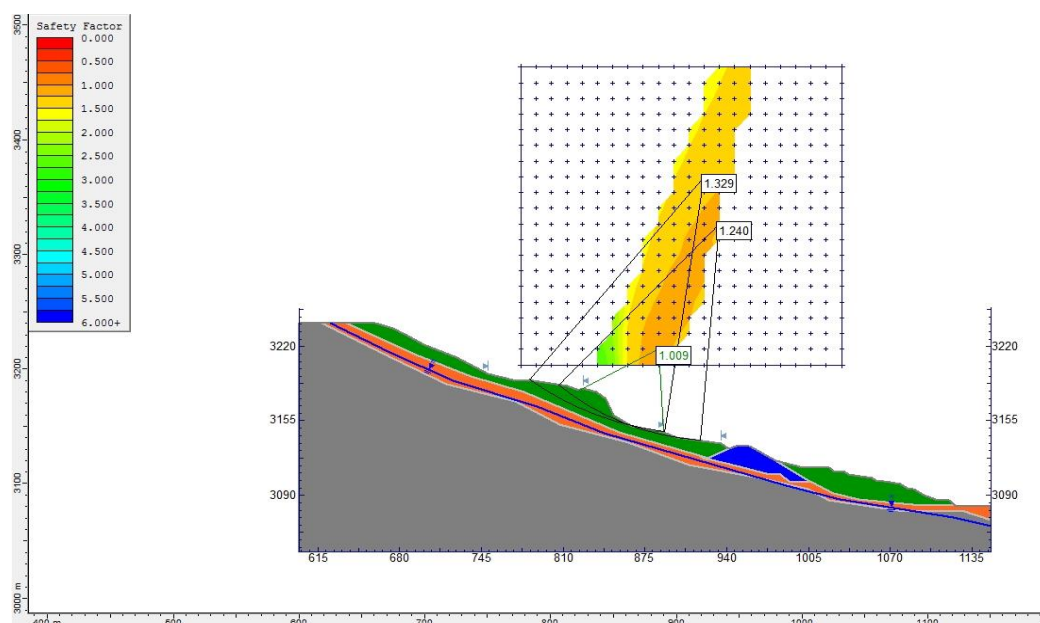
Para llevar a efecto el análisis de estabilidad se consideraron las siguientes condiciones de análisis:

Las superficies circulares fueron analizadas para evaluar la estabilidad a través del desmonte en su configuración inicial y final con el perfilado. (Ver gráfico 4.3.10.2-1 y 4.3.10.2-2).

Se ha considerado la influencia del nivel freático debajo de 35 A 50m de profundidad como nivel máximo que alcanzara según las condiciones hidrogeológicas, indicadas en el estudio Hidrogeológico de la unidad Santa Rosa en Enero del 2012.

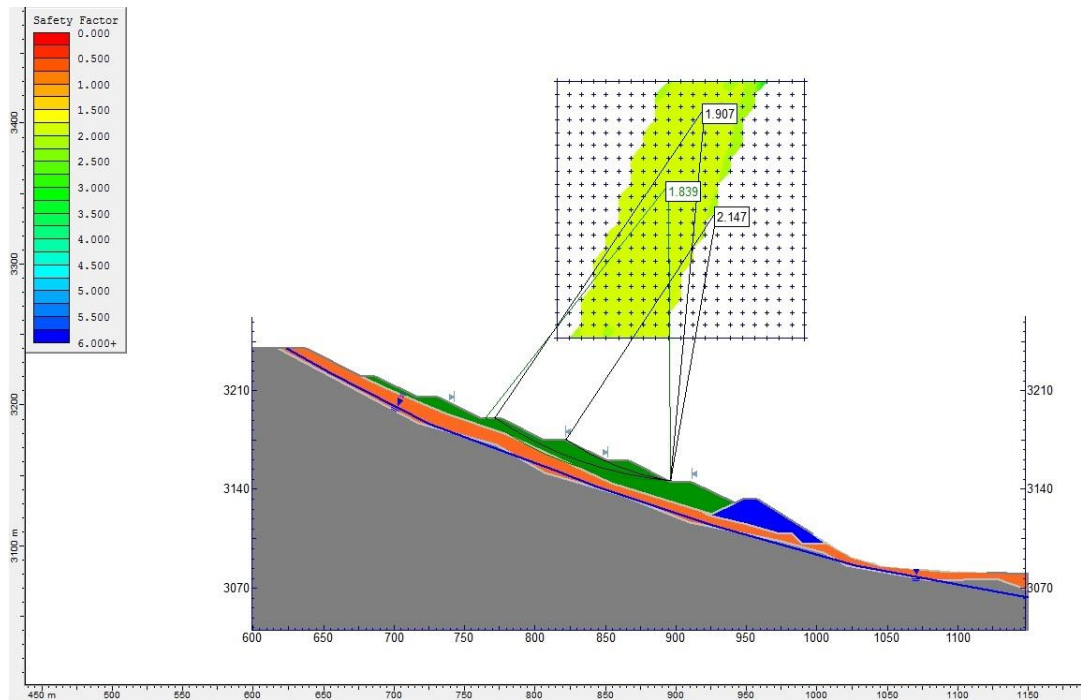
Finalmente se considera el perfilado por el método de banqueteo para reducir las fallas de deslizamiento. (Ver plano 100-02-R-BTS al 100-05-R-BTS)

**Gráfico 4.3.10.2-1- Sección 1-1 del Depósito de Desmonte Tentadora Sur en condiciones Iniciales**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Grafico 4.3.10.2-2-Seccion 1-1 del Depósito de Desmote Tentadora Sur  
en condiciones Finales**



*Fuente: Elaboración Propia*

**4.3.10.3. Resultados de Análisis de Estabilidad Física**

- **Depósito de Desmote Condiciones Actual – Etapa 1**, en el cuadro 4.3.10.3-1 muestra resultados de factores de seguridad que indican la condición existente.

**Cuadro 4.3.10.3-1-Resumen de resultados del análisis de Estabilidad para condiciones iniciales**

CASO	CONDICION DE ANALISIS	FACTORES DE SEGURIDAD CALCULADO	FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO ACEPTABLE
Falla Circular Talud Global inicial	Estática	1.72	1.4
	Seudo-Estática a=0.15g	1.17	1.0
Falla Circular Local	Estática	1.00	1.4
	Seudo-Estática a=0.15g	0.79	1.0

*Fuente: Elaboración Propia*

- **Depósito de Desmonte Condiciones Cierre– Etapa 1**, en el cuadro 4.3.10.3-2 muestra resultados de factores de seguridad que indican la condición final y estable para la etapa 1.

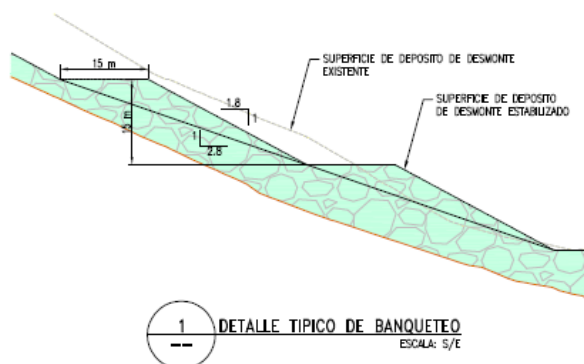
**Cuadro 4.3.10.3-2-Resumen de resultados del análisis de Estabilidad para condiciones finales.**

CASO	CONDICION DE ANALISIS	FACTORES DE SEGURIDAD CALCULADO	FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO ACEPTABLE
Falla Circular Local	Estática	1.84	1.4
	Seudo-Estática a=0.15g	1.21	1.0

*Fuente: Elaboración Propia*

La configuración final del banqueteo para la etapa 1 se visualiza en el grafico 4.3.10.3-1 cons esas medidas se dara por estabilizado la estructura.

**Grafico 4.3.10.3-1-Detalle Típico de Banqueteo y Perfilado**



*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.3.11. Diseño y Análisis de Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur – Etapa 2

##### 4.3.11.1. Caracterización de los Materiales

Las propiedades de físicas y de resistencia mecánica de los materiales son las mismas de la Etapa 1, se ha considerado el cuadro 4.10.1-1, que son los parámetros geotécnicos.



#### **4.3.11.2. Criterios de Diseño para Cierre de Mina**

##### **- Depósito de Desmonte Tentadora Sur**

El diseño de los taludes finales de cierre del Depósito Tentadora Sur se basa en las siguientes consideraciones:

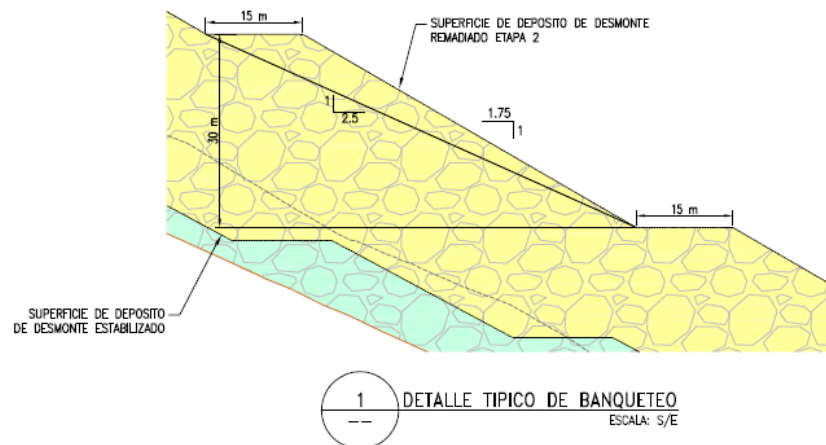
- En los análisis de estabilidad efectuados en los numerales anteriores.
- En la práctica usual de cierre de mina.

El talud final del Desmonte Tentadora Sur, será con inclinaciones de 2.5:1 (H: V) como talud global y 1.75:1(H: V) en cada banco, la altura de los bancos será de 30 m. la berma intermedia presenta un ancho de 15.0m y un bombeo de 1% hacia el talud interno (ver plano 100-06-R-BTS).

El volumen almacenado en el Depósito de Desmonte es de 2,83 Mm<sup>3</sup>

Es importante mencionar que para la conformación de los taludes estos deberían ser semicompactados y solo de esta forma alcanzarían la estabilidad física, puesto que los análisis de estabilidad toman en consideración la densidad propuesta, la misma que debe ser alcanzada durante la construcción. La configuración final del diseño para la etapa 2 se visualiza en el gráfico 4.3.11.2-1 con esas medidas se dará por apilado todo el material removido.

### Grafico 4.3.11.2-1-Detalle Típico de Apilamiento



*Fuente: Elaboración Propia*

#### - Dique de Estabilidad N° 2.

La configuración final, será con talud de 2:1 (H: V) aguas abajo, el ancho de dique será de 20 m (ver plano 100-08-R-BTS)

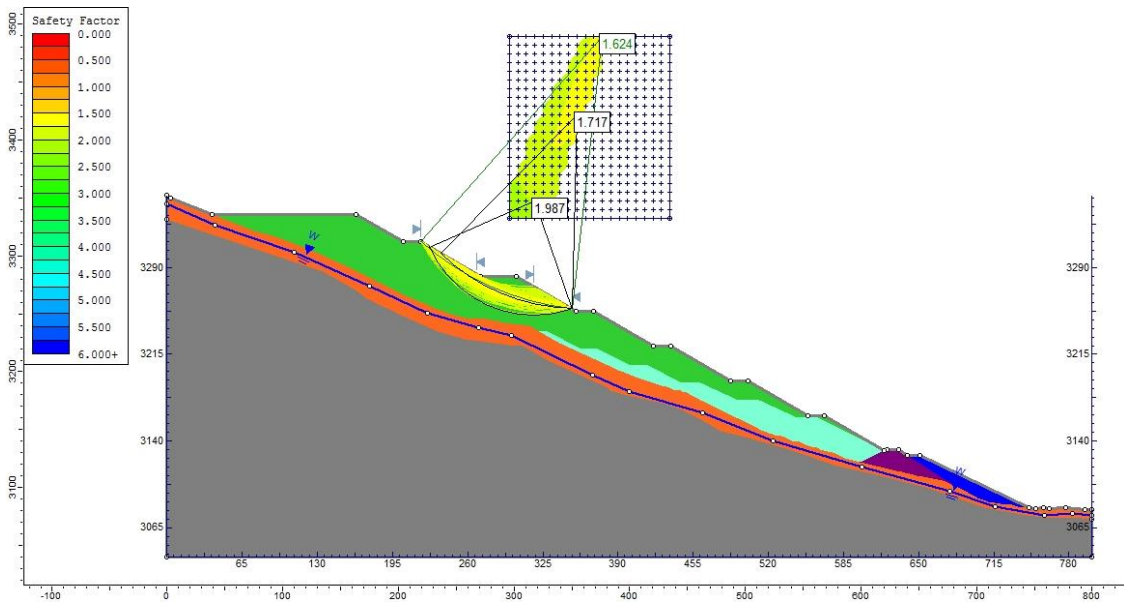
#### 4.3.11.3. Condiciones de Análisis de Estabilidad Física Final

Para llevar a efecto el análisis de estabilidad se consideraron las siguientes condiciones de análisis:

Las superficies circulares fueron analizadas para evaluar la estabilidad a través del desmonte en su configuración final para cierre de mina. (Ver gráfico 4.3.11.3-1 y 4.3.11.3-2).

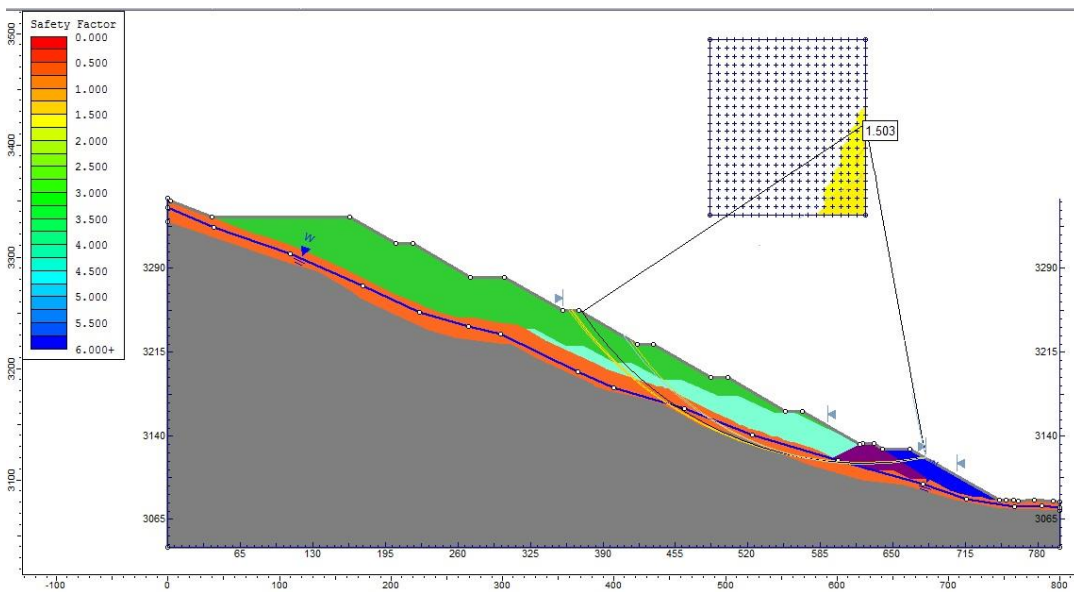
Se ha considerado la influencia del nivel freático debajo de 35 A 50m de profundidad como nivel máximo que alcanzara según las condiciones hidrogeológicas, indicadas en el estudio Hidrogeológico de la unidad Santa Rosa en Enero del 2012.

**Grafico 4.1.11.3-1-Seccion 1-1 del Depósito de Desmote Tentadora Sur  
– Etapa 2 en condiciones Final - Estático**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Grafico 4.1.11.3-2-Seccion 1-1 del Depósito de Desmote Tentadora Sur  
– Etapa 2 en condiciones Final - Pseudostático**



*Fuente: Elaboración Propia*

**4.3.11.4. Resultados de Análisis de Estabilidad Física – Etapa 2**

- Depósito de Desmote Condiciones de Cierre – Etapa 2, en el cuadro 4.3.11.4-1 muestra resultados de factores de seguridad

que indican la condición final para cierre de mina.

**Cuadro 4.3.11.4-1-Resumen de resultados del análisis de Estabilidad para condiciones finales**

CASO	CONDICION DE ANALISIS	FACTORES DE SEGURIDAD CALCULADO	FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO ACEPTABLE
Falla Circular Local	Estática	1.624	1.5
	Pseudo-Estática a=0.15g	1.106	1.0
Falla Circular Global	Estatica	1.503	1.5
	Pseudo-estatica a=0.15g	1.029	1.0

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **4.4. Desarrollo de la Investigación con respecto a la Variable Independiente**

##### **Plan de Cierre y con sus Tres dimensiones.**

##### **4.4.1. Plan de Construcción y Remediación para Cierre Final**

Las labores de construcción necesarios para la remediación de la zona del Botadero tentadora Sur son: Sistema de sub-drenaje, sistema de revestimiento con geomembrana, apilamiento del desmonte hacia la zona central de la zona a remediar y perfilado del material suelto, dique de contención, canales perimetrales de drenaje superficial, sistema de colección de infiltraciones y finalmente re vegetación de la zona afectada.

##### **4.4.1.1. Método de Banquetas para Estabilización Física**

###### **- Etapa 1**

Para el perfilado del material de desmonte se procederá a conformar el material con banquetas el cual la configuración final en la Etapa 1 del Depósito de Desmonte Tentadora Sur, queda con un talud global de 2.8 (H):1(V) y un talud de banco de 1.8(H):1(V),

altura de banqueta 15m y ancho de bermas de 15m , según lo permita la topografía del lugar, de no ser así se acumulara el material en la zona central y se le dará los taludes requeridos, según el plano 100-04-R-BTS.

- **Etapa 2**

Se procederá al apilamiento del desmonte con banquetas el cual la configuración final del Depósito de Desmonte Tentadora Sur, queda con un talud global de 2.5 (H):1(V) y un talud de banco de 1.75(H):1(V), altura de banqueta 30m y ancho de bermas de 15m , según lo permita la topografía del lugar, que a su vez se aplicara para el cierre final del depósito, según el plano 100-06-R-BTS.

**4.4.1.2. Dique de Estabilidad N° 2**

**4.4.1.2.1. Habilitación del Área del Suelo de Cimentación**

Para la habilitación del suelo de cimentación, primeramente se deberá retirar el material suelto y buscar apoyar el dique en terreno natural, a una profundidad promedio de 14m.

Posteriormente se deberá realizar los replanteos para la delimitación de los linderos del depósito de desmonte, estos replanteos se realizaran con instrumentos de topografía y los limites deberán ser monumenticos con hitos para los controles respectivos.

**4.4.1.2.2. Retiro del Material Suelto.**

El retiro del material suelto en el lugar, será reemplazado y este se debe realizar para el mejoramiento de

la estabilidad del dique de relleno estructural, según indican los análisis de estabilidad realizados.

Se considera un esponjamiento de 20% para el transporte de material.

#### **4.4.1.2.3. Relleno Estructural clasificado**

El relleno estructural clasificado viene a ser en esta obra, material de relleno clasificado y compuesto principalmente por gravas, con partículas menores de 3" y serán compactadas con rodillos vibratorios.

Esta partida se colocara e instalara en la zona de corte del material suelto, el material que se utilizara para tal fin, provendrá del material de desmonte que no genere drenaje acido, previa clasificación, deberá cumplir la gradación y los controles adecuados de compactación, es decir el grado de compactación deberá llegar hasta el 95% del valor del Proctor modificado.

Las capas a compactarse tendrán como máximo un espesor de 0.30m, el control de compactación se realizara por capas y serán como mínimo tres controles de compactación por cada capa.

Esta capa se colocara sobre los dos metros antes de llegar a la subrasante definida en campo.

#### **4.4.2. Estabilización Hidrológica**

La estabilización hidrológica se realizara mediante obras de derivación y drenaje de aguas superficiales que consisten en canales de

coronación, cajas colectoras, alcantarillas, estructuras de disipación y otras que deben estar ubicadas y dimensionadas de tal manera que corrijan los cursos actuales de las aguas de escorrentía evitando problemas de erosión e inundación en caso de presentarse eventos hidrológicos extremos. (Ver plano 200-01-R-BTS).

#### **4.4.2.1. Diseños Hidráulicos de los drenajes superficiales y sub-superficiales.**

El estudio de drenaje comprende la proyección de una red de drenaje para que se evacue las aguas superficiales y sub-superficiales que discurren sobre el área de influencia del botadero, para de esta forma mejorar la estabilidad a los taludes evitando la saturación del material. En este sentido, para la evacuación de las aguas superficiales como sub-superficiales se plantea estructuras adecuadas para cumplir tal propósito, las mismas que serán descritas a continuación.

##### **4.4.2.1.1. Sistema de Subdrenaje sub-superficial.**

Este sistema de subdrenaje está compuesto por una serie de tuberías perforadas de HDPE de pared doble ranurados de fábrica. Los subdrenes deberán instalarse después de realizadas la limpieza y desbroce de la línea principal y antes de proceder a la nivelación para alcanzar los niveles del proyecto de acuerdo con los planos de construcción.

Los subdrenes secundarios llevaran tuberías corrugadas HDPE, perforadas de 100mm y estarán conducidas hacia el subdren principal que están compuestos

de tuberías corrugadas HDPE, perforadas de 300mm. Las tuberías secundarias estarán instaladas en forma de “espina de pescado” según el esquema de subdrenaje presentado en el planos 200-05-R-BTS y 200-06-R-BTS, Sistema de subdrenaje, Detalles generales A, B y C.

Las tuberías deberán ser colocadas dentro de una zanja la cual deberá rellenarse con filtro graduado. La pendiente mínima del subdrenaje será de 1%. En el caso de detectarse ojos de agua y zonas húmedas durante los trabajos de movimiento de tierras, se instalarán subdrenes adicionales y que no figuran en los planos de construcción.

#### **4.4.2.1.2. Sistema de Revestimiento del Depósito de Desmonte**

El sistema de revestimiento para evitar potenciales infiltraciones de agua dentro del material de desmonte ha sido diseñado para cumplir con requerimientos estándares nacionales para botaderos y/o depósitos de desmonte de mina que tienen el potencial de generar aguas ácidas.

El revestimiento del depósito debe hacerse progresivamente para evitar que sea erosionado por la escorrentía superficial. Es sabido que las actividades de construcción serán complicadas debido a las fuertes pendientes del terreno existente, por lo cual se proponen dos diferentes metodologías para el revestimiento del depósito, dependiendo de la inclinación del terreno, tal como se indica a continuación:



- Pendientes cuya inclinación es 2H: 1V (27°) o menor. El sistema de revestimiento del depósito consistirá de una capa de arcilla compactada de baja permeabilidad (revestimiento de suelo) de 30 cm de espesor y una capa de óxidos compactada de 1 m de espesor; es muy importante que se determine que los óxidos no potenciales de generar acidez (NAG). La capa de óxidos tiene la finalidad de encapsular el desmonte de mina que puede generar acidez y proteger el revestimiento de suelo contra la pérdida de humedad ante la intemperie para evitar la formación de grietas, por ello la capa de óxidos debe ser colocada paralelamente a la conformación de la capa de revestimiento de suelo.

- Pendientes con inclinación mayor a 2H:1V. En este caso se compactarán capas horizontales de 30 cm de espesor de una mezcla de óxidos y arcilla de baja permeabilidad, cuyas proporciones serán determinadas durante la construcción para alcanzar una permeabilidad máxima de  $1,0 \times 10^{-8}$  cm/s. Como el revestimiento del depósito será preparado progresivamente para la capa de desmonte a conformar, se anticipa que se alcanzarán alturas de 10 m con un talud de 1,5H:1V y un ancho mínimo en la coronación que permita el trabajo seguro del rodillo de compactación.

Los detalles del sistema de revestimiento son

presentados en el Plano 200-07-R-BTS.

#### **4.4.2.1.3. Canales de Coronación y cunetas.**

Para captar las aguas de escorrentía de la cabecera y de los terraplenes del depósito se ha proyectado la construcción de canales de coronación en la periferia del depósito estabilizado, al final de la construcción. Para determinar el caudal de diseño de los canales de coronación se han considerados el caudal pico calculado en el estudio hidrológico, considerando un período de retorno de 100 años. Se han proyectado varios tipos de secciones, las mismas que están indicadas en los Planos 200-02 al 200-03-R-BTS.

**Cuadro 4.4.2.1.3-1 Dimensiones de Canales**

<b>CARACTERISTICAS Y DIMENSIONES DE CONDUCCION EN CANAL DE CORONACION</b>								
<b>Denominacion del Canal</b>	<b>Proyecto</b>	<b>Talud H:V</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>b (m)</b>	<b>e (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>L (m)</b>	<b>Material</b>
Canal Norte Tramo 1	Dep. Tentadora Sur	1:1	777	0.80	0.15	0.45	180.00	Mamposteria
Canal Norte Tramo 1A			4862	0.80	0.15	1.10	120.00	Mamposteria
Canal Norte Tramo 2			4862	0.75	0.15	0.60	271.34	Concreto
Canal Norte Tramo 3			4862	0.75	0.15	0.65	208.66	Concreto
Canal Norte Tramo 4			4862	0.75	0.15	0.60	189.36	Concreto
Canal Sur Tramo 1			4092	0.50	0.15	1.20	23.80	Concreto
Canal Sur Tramo 2			4092	0.50	0.15	0.60	60.77	Concreto
Canal Sur Tramo 3			4092	0.50	0.15	0.45	315.43	Concreto
Canal Sur Tramo 4			4092	0.50	0.15	1.10	247.87	Mamposteria
Canal Sur Tramo 5			4092	0.50	0.15	0.45	154.12	Concreto
Canal Sur Tramo 6			4092	0.50	0.15	0.80	82.43	Concreto
Canal Sur Tramo 7			4092	0.50	0.15	0.45	157.44	Concreto
Canal Sur Tramo 8			4092	0.50	0.15	1.00	47.18	Mamposteria
Canal Sur Tramo 9			4092	0.50	0.15	0.40	130.96	Concreto
Canal Sur Tramo 10			4092	0.50	0.15	1.00	132.46	Mamposteria

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **4.4.2.1.4. Sistema de Colección de Aguas de Infiltración**

El revestimiento de suelo con arcilla compactada de baja permeabilidad y la capa de óxidos que se colocará encima, han sido diseñados para reducir al mínimo el efecto de la infiltración de las aguas lluvia. Sin embargo, como medida de contingencia para monitorear la infiltración de aguas superficiales dentro del depósito, se ha considerado un sistema de tuberías para coleccionar las aguas infiltradas.

El sistema de colección de aguas de infiltración será instalado sobre la capa de óxidos compactada y consistirá de una red de tuberías CPT perforadas (tipo SP) de 150 mm de diámetro que se ubicarán en los tramos más bajos del depósito, en general donde están los cursos naturales de agua. Estas tuberías estarán conectadas a tuberías CPT perforadas (tipo SP) de 100 mm de diámetro espaciadas 50 m en promedio y estarán confinadas en un terraplén trapezoidal de material granular drenante. La pendiente de las tuberías será de 2% como mínimo y tienen como finalidad minimizar la carga hidráulica del agua de infiltración sobre el sistema de revestimiento. La disposición de las tuberías se presenta en el Plano 200-08-R-BTS.

La salida del sistema de colección de infiltraciones se efectuará empalmando los colectores hacia dos tuberías CPT sólida (tipo S) de 300 mm de diámetro, las cuales descargarán a una poza de monitoreo ubicada aguas abajo del

dique de estabilidad N° 2.

#### **4.4.2.1.5. Pozas de Monitoreo N°1 y 2**

Se han considerado dos pozas de monitoreo revestidas con geomembrana de 1.5 mm doble texturada ubicadas al este del dique de contención. El objetivo de estas pozas es monitorear las aguas provenientes del sistema de sub-drenes y del sistema de colección de agua infiltrada. Estas pozas serán dimensionadas en la etapa de diseño de detalle para retener temporalmente el agua colectada y tratarla, antes de ser liberada hacia los cursos naturales de agua. La ubicación se presenta en Plano 200-01-R-BTS.

#### **4.4.3. Estabilidad Geoquímica**

La cobertura y re vegetación están entre las actividades finales contempladas dentro del proceso de cierre de minas. Su propósito es restituir la cubierta vegetal de forma permanente en suelos desnudos o degradados, contribuyendo a la restauración del paisaje de la zona alterada por las operaciones mineras, además de evitar la erosión del suelo.

La implementación de la re vegetación, ayudara a prevenir el drenaje ácido mediante la colocación de una cobertura impermeabilizante. La estabilización comprende lo siguiente:

- Mitigar o prevenir la erosión de los botaderos de desmonte mina.
- Prevenir la descarga de sedimentos a los cursos de agua.
- Reducir la infiltración de agua y la generación de drenaje ácido.
- Restaurar las áreas verdes que existían antes de la actividad minera

y con ello mejorar la armonía con la naturaleza y el aspecto paisajístico de la zona.

Para realizar una cobertura eficiente con tierra, se ha considerado las propiedades del material a cubrir, las condiciones geográficas y topográficas del lugar, las condiciones del material de desmonte fueran relativamente buenas.

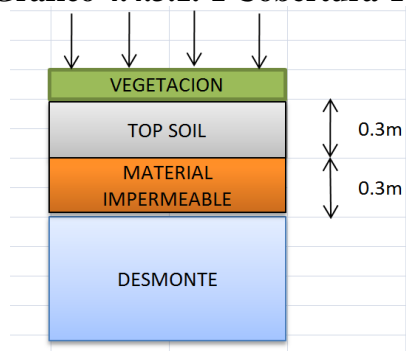
Estas serán efectuadas después de reperfilado o luego de trabajos de retención de tierra. (Ver plano 300-01-R-BTS).

#### 4.4.3.1. Tipo de Coberturas

Para la selección del tipo de cobertura se tendrá en cuenta la calidad del material a ser cubierto, principalmente en lo referente a la mineralogía y potencial neto de neutralización, la presencia de drenaje ácido en el área, la granulometría, la topografía y taludes.

**Tipo I:** Cobertura con una capa de 0,30 m de espesor, de material impermeabilizante para impedir la contaminación del suelo con metales, que puede afectar la raíz de las plantas. La capa de suelo agrícola es de 0,30 m la misma que será colocada sobre la capa impermeabilizante compactado, de preferencia arcilla. Ver Gráfico 4.4.3.1.-1

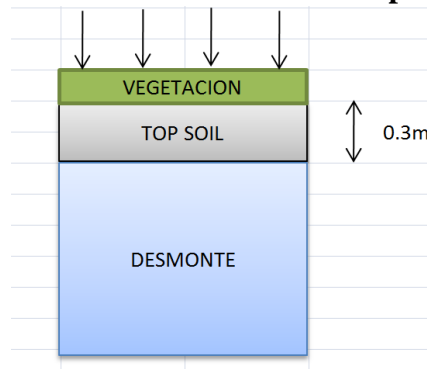
**Gráfico 4.4.3.1.-1 Cobertura Tipo I**



*Fuente: ATIMMSA 2012*

**Tipo II:** Cobertura con una capa de 0,30 m de espesor, de suelo agrícola la misma que será colocada sobre el suelo o material de desmonte Este tipo de cobertura se aplica cuando el material es seco, no genera drenaje ácido y no hay facilidad para el ascenso, por capilaridad, de metales disueltos. Ver gráfico 4.4.3.1.-2.

**Gráfico 4.4.3.1.-2 Cobertura Tipo II**



*Fuente: ATIMMSA 2012*

La cobertura para la zona del Depósito de desmonte Tentadora Sur será el de tipo I, dado los valores de potencial de generación de acides del material de desmonte, reportados en el anexo B y analizados en la presente investigación.

El dique de estabilidad N° 2 será recubierto con la cobertura tipo II, debido a que no genera acides y es un suelo seco.

#### **4.4.3.2. Características de las capas o materiales a utilizar en las zonas de Rehabilitación**

Para la rehabilitación de los componentes de cierre progresivo, se utilizará los siguientes substratos o materiales:

##### **4.4.3.2.1. Arcilla**

La composición de las arcillas corresponde a aluminosilicatos hidratados, Las partículas de este material

tienen un diámetro menor a 2 micras, correspondiendo a suelo de textura fina, siendo muy elástico y pegajoso cuando está húmedo y es duro cuando se seca, siendo lenta su consolidación. Las arcillas son de textura laminar, compactas y tienen ductilidad.

#### **4.4.3.2.2. Tierra de cultivo o top soil**

La tierra agrícola está constituida por el horizonte superficial de un perfil de suelo (top soil), se caracteriza por tener un color oscuro, buena estructura, porosidad, alta actividad microbiana y alto contenido de materia orgánica procedente de aportes de hojas, tallos y flores, así como de estiércol de animales.

La capa de este material es de 0,30 m, debido a la profundidad de las raíces de las especies a sembrar, este material será el sustento de las especies vegetales seleccionadas para el diseño del sistema de revegetación sobre el Desmonte y Dique.

#### **4.4.3.3. Descripción de Trabajos a realizar**

La revegetación se realiza con la finalidad de evitar la erosión eólica y la generación de aguas ácidas, así como para restituir el paisaje similar al que había antes de la intervención del hombre. Se efectuará utilizando algunos materiales, tales como: capa impermeable, tierra de cultivo y plantas para la revegetación.

La capa impermeable tiene la finalidad de impedir el ingreso de las aguas de precipitación. La tierra agrícola, constituirá



el soporte físico y bioquímico de las plantas consideradas para la revegetación y la especie vegetal.

Para lograr los objetivos arriba mencionados,; se seleccionará el área adecuada de explotación, la cual se dividirá en forma de damero con secciones de 1 m<sup>2</sup>. Luego, cada área utilizable se dividirá en cuadrados de 10 cm de lado, obteniendo 100 pequeñas áreas a modo de maceteros o matas.

Finalmente, las matas recolectadas serán colocadas en las áreas indicadas para la revegetación, las mismas que serán dispuestas en una cantidad de 4 matas por metro cuadrado (m<sup>2</sup>).

#### **4.4.4. Revegetación**

Para Minera Aurífera Santa rosa, se ha propuesto utilizar especies de pastos nativos, las cuales están constituidas predominantemente por gramíneas, caracterizados por la resistencia a las condiciones climáticas y de suelos adversas, y que tienen características de rusticidad. Entre estas especies están:

##### **4.4.4.1. Calamagrostis vicunarum**

Especie perenne, de 10 a 30 cm de altura. Es una especie muy rústica que se desarrolla en suelos pobres, franco-limosos, de buen drenaje. Resiste bien a la sequía y las heladas. Cuando es tierno es apetitoso para el ganado. Habita en lugares secos en la zona altoandina, aproximadamente desde los 3 400 hasta 4500 m.s.n.m.

##### **4.4.4.2. Stipa Ichu**

Especie perenne, llega hasta 1.5 m de altura. Crece bien en

zonas secas de campos cultivados y caminos. Sus brotes tiernos son apetecibles sobre todo para el ganado bovino y equino. Es una gramínea que se desarrolla desde los 3 500 m.s.n.m. Su presencia indica pobreza de pasturas, porque crece en suelos pobres y resiste el sobrepastoreo y sequías prolongadas.

Teniendo en cuenta las condiciones climáticas y de altitud de la zona, se recomienda la utilización de pastos nativos, tales como, de *Stipa ichu* y *Calamagrostis vicunarium*, porque son las especies nativas más representativas y resistentes a las condiciones del medio, presentes en el área de influencia y no requiere cuidados especiales luego de ser plantados. Estas especies contribuirán a evitar la erosión del suelo, a mantener la armonía paisajística propia del área.

Para los métodos de revegetación, mantenimiento y monitoreo, se tiene más detalles en el capítulo 5 de la Elaboración del Plan de Cierre de la unidad Minera Aurífera Santa Rosa, desarrollado por (CESEL Ingenieros en el 2006).

#### **4.4.5. Plan de Monitoreo de Cierre y Post-cierre**

Durante la fase de ejecución de una infraestructura minera o durante su periodo de operación y cierre de minas, surge la necesidad de monitoreo geotécnicos de los materiales que interactúan con dicha estructura, sean estos materiales de soporte, como suelos de fundación o materiales que forman parte de su entorno, como el caso de taludes o laderas naturales que según su grado de estabilidad pueden representar una amenaza a poblaciones o estructuras cercanas. La puesta en marcha

de un monitoreo en particular, depende del grado de seguridad que se requiera para la inversión realizada y para sus usuarios, así como de los parámetros geotécnicos que se deseen evaluar, sean estas deformaciones, presión de poros, esfuerzos totales, entre otros.

Los objetivos de un programa de monitoreo del talud de desmonte son:

- Proporcionar un aviso anticipado de la inestabilidad de tal manera que los planos de la mina puedan ser modificados y así minimizar el impacto del desplazamiento de la pendiente.
- Proporcionar información geotécnica para analizar los mecanismos de desplazamiento de la pendiente, designar medidas correctivas apropiadas, y realizar futuros rediseños de la pendiente.
- Mantener los procedimientos operacionales de seguridad con el fin de proteger al personal y los equipos.
- Un desplazamiento de la pendiente no ocurre sin previo aviso. Antes de un movimiento principal, existe deformación mensurable y otros fenómenos que se observan tales como el desarrollo de grietas por tensión, y cambios en presión del poro relacionados con aguas subterráneas. Estos fenómenos pueden producirse durante horas y prolongarse hasta años antes que ocurra el desplazamiento principal. Un programa de monitoreo de la pendiente consiste en la detección, medida, interpretación y reporte sistemáticos de estas evidencias de inestabilidad de talud.

En el caso de esta investigación se plantea un plan de monitoreo el cual comprende de 2 etapas:

- Durante la estabilización física del depósito de desmonte (construcción)
- Al final de la construcción (cierre)

Durante la habilitación de las obras para el depósito de desmonte se instalarán los puntos de monitoreo tales como la instalación de piezómetros, puntos de control geodésico fuera del depósito de desmonte, en la etapa de llenado se plantea la instalación de control de asentamientos que serán ubicados y configurados según indicación del ingeniero especialista.

Durante la construcción se propone una evaluación de los datos de monitoreo que se realizara trimestralmente y estará a cargo por un Ingeniero Civil o Geólogo con experiencia en Geotecnia, el cual consistirá en una evaluación de los datos obtenidos durante este periodo, tal como las inspecciones visuales, asentamientos producidos en la cimentación, inclinación de los taludes, y la conformación de las banquetas tal como se indica en el proyecto. Entre tanto, la empresa minera deberá hacer una toma de datos mensual de las inclinaciones de los taludes y el ancho de las bermas según sea el caso, controles topográficos, evaluación visual.

#### **4.4.5.1. Piezómetros**

La correlación entre la presión del poro y la estabilidad de talud se encuentra bien establecida tanto en la teoría como en la práctica. La medición de los niveles de aguas subterráneas, así como el flujo del nivel piezométrico del agua de filtración es una parte importante del monitoreo y por lo general los piezómetros

amortiguadores simples son suficientes.

Así mismo estos punto de monitoreo se utilizara con el fin de evaluar la variación de la calidad del agua que atraviesa el sub suelo, debajo del depósito de desmonte, la profundidad del piezómetro se plantea en más de 20m, debiéndose profundizarse o modificarse según un estudio hidrogeológico detallado.

- Precisión, confiabilidad y costo

Los diferentes dispositivos que se pueden utilizar para realizar el monitoreo, así como la precisión y sofisticación de éstos, representan las funciones de ingenuidad, el tiempo y el presupuesto del ingeniero a cargo del monitoreo. Debido a que ninguno de estos factores son infinitos, se deben hacer elecciones difíciles. A continuación se indican algunas pautas generales para fines de priorización y toma de decisiones:

Primero, medir lo evidente. El desplazamiento superficial es el aspecto más directo y más crítico de la inestabilidad de talud.

Lo más simple es mejor. La confiabilidad de un sistema en serie es un resultado de la confiabilidad de los componentes individuales. Un dispositivo complejo mecánico o electrónico que tiene una salida teledada a una computadora, tiene menos oportunidad de funcionar cuando se lo requiere que dos estacas y una cinta para medir.

Precisión cuesta dinero. El costo de un dispositivo de medición frecuentemente es una función de potencia del nivel de

precisión. La medición de  $\pm 1$  centímetro es poco costosa comparada con la medición de  $\pm .0001$  centímetro. Para monitorear el movimiento de talud que tiene una velocidad de 5 centímetros por día, un micrómetro resulta innecesario.

Se requiere redundancia. Una sola técnica o un dispositivo no cuenta la historia completa. Un único extensómetro o punto de reconocimiento no puede indicar el área involucrada en la inestabilidad y, si ésta está dañada o destruida, se pierde la continuación del registro. (ver cuadro 4.4.5.1-1).

El informe oportuno es esencial. La recopilación de datos y el análisis deben ser realizados suficientemente rápido para proporcionar información a tiempo y así tomar decisiones.

**Cuadro 4.4.5.1-1 Presentación de los datos del Monitoreo**

<b>GRÁFICAS</b>
Desplazamiento Acumulativo vs Tiempo
Velocidad vs Tiempo (cm/día, semilogarítmico)
Precipitación vs Tiempo
Acumulación de Desmonte vs Tiempo
<b>MAPAS Y SECCIONES</b>
Mapa de Botadero con Ubicación de Áreas Inestables
Ubicaciones de los Puntos de Monitoreo con Vectores de Desplazamiento
Mapa de Grietas por Tensión
Ploteo Horizontal de Ubicación con Tiempo
Ploteo Vertical de Ubicación con Tiempo
Sección Cruzada del Área Inestable

*Fuente: Plan de Cierre CESEL 2006*

Se sugiere que los puntos de control y los puntos geodésicos para el monitoreo de posibles deslizamiento de los botaderos estén ubicados considerando las recomendaciones

anteriores.

#### **4.4.5.2. Frecuencia de Monitoreo**

El monitoreo para la estabilidad de la pila de desmonte comprende principalmente un monitoreo visual, de control topográfico y medición de calidad de agua y niveles piezométricos.

Estos serán variables de acuerdo ya sea para la habilitación del depósito de desmonte, llenado del depósito de desmonte y cierre.

El monitoreo visual se realizará mensualmente en la habilitación de las estructuras para el depósito de desmonte, y semestralmente en la etapa de llenado y se tomara nota de las inclinaciones de los bancos y talud general, se verificara resúmenes de agua hacia los lados laterales y al pie del depósito, se anotara la presencia de grietas de tensión que se formara en la cresta o berma, se evaluara los desprendimientos de las laderas adyacentes y se verificara así mismo las posibles grietas de tensión que se formara en las zonas altas de la ladera.

El monitoreo topográfico se controlara desde los puntos topográficos, instalados y su control se realizara trimestralmente y se anotara los desplazamientos en los tres ejes cartesianos y se presentara en reportes, cabe mencionar que se deberá realizar controles topográficos después de cada evento sísmico y alta precipitación.

Los monitoreo de nivel piezométrico se realizará

mensualmente en la etapa de construcción y trimestralmente, los datos tomados se evaluarán cada semestre con el especialista nombrado y se elaborarán planos de variaciones de niveles piezómetros, así mismo se correlacionará la variación de los niveles con los desplazamientos producidos en el depósito, para la evaluación hidrogeológica del área se realizará monitoreo mensual durante el lapso de un año hidrológico.

#### **4.5. Contrastación de Hipótesis**

##### **4.5.1. Contrastación de la Hipótesis general**

El proceso que permite realizar el contraste de hipótesis requiere ciertos procedimientos. Se ha podido verificar los planteamientos de diversos autores y cada uno de ellos con sus respectivas características y peculiaridades, motivo por el cual era necesario decidir por uno de ellos para ser aplicado en la investigación.

Ahora bien respecto a la prueba de hipótesis general, se utilizó el estadígrafo “r” de Pearson, que se define como

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Dónde:

r : Coeficiente de correlación entre “X” y “Y”

Sx: Desviación típica de “X”

Sy: Desviación típica de “Y”

Sx,y: Covarianza entre “X” y “Y”



**Cuadro 4.5.1-1 - Coeficiente de Correlación**

		Correlaciones	
		ESTABILIZACIÓN FÍSICA	PLAN DE CIERRE
ESTABILIZACIÓN FÍSICA	Correlación de Pearson	1	,822**
	Sig. (bilateral)		,002
	N	11	11
PLAN DE CIERRE	Correlación de Pearson	,822**	1
	Sig. (bilateral)	,002	
	N	11	11

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

**“r” de Pearson = 0,822**

Ahora bien, teniendo como referencia a Hernández, et al. (2006, p.453) se tiene la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74
Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
Correlación positiva media: +0,50 a +0,74
<b>Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89</b>
Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99
Correlación positiva perfecta: +1



hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Hi).

**d) Conclusión estadística:**

Se concluye que EXISTE una relación directa y significativa entre el método geotécnico de Estabilización Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

**e) Conclusión Técnica:**

Se concluye que EXISTE una relación directa y significativa entre el método geotécnico por Banqueteo para Estabilización Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y que se incluirá a futuro en el Plan de Cierre de Mina de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

**4.5.2. Contrastación de las hipótesis específicas**

**Hipótesis Específica N°01:**

**Cuadro 4.5.2-1 - Coeficiente de Correlación**

		<i>Correlaciones</i>	
		MÉTODO DE ANALISIS	PLAN DE CIERRE
MÉTODO DE ANALISIS	Correlación de Pearson	1	,747**
	Sig. (bilateral)		,008
	N	11	11
PLAN DE CIERRE	Correlación de Pearson	,747**	1
	Sig. (bilateral)	,008	
	N	11	11

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

**“r” de Pearson = 0,747**

Ahora bien, teniendo como referencia a Hernández, et al. (2006, p.453) se tiene

la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74

Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
<b>Correlación positiva media: +0,50 a +0,74</b>
<b>Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89</b>
Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99
Correlación positiva perfecta: +1

Y puesto que la “r” de Pearson es 0,694, éste es considerado como correlación positiva media. Ahora veamos la contrastación de hipótesis específica N° 01

**a) Planteamiento de hipótesis específica N°01**

**Hipótesis nula:** H<sub>0</sub>: NO existe una relación directa y significativa entre los métodos de análisis computacional para Estabilidad Física como equilibrio limite que se aplicaría en el Deposito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

**Hipótesis alterna:** H<sub>1</sub>: EXISTE una relación directa y significativa entre los métodos de análisis computacional para Estabilidad Física como equilibrio limite que se aplicaría en el Deposito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

Nivel de significancia o riesgo

$\alpha=0,05$ .

$gl = N - 2 = 11 - 2 = 9$

Valor crítico = 1,96



contenida dentro del Plan de Cierre de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

#### 4.5.3. Contratación de las hipótesis específicas

##### Hipótesis Específica N°02:

**Cuadro 4.5.3-1 - Coeficiente de Correlación**

		Correlaciones	
		FACTOR DE SEGURIDAD	PLAN DE CIERRE
FACTOR DE SEGURIDAD	Correlación de Pearson	1	,532
	Sig. (bilateral)		,092
	N	11	11
PLAN DE CIERRE	Correlación de Pearson	,532	1
	Sig. (bilateral)	,092	
	N	11	11

**“r” de Pearson = 0,532**

Ahora bien, teniendo como referencia a Hernández, et al. (2006, p.453)

se tiene la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74
Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
<b>Correlación positiva media: +0,50 a +0,74</b>
<b>Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89</b>
Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99
Correlación positiva perfecta: +1

Y puesto que la “r” de Pearson es 0,532, éste es considerado como correlación positiva media. Ahora veamos la contrastación de la Hipótesis Específica N°02:

**a) Planteamiento de la Hipótesis Específica N°02:**

**Hipótesis nula:** H<sub>0</sub>: NO existe una relación directa y significativa entre los factores de seguridad que determinan la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

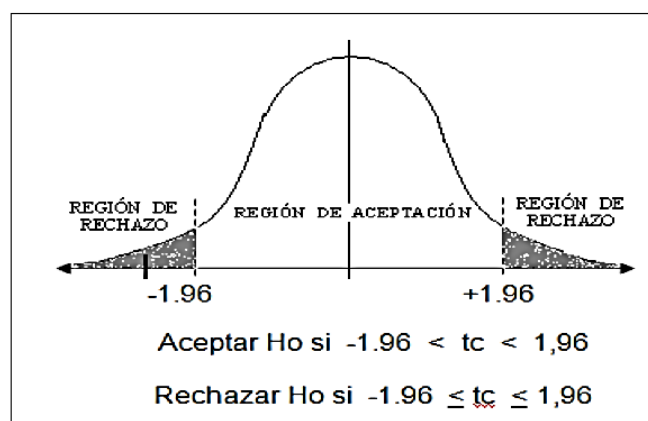
**Hipótesis alterna:** H<sub>1</sub>: EXISTE una relación directa y significativa entre los factores de seguridad que determinan la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

Nivel de significancia o riesgo

$$\alpha=0,05.$$

$$gl = N - 2 = 11 - 2 = 9$$

$$\text{Valor crítico} = 1,96$$



**b) Cálculo del estadístico de prueba**

$$N = 11$$

$$r = 0,532$$

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{1-r^2}$$

$$t = 2.23$$

**c) Decisión estadística:**

Puesto que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $2.23 > 1,96$ ), en consecuencia se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

**d) Conclusión estadística:**

EXISTE una relación directa y significativa entre los factores de seguridad que determinan la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

**e) Conclusión Técnica:**

Existe una relación directa y significativa entre los factores de seguridad que determinan la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur que son en condición estática min. 1.5 y Pseudoestática min. 1 que conlleva a estabilizar la estructura y que no afecta al medio ambiente el cual se incluirá en el Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

**4.5.4. Contratación de las hipótesis específicas**

**Hipótesis Específica N°03:**

**Cuadro 4.5.4-1 - Coeficiente de Correlación**

		Correlaciones	
		ANALISIS DE ESTABILIDAD	PLAN DE CIERRE
ANALISIS DE ESTABILIDAD	Correlación de Pearson	1	,871**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	11	11
PLAN DE CIERRE	Correlación de Pearson	,871**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	11	11

\*\* . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

**“r” de Pearson = 0,871**

Ahora bien, teniendo como referencia a Hernández, et al. (2006, p.453)



se tiene la siguiente equivalencia:

Correlación negativa perfecta: -1
Correlación negativa muy fuerte: -0,90 a -0,99
Correlación negativa fuerte: -0,75 a -0,89
Correlación negativa media: -0,50 a -0,74
Correlación negativa débil: -0,25 a -0,49
Correlación negativa muy débil: -0,10 a -0,24
No existe correlación alguna: -0,09 a +0,09
Correlación positiva muy débil: +0,10 a +0,24
Correlación positiva débil: +0,25 a +0,49
Correlación positiva media: +0,50 a +0,74
<b>Correlación positiva fuerte: +0,75 a +0,89</b>
Correlación positiva muy fuerte: +0,90 a +0,99
Correlación positiva perfecta: +1

Y puesto que la “r” de Pearson es 0,602, éste es considerado como correlación positiva fuerte. Ahora veamos la contrastación de hipótesis específica N°03.

**a) Planteamiento de la Hipótesis Específica N°03:**

**Hipótesis nula:** H<sub>0</sub>: NO existe una relación directa y significativa entre los análisis de estabilidad que se aplicaría a la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

**Hipótesis alterna:** H<sub>1</sub>: EXISTE una relación directa y significativa entre los análisis de estabilidad que se aplicaría a la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa

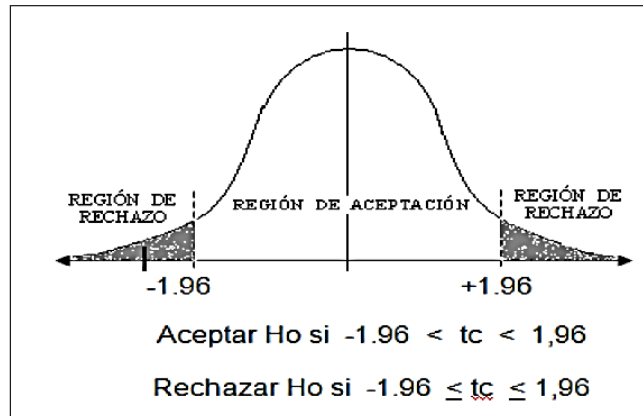
La Libertad 2016.

**b) Nivel de significancia o riesgo**

$$\alpha = 0,05$$

$$gl = N - 2 = 11 - 2 = 9$$

$$\text{Valor crítico} = 1,96$$



**c) Cálculo del estadístico de prueba**

$$N = 11$$

$$r = 0,871$$

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{1-r^2}$$

$$t = 10.82$$

**d) Decisión estadística:**

Puesto que  $t_c$  es mayor que  $t$  teórica ( $10.82 > 1.96$ ), en consecuencia se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

**e) Conclusión estadística:**

EXISTE una relación directa y significativa entre los análisis de estabilidad que se aplicaría a la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

**f) Conclusión Técnica:**

Existe una relación directa y significativa entre los análisis de estabilidad que se aplicaría a la Estabilidad Física del Depósito de Desmonte Tentadora Sur y Plan de Cierre de Minas de la Minera Santa Rosa La Libertad 2016.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN**

La interpretación de los resultados obtenidos de la investigación realizada se basa en la demostrar la relación entre el Método Geotécnico de Estabilización Física y el Plan de Cierre de Mina de Minera Santa Rosa S.A.

Respecto a la evaluación del riesgo ambiental conceptual en función de los entornos (humano, natural y socioeconómico), presentan RIESGO MODERADO

Respecto la evaluación de estabilidad física con la configuración final contiene un alto nivel de fiabilidad, que puede relacionarse directamente con la probabilidad de fracaso para un coeficiente de seguridad normado que es  $>1.0$  en condiciones Pseudoestáticas, en este caso el Factor de Seguridad fue de 1.21

De los ensayos especiales que se hicieron en este caso de corte Triaxial CD, realizadas a la calicata C-1 (Terreno Natural), C-2 (Desmante) y C-3 (Relleno Dique) toma las siguientes características del material del Depósito de Desmante.

- Angulo de Fricción promedio:  $32^\circ$
- Cohesión promedio de 33 kPa

Respecto a la estabilidad hidrológica se estimó los caudales con las máximas avenidas con un periodo de retorno de 500 años el cual está dentro del marco legal vigente. Además se consideró una vida operativa de 20 años, en tanto se determinó que las obras hidráulicas están dispuesto a aceptar hasta un riesgo de falla de 2.99% que es

mayor a 0.3% de riesgo de falla debido al material de la estructura (mampostería) y al caudal sobre la profundidad del flujo.

Respecto a la estabilidad geoquímica y revegetación se ha considerado dos tipos de cobertura para las obras de ejecución del plan de cierre, en tanto la empresa minera tendrá que revegetar la zona disturbada por la minera con el fin de preservar el medio ambiente.

Respecto al Plan de Cierre de Minera Santa Rosa se ha actualizado hasta el 2012, el proyecto de investigación en mención con los resultados en base a la estabilidad física y geoquímica el cual arrojan datos negativos en Factor de Seguridad inestable y material con presencia de sulfuros respectivamente el cual generaba una inestabilidad ambiental se ha determinado remediar el Deposito de Desmonte en tanto los valores luego de la remediación (estabilidad Física, hidrológica y Geoquímica) han superado los límites permitidos llegando a ser muy POSITIVO MUY POCO SIGNIFICATIVO y VIABLE para el presente estudio.

## CONCLUSIONES

1. Se ha logrado demostrar que la relación entre método de Estabilización Física y el Plan de Cierre de Mina del Depósito de Desmonte Tentadora Sur conllevan a un mismo propósito el de Remediar la zona del Depósito de Desmonte el cual no cuenta con un diseño conceptual el cual ha generado que la minera deposite el material del tajo hacia la zona del estudio sin tener un Diseño a nivel de Ingeniería de Detalle, en este caso se realizó dos etapas para remediar y estabilizar la zona del Depósito Tentadora Sur el cual la primera etapa fue de estabilizar la zona central donde la estructura ha fallado por aumento de carga actuante, que el apilamiento de material no estaba de acuerdo a una ingeniería de diseño y también por falla en la compactación del dique existente el cual se ha generado rajaduras. La segunda etapa fue remover y remediar la zona perimetral el cual se ha depositado de manera irresponsable los desmontes del Tajo Tentadora, el cual se realizó un apilamiento sobre la Etapa 1 (estabilizada).
2. Se ha logrado demostrar que los resultados de la evaluación de estabilidad física al Depósito de Desmonte, mediante la metodología del equilibrio limite y el algoritmo de Bishop Simplificado (Slide), basado en los parámetros de resistencia cortante y coeficiente sísmico de 0.15 g {Condición Pseudoestático), muestra gráficamente la superficie de falla más desfavorable, así mismo se ha demostrado que existe relación entre el factor de seguridad con Plan de Cierre el cual los factores mínimos que garantizan la estabilidad física del Depósito de Desmonte para la remediación del pasivo ambiental y la inclusión dentro del Plan de Cierre es de:
  - Condición Estática:  $FS=1.84 > 1.5$  (FS Mínimo admisible)
  - Condición Pseudoestática:  $FS=1.21 > 1.0$  (FS Mínimo admisible).

3. Se ha logrado relacionar que los análisis de estabilidad asumen superficies de falla tipo circular, planar o fallas del tipo bloque. Se utiliza los métodos de equilibrio límite de Bishop Simplificado y de Janbu. Para la realización de los análisis de estabilidad se utiliza el programa de cómputo SLIDE versión 6.0 de ROCKSCIENCIE. Los análisis de estabilidad consideran el comportamiento drenado mediante el uso de los parámetros de resistencia efectivos de suelos, materiales granulares y drenantes, que conforman los botaderos de desmontes. La evaluación con SLIDE v6 incluye estabilidad interbanquetas, estabilidad global. Se ha logrado demostrar que con un método común como el método de equilibrio límite en el campo de la estabilidad se puede realizar un estudio satisfactorio concluyendo en resultados coherentes. En este contexto el equilibrio límite ha demostrado ser un método que puede imponerse con mayor frecuencia debido a que presenta resultados de exactitud no lejana a los métodos más rigurosos de análisis como elementos finitos (tales como el de Spencer o el de Morgenstern-Price) sin realizar una inversión de tiempo tan alta. El cálculo utilizado es el método de dovelas, este método asume que no hay fuerzas de corte entre dovelas adyacentes y que la geometría de cada una queda definida por su altura,  $h$ , medida a lo largo de su línea central, su ancho,  $\Delta x$ , y por las inclinaciones de su base y de su parte superior,  $\alpha$  y  $\beta$  respectivamente. En tanto estas metodologías de análisis favorecen a la estabilización de taludes que está dentro del Plan de Cierre de Minas el cual determina que el presente estudio será estable dentro del ámbito ambiental.
4. El método más adecuado para la estabilización física, de acuerdo a las características físicas; volumen, emplazamiento y costo de ejecución. La alternativa de solución idónea es el Método de Banquetas, método en el cual se

usa el mismo material para su estabilización, con movimientos de material, aliviando la carga superior y tendiendo la pendiente del talud para adoptar una inclinación estable en condiciones estáticas y pseudo estáticas. La solución adoptada es la más económica y viable, puesto que la zona carece de canteras y materiales que generan costos poco económicos en las otras alternativas de solución. La solución adoptada para la Etapa 1 (Estabilización Física) implica un tendido del talud existente que adoptara un ángulo de  $25^{\circ}$  (1.8H:1V), y la Etapa 2 el ángulo de  $30^{\circ}$  (1.75H:1V) el cual se considera en ambos casos el talud local y para el talud global se considera un ángulo de reposo de  $22^{\circ}$  (2.5H:1V)..



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una Diseño de actualización a nivel de Ingeniería de Detalle al Depósito de Desmonte Tentadora Sur con la finalidad de incluir al Plan de Cierre Final y/o presentación a las autoridades del Ministerio de energía y Minas.
2. Se recomienda evaluar y determinar más factores de seguridad con diferentes taludes, ancho y altura de banquetas con el fin de tener más datos que corroboren la estabilidad física del Depósito de Desmonte.
3. Se recomienda realizar más métodos de análisis de estabilidad de taludes con diferentes programas computacionales y teorías para comparar los resultados con el análisis de equilibrio limite por Bishop de esta investigación. La utilización de los software facilita los cálculos para el diseño, pero se debe tener especial cuidado con la interpretación de los resultados y el criterio adecuado para discernir si los resultados ofrecidos son correctos.
4. Se recomienda tener un plan de monitoreo post-cierre a fin de garantizar la estabilidad física, geoquímica e hidrológica del Depósito de Desmonte.
5. Se recomienda prevenir la erosión, mediante la protección del talud con la revegetación.
6. Se recomienda construir canales de coronación y cunetas en bermas en todo el área del Depósito de Desmonte con el fin de evitar el flujo de aguas de escorrentía superficial ingresen al Depósito de Desmonte y genere inestabilidad en su estructura.
7. Se recomienda para reducir el nivel de fallas realizarlo el banqueto en capas horizontales delgadas y compactadas al 95% del Proctor Estandar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva Hurtado, J. E. (2002). Cimentaciones Superficiales. Lima, Perú: Publicación interna Facultad de Ingeniería Civil- UNI.
- Amoros, O. (2014) Tesis Evaluación de la Estabilidad de una Escombrera mediante el Método de Optimización de Distribución de Discontinuidades en el Marco del Eurocodigo 7, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia.
- Arellano, J. (2012) Introducción a la Ingeniería Ambiental. 1era. Edic. México.
- Azorín (2014) Tesis Análisis de Estabilidad de Taludes mediante Técnica de Modelación Numérica en 3D utilizando Plaxis 3D Foundation, Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba.
- Braja M., D. (2001). Principios de la Ingeniería de Cimentaciones (Cuarta ed.). México: Internacional Thomson Editores.
- Calsina Colqui, V. (2014). Granulometría. Universidad Privada Los Andes, Facultad de Ingeniería. Huancayo: Publicación Facultad de ingeniería - UPLA.
- Calsina Colqui, V. (2014). Relaciones Volumétricas. Universidad Privada los Andes, Facultad de Ingeniería. Huancayo: Publicación Facultad de ingeniería - UPLA.
- Carreño J. (2008) Tesis Diseño de Escombrera de la mina de Roca Fosfática, Cerro Riecito, Municipio Jacura Estado Falcón, Universidad Central de Venezuela.
- CESEL INGENIEROS. (2006). Plan de Cierre de la Unidad Minera Santa Rosa, La Libertad.
- Collin J. (1997) Desing Manual For Segmental Retaining Walls, 2da Edic.
- Cursio, Carmen. (2002) Investigación cuantitativa, Ed. Kinesis. Colombia.
- Guzmán A. (2012) Tesis Mitos y Realidades de los Planes de Cierre de Minas, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Leturia, J. (2003). Remediación de pasivos ambientales mineros y aprovechamiento

- económico. Revista Peruana Leturia, 2-5.
- M.E.M. (1995). Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas. Lima-Perú: Publicación oficial - El Peruano.
- M.E.M. (2010). Guía para la elaboración de planes de cierre de pasivos ambientales mineros. República del Perú, Dirección General de Asuntos ambientales Mineros. Lima: Publicaciones del Ministerio de Energía y Minas - DGAAM.
- MINCONSULT S.A. (2012) Actualización del Plan de Cierre de la Unidad Minera Santa Rosa, La Libertad
- M. T. C. (2012). Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. En Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial. Lima, Perú: El Peruano.
- Morales Monroy, R. (2008). Metodología de diseño para Taludes y Terraplenes de Suelo Reforzado. México: Publicaciones SMMS.
- Ortiz, O., Canchari, G., & Giralda, M. (2011). Diseño de disposición conjunta de relaves y desmonte en la mina Yauricocha. RIIGEO, 14(27), 37-46.
- Pe tersen, M. (2011). Análisis de Estabilidad de Taludes utilizando Método de Bishop
- Rojas, D. y Paredes, J. (2008). Compendio de Geología General. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.
- Sanchez Tuya, J. (2012) Estudio Hidrológico de la Unidad Minera Santa Rosa, La Libertad.
- Sierra, Restituyo (1995). Técnicas de investigación social: teoría y ejercicios, Ed. Paraninfo, Madrid.
- Villodas, R. (2008) Hidrología. Universidad Nacional del Cuyo.

## **ANEXOS**

***ANEXO A***

***MATRIZ DE CONSISTENCIA***

***ANEXO B***

***REGISTRO DE CALICATAS***

*ANEXO C*

*ENSAYOS DE LABORATORIO*

***ANEXO D***

***DISEÑO HIDRAULICO***



***ANEXO E***

***RESULTADOS DE ANALISIS DE ESTABILIDAD***

*ANEXO F*

*PLANOS*

***ANEXO G***  
***CUESTIONARIO***

***ANEXO H***

***FICHAS DE VALIDACION – JUICIO DE EXPERTOS***

***ANEXO I***

***VALIDEZ DE INSTRUMENTO – JUICIO DE EXPERTOS***

***ANEXO J***

***PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION – VARIABLE ESTABILIDAD  
FISICA***

***ANEXO K***

*PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION – VARIABLE PLAN DE CIERRE*

***ANEXO L***

***PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION – VARIABLE 1 ESTABILIZACION FISICA Y SUS  
TRES DIMENSIONES***



***ANEXO M***

***PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION – VARIABLE 2 PLAN DE CIERRE Y SUS TRES  
DIMENSIONES***

*ANEXO N*

*PANEL FOTOGRAFICO*

***ANEXO 0***

***CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA TESIS MINERA SANTA ROSA***