



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

Vicerrectorado de  
**INVESTIGACIÓN**

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

**“ANÁLISIS DE INESTABILIDAD DE TALUDES DE BOTADEROS DE  
ESTÉRILES DE GRAN ALTURA  
PARA PREDECIR SU FALLAMIENTO”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTOR:**

**JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES**

**ASESOR:**

**Dr. GUEVARA BENDEZU JOSÉ CLAUDIO**

**JURADO:**

**DR. MALPARTIDA CANTA ROMMEL**

**DR. CHAVARRY VALLEJOS CARLOS MAGNO**

**DR. PAZ FERNÁNDEZ RODOLFO JESÚS**

**LIMA-PERÚ**

**2018**



## **DEDICATORIA**

A Dios padre todo poderoso.

A mi Madre Maura Yolanda Vda. De Sotelo.

A mi querida esposa Delsi Rosario y a mis preciados tesoros  
mis queridos y adorados hijos: Milagros del Rosario, Mariana  
Alexandra y Carlos Enrique.

Por su confianza y apoyo durante mis estudios doctorales.



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme guiado y acompañado durante mis estudios doctorales, por ser mi fortaleza y sustento.

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, escuela Universitaria de Posgrado, en especial a mis señores doctores que me han capacitado y enseñado, por su confianza, apoyo y dedicación durante mi formación académica doctoral.

Al Señor Doctor José Claudio Guevara Bendezu, por sus valiosos aportes para la culminación de la tesis.

*Javier Enrique*

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
I. Planteamiento del problema.....	1
1.1 Descripción del Problema.....	1
1.2 Formulación del Problema.....	1
- Problema General.....	2
- Problemas Específicos.....	2
1.3 Justificación e importancia de la investigación.....	2
1.4 Limitaciones de la Investigación.....	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
II. Marco teórico.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
- Antecedentes Internacionales.....	5
- Antecedentes Nacionales.....	9
2.2 Marco conceptual.....	11

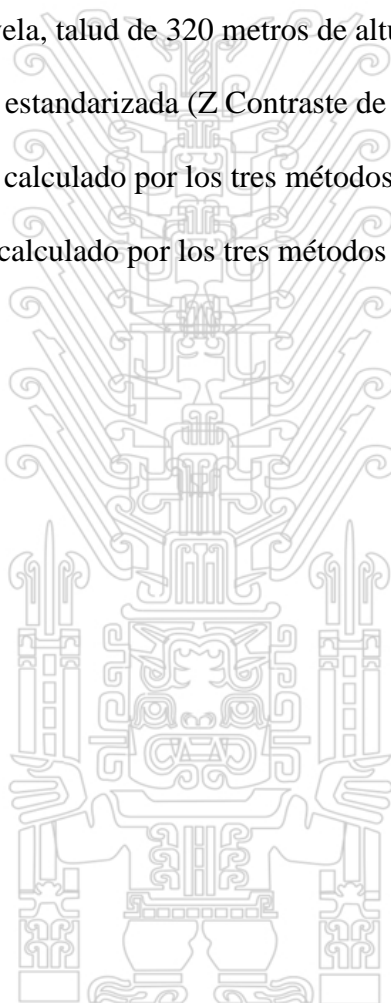
2.3	Aspectos de responsabilidad social y medio ambiental .....	37
III.	Método .....	38
3.1.	Tipo de investigación .....	38
3.2.	Población y muestra .....	40
3.3.	Hipótesis.....	40
3.4.	Operacionalización de variables.....	41
3.5.	Instrumentos .....	42
3.6.	Procedimientos .....	44
3.7.	Análisis de datos.....	44
IV.	Resultados.....	46
4.1	Contrastación de Hipótesis.....	72
4.2	Análisis e interpretación.....	74
V.	Discusión .....	75
5.1.	Discusión.....	75
5.2.	Conclusiones .....	79
5.3.	Recomendaciones.....	81
VI.	Referencias.....	82
	ANEXOS.....	86
	Anexo N°01: Matriz de consistencias.....	87
	Anexo N°02: Definición de términos .....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de corrimientos de tierras a nivel mundial en el ciclo 21 .....	5
Tabla 2. Casos históricos de fallas de presas de relaves en el mundo .....	8
Tabla 3. Casos históricos de fallas de presas de relaves en el Perú.....	10
Tabla 4. Operacionalización de variables.....	41
Tabla 5. Acceso al botadero de estériles oriental del túnel Punta Olímpica .....	46
Tabla 6. Componentes del Proyecto .....	48
Tabla 7. Sismos Históricos relacionados a la zona de subducción.....	52
Tabla 8. Resumen de los sondeos efectuados.....	54
Tabla 9. Variaciones del frente glaciar Broggi (Cercano a la zona del túnel).....	59
Tabla 10. Cuencas y micro cuencas en la zona de estudio.....	61
Tabla 11. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas o método sueco (FELENIUS).....	65
Tabla 12. Calculo del factor de seguridad por método de Bishop Simplificado .....	66
Tabla 13. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas por Duncan .....	67
Tabla 14. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas o método sueco (FELENIUS).....	69
Tabla 15. Calculo del factor de seguridad por método de Bishop Simplificado .....	70
Tabla 16. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas por Duncan .....	71
Tabla 17. Distribución normal estandarizada.....	72
Tabla 18. Discusión de resultados por diferentes métodos .....	76
Tabla 19. Discusión de resultados por diferentes métodos .....	77

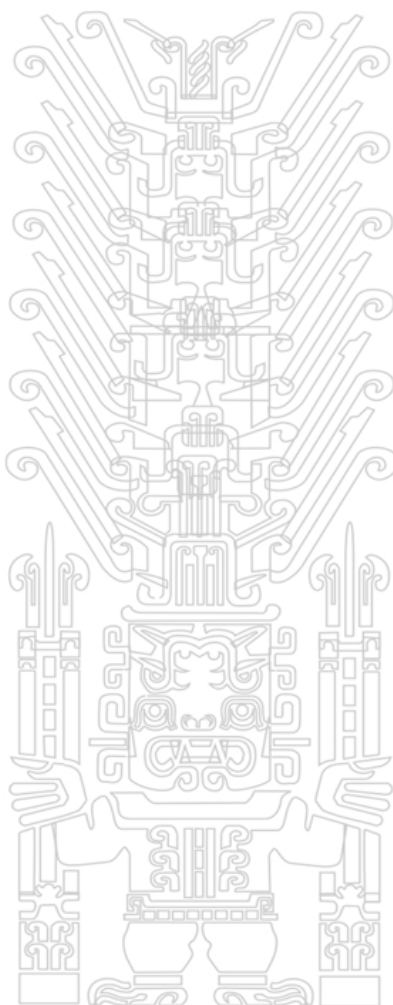
## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de una mina .....	11
Figura 2. Diagrama de cuerpo libre del talud de un botadero de estériles. ....	17
Figura 3. Diagrama de equilibrio de las fuerzas que actúan en cada dovela.....	26
Figura 4. Diagrama de cuerpo libre de una dovela.....	26
Figura 5. Diagrama de las dovela, talud de 100 metros de altura.....	64
Figura 6. Diagrama de las dovela, talud de 320 metros de altura.....	68
Figura 7. Distribución normal estandarizada (Z Contraste de una cola) .....	73
Figura 8. Factor de Seguridad calculado por los tres métodos para el talud lateral .....	76
Figura 9. factor de Seguridad calculado por los tres métodos para el talud central .....	77



## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 01: Matriz de consistencias .....	87
Anexo N° 02: Definición de términos .....	88



## RESUMEN

El presente estudio aborda el problema que enfrentan las grandes construcciones civiles como el de túneles carreteros y las minas cielo abierto que necesitan de botaderos de desmontes, estos botaderos a medida que crecen presentan problemas de inestabilidad por lo que es necesario realizar su análisis de estabilidad física para predecir su fallamiento.

El objetivo fue realizar el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento.

La metodología de investigación seguida ha sido del tipo observacional, descriptivo correlacional.

Los resultados obtenidos al realizar el análisis de inestabilidad por los métodos: Método de las Dovelas o método Sueco (Felenius), el Método de Bishop implicado y el Método de las Dovelas por Duncan nos predicen que al crecer el talud de un botadero en altura estos se hacen más inestables porque el factor de seguridad decrece.

Se concluyó que al hacer el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura nos permite predecir su fallamiento y establecer los criterios de alarma para su cierre temporal.

### **PALABRAS CLAVES:**

Análisis, inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura, predecir, fallamiento

## ABSTRACT

The present study addresses the problem facing large civil constructions such as road tunnels and open pit mines that need landfill dumps, these dumps as they grow present problems of instability so it is necessary to perform their analysis of physical stability to predict your fault.

The objective was to perform the slope instability analysis of high-altitude waste dumps to predict their failure.

The research methodology followed has been of the observational, correlational descriptive type.

The results obtained when performing the analysis of instability by the methods: Method of the Dovelas or Swedish method (Felenius), the Bishop Method involved and the Method of the Dovelas by Duncan predict that when the slope of a dump grows in height these they become more unstable because the factor of security decreases.

It was concluded that when analyzing the slope instability of high-level waste dumps, we can predict its failure and establish the alarm criteria for its temporary closure.

### KEYWORDS:

Analysis, slope instability of high-altitude waste dumps, predict, fault

## INTRODUCCIÓN

La investigación tiene como objetivo el de realizar el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento.

El tema es muy importante porque permitirá tener criterios de alarma para el cierre temporal del botadero hasta que se logre que las velocidades tengan valores más bajos del valor del inicio de la velocidad de colapso para evitar el fallamiento permitiendo trabajar con seguridad.

La metodología de investigación seguida ha sido del tipo observacional, descriptivo correlacional, en base a las propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas y dinámicas de los desmontes que son desechados en los botaderos constituyen los datos técnicos utilizados en gabinete en el cálculo de inestabilidad se empleó los métodos: Métodos de las Dovelas o método Sueco (Felenius), el Método de Bishop implicado y el Método de las Dovelas por Duncan, que calculan el FS y con este parámetro determinar si un talud es estable o no. Al crecer el talud en altura estos se hacen más inestables. Estos métodos nos permitirán establecer los criterios para el cierre temporal del botadero de estériles y establecer los métodos de estabilización de los mismos no permitiendo el fallamiento. El informe final del presente trabajo de investigación tiene la siguiente estructura:

En la primera parte se trata sobre los antecedentes, luego se aborda el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación, los alcances y limitaciones y se finaliza con la definición de variables. (Ver: «Capítulo I. Planteamiento del problema»).

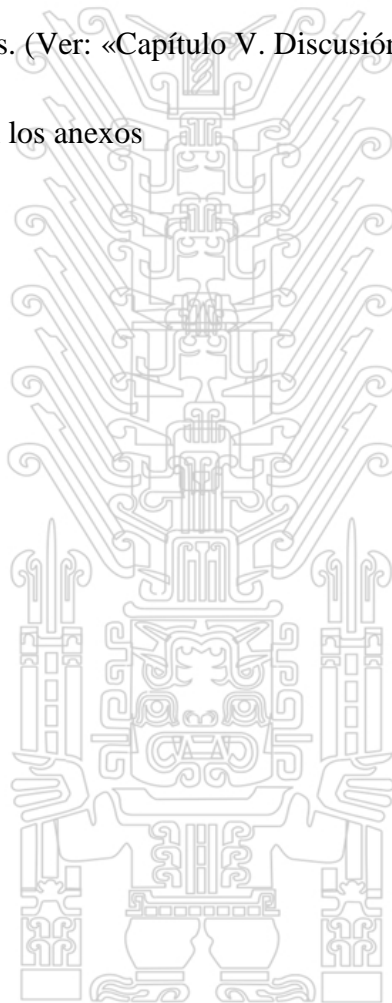
En la segunda parte se trata sobre las teorías generales relacionadas con la inestabilidad de taludes de gran altura, las teorías generales, bases teóricas especializadas sobre el tema, el marco legal y la hipótesis. (Ver: «Capítulo II. Marco teórico»).

En la tercera parte se trata sobre el tipo y diseño de investigación, la estrategia de prueba de hipótesis, la población, la muestra, las técnicas e instrumentos y/o fuentes de recolección de datos. (Ver: «Capítulo III. Método»).

En la cuarta parte se presentan la presentación de los resultados con la contratación de la hipótesis y el análisis e interpretación. (Ver: «Capítulo IV. Presentación de resultados»).

En la quinta y parte final se trata sobre la discusión, las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas. (Ver: «Capítulo V. Discusión»).

Finalizando el informe con los anexos



## **I. Planteamiento del problema**

### **1.1 Descripción del Problema**

Las construcciones civiles de túneles carreteros y las mineras a cielo abierto necesitan de botaderos de desmontes, estos botaderos son diseñados para almacenar, material estéril procedente del movimiento de tierras, las desmonteras en épocas de lluvias presentan graves problemas de inestabilidad de taludes debido al aumento en la presión de poros ejercida por el agua, las discontinuidades preexistentes, el tipo de los estériles, las cargas adicionales que son las que condicionan su estabilidad, los deslizamientos de los taludes, caída de las crestas de los bancos, agrietamientos, presencia de agua; hacen que sea necesario la determinación de las condiciones de estabilidad física de los depósitos de desmonte en sus etapas inicial, construcción y final, dependiendo del tipo de deslizamiento que podría ocurrir (falla del tipo circular, plana, cuña y/o volcamiento), para esto se deben seguir procedimientos de análisis de estabilidad, cuantificados por el llamado Factor de Seguridad, para luego poder dar un valor de estabilidad al talud llamado SMR (Slope Mass Rating), el cual nos sugerirá los tratamientos que debemos realizar sobre el botadero para asegurarlo. Para el desarrollo de la investigación es necesario la revisión bibliográfica y de los trabajos de investigación referente al tema de inestabilidad de taludes.

### **1.2 Formulación del Problema**

En la construcción de los botaderos cuando estos van ganando altura, creando taludes y por ser dinámicos experimentan deformaciones por la consolidación y compactación, estas deformaciones pueden ser localizadas,

sectorizadas y de plataforma, estos pueden producir colapsamientos originando pérdidas de tiempo y económicos, siendo de necesidad la evaluación física de inestabilidad para predecir su fallamiento.

- **Problema General**

¿De qué manera el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura predice su fallamiento?

- **Problemas Específicos**

- ¿Cómo hacer el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura?
- ¿Cómo calcular el factor de seguridad?
- ¿De qué manera se hará la evaluación sísmica para establecer criterios de alarma para el cierre temporal?

### 1.3 Justificación e importancia de la investigación

El análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura está justificado porque permitirá tener criterios de alarma para el cierre temporal del botadero hasta que se logre que las velocidades bajen a un valor por debajo del valor del inicio de la velocidad de colapso para evitar el fallamiento permitiendo trabajar con seguridad.

Teórica: Las rocas que componen la estructura del botadero de desmontes son un ensamble de bloques de roca intacta, delimitados en tres dimensiones por un sistema o sistemas de discontinuidades. Estas discontinuidades pueden ocurrir de una forma aleatoria o sistemática.

Siendo necesario hacer el análisis de inestabilidad física para predecir su

el tema planteado el mismo que servirá como fuente de información y antecedentes para la realización de otras investigaciones relacionada con el análisis de estabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura.

Práctica: Se justifica porque está basado en el principio de seguridad de los trabajadores, equipos y maquinarias que laboran en los botaderos.

Metodológica: Para el estudio de estabilidad asume superficies de falla tipo circular, planar o de tipo bloque, apoyado en el análisis matemático.

Social: Se justifica porque con el análisis de inestabilidad de los botaderos cuidamos la seguridad, la salud en el trabajo y el ambiente que Contribuyen con la mejora continua especialmente con el recurso humano, propiciando un espacio de trabajo seguro, velando por su integridad física, previniendo y minimizando los riesgos laborales, tanto del personal como de las maquinas que trabajan en el botadero.

#### **1.4 Limitaciones de la Investigación**

La limitante es la data muy escasa porque estos son muy confidenciales, también la poca o casi nula bibliografía en castellano sobre análisis de inestabilidad de taludes, y esta investigación aportara con conocimientos sobre el tema.

#### **1.5 Objetivos**

##### **1.5.1 Objetivo General**

Realizar el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles.
- Calcular el factor de seguridad para predecir cómo fallara el botadero de estériles de gran altura.
- Realizar la evaluación sísmica para establecer criterios de alarma para el cierre temporal.



## II. Marco teórico

### 2.1 Antecedentes

#### - Antecedentes Internacionales

En la siguiente tabla se presenta la lista de corrimientos de tierras. Es una lista de notables Corrimientos de tierras a nivel mundial. Esta lista es muy incompleta así como no hay ningún catálogo central para corrimientos de tierras. (List of landslides, 2013).

Tabla 1. Lista de corrimientos de tierras a nivel mundial en el ciclo 21

Fecha	Lugar	Nombre/ artículo	Lat.	Largo.	Volumen	Bajas	Comentarios
9 de noviembre de 2001	Amboori Kerala, India					40	Es de suponer el peor corrimiento de tierras en la historia de estado de Kerala.
26 de marzo de 2004	Organice Bawakaraeng Sulawesi del sur Indonesia				200 - 300 MCM	32	Corrimiento de tierras causado por colapso de pared de caldera
10 de enero de 2005	Conchita, California, Estados Unidos de La	2005 La Conchita corrimiento de tierras			200,000 m <sup>3</sup>	10	Remoción de material coluvial, flujo de escombros desde 1995
17 de febrero de 2006	Leyte del sur Filipinas	2006 Leyte mudslide Del Sur			15 MCM	1126	Escombros de roca alud activado en el período de diez días de lluvia pesada
11 de junio de 2007	Chittagong Bangladesh	2007 Chittagong mudslide				123	La serie de corrimientos de tierras causados por ilegales recorte y monzón de ladera llueve

6 de septiembre de 2008	El Cairo Egipto	2008 corrimiento de tierras de El Cairo				119	Rockfall de acantilados, cantos rodados individuales hasta 70 toneladas
9 de agosto de 2009	Pueblo, Kaohsiung de Siaolin Taiwán	Siaolin mudslide			30 - 45 MCM	439-600	Resultado de Tifón Morakot.
4 de enero de 2010	Attabad Gilgit Baltistan Pakistán	Valle de Hunza Corrimiento de tierras			30 MCM	20	Se organizado Attabad Lake By conteniendo Río de Hunza bloqueado Carretera de Karakoram
20 de febrero de 2010	Isla de Madeira Portugal	2010 inundaciones y mudslide de Madeira				42	
1 de marzo de 2010	Zona de Bududa Uganda	2010 corrimiento de tierras ugandés				100-300	
10 de mayo de 2010	Santo Jude Quebec					4	
23 de mayo de 2010	Jiang Zhidong Jiangxi, Porcelana	2010 descarrilamiento de Jiangxi				0	Se causó el corrimiento de tierras en anteriores días de lluvia pesada e inundación en la región.
6 de agosto de 2010	Cala escasa Columbia Británica, Canadá	Escaso Corrimiento de tierras			40 MCM	0	Segundo mayor corrimiento de tierras en historia de Canadá
8 de agosto de 2010	Gansu, Porcelana	2010 Gansu mudslide				1,287	
8 de octubre de 2011	Planche Condado, Uta, Estados Unidos		37.6 3°N	112.94 °W	4 MCY	0	1,300 pies cubiertos de Ruta de Estado de Uta 14.

10 de abril de 2013	Salt Lake City Uta, Estados Unidos	Mina de Cañón de Bingham Corrimiento de tierras	40.5 23° N	112.15 1°W	55 MCM	0	Posiblemente el mayor corrimiento de tierras histórico, novolcánico, terrestre en América del Norte.
16 de junio de 2013	Kedarnath Uttarakhand, India	2013 Norte inundaciones de India				5,700	
13 de diciembre de 2013	Rockville; Uta; Estados Unidos				Varios cientos de toneladas	2	El único canto rodado aplastó una casa de dos pisos con sus residentes en el interior.
22 de marzo de 2014	Oso Washington, Estados Unidos	2014 Oso mudslide	48.2 83° N	121.84 7°W	0 MCM (estimado)	43	49 estructuras destruidas o afectado
2 de mayo de 2014	Zona de Argo Provincia de Badakhshan Afganistán	2014 Badakhshan mudslide				350-500 informo	4,000 personas desplazadas
30 de julio de 2014	Malin Charla de Ambegaon Zona de Pune Maharashtra, India	2014 corrimiento de tierras de Malin	19°9 & prime; e;40 & Prime; e;N	73°41 & prime; 18 & Prime; E		136	100 + desaparecidos
2 de agosto de 2014	Sunkoshi Zona de Sindhupalchok Nepal	2014 obstrucción de Sunkoshi			5.5 MCM	156+	
20 de agosto de 2014	Prefectura, Japón de Hiroshima	2014 corrimientos de tierras de Hiroshima				50+	38 + desaparecidos, más extremadamente corrimientos de tierras en Japón en 42 años

29 de octubre de 2014	Zona de Badulla Sri Lanka	2014 corrimiento de tierras de Badulla				100+	300 + Cientos de desaparecidos
13 de diciembre de 2014	Pueblo de Jemlung Java Indonesia	2014 corrimiento de tierras de Indonesia				32+	76 + desaparecidos
23 de abril de 2015	Provincia de Badakhshan Afganistán	2015 corrimientos de tierras de Badakhshan				52	
28 de abril de 2015	Salvador Bahía Brasil	2015 corrimiento de tierras de Bahía				14	
18 de mayo de 2015	Salgar Departamento de Antioquia Colombia	2015 corrimiento de tierras de colombiano				78	37 desaparecidos
1 de octubre de 2015	El Cambray Dos Departamento de Guatemala	2015 corrimiento de tierras de Guatemala				220	350 desaparecidos.
13 de noviembre de 2015	Pueblo de Lidong Zhejiang, Porcelana					38	

Fuente: Wikipedia. (2017). Landslide, de Wikipedia Sitio web: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_landslide](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_landslide)

Tabla 2. Casos históricos de fallas de presas de relaves en el mundo

Botaderos de estériles	Altura (m)	Tipo de Presa	Talud (H : V)	Tipo de Falla	Causas	Año	Fatales
Barahona (Chile)	61	Aguas arriba	1:1	Licuación	Sismo Ms=8.3	1928	54
Dos Estrellas	----	Aguas arriba	---	Inestabilidad talud	Infiltración	1937	70
El Cobre (Chile)	35	Aguas arriba	1.2:1	Licuación	Sismo Ms=7.2	1965	>200
Moshikoshi (Japón)	28	Aguas arriba	3:1	Licuación	Sismo Ms=7.0	1976	
Bafoken	---	Aguas	---	Instabilidad	Infiltración	1974	12

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

UNFV

(Sudafrica)		arriba		ad talud	ón		
Stava (Italia)	29	Aguas arriba	1.5:1	Inestabilidad de talud	Falla de muros	1985	
Veta de agua (Chile)	24		1.9:1	Licuación	Sismo Ms=7.8	1985	268
Aznalcollar (España)	21			Rotura de Talud		1998	
Tapo Canyon (E.E. U.U.)	24			Rotura de Talud	Sismo Ms=7.8		

Fuente: USCOLD (UNITED STATES COMMITTEE ON LARGE DAMS), 1994.

En Sudamérica la tarde del 5 de noviembre de 2015, Más de 1,200 hectáreas fueron afectadas por los residuos tóxicos al romperse los muros de contención de las presas Fundão y Santarém; de la minera Samarco (propiedad de Vale y BHP Billinton); en el municipio de Mariana, Minas Gerais, Brasil. Los desechos llegaron al río Doce, cuya cuenca abastece a la población de más de 230 municipios de los estados de Minas Gerais y Espírito Santo. Por lo menos 30 mil peces fueron encontrados muertos, 19 personas murieron y centenas quedaron sin hogar en lo que ha sido catalogada como la peor tragedia ambiental de la historia de Brasil. (Actualidad – Noticias, 2016).

#### - **Antecedentes Nacionales**

([http:// biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos](http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos), 1996). En el Perú existen alrededor de 176 minas de extracción de metales en operación. Se desconoce el número de componentes de minas inactivos tales como bocaminas, tajos abiertos, botaderos de

desmante, botadero de estériles, pilas de lixiviación o áreas de procesamiento asociadas con minas activas o inactivas.

Para un caso específico, solo meses después de su inauguración, la presa de clarificación de la mina Las Bambas colapsó por las lluvias, esta mina fue modificada sustantivamente en más de 3 ocasiones a través de procedimientos rápidos vía paquetazos ambientales. (Fonteras, 2016).

El 5 de Julio del 2010 a las 02:50 a.m., aproximadamente se produjo una falla en el Botadero Tucush 4,358 m.s.n.m. (354 metros de altura) deslizándose 2.5 millones de m<sup>3</sup> de material, perdiéndose 56 metros de plataforma. (Paredes & Velasquez, 2011).

Tabla 3. Casos históricos de fallas de presas de relaves en el Perú

Presa de Relaves	Altura	Año	Causas	Estado	Daños Ambientales
Casapalca (Lima)	60 m	1952	Sismo	Abandonado	Contaminación del río Rímac y numerosos desaparecidos
Milpo (Pasco)	60 m	1956	Sismo	Reconstrucción	Daños humanos y ambientales.
Almivirca (La Libertad)	40 m	1962	Sismo, Lluvias	Abandonado	Daños ambientales en agricultura, ganadería e infraestructura
Yauliyacu (Lima)	80	1968	Sismo	Abandonado	Contaminación del río Rímac, interrupción de carretera central.
Recuperada (Huancavelica)	45	1969	Desconocida	Operativa	Contaminación al medio ambiente, daño a la agricultura.
Quiruvilca (La Libetad)	40	1970	Sismo-1970	Abandonado	Contaminación del río San Felipe
Atacocha (Pasco)	--	1971	Drenaje	Abandonado	Contaminación del río Huallaga por caída de 100 mil toneladas de relaves.
Ticapampa (Ancash)	20	1971	Construcción	Abandonado	Contaminación del río Santa por 2 millones toneladas de relaves, muertes y viviendas destruidas.
San Nicolás (Cajamarca)	--	1980	Construcción	Abandonado	Contaminación del río Tingo (Hualgayoc) y daños a la agricultura.

Amatista (Arequipa)	--	1996	Sismo Nazca	Abandonado	Contaminación y represamiento del río Acari con 600 mil m <sup>3</sup> de relaves.
Caravelí (Arequipa)	--	1996	Sismo Nazca	En Operación	Relaves con Cianuro y Mercurio, contaminan la quebrada de Huanu - Huanu.
Caudalosa (Huancavelica)		2010	Inestabilidad del talud	En Operación	Contaminación de los ríos Totorá, Escalera, Huachocolpa, Lircay, matando miles de truchas, y destruyendo pastizales y sembríos.
Mina Huancapetí (Ancash)		2018	Inestabilidad del talud	En Operación	Derrame a las 00:15 horas del 3 de marzo, debido al colapso de la Presa de Relaves N° 2 en la unidad de Huancapetí, de la Compañía Minera Lincuna S.A. Según el reporte de Emergencia Ambiental presentado por la empresa, se ha deslizado 50,000 m <sup>3</sup> de relave.

Fuente: Ing. CARRILLO GIL, Arnaldo. Primer Simposio Nacional de Medio Ambiente y Seguridad Minera. 1997. Actualizado por el tesista.

## 2.2 Marco conceptual

### Botadero de Desmonte

Se denomina botadero a toda aquella acumulación de materiales sólidos de granulometría variable procedentes de las obras y que son aculados para tenerlos bajo control, para la construcción del botadero no se debe de mezclar los tipos de material que llegan al mismo. (López, 2006).

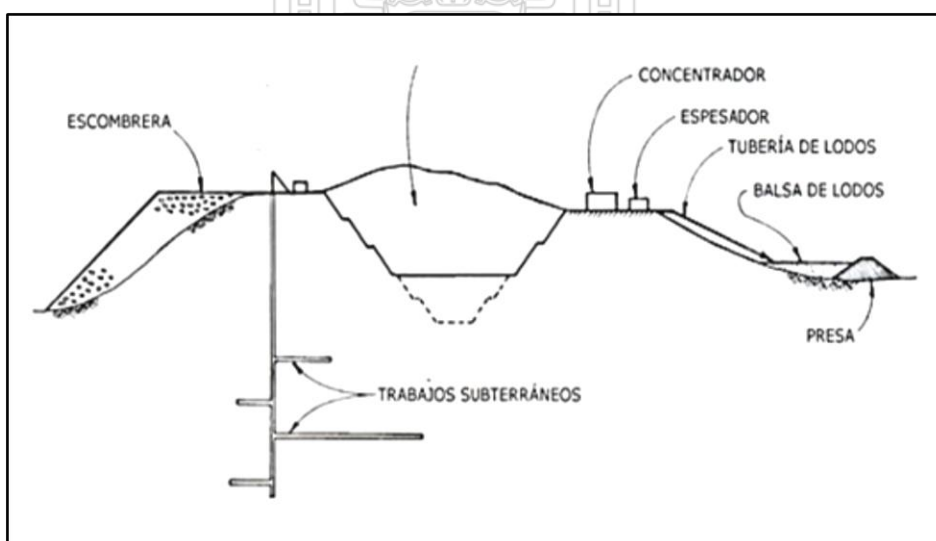


Figura 1. Diagrama de una mina

Fuente: Libro manual de Construcción y Restauración de Escombreras, 2006

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

## Tipos y descripción de los botaderos de desmonte

Se pueden describir atendiendo, normalmente, a los siguientes criterios.

- a) **Por sus dimensiones:** Se considera botadero a cualquier acumulación de materiales que sobrepase los 25,000 m<sup>3</sup> de volumen, los 15 m. se dividen en:

**Grandes.** - Altura mayor a 30 m.

**Medianas.** - Altura mayor a 20 m y menor a 30 m.

**Pequeñas.** - Altura mayor a 15 m y menor a 20 m.

- b) **Por su emplazamiento**

De vaguada

De ladera

De divisoria.

- c) **Por el tipo:**

Por gravedad

Por fases adosadas

Botaderos con dique

Estructuras mixtas

- d) **Por su riesgo:**

**Clasificación por riesgo (Tipo A):**

- **Botaderos Tipo AI:** Cero riesgo.
- **Botaderos Tipo AII:** Riesgo moderado.
- **Botaderos Tipo AIII:** Riesgo elevado.

### **Clasificación por seguridad ligada a la presencia de agua y problemas del cimiento (Tipo B):**

- Botaderos normales (Tipo BI): Sin efecto de aguas freáticas y en cuya estabilidad no interviene el cimiento.
- Botaderos sometidos a filtración (Tipo BII): Agua en grietas o fisuras y riesgo de deslizamiento por la cimentación. (López, 2006).

### **Partes de la desmontera**

Un botadero tiene las siguientes partes:

- **Fundación y geomorfología:** muy importante porque en esta es donde reposa el material acumulado, puede estar constituido por suelos o rocas. La geomorfología indica como es la fundación, estas pueden ser regulares y se presentan formas geométricas casi definidas e irregulares el área de fundación presenta formas geométricas irregulares.
- **Material de Botadero:** varía de finos a gruesos. El ángulo de reposo de estos materiales y define el ángulo de reposo del talud. En general el material de los botaderos es grueso
- **Altura de botadero:** varía de 15 metros a más. Algunos autores consideran taludes de gran altura cuando están por encima de 100m.
- **Longitud de plataforma:** Las plataformas (paralelo al avance del botadero) pueden variar desde 75m hasta 100m, estas dimensiones son las más óptimas en el sentido de ser seguros y operativos ya que, plataformas menores a 75m son muy angostas para el trabajo de descarga del camión en conjunto con buldozers.

- **Ancho de plataforma:** Es perpendicular al avance del botadero, se va conformando conforme se avanza con las descargas, estos anchos pueden variar para una misma plataforma si la topografía es irregular o si las descargas no se realizan de manera uniforme, tener presente que un botadero puede tener muchas plataformas. (Braja, 1985).

### **Tipos de rotura de escombreras**

Se tienen los siguientes tipos:

- a) **Deslizamientos superficiales:** Desmontes sin cohesión. Normalmente, son rápidos y no suelen afectar a grandes volúmenes, salvo que se produzca una alteración sustancial de su geometría, por ejemplo, por socavación.
- b) **Deslizamientos profundos:** Circular o mixto, paralelos a un contorno de base. evolucionan con el tiempo condicionada por fenómenos de fluencia, rotura progresiva, etc., y, generalmente, afectan a masas importantes de escombros. Predominan en materiales con rozamiento y cohesión. Los problemas de estabilidad son por la presencia de agua generalmente. (Quispe, 2013).

### **Rotura de borde**

Rotura de cresta, se produce, generalmente, en escombreras con crestas de fuertes pendientes, con materiales finos y cohesivos, y cuando la construcción es rápida. En algunos casos ocurren fuertes precipitaciones, donde se genera una importante presión intersticial en el material fino, con la pérdida de la cohesión aparente. También puede ocurrir cuando el

tongadas, permitiendo desarrollar una presión intersticial alta. Las altas precipitaciones y las fuertes pendientes también pueden iniciar el fallamiento del botadero.

Por lo general, la falla de borde ocurre debajo de la cresta, sin embargo, la parte central y la base no se ven afectados. Es más probable que se produzca la falla de borde en escombreras construidas por descarga directa a grandes alturas y rápido crecimiento de la cresta, o cuando el material tiene mucho de fino y es degradable. (Quispe, 2013).

### **Rotura planar**

La rotura planar es cuando existe debilidad situado en el interior de la escombrera. Si el plano de debilidad no corta el talud de la escombrera, la rotura se produce en el pie. (Quispe, 2013).

### **Rotura rotacional**

Es el movimiento del material a lo largo de una superficie de rotura en forma circular o curvilínea, provocada por la rápida descarga e material fino en la desmontera. Y puede iniciarse por las altas presiones intersticiales. (Quispe, 2013).

### **Rotura en flujo**

Es provocada por el desliz de materiales saturados y derrumbamiento o colapso de las caras. Generalmente, son roturas de poca profundidad acompañadas de la fluidificación del material saturado, o parcialmente saturado, en la parte superior por la presencia de aguas pluviales. El

volumen y la rapidez del flujo del material pueden incrementarse pendiente

abajo por la erosión de la base, la fuerza del flujo irá aumentando. (Quispe, 2013).

### **Bases teóricas especializadas**

#### **Análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura**

Los taludes de botaderos de estériles por ser estructuras construidas artificialmente están propensos a inestabilidades por causas de su propio peso, procesos de infiltración de aguas superficiales, sismos, etc. y se necesita el análisis de inestabilidad de estas estructuras para identificar dichas fallas y luego mitigar o eliminar dichas inestabilidades. Para el análisis se sigue los mismos procedimientos generales y métodos básicos de cálculo manual y con software especializado de represas de agua, con la diferencia de que éstas son más complejas, de modo que se necesita un amplio conocimiento de la conducta de los parámetros de resistencia de los estériles que conforman el botadero y en especial de la presión de poros para aplicar las técnicas de análisis convencionales de una manera racional. En la actualidad el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura se plantea desde los siguientes puntos de vista:

- Análisis estático.
- Análisis dinámico.
- Análisis hidráulico.

#### **Análisis de estabilidad estática**

El análisis estático de taludes de botaderos de estériles de gran altura, se

cimentación, que consiste en la determinar el factor de seguridad, por cualquier método de los hasta hoy conocidos. Esto es la relación entre el momento de la fuerza de fricción que se desarrolla a lo largo de la superficie de deslizamiento (momento resistente) y los momentos de las fuerzas actuantes en las masas sujetas a deslizamiento (momento actuante). (Villarreal, 2004).

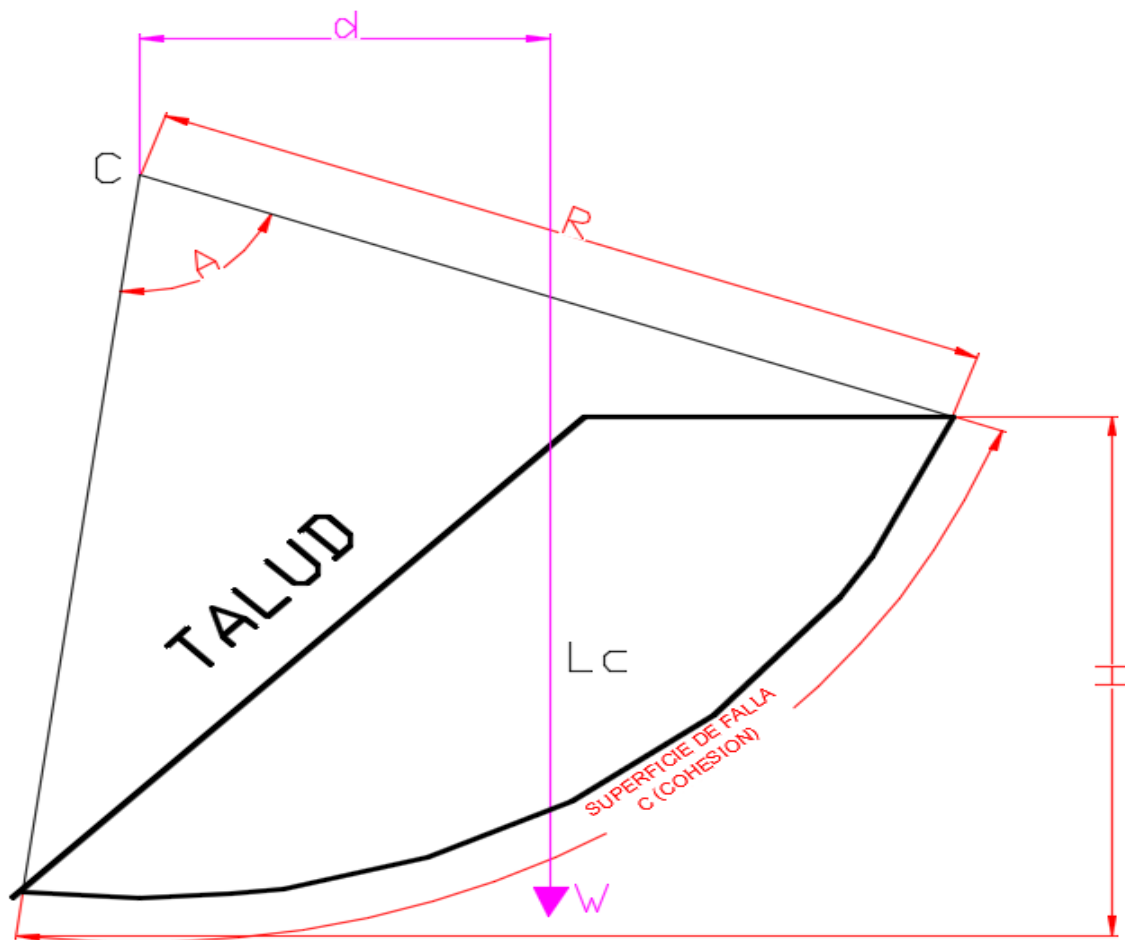


Figura 2. Diagrama de cuerpo libre del talud de un botadero de estériles.  
Fuente: Juárez, E., & Rico, A. Mecánica de suelos tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos. 1ra Edición, 1963.

Dónde:

R : Radio del círculo de falla del talud

A : Angulo interior formado por los límites del Talud

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

UNFV

H : Altura del talud.

W : Peso de la masa deslizante.

Lc : Superficie de falla.

De la figura N° 4 obtenemos fácilmente las siguientes ecuaciones:

$$M_A = d * W \quad \text{y} \quad M_R = C * L * R \quad \dots \text{Ec. (1)}$$

Entonces podemos definir el Factor de Seguridad como:

$$F.S. = \frac{M_R}{M_A} \quad \dots \text{Ec. (2)}$$

Dónde:

F.S. = Factor de seguridad.

MR = Momento Resistente.

MA = Momento Actuante

Conocido el factor de seguridad de un talud, podemos determinar la inclinación del talud convenientemente, o si, por el contrario, ver si conviene construirlo más o menos téndido. La determinación del factor de seguridad del talud, es indispensable para diseñarlo y deberá obtenerse para distintas superficies de falla, hasta encontrar la superficie crítica.

El factor de seguridad es un parámetro condicionante, es decir:

**Si F.S. >1.00; El talud será estable.**

**Si F.S. < 1.00; El talud será inestable.**

Análisis convencional por el método de las dovelas o rebanas o más conocido como el método sueco, modelado matemáticamente por:

- Fellenius
- Bishop y
- Duncan – Buchignani.

Los cuales han sido efectuados a través de un procedimiento de cálculo manual iterativo.

- Análisis computacional con el software Slide. el programa que calcula los factores de seguridad bajo condiciones estáticas y pseudo estáticas.

### **Parámetros ingenieriles para el análisis de estabilidad**

Los parámetros más importantes para el análisis de estabilidad de talud en una presa de relaves se pueden resumir en los siguientes términos:

1. Resistencia al esfuerzo cortante de material estéril:
  - a. Cohesión ( $C$ ) y,
  - b. Angulo de fricción del material estéril ( $\phi$ ).
2. Pendiente del talud o ángulo de inclinación del talud.
3. Altura del talud.
4. Peso unitario del material.
5. Presión de poros.

Como el análisis matemático requiere de estos parámetros, es necesario hacer un comentario, sin antes manifestar que alguno de estos parámetros ha sido obtenido por ensayos de laboratorio y otros por mediciones in-situ.

- **Cohesión (C):** Es un parámetro que indica la resistencia al corte del suelo, es una fuerza de unión entre las partículas del suelo. Se determina por pruebas de laboratorio.
- **Angulo de fricción ( $\phi$ ):** Es el ángulo máximo entre la tensión normal y la tensión resultante que actúa sobre una superficie interna de un suelo. Es la fuerza de contacto. Se determina por pruebas de laboratorio.
- La cohesión y el ángulo de fricción son parámetros sobre la cual algunos investigadores han manifestado algunas conclusiones:
  - a. (Shempton, 1963) Estableció la diferencia fundamental entre la resistencia máxima y la residual de los suelos; hizo ver que la resistencia desarrollada por una masa deslizante podría no ser tan alta como la resistencia máxima convencional a lo largo de toda la superficie de falla. Por otra parte, también esta podría disminuir pero no alcanzar la resistencia residual (por estar separados).
  - b. (Bishop, 1966) Hizo ver que la resistencia de un talud esté más próxima a la resistencia obtenida en campo de la que se obtiene en el laboratorio.

c. (Patton, 1966) Por estudios de laboratorio llego a establecer que para un material dado la deformación a la que ocurre la resistencia máxima depende de la presión normal.

- **Presión de poros:** Es la presión que ejerce el agua de los poros o vacíos de un suelo saturado. Se denomina también presión neutra o presión intersticial. Se determina por medición directa en campo, a través de Piezómetros tipo Casagrande colocados en los lugares más convenientes del talud de relaves.
- **Peso unitario del material:** Es la densidad in-situ del relave y se determina por medición directa en campo por el método de Cono de Arena.
- **Objetivo del análisis:** Por ser las presas de relaves estructuras construidas artificialmente están sujetas a inestabilidades cuya secuela son el inminente fallamiento de las mismas por lo que es necesario realizar un análisis que tenga como objetivo:
  - Analizar la estabilidad del talud de las presas de relaves bajo diferentes condiciones de sollicitación, de tal manera que sea funcional y segura.
  - Analizar la posibilidad de existencia de diversas tipos de falla y tomar medidas correctivas o de mitigación.
  - Analizar y evaluar el comportamiento geotécnico de los materiales que conforman las presas de relaves.
  - Identificar los tipos de inestabilidades.

- **Tipos de análisis:** En la actualidad los análisis de estabilidad de taludes se realizan bajo dos condiciones:

**1. En términos de esfuerzos totales:**

Son los llamados análisis no drenados generalmente de corto plazo. Este análisis requiere las siguientes condiciones:

- a. El suelo debe estar saturado.
- b. Debe prevalecer la condición no drenada.
- c. No debe variar el contenido de humedad ni el volumen.
- d. Se usa generalmente en suelos arcillosos.
- e. El criterio de fallo de Mohr-Coulomb se representa por la envolvente lineal de los círculos de Mohr que se producen en la rotura. La relación de esa envolvente se expresa como:

Dónde:

$T$  : Es el esfuerzo cortante.

$\sigma$  : Es la tensión de normal.

$C$  : Es la intersección de la línea de fallo con el eje de  $\tau$  llamada cohesión.

$\Phi$  : Es la pendiente del ángulo de la envolvente, también llamado el ángulo de rozamiento interno.

([https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa\\_de\\_los\\_esfuerzos\\_totales](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_los_esfuerzos_totales), 2015).

Depende de la trayectoria de los esfuerzos.

Son los análisis no drenados para corto plazo y los análisis drenados para largo Plazo. Las condiciones que requiere este análisis son las siguientes:

- a. Son aplicables en condición drenada o no drenada.
- b. Utilizado en problemas en los que hay presión de poros.
- c. Sirve para estimar la estabilidad a largo plazo.
- d. Para condiciones no drenadas se requiere estimar la presión de poros generados en el corte.
- e. El criterio de ruptura es la de Mohr-Coulomb.
- f. La condición de corto o largo plazo está asociado a un factor de seguridad mínimo que depende de:
  - Velocidad de aplicación de las cargas.
  - Presión del agua en los poros del suelo.
  - Velocidad con que se produce el drenaje o disipación del exceso de las presiones de poro.
  - Permeabilidad saturado y/o no saturada del material.
  - Condiciones de contorno del material.

### **Metodología de análisis**

(Villarreal, 2004). Para cualquiera de los tipos de análisis se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones básicas:

1. Se asume una superficie de falla circular sobre el talud y se determina su centro de rotación.

2. Se estudia el equilibrio de fuerzas a lo largo de dicha superficie de deslizamiento.
3. Empleando un proceso de tanteo, se establece la condición más desfavorable para una superficie de deslizamiento del talud.
4. Se asume el criterio de fallamiento de Mohr-Coulomb.
5. Se debe conocer las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del relave.
6. Se obtiene un Factor de Seguridad. (Villarreal, 2004).

### **Principios de equilibrio límite**

El principio de equilibrio límite para el análisis de estabilidad de taludes ha sido usado por varias décadas y se han desarrollado varias técnicas en el cual se considera la resistencia promedio del suelo y se asume la resistencia promedio conocida a lo largo de la superficie de falla o en una parte de ella en estudio y además constante; se debe tener presente los siguientes principios para todos los métodos de análisis de equilibrio límite.

1. Se asume un mecanismo de falla bien definida para cualquier forma arbitraria.
2. La resistencia requerida para equilibrar el mecanismo de deslizamiento asumido es calculada por medios estáticos y el potencial de la masa deslizante se encuentra en un estado de equilibrio límite, es decir de ruptura inminente y la falla ocurre a lo largo de la superficie propuesta
3. Se asume un criterio de fallamiento o ruptura – Mohr - Coulomb - que satisface a lo largo de toda la superficie de ruptura.

4. La resistencia requerida del suelo calculada para el equilibrio es comparada con el esfuerzo disponible del suelo y esta comparación es hecho en términos del factor de seguridad el cual será adoptado.
5. El factor de seguridad adecuado es determinado mediante un algoritmo iterativo. (Villarreal, 2004).

### **Métodos de cálculo de estabilidad de taludes**

Existen varios autores quienes han planteado una serie de modelos y métodos matemáticos que dispone el Ingeniero para realizar cálculos de análisis de estabilidad de taludes. Como se verá todos los modelos matemáticos presuponen una homogeneidad en los materiales, estratificación, disposición, circunstancias y modo de actuar de los agentes naturales. Es difícil encontrar un criterio único para el cálculo matemático. No todas las fallas que se han mencionado son susceptibles de presentarse en un modelo matemático que puede servir de base a un método de cálculo, algunas formas de fallas comunes y peligrosas no se puede analizar matemáticamente porque se presentan con tal variedad y complejidad que desafían cualquier intento concreto de análisis. (Villarreal, 2004).

### **Método sueco o de las dovelas**

La escuela sueca liderado por Petterson (1916) y Fellenius (1927) propusieron asimilar la superficie de la falla real a un arco de circunferencia o cilíndrica y dividir la masa deslizante en rebanadas o dovelas verticales estableciendo un equilibrio de las fuerzas que actúan en cada dovela. Figura

5.

1. Se usa en métodos simplificados o rigurosos.
2. Para el análisis se considera un talud infinito.
3. Estado de deformación plana
4. Ancho unitario.
5. Se divide la masa deslizante en “n” dovelas.
6. Se considera que la masa deslizante es a través de una superficie potencial de ruptura.
7. Se elige una superficie de falla circular o cilíndrica.
8. El criterio de ruptura es la de Morh-Coulumb.
9. Se determina un factor de seguridad. (Villarreal, 2004).

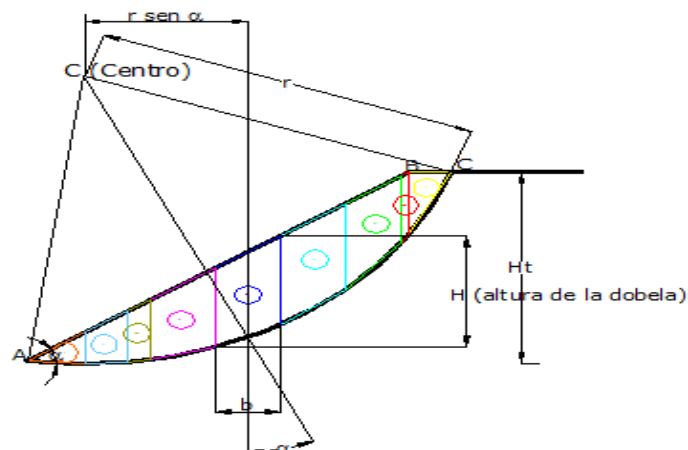


Figura 3. Diagrama de equilibrio de las fuerzas que actúan en cada dovela  
 Fuente: Juárez, E., & Rico, A. Mecánica de suelos tomo I: Fundamentos de la mecánica de suelos. 1ra Edición, 1963.

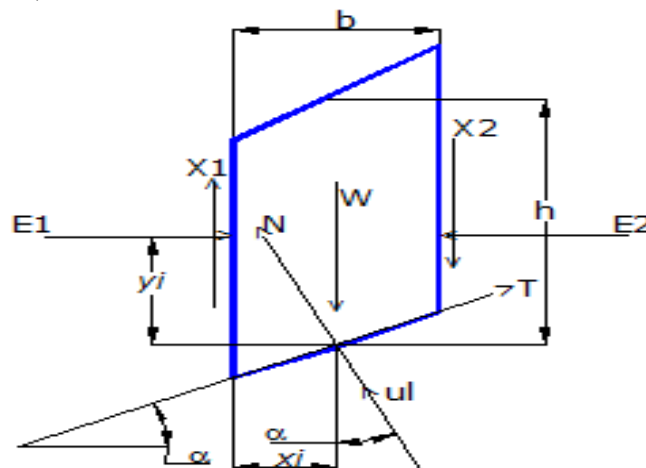


Figura 4. Diagrama de cuerpo libre de una dovela

Dónde:

U = Presión intersticial, que se determina a partir de las líneas de filtración en el medio poroso.

E1, E2 = Son las fuerzas normales en las caras de las dovelas.

X1, X2 = Fuerzas cortantes en las caras laterales de las dovelas.

T = Fuerza cortante en la base.

N = Fuerza normal de reacción en la base.

W = Peso de la dovela

L = Longitud de curva en la base del elemento.

$\alpha$  = Angulo de la base de la dovela con respecto a la horizontal.

El factor de seguridad queda definido por la siguiente formula:

$$F.S. = \frac{M.R}{M.A} = \frac{\frac{cb}{\cos\alpha} + \left( W * \cos\alpha - \frac{ub}{\cos\alpha} \right) * \tan\phi}{W * \sin\phi} \quad \dots \text{Ec. (4)}$$

En conclusión podemos decir que la ecuación es la hipótesis según Fellenius cuya aplicación produce un error de 5 a 20%, se puede considerar como un diseño preliminar.

### **Método de Bishop**

(Villarreal, 2004). Este método fue desarrollado por (Bishop, 1955) en su versión simplificada cuyos planteamientos veremos a continuación.

Las consideraciones son las mismas que el método sueco o de las dovelas.

$$F.S = \frac{1}{\sum W_i \text{sen} \alpha_i} \Sigma [cb + (\omega_i - \mu_i b) Tg \phi]^* \frac{\text{sec } \alpha}{1 + \frac{F.S}{\text{dato}}} \quad \dots \text{Ec. (5)}$$

En conclusión podemos afirmar que:

1. F.S. aparece en ambos miembros de la ecuación (6), para resolver el problema se usa un proceso iterativo.
2. Se asume un valor del F.S. del segundo miembro y se calcula el nuevo valor del F.S. del primer miembro, se repiten los cálculos hasta que haya convergencia.
3. Se toma primera aproximación el método de Fellenius para el primer valor de F.S.

#### **Método de J. M. Duncan y A.L. buchignani**

Villarreal (2004). Este método fue expuesto por J.M. Duncan y A.L. Buchignani en 1975 en la Universidad de California Berkeley.

Para este análisis, el método supone que las fuerzas cortantes laterales que se desarrollarían en las caras de las dovelas son nulas es decir que  $x_i$  e  $x_{i+1}$  son ceros.

Las fuerzas  $E_i$  e  $E_{i+1}$  que actúan sobre las caras laterales de la dovela son horizontales.

En cada dovela se satisface el equilibrio de fuerzas verticales y horizontales y el número total de suposiciones independientes para hacer el problema determinado es:  $2n-2$  (de las consideraciones estáticas).

$$\Delta E_i = \frac{FW_i \tan \alpha_i - W_i \tan \phi_i' - \frac{C_i' L_i}{\cos \alpha_i} + \frac{\mu_i L_i \tan \phi_i'}{\cos \alpha_i}}{F + \tan \phi_i' \tan \alpha_i} \dots \text{Ec. (6)}$$

Siendo el término  $F + \tan \phi_i' \tan \alpha_i$  diferente de cero. Que a partir de esta ecuación se determina el factor de seguridad en forma iterativa y realizando la sumatoria de  $\Delta E_i$  para todas las dovelas que conforman el talud hasta obtener un valor de  $\sum (\Delta E_i)_i$  igual a cero.

### **Estabilidad dinámica**

La estabilidad dinámica de un botadero de estériles está referida a la capacidad del mismo para soportar las sollicitaciones dinámicas debido al terremoto, manteniendo su integridad, operatividad durante y después de la ocurrencia del mismo, pudiendo ocurrir algunas deformaciones debido a la pérdida parcial de resistencia como consecuencia del incremento de la presión de poros.

Los botaderos de estériles tiene taludes que están constituidas de enrocados, rellenos cohesivos o arenas densas bien compactadas, la pérdida de resistencia será pequeña durante un terremoto y el análisis de estabilidad pseudo - estática proporciona una adecuada evaluación de su estabilidad dinámica (Seed, 1979). Análisis de deformaciones utilizando el método de Newmark o similar (Newmark, 1967; Makdisi y Seed, 1978), puede proporcionar una estimación adicional de las deformaciones permanentes inducidas por el sismo.

Para la evaluación de la estabilidad sísmica de botadero de estériles la elección del método de análisis y la interpretación de los resultados obtenidos requieren atención especial. Con frecuencia, el análisis es llevado a cabo por etapas, empezando con una evaluación simple, para luego ejecutar un análisis más complejo según lo requiera el caso específico. En forma simple y concisa (Seed & Harder, 1990) recomiendan desarrollar los siguientes 10 pasos básicos, para la evaluación del potencial y comportamiento sísmico de presas de tierra en general, este procedimiento puede ser aplicado en el caso de botadero de estériles:

1. Determinar la sección transversal del botadero a ser considerada en el análisis.
2. Determinar el máximo o más severo terremoto al cual los taludes y su cimentación podrían ser sometidas, expresando en forma de un registro tiempo historia de excitación en la base.
3. Determinar, con mayor exactitud posible, los esfuerzos en el terraplén antes del sismo. Esto puede ser efectuado mediante técnicas de elementos finitos.
4. Determinar las propiedades dinámicas de los suelos que conforman la presa y su cimentación, tal como el módulo de corte, amortiguamiento, modulo volumétrico o coeficiente de Poisson, los cuales determinan las características de la respuesta dinámica, debido a que los materiales presentan características no lineales, también es necesario determinar la variación de las propiedades con la deformación.

Calcular, usando apropiadamente el procedimiento de análisis dinámico por elementos finitos, las aceleraciones y/o esfuerzos de corte dinámicos inducidos dentro del terraplén y su cimentación. Para quebradas estrechas donde la relación entre la longitud de cresta y la máxima altura del talud es menor que 3:1, efectos tridimensionales deben ser considerados en el análisis. Un análisis bidimensional de la respuesta dinámica considerando un problema de deformación plana, es suficiente para la mayoría de las geometrías de presas existentes, donde la longitud de la cresta es bastante mayor con relación a la altura del terraplén. El análisis unidimensional en general no es recomendable para el análisis de respuesta dinámica del talud, sin embargo, se puede obtener resultados suficientemente precisos para algunos casos particulares.

1. Identificar los suelos potencialmente licuables que existen en el botadero.
2. A partir de los resultados de los pasos 6 y 7, evaluar la probable generación de presión de poros o acumulación de deformación cíclica dentro del talud y su cimentación.
3. Si la evaluación realizada en el paso 7 establece un potencial de licuación significativo, determinar la resistencia residual no drenada (estado constante) de los suelos licuados.
4. Si el paso 6 y/o 8 muestran que los taludes son seguros con relación a una manifestación de importantes movimientos o deformaciones por deslizamientos ya sea al “inicio o post-inicio” de licuación, evaluar la magnitud de las deformaciones totales que probablemente

su potencial impacto sobre la estabilidad y comportamiento del talud.

5. Utilizar un criterio adecuado en cada uno de los pasos anteriormente indicados guiándose siempre por un conocimiento adecuado de las características típicas del suelo, la esencia del método de elementos finitos y el procedimiento de análisis de respuesta dinámica utilizado. Es importante además conocer detalladamente el comportamiento del talud en el pasado durante otros terremotos. (Villarreal, 2004).

### **Metodología del análisis post sismo**

Los tipos de falla de botadero de estériles formados por materiales no cohesivos saturados durante terremotos pueden ser clasificados en dos tipos: el primero cuando ocurre una cantidad limitada de deformaciones permanentes, tales como asentamientos o desplazamientos laterales del orden de algunos metros, y el segundo asociado a un flujo del material que puede darse varias decenas de metros hacia aguas abajo del depósito. En este contexto, la estabilidad dinámica del botadero de estériles está asociada a la eventual ocurrencia de deformaciones limitadas durante un evento sísmico, manteniendo su integridad y funcionamiento después de la ocurrencia del terremoto, por lo tanto, una eventual falla por flujo nunca puede ser admisible en una estructura de esta naturaleza.

El análisis de estabilidad post-sismo se ha llevado a cabo a través del método convencional de equilibrio límite, incorporando el valor de la

resistencia residual no drenada, como parámetro de resistencia del material,

en aquellos materiales donde el análisis previo del potencial de licuación indica la ocurrencia de este fenómeno para el terremoto de diseño.

Los factores de mayor importancia que deben ser considerados para la evaluación de la estabilidad sísmica de los botaderos de estériles:

- Características del terremoto de diseño
- Propiedades estáticas y dinámicas de los materiales
- Potencial de licuación
- Procedimiento de diseño y construcción
- Métodos del análisis sísmico
- Resistencia residual de materiales licuados
- Potencial de deformación por flujo
- Medidas de remediación. (Villarreal, 2004).

### **Evaluación de esfuerzos estáticos**

La primera etapa en el proceso de análisis involucra la evaluación del estado inicial de esfuerzos estáticos dentro del talud y su cimentación. La determinación de estos esfuerzos es importante por las dos siguientes razones:

El esfuerzo de confinamiento efectivo, puede influenciar significativamente en las características de la respuesta dinámica, así como también en el cálculo del esfuerzo cíclico

El esfuerzo efectivo vertical de sobre carga y el esfuerzo de corte estático

Tesis publicada con el plan horizontal (rh); puede ejercer una influencia significativa en la  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

resistencia a la generación de presión de poros o en el “inicio” de la licuación en cualquier punto dentro del depósito. En un botadero de estériles los esfuerzos estáticos, en general están influenciados por diversos factores, entre ellos, la secuencia de la construcción de dique y del botaderos de estériles, la forma en la que ha sido depositados, las condiciones de drenaje, etc. Por lo tanto, el procedimiento analítico para determinar estos esfuerzos debe tomar en cuenta los factores indicados anteriormente.

Los esfuerzos estáticos inducidos durante el proceso de deposición de relaves pueden ser evaluados a partir de técnicas numéricas como el método de elementos finitos, en el cual la secuencia de deposición del relave debe ser modelada a través de un análisis incremental de construcción por etapas. Estos métodos de análisis han sido implementados en programas de cómputo como: FEADAM84 (Duncan et al, 1984), GESSDA (Parra, 1996) y otros. Para el modelamiento del proceso de construcción del depósito, el modelo elástico-lineal proporciona muchas veces una buena aproximación en términos de esfuerzos, mas no así en términos de desplazamientos. Sin embargo, la ejecución de un análisis no lineal es siempre recomendable.

### **Terremoto de diseño**

Las aceleraciones máximas probables que inducirán los movimientos sísmicos a nivel del basamento rocoso, deben ser determinadas a partir de las condiciones de sismicidad de la zona del proyecto. Estos valores se obtienen de un estudio de Peligro Sísmico considerando periodos de retorno correspondientes a 150 y 500 años para depósitos operativos e inactivos

respectivamente, tal como lo recomiendan las normas de medio ambiente.

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar esta tesis

El estudio de Peligro Sísmico del Perú (Castillo y Alva, 1993) constituye

**UNFV**

una buena referencia para la evaluación de las máximas aceleraciones que podrían producirse en diferentes zonas del

Perú, considerando una probabilidad de excelencia de 10% y vida útil de 50 y 100 años. En este estudio también se señalan las diferentes fuentes sísmicas tanto superficiales como profundas que influyen en la determinación probabilística de las máximas aceleraciones y magnitudes.

Por otro lado, estos valores de aceleración máxima son utilizados para normalizar el registro tiempo-historia de aceleraciones durante el análisis de respuesta sísmica.

#### **Análisis de respuesta sísmica**

La determinación de los esfuerzos cortantes máximos inducidos por un movimiento sísmico y que actúan en planos horizontales dentro del botadero de estériles, constituye un factor importante en la evaluación del potencial de licuación de un depósito operativo.

Por otro lado, es necesario evaluar apropiadamente la respuesta del botadero de estériles ante sollicitaciones sísmicas a las que eventualmente podría ser sometido.

La evaluación de la respuesta sísmica y las características de amplificación en el depósito, pueden ser realizadas utilizando procedimientos analíticos o técnicas numéricas mediante elementos finitos. El programa SHAKE (Schnabel et al. 1973) evalúa la respuesta mediante el análisis unidimensional de propagación de ondas. Este tipo de análisis puede ser utilizado como un tipo de aproximación preliminar ya que debido

fundamentalmente bidimensional o en algunos casos valles muy estrechos) tridimensional. Por otro lado, el análisis por elementos finitos de un problema plano puede ser realizado con programas tales como: QUAD4 (Idriss et al., 1973), GESSDA (Parra, 1996)). En cualquier caso, es necesario determinar adecuadamente el estado de esfuerzos iniciales (estado de esfuerzos finales del análisis estático), debido a que los parámetros dinámicos de los materiales de relave son dependientes de este estado de esfuerzos. En los programas anteriormente mencionados el análisis no lineal es realizado utilizando el método lineal equivalente propuesto por Seed e Idriss (1969). (Villarreal, 2004).

### **Marco legal**

(<http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cend>, 2005)

- Ley que regula el Cierre de Minas LEY N° 28090.
- D.S. N° 033-2005-EM (REGLAMENTO).
- R.M. N° 627-2003-MEM - DM (Crean el Registro de Entidades domiciliadas o no en el país, autorizadas a elaborar Planes de Cierre de Minas y de Plantas de Beneficio en el Sector Energía y Minas).
- D.S. N° 016-2005-EM (Constituyen el Registro de Entidades Autorizadas a Elaborar Planes de Cierre de Minas).
- D.S. N° 039-2005-EM (Establecen Régimen del Registro de Entidades Autorizadas a Elaborar Planes de Cierre de Minas).
- R.M. N° 515-2006-MEM-DM (Aprueban el Reglamento para

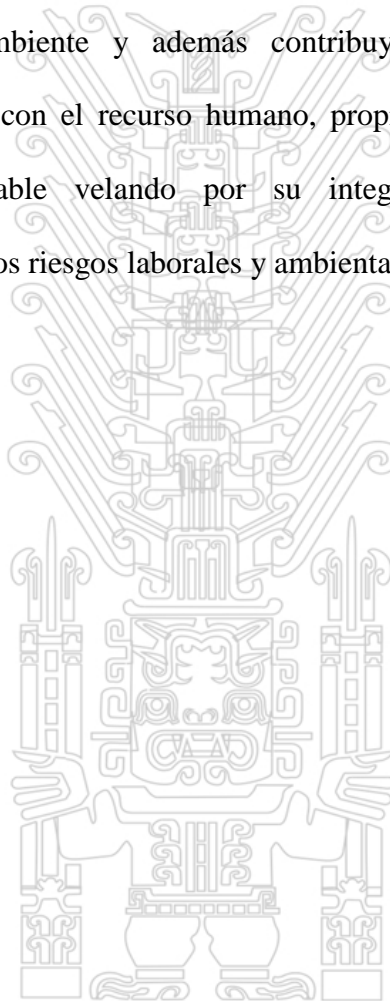
evaluar y aceptar el Fideicomiso sobre “Inversión Forestal” en  
Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis garantía del cumplimiento del Plan de Cierre de Minas.

**UNFV**

- D.S. N° 013-2008 - EM. , Art. 4 D.S. N° 020-2008-EM (Aprueban Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera) D.S. N° 078-2009-EM, Art. 14.

### **2.3 Aspectos de responsabilidad social y medio ambiental**

En el aspecto de responsabilidad social porque con el análisis de inestabilidad de los botaderos cuidamos la seguridad, la salud en el trabajo y del medio ambiente y además contribuyen con la mejora continua especialmente con el recurso humano, propiciando un espacio de trabajo seguro, saludable velando por su integridad física, previniendo y minimizando los riesgos laborales y ambientales.



### III. Método

#### 3.1. Tipo de investigación

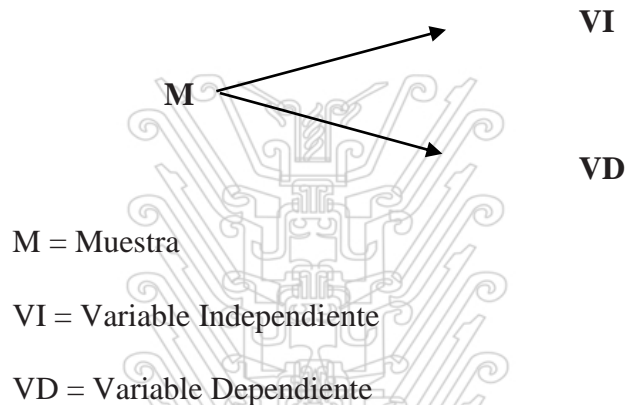
**Tipo:** En función a los propósitos de la investigación es del tipo observacional. Según (Sierra, 2002) menciona: “el tipo de estudio de la presente investigación es la aplicada y/o tecnológica porque “en estos estudios se deben determinar y definir previamente las variables, luego se formulan hipótesis, los mismos que deben probarse por métodos estadísticos, trabajándose con muestras representativas y llegando al final a las conclusiones”.

**Nivel:** Basados en los criterios y según el tipo de estudio y la estrategia de investigación, el nivel de investigación será descriptivo - correlacional, porque es un estudio en el cual se explican las causas de los hechos o fenómenos educativos como es la aplicación de las técnicas ingenieriles para el análisis de estabilidad de taludes de botaderos de estériles gran altura. (Matthews & otros, 2014).

En el caso específico de la presente investigación será en nivel explicativo, como dice (Deymor & Villafuerte, 1986) propone una distinción en cuatro niveles: exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos. Este planteamiento es asumido por (Hernández et al. 2003) en el sentido de que esta clasificación es muy importante, debido a que según el tipo de estudio varía la estrategia de investigación, es decir, la formulación de los problemas e hipótesis, el método, el diseño, así como las técnicas e instrumentos, el análisis de datos y otros elementos son diferentes en cada uno de estos niveles de investigación.

## 1 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación según su intención de los objetivos observacional, descriptivo correlacional, el diseño de la investigación será un diseño seccional transversal (en un periodo determinado).



## 2 Estrategia de Prueba de Hipótesis

El problema objeto de estudio de la presente investigación es el análisis de inestabilidad de taludes botaderos de estériles de gran altura incluyendo la cimentación contra el deslizamiento, sin la acción de un sismo con los parámetros siguientes:

- Radio del círculo de falla del talud.
- Angulo interior formado por los límites del Talud.
- Distancia horizontal al centro de gravedad de la masa deslizante.
- Altura del talud.
- Peso de la masa deslizante.
- Superficie de falla.

Esta relacionara estos parámetros con el factor de seguridad. La

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

realidad problemática presenta las siguientes variables:

**UNFV**

Primera variable independiente (VI): Inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura.

Segunda variable independiente (VD): Fallamiento.

### 3.2. Población y muestra

#### Población

La población serán los taludes de los botaderos de estériles de gran altura de dos minas superficiales y del túnel carretero de Punta olímpica que une las provincias de Carhuaz con la de Asunción en el departamento de Ancash.

#### Muestra

La muestra lo constituye el talud el botadero de estériles de gran altura ubicado en el flanco occidental del túnel carretero de Punta olímpica que une las provincias de Carhuaz con la de Asunción en el departamento de Ancash.

### 3.3. Hipótesis

#### Hipótesis Principal:

El Análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura predice el fallamiento.

#### Hipótesis específicas:

**HE<sub>1</sub>:** Si existe el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura.

**HE<sub>2</sub>:** El factor de seguridad predice el fallamiento de los botaderos de

estériles de gran altura

**HE<sub>3</sub>:** La evaluación sísmica establece los criterios de alarma para el cierre temporal

### 3.4. Operacionalización de variables

Tabla 4. Operacionalización de variables

NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO
VI: Inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura.	Fiabilidad	▪ Diseño del Talud Optimo.	Cuantitativa
		▪ Calculo del ángulo de fricción interno.	
		▪ Análisis de suelos y rocas.	
		▪ Determinación de las propiedades físicas de los suelos y rocas.	
		▪ Determinar el sistema de estabilización del talud.	
		▪ Determinación del Factor de Seguridad (FS).	
	Accesibilidad	▪ Logueo geotécnico.	Cualitativa
Seguridad	▪ Conocimiento de riesgos y peligros de los botaderos de estériles de gran altura.	Cualitativa	
Capacidad de Respuesta	▪ Rapidez para la respuesta ante el fallamiento de los taludes.	Cualitativa	
Elementos Tangibles	▪ Implementación de los criterios de alarma e implementación del plan de contingencias.	Cualitativa	
VD: Fallamiento	Optimización	▪ Estabilización de suelos y rocas.	Cualitativa
	Diferenciación	▪ Qué sistema de estabilización es más económico.	Cuantitativa
		▪ Análisis de costos de construcción del botadero.	
		▪ Predicción a tiempo.	
Objetividad	▪ Predicción del fallamiento de taludes de botaderos de estériles de gran altura.	Cualitativa	
	▪ Estabilizar los taludes		

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Instrumentos

Las fuentes de información serán fuentes primarias (del lugar de origen), recolectada por el tesista.

- La técnica a emplearse producto del análisis documental, donde se considerará las fichas bibliográficas, de resumen, de párrafo; que nos servirán para estructurar el marco teórico referencial y conceptual de la presente investigación.
- Según (Ary, Donald & otros, 1993) las fichas deben cumplir una serie de requisitos formales que tienen como objetivo, facilitar su utilización posterior.
- Asimismo, se considerará las no documentadas como son las: encuestas y la observación propiamente dicha, las cuales se elaboraron teniendo en cuenta los criterios de confiabilidad y validez del mismo.
- Según (Sierra, 1995) 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”.
- Francois sugiere la aplicación de un conjunto de técnicas que permitan crear, generar rápidamente una serie de ideas acerca de cualquier tema elegido, así como: el brainstorming es una manera extraordinaria de despertar la creatividad individual y colectiva

condiciones para una adecuada conversación entre los solucionadores, de manera que los problemas existentes en las organizaciones puedan aflorar. El proceso de Brainstorming se hace a través de rondas, en las cuales se van afinando criterios y haciendo ajustes en la definición de los problemas y las formas de solucionarlos. La característica principal de éste proceso es que no se admiten el debate entre los participantes; el aporte de los mismos debe consistir en ayudar a construir la definición del problema y la búsqueda de soluciones y no para alentar el debate dialéctico, en un proceso en el que todos participan cooperativamente en la búsqueda de las soluciones. (Palma & otros, 2013).

- Los instrumentos son: Ficha de observación, encuestas, cuestionarios, entre otros. Se ha diseñado un instrumento de evaluación para este caso particular y se denomina “ficha de observación”, el cual será validado por expertos en el tema de elaboración de instrumentos técnicos, dicho instrumento captará la información para el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles.
- El análisis de documentos, según la clasificación de (Bravo, Buendía & Hernandez, 1998) es una técnica indirecta de recogida de información.
- Plan de procesamiento de la información:
  1. Zonificación de los taludes según el grado de inestabilidad:
    - Análisis de zonas críticas
    - Evaluación de las zonas geológicas.

2. Análisis de Sistemas de estabilización para evitar deslizamientos:

- Análisis de suelos y taludes a reconstruirse.

### **Validación**

**Validez Interna:** Los resultados serán válidos para el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento. El nivel de confianza es un 95%, Con un error de 5%

### **3.6. Procedimientos**

En la actualidad para el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento se aborda desde los siguientes puntos de vista:

- Análisis estático.
- Análisis dinámico.
- Análisis hidráulico.

Realizando los cálculos por métodos clásicos, métodos numéricos, el método de elementos finitos y el apoyo del software especializado Slide.

### **3.7. Análisis de datos**

Este estadio se presenta posterior a la aplicación del instrumento y finalizada la recolección de los datos, donde se procederá a aplicar el análisis de los datos para dar respuesta a las interrogantes de la investigación.

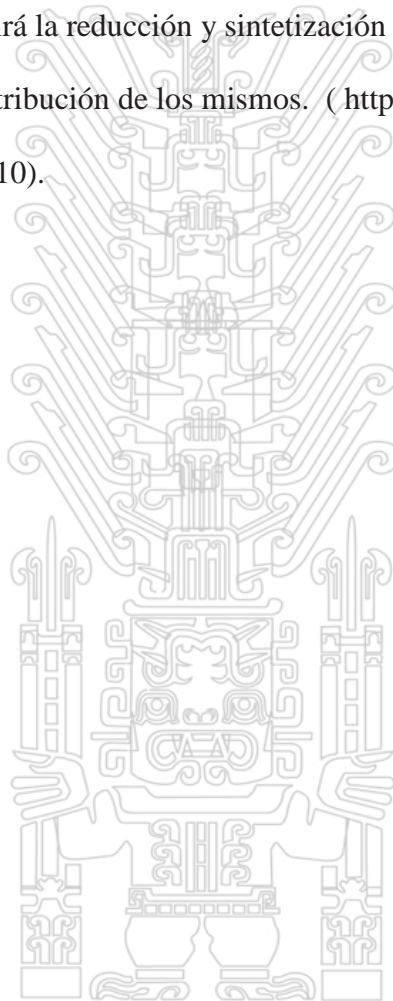
Después de haber obtenido los datos producto de la aplicación de los

instrumentos de investigación, se procederá a codificarlos, tabularlos, y  
Tesis publicada con autorización del autor. No olvide citar esta tesis

**UNFV**

utilizar la informática a los efectos de su interpretación que permite la elaboración y presentación de tablas y gráficas estadísticas que reflejan los resultados.

“El propósito del análisis es aplicar un conjunto de estrategias y técnicas que le permiten al investigador obtener el conocimiento que estaba buscando, a partir del adecuado tratamiento de los datos recogidos.” El análisis permitirá la reducción y sintetización de los datos, se considera entonces la distribución de los mismos. (<http://www.eumed.net/tesis-doctorales/>, 2010).



#### IV. Resultados

**Presentación, resultados y análisis de Inestabilidad:** Como estudio de caso se realizará el estudio de inestabilidad del talud del botadero ubicado en la parte oriental del túnel Punta olímpica, que forma parte de la carretera Carhuaz – Chacas - San Luis - Yauya, que da acceso a las provincias de Asunción, y Carlos Fermín Fitzcarrald e interconecta con la carretera longitudinal de la Sierra. El túnel fue la mejor solución a la situación de que la carretera en invierno se hacía intransitable no sólo por el daño mismo de ésta sino porque la línea de hielo o nieve del nevado descende hasta los 4,700 msnm cubriendo gran parte de la carretera que llega al abra con nieve que hacia intransitable durante los meses de la temporada lluviosa.

**Ubicación:** el botadero de estériles a estudiar está ubicado en el kilómetro 52 de la carretera Carhuaz - Chacas al pie del portal Carhuaz, en una depresión natural, sobre un basamento rocoso estable y un suelo delgado, la pendiente promedio del terreno es de 40% en la cota 4,700 msnm. Tiene un área total útil de 5,2 Ha. El proyecto contemplo la eliminación de alrededor de 30,000 m<sup>3</sup> de desmonte provenientes en primer lugar de los desmontes de los trabajos del afrontonamiento y explanaciones a cielo abierto; el material extraído del túnel fue acondicionado en dos depósitos de materiales excedentes que estarán ubicados en cada entrada.

**Acceso:** El acceso al botadero de desmontes es el siguiente

Tabla 5. Acceso al botadero de estériles oriental del túnel Punta Olímpica

Trayecto	Distancia	Tipo de vía	Tiempo de viaje
Lima – Pativilca – Carhuaz	432 Km.	Asfaltada	8 hora
Carhuaz – Botadero de estériles	52 Km.	Asfaltada	1 horas

Fuente: Expediente técnico Túnel Punta olímpica

**Clima:** Para determinar la distribución climática en el Área de Influencia Directa del proyecto, se empleó la clasificación que Köppen, W. ha efectuado para el Perú. Así, se determinó que hay dos de los grandes tipos de clima: de Tundra Seca de Alta Montaña -ETH- y de Nieve Perpetua de Alta Montaña -EFH.

Para el clima ETH, la temperatura media del mes más cálido es superior a 0° C, las temperaturas son positivas durante el día y negativas durante la noche. El cielo nocturno es abundante así como las precipitaciones sólidas. Las mínimas absolutas posiblemente descienden más.

Para el clima EFH, la temperatura media de todos los meses es inferior al punto de congelación (0°C) en sitios sin vegetación. Corresponde al clima existente en las zonas polares y subsolares, con modalidades propias que resultan del hecho de tratarse de un clima polar y subsolar, en una zona tropical de muy alta montaña. Estas modalidades son: fuerte insolación a lo largo de todo el año, pero que se incrementa durante el invierno austral; temperaturas positivas al mediodía, aún en las cumbres más altas, lo que origina la licuación de una capa superficial de hielo que al llegar la tarde se congela y se transforma nuevamente en hielo; gran sequedad de la atmósfera; presión atmosférica muy baja y nubosidad que cubre constantemente los picos más elevados durante la estación del verano austral.

Es la zona blanca de los nevados, por la presencia del hielo y nieve que cubren las rocas en forma continua, exceptuando aquellas que por su fuerte pendiente, no favorecen la adherencia ni persistencia de la nieve o del hielo.

Económicamente son importantes estos climas por la formación de lagunas y pantanos glaciares que influyen como un factor de almacenamiento de agua y regulador del caudal, constituyendo además un factor económico de irrigación y

energía de las regiones más bajas.

A las áreas de clima EFH el hombre sólo llega en forma muy transitoria con fines científico-deportivos, con el objeto de escalar montañas y efectuar observaciones de itinerario sobre el fenómeno glaciar, climático y geológico.

Diseño: El diseño del túnel ha sido ejecutado para los propósitos de tráfico vehicular estándar, de acuerdo a las normas técnicas del MTC, cuyos componentes básicos se indican en el Cuadro N° 7.

El túnel está diseñado para una velocidad de circulación de 20 Km/h y un período de vida de 30 años.

Tabla 6. Componentes del Proyecto

Cota	Sección del túnel	Longitud	Portal Carhuaz (punto de Inicio)	Portal Chacas (punto de Llegada)	Sección	Piso del túnel *	Taludes de afrontamiento
4,700 m.s.n.m.	Sección Semi circular	560 m.	N 8 990, 237.778 E 224,053.659	N 8 989,779.935 E224,376.114	5,90 x 4,8 m	Losa 0,25 cm	1,5 : 1

Fuente: Expediente técnico Túnel Punta olímpica

**Losa:** de concreto

**Sección transversal típica:** La sección transversal típica es una sección final semicircular de 22.5 m<sup>2</sup> de área con 5.90 m. de ancho por 4.80 m. de alto, suficiente para el paso de ómnibus de pasajeros y camiones de carga convencionales, el túnel tendrá una zona de ensanche para el cruce en la progresiva 0+180 y 0+380 con una sección final reforzada de 4.60 m. de alto por 6.90 m. de ancho.

El botadero de desmontes consiste en una depresión natural, sobre un basamento

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar esta tesis

rocoso estable y un suelo delgado. Está ubicado al pie del portal de ingreso "lado

**UNFV**

Carhuaz”, en la cota 4,600 m.s.n.m. Tiene un área útil de 5.2 ha y la pendiente promedio del terreno es de 40%. El talud final del depósito de materiales excedentes es con una pendiente máxima de 32%.

**Geología Local:** De la evaluación de los estudios geológicos han permitido determinar que la zona del túnel está constituida por areniscas finas metamorfizadas a areniscas esquistosas de la Formación Chicama, observándose niveles de lutitas pizarrosas gris oscuras y cuarcitas claras.

Los depósitos cuaternarios dominan el área de estudio son:

#### **Jurásico superior (Js-ch)**

**Formación Chicama:** La base de la columna estratigráfica que se conoce de la región está conformada por rocas del Jurásico superior, correspondiente a la formación Chicama, constituida por una secuencia de areniscas finas y lutitas pizarrosas en capas delgadas con un total de 800 a 1000 m de espesor. En la zona del túnel esta formación se presenta metamorfizada, con rocas de arenisca esquistosa gris verdusca de grano fino, bastante duras, alternadas con capas de esquistos pizarrosos algo carbonosos de color gris oscuro y capas delgadas de cuarcita de grano fino competentes. El metamorfismo termal de contacto de la formación Chicama en este sector se debe a la presencia del intrusivo de tonalita-granodiorita posterior del Cretáceo Superior.

#### **Cuaternario (Q):**

**Depósitos fluvio-glaciáricos (Qh-fg):** Los depósitos fluvio-glaciares (gravas, arenas, limos y arcillas) son formados por las escorrentías de los deshielos y constituyen Los depósitos morrénicos en el mapa geológico están incluidos dentro

exclusivamente por las lenguas glaciares, están compuestas de depósitos caóticos de rocas subangulosas, fragmentos heterométricos de areniscas esquistosas, lutitas e intrusivos con una matriz mayormente arcilla limosa y en menor proporción, arenas finas.

**Depósitos Coluviales (Q . co):** Los depósitos coluviales, constituyen los derrubios de roca suelta y detritos que se acumulan al pie de las laderas producto de la gelifracción de las rocas. Esta gelifracción se presenta a la entrada y a la salida del túnel. En forma conspicua se da en la vertiente izquierda de la Quebrada Ulta donde se forman pequeños bosques de quinua. Los depósitos deluvio - coluviales están incluidos dentro de los depósitos coluviales. Conforman los terrenos de pastoreo y suelo in situ en la zona de bosques, cuya amplitud ocultan los afloramientos rocosos de la Fm. Chicama y los intrusivos. Estos depósitos se interdigitan en las laderas con los derrubios o escombreras glaciáricos y depósitos de deslizamientos; en las partes bajas con los fluvioglaciáricos, constituyendo una mezcla caótica de cantos y gravas angulosas, con algo de finos no plásticos. Son de color marrón oscuro, con clastos menudos de diversa litología (granodioritas, areniscas esquistosas, cuarcitas, etc.).

**Depósitos de Deslizamientos (Q-ds):** Con esta designación se ha identificado a los suelos provenientes de la desestabilización y remoción de los materiales que conforman a suelos más antiguos. Aunque la composición es la misma que los suelos predecesores, se diferencian por la alteración de la estructura y menor compacidad. A esta unidad se le encuentra en las áreas afectadas por deslizamientos activos.

**Depósitos de Flujos de barro (Q - fb):** Suelos provenientes de la saturación de los depósitos y la consecuente remoción por acción del agua.

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

subterránea, se observa en la zona baja de la quebrada Cancahuapampa, aguas abajo de la laguna Yanayacu, tiene reducida área de exposición y compacidad baja.

#### **Neocomiano intrusivo (N-gd)**

**Roca Intrusiva granodiorita-tonalita:** Constituida por una masa compacta de roca tonalítica y granodiorítica gris clara bastante dura que ha intruído las rocas de la formación Chicama, ésta se emplaza al sur del abra Olímpica, formando el cerro Poroquina. El túnel no atraviesa esta roca sin embargo su influencia para la metamorfización de las areniscas y lutitas adyacentes ha sido preponderante para el cambio de sus estructuras originales.

**Fallas geológicas:** La Falla regional de la cordillera Blanca, recorre al pie de la Cordillera Blanca con dirección Nor-Oeste paralelo al callejón de Huaylas, el cual separa las formaciones cretácicas con las rocas intrusivas terciarias que han originado el levantamiento tectónico de la cordillera Blanca. La falla regional está considerada como activa y corta el valle Ulta cerca de la cota 3,400 m.s.n.m. La falla Abra Punta Olímpica, es una falla menor con orientación casi Norte-Sur y corta los estratos de la formación Chicama pero que no tiene ninguna incidencia con el túnel por encontrarse distante a unos 500 m al NE de su eje.

**Sismología:** La probable ocurrencia de eventos sísmicos que con relativa frecuencia asolan esta región, están mayormente asociados a dos fuentes sismogénicas principales:

- La primera corresponde a la interacción de la zona de subducción de la placa Sudamericana y la placa de Nazca, lo que genera sismos de foco superficial menor de 70 Km, concentrados casi exclusivamente en la fosa marina o en la línea de

Costa y unos pocos sismos intermedios. Algunos sismos llegan a alcanzar

magnitudes de 7,2 mb en la escala de Ritchter como el terremoto de mayo de 1970 con intensidades de VII a VIII en la escala de Mercalli Modificado. Estos eventos producen la modificación del relieve y la ocurrencia de aludes-aluviones, derrumbes y deslizamientos, algunos de los cuales pueden alcanzar gran dimensión como el que ocurrió en Yungay, en 1970.

La segunda fuente sismogénica corresponde a los sismos relacionados a la falla activa Cordillera Blanca, cuyas evidencias de su actividad (hace 1500 años), se muestran por la abundante presencia de escarpes recientes de desplazamiento y terrazas tectónicas que afectaron a los depósitos cuaternarios recientes (10000 años).

Tabla 7. Sismos Históricos relacionados a la zona de subducción

Fecha	Magnitud Mercalli	Descripción
14.02.1619	VII	Terremoto que destruyó las ciudades de Chimbote y de Trujillo.
06.02.1725	VI	Terremoto que ocasionó diversos daños en los departamentos de Ancash y de La Libertad.
14.03.1747	VI	Fuerte Terremoto en Santa-Conchucos.
20.05.1917	VI	Terremoto que afectó Chimbote y Trujillo.
19.01.1932	VII	Sismo con daños en Chimbote y Trujillo.
05.03.1935	V	Sismo con daños en Santa-Virú, que se sintió en Huaraz.
10.11.1946	VI	Sismo en Pallasca Ancash, más de 1370 víctimas.
17.02.1956	V	Sismo fuerte en Ancash y La libertad.
18.04.1962	V	Sismo en Casma y en Huaraz.
24.09.1963	V	Sismo en las costas de Ancash y de Trujillo.
31.05.1970	VII	Terremoto en Ancash, hubieron 70 000 víctimas.

Fuente: Expediente técnico Túnel Punta olímpica

**Sismo Máximo creíble:** El sismo máximo creíble al área del túnel, corresponde al mayor sismo que puede ocurrir asociado a la falla de la Cordillera Blanca, que en este caso sería un sismo de  $m_b = 6,4$  correspondiente a una falla superficial de aproximadamente 80 Km., de longitud.

La ocurrencia de un evento con las características definidas para el sismo máximo creíble, durante la vida útil del túnel (50 años), es de una probabilidad muy baja. De acuerdo a los estudios de riesgo sísmico para la zona, se espera que un sismo de 6,6 Mb pueda ocurrir en la zona de subducción en los próximos 100 años, cuya distancia de epicentro hacia el túnel es de aproximadamente 80 Km.

**Efectos sísmicos previsible en el túnel:** Los daños potenciales que pueden afectar al túnel Punta Olímpica, causados por sismos locales asociados a la falla de la Cordillera Blanca, causarían mayores daños por el desplazamiento del terreno que por las vibraciones del mismo, mientras que los sismos distantes asociados a la zona de subducción causarían daños únicamente por las vibraciones del terreno, provocando eventualmente, algunos efectos sísmicos indirectos (aludes o aluviones), cuyas implicancias a las obras en sí no serían tan perjudiciales salvo a algunas instalaciones conexas que pueden ubicarse en zonas de riesgo.

Los efectos por las vibraciones de los sismos en los túneles, se manifiesta en pequeñas grietas y deformaciones finales debido al cambio de la sección transversal o caída de rocas a lo largo del túnel. Los estudios realizados en Japón de las deformaciones de túneles, indican que los daños son mucho menores en las obras subterráneas que en superficie, llegando a la conclusión que los daños más severos ocurrieron en los tramos con un revestimiento de mayor espesor y es directamente

proporcional al incremento del grado de fracturamiento o disminución de la calidad de roca. En tal sentido, las obras subterráneas del túnel podrían ser afectadas por las

vibraciones ocasionadas ante un eventual sismo originado por la falla activa de la Cordillera Blanca, traducido en pequeños desprendimientos de roca pero en ningún caso ocasionarían grandes dificultades o problemas catastróficos. Se puede citar por ejemplo que el sismo de mayo del 70 no ha afectado las obras subterráneas sobre rocas intrusivas de la Central Hidroeléctrica del Cañón del Pato.

**Geotecnia:** Se exponen los trabajos realizados para el estudio geotécnico del Túnel en 1986, en el cual se llevaron a cabo una serie de trabajos, entre ellos: perforaciones diamantinas y calicatas. Entre los aspectos más relevantes tenemos:

**Investigaciones efectuadas:** Las investigaciones geotécnicas efectuadas han consistido en dos perforaciones diamantinas y 17 ensayos de tipo Lugeon para medir la permeabilidad. En la tabla 9 se presenta un resumen de los sondeos efectuados.

Tabla 8. Resumen de los sondeos efectuados

Sondeo	Perforado en suelo (en metros)	Perforado en roca	Ensayo Lugeon
SR-PO-01	4.50	35.50	8
SR-PO-02	0.78	38.72	9
<b>TOTAL</b>	5.28	74.22	17

Fuente: Expediente técnico Túnel Punta olímpica

**Geomorfología:** Mc Laughlin (1924) reconoció extensas áreas de las alturas andinas que fueron remanentes de una superficie de erosión, ahora representada por las más altas cumbres concordantes. Considera que ésta es una superficie de peneplanización, denominándole Superficie PUNA.

Un patrón de drenaje maduro fue desarrollado sobre esta superficie y cuando tuvo lugar el levantamiento Andino este patrón fue sobreimpuesto sobre la Cadena

estadio Chacra, un levantamiento a 500 m de elevación y un estadio Cañón, con una elevación aproximada de 1,500 m. Estos estadios de erosión generaron geoformas que fueron formadas por la evolución moderada de formas que más tarde han servido para el emplazamiento de asentamientos humanos y de áreas de cultivo.

El estadio Cañón fue más vigoroso e implicó incisiones entre 1,000 a 2,000 m que fueron cortados en ambos, la Superficie Puna y el estadio Valle, formando relieves accidentados en los flancos de la Cordillera.

Oliver Dollfus fue uno de los primeros en identificar bien en la Cordillera Andina del país los restos morfológicos de las dos últimas glaciaciones mundiales, las cuales duraron cada una varias decenas de miles de años, separadas entre sí por un largo período interglaciar climáticamente similar al actual.

Las glaciaciones modelaron directamente la región, la última glaciación mundial conocida como el período Würmiense, ha tenido una duración aproximada de 70 000 años, luego de unos 250 000 años de interglaciar cálido y ha concluido hace apenas 10 000 años, lo que resulta muy poco en términos morfológicos, por lo que las huellas del modelado glaciar son evidentes en todas partes.

En el área de Ulta se pueden apreciar los cordones morrénicos de la última glaciación al pie del nevado Poroquinua y el valle colgado de la quebrada de Ulta y Potaca como parte del estadio Cañón de Mc Laughlin.

La zona es accidentada y hacia el Oeste constituye el flanco oriental de la Cordillera Blanca, que a su vez es parte de la Cord. Occidental Andina.

Las vertientes se caracterizan por presencia de valles glaciares: Las quebradas

está conformado por nevados escarpados y vertientes empinados con circos glaciares que contienen lagunas, que están encerrados por depósitos morrénicos. El relieve en general es montañoso, con un valle glaciar al pie de ambas vertientes. En el lado occidental presenta un valle amplio en forma de “U”, que forma la Quebrada Ulta con un fondo amplio y suave con flancos empinados a escarpados. El lado oriental presenta un relieve más irregular; al pie del nevado comienza con la presencia de dos lagunas glaciares rodeadas de morrenas en un gran circo glaciar y cae en un valle más empinado y cerrado hasta la laguna Yanaraju para formar la Qda. Potaca. La Quebrada Ulta, ubicada en el Sector occidental del Túnel Punta Olímpica, constituye el estadio joven de un valle, con flancos escarpados o de fuerte pendiente, activos procesos geodinámicos y ocurrencia de depósitos recientes por la meteorización del material rocoso de la zona.

La parte superior de esta quebrada se encuentra profundamente excavada, atravesando antiguas morrenas y rocas de la formación Chicama hasta confluir con las aguas de las Qdas. Yanayacu y Suytupampa donde su pendiente disminuye fuerte hasta llegar al 1% cerca al puente Acushca. El río discurre en un lecho fluvioglaciar constituido mayormente de un material arcillo-gravoso. La parte media a partir del puente es suave y desarrolla pequeños meandros y una amplia explanada de inundación por la suave pendiente.

En este sector, el flanco izquierdo de la quebrada se encuentra protegido por bosques de quinales sobre depósitos coluviales. El flanco derecho, presenta pequeños conos de escombros y antiguos derrumbes cubiertos de pastos; tanto por su pendiente, por la presencia de taludes rocosos estable, como por la presencia de bosques esta zona se encuentra relativamente estable.

Cumbres Altas de los nevados de la Cordillera Blanca. Las unidades geomorfológicas identificadas en el área de estudio son:

**Las unidades geomorfológicas identificadas son:**

**Unidad de glaciares y nevados (GI-Ndo):** corresponde la cima de la Cordillera Blanca en el área del túnel, comprende la zona desde la línea glaciár cerca de los 4,800 m.s.n.m. hasta los picos nevados; comprende la divisoria de aguas continentales. Presentan picos con altitudes de más de 5,000 m.s.n.m. (Nevado Ulta - Poroquingua 5,782 m.s.n.m.) que forman las partes más altas de las subcuencas de Ulta hacia el Oeste y Potaca hacia el Este.

**Unidad de vertientes montañosas (Vm):** abarcan la mayor parte del área de las subcuencas, desde la base del frente glaciár hasta el fondo del valle glaciár con alturas que varían de 4,000 a 4,800 m.s.n.m. Presenta pendientes que superan los 45°. Es una zona de complejidad estructural y litológica, con grandes acumulaciones de materiales coluviales. Además muestra zonas de fuerte meteorización y activos procesos geodinámicos.

**Masas de escombros**

Este proceso es particularmente importante en áreas escarpadas con taludes. Consiste esencialmente de un continuo movimiento descendente de suelos superficiales y rocas meteorizadas bajo la fuerza de la gravedad. Este proceso resulta en una acumulación de materiales al pie de las laderas que tienen inclinaciones fuertes a moderadas. Donde los taludes son escarpados los materiales de esta clase pueden llegar a ser desprendidos formando deslizamientos, flujos de barro, huaycos, etc., aportando material para formar conos aluviales.

m.s.n.m. En el lado occidental se denomina Huishcashpampa que comprende desde el kilómetro 24 hasta el kilómetro 42 de la carretera Carhuaz - Chacas; constituyendo campos de pastizales naturales para la ganadería local; las quebradas más importantes en la vertiente occidental son: Shuytupampa, Yanayacu y Cancahuapampa que forma la Quebrada Ulta aguas arriba del puente Acushca. El lado oriental está formado principalmente por la Quebrada Potaca que nace de las lagunas Cancaracá grande y Cancaracá chico. Está constituida por materiales de diferentes glaciaciones e interglaciaciones, material lagunar, materiales aluviales y coluviales antiguos y recientes.

**Glaciología:** Los glaciares regulan los caudales de los ríos; durante los meses de estiaje mantienen un caudal relativamente mayor que las cuencas sin glaciares debido a la contribución de agua proveniente de los deshielos de los glaciares. Éstos presentan dos zonas típicas: la primera es la zona del casquete glaciar, donde se ubica la mayor acumulación de hielo. La segunda es la zona de ablación, que constituye la parte inferior de una corriente de hielo, donde se produce la fusión o deshielo que influye directamente en el régimen de los caudales de río. Generalmente la mayor ablación de los glaciares ocurre entre los meses de Mayo a Octubre y los demás meses la acumulación de nieve es predominante.

La fusión glaciar se incrementa por los siguientes factores:

- La orientación del área glaciar en relación a la incidencia de los rayos solares.
- Morfología de la roca base.
- Espesor y movimiento del glaciar.

Así el glaciar del área de estudio está condicionado a un delicado equilibrio

entre las precipitaciones sólidas y la temperatura local. Cualquier variación de estos elementos, por ejemplo el incremento de la temperatura, incrementará la regresión

Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

**UNFV**

glaciar. La zona de estudio presenta huellas muy marcadas por una fuerte erosión glaciar, especialmente sobre los 3,500 m.s.n.m. durante varios períodos de retroceso y avance que corresponden a la última glaciación Würmiense. Estudios realizados sobre la glaciación en la cordillera Blanca, en el cual se han registrado monitoreos y controles de la línea de hielo en el período 1,968 a 1,980 indican que el glaciar está retrocediendo a un promedio de 7 m /año ver el Cuadro N° 10

Tabla 9. Variaciones del frente glaciar Broggi (Cercano a la zona del túnel)

Período de observación	m / año	
	RETROCESO	AVANCE
1968 - 1970	-8.0	
1970 - 1971	-0.7	
1971 - 1972	-9.3	+6.1
1972 - 1974	-8.2	
1974 - 1976	-3.7	
1976 - 1977	-2.8	+3.0
1977 - 1978	-6.3	
1978 - 1979	-8.4	
1979 - 1980	-10.4	
1980 - 1981	-13.7	+6.4
1981 - 1982	-23.4	
1982 - 1983	-24.9	

Fuente: Expediente técnico Túnel Punta olímpica

**Glaciares en la zona del túnel:** La zona del túnel está ubicada a 4,900 m.s.n.m., entre los nevados Contrahierbas al norte y Poroquingua al sur, el límite actual de la línea de hielo está en promedio a los 4,650 m.s.n.m. que podría variar en el futuro debido a la regresión glaciar. La incidencia de potenciales fenómenos de aludes hacia la zona del proyecto son de baja probabilidad porque las lenguas de hielo de los dos nevados no están dirigidas hacia el túnel, sin embargo en la zona del abra

diciembre a marzo, que puede alcanzar un espesor de 3 a 10 m y puede llegar hasta los 4,700 m.s.n.m., especialmente en los años fríos de mayor precipitación sólida lo cual ocurre cada 4 o 5 años, según investigaciones realizadas por la Oficina de Glaciología del INRENA, Huaraz. Esto significa que si la nieve cubre durante 4 o 5 meses cada año, desde la cota 4,700 m.s.n.m., y con más abundancia en las dos últimas curvas del abra en el lado Carhuaz, el tránsito queda interrumpido en esos meses lo que imposibilita también la construcción en ese período por lo que se tendría que ejecutar el proyecto en los meses de abril a noviembre. En el lado Chacas el problema de la nieve es similar; sin embargo la intensidad es menor.

**Hidrología:** El proyecto involucra el uso del agua para la excavación del túnel y para el campamento base. Este recurso es vital e indispensable para el desarrollo de las actividades, aguas abajo del túnel en ambas vertientes, por lo que su protección para minimizar o evitar su contaminación es de vital importancia.

Los recursos hídricos en la zona son abundantes, están constituidos por ríos, lagunas, bofedales, acuíferos y casquete glaciar montañoso.

Asimismo la escorrentía superficial que proviene de las precipitaciones incrementa los cursos de agua y genera fenómenos de deslizamientos de las laderas y erosiones en el cauce del río Ulta en épocas de lluvias, pudiendo originar problemas de desbordes con perjuicio para los pastizales y animales si no se toman las medidas preventivas del caso.

**Hidrografía:** El drenaje del área de estudio está constituido principalmente por los ríos Ulta y Potaca, uno en cada vertiente de la cordillera. El río Ulta es una quebrada tributaria del río Santa en la vertiente occidental; está formado por la

confluencia de tres cursos menores de agua: el primero la Quebrada de Conchuques

que nace de la laguna Artesa ubicada al pie del túnel el cual confluye con la Quebrada Paclash proveniente de la laguna del mismo nombre y que aguas abajo se une al tercer curso: la Quebrada Shuytupampa cerca al puente Acushca y en la cota 3,800 m.s.n.m., recibe los aportes de las aguas de la laguna Hualcacocha.

La quebrada Potaca es un tributario del río Chacapito en la vertiente oriental y aguas abajo toma el nombre de río Chucpin para finalmente descargar al río Marañón.

La quebrada Potaca nace de la laguna Cancaracá chica que tiene un volumen de 2,5 millones de m<sup>3</sup> de agua. Aguas abajo recibe los aportes de las aguas de la laguna Yanarajo y pequeños arroyos de las filtraciones y deshielos del nevado Poroquingua y Yanarajo.

Tabla 10. Cuencas y micro cuencas en la zona de estudio

Cuenca / Micro cuenca	Área Km <sup>2</sup>
Conchuques	2,2552
Cancaracá Chico	1,0779
Conchuques – Paclash	8,1754
Ulta	170,46
Potaca	67,08

Fuente: Expediente técnico Túnel Punta olímpica

**Calidad del agua:** La calidad de las aguas es un aspecto ambiental esencial para efectuar el diagnóstico ambiental antes del inicio de las obras. Se han tomado dos muestras representativas en ambas vertientes, de un punto cercano al proyecto (en el caso de la laguna Cancaracá chico) o de un punto que eventualmente puede servir como fuente de agua para el consumo tanto del campamento como de la obra de perforación del túnel.

condiciones favorables para que se desarrollen acuíferos confinados en los materiales que conforman el fondo de la quebrada Ulta y las áreas circundantes a las lagunas Cancaracá y la quebrada Potaca.

El régimen de las aguas subterráneas guarda estrecha relación con las características pluviales de la zona, aunque sus manifestaciones son diferidas en el tiempo. Al término de los meses de lluvias el flujo subterráneo es más intenso.

**Acuíferos:** En el valle de Ulta, las estructuras lenticulares con concentraciones de grava y arena en el material fluvioglacial serían los medios principales donde se da el almacenamiento y flujo del agua subterránea.

En efecto, la escorrentía superficial que se da en este valle y en las estribaciones se infiltra al subsuelo y se concentra por debajo del pie de estas últimas.

La capa arcillosa superficial restringe la emergencia del flujo subterráneo, y éste se conduce principalmente por los medios gravo arenosos, que son muy permeables, y son entregados a la superficie cuando éstos están expuestos a la intemperie. Igualmente en el lado occidental, se ha observado varios puntos de surgencia la mayor parte de ellos en el flanco izquierdo de la quebrada Ulta, que emergen entre lechos de arenas y gravas, y cuyo caudal varía de uno a otro manantial entre 0,5 a 3 L/s.

En el lado oriental del área de estudio se observa una bofedal aguas arriba de la laguna Cancaracá Chico donde se han registrado varios puntos de surgencia de agua.

El agua subterránea que podría presentarse en el túnel provendrá del agua infiltrada en los intersticios, fisuras o discontinuidades de las rocas sedimentarias

esquistosas de grano fino, se puede estimar que esta será importante en los primeros 40 m del túnel en cada portal de acceso y en el resto del túnel las filtraciones serán puntuales en zonas de fallas o de las discontinuidades.

Los caudales de agua subterránea proveniente del túnel durante las excavaciones serán mayores en el período de lluvias y de acuerdo a las discontinuidades presentes en las perforaciones diamantinas se estiman que serán menores a 2,0 L/s.

### **Análisis de inestabilidad de taludes del botadero de estériles de gran altura**

### **Análisis de inestabilidad de taludes del botadero de estériles de 100 metros de altura; Talud de lateral.**

Para el análisis se tiene en cuenta los siguientes parámetros técnicos:

- Se asume el centro de rotación de la falla circular: (41.798,133.752)
- Se asume un radio de giro para la superficie de falla circular: 234.066 metros
- Pendiente del talud o ángulo de inclinación del talud  $25^\circ$
- El talud final del depósito de materiales excedentes es con una pendiente máxima de 32%.
- Altura del talud = 100 metros
- Peso unitario del material determinado en laboratorio es igual 1.85 Tm/m<sup>3</sup>
- Presión de poros.
- El número de dovelas 9.

### **Resultados**

El criterio de evaluación del análisis de inestabilidad estática consiste en  
Tesis publicada con autorización del autor  
No olvide citar esta tesis

calcular el coeficiente de seguridad por los modelos matemáticos de las Dovelas o

sueco, Bishop y Duncan, de tal manera que se de cumplir la siguiente relación condicional:

**Si  $F.S. > 1.00$ ; El talud será estable.**

**Si  $F.S. < 1.00$ ; El talud será inestable.**

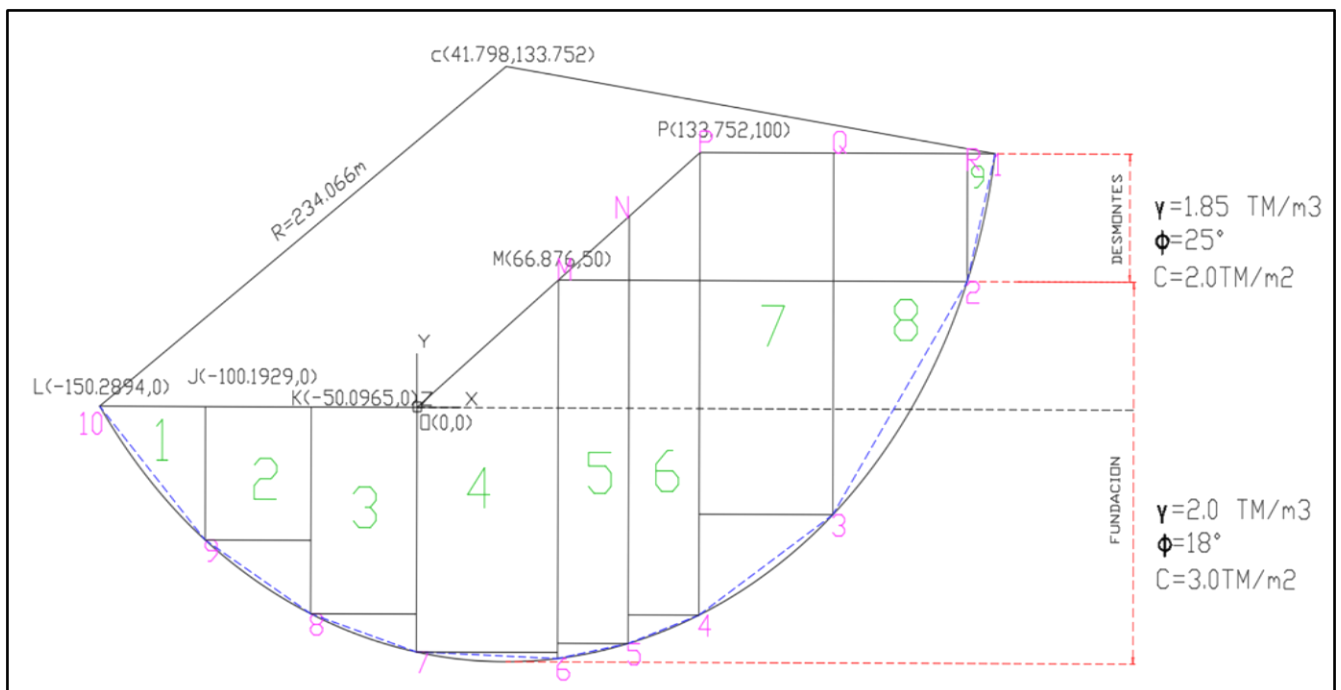


Figura 5. Diagrama de las dovelas, talud de 100 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

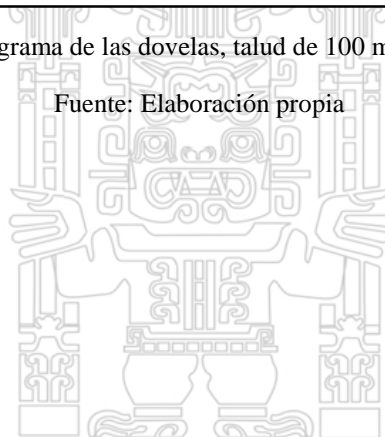


Tabla 11. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas o método sueco (FELENIUS)

Dovela	Angulo (Rad.)	c	f'	f	m	DXi	DLi	W	Sen a	W sena	Cos a	W Cos a	C=c*DLi	U=u*DLi	Tan F	Ni	Ni *Tan F
1	-0.7985	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	50.0965	72.1163	2621.4107	-0.7163	-1877.7994	0.6978	1829.1154	216.3490	0.0000	0.3249	1829.1154	594.3171
2	-0.5196	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	50.0965	57.8045	6705.2941	-0.4965	-3329.1956	0.8680	5820.4318	173.4136	0.0000	0.3249	5820.4318	1891.1776
3	-0.2670	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	50.0965	52.1677	8920.8018	-0.2638	-2353.7309	0.9646	8604.6880	156.5031	0.0000	0.3249	8604.6880	2795.8396
4	-0.0337	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	66.8760	66.6581	16419.2912	-0.0337	-553.5269	0.9994	16409.9583	199.9743	0.0000	0.3249	16409.9583	5331.9320
5	0.1800	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	33.4380	33.9401	10536.9329	0.1790	1886.5556	0.9838	10366.6708	101.8204	0.0000	0.3249	10366.6708	3368.3439
6	0.3282	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	33.4380	35.2721	11508.9438	0.3223	3709.8635	0.9466	10894.6180	105.8163	0.0000	0.3249	10894.6180	3539.8848
7	0.5645	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	63.3076	74.5753	20004.1524	0.5350	10701.9957	0.8449	16900.6924	223.7258	0.0000	0.3249	16900.6924	5491.3816
8	0.9651	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	63.3076	110.0912	11642.7203	0.8221	9571.3078	0.5694	6628.9518	330.2737	0.0000	0.3249	6628.9518	2153.8824
0	1.3155	2.0000	25.0000	0.4363	0.0000	13.0505	51.5441	603.5866	0.9676	584.0212	0.2525	152.4337	103.0882	0.0000	0.4663	152.4337	71.0812

F.S. = 1.4640

Fuente: Elaboración propia

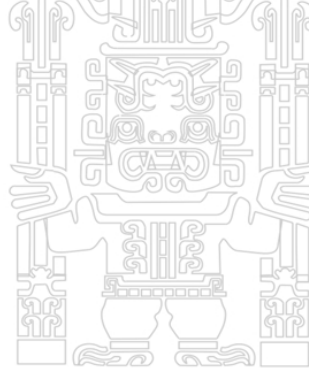


Tabla 12. Calculo del factor de seguridad por método de Bishop Simplificado

Dovelas	Angulo (°)	r°	f	m	DXi	DLi	W	Sen a	W sena	Tag a	Tag f	Cos a	Sec a	U=u*DXi	C=c*DXi	Wi- $\mu$ iXi	(Wi- $\mu$ iXi)Tag F	c DXi + (Wi- $\mu$ iXi)Tag f	FS1=1.25	FS2=1.35	FS1=1.25	FS2=1.35	FSc=2.4490	FSc=2.4490		
1	-46	14	51.602	18.00	0.3142	0	50.0965	72.1163	2621.4107	-0.7163	1877.7994	-1.0266	0.3249	0.6978	1.4332	0.0000	150.2895	2621.4107	851.7501	1002.0396	1.9548	1.9035	1958.7946	1907.3683	1.6591	1662.5269
2	-30	13	52.287	18.00	0.3142	0	50.0965	57.8045	5705.2941	-0.4965	3329.1956	-0.5720	0.3249	0.8680	1.1520	0.0000	150.2895	6705.2941	2178.6876	2328.9771	1.3532	1.3359	3151.6267	3111.3757	1.2466	2903.3753
3	-16	42	5.600	18.00	0.3142	0	50.0965	520965	8920.8018	-0.2638	2353.7309	-0.2735	0.3249	0.9646	1.0367	0.0000	150.2895	8920.8018	2898.5515	3048.8410	1.1161	1.1098	3402.7970	3383.6117	1.0758	3279.8806
4	-2	4	5.103	18.00	0.3142	0	66.8760	66.6581	6419.2912	-0.0337	-553.5269	-0.0337	0.3249	0.9994	1.0006	0.0000	200.6280	16419.2912	5334.9644	5535.5924	1.0094	1.0088	5587.7337	5584.0749	1.0051	5563.6395
5	10	18	50.225	18.00	0.3142	0	33.4380	33.9401	0536.9329	0.1790	1886.5556	0.1820	0.3249	0.9838	1.0164	0.0000	100.3140	10536.9329	3423.6656	3523.9796	0.9705	0.9738	3420.0744	3431.5554	0.9925	3497.4140
6	18	48	17.368	18.00	0.3142	0	33.4380	35.2721	1508.9438	0.3223	3709.8635	0.3405	0.3249	0.9466	1.0564	0.0000	100.3140	11508.9438	3739.4919	3839.8059	0.9705	0.9764	3726.4786	3749.0608	1.0107	3880.9868
7	32	20	35.052	18.00	0.3142	0	63.3076	74.5753	0004.1524	0.5350	0701.9957	0.6332	0.3249	0.8449	1.1836	0.0000	189.9228	20004.1524	6499.7594	6689.6822	1.0163	1.0271	6798.9947	6870.9284	1.0919	7304.4326
8	55	17	38.209	18.00	0.3142	0	63.3076	110.0912	1642.7203	0.8221	9571.3078	1.4439	0.3249	0.5694	1.7563	0.0000	189.9228	11642.7203	3782.9586	3972.8814	1.2771	1.3034	5073.5702	5178.2446	1.4740	5855.9544
9	75	22	17.652	25.00	0.4363	0	13.0505	51.5441	603.5866	0.9676	584.0212	3.8313	0.4663	0.2525	3.9597	0.0000	26.1010	603.5866	281.4578	307.5588	1.6300	1.7043	501.3174	524.1612	2.2895	704.1468

F.S. = 1.8895

$$F.S = \frac{1}{\sum W_i \text{sen} \alpha_i} \Sigma [c \Delta X_i + (W_i - \mu_i \Delta X_i) Tg \phi] * \frac{\text{sec} \alpha}{1 + \frac{Tg \alpha Tg \phi}{F.S \text{ dato}}}$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas por Duncan

Dovelas	Angulo (°)	a	A	g	W	f'	f	ci	ui	Xi	Sen a	Cos a	Tan a	Tan f	Li	Li/Cos a	WiTag f	(UiLi Tan F)/Cos μ	F Wi Tag a	F + Tag a	Tag F	ΔEi = [(D-A-B+C)/E]				
1	-46	14	51.602	-0.7985	2.1170	1.1000	2.3287	15.00	0.2618	0.0000	0.0000	50.0965	-0.7163	0.6978	-1.0266	0.2679	71.7962	0.0000	0.6240	0.0000	-2.9884	-3.2274	0.9749	1.0749	-3.7053	-3.5830
2	-30	13	52.287	-0.5196	4.9932	1.1000	5.4925	15.00	0.2618	0.0000	0.0000	50.0965	-0.4965	0.8680	-0.5720	0.2679	57.7125	0.0000	1.4717	0.0000	-3.9270	-4.2412	1.0967	1.1967	-4.9226	-4.7738
3	-16	42	5.600	-0.2670	6.0368	1.9000	11.4699	18.00	0.3142	0.0000	0.0000	50.0965	-0.2638	0.9646	-0.2735	0.3249	51.9369	0.0000	3.7268	0.0000	-3.9219	-4.2356	1.1611	1.2611	-6.5873	-6.3138
4	-2	4	5.103	-0.0337	4.9641	1.9000	9.4318	18.00	0.3142	0.0000	0.0000	66.8760	-0.0337	0.9994	-0.0337	0.3249	66.9140	0.0000	3.0646	0.0000	-0.3977	-0.4295	1.2390	1.3390	-2.7943	-2.6094
5	10	18	50.225	0.1800	18.6778	2.0000	27.7023	18.00	0.3142	0.0000	4.1636	33.4380	0.1790	0.9838	0.1820	0.3249	33.9872	0.0000	9.0010	46.7344	6.3017	6.8058	1.3091	1.4091	33.6368	31.6075
6	18	48	17.368	0.3282	18.6778	2.0000	44.1827	18.00	0.3142	0.0000	5.7076	33.4380	0.3223	0.9466	0.3405	0.3249	35.3235	0.0000	14.3559	69.2019	18.8065	20.3110	1.3606	1.4606	54.1307	51.4548
7	32	20	35.052	0.5645	27.6069	2.0800	57.4224	18.00	0.3142	0.4000	6.1259	63.3076	0.5350	0.8449	0.6332	0.3249	74.9327	35.4770	18.6577	176.5364	45.4518	49.0880	1.4557	1.5557	115.3039	110.2296
8	55	17	38.209	0.9651	11.0532	2.0800	22.9907	30.00	0.5236	0.4000	6.0897	63.3076	0.8221	0.5694	1.4439	0.5774	111.1899	78.1151	13.2737	686.6122	41.4942	44.8138	2.0836	2.1836	305.5827	293.1086
9	75	22	17.652	1.3155	6.1071	2.0800	12.7028	30.00	0.5236	0.4000	5.8690	13.0505	0.9676	0.2525	3.8313	0.5774	51.6757	81.8474	7.3340	693.3456	60.8353	65.7022	3.4620	3.5620	192.0845	188.0582
10			0.0000		24.8080	2.0800	51.6006	30.00	0.5236	0.4000	5.2737		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	29.7917	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-23.8334	-22.0679
11			0.0000		9.0501	2.0800	18.8242	30.00	0.5236	0.4000	4.2612		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	10.8682	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-8.6946	-8.0505
12			0.0000		6.5651	2.0800	13.6554	30.00	0.5236	0.4000	2.8858		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	7.8840	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-6.3072	-5.8400
13			0.0000		1.5673	2.0800	3.2600	30.00	0.5236	0.4000	1.2360		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	1.8822	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-1.5057	-1.3942

F.S.= 4.0972

Fuente: Elaboración propia



## Análisis de inestabilidad de taludes del botadero de estériles de 320 metros de altura; Talud central.

Para el análisis se tiene en cuenta los siguientes parámetros técnicos:

- Se asume el centro de rotación de la falla circular: (1,022.272,216.848)
- Se asume un radio de giro para la superficie de falla circular: 749.0120 metros
- Pendiente del talud o ángulo de inclinación del talud  $25^\circ$
- El talud final del depósito de materiales excedentes es con una pendiente máxima de 32%.
- Altura del talud = 320 metros
- Peso unitario del desmonte igual  $1.85 \text{ Tm/m}^3$
- Peso unitario del desmonte igual  $2.00 \text{ Tm/m}^3$
- Presión de poros.
- El número de dovelas 9

### Resultados

El mismo que para 100 metros de altura

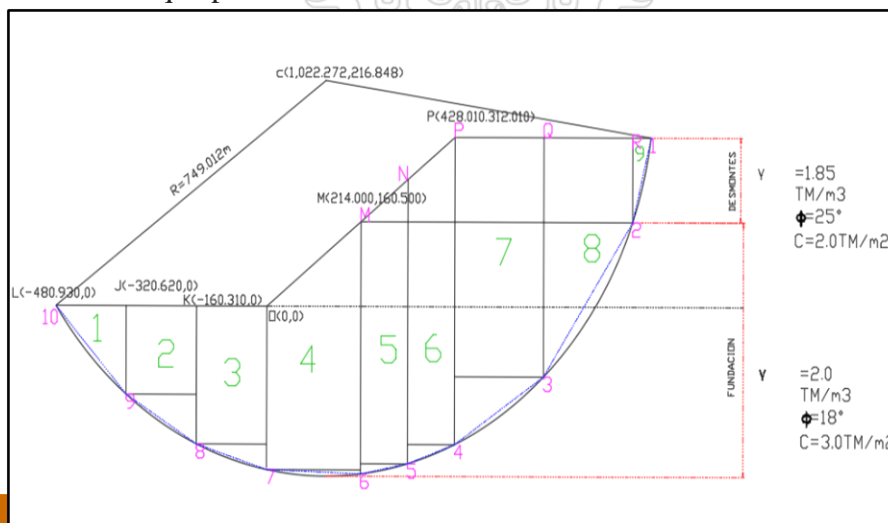


Figura 6. Diagrama de las dovelas, talud de 320 metros de altura

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas o método sueco (FELENIUS)

Dovelas	Angulo (°)		Angulo	c	f°	f	m	DXi	DLi	W	Sen a	W sena	Cos a	W Cos a	C=c*DLi	U=u*DLi	Tan F	Ni	Ni *Tan F	
1	-46	14	51.602	-0.7985	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	160.3088	230.7723	26843.2451	-0.7163	-19228.6662	0.6978	18730.1416	692.3168	0.0000	0.3249	18730.1416	6085.8071
2	-30	13	52.287	-0.5196	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	160.3088	184.9746	68662.2117	-0.4965	-34090.9628	0.8680	59601.2212	554.9237	0.0000	0.3249	59601.2212	19365.6591
3	-16	42	5.600	-0.2670	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	160.3088	166.9367	91349.0108	-0.2638	-24102.2049	0.9646	88112.0054	500.8100	0.0000	0.3249	88112.0054	28629.3976
4	-2	4	5.103	-0.0337	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	214.0032	213.3059	168133.5417	-0.0337	-5668.1150	0.9994	168037.9728	639.9177	0.0000	0.3249	168037.9728	54598.9836
5	10	18	50.225	0.1800	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	107.0016	108.6084	107898.1930	0.1790	19318.3293	0.9838	106154.7088	325.8251	0.0000	0.3249	106154.7088	34491.8420
6	18	48	17.368	0.3282	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	107.0016	112.8707	117851.5849	0.3223	37989.0026	0.9466	111560.8881	338.6121	0.0000	0.3249	111560.8881	36248.4205
7	32	20	35.052	0.5645	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	202.5843	238.6408	204842.5206	0.5350	109588.4356	0.8449	173063.0898	715.9225	0.0000	0.3249	173063.0898	56231.7471
8	55	17	38.209	0.9651	3.0000	18.0000	0.3142	0.0000	202.5843	352.2919	119221.4554	0.8221	98010.1916	0.5694	67880.4668	1056.8757	0.0000	0.3249	67880.4668	22055.7558
9	75	22	17.652	1.3155	2.0000	25.0000	0.4363	0.0000	41.7617	164.9410	6180.7268	0.9676	5980.3770	0.2525	1560.9211	329.8821	0.0000	0.4663	1560.9211	727.8714

F.S. = 1.4036

Fuente: Elaboración propia

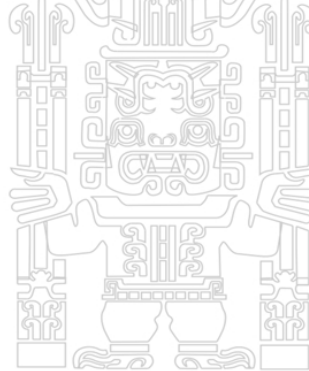


Tabla 15. Calculo del factor de seguridad por método de Bishop Simplificado

Dovelas	Angulo (Rad.)	c	f'	f	m	DXi	DLi	W	Sen a	W sena	Tag a	Tag f	Cos a	Sec a	U=u*DXi	C=c*DXi	Wi-uiXi	(Wi-uiXi)/Tag f	c DXi + (Wi-uiXi)/Tag f	FS1=1.25	FS2=1.35	FS1=1.25	FS2=1.35	FSc=2.4490	FSc=2.4490
1	-0.7985	3.0000	18.0000	0.3142	0	160.3088	230.7723	26843.2451	-0.7163	-19228.6662	-1.0266	0.3249	0.6978	1.4332	0.0000	480.9264	26843.2451	8721.9208	9202.8472	1.9548	1.9035	17989.7962	17517.4903	1.6591	15268.8391
2	-0.5196	3.0000	18.0000	0.3142	0	160.3088	184.9746	68662.2117	-0.4965	-34090.9628	-0.5720	0.3249	0.8680	1.1520	0.0000	480.9264	68662.2117	22309.7607	22790.6871	1.3532	1.3359	30840.8955	30447.0109	1.2466	28411.5800
3	-0.2670	3.0000	18.0000	0.3142	0	160.3088	166.9367	91349.0108	-0.2638	-24102.2049	-0.2735	0.3249	0.9646	1.0367	0.0000	480.9264	91349.0108	29681.1670	30162.0934	1.1161	1.1098	33663.7700	33473.9706	1.0758	32447.7619
4	-0.0337	3.0000	18.0000	0.3142	0	214.0032	213.3059	168133.5417	-0.0337	-5668.1150	-0.0337	0.3249	0.9994	1.0006	0.0000	642.0096	168133.5417	54630.0358	55272.0454	1.0094	1.0088	55792.6682	55756.1354	1.0051	55552.0913
5	0.1800	3.0000	18.0000	0.3142	0	107.0016	108.6084	107898.1930	0.1790	19318.3293	0.1820	0.3249	0.9838	1.0164	0.0000	321.0048	107898.1930	35058.3357	35379.3405	0.9705	0.9738	34336.1739	34451.4391	0.9925	35112.6328
6	0.3282	3.0000	18.0000	0.3142	0	107.0016	112.8707	117851.5849	0.3223	37989.0026	0.3405	0.3249	0.9466	1.0564	0.0000	321.0048	117851.5849	38292.3969	38613.4017	0.9705	0.9764	37473.7730	37700.8621	1.0107	39027.5199
7	0.5645	3.0000	18.0000	0.3142	0	202.5843	238.6408	204842.5206	0.5350	109588.4356	0.6332	0.3249	0.8449	1.1836	0.0000	607.7530	204842.5206	66557.5359	67165.2889	1.0163	1.0271	68262.8011	68985.0252	1.0919	73337.4644
8	0.9651	3.0000	18.0000	0.3142	0	202.5843	352.2919	119221.4554	0.8221	98010.1916	1.4439	0.3249	0.5694	1.7563	0.0000	607.7530	119221.4554	38737.4959	39345.2489	1.2771	1.3034	50245.8698	51282.5087	1.4740	57994.1762
9	1.3155	2.0000	25.0000	0.4363	0	41.7617	164.9410	6180.7268	0.9676	5980.3770	3.8313	0.4663	0.2525	3.9597	0.0000	83.5233	6180.7268	2882.1279	2965.6513	1.6300	1.7043	4833.9777	5054.2501	2.2895	6789.7700

F.S. = 1.8315

$$F.S = \frac{1}{\sum W_i \text{sen} \alpha_i} \Sigma [c \Delta X_i + (W_i - \mu_i \Delta X_i) T g \phi] * \frac{\text{sec} \alpha}{1 + \frac{T g \alpha T g \phi}{F.S \text{ dato}}}$$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Calculo del factor de seguridad por método de las dovelas por Duncan

Dovelas	Angulo (Rad.)	A	g	W	f'	f	ci	ui	Xi	Sen a	Cos a	Tan a	Tan f	Li	LiCi/Cos a	WiTag f	(UiLi Tan F)/Cos μ	F Wi Tag a	F + Tag a	Tag F	AEi = [(D-A-B+C)/E]		
1	-0.7985	2.1170	1.1000	2.3287	15.00	0.2618	0.0000	0.0000	160.3088	-0.7163	0.6978	-1.0266	0.2679	229.7478	0.0000	0.6240	0.0000	-2.9884	-3.2274	0.9749	1.0749	-3.7053	-3.5830
2	-0.5196	4.9932	1.1000	5.4925	15.00	0.2618	0.0000	0.0000	160.3088	-0.4965	0.8680	-0.5720	0.2679	184.6801	0.0000	1.4717	0.0000	-3.9270	-4.2412	1.0967	1.1967	-4.9226	-4.7738
3	-0.2670	6.0368	1.9000	11.4699	18.00	0.3142	0.0000	0.0000	160.3088	-0.2638	0.9646	-0.2735	0.3249	166.1981	0.0000	3.7268	0.0000	-3.9219	-4.2356	1.1611	1.2611	-6.5873	-6.3138
4	-0.0337	4.9641	1.9000	9.4318	18.00	0.3142	0.0000	0.0000	214.0032	-0.0337	0.9994	-0.0337	0.3249	214.1249	0.0000	3.0646	0.0000	-0.3977	-0.4295	1.2390	1.3390	-2.7943	-2.6094
5	0.1800	18.6778	2.0000	27.7023	18.00	0.3142	0.0000	4.1636	107.0016	0.1790	0.9838	0.1820	0.3249	108.7590	0.0000	9.0010	149.5499	6.3017	6.8058	1.3091	1.4091	112.1742	104.5714
6	0.3282	18.6778	2.0000	44.1827	18.00	0.3142	0.0000	5.7076	107.0016	0.3223	0.9466	0.3405	0.3249	113.0352	0.0000	14.3559	221.4460	18.8065	20.3110	1.3606	1.4606	166.0220	155.6857
7	0.5645	27.6069	2.0800	57.4224	18.00	0.3142	0.4000	6.1259	202.5843	0.5350	0.8449	0.6332	0.3249	239.7847	113.5265	18.6577	564.9164	45.4518	49.0880	1.4557	1.5557	328.4798	309.7031
8	0.9651	11.0532	2.0800	22.9907	30.00	0.5236	0.4000	6.0897	202.5843	0.8221	0.5694	1.4439	0.5774	355.8078	249.9683	13.2737	2197.1592	41.4942	44.8138	2.0836	2.1836	948.0680	906.1709
9	1.3155	6.1071	2.0800	12.7028	30.00	0.5236	0.4000	5.8690	41.7617	0.9676	0.2525	3.8313	0.5774	165.3623	261.9118	7.3340	2218.7059	60.8353	65.7022	3.4620	3.5620	580.6720	565.7365
10	0.0000	24.8080	2.0800	51.6006	30.00	0.5236	0.4000	5.2737		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	29.7917	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-23.8334	-22.0679
11	0.0000	9.0501	2.0800	18.8242	30.00	0.5236	0.4000	4.2612		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	10.8682	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-8.6946	-8.0505
12	0.0000	6.5651	2.0800	13.6554	30.00	0.5236	0.4000	2.8858		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	7.8840	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-6.3072	-5.8400
13	0.0000	1.5673	2.0800	3.2600	30.00	0.5236	0.4000	1.2360		0.0000	1.0000	0.0000	0.5774	0.0000	0.0000	1.8822	0.0000	0.0000	0.0000	1.2500	1.3500	-1.5057	-1.3942

F.S. = 3.5622

Fuente: Elaboración propia



#### 4.1 Contrastación de Hipótesis

H1: Si Analizamos la inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura entonces Predeciremos su fallamiento.

Ho: Si no Analizamos la inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura entonces no Predeciremos su fallamiento.

Se desea contrastar con un nivel de significación del 5 % la hipótesis de que el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura determinando el factor de seguridad si  $F.S. > 1.00$ ; El talud será estable y si el  $F.S. < 1.00$ ; El talud será inestable.

Suponiendo que la desviación típica del factor de seguridad es igual a 4, contraste dicha hipótesis frente a la alternativa de que es menor a 1, con una muestra de  $n = 3$  (modelos matemáticos de las Dovelas o sueco, Bishop y Duncan) entonces:

$$H1 : \mu > 1$$

Frente a la alternativa:

$$Ho : \mu < 1$$

Tabla 17. Distribución normal estandarizada

Método	Factor de Seguridad	Distribución Normal		
Dovelas	1.4036	0.2626	Media	2.2658
Bishop	1.8315	0.3247	Desviación Estándar	1.1429
Duncan	3.5627	0.1834		

Fuente: Elaboración propia

**Gráficamente:** El valor del estadístico de contraste está en la zona de aceptación. Por lo que no se puede rechazar la hipótesis de investigación

que establece que el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura determinando que el factor de seguridad hallados por

los tres métodos (modelos matemáticos de las Dovelas o sueco, Bishop y Duncan) predecirá que no fallara el botadero de estériles de altura de 320 metros (parte central del botadero), porque el F.S.  $>1.00$ ; por lo tanto el talud es estable

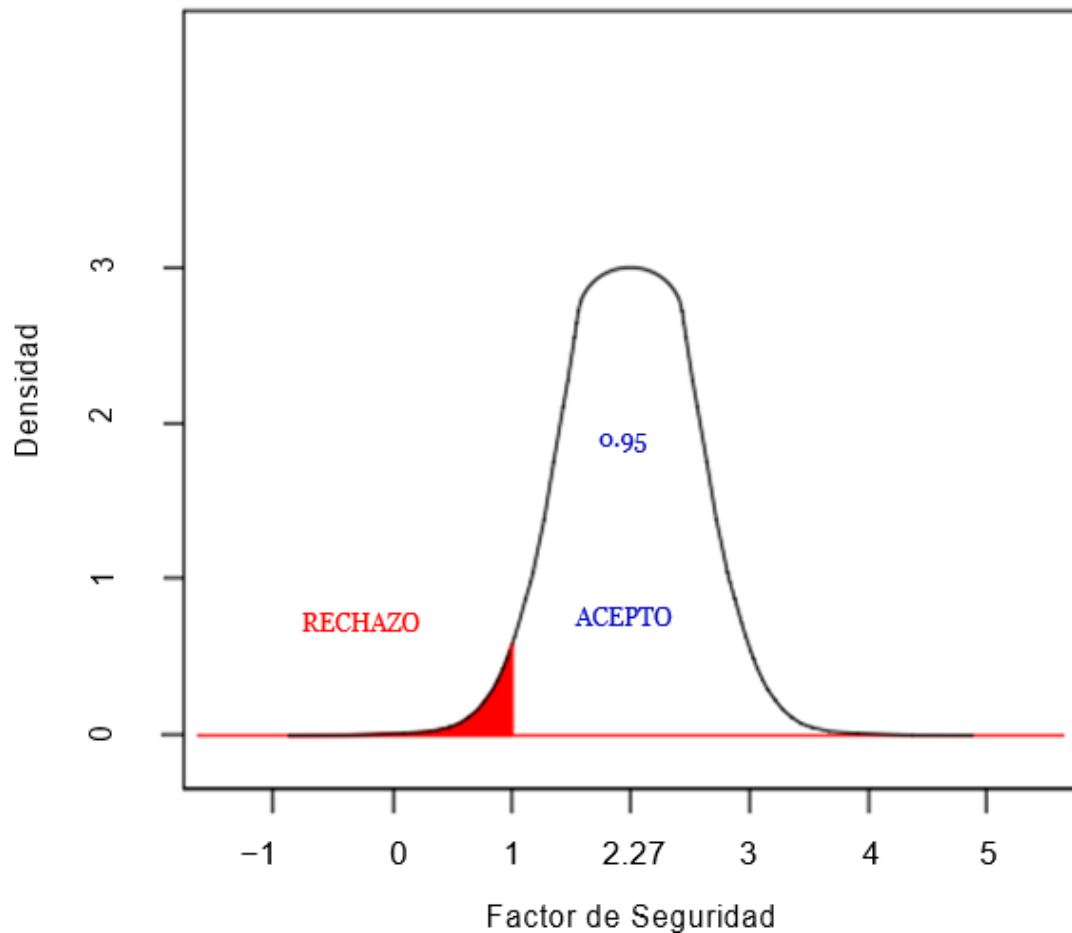


Figura 7. Distribución normal estandarizada (Z Contraste de una cola)  
Fuente: Elaboración propia

De similar análisis No podemos rechazar la hipótesis de investigación que establece que el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura determinando que el factor de seguridad hallados por los tres métodos (modelos matemáticos de las Dovelas o sueco, Bishop y

Duncan) predecirá que no fallara el botadero de estériles de altura de 10 metros (parte lateral del botadero), porque el F.S.  $>1.00$ ; por lo tanto el

talud es estable

#### 4.2 Análisis e interpretación

El análisis nos determina que la hipótesis de investigación es válida por que el factor de seguridad calculado por los tres modelos matemáticos son mayor que 1 y el botadero no fallara en la parte central ni lateralmente.

##### De estas afirmaciones concluimos:

- Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ), se acepta la hipótesis de investigación ( $H_1$ ) a un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$  por que la prueba resultó ser significativa.
- La evidencia estadística no permite aceptar la hipótesis nula.



## V. Discusión

### 5.1. Discusión

#### **Análisis de inestabilidad de taludes del botadero de estériles de 320 metros de altura; Talud del lado occidental del túnel de “Punta Olímpica”**

El análisis de inestabilidad de taludes se ha realizado en la parte más crítica del talud de botadero de estériles, en condiciones no drenadas, es decir, para condiciones donde se desarrolla la presión de poros durante un evento sísmico. El resultado nos indica que el factor de seguridad es mayor que 1, por lo tanto, significa que el talud del botaderos de estériles es estable estáticamente y puede no puede fallar por la superficie de falla asumido.

El análisis de inestabilidad sísmica se efectúa con el fin de evaluar la inestabilidad en general del botadero de estériles tanto en el cuerpo y cimentación, durante la presencia de sismos.

Para depósitos de botaderos cuyos diques están constituidas de materiales de mayor granulometría, la pérdida de resistencia es pequeña durante un terremoto y el análisis de inestabilidad dinámica se reduce a un análisis de inestabilidad pseudo-estática, es decir, el mismo análisis de inestabilidad estática pero tomando en cuenta el coeficiente de aceleración sísmica de la zona. Porque el análisis por el método de equilibrio limite considera a las fuerzas dinámicas producidas por un evento sísmico, como fuerzas estáticas equivalentes. Este análisis que la fuerza de inercia y la presión de poros inducidas por las fuerzas dinámicas son remplazadas en el

dovela.

$$F_i = K W_i$$

Dónde: K es el coeficiente sísmico.

El criterio de evaluación del análisis de inestabilidad dinámica consiste en determinar el factor de seguridad, por los mismos modelos matemáticos planteados anteriormente, de tal manera que:

Si  $F.S. > 1.00$ ; El talud será estable.

Si  $F.S. < 1.00$ ; El talud será inestable.

**Para el talud lateral (100 metros de altura):**

Tabla 18. Discusión de resultados por diferentes métodos

Método de las Dovelas o método Sueco (Felenius)	F.S.=	1.3879
Método Bishop simplificado:	F.S.=	1.7024
Método de las Dovelas por Duncan:	F.S.=	3.3187

Fuente: Elaboración propia

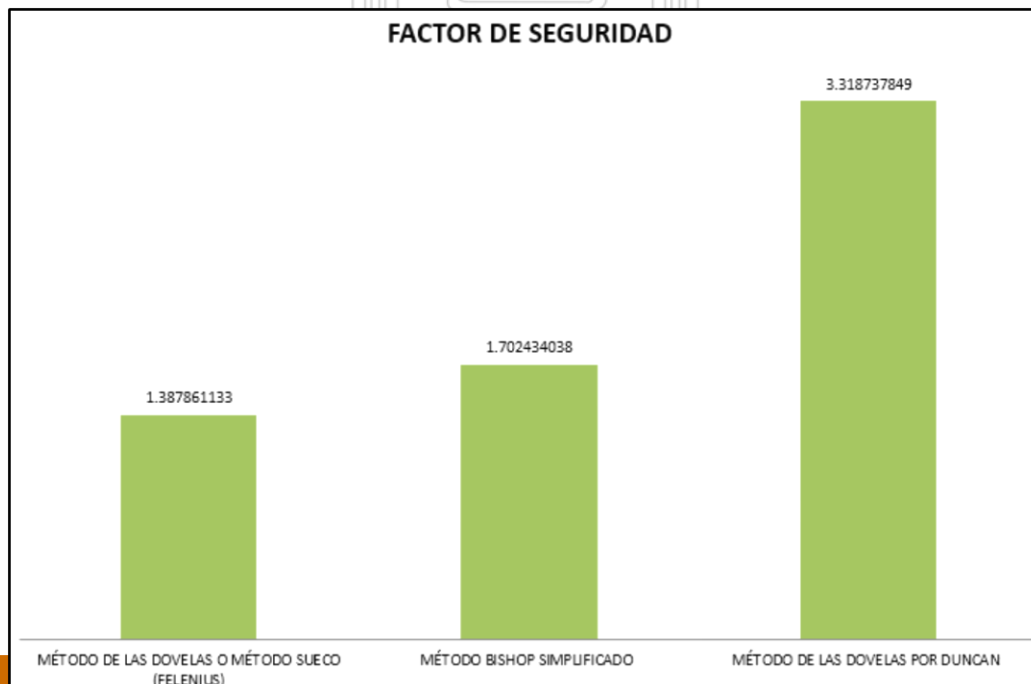


Figura 8. Factor de Seguridad calculado por los tres métodos para el talud lateral

Fuente: Elaboración propia

El factor de seguridad mostrado en la figura es el factor de seguridad calculado pero multiplicado por un factor de corrección por bancos por el método de las Dovelas o Sueco (Felenius) es de 0.052, en el método de Bishop simplificado es de 0.099 y en el del método por Duncan es de 0.19.

**Para el talud central (320 metros de altura):**

Tabla 19. Discusión de resultados por diferentes métodos

Método de las Dovelas o método Sueco (Felenius)	F.S.=	1.1700
Método Bishop simplificado:	F.S.=	1.2513
Método de las Dovelas por Duncan:	F.S.=	1.3964

Fuente: Elaboración propia

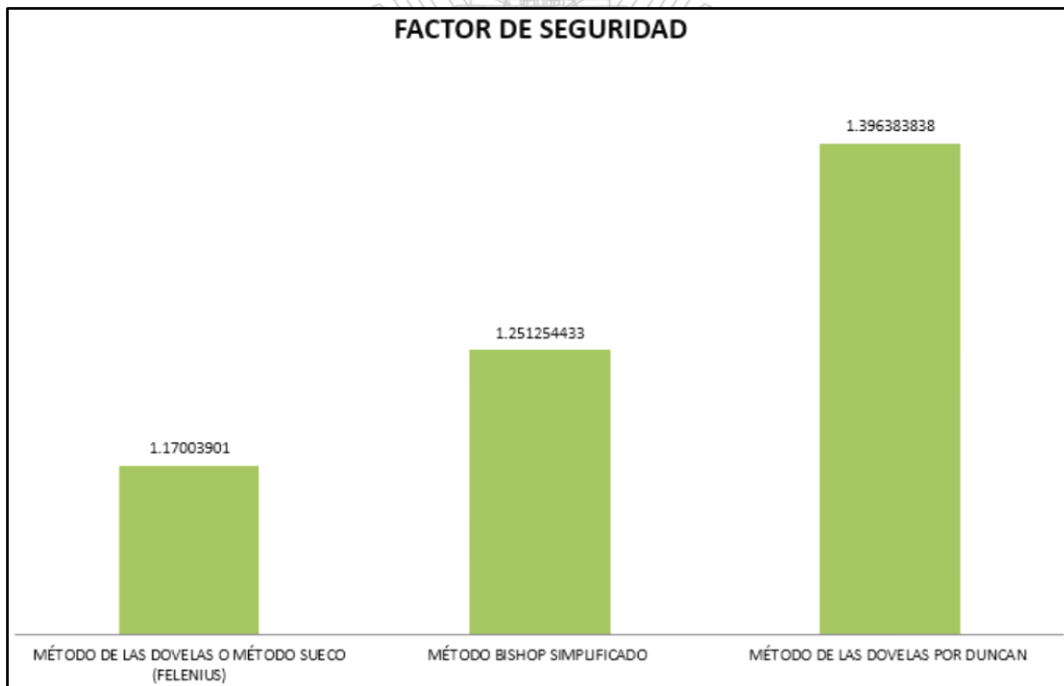


Figura 9. Factor de Seguridad calculado por los tres métodos para el talud central

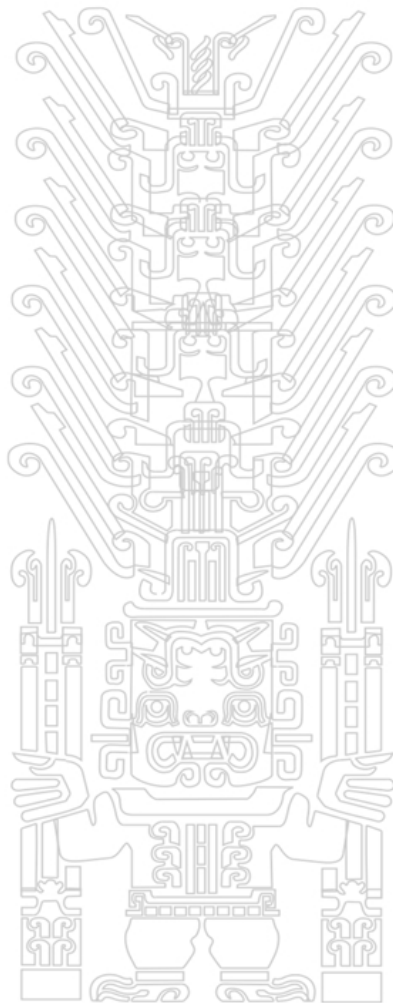
Fuente: Elaboración propia

El factor de seguridad mostrado en la figura es el factor de seguridad calculado pero multiplicado por un factor de corrección por bancos por el método de las Dovelas o Sueco (Felenius) es de 0.052, en el método de

Bishop simplificado es de 0.099 y en el del método por Duncan es de 0.19.

Puedo afirmar que usando el método Bishop y Duncan, son más fiables para determinar el comportamiento del talud.

En caso de fallase el talud primero se debe de establecer el criterio de alarma para el cierre temporal y realizar las obras de estabilización.



## 5.2. Conclusiones

- Se realizó el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento.
- Realizar el análisis de inestabilidad de taludes de 100 y 320 metros de altura.

Se calculó el factor de seguridad:

El factor de seguridad calculado para el talud lateral (100 metros) es:

- Método de las Dovelas o método Sueco (Felenius) = 1.4640
- Método Bishop simplificado = 1.8895
- Método de las Dovelas por Duncan = 4.0972

El factor de seguridad calculado para el talud Central (320 metros) es:

- Método de las Dovelas o método Sueco (Felenius) = 1.4036
- Método Bishop simplificado = 1.8315
- Método de las Dovelas por Duncan = 3.5622

El factor de seguridad de trabajo debe de ser el F.S. calculado multiplicado por un factor de corrección por bancos:

- Por el método de las Dovelas o Sueco (Felenius) = 0.052.
- Por el método de Bishop simplificado = 0.099.
- Por el del método por Duncan = 0.19

Obteniéndose para el talud lateral:

- Método de las Dovelas o método Sueco (Felenius) = 1.3879
- Método Bishop simplificado = 1.7024
- Método de las Dovelas por Duncan = 3.3187

Y para el talud central:

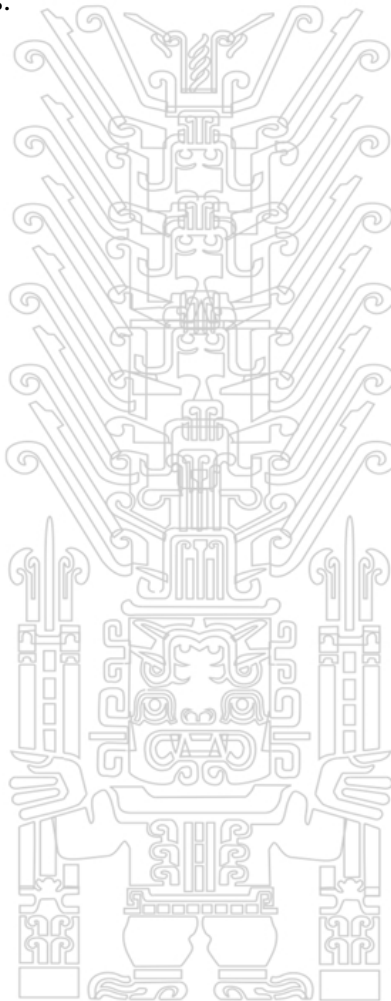
- Método de las Dovelas o método Sueco (Felenius) = 1.1700
- Método Bishop simplificado = 1.2513
- Método de las Dovelas por Duncan = 1.3964

Se determinó que en las actuales condiciones el talud es estable.

- El análisis de inestabilidad de taludes se ha realizado en la parte más crítica del talud de botadero de estériles, en condiciones no drenadas, es decir, para condiciones donde se desarrolla la presión de poros durante un evento sísmico. El resultado nos indica que el factor de seguridad es mayor que 1, por lo tanto, significa que el talud del botadero de estériles es estable estáticamente y no puede fallar por la superficie de falla asumido.

### 5.3. Recomendaciones

- Realizar en proyectos similares el análisis de inestabilidad de taludes de gran altura.
- Hacer el análisis de riesgo sísmico cada año.
- Realizar el plan de monitoreo de estabilidad física del botadero de estériles.



## VI. Referencias

- Ary, D. y otros. (2000). Introducción a la Investigación Pedagógica. Ed. Mc Graw Hill. 2da. Edic.
- Braja M. Das. (1985). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.
- Charles F. (2006). Problemología”. Instituto Andino de Sistemas. Lima.
- Colás, M. y otros. (1998). Competencias científicas para la realización de una tesis doctoral. Recuperado el 20/03/2017 de [https://gedos.usal.es/jspui/bitstream/10366/100413/1/Colas\\_Bravo\\_M\\_P\\_Buendia](https://gedos.usal.es/jspui/bitstream/10366/100413/1/Colas_Bravo_M_P_Buendia). Barcelona.
- Deymor y Villafuerte. (1986). Manual metodológico para el investigador científico.
- Fonteras, D. (2016). Colapso de presa de clarificación que afecta a la provincia de Cotabambas recuperado el 20/05/2017 de <https://derechosinfronteras.pe/pobladores-de-las-bambas-denuncian-el-colapso-de-presa-de-clarificacion-que-afecta-a-la-provincia-de-cotabambas/>. Derecho sin fronteras.
- Frías E. (2004). Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos. tesis doctoral; Departamento de Ingeniería Eléctrica. UPC.
- Lopez, J. y otros. (2006), Manual de Construcción y Restauración de escombreras, Madrid, España, Edición Gráficas Arias Montano S.A. Madrid.
- Matthews y otros. (2014). the Technical Paper: Slope stability analysis - limit equilibrium or the finite element method año 2014 Newcastle University.

Merchán y Sánchez. (2013). Evaluación de la estabilidad de los taludes en un sector de la cantera de materiales pétreos las Victorias. Cuenca - Ecuador.

Morales D. (2000). Análisis y Diseño de Taludes Mediante Métodos Computacionales. Tesis de Grado. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

Navarro N. (2015). Diseño del sistema de gestión en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente de EPROMIG S.R.L. para cumplir los estándares de CIA minera Antamina S.A. Huaraz.

Palma y otros. (2013). Trabajo técnico: Caracterización geotécnica de materiales de lastre en botaderos de gran altura mediante ensayos triaxiales y odométricos de gran tamaño. . Santiago - Chile.

Paredes, E. (2012). Cálculo del inicio de velocidad de colapso de la falla del botadero de tucush en la mina antamina 2010. Huaraz, Huaraz, Ancash: Universidad Santiago Antúnez de Máyo.

Paredes y Velasquez. (2011). Modelamiento determinístico para obtener criterios de alarmas, tiempo y velocidad de colapso en la construcción del botadero tucush compañía minera Antamina S.A. PERUMIN – 30 Convención Minera Arequipa.

Quispe I. (2013). Análisis de estabilidad para la construcción de botaderos de desmonte en minería superficial. Huaraz.

Revista Seguridad Minera N° 64 . (2012). Artículo de Carlos Aguirre Carpio, Ingeniero Geotécnico Senior de la Compañía Minera Argentina Gold S.A.,

Barrick Veladero. Seguridad Minera N° 64.

Tesis publicada con autorización del autor

No olvide citar a Sierra R. (2002). Tesis Doctorales, Paraninfo. Madrid.

**UNFV**

Tamayo M. (1994). El proceso de la Investigación Científica. México: Limusa.

Villarreal J. (2004). Evaluación de estabilidad física y química de la presa de relaves de Mesapata. . Huaraz.

### Referencias electrónicas

<http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/> Análisis de estabilidad de taludes, Geotecnia para el trópico andino, Recuperado el 10/03/2017

<http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cend.> (2005). Ley 28090 Recuperado el 06/04/2017 de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3\\_uibd.nsf/1ACC971CC90E7D1F052578C30077D23A/\\$FILE/Ley\\_28090.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/1ACC971CC90E7D1F052578C30077D23A/$FILE/Ley_28090.pdf). el (06/04/2017).

<http://www.eumed.net/tesis-doctorales/>. (2010). Recuperado el 15/02/2017 de <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/2010/prc/analisis%20E%20interpretacion%20DE%20LOS%20datos.htm>.

<http://www.revistaseguridadminera.com.> (2012). Construcción de botaderos de desmonte/Recuperado 10/12/2016 de [http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/construcción de botaderos de desmonte/](http://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/construcción-de-botaderos-de-desmonte/).

[http:// biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos.](http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos.) (1996). <http:// biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/Cierreminas/cierreabandono.pdf> Guía Ambiental Para el Cierre y Abandono de Minas, Recuperado 15/03/2017 de [http:// biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/ arc.](http:// biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/Recursos/arc.) Lima.

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_landslide](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_landslide). (2013). List of landslides

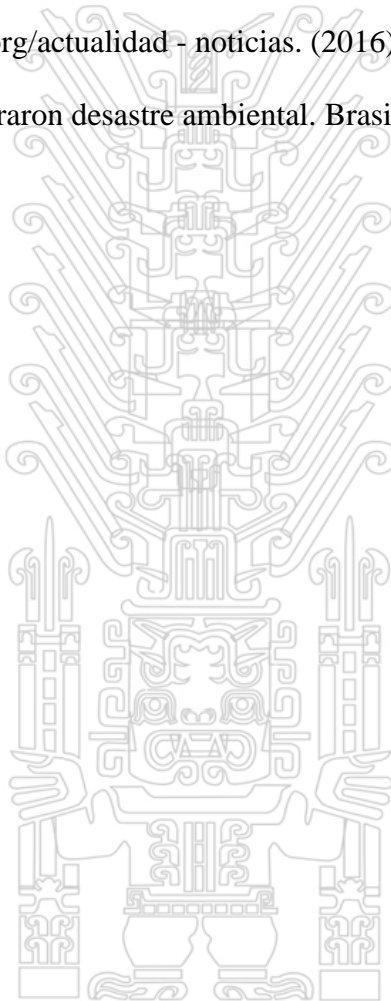
Recuperado 20/03/2017 de [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_landslides#cite\\_note-63](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_landslides#cite_note-63). United States.

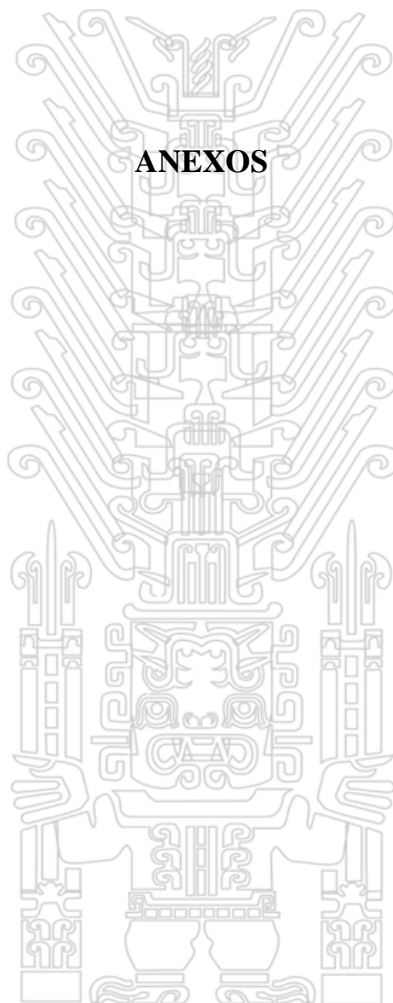
[https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa\\_de\\_Mohr-Coulomb](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_Mohr-Coulomb). (2015). Angulo de reforzamiento inteno

Recuperado el 04/05/2017 de

[https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa\\_de\\_Mohr-Coulomb](https://es.wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_Mohr-Coulomb).

<https://www.servindi.org/actualidad-noticias>. (2016). Brasil empresa sabia de las fallas que generaron desastre ambiental. Brasil.





## ANEXOS

**Anexo N°01: Matriz de consistencias**

Título	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores
<p>Análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento</p>	<p><b>PRINCIPAL:</b></p> <p>¿De qué manera el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura predecirá su fallamiento?</p>	<p><b>GENERAL:</b></p> <p>Realizar el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura para predecir su fallamiento</p> <p><b>ESPECIFICOS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Realizar el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura.</li> <li>2. Calcular el factor de seguridad para predecir cómo fallara el botadero de estériles de gran altura.</li> <li>3. Realizar la evaluación sísmica para establecer criterios de alarma para el cierre temporal.</li> <li>4. Realizar el estudio topográfico y geológico</li> </ol>	<p><b>HIPÓTESIS PRINCIPAL:</b></p> <p>El Análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura predice el fallamiento.</p> <p><b>HIPÓTESIS SECUNDARIAS:</b></p> <p><b>HS1:</b> Existe el análisis de inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura.</p> <p><b>HS2:</b> Fallara el botadero de estériles de gran altura.</p>	<p><b>INDEPENDIENTE:</b></p> <p>Inestabilidad de taludes de botaderos de estériles de gran altura</p> <p><b>DEPENDIENTE:</b></p> <p>Fallamiento.</p>	<p><b>V. I.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño del Talud Optimo.</li> <li>• Calculo del ángulo de fricción interno.</li> <li>• Análisis de suelos y rocas.</li> <li>• Determinación de las propiedades físicas de los suelos y rocas.</li> <li>• Determinar el sistema de estabilización del talud.</li> <li>• Determinación del Factor de Seguridad (FS).</li> <li>• Logueo geotécnico.</li> <li>• Conocimiento de riesgos y peligros de los botaderos de estériles de gran altura.</li> <li>• Rapidez para la respuesta ante el fallamiento de los taludes.</li> <li>• Implementación de los criterios de alarma e implementación del plan de contingencias</li> </ul> <p><b>V. D.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilización de suelos y rocas.</li> <li>• Qué sistema de estabilización es más económico.</li> <li>• Análisis de costos de construcción del botadero.</li> <li>• Predicción a tiempo.</li> <li>• Predicción del fallamiento de taludes de botaderos de estériles de gran altura.</li> <li>• Estabilizar los taludes.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo N°02: Definición de términos

Merchán y Sánchez. (2013)

**Ambiente de Trabajo:** Es el lugar donde los trabajadores desempeñan las labores encomendadas o asignadas.

**Auditoría:** Procedimiento sistemático, independiente, objetivo y documentado para evaluar un sistema de gestión de Seguridad y Salud Ocupacional.

**Banco de Mineral o Desmante:** Término usado en minería para definir rocas de diferente tamaño.

**Banco o Cara:** Es la parte de cualquier mina subterránea o a cielo abierto donde se va a efectuar trabajos de excavación.

**Berma de Seguridad:** Es el espacio lateral de una vía de tránsito de vehículos, utilizado para estacionarse por seguridad y para protegerse de colisiones con otros vehículos móviles que continúan circulando en la rampa principal o vías de acceso de minas a cielo abierto y carreteras en general.

**Botaderos:** Conocidos también como canchas de depósito de mineral de baja ley o ganga. Usualmente, se localizan en el entorno de la mina y fuera de la zona mineralizada.

**Capacitación:** Actividad que consiste en transmitir conocimientos teóricos y prácticos para el desarrollo de aptitudes, conocimientos, habilidades y destrezas acerca del proceso de trabajo, la prevención de los riesgos, la seguridad y la salud ocupacional de los trabajadores.

**Control de riesgos:** Es el proceso de toma de decisión, basado en la información obtenida de la evaluación de riesgos. Se orienta a reducir los riesgos, a través de propuestas de medidas correctivas, la exigencia de su cumplimiento y la evaluación periódica de su eficacia.

**Factor de seguridad:** Una definición del factor de seguridad contra la falla de un talud, es

la del valor resultante de dividir la resistencia al corte disponible del suelo, a lo largo de una superficie crítica de deslizamiento, por la resistencia al corte requerida para mantener el equilibrio (Bishop, 1955)

**Geología:** Como resultado de la investigación del terreno se debe establecer la profundidad de meteorización, la presencia de las formaciones superficiales como las capas de cenizas volcánicas, los depósitos de coluviones, rellenos y las estructuras del macizo rocoso.

En los análisis de estabilidad la información geológica se debe interpretar en términos de capas o zonas de materiales con características de ingeniería similares. En el caso de que se tengan rocas meteorizadas en el talud, se pueden adoptar uno de los perfiles internacionalmente aceptados.

**Ingeniero Supervisor:** Es el ingeniero colegiado y habilitado en las especialidades de Ingeniería de Minas, Geología, Química, Metalurgia, Mecánica, Eléctrica, Electrónica, Civil, Ambiental y otras especialidades de acuerdo a las actividades mineras y conexas desarrolladas, con un mínimo de dos (2) años de experiencia en la actividad minera y/o en Seguridad y Salud Ocupacional.

**Material peligroso:** Aquél que por sus características físico-químicas y biológicas o por el manejo al que es o va a ser sometido, puede generar o desprender polvos, humos, gases, líquidos, vapores o fibras infecciosos, irritantes, inflamables, explosivos, corrosivos, asfixiantes, tóxicos o de otra naturaleza peligrosa o radiaciones ionizantes en cantidades que representen un riesgo significativo para la salud, el ambiente y/o a la propiedad. En esta definición están comprendidos el mercurio, cianuro, ácido sulfúrico, entre otros.

**Planta de Beneficio:** Es aquella instalación destinada a desarrollar los procesos de la actividad minera de beneficio, mencionados en la Ley y el Decreto Supremo N° 03-94-EM,

modificadorias.

**Supervisor:** Es el Ingeniero o Técnico que tiene a su cargo un lugar de trabajo o autoridad sobre uno o más trabajadores en la unidad minera, con los siguientes perfiles:

**Resistencia al corte de los materiales:** Tal como se mencionó en el capítulo anterior, la resistencia al corte de los materiales que conforman el talud se debe expresar en términos de los parámetros de esfuerzos efectivos

**Topografía:** Es indispensable contar con un plano preciso del sitio, donde se localizan la posición de los sondeos, las áreas donde se efectuó el levantamiento de las fisuras la localización de estructuras y de las secciones que se deben analizar. Estas secciones se deben levantar con un detalle tal que se puedan dibujar a una escala adecuada para medir las dimensiones con una exactitud de 0,10 m. Generalmente una escala 1:100.

