



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ESTABILIDAD DE TALUDES SEGÚN EL MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE DURANTE LA EXPANSIÓN DE UN BOTADERO EN MINAS A CIELO ABIERTO, UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA ENTRE 2009 – 2020”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Rogger Danny Salvatierra Torres

Asesor:

Ing. Mg. Gonzalo Hugo Díaz García
Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

La presente investigación se la dedico a mi seres queridos, de quienes aprendí que para
alcanzar los objetivos de vida hay que trabajar diariamente

AGRADECIMIENTO

Mi mayor agradecimiento a mis seres queridos, quienes, con el ejemplo, me enseñaron a ser mejor persona y un profesional con valores.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	11
CAPÍTULO III. RESULTADOS	12
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	19
REFERENCIAS	22
ANEXOS	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de registro de artículos y selección de los estudios	13
Tabla 2. Porcentaje de artículos y tesis por país.....	16
Tabla 3. Análisis de las variables de investigación	16

ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

En la presente investigación se realiza una revisión sistemática acerca del análisis de estabilidad de un talud según el método de equilibrio límite durante la expansión de un botadero en minas a cielo abierto.

El objetivo de esta revisión sistemática consiste en conocer los riesgos de falla de taludes en durante la expansión de un botadero en minas a cielo abierto. Partiendo por analizar la literatura pertinente al tema de investigación, ahondar en el tema de investigación como en las distintas metodologías que existen para analizar la condición de un talud, y conocer la forma de analizar la estabilidad de un talud para minimizar los riesgos de falla durante la ampliación de depósitos en minería a cielo abierto

Luego con los resultados se plantean las discusiones y conclusiones de la presente investigación.

PALABRAS CLAVES: Riesgo de Falla, Deslizamiento de un talud, Factores de inestabilidad, Factor de Seguridad (FS), Estabilidad de taludes, Depósitos mineros.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Una de las mayores fuentes de ingresos al Perú está representada por el sector minero, dentro del país la cordillera de los Andes constituye una de las mayores riquezas a nivel nacional e internacional, siendo los principales metales de exportación el oro, plata, zinc, cobre, estaño, y hierro.

Los desprendimientos o deslizamientos en taludes en minería superficial se generan por la falta de soporte en la base del talud, la sobresaturación de agua (agua superficial y subterránea), la desintegración gradual del afloramiento rocoso (erosión) y actividades sísmicas y lluvias. También al realizar cortes en la formación rocosa por motivos de ampliaciones, accesos y otros que desequilibran las condiciones naturales del talud que finalmente se traduce en riesgos de falla en los taludes con efectos de deslizamientos, derrumbes o desprendimientos.

El autor González de Vallejo (2002), En su libro “Ingeniería Geológica menciona que los factores que generan la inestabilidad en un talud son los factores condicionantes y desencadenantes, y que a partir de estos se puede generar un modelo de talud, con los menores riesgos de deslizamientos posibles”

El análisis de los riesgos de falla en un talud que desencadenan en desprendimientos aparecen por la falta de soporte en la base del talud, la sobresaturación de agua (agua superficial y subterránea), la desintegración gradual del afloramiento rocoso (erosión) y actividades sísmicas y lluvias

Según (Fredy Nina, 2017), en la ciudad de Puno en una Tesis para la UNA, menciona que la estabilidad de taludes depende en gran medida de las características físicas del suelo. Para lo cual utilizó una metodología que involucra el trabajo de campo, laboratorio y gabinete. En el trabajo de campo se realizaron mapeos geológicos, caracterizaciones del macizo rocoso por ventanas, toma de muestras de roca para la realización de ensayos de laboratorio, tratamiento y procesamiento de datos y finalmente el análisis e interpretación de resultados

Así mismo, las operaciones a tajo abierto en minas de explotación de minerales como Zinc, Plomo y Plata, va aumentando su producción a través del paso del tiempo. Este aumento de producción involucra obligatoriamente una expansión de la mina en muchos aspectos como: Mayor cantidad de equipos, mayores áreas utilizadas, crecimiento de la planta de procesamiento, crecimiento de personal, crecimiento de servicios auxiliares y crecimiento de botaderos de materiales excedentes. Es en este punto final, donde se basa la presente investigación, que tiene como finalidad dar seguridad en la expansión de botaderos mineros previniendo deslizamientos en los taludes, estos requieren de un estudio exhaustivo y serio para garantizar una adecuada expansión en los botaderos sin que se generen deslizamientos en una Mina a cielo abierto.

En muchas minas y debido a su crecimiento existe la necesidad de expandir los botaderos. Se estima que, con una producción diaria de casi 10 000 toneladas, se incrementa el material excedente mensualmente en más de un 2%. Por tal motivo al requerirse un botadero con suficiente capacidad para albergar material excedente, se deben tener en cuenta un buen estudio geotécnico para asegurar la estabilidad del talud.

Por este motivo y según lo expuesto en otros artículos sobre fallas de taludes, en la presente investigación nos preguntamos *¿Cómo se realiza el análisis de estabilidad de taludes según el método de equilibrio límite durante la expansión de un botadero en minas a cielo abierto entre los años 2009 – 2020?* Según esto el objetivo de esta revisión sistemática es *“comprender y analizar la estabilidad de taludes según el método de equilibrio límite durante la expansión de un botadero en minas a cielo abierto”, y con ello asegurar una construcción o ampliación adecuada del botadero pertinente.*

Una investigación adecuada permitirá determinar los factores que generan riesgos de falla en los taludes, con el fin de solucionar los problemas de desprendimiento, dándole un adecuado tratamiento, que en caso de desprenderse podrían ocasionar daños a las personas, equipos mecanizados y demás, ocasionando pérdidas de vidas, tiempos de reparación y pérdidas económicas para la empresa.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Para esta investigación y en base a distintos buscadores como google académico, scielo y redalyc, se encontraron 14100 datos entre artículos y tesis similares entre los años 2009 – 2020. Seleccionando entre todos los artículos y tesis se seleccionan 15 documentos muy acorde a nuestras variables de investigación

Como principales recursos de información se ha realizado la búsqueda en páginas mundiales como Scielo, Redalyc y Google Académico. Siendo la principal fuente de información Scielo con más de un 35% de resultados para la presente investigación

Como principal fuente de búsqueda se utilizaron las variables: Riesgo de falla de talud y Ampliaciones en depósitos mineros, filtrando todos aquellos documentos fuera del rango de búsqueda tanto por variables como por año, se tomaron solamente de los años 2009 al 2020. Y como párrafos de búsqueda se utilizaron los párrafos, Riesgos de falla, taludes mineros, depósitos mineros, ampliaciones de depósitos mineros.

Como fuente de descarte en la búsqueda de artículos y tesis se hizo sobre riesgos de falla en taludes no mineros, es decir toda la selección de fuentes pertenecen a investigaciones en minería

Los artículos y fuentes de tesis para el presente documento han sido cuidadosamente seleccionadas de las principales fuentes de búsqueda de tesis a nivel mundial como Google académico, Scielo, Redalyc, Dialnet, etc. Principalmente entre los últimos 10 años. Tales resultados se muestran en el punto “3. Resultados”

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Para esta investigación y en base a distintos buscadores como google académico, scielo y redalyc, se encontraron 14100 datos entre artículos y tesis similares entre los años 2009 – 2020. Seleccionando entre todos los artículos y tesis se seleccionan 15 documentos muy acorde a nuestras variables de investigación

Como principales recursos de información se ha realizado la búsqueda en páginas mundiales como Scielo, Redalyc y Google Académico. Siendo la principal fuente de información Scielo con más de un 35% de resultados para la presente investigación

Como principal fuente de búsqueda se utilizaron las variables: Análisis de la estabilidad de taludes y expansión de botadero de mina a cielo abierto, filtrando todos aquellos documentos fuera del rango de búsqueda tanto por variables como por año, se tomaron solamente de los años 2009 al 2020. Y como párrafos de búsqueda se utilizaron los párrafos, Riesgos de falla, taludes mineros, depósitos mineros, ampliaciones de depósitos mineros.

Como fuente de descarte en la búsqueda de artículos y tesis se hizo sobre riesgos de falla en taludes no mineros, es decir toda la selección de fuentes pertenecen a investigaciones en minería

Los artículos y fuentes de tesis para el presente documento han sido cuidadosamente seleccionadas de las principales fuentes de búsqueda de tesis a nivel mundial como Google académico, Scielo, Redalyc, Dialnet, etc. Principalmente entre los últimos 10 años.

Tabla 1. Matriz de registro de artículos y selección de los estudios

MATRIZ DE REGISTRO DE ARTÍCULOS-SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS				
N°	BASE DE DATOS	Autor / Autores	Año	Título de artículo de investigación
1	Scielo	Rolando Mora	2015	“Análisis de estabilidad de taludes considerando la incertidumbre de los datos, Caso comunidad de mantiones de Montes”
2	Scielo	Andrés Reyes Parra	2015	“Análisis tridimensional de Estabilidad de taludes por el método de equilibrio, límites de depósitos de desmonte de mina UNI”
3	Scielo	Fredy Valeriano Nina	2015	“Caracterización Geotécnica y modos de falla estructural en el talud en Roca del Cerro Espinal Juliaca”
4	Redalyc	Anita Arguello	2014	“Prevención de falla de taludes del sur de Colombia”

5	Google Académico	A. Mendoza	2014	“Estabilidad de taludes”
6	Dialnet	Fonseca & Quintana	2012	Aplicación de sistemas flexibles de estabilización de taludes Spider en Lorca (Murcia España)
7	Scielo	Sanhueza Plaza	2013	Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales
8	Redalyc	Toro & González	2012	Análisis de estabilidad y probabilidad de dos taludes de suelo tropical en Medellín (Colombia)
9	Redalyc	Dos Santos Neves & G. Labaca	2011	Deslizamiento de los taludes en el yacimiento Kimberlítico de Catoca
10	Google Académico	Ccallo Hanco	2019	Análisis de estabilidad de taludes en macizo rocoso de la via Sina Yanahuaya
11	Google Académico	F. Veliz Poma	2019	Evaluación de la ampliación del depósito de demonte botadero

				100 de la Mina Cerro Lindo
12	Redalyc	V. Posada & G. Sepúlveda	2013	Diagnóstico minero de depósitos aluviales
13	Dialnet	PV. Toro	2016	Sistema de medición de la estabilidad de depósitos mineros de relave frente a la acción eólica para su recuperación como espacio urbano sostenible
14	Scielo	Tuco Huarahuara	2019	Estabilidad de taludes en la presa de colas Agua dulce Bolivia
15	Scielo	Avellaneda Puri & Avellaneda Cristóbal	2020	Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés Perú

Nota. Elaboración Propia

De acuerdo con la búsqueda de información se obtienen los siguientes resultados

Tabla 2. Porcentaje de artículos y tesis por país

ESTUDIOS DE ARTICULOS Y TESIS		
	CANTIDAD	PORCENTAJE
COLOMBIA	2	13%
ESPAÑA	2	13%
BOLIVIA	1	7%
PERU	10	67%
TOTAL	15	100%

Nota. Elaboración Propia

Tabla 3. Análisis de las variables de investigación

Categorías	Logros
Análisis de estabilidad de taludes	<p>La región de Murcia es conocida desde hace tiempo como una de las zonas con más actividad sísmica de España. Históricamente ha sufrido una buena cantidad de eventos dañinos, muchos de ellos asociados de alguna manera a la zona de Falla de Alhama de Murcia</p> <p>La comparación de los resultados ha sido llevada a cabo mediante la obtención de los factores de seguridad de las superficies potenciales de falla, a través del empleo del</p>

software GeoSlope, considerando los casos más desfavorables y empleando los modelos propuestos por Fellenius, Bishop y Janbú (método de las dovelas). Como resultado, se ha podido observar la influencia del sismo sobre un talud finito, la cual depende tanto de la magnitud Richter del terremoto, como de los valores de los coeficientes de aceleración sísmica (horizontal y vertical). (Sanhueza Plaza 2015)

**Botaderos en
mina a cielo abierto**

Según Dos Santos el complejo minero diamantífero kimberlítico de Catoca manifiesta inestabilidad en sus taludes y cortes, lo que promueve deslizamientos durante el proceso de explotación. En su trabajo se hace un análisis de los mecanismos que desencadenan los movimientos para proponer métodos y metodologías de estabilización.

Entre logros se pudo establecer que los deslizamientos están asociados a diversas y complejas causales y condicionales y que son de dos tipos: estructurales, cuando la rotura es por un bloque de rocas que falla a través de una superficie determinada de deslizamiento, y plásticos, cuando el desplazamiento de la masa de roca o suelos se realiza de manera viscoso - plástica. Los principales riesgos asociados

con estos deslizamientos en la mina de Cotoca son la obstrucción y rotura de la red de caminos mineros, la inestabilidad de los cortes, así como las afectaciones en los sistemas de desagüe y drenajes y en las labores de extracción.

Nota. Elaboración Propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De Acuerdo con los resultados el análisis de los documentos, artículos y tesis comprendidos entre el 2009 al 2020 es que principalmente la inestabilidad del talud y riesgo de fallas de taludes para la expansión en botaderos de mina a cielo abierto se presentan por un inadecuado estudio previo de la ampliación o expansión del depósito, sin enfatizar en todos los estudios necesarios para los trabajos adecuados.

Las limitaciones que existen, son que no se tiene un patrón de solución sobre riesgos en falla de taludes, puesto que cada estrato, cada topografía o cada relieve, alcanza una característica única tanto con el tipo de suelo, con su hidrogeología, su topografía, etc.

De la misma forma que (Lopez, 2016), en su tesis “estudio geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos” resolvió el problema de estabilidad de talud utilizando el software Slide 5.0, no concuerdo en que sea necesario acudir a otra metodología como por ejemplo la de dovelas para resolver el problema, puesto que hoy en día los software se han vuelto tan potentes que en cuestión de segundos resuelven problemas matemáticos que manualmente nos tomaría hasta días, la ventaja de estos es que se puede realizar múltiples análisis antes de tomar una decisión final sobre cómo prevenir deslizamientos en taludes mineros a cielo abierto.

De la investigación de literatura, se discuten los puntos sobre los desprendimientos o deslizamientos en taludes en minería superficial se generan por la falta de soporte en la base del talud, la sobresaturación de agua (agua superficial y subterránea), la desintegración gradual del afloramiento rocoso (erosión) y actividades sísmicas y lluvias. También al realizar cortes en la formación rocosa por motivos de ampliaciones, accesos y otros que

desequilibran las condiciones naturales del talud que finalmente se traduce en riesgos de falla en los taludes con efectos de deslizamientos, derrumbes o desprendimientos.

El autor González de Vallejo (2002), En su libro “Ingeniería Geológica menciona que los factores que generan la inestabilidad en un talud son los factores condicionantes y desencadenantes, y que a partir de estos se puede generar un modelo de talud, con los menores riesgos de deslizamientos posibles”

Finalmente, y a pesar de que existen distintas metodologías para el análisis de estabilidad de taludes, el método de equilibrio límite que compara las fuerzas que sostienen un talud y las fuerzas que intentan volcarlas, es el más adecuado para un estudio de estabilidad de taludes.

CONCLUSIONES

Una investigación adecuada permitirá determinar los factores que generan riesgos de falla en los taludes y dar estabilidad a los mismos, con el fin de solucionar los problemas de desprendimiento, dándole un adecuado tratamiento

Es muy importante dar solución al riesgo de falla de taludes, que en caso de desprenderse podrían ocasionar daños a las personas, o en el caso negado perjudicar equipos o frentes de trabajo ocasionando pérdida de tiempo y económica para la empresa

Se concluye en que la primera fuente de información para tesis y/o artículos es la página de búsqueda Scielo.

REFERENCIAS

Autodesk. (2019). *Manual de Civil 3D*. EEUU.

Avellaneda, P. (2020). *Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés*. Universidad Nacional del Centro del Perú, San Andrés, Perú.

De Matteis, Á. F. (2003). *Geología y Geotecnia - Estabilidad de Taludes*.

Dos Santos, D., & Guardado, R. (2011). *Deslizamiento de los taludes del yacimiento Kimberlítico de Catoca, Angola. (Tesis de Grado)*. Catoca, Angola.

Gerscovich. (2013). *Estabilidad de Taludes*. Lemoine Editores S.A.S.

González de Vallejo, L. I. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.

Hernández, F. (2019). *Hacia la automatización del análisis de estabilidad de taludes mineros*. Universidad de Chile, Santiago, Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/170974/Hacia-la-automatizaci%C3%B3n-del-an%C3%A1lisis-de-estabilidad-de-taludes-mineros.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lambe, & Whitman, R. (1997). *Mecánica de Suelos*. México, México.

Lopez, E. (2016). *Estudio Geotécnico y diseño del talud final de una mina a cielo abierto aplicando modelos numéricos*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima. Obtenido de file:///C:/Users/Danny/Downloads/Lopez_pe.pdf

Mcgregor, G. &. (2013). *Investigación geotécnica para la estabilización de las laderas del Barrio San Fermín, municipio de Ocaña*. Ocaña, Colombia: INGE CUC.

Mendoza. (2014). *Estabilidad de taludes*. Lima.

- Mendoza Loayza, J. A. (2016). Analisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura en la mina Antapaccay. (*Tesis de Grado*). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Minas, M. d. (1997). Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos.
- Mora & Granados, R. &. (2015). "Análisis de estabilidad de taludes Considerando la incertidumbre de los datos. Estudio de caso Montes de Oca. (*Tesis de Grado*). Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica.
- Norma CE.020. (2006). *Norma CE.020 - Suelos y Taludes*. Lima: El Peruano.
- Norma E.050. (2006). *Norma E.050 - Suelos y Cimentaciones*. Lima: El Peruano.
- Parra Pérez & Melo Calderón, T. y. (2015). Estabilización de taludes de la vía de red terciaria de la vereda la Unión, Localidad de USME - Bogotá DC. (*Tesis de Grado*). Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Reyes P., A. (2015). *Análisis tridimensional de estabilidad de taludes por el método de equilibrio límite del depósito de desmonte de mina*. UNI, Lima, Perú.
- Rocscience. (2020). *rocscience.com*. Obtenido de www.rocscience.com
- Salvatierra, R. (2019). *Investigación para determinar las causas de los deslizamientos en los taludes de la Carretera Canta - Huayllay*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.
- Sanhueza, C., & Rodriguez, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción*.
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos. Tomo I: Analisis Geotécnico*. Bucaramanga, Colombia, Colombia.
- Suarez, J. (2011). *Deslizamientos Tomo II. Técnicas de remediación*. Colombia: www.erosion.com.co.

Valencia, M., Santisteban, A., & Lozada, V. (2018). Prospección geológica minera regional en la región La Libertad. *Ingemmet, B55*, 55.

Valeriano, F. (2015). *Caracterización geotécnica y modos de falla estructural en el talud en Roca del Cerro Espinal Juliaca*. UNA, Puno, Perú.

Veliz, G. (2019). *Evaluación de la ampliación del depósito de desmonte botadero 100 de la mina Cerro Lindo*. Universidad Privada del Norte, Lima, Perú.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de indagación

MATRIZ DE INDAGACIÓN										
Tema de investigación: Evaluación de los riesgos de falla de taludes en la ampliación del DME2 en la Mina El Brocal , Pasco 2020										
Nº	Origen (País)	Año	Autor(es)	Título	Tipo de artículo	Palabras clave	¿Qué variables se analizaron?	Problema que enfrentó el investigador	¿Qué resultados obtuvo? (hallazgos concretos)	Conclusiones relevantes
1	Perú	2015	Valeriano	Caracterización Geotécnica	Tesis	Talud	Depósitos	Estabilizar taludes	Factores de seguridad del taludes	FS>1.4
2	Perú	2014	Mendoza	Estabilidad de taludes	Libro	Taludes, Estabilidad	Construcción de depósitos	Estabilizar desmontes	Factor de seguridad	FS>1.4
3	Costa Rica	2015	Mora	Análisis de Estabilidad de taludes	Artículo (SCIELO)	Taludes, Estabilidad	Estabilidad de taludes	Estabilizar taludes	Factores de seguridad del taludes	FS>1.0
4	Ecuatoria	2014	Arguello	Riesgos en taludes	Artículo (REDALY C)	Riesgos	Riesgos en taludes	Riesgos en taludes	Factores de seguridad del taludes	FS>1.0
5	Cuba	2011	Dos Santos	Deslizamiento de taludes	Artículo (REDALY C)	Deslizam	Deslizam	Taludes	Tipo de roca	Sedimentos Aluviales
6	Perú	2010	SRK Consultoría y Minera	Rellenos y desechos sólidos mineros	Revista	Botaderos	Depósitos mineros	Diseño de depósitos	Diseño de botaderos	Forma adecuada de construcción de botaderos
7	Perú	1997	Ministerio de energía y Minas	Guía ambiental para la estabilidad de taludes	Artículo de Revista	Taludes	Estabilidad de taludes	Cuidado ambiental de taludes	Cuidados medioambientales en taludes	Estabilización de taludes con vegetación

Nota. Elaboración Propia

Anexo 2. Matriz de Consistencia y Operacionalización de Variables