



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA DE MINAS

**ESTUDIO DE FACTOR DE SEGURIDAD Y CARACTERIZACIÓN
GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD MINADO EN
CONCESIÓN SOJO PIURA, 2017**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO EN INGENIERÍA DE MINAS

Autor:

Ardiles Fabián, Alejandro

Ahumada Zavala, Luis

Asesor:

Ing. Carlos Neira Rivera

Trujillo – Perú
2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller Alejandro Ardiles y Luis Ahumada, denominada:

“ESTUDIO DE FACTOR DE SEGURIDAD Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD MINADO EN CONCESIÓN SOJO PIURA, 2017”

Mg. Ing. Carlos Neira Rivera.
ASESOR

Mg. Ing. Danny Zelada Mosquera
**JURADO
PRESIDENTE**

Mg. Ing. Eleodoro Valderrama Fernández
JURADO

Mg. Ing. Ricardo Saavedra Zapata
JURADO

DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarme y ayudarme durante toda mi carrera y permitirme concluir mis estudios.

A nuestras esposas por estar presente compartiendo mi entusiasmo y brindándome su soporte en los momentos difíciles. La familia es nuestra mayor inspiración y pilares incondicionales para ser cada día mejor.

Alejandro Ardiles & Luis Ahumada.

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento al:

Mg. Ing. Carlos Neira Rivera, por su
asesoramiento en la ejecución del proyecto de
investigación.

A la plana docente de la Universidad Privada del
Norte que gracias a sus enseñanzas hicieron
posible mi formación profesional.

Alejandro Ardiles & Luis Ahumada.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	08
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
Realidad Problemática	10
Formulación del Problema	14
Justificación	15
Limitaciones	15
Objetivos	16
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	17
Antecedentes	17
Bases teóricas	18
Definición de términos	22
Hipótesis	23
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	24
Operacionalización de variables	24
Diseño de investigación	25
Unidad de Estudio	27
Muestra	27
Métodos	28
CAPÍTULO 4. DESARROLLO	32
Protocolo de trabajo	32
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	33
CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN	41
CONCLUSIONES	42
RECOMENDACIONES	43
REFERENCIAS	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas

TABLA 01. Deinfición Operacional Varialbe Independiente	24
TABLA 02. Definición Operacional Variable Dependiente	25
TABLA 03. Pendiente típicas para taludes de corte	26
TABLA 04. Componentes de las áreas de Operaciones	27
TABLA 05. Calicatas excavadas	33
TABLA 06. Caracterización del material consolidado	34
TABLA 07. Ensayo de contenido de humedad	34
TABLA 08. Ensayo de compresión triaxial	35
TABLA 09. Resuemn de parámetros	35
TABLA 10. Propiedades de los materiales	36
TABLA 11. Factores de Seguridad	39
TABLA 12. Resultados de análisis	40

INDICE DE FOTOS Y ANEXOS

Fotos y Anexos

ANEXO 01.	CANTERA SUR	45
ANEXO 02.	DIAGRAMA DE PLAN DE MINADO	46
ANEXO 03.	CARACTERISTICAS PARA EL TALUD	46

RESUMEN

El presente estudio fue elaborado por DINO S.R.L., correspondiente a la evaluación física de las canteras de explotación, las cuales están ubicadas en el distrito de Miguel Checa, provincia Sullana, departamento de Piura.

En este estudio se presenta el trabajo de campo, las pruebas de laboratorio y la caracterización realizada a la unidad geológica - geotécnica que comprende los componentes mencionados.

Como parte del trabajo realizado, se llevaron a cabo investigaciones geotécnicas del área en estudio, donde se realizó la caracterización del área, ensayos de campo, toma de muestras, ensayos de laboratorio y finalmente el procesamiento de la información recopilada.

Para ello se tomaron muestras obteniendo resultados de ensayos geotécnicos los cuales nos permitirá determinar la estabilidad del talud en base a un factor de seguridad mínimo de forma que nos permita asegurar el talud en estudio.

El resultado de laboratorio concluyó que los valores del factor de seguridad de análisis estático y pseudoestático en la cantera sur sección A-A fue igual a 1.88 y 1.137 respectivamente, factor de seguridad de análisis estático y pseudoestático en la sección B-B fue igual a 1.676 y 1.071 para y finalmente como factor de seguridad de análisis estático y pseudoestático la sección C-C fue igual a 1.563 y 1 respectivamente.

Los resultados obtenidos para asegurar la estabilidad del talud de la Cantera Sur en la concesión Sojo 03 de acuerdo a los requerimientos de estabilidad geotécnica sobrepasan el Factor de Seguridad (FS) igual a 1.5 lo que permitirá a los objetivos del presente proyecto.

ABSTRACT

The present study was prepared by DINO S.R.L., corresponding to the physical evaluation of the exploitation quarries, which are located in the district of Miguel Checa, Sullana province, department of Piura.

In this study the field work, the laboratory tests and the characterization made to the geological - geotechnical unit comprising the aforementioned components are presented.

As part of the work carried out, geotechnical investigations of the area under study were carried out, where the characterization of the area, field tests, sampling, laboratory tests and finally the processing of the collected information was carried out.

For this, samples were taken obtaining results of geotechnical tests which will allow us to determine the stability of the slope based on a minimum safety factor in order to ensure the study slope.

For this purpose we have taken samples obtained results of geotechnical tests which will allow us to determine the stability of the slope based on a minimum safety factor so that we can ensure the slope under study.

The laboratory result concluded that the values of the safety factor of static and pseudo-static analysis in the southern quarry section AA was equal to 1.88 and 1.137 respectively, security factor of static and pseudo-static analysis in section BB was equal to 1,676 and 1,071 for And finally as a safety factor of static and pseudo-static analysis the CC section was equal to 1,563 and 1 respectively.

The results obtained to ensure the stability of the slope of the South Quarry in the concession Sojo 03 according to the requirements of geotechnical stability surpasses the Safety Factor (FS) equal to 1.5 which will allow the objectives TO GET ON the present project.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Se ha observado que en zonas de pendientes pronunciadas la estabilidad de taludes involucra una problemática en temas de seguridad provocando la caída de terreno inestable provocando accidentes en los trabajadores.

Según Pinea, L. (2014) En países que tienen condiciones geológicas desfavorables se han realizado estudios para futuros proyectos de estabilización de taludes, como el realizado por el Municipio de Chigorodó (Antioquia) en Medellín Colombia, el cual es considerado dentro de los municipios de amenaza sísmica alta, según lo publicado en 1996 por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (p.5)

Según Pinea, L. (2014) El proyecto de estabilización de taludes se realizó en un terreno de topografía escarpada con pendiente constante en el cual hay construida una vía de acceso industrial y la plazoleta de un túnel, esta se encuentra conformada por tipos de rocas ígneas, sedimentarias y cuaternarias, predominando los primeros. Estas rocas volcánicas se han relacionado con la Formación Barroso del Grupo Cañas gordas, el cual es un conjunto de rocas de edad cretácea que se originó posiblemente bajo un ambiente de arco de islas y que fue uniéndose posteriormente al margen continental de la placa Suramérica. (p.18).

Según Pinea, L. (2014) Con las variables de caracterización geotécnica y la determinación de parámetros geo mecánicos se procedió a realizar modelamientos matemáticos (Slide) para identificar el factor de seguridad de la zona de estudio para condiciones estáticas y pseudoestáticas, se identificaron factores de seguridad pésimos haciendo referencia al Factor de Seguridad (FS) mínimo exigido por la NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, el cual indica valores mínimos a 1.5 de FS indicando que el talud se encontró inestable y los parámetros geo mecánicos son regulares para la estabilidad a la masa de suelo. Lo anterior radica en que la pendiente del talud estudiado es muy pronunciada, esto nos demuestra que la geometría del talud es un factor que afecta en la obtención del factor de seguridad. Asimismo el estudio presento alternativas para lograr incrementar el factor de seguridad tales como la implementación de pernos de anclajes o micro pilotes resultando ser una alternativa óptima para

obtener un muy buen factor de seguridad, que represente garantía a la estabilidad del talud, (p. 22).

Según Codina (2005) Otro caso es el del municipio de Santa Tecla en El Salvador, en el mes de febrero del 2001 un terremoto de 6,6 grados en la escala de Richter provocó un gran desastre en la localidad de Santa Tecla, en El Salvador, causando más de mil muertos y graves daños que todavía hoy repercuten a los Salvadoreños y animan a las autoridades del país a velar por la seguridad de la población a nivel geológico. Desde esas fechas, El Salvador se ha volcado totalmente en el estudio de su actividad geológica y sísmica, (p. 7).

Según Codina (2005) El proyecto realizado consistió en el estudio de sostenimiento de tres taludes que se consideran de alto riesgo geológico debido a la alta probabilidad de deslizamiento que los caracteriza. Así mismo incluyó tres propuestas de obras de sostenimiento de taludes. Con el aporte del proyecto, se logró aportar soluciones a la Alcaldía de Santa Tecla (El Salvador) para prevenir graves problema que amenazaban a gran parte de las comunidades rurales que forman esta provincia salvadoreña como es el riesgo de deslizamientos de taludes naturales, (p. 10).

Según Codina (2005) A los taludes en estudio, se le realizaron cálculos de estabilidad a partir del método de cálculo de los Ábacos de Taylor, obteniendo así FS en uno de ellos igual a 1,97, identificando que dicho talud es estable. Pero en el caso de los otros dos taludes su factor de seguridad se encontró inferior a 1,20 justificándose la realización de obras de contención, (p. 11).

Según Codina (2005) De las obras identificadas como posibles alternativas se plantearon la construcción de Muro de contención, la obra consiste en un muro prefabricado con elementos de hormigón. En este caso los elementos prefabricados consisten en bloques prefabricados de hormigón cuya función es la de contención del talud. Por lo tanto esta obra se encarga de contener el terreno respecto a la carretera que pasa por Santa Marta, uniando los municipios de Santa Tecla y La Libertad, (p. 29).

Según Codina (2005) Modificación de la geometría a través de bermas, busca escalonar el talud redistribuyendo las fuerzas debidas al peso de los materiales, obteniéndose una nueva configuración más estable, de esta manera se estabiliza el terreno cuya inestabilidad amenaza a la comunidad de Santa Marta y pone en peligro a sus habitantes, (p. 30).

Según Codina (2005) Cambio de ángulo de talud, esta obra afecta al tercer talud y consiste en la modificación de su ángulo para así disminuir su inclinación y darle con ello una mayor estabilidad y hacer que el talud deje de tener unas características de terreno inestable y pase a ser un terreno estable y seguro si se habla del riesgo geológico que conlleva su inestabilidad, (p.31).

Según Alva, J. (2006) Estudios a nivel nacional de análisis de estabilidad de taludes es la realizada en la Costa Verde de la Ciudad de Lima, conocido circuito de playas y autopista de dos carriles que permite el paso rápido ($V_{prom}=60$ km/h) de vehículos en dirección norte – sur, evitando pasar durante horas punta del tráfico directamente por la ciudad de Lima. Durante los últimos años también está siendo objeto de proyectos inmobiliarios, turísticos y recreacionales, especialmente en la zona del Distrito de Barranco, por lo que en el año 2014 se realizaron estudios profundos sobre la estabilidad local y global del talud que corre paralelo a esta importante vía, teniendo en cuenta que son comunes los desprendimientos de partículas de grava y roca en condiciones estáticas del talud, resultando un peligro importante para los conductores y peatones, (p. 6).

Asimismo, en dicho estudio se aprovechó para evaluar el comportamiento ante condiciones sísmicas de gran importancia, realizando un análisis que estime el comportamiento del talud (fallas globales) que se materialice en graves pérdidas humanas y materiales.

Según Alva, J. (2006) Los acantilados de la Costa Verde; zona del estudio están constituidos por los ambientes de origen marino que se encuentran siguiendo la línea costera, a lo largo de la cual se ha desarrollado la zona de ribera actual, donde destacan entrantes y salientes conformando playas delgadas y acantilados, constituidos por el macizo rocoso del Morro Solar y por depósitos aluviales que llegan y terminan abruptamente frente al mar, (p. 8).

Según Alva, J. (2006) A través de un levantamiento topográfico llevado a cabo en noviembre del año 2004 con una Estación Total Sokkia SET 630R con la capacidad de tomar puntos sin la utilización del prisma hasta una distancia de 100m con condiciones de reflectividad mayores al 90%, manipulado por un topógrafo profesional, se tomaron 1050 puntos en 20 cambios de estación. El modelado tridimensional del terreno, la vista en planta y seccionado transversal del talud se realizó con el software Autodesk Land Development V.2004. Como datos topográficos

generales del tramo de talud estudiado se encontró una altura promedio de 55m y una pendiente promedio de 50° según el levantamiento realizado, (p. 10).

El estudio se desarrolló en un análisis y diseño de ingeniería, para la solución de estabilizar, bajo las condiciones críticas indicadas, un tramo representativo de 560 metros de longitud del talud de la Costa Verde, ubicado en el distrito de Barranco y medidos en la dirección de la vía costanera, aproximadamente entre 'la bajada de los baños' y 'Armendáriz'.

A través de dicho estudio se identificó que en el tramo en estudio este fallaría ante condiciones sísmicas importantes (aceleraciones de suelo mayores a 0.27g), poniendo en grave peligro vidas humanas y propiedades privadas que recientemente están siendo construidas a 20m del pie del talud, por lo que fue necesario proponer en el estudio soluciones de estabilización del talud de la Costa Verde en las zonas del tramo de acantilado en estudio, el cual no se encontraba estable para condiciones dinámicas, por lo que luego de realizar el análisis de estabilidad de taludes se diseñaron tres tipos de secciones típicas de corte, las que serán necesarias para estar dentro de los Factores de Seguridad recomendados para situaciones sísmicas.

Según Alva, J. (2006) Finalmente, el estudio elaboró una propuesta para aumentar el factor de seguridad del talud el cual se encontraba menor a 1 y para mantener y preservar la vegetación con la que cuenta la Costa Verde, correspondiendo en el movimiento masivo de tierras (reducción de la pendiente y por lo tanto aumento del Factor de Seguridad) para la estabilidad global y posteriormente la utilización de Geomallas y Geomantos que ayudarán a la vegetalización de la zona mediante la siembra de césped en semilla sobre una capa de suelo vegetal que sería colocado sobre el conglomerado, (p. 26).

La empresa Distribuidora Norte Pacasmayo SRL (DINO) es la subsidiaria comercial de Cementos Pacasmayo S.A.A. Inició sus operaciones el año 1995 con el objetivo de comercializar y distribuir materiales para la construcción en todo el norte y oriente del Perú. Durante este período, DINO ha experimentado un crecimiento sólido y sostenido que le ha permitido ubicarse en su sector como la empresa líder a nivel nacional, siendo la principal empresa distribuidora de cemento y demás líneas de productos para la construcción básica, en el norte del país.

Dentro de las Operaciones que viene realizando DINO SRL, en el año 2010 concesionó una propiedad de 10 hectáreas ubicada en el distrito de Miguel Checa, provincia de Sullana, región de Piura, a una altura promedio de 65 msnm. Geográficamente, a donde se puede llegar a través de la carretera asfaltada Sullana - Paita, hasta el km. 15, tomando enseguida un camino de trocha carrozable hasta el proyecto.

En el año 2014, el Ministerio de la Producción a través de la RM N°212-2014PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM aprobó el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para la explotación de agregados en la concesión Sojo 03, la cual se inició en los meses finales de dicho año, donde se había contemplado la explotación de los materiales que conforman el cuerpo con valor económico (hormigón y over) para la entrega posteriormente a una planta de beneficio de Chancado Primario y Secundario de la misma empresa, los cuales suministrarían como productos de esta piedra y arena para la producción de concreto premezclado, el cual es requerido como materia prima.

Si bien en el Estudio de Impacto Ambiental no se define un correcto proceso de extracción de dicho material con un correcto manejo, esta se desarrolló de forma muy desordenada sin ningún plan de minado aprobado y sin considerar taludes con factores de estabilidad que prevengan posibles desastres por fenómenos naturales. Actualmente por este proceder la Cantera Sur de la Concesión Sojo 03 tiene un talud muy alto, con una altura aproximada de 10 m por una longitud de 100 m de largo, a esto se le suma el desconocimiento de la estabilidad estática del terreno de dicha cantera, el cual genera una alta potencialidad de daños a terceros y propios, así como falta al cumplimiento de las normas ambientales que se describen en la Guía ambiental para la estabilidad de taludes de desechos Sólidos en mina, documento de referencia en la supervisión por parte del Organismo fiscalizador Ambiental, lo que pondría en una posición desfavorable a la empresa DINO SRL porque podría hacerse acreedor de un proceso administrativo sancionador.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera el estudio de factor de seguridad y caracterización geotécnica permitirá la estabilidad del talud minado en concesión Sojo, Piura, 2017?

1.3. Justificación

Para el presente trabajo de investigación, su aplicación se justifica porque permitirá a la empresa Distribuidora Norte Pacasmayo SRL corregir el estado actual del talud ubicado en su cantera sur de la concesión Sojo 03, la cual fue explotada sin considerar ningún aseguramiento geotécnico, a fin de prevenir observaciones ante la supervisión del ente fiscalizador del estado que es el Organismo Evaluador y de Fiscalización Ambiental (OEFA), al no haberse contemplado esta actividad dentro de su Plan de Minado. Asimismo le permitirá prevenir posibles deslizamientos ante movimientos telúricos y fenómenos naturales que se presenten, afectando a los vecinos y comunidades que colindan con la cantera al igual que daños materiales a los equipos dispuestos en sus operaciones y lesiones a los colaboradores de la empresa.

Además la presente investigación aportará a la labor académica gracias a los estudios geotécnicos que se desarrollen, considerando que en la zona donde se ubica la cantera sur al ser material no metálico, no se tienen fuentes bibliográficas o estudios de ingeniería anteriores porque a la fecha aún no han sido explorados en su gran mayoría, a esto se suma la aplicación de las herramientas y mejores prácticas de ingeniería que se propondrán para alcanzar el objetivo que se enmarca el proyecto. Por lo descrito, el estudio además permitirá ser una guía o documento de consulta para futuros trabajos e investigaciones.

Finalmente, la decisión de la aplicación del presente trabajo de investigación estará muy relacionado al aspecto económico, debido a que la Cantera Sur de la concesión Sojo 03 pertenece a la minería no metálica, los costos que se administraran deberán ser los más eficaz posible y estarán directamente relacionado al calculo del movimiento de material a realizarse para asegurar la estabilidad del talud, el cual incurre a una alta inversión por los costos variables que demanda el combustible y equipos.

1.4. Limitaciones

Entre las limitaciones del proyecto de investigación se tuvo limitados documentos relacionados al terreno y suelo del área de estudio, la investigación se centrará en el estudio geotécnico de la cantera sur en la concesión Sojo 03, los presupuestos y recursos destinados al proyecto son

limitados, los investigadores sólo dedicaran 4 horas a la semana al proyecto existen limitaciones para permanecer durante el proceso de investigación en el área de estudio

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar el Estudio de factor de seguridad y caracterización geotécnica para la estabilidad del talud minado de la concesión Sojo en Piura en el año 2017.

1.5.2. Objetivos Específicos

Analizar el cambio de los mecanismos de rotura de taludes en macizos rocosos cuando se incrementa la altura del talud.

Estudiar la aplicación del Método de Elementos Finitos con representación explícita de las discontinuidades, denominado J-MEF, como una alternativa de análisis numérico de la rotura de macizos rocosos, considerando la variación del mecanismo de rotura con la profundidad de la excavación.

Discutir la aplicación de la técnica de reducción de los parámetros de resistencia al corte (SSR) usándola junto con el Método J-MEF, con la finalidad de evaluar la estabilidad de talud mediante el cálculo del factor de seguridad obtenido por métodos numéricos.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

(MEJIA 2014) La estabilidad de taludes es la teoría que estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la geotecnia. La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel, que tiene lugar por diversas razones como las geológicas: laderas posiblemente inestables, orografía acusada, estratificación, meteorización, etc. Variación del nivel freático: situaciones estacionales, u obras realizadas por el hombre. Obras de ingeniería: rellenos o excavaciones tanto de obra civil, como de minería. Los taludes además serán estables dependiendo de la resistencia del material del que estén compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten. Los taludes pueden ser de roca o de tierras. Ambos tienden a estudiarse de forma distinta.

(MEJIA, 2014) El tema de estabilidad de taludes requiere de especial atención puesto que múltiples deslizamientos de masa de suelo han sido los causantes de la pérdida de numerosas vidas humanas. De aquí la importancia del estudio geotécnico del talud y de garantizar su estabilidad ante los diversos agentes externos en el tiempo por medio de la instrumentación geotécnica y el correcto mantenimiento de las obras instaladas.

(ASESORES Y CONSULTORES MINEROS, 2015) “Este método deben realizar cortes en forma de tajadas de arriba hacia abajo, para ello se emplearán excavadoras, que cortarán el material hasta llegar a la cota base de la plataforma de carguío en operación (pie de banco operativo), una vez terminado el primer corte iniciarán el siguiente corte y así sucesivamente formando bancos finales que irán profundizando en el depósito”.

(SOLUCIONES GEOTÉCNICAS EN ESTABILIDAD DE TALUDES, 2014) “Un estudio de geológico concienzudo y un programa detallado de exploración del subsuelo son necesarios para determinar la causa del deslizamiento y planificar las medidas correctivas. La superficie de falla puede determinarse con sondajes e inclinómetros más allá de la línea de falla”.

(ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACION DE TALUDES, 2014). “Es frecuente que se produzcan fallas de los contrapesos por falta de capacidad del suelo de cimentación, especialmente en depósitos de arcillas blandas o limos. Por esta razón es importante calcular la capacidad de soporte como parte del diseño del contrapeso”.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Talud

A.- Plataforma de trabajo; Se conoce con este nombre a la plataforma del banco en donde se encuentra la maquinaria de extracción y transporte

B.- Arista inferior y superior; Línea de corte del talud con las plantas inferior y superior respectivamente.

C.- Berma de Seguridad; la planta no muy amplia que se deja el borde en receso de la cantera a fin de dar estabilidad y no permitir el desprendimiento de fragmentos de roca

D.- Frente del Banco; Superficie del banco donde se realizan los trabajos mineros y que se encuentra en movimiento

E.- Zona de trabajo; Conjunto de bancos que se encuentra simultáneamente en explotación.

2.2.2 Análisis de Estabilidad de la Cantera Sur Sojo 03

A.- Generalidades; Para asegurar que las canteras diseñadas sean estables se tomó para ello las secciones consideradas como las más desfavorables, desde el punto de vista topográfico (sección crítica de diseño), habiéndose determinado factores de seguridad (FS) iguales o mayores a 1.5 para condiciones estáticas y 1.0 para condiciones seudoestáticas. Para mayor detalle ver los planos EG-06.- Secciones geológicas – Cantera Norte, plano EG-07.- Secciones geológicas – Cantera Este, EG-08.- Secciones geológicas – Cantera Sur.

B.- Método de cálculo; Consideran en el cálculo las deformaciones del terreno, además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos u otros métodos numéricos.

C.- Factores de seguridad mínimo; El uso de un factor de seguridad en los análisis de estabilidad proporciona dos previsiones importantes: considera el margen de error entre parámetros empleados en el diseño y aquellos que pueden existir realmente en el campo, y limita las deformaciones.

D.- Condiciones de análisis; El análisis de estabilidad se ha realizará en base a esfuerzos efectivos para condiciones estáticas y para los cálculos de deformaciones simples se usó la condición seudoestática (sismo). Cuando se realizan análisis de estabilidad bajo condiciones seudoestáticas, se considera que un factor de seguridad levemente superior a 1.0 es aceptable; sin embargo, factores de seguridad menores no representan, necesariamente, el colapso del talud que se analiza, sino que se producen deformaciones permanentes las cuales deben ser verificadas desde el punto de vista de tolerancia de las obras.

E.-. Análisis de estabilidad; Comparando con el límite de factores permisibles tanto estático (mínimo: 1.5) y seudoestático (mínimo: 1.0), se determina que las tres secciones analizadas (Sección A-A, sección B-B y sección C-C) en cada cantera (Norte, este y Sur) son estables.

2.2.3 Factor de Seguridad

A.- Aceleración sísmica de diseño; El territorio peruano se localiza en una de las zonas de más alta actividad sísmica y tectónica del planeta pues, en su borde continental se libera el 14% de la energía sísmica planetaria. Su elevada sismicidad, se explica como resultado de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la Placa Sudamericana, en el segmento litoral comprendido entre los paralelos 2º y 15º de latitud sur. La Región Piura es considerada zona medianamente sísmica debido a sus características estructurales, confluyen dos placas tectónicas, la Placa de Cocos y la Placa de Nazca, los cuales junto con la Dorsal de Grijaldo y Sarmiento ejercen un empuje hacia el Este, generando una zona de transición en el Continente (Deflexión de Huancabamba).

B.- Coeficiente sísmico; El análisis de riesgo sísmico llevado a cabo en el área del proyecto indica que la magnitud del evento sísmico a ser considerada para efectos de diseño es de $M=7$, la cual produce un aceleración horizontal máxima de 0.45g (Deza, 2004), por lo cual para el análisis seudoestático se consideró un evento sísmico con un coeficiente de aceleración máxima de 0.22g, valor que representa 1/2 de la aceleración máxima del terreno.

C.- Calicatas; En la zona de estudio se realizó la excavación de 5 calicatas con una profundidad de 3.0m, con el fin de determinar las características del material que compone el depósito de valor económico.

Calicatas excavadas

Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		Profundidad
	Este	Norte	
CA-SO03-01	520217.78	9455639.97	3m
CA-SO03-02	520272.86	9455766.03	3m
CA-SO03-03	519784.19	9456291.76	4m
CA-SO03-04	520075.19	9456216.76	4m
CA-SO03-05	520576.19	9456030.76	4m

D.- Ensayos de campo; Se realizará el ensayo de densidad de campo por el método de cono de arena siguiéndose los procedimientos de la norma ASTM D 1556

E.- Ensayos de laboratorio; Los ensayos de caracterización física y mecánica fueron realizados en el laboratorio geotécnico de GARUDHA INGENIEROS S.A, con sede, en la ciudad de Lima. Los ensayos de laboratorio fueron llevados a cabo siguiendo los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de los métodos de ensayo de la Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales (ASTM).

F.- Resumen de parámetro; se presentan los parámetros del criterio de falla de Mohr-Coulomb empleados para el análisis de estabilidad de las canteras de explotación

2.2.4 Fórmulas de estabilidad

La estabilidad del talud será analizada con el concepto de 'Equilibrio Límite Plástico', que cumple cuando el esfuerzo cortante actuante a lo largo de la superficie de falla es expresado como

$$\tau = \frac{s}{FS}$$
$$s = c + \sigma_n \tan \Phi$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante actuante

s = Esfuerzo cortante máximo (teoría de Mohr – Coulomb)

FS = Factor de Seguridad

c = Cohesión

σ = Esfuerzo normal

ϕ = Angulo de fricción interno

2.2.5 Tipos de terreno

A.- Geología Regional; El área en estudio se caracteriza por presentar unidades geológicas del Cretáceo Medio al Cuaternario Reciente. El Cretáceo Medio – Superior representado por el volcánico Lancones de naturaleza lávica y litología andesítica, con rocas sedimentarias tipo areniscas, lutitas y calizas

B.- Geología Local; El área de influencia del proyecto “Explotación de Agregados, Concreto Premezclado y Prefabricados SOJO 03”, se caracteriza por estar emplazada en una zona de depósitos eólicos del Cuaternario Reciente, constituidos por arena, arcillas arenosas y gravas arcillosas, ubicados en llanuras extensas y cubren la mayor parte de la zona en estudio, en estos depósitos, afloran sedimentos de la formación

Chira, al Sur del proyecto siguiendo un recorrido de afloramiento de Suroeste a Noreste, con un ancho de franja que va de 100 a 300 metros aproximadamente

C.- Unidades Estratigráficas; La Formación Chira, en la parte superior de la secuencia, está constituida por lutitas diatomáceas bastante plásticas por humedecimiento y de carácter expansivo, debajo de ellas se encuentran estratos de lutitas bentoníticas de colores beige y marrón oscuro y cemento salino, con algunas intercalaciones de areniscas amarillentas, luego areniscas fosilíferas con algunas intercalaciones.

2.3 Definición de términos básicos

Geología: Ciencia que estudia el origen, formación y evolución de la Tierra, los materiales que la componen y su estructura.

Estratigráficas: es la rama de la geología que trata del estudio e interpretación de las rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas estratificadas, y de la identificación, descripción, secuencia, tanto vertical como horizontal, cartografía y correlación de las unidades estratificadas de rocas

Riesgo: Posibilidad de que se produzca un contratiempo o una desgracia, de que alguien o algo sufra perjuicio o daño.

Sísmico: Para el análisis pseudo estático de los taludes del tajo abierto, se ha considerado un coeficiente sísmico de 0.15, conforme con los resultados del estudio de peligro sísmico de la zona de estudio.

Investigación: "La investigación científica y el desarrollo tecnológico se han desenvuelto tradicionalmente en un clima de atonía, En la zona de estudio se han ejecutado programas de caracterización geomecánica de los macizos rocosos consistente en investigaciones superficiales y en profundidad.

Geotécnica: Parte de la geología aplicada que estudia la composición y propiedades de la zona más superficial de la corteza terrestre, no es aplicable en aquellos casos en que el comportamiento del macizo rocoso presenta un claro control estructural, lo que se puede traducir en una sobre valoración de la resistencia del macizo rocoso.

Diseño: "El diseño de la berma de seguridad y una serie de recomendaciones para los máximos ángulos interrampa posibles de los taludes del tajo, dependiendo de su orientación relativa respecto a los sistemas de fracturamiento del macizo rocoso"

Coefficiente: el coeficiente de rugosidad de la discontinuidad, que varía de 1 a 20, valorándose según los perfiles estándar de Barton".

Calicatas: se realizaron ensayos de campo en las calicatas excavadas y se extrajeron muestras representativas las cuales posteriormente fueron ensayadas en el laboratorio.

Ensayos: En la estaciones geomecánicas, se han extraído muestras representativas de roca intacta para la ejecución de ensayos de laboratorio. De acuerdo a los ensayos, los macizos rocosos presentan una resistencia a la compresión simple comprendida entre 35 MPa y 100 MPa, el peso específico se encuentra entre 25.0 KN/m³ y 26.8 KN/m³ y el ángulo de fricción de las discontinuidades se estimó en 33°. Además, los valores del GSI registrados en superficie indican una condición del macizo rocoso de regular a buena calidad geomecánica.

Campo: Los parámetros de resistencia de los materiales empleados en el análisis de estabilidad se han obtenido de los resultados de la investigación geotécnica de campo desarrollada en el sector donde se ubica el proyecto

Laboratorio: Generalmente, la resistencia de los planos de discontinuidad se analiza con el criterio de rotura de Mohr - Coulomb, y los parámetros se determinan a partir del ensayo de resistencia al corte a través de las discontinuidades en laboratorio.

Parámetro: "En el modelamiento de macizos rocosos discontinuos, los parámetros de resistencia y rigidez de las discontinuidades también influyen en su comportamiento. Sin embargo, la información sobre estos parámetros no se obtiene fácilmente. En muchas situaciones prácticas, el conocimiento de estos parámetros para los diferentes tipos de discontinuidades es lo suficientemente adecuado para generar respuestas razonables"

Estabilidad: " Los métodos de cálculo para el análisis de estabilidad de taludes se clasifican en dos grupos: Métodos de cálculo en deformaciones y métodos de equilibrio límite"

Seguridad: "Se considera un factor de seguridad mínimo de 1.3 para garantizar la estabilidad en condiciones estáticas."

Cálculo: El cálculo de deformaciones y tensiones en macizos rocosos, puede llevarse a cabo mediante modelos numéricos continuos o discontinuos. Los primeros consideran el macizo rocoso como un medio continuo en el cual se pueden introducir elementos tipo junta para simular los planos de las discontinuidades.

Método: Para el análisis de estabilidad de taludes de macizos rocosos, los métodos numéricos constituyen una mejor aproximación que los métodos de equilibrio límite. Esta técnica se puede aplicar en análisis con situaciones complejas relacionadas con la geometría, anisotropía y comportamiento no lineal de los geomateriales, tensiones in situ, presión de poros, cargas externas y cargas sísmicas"

FS: Factor de seguridad, empleado para conocer cuál es el factor de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña. El factor de seguridad se representa como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla.

2.4 Hipótesis

El estudio de factor de seguridad y caracterización geotécnica contribuirá la estabilidad del talud minado en concesión Sojo Piura, 2017?

CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

3.1 Operacionalización de variables

- Variable independiente:
Caracterización geotécnica
- Variable dependiente:
Estabilidad del talud minado.

Tabla N° 01. Definición operacional de la variable independiente

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Caracterización geotécnica	Consiste en determinar la composición y propiedades físicas, mecánicas, químicas del terreno en donde se proyecta una obra o se extrae material para construcción	Los datos obtenidos en el campo y en laboratorio para las respectivas caracterizaciones geológicas son utilizados en conjunto para tener una caracterización geotécnica del macizo rocoso del talud así calculamos el RMR.	Angulo de Talud de Banco	45° de inclinación
			Altura de la Cantera	50 a 80 msnm.
			Altura de Banco	3 a 4 metros (Berma de seguridad)
			Dirección de Avance	Dirección Noreste – Suroeste hasta la localidad de Sullana.

Fuente: Elaboración propia

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniawski)					
Obra:				Localidad:	Cantera Sojo 03 Piura
Estación Geomecánica:	X	Y	Z	Observaciones:	*ESTUDIO DE FACTOR DE SEGURIDAD Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA LA ESTABILIDAD DEL TALUD MINADO EN CONCESIÓN SOJO PIURA, 2017*
Coordenadas (X,Y,Z):					
Pámetros de clasificación		Clasificación	Puntuación		
1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)					
Ensayo de carga puntual	4-2		7		
Compresión simple	250-100		12		
2 Índice RQD de la roca					
RQD (%)	50-75		13		
3 Separación entre diaclasas					
Separación entre diaclasas (m)	0,06-0,2		8		
4 Estado de las discontinuidades					
Longitud de la discontinuidad (m)	< 1		6		
Abertura (mm)	Nada		6		
Rugosidad	Rugosa		5		
Relleno	Ninguno		6		
Alteraciones	Insalterada		6		
5 Agua freática					
Caudal por 10 m de túnel	< 10 l/min		10		
Presión agua/Tensión principal mayor	0-0,1		10		
Estado general	No aplica		0		
Corrección por discontinuidades		Clasificación	Puntuación		
Túneles	Muy Favorable		0		
Cimentaciones	Muy Favorable		0		
Taludes	Muy Favorable		0		
		Puntuación	89		

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm ²]	Angulo de rozamiento [°]
Muy buena	I	10 años con 15 m de vano	> 4	> 45

Foto e croquis de la estación geomecánica



Orientación de las discontinuidades en el túnel						
Dirección perpendicular al eje del túnel			Dirección paralela al eje del túnel			
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzamiento 0°-20° Cualquier dirección		
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Tabla N° 02. Definición operacional de la variable dependiente

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Estabilidad del talud minado	El análisis de estabilidad se ha realizado en base a esfuerzos efectivos para condiciones estáticas y para los cálculos de deformaciones simples se usó la condición seudoestática (sismo). Cuando se realizan análisis de estabilidad bajo condiciones seudoestáticas, se considera que un factor de seguridad levemente superior a 1.0 es aceptable	Generalmente cuando cesa la descarga y la poza de decantación ya no proporciona una fuente continua de agua, la superficie freática dentro del depósito disminuye dramáticamente, originando mayor estabilidad del talud del depósito después de la recuperación que durante la operación	Ancho y alto del Talud	Bermas y Trincheras
			Talud Infinito	El espesor del material inestable es pequeño respecto a la altura del talud.
			Falla General del Talud	Numero de fallas presentadas en el talud
			Método del Bloque	Obtenido de un análisis Matemático.

Fuente: Elaboración propia

3.2 Diseño de Investigación

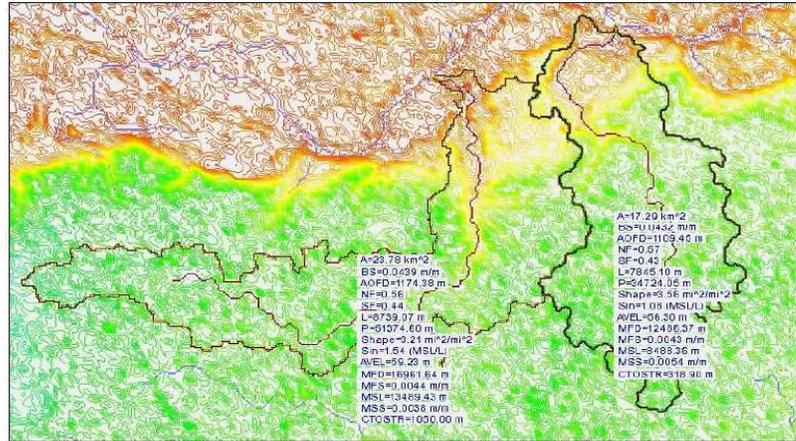
3.2.1 Diseño Experimental

(Milleri 1997) Lo básico para el análisis de estabilidad es una apreciación de las diferentes fuentes de presión de poros y la forma en las que éstas afectan la interpretación de resistencia al corte. Asumiendo que se ha establecido el tipo básico de depósito, los materiales y la zonificación interna, el primer paso es seleccionar una configuración e inclinación del talud de prueba del depósito. Luego sigue la predicción de la ubicación de la superficie freática con el fin de estimar las presiones de poros estáticas iniciales. Además, se debe realizar una evaluación para determinar si la tasa de elevación del depósito es suficiente para generar presión excedente de poros tanto en los materiales de depósito como en los de cimentación. Después que se ha terminado estos pasos, se puede efectuar el cómputo de estabilidad para determinar si los taludes de depósitos de prueba son estables bajo todas las condiciones aplicables de análisis. Si no, se debe efectuar una nueva iteración de los pasos comprendidos en el procedimiento, o quizás de todo el rediseño efectuado, hasta que se obtenga una configuración estable del depósito.



SOJO 3" se encuentra dentro del divortium aquarum (Divisoria de aguas) de las nacientes de las quebradas: La Soledad y Sojo. Donde se encuentra la cantera. Estas

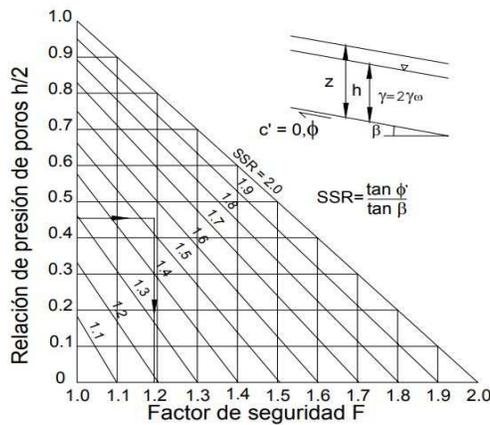
microcuencas pertenecen a la cuenca del rio Chira, como muestra en la siguiente imagen



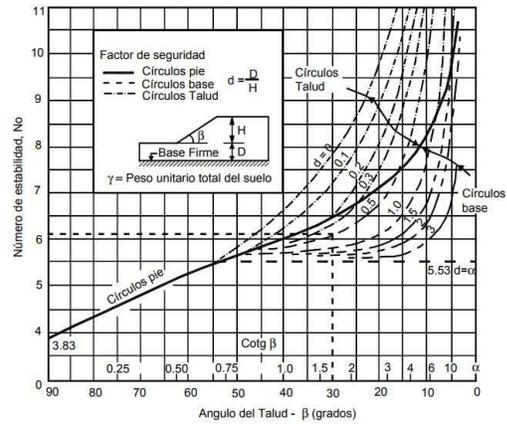
Fuente: Google Earth



Zonas de recarga y descarga del área del proyecto



Factor de Seguridad (1.5)



Ángulo de Talud (45°)

Las condiciones técnicas utilizadas por el titular minero para los cálculos de la cubicación del material económico son: material económicamente aprovechable, morfología de la zona, profundidad de explotación.

Para el cálculo del volumen de reservas en las canteras utilizaremos la altura promedio así como las áreas superior e inferior en 2D. Procedemos a calcular el volumen con la siguiente fórmula

$$Vol = h/3 * (S1 + S2 + \sqrt{S1 * S2})$$

Dónde:

S1= Área Superior 2D

S2= Área Inferior 2D

h= Altura promedio

Volumen Cantera Norte= $2'002,962\text{m}^3 * 1.36 = 2'724,028.32$

Volumen Cantera Este= $408,840\text{m}^3 * 1.36 = 556,022.4$

Volumen Cantera Sur= $759,486.26\text{m}^3 * 1.36 = 1'032,901.31$

Volumen total= $4'312,952.034\text{m}^3$

Producción anual = $143,677\text{m}^3$

Tiempo de vida útil aproximada del proyecto= $4'312,952/143,677 = 30.01 = 30$ años

De acuerdo a la definición planteada por Miller nuestra investigación propuesta cumple las características planteadas por el autor, por lo que se puede definir que esta investigación es experimental pura el presente estudio fue elaborado por DINO S.R.L., correspondiente a la evaluación física de las canteras de explotación, las cuales están ubicadas en el distrito de Miguel Checa, provincia Sullana, departamento de Piura.

En este estudio se presenta el trabajo de campo, las pruebas de laboratorio y la caracterización realizada a la unidad geológica - geotécnica que comprende los componentes mencionados.

Como parte del trabajo realizado, se llevaron a cabo investigaciones geotécnicas del área en estudio, donde se realizó la caracterización del área, ensayos de campo, toma de muestras, ensayos de laboratorio y finalmente el procesamiento de la información recopilada.

3.2.2 Matriz de Diseño

Tabla N° 03

Pendientes típicas para taludes de corte

Material	Propiedades	Altura del corte	Pendiente Sugerida
Roca dura			0.3H:1V a 0.8H:1V
Roca Blanda			0.5H:1V a 1.2H:1V
Arena	Poco densa		1.5H:1V a 2.0H:1V
	Denso	Menos de 5	0.8H:1V a 1.0H:1V
Suelo arenoso		5 a 10	1.0H:1V a 1.2H:1V
		Menos de 5	1.0H:1V a 1.2H:1V
Mezcla de arena con grava o masa de roca	Poco denso	5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V
	Densa	Menos de 10	0.8H:1V a 1.0H:1V
		10 a 15	1.0H:1V a 1.2H:1V
	Poco densa	Menos de 10	1.0H:1V a 1.0H:1V
Suelos cohesivos		10 a 15	1.2H:1V a 1.5H:1V
		0 a 10	0.8H:1V a 1.2H:1V
Suelos cohesivos mezclados con masa de roca o bloques		Menos de 5	1.0H:1V a 1.2H:1V
		5 a 10	1.2H:1V a 1.5H:1V

Fuente: Distribuidora Norte Pacasmayo

3.3 Unidad de Estudio

Pendientes de bancos de zonas de cantera.

3.4 Población

Pendientes de banco de concesiones de canteras en el norte del Perú

3.5 Muestra

Pendiente de banco de cantera Sur de la Concesión Sojo 03 ubicado en el distrito de Sullana en la cuenca del río Chira, provincia de Sullana, departamento de Piura.



Fuente: Google Earth

Zonas de recarga y descarga del área del proyecto

Tabla N° 04

Principales Componentes de las áreas de Operaciones

COMPONENTES	COORDENADAS UTM – WGS 84, Z 17	
	ESTE	NORTE
Cantera de extracción de agregados	520 142.21	9 546 353.14
	520 547.25	9 456 000.61
	520 142.66	9 455 720.47
Área de chancado de agregados	520 253.74	9 456 336.25

Los ensayos de caracterización física y mecánica fueron realizados en el laboratorio geotécnico de GARUDHA INGENIEROS S.A, con sede, en la ciudad de Lima. Los ensayos de laboratorio seguirán los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de los métodos de ensayo de la Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales (ASTM).

Ensayo de granulometría

Se realizó el ensayo de granulometría por tamizado siguiéndose los procedimientos de la norma ASTM D 422.

Ensayo de contenido de humedad

Se realizó el ensayo de contenido de humedad siguiéndose los procedimientos de la norma ASTM D 2216.

Ensayo de compresión triaxial

Las muestras que se obtengan en la exploración de campo, se llevaran a cabo ensayos estándar de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

3.6 Métodos

3.6.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas e Instrumentos

- Observación
- Muestras (calicatas) ensayadas del estándar de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.
- Análisis de laboratorio
 - Ensayo de densidad de campo por el método de cono de arena.
 - Ensayo de granulometría por tamizado.
 - Ensayo de contenido de humedad.
- Ficha de observación

3.6.2 Método de Explotación

A.- Descripción del Método de Explotación

El método de explotación será a cielo abierto (open pit), método de corte y arrastre por banqueo, para aplicar este tipo de método de extracción no es necesario el uso de explosivos, por lo que no se van a realizar las operaciones unitarias de perforación y voladura. El corte y arrastre del material económico lo va a realizar un equipo pesado de excavación cortante.

Este método consiste en realizar cortes en forma de tajadas de arriba hacia abajo, para ello se emplearán excavadoras, que cortarán el material hasta llegar a la cota base de la plataforma de carguío en operación (pie de banco operativo), una vez terminado el primer corte se iniciará el siguiente corte y así sucesivamente formando bancos finales que irán profundizando en el depósito.

El carguío del material económico se realizará directamente a los volquetes, los cuales tendrán una capacidad de 15m³, en el punto de corte. Los volquetes transportarán la carga hasta la ubicación de la planta móvil, en este punto el cargador frontal se

encargará de trasladar el material directamente a la chancadora primaria (chancadora de quijada), luego el producto resultante pasará a una chancadora secundaria (chancadora de cono).

B.- Trabajos Preliminares

Los trabajos preliminares de operación incluyen las actividades de desbroce y preparación, construcción de los accesos principales, limpieza y la construcción de la plataforma de arranque.

Desbroce y preparación

Preparar y remarcar las áreas de trabajo.

- Para efectuar el plan de desbroce a mediano y largo plazo, debemos integrar los bloques (bloques de explotación a mediano y largo plazo) en forma ordenada y bajo una supervisión profesional.
- La preparación del tajo por el método de cielo abierto consistirá en hacer una limpieza del material superficial existente en el área de trabajo que es muy poco, luego se marcarán de acuerdo a los procedimientos establecidos.
- Concluir con la preparación de las rampas de acceso.
- Proporcionar las herramientas de trabajo adecuadas y la dotación de implementos de seguridad a todo el personal que laborará.

Construcción de acceso principal en la cantera

La explotación de la cantera se realizará desde cotas superiores a inferiores en dirección de este a oeste. Conforme se avance con la operación, profundización en la explotación, se irán diseñando las rampas de acceso entre los bancos. Inicialmente la cantera contará con una vía de acceso que comunicará al campamento con las operaciones en el pit.

Las vías de circulación en interior mina tendrán un ancho de 5 m (vía de un solo carril), las características geométricas de diseño son las adecuadas para la circulación libre y correcta de los vehículos (volquete, cargador frontal y excavadora) que operen en el interior de la cantera.

Las vías de acceso que se encuentran en el interior del proyecto tendrán unas dimensiones adecuadas para la circulación de vehículos (aproximadamente 5m).

Limpieza de vía

Culminada la etapa de construcción de la vía y rampa de acceso se realizará la limpieza de las mismas. Esta actividad se realizara con la finalidad de eliminar desechos de todo tipo que puedan contaminar el mineral.

Esta actividad de limpieza la realizará el cargador frontal y los volquetes de 15 m3.

Construcción de plataforma de arranque

Se construirá una plataforma de arranque, la cual se ubicará en la parte más alta de la cantera. Esta zona tendrá un área lo suficientemente amplia para facilitar el desarrollo de los sucesivos bancos inferiores. La plataforma se iniciará con la apertura de un acceso de 5 m de ancho (sobre la misma plataforma), que permita la circulación de los equipos, para luego ir ampliándose hasta alcanzar las dimensiones (longitud) requeridas para el desarrollo de los bancos inferiores.

La construcción de la plataforma de arranque se efectuará con la excavadora, cargador frontal y los volquetes de 15 m3.

C.- Proceso de minado

El proceso de minado se realizará en diferentes etapas de operaciones unitarias, las cuales estarán secuenciadas de forma continua. Algunas operaciones son agrupadas de forma binomial en un mismo proceso operativo.

Estas operaciones son: Corte - arrastre, carguío - acarreo y por último el chancado del material en 02 etapas (chancado primario y chancado secundario).

En el siguiente cuadro se presenta el Diagrama de Flujo de las operaciones y procesos a realizarse en la unidad de extracción y chancado de agregados.

Corte y arrastre

El mineral no metálico a explotarse será cortado, de su ubicación in situ, por una excavadora de orugas modelo CAT 336BL, la capacidad de la cuchara de la excavadora es de 2 m3. Esta operación se llevará a cabo sin la necesidad de hacer uso de explosivos.

Posterior al corte el material será arrastrado sobre la plataforma de operación en un punto cercano al lugar donde se realizó el corte.

Carguío y acarreo

El material cortado será cargado directamente en el punto donde será arrastrado el material suelto, sobre la plataforma de operación, a tres volquetes volvo de 15m³.

Los volquetes se encargarán de llevar el material cargado hasta la el área de chancado.

Chancado

Abastecimiento de la tolva de recepción de over con un cargador frontal de 3 m³ de capacidad, es en este punto donde se inicia el proceso de trituración y clasificación del material (agregado grueso con características específicas para la preparación del concreto premezclado).

Almacenamiento de productos

Los productos terminados serán almacenados temporalmente en un patio de almacenamiento para su posterior despacho y comercialización. Se tomarán las medidas necesarias para evitar el deterioro visual ni ambiental.

Despacho de productos terminados y transporte

El material de agregados que será abastecido a otras plantas de concreto de DINO SRL, así como para venta regional, será despachado mediante un camión volquete de diferentes capacidades o metros cúbicos.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO

4.1. Protocolo de trabajo.

1. Primer Etapa.

En esta primera etapa se realizaron investigaciones geológicas – geotécnicas en campo, con excavación de calicatas, obteniéndose muestras representativas.

2. Segunda Etapa.

En esta segunda etapa se enviaron las muestras de ensayo al laboratorio de Garudha Ingenieros S.A.C. (ciudad de Lima).

3. Tercera Etapa.

En esta tercera etapa se realizaron en laboratorio: Ensayo de contenido de humedad, peso específico y de compresión triaxial en cumplimiento con las normas ASTM, los resultados se indican en la tabla.

4. Cuarta Etapa.

En esta cuarta etapa con los datos obtenidos por laboratorio se estudian y evalúan para la identificación del factor mínimo de seguridad del talud en estudio.

5. Diseño de la estabilidad del talud.

Programa de computadora Slide versión 6.0

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.5. Determinación de parámetros geotécnicos de la Cantera Sur para asegurar la estabilidad y prevenir deslizamiento en la concesión Sojo 03 en Piura de la empresa DINO SRL.

INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

En la zona del proyecto se realizó la excavación de 5 calicatas con una profundidad de 3.0m, con el fin de determinar las características del material que compone el depósito de valor económico.

Tabla N° 05.

Calicatas excavadas para realizar los ensayos

Calicata	Coordenadas UTM WGS 84		Profundidad
	Este	Norte	
CA-SO03-01	520217.78	9455639.97	3m
CA-SO03-02	520272.86	9455766.03	3m
CA-SO03-03	519784.19	9456291.76	3m
CA-SO03-04	520075.19	9456216.76	3m
CA-SO03-05	520576.19	9456030.76	3m

Fuente: Distribuidora Norte Pacasmayo SRL.

Los resultados de los ensayos de laboratorio fueron llevados a cabo siguiendo los procedimientos recomendados según las versiones actualizadas de los métodos de ensayo de la Sociedad Norteamericana de Ensayos y Materiales (ASTM).

Ensayo de granulometría

Se realizó el ensayo de granulometría por tamizado siguiéndose los procedimientos de la norma ASTM D 422.

Tabla N° 06.

Caracterización del material consolidado

Calicata	Humedad natural de la muestra (%)	Clasificación SUCS	Límite líquido	Límite plástico
CA-SO03-01	4.46	GP-GC	32.94	21.802
CA-SO03-02	4.46	MH	59.729	34.98
CA-SO03-03	4.46	GC	29.976	22.325
CA-SO03-04	4.46	GP	-	N.T.
CA-SO03-05	4.46	GP	-	N.T.

Fuente: Garudha Ingenieros S.A.C.

Los ensayos de contenido de humedad siguiéndose los procedimientos de la norma ASTM D 2216.

Tabla N° 07.

Ensayo de contenido de humedad

Calicata	Contenido de humedad (%)
CA-SO03-01	6.03
CA-SO03-02	20.19
CA-SO03-03	3.48
CA-SO03-04	3.67
CA-SO03-05	8.83

Fuente: Garudha Ingenieros S.A.C.

De las muestras obtenidas en la exploración de campo, se llevaron a cabo ensayos de compresión triaxial estándar de laboratorio con fines de identificación y clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Tabla N° 08.-

Ensayo de compresión triaxial

Calicata	Muestra	Cohesión (KPa)	Angulo de fricción (°)
CA-SO03-01	Representativa	25	30.8
CA-SO03-02	Representativa	55	15.5
CA-SO03-03	Representativa	1	34.1
CA-SO03-04	Representativa	3	33.5
CA-SO03-05	Representativa	1	33.2

Fuente: Garudha Ingenieros S.A.C.

En el siguiente cuadro se presentan los parámetros del criterio de falla de Mohr-Coulomb empleados para el análisis de estabilidad de las canteras de explotación.

Tabla N° 09.

Resumen de parámetros

Muestra	Clasificación SUCS	Densidad (KN/m3)	Cohesión (KPa)	Angulo de fricción (°)
Representativa	GP	18.424	3	33.51
Representativa	MH	16.261	22	24.4

Fuente: Garudha Ingenieros S.A.C.

El análisis de estabilidad está basado en los resultados obtenidos de la investigación geotécnica realizados en campo y de ensayos de laboratorio de suelos practicados a las muestras extraídas de la zona del proyecto.

Los parámetros de resistencia de los materiales empleados en el análisis de estabilidad se han obtenido de los resultados de la investigación geotécnica de campo desarrollada en el sector donde se ubica el proyecto.

Para asegurar que las canteras diseñadas sean estables se tomó para ello las secciones consideradas como las más desfavorables, desde el punto de vista topográfico (sección crítica de diseño), habiéndose determinado factores de seguridad (FS) iguales o mayores a 1.5 para condiciones estáticas y 1.0 para condiciones pseudoestáticas.

Dado que el valor recomendado para un coeficiente adecuado pseudoestático varía aproximadamente de 1/2 a 2/3 veces el valor de la aceleración pico del terreno.

El análisis de estabilidad está basado en los resultados obtenidos de la investigación geotécnica realizados en campo y de ensayos de laboratorio de suelos practicados a muestras extraídas de la zona del proyecto.

Para el análisis de estabilidad se ha considerado dos tipos diferentes de materiales que componen el depósito con valor económico.

Los parámetros de resistencia de los materiales empleados en el análisis de estabilidad se han obtenido de los resultados de la investigación geotécnica de campo desarrollada en el sector donde se ubica el proyecto.

Los valores empleados en el análisis de estabilidad se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla N° 10

Propiedades de los materiales empleados en el análisis de estabilidad

Muestra	Densidad (KN/m3)	Cohesión (KPa)	Angulo de fricción (°)
Grava mal graduada	18.424	3	33.51
Limo inorgánico	16.261	22	24.4

Fuente: Garudha Ingenieros S.A.C.

Método de cálculo

Los métodos de cálculo para el análisis de estabilidad de taludes se clasifican en dos grupos: Métodos de cálculo en deformaciones y métodos de equilibrio límite.

Métodos de cálculo en deformaciones

Consideran en el cálculo las deformaciones del terreno, además de las leyes de la estática. Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema debe estudiarse aplicando el método de los elementos finitos u otros métodos numéricos.

Métodos de equilibrio límite

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

Métodos exactos: La aplicación de las leyes de la estática proporciona una solución exacta del problema con la única salvedad de las simplificaciones propias de todos los métodos de equilibrio límite, esto solo es posible en casos de geometría sencilla, como modos de falla planar o en cuña.

Métodos no exactos: En la mayor parte de los casos la geometría de la superficie de rotura no permite obtener una solución exacta del problema mediante la única aplicación de las ecuaciones de la estática. El problema es hiperestático y ha de hacerse alguna simplificación o hipótesis previa que permita su resolución

Se puede distinguir aquí entre los métodos que consideran el equilibrio global de la masa deslizante prácticamente en desuso y los métodos de dovelas que consideran a la masa deslizante dividida en una serie de fajas verticales.

Los métodos de dovelas consideran al problema bidimensional por lo que la estabilidad del talud se analiza en una sección transversal del mismo, la zona del terreno potencialmente deslizante se divide en una serie de fajas verticales estudiándose el equilibrio de cada una de las dovelas.

La gran utilización que tiene actualmente del método de dovelas se debe a que se pueden aplicar a una gran generalidad de problemas con un grado razonable de exactitud en la gran mayoría de casos, permite considerar la acción de presiones intersticiales, la existencia de cargas externas actuando sobre el talud, la existencia de materiales de diferentes características y en muchos casos son aplicables a superficie de rotura de cualquier forma

Estos métodos de dovelas son estudiados por los métodos aproximados y precisos.

Métodos aproximados

El método simplificado de BISHOP (1955), Supone que la fuerza de las caras laterales son horizontales, solo satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales, es un método de aplicación a líneas de rotura circulares.

El método ordinario de FELLENIUS (1927), Se basa en la suposición de que la resultante de las fuerza laterales en las caras de las rebanadas actúa paralelamente a la base de las

mismas, solo satisface el equilibrio de momentos, solo tiene aplicación a superficies de rotura circulares.

El método de JANBU (1954), supone conocidos los $n-1$ valores de b , posiciones de los empujes normales a las caras de las dovelas, es de aplicación a superficies de rotura cualesquiera, no cumple el equilibrio de momentos y si el de fuerzas.

Métodos exactos

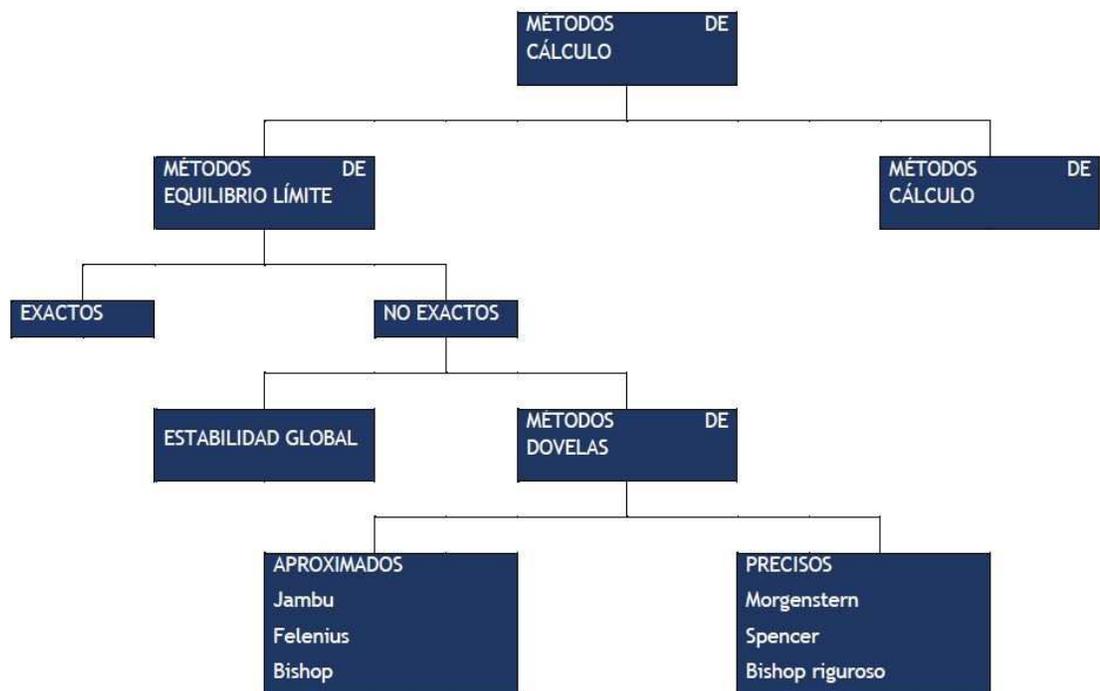
Método de MORGENSTERN-PRICE (1965), aplicado a líneas de rotura cualesquiera, se basa en la suposición de que la relación entre las fuerzas tangenciales y normales en las caras laterales de las dovelas, se ajusta a una función, que es preciso definir previamente, multiplicada por un parámetro, este parámetro es la incógnita que completa el problema, el método satisface todas las condiciones de equilibrio.

Método de SPENCER (1967), es análogo al anterior, considerando como función una constante, que constituye el parámetro necesario para completar el problema.

En análisis de lo detallado por los métodos de cálculo de estabilidad antes mencionado se eligió el método de cálculo de BISHOP, por ser el que cumple la mayor parte de consideraciones del área en estudio.

En el siguiente diagrama podemos notar cómo se distribuye los métodos de cálculo, para analizar la estabilidad de taludes.

Métodos de cálculo para el análisis de estabilidad de taludes



Fuente: Asesores y consultores Mineros S.A.

Factor de seguridad mínimo

Se define al factor de seguridad como la relación que existe entre las fuerzas que resisten, propias de la roca y/o suelos “vs” las fuerzas que inducen el deslizamiento, debido al peso de la masa de roca o apilamiento de material.

El uso de un factor de seguridad en los análisis de estabilidad proporciona dos provisiones importantes: considera el margen de error entre parámetros empleados en el diseño y aquellos que pueden existir realmente en el campo, y limita las deformaciones.

Los valores mínimos del factor de seguridad empleados como límite inferior en el análisis de estabilidad de taludes han sido tomados de referencia de estándares internacionales (American Society of Civil Engineers Bureau of Mines of the United States) y nacionales.

En el siguiente se presentan los valores mínimos del factor de seguridad considerados para el análisis de estabilidad en condiciones estáticas y pseudoestáticas

Tabla N° 11

Factores de seguridad (FS) mínimos

Condiciones	Factor de seguridad mínimo
Estático	1.5
Seudoestático	1

Fuente: Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras – MINEM.

Condiciones de análisis

Sobre la base de las propiedades de los materiales, la configuración de los taludes de la sección de análisis y la ubicación del nivel freático, se ha llevado a cabo el análisis de estabilidad usando el programa de computadora Slide versión 6.0 del paquete de Rocscience, el cual nos permite determinar los estados de equilibrio límite y tiene la capacidad de analizar cualquier tipo de falla que se le especifique mediante diferentes métodos de análisis; se ha empleado el método de Spencer debido a que considera fuerzas interceldas normales y cortantes que satisfacen tanto el equilibrio de fuerza como el equilibrio de momentos, consideraciones que no utilizan los métodos de Bishop y Janbu simplificados.

El análisis de estabilidad se ha realizado en base a esfuerzos efectivos para condiciones estáticas y para los cálculos de deformaciones simples se usó la condición pseudoestática (sismo). Cuando se realizan análisis de estabilidad bajo condiciones pseudoestáticas, se considera que un factor de seguridad levemente superior a 1.0 es aceptable; sin embargo, factores de seguridad menores no representan, necesariamente, el colapso del talud que se

analiza, sino que se producen deformaciones permanentes las cuales deben ser verificadas desde el punto de vista de tolerancia de las obras.

Es importante señalar que con frecuencia los análisis pseudoestáticos tienden a ser conservadores porque la fuerza sísmica horizontal aplicada a la superficie de falla es considerada como permanente y actuando en una sola dirección, cuando en realidad la carga dinámica debida a un sismo es pulsatoria por naturaleza y sólo actúa por un corto período de tiempo.

Análisis de estabilidad

Sobre la base de las propiedades de los materiales, la configuración del talud de la sección de análisis y la ubicación del nivel freático, se ha llevado a cabo el análisis de estabilidad usando el programa de computadora Slide versión 6.0 del paquete de Rocscience, el cual nos permite determinar los estados de equilibrio límite y tiene la capacidad de analizar cualquier tipo de falla que se le especifique mediante diferentes métodos de análisis; se ha empleado el método de Spencer debido a que considera fuerzas interceldas normales y cortantes que satisfacen tanto el equilibrio de fuerza como el equilibrio de momentos, consideraciones que no utilizan los métodos de Bishop y Janbu simplificados.

Tabla N°12.

Resultados de análisis de estabilidad

Cantera	Sección	F.S. Análisis Estático	F.S. Análisis Pseudoestático
Sur	A - A	1.88	1.137
	B - B	1.676	1.071
	C - C	1.563	1

Fuente: Garuda Ingenieros S.A.C.

Por lo que al el FS estático y pseudoestático es mayor a 1, el FS permitirá garantizar la estabilidad del talud en estudio.

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos experimentalmente para el análisis de la estabilidad se indican que para la condición estática de fuerzas gravitacionales, el factor de seguridad para las fallas profundas de la cantera en estudio cumplirá con los criterios establecidos (factor de seguridad mayor o igual a 1.5).

Bajo condición seudoestática, el factor de la seguridad está por encima de la unidad (factor de seguridad mayor o igual a 1.0), lo cual indica que no existirá potencial alguno para generarse deformaciones permanentes, una vez que el talud sea adecuado con dicho factor de seguridad.

Comparando con el límite de factores permisibles tanto estático (mínimo: 1.5) y seudoestático (mínimo: 1.0), se determina que el talud en estudio se logrará su estabilidad.

El coeficiente sísmico recomendado para el estudio de estabilidad de la cantera bajo condiciones seudoestáticas, es de 0.22. Este valor representa aproximadamente 1/2 de la aceleración máxima del máximo sismo creíble (MCE).

CONCLUSIONES

En consideración del planeamiento a corto plazo se debe mencionar que la producción diaria de la cantera será de 666.5 t/día (399.1 m³/día), la producción mensual ascenderá a 19,995 t/mes (11,973 m³/mes). Cabe mencionar además que existe presencia de agua subterránea en el área de desarrollo del proyecto en donde el nivel freático se encuentra aproximadamente a 30msnm, esto influye en el diseño de las canteras ya que la cota mínima para la profundización de las mismas es 50 msnm.

Los trabajos de investigación geotécnica permitieron definir las características de los materiales que conforman el cuerpo con valor económico a ser explotado, a partir de los cuales se ha definido el modelo geotécnico para los análisis de estabilidad física de los taludes proyectados.

Los parámetros geotécnicos empleados en los modelos de análisis, fueron obtenidos a partir de los ensayos de campo y ensayos de laboratorio y sus correlaciones.

Los resultados del análisis de la estabilidad indican que para la condición estática de fuerzas gravitacionales, el factor de seguridad para las fallas profundas de las canteras del proyecto Sojo 03 cumple con los criterios establecidos (factor de seguridad mayor o igual a 1.5).

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la empresa deba proporcionar un panorama predictivo de presentarse cualquier tipo de inestabilidad, de tal manera que se puedan ejecutar actividades de control que permitan estabilizar las condiciones adversas, pudiendo así minimizar cualquier posible impacto.

Proporcionar información geotécnica confiable y actualizada del comportamiento del depósito a fin de poder llevar a cabo medidas correctivas apropiadas de control.

En el caso de este estudio se plantea un plan de monitoreo el cual comprende de dos etapas durante la operación del tajo abierto y al realizar el cierre del tajo abierto.

Durante la operación se propone un plan de monitoreo mensual que será realizado por un ingeniero geotécnico - geomecánico, el cual llevará un control detallado de cualquier cambio en las condiciones de los taludes de la cantera con el transcurrir del tiempo.

REFERENCIAS

- Pinea, L. (1997). *Alternativas de estabilización de taludes*. San Salvador: Grijalva.
- Suarez, J. (2003) *Estabilización de taludes*. Bucaramanga: Omega.
- Barragan, J. (2007) *Explotación de canteras*. Guayaquil: Trillas.
- Suarez, J. (2003) *Factores de seguridad equilibrio limite*. Bucaramanga: Sol Blanco.
- Renant, E. (1997) *Guía Ambiental para la estabilidad de Taludes*. Lima: Planeta
- Alva, J. (1968) *Soluciones Geotécnicas en Estabilidad de Taludes*. Lima: Universo.
- Pozo, R. (2014) *Análisis numérico del mecanismo de falla en macizos rocosos fracturados considerando el efecto escala*. Lima: Mcgrawhill
- Codina, S. (2001) *Proyecto de estabilidad de taludes en el municipio de Santa Tecla* El Salvador: Grijalva.

ANEXOS

Anexo N° 01. Cantera Sur

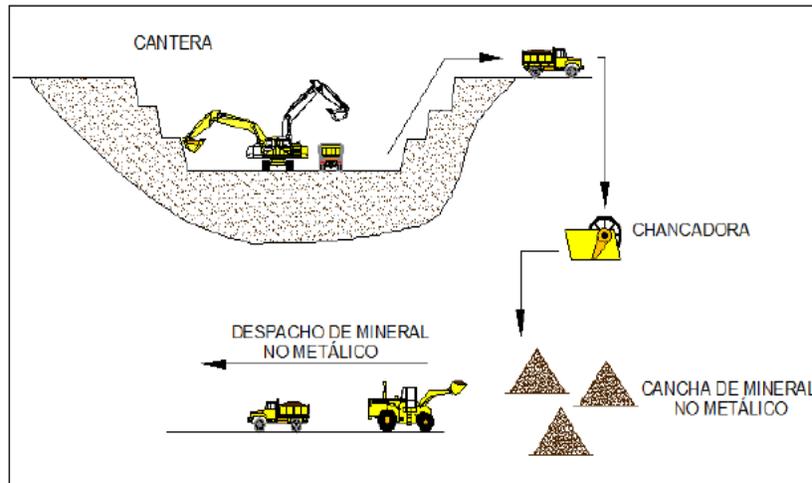
FOTO N° 01. Talud de la Cantera Sur



Fuente: Distribuidora Norte Pacasmayo SRL

Anexo N°02 Diagrama conceptual del Plan de Minado

FOTO N°02. Vista de corte de Minado



Fuente: Elaboración Propia, 2017

Anexo N° 03: Características recomendable para el talud de la Cantera Sur

FOTO N°03: Vista de corte del talud de la Cantera Sur



Fuente: Plan de Minado Sojo 03