

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**



ESCUELA DE POSGRADO

TESIS

**EVALUACIÓN DEL RELAVE MINERO Y SU
TRATAMIENTO EN LA PLANTA BENEFICIO**

MVC-2011-II. SAYÁN – LIMA. 2017

PRESENTADO POR:

Gerardo Luís Mora Palomino

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

ASESOR:

Edwin Guillermo Gálvez Torres

HUACHO – 2019

**EVALUACIÓN DEL RELAVE MINERO Y SU TRATAMIENTO
EN LA PLANTA BENEFICIO MVC-2011-II. SAYÁN – LIMA. 2017**

Gerardo Luís Mora Palomino

TESIS DE MAESTRÍA

ASESOR: Edwin Guillermo Gálvez Torres

**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRO EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL
HUACHO**

2019



DEDICATORIA

A mis padres Zenón Mora Veliz, Aurelia Palomino Vásquez y hermano Ernesto Mora Palomino que están en el cielo que me criaron con mucho afecto y me enseñaron el camino correcto en cumplimiento de mis deberes.

Gerardo Luís Mora Palomino

AGRADECIMIENTO

Al Señor de Los Milagros por darme sabiduría, cumplimiento en mis obligaciones y estar conmigo protegiéndome todos los días.

A mis padres que están con el señor Dios, Zenón Mora Veliz y Aurelia Palomino Vásquez por haberme dado cariño, amor hacia con los demás para enfrentar la vida.

A mi hermano mayor Ernesto Mora Palomino que también se encuentra al lado del señor Dios, por la fortaleza, disciplina y fe que me inspiran a cada momento.

A mi esposa Cristina Penadillo Trujillo e hija Katherine Mora Penadillo.

Deseo mi agradecimiento a todas las personas que directa e indirectamente me apoyaron en la elaboración de la tesis, al M(o) Edwin Gálvez Torres, Dr. José Nunja García.

Al Gerente General de la CIA Minera Virgen de Cocharcas, Sr Constantino Huaccachi Torre por haberme dado las facilidades de realizar trabajos relacionado con la tesis, en la Planta Concentradora de Minerales MYC-2011-II, Sayán. Lima 2017.

Gerardo Luís Mora Palomino

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| DEDICATORIA | iii |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| ÍNDICE | v |
| ÍNDICE DE TABLAS | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | viii |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | ix |
| RESUMEN | x |
| ABSTRACT | xi |
| INTRODUCCIÓN | xii |
| CAPITULO I | 1 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 Descripción de la Realidad Problemática. | 1 |
| 1.2 Formulación del Problema | 3 |
| 1.2.1 Problema General | 3 |
| 1.2.2 Problemas Específicos | 3 |
| 1.3 Objetivos de la Investigación | 4 |
| 1.3.1 Objetivo General | 4 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 1.4 Justificación de la Investigación. | 4 |
| 1.5 Delimitaciones del Estudio | 6 |
| 1.6 Viabilidad del estudio | 7 |
| CAPITULO II | 8 |
| MARCO TEÓRICO | 8 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 8 |
| 2.1.1 Investigaciones relacionadas con el estudio | 8 |
| 2.1.2 Otras publicaciones | 13 |
| 2.2 Bases teóricas | 22 |
| 2.2.1 Sociedad moderna y relaves mineros | 22 |
| 2.2.2 Estabilidad de taludes | 25 |
| 2.2.3 Factor de seguridad | 25 |
| 2.2.4 Movimiento en Masa | 26 |
| 2.2.5 Hipótesis de los métodos de equilibrio límite: | 26 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.3 | Definición de términos básicos | 37 |
| 2.4 | Formulario de hipótesis | 40 |
| 2.4.1 | Hipótesis General | 40 |
| 2.4.2 | Hipótesis Específicas | 41 |
| 2.5 | Operacionalización de las variables | 41 |
| CAPÍTULO III | | 42 |
| METODOLOGÍA | | 42 |
| 3.1 | Diseño metodológico | 42 |
| 3.1.1 | Tipo de Investigación | 42 |
| 3.1.2 | Diseño de Investigación | 42 |
| 3.2 | Población y muestra de estudio | 43 |
| 3.2.1 | Población | 43 |
| 3.2.2 | Muestra | 43 |
| 3.3 | Técnicas de recolección de datos | 44 |
| 3.4 | Técnicas para el procedimiento de información | 44 |
| CAPITULO IV | | 48 |
| RESULTADOS Y DISCUSIONES | | 48 |
| 4.1 | Generalidades | 48 |
| 4.2 | Resultados de los análisis de la estabilidad de taludes | 49 |
| 4.3 | Factores de seguridad obtenidos | 50 |
| CAPITULO V | | 52 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 52 |
| 5.1 | Conclusiones | 52 |
| 5.2 | Recomendaciones | 54 |
| FUENTES DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA | | 56 |
| ANEXOS | | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1. Pasivos Ambientales Mineros en la Provincia de Huaura</i> | <i>29</i> |
| <i>Tabla 2. Porcentaje de sólidos, volumen y consistencia de relaves.....</i> | <i>32</i> |
| <i>Tabla 3. Parámetros de capacidad, extensión y producción minera</i> | <i>40</i> |
| <i>Tabla 4. Operacionalización de las variables</i> | <i>41</i> |
| <i>Tabla 5. Factores de seguridad Mínimos para Análisis de Estabilidad Física en Presas de tierra</i> | <i>46</i> |
| <i>Tabla 6. Parámetros operativos del depósito de relave N°3</i> | <i>49</i> |
| <i>Tabla 7. Factores de seguridad mínimos para el depósito de relave.....</i> | <i>49</i> |
| <i>Tabla 8. Factores de seguridad obtenidos en el depósito de relave N° 3</i> | <i>50</i> |
| <i>Tabla 9. Resultados del Análisis de Estabilidad Física del depósito de relave N°3.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Tabla 10. Relación de calicatas realizadas en el suelo de relave N° 3.....</i> | <i>69</i> |
| <i>Tabla 11. Análisis granulométrico por tamizado ASTM-D-422</i> | <i>69</i> |
| <i>Tabla 12. Límite de consistencia en el suelo de relave N°3.....</i> | <i>69</i> |
| <i>Tabla 13. Clasificación de suelos en relave N° 3.....</i> | <i>70</i> |
| <i>Tabla 14. Descripción de los materiales por excavabilidad</i> | <i>70</i> |
| <i>Tabla 15. Cuadro Comparativo de Resultados (sulfatos, cloruros, sales)</i> | <i>71</i> |
| <i>Tabla 16. Resumen de muestra-habilitación de suelos para relave N°3</i> | <i>77</i> |
| <i>Tabla 17. Contenido de humedad por tamizado (ASTM D2216).....</i> | <i>78</i> |
| <i>Tabla 18. Análisis granulométrico por tamizado (MTC E-107).....</i> | <i>79</i> |
| <i>Tabla 19. Sistema de clasificación de suelos (ASTM D 2487).....</i> | <i>81</i> |
| <i>Tabla 20. Ensayo químico de suelo, depósito del relave N° 3.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Tabla 21. Ensayo de corte directo mínimo, estudio de suelos, relave N° 3.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Tabla 22. Cálculo de asentamiento, estudio de suelo, relave N° 3.....</i> | <i>85</i> |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 1. Estabilidad de taludes</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 2. Cuenca del río Huaura.....</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 3. Diseño de relave N° 03, Planta de beneficio MVC-2011-II, Sayán. Lima 2017.....</i> | <i>60</i> |
| <i>Figura 4. Comportamiento sísmico de presas de relaves construidas aguas abajo y línea central.....</i> | <i>61</i> |
| <i>Figura 5. Poza Relave N° 1. Planta de beneficio MVC -2011-II. Sayán–Lima. 2017.....</i> | <i>62</i> |
| <i>Figura 6. Poza Relave N° 2, Planta de beneficio MVC-2011-II. Sayán .Lima 2017.....</i> | <i>63</i> |
| <i>Figura 7. Poza Relave N° 3, Planta de beneficio MVC-2011-II Sayán. Lima 2017.....</i> | <i>64</i> |
| <i>Figura 8. Método de Bishop simplificado, método de Janbu</i> | <i>65</i> |
| <i>Figura 9. Clasificación general de los métodos de cálculo de estabilidad.....</i> | <i>66</i> |
| <i>Figura 10. Zonificación sísmica Propuesta. Norma 2014.....</i> | <i>67</i> |
| <i>Figura 11. Panel Fotográfico (Calicata 1– 2).....</i> | <i>74</i> |
| <i>Figura 12. Panel Fotográfico (Calicata 3, 4y 5).....</i> | <i>75</i> |
| <i>Figura 13. Panel Fotográfico (Calicata 6).....</i> | <i>76</i> |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|-----------|
| <i>Gráfico 1. Curva Granulométrica (% que pasa vs mm).....</i> | <i>80</i> |
| <i>Gráfico 2. Ensayo de corte directo, para habilitación de relave N°3.....</i> | <i>84</i> |



RESUMEN

Esta tesis se realiza para proponer una mejor estabilidad física a un relave minero que produce toda planta de beneficio que trata minerales de nuestros recursos naturales. Considero que es un problema ambiental que algunas empresas mineras no le dan importancia, como consecuencia encontramos una mala disposición de sus relaves mineros, produciendo la licuefacción y debilitación de su muro de contención, esto se relaciona con la contaminación de los suelos, ríos, originando un problema social con las comunidades de su entorno, además tenemos leyes, normas ambientales a fin de crear un ambiente sostenible en las pequeñas empresas. Objetivo de la tesis es determinar y describir la evaluación de relave minero y su tratamiento en la planta de beneficio MVC 2011-II, Sayán. Lima 2017. Método: En el trabajo de campo se ha verificado de manera precisa. los objetivos planteados en esta investigación, cuyo propósito fue demostrar la evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC 2011-II, estableciendo la relación entre dichas variables y sus dimensiones. Resultados, se obtuvieron lo siguiente: Realizar la acumulación de relaves aguas abajo, con bordes de material a préstamo y la utilización de un hidrociclón para asegurar la estabilidad del relave, ante posibles sismos que pudieran existir. El objetivo de la tesis, es la influencia que tienen sobre la estabilidad física de la presa de relave N°3, los cambios a realizarse en el diseño, en cuanto al sistema de disposición de relaves, recuperación de sus aguas y los parámetros de construcción.

Como resultados se obtuvieron lo siguiente: Realizar la acumulación de relaves, aguas abajo, con bordes de materiales a préstamo y la utilización del hidrociclón para asegurar la estabilidad del relave, ante los problemas sísmicos que pudieran existir. Conclusión: Existe una relación directa entre las dos variables, entre la evaluación de relave minero y su tratamiento, las hipótesis específicas confirman esta relación, los factores de seguridad obtenidos en el depósito de relave N°3, como factor estático 1,473 y pseudoestático 1.066 que superan al mínimo, según la Guía Ambiental Estabilidad, talud de desechos sólidos de mina (Dirección General de Asuntos Ambientales. Lima Agosto de 1997), con esto se asegura el depósito de estabilidad física del relave N°3.

Palabra clave: Evaluación de relave minero, tratamiento en la planta de beneficio.

ABSTRACT

This thesis is carried out to propose a better physical stability to a mining tailing that produces and benefit plant that minerals from our natural resources, I consider it an environmental problem that some mining companies do not give importance, as a result we find a poor disposition of its mining tailings, producing liquefaction and weakening of its retaining wall, this is related to the contamination of soils, rivers, causing a social problem with communities, we also have laws, environmental regulations in order to create a sustainable environment in the Small mining companies. Objective of the thesis is to determine and describe the evaluation of mining tailing and their treatment in the MVC 22011-II benefit plant .Sayán-Lima 2017. Method: In the field work, the objectives set out in this investigation have been precisely verified ,whose purpose was to demonstrate the relationship between the mining tailing evaluation and its treatment.

The increase in the population is increasing the consumption of food and also the basic needs for human life. This implies an increase in raw materials and energy, tradable final products and waste, among which there are many toxic substances are the tailings of the mines in operation and treatment in the MVC 2011-II benefit plant, establishing the relationship between these variables and their dimensions. Results ,the following were obtained: Perform the accumulation of tailings downstream, with borrowed material edges and the use of hydrocyclone to ensure the stability of the tailings, in the face of seismic problems that may exist. Conclusion: There is a direct relationship between the two variables, between the evaluation of mining tailing and their treatment in the two variables, between the evaluation of mining tailing and their treatment in thi beneficiation plant, the specific hypotheses confirms this relationship, the factors obtained in the tailing deposit N°3, as a static factor of 1,473 and pseudo static 1,066 that exceeds the minimum, according to the Environmental Stability Guide, slope of solid waste from the mine (General Directorate of Environmental Affairs. Lima, August 1997), this ensures the deposit of physical stability of tail #3.

Keyword: Evaluation of mining tailings, treatment at the benefit plant

INTRODUCCIÓN

No hace muchos años, los problemas ambientales producidos por la explotación y el tratamiento de los minerales, no eran muy importantes en nuestro país.

La falta de preocupación de nuestras autoridades en aplicar leyes que contrarresten la contaminación, la protección del medio ambiente y el mal uso de insumos para la recuperación de los metales valiosos como es el caso del mercurio, cianuro de sodio entre otros.

Se han identificado 8800 pasivos ambientales, de los cuales 2700 son de alto riesgo, se necesitan 7 mil millones de soles para remediarlos, informa el Ministro de Energía y Minas, Francisco Ismodes durante su presentación en el Congreso de la Republica (14-09-18)..

El desarrollo industrial producido por el incremento de los metales a partir del año 2008 aproximadamente hace que se incremente el tratamiento de los minerales y por ende un aumento de relave minero.

Este cambio en la forma de vida de la población como es la minería ilegal, la cantidad de relave minero y de los problemas ambientales derivados del mismo.

El incremento de los precios de los metales, manifiesta un mayor consumo de insumos para la explotación y tratamiento de los minerales, esta situación ha hecho que el manejo de relave minero se torne en una situación cada vez más desordenada y de creciente interés para diversos sectores de la comunidad. Los factores que han contribuido al incremento en la generación de los relaves mineros son fundamentalmente los siguientes:

- Aumento de los precios de los metales a nivel internacional.
- Nuevas empresas mineras en la exploración, explotación y tratamiento de los minerales.
- Concentración e incremento de nuevas comunidades, dedicadas a la minería: formal, informal e ilegal.
- Ampliación de planta de beneficio y su respectiva presentación de Declaración de Impacto Ambiental (DIA), ante el Ministerio de Energía y Minas.
- Aumento del número de proyectos en cuanto a la exploración, producción y beneficio de minerales.

No todos los relaves mineros hacen daño al medio ambiente, una parte importante como son la Gran Minería, no crea problemas ambientales, ya que se producen en zonas rurales o eriazas, la cual su tratamiento de relaves lo realizan en convenio con mina (relleno hidráulico). El resto de los relaves ha llegado a constituir un serio problema especialmente de la Minería-Artesanal, Informal e Ilegal, tanto del punto de vista sanitario y ecológico, como desde el económico.

Antiguamente no se tenía el conocimiento y moderno equipo mecanizado de movimiento de tierra, era imposible la construcción de presas de tierra convencional para acumular relaves en una operación minera, como resultado de esto desarrollaron construcciones en forma manual, conocido como el método “aguas arriba” provocando desastres con el tiempo.

A nivel mundial, el abandono de éste método se produjo a raíz de una falla sísmica de la presa de relave el 1 de Diciembre 1928 en Barahona-Mina El Teniente, Chile, Hoy en día se emplean varios métodos como aguas abajo, relaves en pasta, presas de relave por ciclones, etc. para contrarrestar movimientos sísmicos.

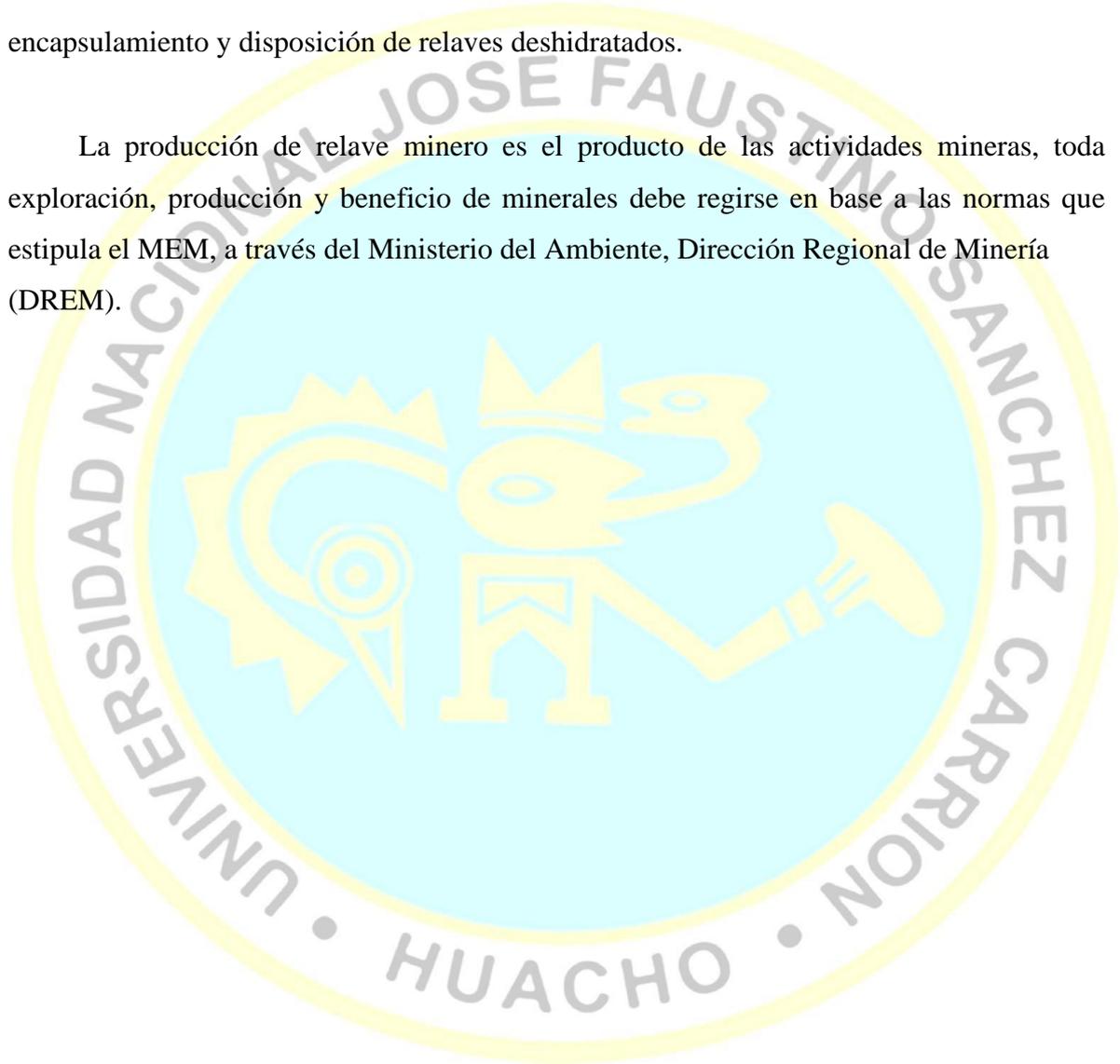
El desarrollo de ésta tecnología de presas de relave se procedió sobre una base puramente empírica mayormente relacionada con la práctica de construcción y equipo disponible y con un beneficio de diseño de ingeniería.

Se presentan importantes avances en el desarrollo de encubrimiento de materiales sintéticos que buscan reducir la infiltración, aunque la transferencia de la tecnología de recubrimientos para rellenos de tierra y para los desechos peligrosos aún no satisface la totalidad de las características especiales que demandan los depósitos de relaves.

Las practicas actuales de las presas de relaves tienden a considerar casos extremos que tienen intervalos de recurrencia de quizás algunas pocas decenas de años, con la percepción de algunas minas de que la protección contra inundaciones no es necesaria en climas secos y que los terremotos son demasiado esporádicos para prestarle mucha atención.

Al mismo tiempo, algunas minas en nuestro país, utilizan prácticas novedosas de disposición de relave minero, tal como relleno subterráneo, método de descarga espesada, encapsulamiento y disposición de relaves deshidratados.

La producción de relave minero es el producto de las actividades mineras, toda exploración, producción y beneficio de minerales debe regirse en base a las normas que estipula el MEM, a través del Ministerio del Ambiente, Dirección Regional de Minería (DREM).



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática.

Existe una preocupación ambientalista a nivel mundial en cuanto a la evaluación y tratamiento de relaves mineros; Productos de la explotación de recursos naturales lleva hacer un procedimiento validado por las autoridades del Ministerio de Energía y Minas (MEM) donde se aplica con mayor frecuencia en aquellos países en donde abundan los minerales valiosos comerciables.

La Planta Concentradora Polimetálica MVC 2011-II se encuentra ubicada en una zona eriaza, en el área del paraje de Santa Elvira a una altitud aproximada de 450 m.s.n.m. a unos 35 km. de la ciudad de Huacho, provincia de Huaura; departamento y región Lima.

El tratamiento de los minerales se realiza mediante métodos de chancado, molienda, flotación y secado de concentrados, accediendo a través de la infraestructura de obras civiles y preparaciones existentes y bajo el planteamiento de operación.

Los minerales son extraídos de la mina Cajatambo, a través de los socavones y arrojado hacia los echaderos de tal forma que éste mineral extraído es recogido y transportado en volquetes de 30 TM de capacidad hacia la Planta Concentradora.

El mineral transportado a la Planta Concentradora, son acumuladas en una cancha de minerales con una capacidad para 500 TM., donde son trasladados a la parrilla con el cargador frontal. Posteriormente ingresan a la sección chancado primario y secundario, el mineral es reducido a ½” de tamaño y acumulado en la tolva de finos con una capacidad para 30 TM.

El mineral acumulado en la tolva de finos ingresa a la sección molienda a través de una faja transportadora, donde se tiene dos molinos primario y secundario para reducir a un tamaño de Malla -200 =60%.

El mineral en forma de pulpa ingresa a la sección flotación a través del Overflow del hidrociclón donde obtendremos dos productos: el concentrado valioso y comerciable en el mercado internacional y los relaves sin valor económico.

En la Planta Concentradora de minerales, existe un control de monitoreo para los relaves finales que son depositadas en unas pozas protegidas por una geo membrana de 0.7 mm de espesor, las aguas de relaves que son acumuladas en las pozas son recirculadas al proceso a través de una bomba de agua.

Las actividades mineras en nuestro país requieren una infraestructura de diseño de equipos, energía, cancha de relave, agua entre otros requiriendo una gran inversión.

Cancha de relave antes no se le daba tanta importancia, hoy en día es nuestra carta de presentación en cuanto a la fiscalización MEM.

Dentro de estos relaves los encontramos con diferentes características, de acuerdo a su origen del mineral, su manejo es importante para evitar fugas y accidentes durante su tratamiento, evitar grietas que puedan afectar el medio ambiente, como a las comunidades cercanas a la planta de beneficio.

Cada día de tratamiento de minerales en una planta de beneficio, la producción de relaves va en aumento en forma exagerada, originando un problema ambiental como la contaminación de nuestros recursos naturales (agua, suelo y aire) en caso no lo controlamos en forma eficiente.

El problema de relave minero es muy complejo en las zonas de alto andino, donde las lluvias son constantes, que en algunas oportunidades han ocasionado la fuga de relave hacia los ríos, afectando la flora y la fauna y por ende problema social con las comunidades cercanas a las operaciones planta de beneficio.

La mejor solución a un problema es la prevención; la estrategia para la gestión adecuada de los residuos sólidos (relave minero) debe ser la evaluación y su tratamiento, cuyos objetivos es dar un tratamiento más vulnerable a cada posible falla por deslizamiento del dique de contención, determinar sus propiedades resistentes que conforman el dique y sus propiedades geotécnicas de los relaves donde se depositaran.

Cierre: El periodo de cierre comienza al término de las operaciones de la planta de beneficio y de la descarga de los relaves, se construyen instalaciones adicionales para alcanzar la estabilidad física, por ejemplo, zanjas y conductos permanentes de derivación de agua y se inicia la rehabilitación por encapsulamiento, también debe incluirse el plan de contingencia para la suspensión temporal de las operaciones planta.

Post-cierre: Llamado también “abandono” comienza a continuación de culminada la medida de cierre, que se extiende para que la estabilidad física-química del depósito de relave quede asegurada. En la práctica significa que ello puede alcanzar periodos de hasta 1000 años (Abadjiev, C. 1985).

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Qué relación existe entre evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II? Sayán-Lima. 2017?

1.2.2. Problemas Específicos

- ✓ ¿Qué relación existe entre los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II? Sayán- Lima. 2017?
- ✓ ¿Qué relación existe entre las propiedades resistentes de los materiales que conforman el dique del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC 2011-II. Sayán –Lima. 2017?
- ✓ ¿Qué relación existe entre las propiedades geotécnicas del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II . Sayán –Lima. 2017?

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar la relación entre evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II. Sayán-Lima. 2017.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar si los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos del relave minero afectan el tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II. Sayán- Lima. 2017.
- ✓ Determinar si las propiedades resistentes de los materiales que conforman el dique del relave minero afectan el tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II. Sayán- Lima. 2017.
- ✓ Determinar si las propiedades geotécnicas del relave minero afectan en el tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II. Sayán- Lima. 2017.

1.4 Justificación de la Investigación.

Justificación Práctica:

El estudio de esta problemática proporcionará conocimientos acerca de tratamiento de relave minero de tal manera que asegure su estabilidad física en cumplimiento de las normas y el manejo de relaves.

Justificación Legal:

Su propósito es que pueda ser usado como un documento de referencia y soporte técnico para conseguir una ayuda en la preparación de estudios de Impacto Ambiental y Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) según lo requiere la regulación para la protección ambiental en las actividades mineras-metalúrgicas (DS N° 016-93-EM) y su modificación (DS N° 059-93-EM).

Justificación Socio-Económica:

Al realizar el siguiente proyecto se puede aprovechar para la fabricación de ladrillos, área verde con plantaciones de gras, entre otros en la superficie del relave de la planta de beneficio 2011-II.

Justificación Social:

Frente a ésta realidad minera, es concientizar a las comunidades cercanas a la planta beneficio 2011-II, que no existe contaminación ambiental por estar en zona alejada en un terreno eriazo y que se cumplen con las normas que estipula MEM.

Justificación Cultural:

Del presente proyecto se puede rescatar la confiabilidad del proceso de las operaciones planta, la educación ambiental que se les brinda a los trabajadores y población, así como el cuidado del medio ambiente.

Justificación Tecnológica:

Éste proyecto mejorara y posibilitara el desarrollo de nuevas técnicas, instrumentos y equipos que mejoraran la estabilidad de muro de contención del dique y su estabilidad física de relave minero.

Justificación Política-Administrativa:

Los resultados, determinaran una toma de decisiones por parte de la DREM para una mejor confianza en proyectos futuros.

El propósito del siguiente trabajo de investigación es determinar en qué medida los cambios realizados en el diseño de ingeniería original, en lo que respecta al método de disposición, caracterización del relave minero y sus parámetros operativos, pueden afectar la estabilidad física del depósito de relaves N°3 y en caso de detectarse algún signo de debilidad, establecer trabajos con el fin de asegurar la estabilidad física del depósito. De modo que una vez asegurada se puedan disponer relaves en pulpa directamente de la planta de beneficio MVC 2011-II y así conseguir una disposición de relaves en forma continua sin la necesidad de paralizar las operaciones planta.

De esta manera, la empresa que trata los minerales en la Planta Concentradora Virgen de Cocharcas, tendrán las herramientas básicas que les permita mejorar sus condiciones como la estabilidad física de relave minero.

1.5 Delimitaciones del Estudio:

1.5.1 Delimitación Espacial

| | |
|--------------|--|
| Lugar | Comunidad de Chambara, Anexo Santa Elvira. |
| Distrito | Sayán |
| Provincia | Huaura |
| Departamento | Lima |

1.5.2 Delimitación Temporal

Año 2017

1.5.3 Delimitación Teórica

Política Ambiental

Clasificación de sólidos y finos en relave.

Almacenamiento en depósito de relave minero.

Las restricciones son de tipo económico y la disponibilidad de laboratorios para los análisis de muestras constantes, la Empresa HTE SAC pertenece a La Pequeña Minería y Minería Artesanal, con un tratamiento hasta 25 toneladas métricas por día (TMPD), con recursos, económicos limitados.

Como parte del proceso, se producen relaves de flotación, donde se señala que el depósito de relave N°1 culminó su ciclo.

- Se hicieron calicatas en el suelo para la toma de muestras y estar informado de sus características e información geológica proporcionada por una empresa privada, solicitada por el titular minero.
- No se realizaron sondeos diamantinos, pero si calicatas en los suelos donde se ubicara la cancha de relave minero N°3.
- Se toman datos de lecturas a través del Piezómetro por una empresa especializada encargada de instalación, monitoreo e interpretación de las lecturas en mención.

1.6 Viabilidad del estudio

1.6.1 Legal

Ley General de Minería, aprobado por Decreto Supremo N° 014-92-EM, publicada el 04-06-92. N° 014-92-EM, publicada el 04-06-92.

1.6.2 Recursos humanos, personal adecuado como

- Técnicos capacitados en la toma de muestras.
- Asesor y jurado de Tesis.
- Investigador de la Tesis.

1.6.3 Recursos materiales y equipos

Se cuenta con útiles de escritorio y oficina, también se cuenta con equipos inmobiliarios, equipos electrónicos, finalmente también se cuenta con un lugar de laboratorio donde se podrá realizar análisis de datos, cruzar información y realizar informes.

El proyecto tiene viabilidad técnica, está relacionada con la disponibilidad de los recursos materiales, económicos, humano y tiempo; además, se cuenta con la autorización de la empresa para realizar las investigaciones, ya que también es un aporte para dar soluciones en cuanto a la prevención de cuidado de relaves ante cualquier daño a la naturaleza, conservando la salud de sus trabajadores y poblaciones cercanas a la Planta de beneficio MVC 2011-II.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Investigaciones relacionadas con el estudio

(Roa. G.; Caroca, V.; Vallejo J. 2015). Informa sobre la situación de los relaves mineros en Chile para ser presentado en el cuarto informe periódico de Chile para el comité de derechos económicos, sociales y culturales, perteneciente al consejo económico social de la Naciones Unidas. Objetivo General. (Vallejo. 2015)

Exponer uno de los problemas socio ambientales de gran magnitud que enfrenta Chile y que no ha sido abarcado a través de políticas públicas por el Estado, lo que ha implicado la exposición de la población chilena e indígena a una situación de riesgo constante tanto para su salud psíquica y física, como también una vulneración al derecho a una vida lo más digna posible, ello debido a la contaminación del medio ambiente en el que habitan millones de personas en Chile. El problema corresponde a los Pasivos Ambientales Mineros y más en específico a los Relaves Mineros. En las últimas décadas, Chile se ha consolidado como el mayor productor mundial de cobre, pasando de un 14% de la producción mundial en 1960 a un 32% en 2012, representando el 13% del Producto Interno Bruto y el 60% de las exportaciones hacia el extranjero. Prácticamente todo el suelo del norte de Chile está asociado a una concesión minera y solo una parte está siendo utilizada en esta actividad, por lo que la problemática socio ambiental que ésta industria genera hoy tenderá a aumentar en el futuro.

- Tipo y diseño metodológico de la investigación

El procedimiento metodológico general que se utilizará es el modelo de estructura de sistema:

PAM: Es la sigla para Pasivos Ambientales Mineros, y son todas aquellas instalaciones y residuos mineros que se encuentran abandonadas, paralizadas o inactivas y que no se han cerrado adecuadamente.

Relave: Es el área ocupada por los desechos de roca molida, minerales, agua, metales pesados y químicos como cianuro, arsénico, plomo, cadmio, zinc, mercurio, entre otros, que se obtienen producto de procesos de concentración de minerales.

- Conclusiones

Actualmente Chile vive una pérdida de confianza en su política interna y en sus instituciones, la cual se inicia por distintos casos de corrupción, colusión y falta a la palabra de sus principales representantes políticos. Frente a esta situación, las instituciones tendrán que hacer mayores esfuerzos para recobrar la confianza de sus funciones. En el aspecto medioambiental la pérdida de confianza se intensifica debido a la falta de comunicación entre las comunidades y las empresas, incumplimiento de compromisos de la empresa, ausencia de fiscalización por parte del Estado y falta de transparencia de la empresa a con sus conciudadanos.

Se recomienda una mayor fiscalización de los pozos cercanos a relaves, coordinada y financiada por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Se recomienda que la información sea publicada a la ciudadanía junto con las sanciones y/o recomendaciones que el MMA hace a la empresa así dar mayor tranquilidad y transparencia a la ciudadanía. Frente al proceso erosivo de los relaves, como principal fuente de contaminación a las ciudades. Se recomienda establecer puntos de monitoreo para Material Particulado (MP₁₀) e incluir muestreos para contaminantes metálicos suspendidos en el aire. Es necesaria la promulgación de las normas inexistentes, que pueden regular e impedir que la contaminación de los relaves siga afectando a la población y al medio ambiente. Es necesaria una ley para Pasivos Ambientales Mineros presentes en Chile antes del marco regulatorio ambiental de 1994, la cual exija al Estado o a los propietarios de las fuentes de contaminación que se hagan responsables y puedan dialogar para encontrar la manera de una remediación total.

Finalmente, con mucha urgencia, se necesita que el Estado realice un análisis de la situación pos Aluviones 2015 en el Norte Grande, en donde ya el Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) había constatado la presencia de contaminantes libres en altas concentraciones cercano a las ciudades y, actualmente siguen apareciendo estudios de agua

y suelo con alta presencia de los contaminantes en las calles de las ciudades afectadas. Diferentes fundaciones y ONG's que trabajan en medioambiente, transparencia, derechos humanos y ciencias, estamos trabajando para visualizar este gran peligro a la salud y al ambiente, por lo mismo, esperamos que nuestra misiva tenga buena recepción en el Consejo Económico Social de la Naciones Unidas y a través de ellos seguir exigiendo al Estado de Chile cumplir sus compromisos con sus ciudadanos e internacionales con la Organización de la Naciones Unidas.

(Cáceres Lillo, Dante Daniel, 2015). En la tesis doctoral. Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (mp_{2.5}) en niños que viven próximos a una playa masivamente contaminada con relaves mineros. Chañaral-Chile. Cerdanyola del Valle. Barcelona, septiembre del 2015.

- **Objetivo General:**

Evaluar la asociación entre la exposición a material fino (MP_{2.5}) y su efecto agudo sobre la función respiratoria de escolares de la ciudad de Chañaral y caracterizar simultáneamente la composición metálica y másica del MP_{2.5} en microambientes interiores de interiores y exteriores de jardines infantiles y escuelas básicas de la ciudad en el periodo de invierno, primavera y verano.

- **Tipo de estudio:**

Estudio de diseño longitudinal tipo panel. Este diseño se caracteriza por realizar mediciones repetidas en los sujetos estudiados lo que permite identificar cambios en el desenlace de interés según la variación de la exposición a través del tiempo. Este diseño constituye una herramienta útil para estudiar efectos a corto plazo y en el tiempo de una variable de exposición como la contaminación del aire. Este diseño permite seguir a pequeños grupos de individuos intensamente en periodos cortos de tiempo con el objeto de estudiar efectos agudos debido a los cambios en la exposición durante el tiempo de seguimiento. Son los estudios que más se han utilizado para evaluar efectos agudos por contaminación del aire en los niños.

- **Población, Diseño muestral y tamaño de la muestra.**

La población en estudio fueron escolares entre 6 y 15 años de la ciudad de Chañaral. Para construir el marco muestral se solicitó a todas las escuelas, municipales subvencionados y

particulares un listado de los niños del grupo etario a estudiar con sus respectivas direcciones de residencia. Con dicha información el marco muestral quedó constituido por N=1896 niños, 1621 de 6 establecimientos municipales y 255 de 1 colegio particular subvencionado.

Para establecer el diseño muestral se utilizó una estrategia de muestreo complejo y mixto que privilegia representatividad y selección aleatoria de las unidades de muestreo (viviendas) y unidades de análisis (escolares), esta estrategia permitió trabajar con un tamaño muestral suficiente para estudios analíticos que permitan la comparabilidad de la unidad de análisis (cada escolar durante el periodo de estudio) respecto a los efectos en salud esperados y considerar aspectos tales como: potencia estadística, nivel de significación y tamaño del efecto.

Se estimó un tamaño de muestra de 115 escolares para realizar contraste de hipótesis bajo los siguientes supuestos asociados a modelos longitudinales (199): tamaño de efecto igual a -0.04 L/min por cada $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP_{10} (disminución esperada del FEM en niños expuestos, nivel de significación del 5%, poder estadístico de 80% (nQueryAdvisor4.0). Se asumió un 20% de sobredimensionamiento en caso de pérdidas, lo que da un tamaño de muestra final de =150 escolares.

Instrumentos:

Se realizó a través de un muestreo de tipo bietápico estratificado (selección de vivienda en la primera etapa y selección del niño en la segunda etapa) utilizando afijación óptima de Neyman. Las unidades al interior de los estratos geográficos fueron seleccionadas mediante muestreo aleatorio sistemático, cuyo objetivo fue generar un distanciamiento espacial de las unidades que privilegia su representatividad. Los estratos geográficos utilizados se construyeron a partir de la variable distancia; definida como la "distancia perpendicular de la vivienda a la línea de borde de la playa", la cual se categorizó entre estratos que incluyen los distintos gradientes de proximidad al lugar de acopio; finalmente, éstos quedaron definidos según las distancias y se definieron como: E_1 (0-600mts), E_2 (>600-1200mts) y E_3 (>1200-1800 mts).

• Conclusiones:

En este estudio se determinó que la función respiratoria en términos de variación de la capacidad vital forzada (CVF) de los escolares residentes se ve afectada negativamente por aumentos en los niveles de MP, en especial el $\text{MP}_{2.5}$., por lo que se no se rechazan la

hipótesis planteadas “La exposición a MP fino (MP2.5) en la ciudad de Chañaral está asociado a la disminución de la función respiratoria en niños escolares” y “La composición metálica/metaloides y másica del material particulado fino (MP2.5) al interior de microambientes escolares en la ciudad de Chañaral está asociada a la encontrada en microambientes exteriores. Estos niños/as actualmente expuestos estarían agudamente afectados y podrían llegar a presentar efectos crónicos por exposición de largo plazo. Esta situación estaría potenciada por la presencia de metales pesados presentes en las partículas que pueden generar efectos inflamatorios a nivel del parénquima pulmonar.

(Romero Rey, Amanda Luz, 2015). Desarrollo la tesis, Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la región central del Perú” Tesis para optar el grado de Maestro en Seguridad y Medio Ambiente en Minería. (Romero ey, 2015 Huancayo-Perú 2015, por Romero Rey, Amanda Luz, Universidad Nacional del Centro.

- Objetivo General: Determinar la influencia del tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (Kikuyo), en las minas de la Región Central del Perú.
- Tipo y diseño metodológico: Considerando la tipología de estudios convencionalmente aceptados, en el mundo científico, la presente investigación es aplicada, diacrónica, prospectiva, focalizada, empírica, documental, descriptiva, cualitativa, correlacional y de nivel explicativo.

- Conclusiones:

La Constitución Política del Perú (1993), norma que el Estado es soberano en el aprovechamiento de los recursos naturales, que son patrimonio de la Nación, define las condiciones de su utilización y otorgamiento a particulares, determina la política nacional del ambiente, promueve el uso sostenible de sus recursos naturales y la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas. En este contexto son vigentes normas referentes al Sistema Nacional Ambiental, Política Nacional del Ambiente, Plan Nacional de Acción Ambiental - 2011-2021, y AGENDA AMBIENTE 2013 - 2014, instituciones legales que en su conjunto constituyen e integran el sustento jurídico – ecológico que posibilita la verificación de la primera sub hipótesis que a la letra dice: El

tratamiento de relaves mineros con plantación de Kikuyo en las minas de la Región Central del Perú, se fundamenta jurídica y ecológicamente. Los conocimientos científicos que se hallan en los Antecedentes y el Marco Teórico de la presente investigación, así como los saberes significativos de los trabajadores obreros acerca de: los relaves y sus componentes; el proceso de formación de canchas de relaves; el alto grado de contaminación del aire, agua, suelo, flora y fauna con lamentables consecuencias como degradación del hábitat de seres bióticos así como los saberes que tienen sobre desestabilización de ecosistemas, enfermedad, migración y/o extinción de animales, extinción de plantas, acidificación y envenenamiento del aire y agua, infertilidad de tierras de cultivo y la vivencia de malestares, enfermedades y muerte por parte de los obreros, constituyen bases científico – ecológicas que permiten la comprobación de la segunda sub hipótesis que es la siguiente: El tratamiento de relaves mineros con plantación de Kikuyo en las minas de la Región Central del Perú, se demuestra científica y tecnológicamente. Los datos científicos de los investigadores citados en los Antecedentes y Marco Teórico, del presente estudio, aunado a los conocimientos de los Ingenieros de Minas de la Región Junín sobre el Kikuyo, sus características, importancia y reproducción; plantaciones de Kikuyo y proceso de tratamiento de relave y sus consecuencias; Fito estabilización con Kikuyo y manejo de un programa piloto de tratamiento con sembrío de Kikuyo, constituyen orientaciones tecnológicas que posibilitan demostrar la segunda sub hipótesis planteada en estos términos: El tratamiento de relaves mineros con plantación de Kikuyo en las minas de la Región Central del Perú, se demuestra científica y tecnológicamente. Las experiencias científico - tecnológicas internacionales de la siembra del Kikuyo, como planta forrajera en la crianza de ganado vacuno, equino y ovino, en Colombia, Panamá, Chile y México, así como las experiencias nacionales, en Cusco y Ancash, de uso de esta gramínea como Fito estabilizadora en canchas de relaves mineros, analizadas en el párrafo correspondiente a antecedentes, posibilitan probar la segunda sub hipótesis que dice: El tratamiento de relaves mineros con plantación de Kikuyo en las minas de la Región Central del Perú, se demuestra científica y tecnológicamente.

2.1.2. Otras publicaciones:

(Claudia Aguirre, 2017). Afirma en su objetivo general, Convertir un pasivo ambiental minero (relaves) en un activo con beneficios para el ecosistema y la comunidad y en sus objetivos específicos: Generar una solución y servicio tecnológico para recuperar

elementos de valor (Cu y Au), desde un relave abandonado. Recuperación de suelos con valor turístico/urbano/industrial bajo remediación estándar y protección ambiental

En sus conclusiones afirma: Dada la mineralogía presente en el relave, se puede concluir que la lixiviación para la extracción de cobre se podría realizar en tiempos cortos y con una alta recuperación. El relave S2 contiene mayor concentración de cobre y oro que relave S1, con una concentración de Cu total 0,48% y Au 0,49 g/t. Mientras que el relave S1 tiene una concentración de Cu total de 0,30% y oro de 0,32 g/t.

- Los metales no se encuentran distribuidos uniformemente en el relave. Existen zonas con baja concentración de elementos de valor.
- El modelo 3D geo-caracterización corresponde al primer paso de investigación que permite determinar el valor comercial de un relave basado en sondajes, muestreo y caracterización.
- El valor económico de los relaves SOTRAMIN en cuanto al contenido de cobre y oro podría servir para amortizar los costos que implican el traslado del material, el proceso de extracción, y remediación del sitio. El procesar estos relaves tendrá un beneficio social y medio ambiental; y dentro de sus futuros pasos:

Determinar el valor comercial de relaves SOTRAMIN según concentración de cobre y oro contenidos.

- Pruebas metalúrgicas para extracción de cobre usando agua de Mar.
- Estudio de obtención de sales de cobre a partir de PLS generado desde relaves.
- Evaluación económica de los procesos de obtención de sales de cobre desde relaves.
- Remediación de arsénico/mercurio y/o sellado del relave.

(Almerco Palomino, Denis Omar 2014). En su tesis de grado “Construcción de dique con tratamiento del relave, en la mina Catalina Huanca – Región Ayacucho, afirma: (D., 2014)

1.- La Planta de Beneficio de la Unidad Minera Catalina Huanca produce por día 1000 TMD, de ello solo el 15% es el mineral en sí y el restante es el relave 850 TMD, el relave filtrado de Planta tiene un contenido de sólidos de 88%, una humedad de 17%.

2.- La mezcla producto del relave con el material de préstamo está en la proporción de 3R:1P, una vez dosificado los materiales se tiene que dar como mínimo 3 batidas con la finalidad de homogenizar la mezcla.

3.- Se llevaron muestras de mezcla al laboratorio, para realizar su respectivo análisis granulométrico por tamizado, ASTM D-422, como resultado del ensayo de la mezcla según

la clasificación SUCS, se obtuvo un SC-SM, arena arcillosa Limosa (mezcla de arena y arcilla mal graduada).

4.- Durante todo el proceso de operación del depósito de relaves se deberá monitorear la densidad y humedad de compactación, espesor de capa compactada y granulometría de los relaves depositados. Este control será como mínimo de cuatro controles semanales. Las capas luego de compactadas deberán tener una pendiente uniforme de 2%, en dirección hacia aguas abajo.

5.- En el área de depósitos de relaves, se construirá canales perimetrales de coronación que permitan captar y derivar las aguas de escorrentía, también se construirá un sistema de subdrenaje para evacuar y drenar las aguas de las precipitaciones pluviales que caen directamente en el área del depósito de relaves y las aguas subterráneas.

6.- Para un buen compactado de material, lo principal es la humedad del material, ya que si no se logra obtener la humedad ideal para compactar puede haber complicaciones futuras, como acolchonamientos en la capa compactada, lo cual afectaría al momento de realizar las pruebas de densidad, debe salir como mínimo 95% en la prueba mencionada, La humedad óptima para compactar la mezcla debe ser un promedio no mayor de 11.00%.

7.- En el Terraplén, la capa conformada y compactada se debe obtener como máximo 25% del porcentaje de vacíos, si no fuera el caso se tiene que volver a re conformar para cubrir los vacíos entre piedras.

8.- El uso de cal se debe tomar en cuenta para días de lluvia, donde es muy complicado el secado del relave, con el mezclado del relave con la cal, se estaría aprovechando el tiempo en que los equipos estarían sin actividad por el mal clima, ya que el mezclado de estos dos materiales se puede realizar incluso cuando el clima este nublado, la cal genera el calor necesario para disminuir el porcentaje de humedad del relave, para luego poder mezclar en una humedad hasta de 12% el relave con un préstamo menos húmedo que el relave.

También recomienda:

- Para construir la base de cimentación del depósito de relaves se excavará y removerá todo el material orgánico; suelo húmedo o saturado, luego se compactará la capa de material arcilloso existente para impermeabilizar la cimentación; asimismo, se instalará un sistema de drenaje y subdrenaje que permitirá manejar las aguas superficiales y la probable presencia de aguas subterráneas.
- El escarificado se realiza con el tractor, con el riper de este, las líneas entre sí deben ser de 60cm y se escarifica una profundidad no mayor de 10 cm, para la adherencia entre la capa compactada y la capa nueva a conformar.

- El compactado del material de mezcla siempre se realiza de estribo a estribo paralelo al hombro del dique, esto se debe hacer para una mayor estabilidad al dique, al momento de entrar los volquetes a la plataforma, trasladando mezcla para descargar se debe evitar pisar el escarificado, ya que si el volquete pisa el escarificado este se sella y no permite la adherencia entre capa compactada y capa conformada.
- Se recomienda que el material de top soil, se disponga en una zona cercana para su posterior uso en los recubrimientos de los desmontes y cumplir con el cierre según la normatividad ambiental.
- Debe realizarse el monitoreo topográfico del depósito de relaves mediante un sistema de mediciones de hitos topográficos documentado en puntos estratégicos del depósito a partir de un punto geodésico, a los hitos de control topográfico en cada uno de los depósitos de relaves, durante la construcción del dique, deberá existir un control topográfico así mismo durante su recrecimiento.
- Durante la ocurrencia de un evento sísmico significativo (intensidad sísmica en la escala de Mercalli Modificado de VI o mayor) o precipitaciones importantes (lluvias de 57mm en 24 horas, de período de retorno de 100 años o mayor) se deberá hacer inspecciones especiales de daños.
- Para el uso de la cal se tiene que tener muy en cuenta que los trabajadores que estén en contacto directo con este material tiene que estar con los equipos necesarios para evitar posibles enfermedades.
- En el terraplén la piedra a conformar debe tener como máximo un diámetro de 12 pulgadas, para no crear muchos vacíos entre sí. También en la revista “Minería Chilena”, publicado 5 diciembre 2012 “El fin de los relaves”, era que expertos plantean hoy es reutilizar los desechos para elaborar materiales de construcción. Sin embargo, ya la industria los utiliza para el desarrollo mismo de los procesos mineros.

La apuesta es ambiciosa, pero no imposible. Lo que se busca es transformar los pasivos y relaves mineros en verdaderos activos industriales. Interés abunda, ya que debido a la intensa actividad minera que se proyecta para los próximos años, todas las cifras indican que estos desechos irán in crescendo. A ello se deben sumar las bajas leyes de los minerales, lo cual implica una mayor generación de relaves; de hecho, se calcula que del total de material extraído en una mina sólo el 2% corresponde al metal deseado, y el resto es descartado en diferentes desechos como estériles (50%), relaves (44%) y escorias (4%).

De acuerdo con los antecedentes entregados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (Senageomin), sólo en 2011 se produjeron 5.257.195 tmf. de cobre, lo cual generó cerca de 113.345.000 ton de material de relaves.

Producto de este escenario, algunos expertos plantean derechamente reutilizar este pasivo minero como materia prima para la fabricación de elementos de construcción, ya que de esta forma se reducirían los costos, los niveles de contaminación e incrementaría el tiempo de servicio de los depósitos de relaves.

La idea ya está siendo estudiada a nivel internacional. Por ejemplo, en Perú un grupo de investigadores de la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos produjo ladrillos y baldosas a partir de la reutilización de relaves. Para ello utilizaron la metodología de fijación y micro-encapsulación de los metales pesados, que permite su estabilización y evita la migración hacia el medio ambiente.

Asimismo, en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav) de México proponen la elaboración de cementos alternativos, cuyas propiedades mecánicas y durabilidad química sean superiores a las del cemento Portland. Se busca que su proceso de fabricación genere menos dióxido de carbono que el cemento convencional, a través del uso de desechos como las cenizas que producen las plantas termoeléctricas y los relaves mineros.

La propuesta chilena

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Andrés Bello también se encuentra desarrollando una investigación que apunta hacia esta misma dirección. De acuerdo a los estudios mineralógicos y químicos que han realizado en los relaves, la presencia de alúmina (Al_2O_3), sílice (SiO_2) y un activador alcalino tal como hidróxido de sodio ($NaOH$) permitirían la creación de geo polímeros.

Éstos son cementos que se caracterizan por presentar resistencia química y térmica, buenas propiedades mecánicas, bajos niveles de emisiones de CO_2 y menores costos de producción. Juan Céspedes, director de la carrera de Ingeniería en Minas, explica que si bien para neutralizar los metales pesados que poseen los relaves existen técnicas de micro-encapsulamiento, dicha tecnología dependerá del tipo de residuo. “Es decir, no existe receta única, sino que dependerá de la empresa y del relave en particular”, acota.

Relaves de alta ley

Los antiguos mineros decían que la explotación comercial del cobre sólo era posible cuando el mineral poseía una ley de 3,5%. Sin embargo, debido al desarrollo tecnológico esta realidad cambió y ha permitido hacer viable económicamente la explotación de minerales de baja ley. El proyecto de Lomas Bayas constituye un claro ejemplo de ello, ya que es una de las operaciones mineras de menor ley en el mundo, con niveles promedio de 0,27% de cobre soluble.

Mario Sánchez, director de la carrera de Ingeniería Civil en Metalúrgica de la Universidad Andrés Bello, explica que el criterio que normalmente aplica un minero es que cuando se extrae un metal se descartan todas las escorias y relaves que posean un contenido igual o inferior al mineral de “cabeza”. Es decir, “si estoy tratando un mineral que posee un 1% de cobre, se debería descartar todo aquello que contenga menos de 1%, porque en caso contrario estoy perdiendo plata. Sin embargo, en la actualidad se trabaja con minerales que tienen 0,6% y si uno analiza dichas escorias o relaves, posee una ley superior”.

Cuenta que existen pasivos que son históricos y “probablemente en el momento en que se hizo la extracción se efectuaron con tecnologías que no eran de punta y su recuperación era bastante baja. “Ello significa que estos desechos quedaron con una buena cantidad de cobre, cuyos contenidos son más altos que muchos de los minerales que actualmente se están procesando”, indica.

Los relaves y pasivos mineros que se encuentran en las instalaciones de la planta Manuel Antonio Matta de Enami, en la comuna de Paipote, Región de Atacama, son un testimonio de cómo las leyes de los minerales han ido disminuyendo y lo que antes era desechado hoy se puede aprovechar. En este sentido, Eugenio Cantuarias, vicepresidente ejecutivo de la Empresa Nacional de Minería, destaca que muchos de “nuestros relaves poseen una ley que bordea el 1%. Esto significa que nuestros desechos, considerados por mucho tiempo como pasivos mineros, hoy son vistos como activos ambientales, ya que para diversas compañías es mucho más atractivo reprocesar estos relaves y obtener el mineral”.

Enami y su apuesta por valorizar el relave: Cantuarias explica que algunas empresas extractivas tienen composiciones de minerales que son más adecuados para hacer ciertas mezclas.

Si la producción de mineral viene en “piedras muy gruesas” a la minera le conviene recibir material más fino para hacer una mezcla que le permita mayor eficiencia en el proceso de recuperación del mineral.

“Además, algunas mineras, sobre todo las que procesan sulfuros, operan con concentraciones muy bajas y no les desacomoda si les llegan relaves que presentan minerales con leyes de 0,7% o 0,8%, que pueden ser hasta mejor de lo procesado”, puntualiza.

El ejecutivo dice que una vez que hicieron los análisis a los relaves y rípios de Enami y “comprobamos que sus leyes bordean el 1%, empezamos hacer las consultas y encontramos que había interesados. Por lo tanto, dijimos que lo transparente es que realicemos una licitación y que las empresas compitan”.

Entonces, iniciaron un proceso de licitación pública de aproximadamente 30 millones de toneladas de relaves, rípios y escorias provenientes de las instalaciones de la planta Matta y la fundición Hernán Videla Lira. Esto, considerando que al procesar dichos activos mineros se puede recuperar cobre, oro, plata, fierro y otros elementos químicos que presentan valor económico.

En la planta Matta se procesan aproximadamente 100.000 ton/mes de minerales sulfurados mediante flotación y 50.000 ton/mes de minerales oxidados de cobre vía LIX-SX-EW, generando 600 ton/mes de cátodo de cobre. Como resultado de estos dos procesos se obtienen relaves de donde se puede encontrar fierro magnético con una ley cercana al 14%, y rípios cuyas leyes son de 0,56% Cu y 8,56% de fierro.

En la fundición Hernán Videla Lira se procesan cerca de 30.000 ton de concentrado mensual, lo cual equivale a una producción de 7.300 ton de ánodos/mes. A raíz de estos procesos se obtienen como activos ambientales las escorias, cuyas leyes son de 8,89% Cu y 26,05% de fierro magnético.

Con la licitación Enami esperaba recaudar cerca de 1US por cada tonelada, en un escenario conservador, incluso proyectando que dicho valor podía ser tres veces superior.

Según la información entregada por la compañía, en total 11 empresas compraron las bases de licitación y de éstas ocho asistieron a la visita de terreno –actividad contemplada en el proceso–; también se realizaron dos ruedas de consultas y una actividad de toma de muestras. Sin embargo, “a pesar del alto interés en el proyecto, no se recibieron ofertas”, comunicó Enami, puntualizando que la empresa “Se encuentra explorando nuevas alternativas para gestionar de la mejor forma estos activos”.

El valor de los relaves de flotación de los pasivos generados por el procesamiento de los minerales de cobre, los relaves de flotación son los más voluminosos y aunque existen opciones de recuperar valores metálicos contenidos, el volumen final tendrá siempre como destino la disposición en un tranque o botadero.

En el documento “Valoración de pasivos mineros de la gran minería del cobre en Chile”, Sánchez indica que “en la etapa de flotación, el concentrado que se obtiene representa entre un 1,5% y 3% de la masa del mineral inicial y el resto se transforma en relave que debe ser descartado”.

Una de las iniciativas de tratamiento de relaves es la implementada por CAP Minería en el proyecto Hierro Atacama Fase I. Este proceso es capaz de recuperar el contenido de fierro presente en los relaves frescos provenientes de la minería de cobre con el fin de producir un concentrado llamado “pellet feed”, en la planta Magnetita.

Ernesto Escobar, gerente de Asuntos Corporativos del grupo CAP, dice que “la obtención de concentrado de fierro desde relaves de cobre es el resultado de un largo proceso de investigación efectuado por ingenieros y técnicos de CAP Minería, con la colaboración de la Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC)”.

El proyecto Hierro Atacama Fase I es operado por Minera Hierro Atacama, empresa filial de CAP Minería, con capacidad para producir tres millones de toneladas de pellet feed al año, que se exporta a clientes asiáticos, principalmente China.

Durante 2012 la planta Magnetita comenzó a ser alimentada también con rechazos de la explotación de la mina Los Colorados, propiedad de CAP Minería, los que son pre-concentrados en su origen antes de ser transportados a Tierra Amarilla. De igual forma, se estudia la posibilidad de procesar otros materiales, de propiedad de terceros, con contenido de fierro posible de recuperar, lo que permitirá llevar la operación de esta unidad al máximo de su capacidad de diseño.

Aprovechamiento de escorias de fundición

En los procesos de fusión y conversión de los concentrados de cobre se generan cerca de dos toneladas de escorias por cada tonelada de cobre producido. Si a esta cifra le incorporamos la producción de las siete fundiciones que se encuentran en el país, Sánchez estima que la generación de escoria alcanza los 3,2 millones de toneladas al año.

El informe sobre valorización de pasivos mineros detalla que estos elementos son tratados previos a su descarte para recuperar el cobre atrapado mediante un proceso piro metalúrgico de limpieza de escorias o mediante concentración del cobre por flotación. “Por cualquiera de las dos vías se genera una escoria de descarte que contiene entre 0,6 a 0,8% de Cu y que representa entre el 85% y 90% de la masa total de escoria”, indica.

Además, de acuerdo con análisis realizados en la División de Chuquicamata, las escorias contienen sobre 40% de fierro y algunos otros metales como molibdeno y zinc, que

pueden estar presentes en los concentrados de cobre que se funden. El académico de la Universidad Andrés Bello cuenta que, producto de la valorización de las escorias, Codelco se convirtió en la primera minera del país en licitar un pasivo minero y “a raíz de ello le puso precio a estos desechos”.

Gases de fundición

Uno de los pasivos emblemáticos y que actualmente es considerado como un activo son los gases de fundición. Las fundiciones son causantes de la generación del dióxido de azufre (SO₂), un gas considerado como tóxico, ya que produce lluvias ácidas.

Debido a las consecuencias que producían los gases de fundición en el entorno y a nuevas normativas ambientales establecidas en la década de los '90, las fundiciones debieron instalar plantas de ácido para abatir el SO₂.

Sánchez precisa que esta tecnología permitió niveles de captura sobre el 70% y que, debido a este nuevo escenario, se dispuso de ácido sulfúrico a bajo costo, permitiendo el desarrollo de la hidrometalurgia en los procesos mineros. “Actualmente el ácido sulfúrico es un commodity y tiene un valor, con todos los altos y bajos que puede tener en el mercado, pero le otorga un valor a los productos de la empresa minera” enfatiza el académico.

Perú desarrolla primera planta de ladrillos reciclando relaves mineros, 14 septiembre, 2017. La tecnología cada día nos sorprende más y para beneficio de todos, en Arequipa un proyecto ha logrado fabricar ladrillos utilizando como insumos los relaves dejados por la minería artesanal. Este gran proyecto representa una oportunidad para la industria de ladrillos y una gran ayuda para continuar la lucha contra la minería ilegal.

El proyecto impulsado por el programa Innóvate Perú del Ministerio de la Producción, ya cuenta con una planta piloto donde realiza todas las etapas de transformación en las instalaciones de la compañía Centro de Estudios y Entrenamiento de Procesos Metalúrgicos Minera Porvenir (Cepromet).

El tiempo aproximado para la ejecución de la transformación es de una semana, una vez obtenidos se podrán utilizar en todo tipo de construcción.

Uno de las interrogantes ante el proyecto es, si existe riesgo de que los ladrillos estén contaminados, al respecto Juan Miguel Zegarra, gerente de Cepromet. “Para nada, el proceso que se sigue en la planta piloto también se encarga de la descontaminación. El resultado ha sido óptimo”, responde el ingeniero metalúrgico.

Los actores claves para sacar adelante el proyecto, que requería una inversión de S/ 203,955, son Innóvate Perú, quien cubrió el 74% del presupuesto que

se requería. El 21% fue aportado por la Cepromet y el restante por la Universidad Católica San Pablo de Arequipa.

2.2 Bases teóricas:

2.2.1 Sociedad moderna y relaves mineros

La minería es una industria que tiene como finalidad la búsqueda, exploración, explotación, beneficio de los minerales y su comercialización al servicio de la sociedad. Al producir materiales de importancia con valores económicos, también tiene como producto la parte estéril, materiales sin valor económico que muchos de los cuales están contaminado llamado relave minero.

Uno de los mayores problemas que enfrenta actualmente la sociedad moderna es el campo de los relaves pasivos mineros, cuya producción se acrecienta día a día, especialmente por la minería ilegal. El problema es crítico en las zonas de vías en desarrollo, debido a la falta de recursos económicos para desarrollar tecnologías limpias que conduzcan a soluciones eficaces. Por otro lado, los proyectistas encargados de diseñar, evaluar y posterior tratamiento recurren a modelos de otros países con realidades diferentes.

Por su parte los servicios de fiscalización por parte de la Dirección Regional de Minería (DREM) de Huacho, frecuentemente manejan un limitado financiamiento, usado muchas veces de manera inadecuada, sin control, ni conocimiento cabal de los recursos que manejan, lo que afectan negativamente la provisión de servicios de una evaluación y tratamiento de relave minero.

Cada año, millones de toneladas de desechos de la mina se generan en industria minera. El almacenamiento de relaves mineros ocupa gran área de tierra representando un alto costo económico, ambiental y ecológico. Por otro lado, cantidades considerables de materiales se utilizan en la industria de la construcción y hay una escasez de materiales de construcción en muchas partes de nuestro país. Si los relaves mineros se reciclan y se utilizan como material de construcción, cabría la posibilidad de prescindir de los terrenos que son necesarios para embalsarlos, además; se podría evitar el costo económico de conservar un pasivo minero y los riesgos ambientales. Todo esto contribuirá de manera significativa al

desarrollo sostenible de la industria minera. Para utilizar relaves mineros como material de construcción, necesitan ser estabilizados.

El cemento Portland ordinario (OPC) se ha utilizado para estabilizarlos relaves de las minas; pero esta técnica tiene un número de limitaciones, incluyendo la resistencia de baja acidez, mala inmovilización de contaminantes.

Aún existen los problemas tales como la utilización de grandes extensiones de terreno, presencia de metales pesados, lixiviación por lluvias, la contaminación por polvo, y la potencial amenaza de derrumbes en las presas de relaves. Como sabemos, relaves mineros contienen algunos metales pesados como el cobre, molibdeno, arsénico y uranio, que contaminan las aguas subterráneas y los suelos, las plantas y la vida mortal.

Si queremos reciclar los desechos de la mina, pesado metales contenidos deben ser encapsulados y se inmovilizan. Por otro lado, para producir una tonelada de OPC, Se necesita alrededor de 1,5 toneladas de materias primas y 1 tonelada de CO₂ es liberada a la atmósfera generando emisiones de gases de efecto invernadero. Este proyecto de Tesis investiga la geo polimerización de relaves mineros de modo que puedan ser utilizados como material de construcción en gran escala y de una manera respetuosa con el medio ambiente. La premisa de este proyecto es que los relaves de las minas pueden ser estabilizados mediante la tecnología de geo polimerización, que se basa en el hecho de que relaves mineros consisten principalmente en partículas de pequeño tamaño y contienen gran cantidad de componentes de sílice y alúmina.

Cantidades determinadas de relave serán mezcladas con material zeolítico que mediante reacción química con una solución activante alcalina darán origen a un proceso de geo polimerización. El reto está en optimizar una mezcla (relave + zeolita + activador alcalino) para la obtención de resistencias de compresión que puedan ser comparados con el cemento Portland, y para llevar a cabo este fin, se ejecutarán una serie de procesos experimentales, ayudándonos de una recopilación bibliográfica referente al estudio y análisis de la zeolita, acorde a las normas ASTM C109/C109M y ASTM C 305 en cada etapa experimental que hacen referencia al cemento Portland ya que no existen normas que rigen el proceso de la zeolita, además se desarrollará métodos para la elaboración de un mejor proporcionamiento y curado de las muestras. En la actualidad numerosos proyectos mineros

se están desarrollando trayendo consigo mejoras en la productividad (la actividad minera participa con el 14.40% del PBI) y también el incremento en la generación de residuos mineros que se suman a los pasivos generados por la pequeña minería y minería artesanal que opera principalmente en la sierra.

En el Congreso de la República, existe una iniciativa legislativa para declarar de interés nacional y necesidad pública la transformación de relaves mineros en materiales de construcción, considerando la gravedad de riesgos potenciales y de daño a las poblaciones y al medio ambiente que se desprenden de las acumulaciones y depósitos de relaves, así como la viabilidad probada de transformarlos en productos inocuos de uso para la industria de la construcción, tales como: agregados de construcción, ladrillos, tejas y otros afines. Con este trabajo de Tesis, se busca transformar los pasivos y relaves mineros en verdaderos activos industriales. Debido a la intensa actividad minera que se proyecta para los próximos años, todas las cifras indican que estos desechos irán en ascenso. A ello se deben sumar las bajas leyes de los minerales, lo cual implica una mayor generación de relaves; de hecho, se calcula que del total de material extraído en una mina sólo el 2% corresponde al metal deseado, y el resto es descartado en diferentes desechos como estériles (50%), relaves (44%) y escorias (4%). (VC Calderón Soncco 2015).

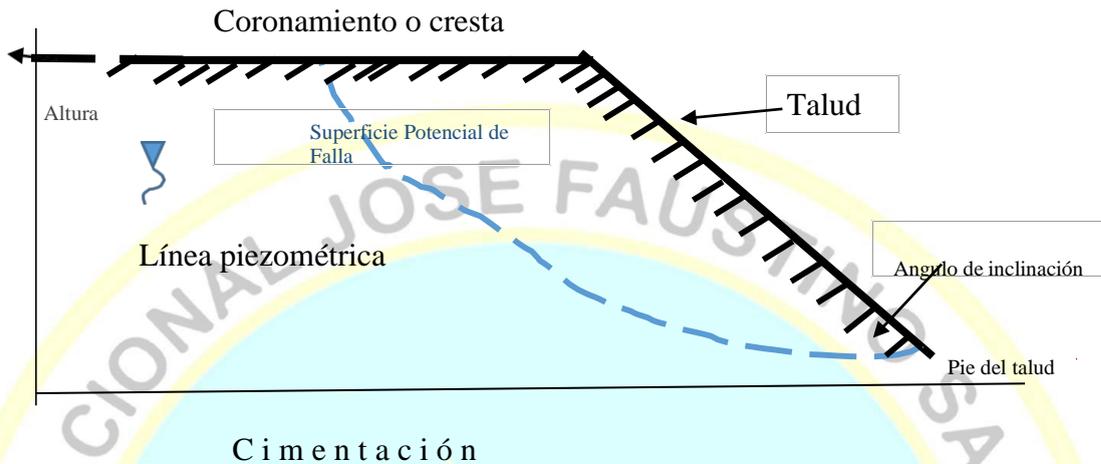
El Congresista José Saldaña Tovar (AN) y un equipo de científicos investigadores de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, dirigido por Alfonso Romero Baylón, presentaron una novedosa propuesta que permitiría utilizar los relaves mineros y transformarlos en ladrillos para insumo de construcción de resistencia. Servicio de Noticias. OFICINA DE COMUNICACIONES DEL CONGRESO (5/11/2010).

Con fecha 14 Setiembre 2018, el Ministro de Energía y Minas Francisco Ísmodes, durante su presentación en el Congreso de la República explicó que se ha identificado 8800 pasivos ambientales, de los cuales 2700 son de alto riesgo “Acá hay que hacer gestión de avanzar de manera más expeditiva, porque para nosotros está claro que la promoción de minería tiene que ir acompañada de la solución de los temas del pasado”, indicó tras estimar que se necesitarán 7 mil millones de soles para remediarlos.

2.2.2 Estabilidad de taludes

Se denomina TALUD a cualquier superficie inclinada que limita un macizo de suelo, de roca o de suelo y rocas, estas pueden ser naturales o artificiales.

Figura 1. Estabilidad de taludes



Nota: Terminología usada para describir un talud

En cuanto a la estabilidad de talud intervienen condiciones de la naturaleza de los materiales y agentes que puedan afectar, pudiendo ser geológica, hidrológica y geotécnica, lo que se toma más complejo.

Para un soporte geotécnico requiere que soporte las máximas fuerzas que tengan probabilidad razonable de presentarse durante el periodo de vida útil de la estructura, que cumpla su función dentro de un costo razonable. La evaluación de la estabilidad de la estructura es cuantificada como “factor de seguridad”.

2.2.3 Factor de seguridad

“FS” su concepto es como la relación entre la resistencia al corte disponible con respecto al esfuerzo cortante sobre la superficie de falla crítica. Pueden presentarse como deformaciones plásticas relativamente grandes en cuanto se aproximan los esfuerzos cortantes aplicados a la resistencia al corte del material.

En el diseño de un talud o depósito, el factor de seguridad debe ser mayor a la unidad (MEM-DGAA, 1997).

2.2.4 Movimiento en Masa

Abarcan un conjunto de fenómenos que incluyen, entre otros, flujos de rocas, partículas de suelo (detritos), deslizamiento, hundimiento de terreno, caída de rocas. Tenemos: Propiedades del terreno (el tipo de roca o suelo, la pendiente del terreno y su contenido de agua); Agua (detonador que actúa como lubricante en zonas por donde se filtra, como agente que aumenta la presión y de arrastre superficial de partículas) y Vibraciones del terreno (causas por terremoto). (Movimiento en masa-geología. 2012).

2.2.5 Hipótesis de los métodos de equilibrio límite

Para análisis de equilibrio límite, el análisis de estabilidad de taludes son ampliamente utilizados en proyectos de excavaciones, terraplenes. Las experiencias a lo largo de los años han demostrado que son adecuados para un problema analizado, son rápidos, precisos y simples.

El método de equilibrio límite tiene la siguiente característica:

a.- Concepto para el factor de seguridad local FS

$$FS_{local} = S/T$$

Donde

S: Resistencia al corte

T: Esfuerzo cortante actuante

Los problemas de la Ingeniería Geotécnica están relacionados con la evaluación al corte del suelo.

Se considera el factor de seguridad en todos los puntos de la superficie potencial de falla, donde se acepta la hipótesis como verdadera $FS_{local} = 1.0$

b.- Deformaciones sísmicas:

En cuanto a la estabilidad global de la presa de relave se mantenga durante un terremoto, se pueden experimentar deformaciones que la deterioren, incluyendo el asentamiento de la cresta y el abultamiento del dique, junto con rajaduras.

Basados en el comportamiento de las presas de tierra observados durante movimientos telúricos, Seed, et .al.(1987) plantearon las siguientes conclusiones para aquellas presas que tuvieran materiales de relleno o cimentación no licuefactibles:

“Virtualmente cualquier represa bien construida puede soportar movimientos telúricos moderados, por ejemplo, con picos de aceleración de aproximadamente 0.2 g y más, sin sufrir efectos perjudiciales. Las represas construidas de suelos arcillosos sobre cimientos de arcilla o roca han soportado sacudidas extremadamente fuertes de 0.35 -0.8 g con una magnitud de terremoto de 8.25 sin daño aparente”.

Son aplicadas en un sentido general a las presas del tipo “Agua abajo”, línea central y “retención de agua”.

Los asentamientos de la cresta inducidos sísmicamente pueden ser estimados si es que no existe material licuefactable, se emplea para ello procedimientos simplificados tal como los de Makdisi y Seed (1978) que son aplicables en forma aproximada a las presas de relaves, Velarde, et al 1983, dan un ejemplo de tal enfoque. (Roca Rojas, 2000)

2.2.5.1 Factores geológicos

Se adquiere una mayor importancia en los depósitos de relaves localizados en el Perú que en la mayoría de los demás países, los Andes peruanos se encuentran entre la montaña más joven del mundo, continúan su desplazamiento de masas de todo tipo ocurren a un ritmo geológico rápido. La Geomorfología en el Perú no es tanto un asunto de características antiguas, sino que representa procesos activos y en acción permanente.

Algunas condiciones geológicas adversas pueden ser mitigadas con un diseño de ingeniería apropiado (a veces costoso) si es que estos no son muy severos, pero hay otros donde es mejor evitarlos, trasladándose a lugares alternativos.

Como mínimo se requiere un análisis detallado por medio de aerofotografía estereográfica, reconocimiento en el terreno y por lo menos unas pocas excavaciones de prueba para proporcionar información relacionada con la ubicación.

Geología de la zona

El proyecto en estudio transcurre sobre formaciones geológicas de litología y secuencias variadas. La ruta se inicia en el valle de Huaura, sobre terrenos aluviales recientes de tipo conglomerático, depositados por el río del mismo nombre formando terrazas cubiertas por una delgada capa de limo, la cual es aprovechada como terreno de cultivo. El tramo donde se desarrolla el presente proyecto, atraviesa geológicamente varias unidades. La geología regional de la cuenca comprende una secuencia de rocas sedimentarias, volcánicas, intrusivas cuyas edades varían desde el jurásico superior hasta el cuaternario reciente.

Rocas volcánicas. - Constituida por andesitas, piro clásicas brechas de color gris verdoso, de textura perfirítica, constituyen terrenos aceptables para la ubicación de obras de ingeniería, estos depósitos tienen su mayor distribución dentro de la cuenca alta y algunos sectores de la cuenca media y baja.

Depósitos sedimentarios. - Comprende unidades antiguas de edad jurásico superior, cretáceo inferior y cretáceo superior. Las rocas jurásicas representadas por lutitas de color negro, gris, verdoso y rojizo, algunas veces carbonosas (grupo Chicama), y en algunos sectores se hallan intercalados con horizonte delgados de cuarcita gris blanquecina; por su poca resistencia a los agentes de intemperismo, da lugar a un relieve de formas topográficas suaves, como afloramiento típico.

Con relación a las montañas, Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Huaura,

Las rocas de cretáceo están representadas por paquetes gruesos de areniscas, cuarcitas blancas grises a pardas, intercaladas con lutitas pizarrosas, resistentes a la erosión lo que determina formaciones de cerros prominentes que destacan en la topografía de la región.

Acompañando a las rocas anteriormente mencionadas, se encuentran en la cuenca alta, rocas calizas oscuras ,intercaladas con lutitas negras a grises oscuras, lutitas negras a grises oscuras, lutitas arenosas pardo rojizas ,limonitas marrón ,rojizas en capas gruesas y medianas, areniscas cuarzosas de color gris, componentes de la formaciones Chulec-Pariatambo.

Las rocas de cretáceo superior consisten en una serie de conglomerado, areniscas y lutitas (formación Huaylas) de aproximadamente 300 metros de grosor que afloran muy localmente.

Rocas ígneas. - Las rocas intrusivas en la cuenca del río Huaura forman parte del Batolito andino y su afloramiento tiene gran amplitud de distribución. Estas rocas varían en composición desde diodorita a granodiorita, con variaciones a adamelita y tonalita, existen afloramientos de granodiorita. (MINEM, Geología Regional, Huaura).

2.2.5.2 Pasivos ambientales mineros

Son consideradas así, aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que se constituyen riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad”.

PAMAs abandonado: Son aquellas que se encontraban fuera de la concesión minera al momento de entrar en vigencia la referida ley.

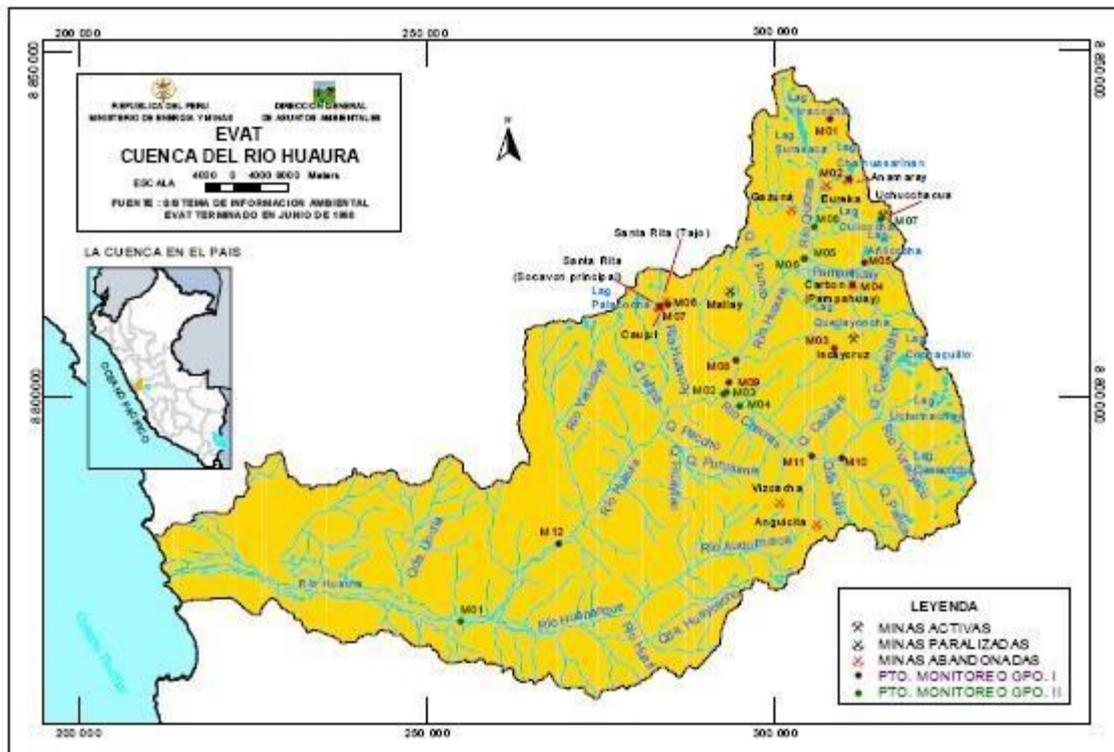
PAMs inactivos: Son aquellas que se encontraban dentro de la concesión al momento de entrar en vigencia la referida ley, pero que las labores, operaciones o instalaciones en las que se ubican se encontraban inactivas desde hace dos años por lo menos. Los PAM identificados en la provincia se localizan en el distrito de Santa Leonor, (LEY 28271.” Pasivos Ambientales Mineros”)

Tabla 1. Pasivos Ambientales Mineros en la Provincia de Huaura

| ID | PASIVO AMBIENTAL MINERO | DISTRITO | CLASE PASIVO | CONCESIÓN N MINERA | TITULAR DE CONCESIÓN |
|-----|-------------------------|--------------|--------------|--------------------|--|
| 589 | Parquin | Santa Leonor | Abandonado | | |
| 603 | Tres Ositos | Santa Leonor | Inactivo | Tres Ositos N° 2 | Procesos mineros-agrícola y servicios EIRL |
| 603 | Tres Ositos | Santa Leonor | Inactivo | Lorenita N° 1 | CIA. Minera Viscaycocha SAC |

Nota: Identificación de Inventario de PAMs 2006

Figura 2. Cuenca del río Huaura



Nota: Estudio de Proyecto de rehabilitación y mejoramiento de la carretera Huaura- Sayán, informe final componente Impacto Ambiental, Código:BD.559 revisión:00 pag.:4-11

2.2.5.3 Relave minero: definición y características

En la actualidad, el aumento de los relaves mineros se debe al crecimiento de los precios de los metales a nivel mundial, con hábitos de consumo inadecuados y educación ambiental precaria, procesos migratorios desordenados, flujos comerciales insostenibles, inadecuado manejo de gestión en cuanto a disposición de relave minero, problemas sociales con las comunidades cercanas a las plantas concentradoras de minerales, entre otras.

(Guía ambiental para el manejo de relaves mineros. MEM).

Existe un alto crecimiento de nuevas concesiones mineras por lo tanto un aumento de plantas concentradoras de minerales con un alto crecimiento de canchas de relaves mineros con una composición de contaminantes fuera de los Imp (límite máximo permisible).

La planta de tratamiento MVC 2011-II Virgen de Cocharcas, cumple con la DREM Huacho con la presentación de (ver anexo):

- Estudios de suelos para el depósito de sus relaves y así asegurar su estabilidad física.
- Estudios Ambientales como aire, ruido.

En cuanto a los contaminantes de los relaves, según los análisis realizados no contienen sulfuros, arsénico ni antimonio por tratarse de minerales oxidados y para su recuperación se utilizan reactivos como ditiofosfatos.

Relave

Se define como desechos de mineral sólido fino con una granulometría conocida entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo y que corresponden a una "Suspensión fina de sólidos en líquido", constituidos fundamentalmente por el mismo material presente in situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído mineral valioso, conformando una pulpa, que se generan en las plantas Concentradora de minerales, y que ha experimentado una o varias etapas de circuitos de molienda fina, esta pulpa o lodo de relaves fluctúa en la práctica una dilución aproximada de agua/sólidos = 2.5 /1.

Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerán de la razón agua/sólido y también de las características de la calidad de mineral a tratar en la planta concentradora. Esto puede ilustrarse si se consideran los siguientes ejemplos:

- Una masa de relave con un gran contenido de agua (30% sólidos) escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.
- Una masa de relaves con un contenido de agua suficientemente bajo 75% sólidos (por ejemplo, un relave producto de un espesamiento) no escurrirá fácilmente.
- Si las partículas sólidas son de pequeño tamaño (arcillas) M-200=85% tardaran un gran tiempo en sedimentarse, manteniéndose un tiempo prolongado similar al espejo de agua.
- Si las partículas sólidas son de tamaño mayor M-200= 55%. sedimentaran más fácilmente en poco tiempo y se acumularan a poca distancia del punto de descarga.

Las alternativas a utilizarse en la disposición de relaves, dependerá de sus características que producidos en la planta de tratamiento en una relación de 25 a 1 (por cada tonelada de concentrado valioso, producirán 24 TM de relave), el agua tiene un costo porque en la zona es escasa y se abastece a través de carro cisterna, ocasionando un costo económico, justifican la inversión por la calidad de concentrado que obtenemos.

Para conseguir una estabilidad segura de los relaves, se realizaron investigaciones de suelo como granulometría, humedad, contaminantes, densidades, es importante saber que los contaminantes de los relaves son insuficientes y no va perjudicar la geomembrana. (Guía ambiental para el manejo de relaves mineros MEM).

Tabla 2. Porcentaje de sólidos, volumen y consistencia de relaves

| PORCENTAJE % sólidos | Volumen de agua por tonelada de relaves (m ³ /Ton) | Consistencia del relave |
|-------------------------|--|----------------------------|
| 30 | 1.5 | Pulpa |
| 65 | 0.5 | Espesado |
| 75 | 0.3 | Pasta |
| 85 | 0.2 | Filtrado |

Nota: Golder Associates

Opciones para la descarga de los relaves:

a) Descarga del relave completo

Se requiere disponer de un volumen suficientemente grande para permitir almacenar todos los relaves que se producirán durante la vida útil de la planta. Pueden utilizarse cavidades "pre- existentes" como: tajos mineros abandonados, depresiones naturales en superficie, cavernas naturales, antiguas minas subterráneas abandonadas.

Sin embargo, hoy debido a la legislación ambiental vigente resulta difícil de ser aceptados por su alta connotación ambiental y deberían realizarse estudios muy completos y detallados para demostrar que no se afectará el medio ambiente. Por esto, para la descarga de relaves completos, resulta técnica y ambientalmente más aceptable el encapsulamiento de los relaves colocando encima una capa de arcilla de 2 mts., luego tierra de cultivo y así cumplir con talud interno impermeabilizado hecho con material grueso de préstamo y generar así un vaso de depósito.

Este tipo de depósito de relaves se denomina "Depósito de Relaves" y han sido aceptados como alternativa para la disposición de relaves en nuestro país.

b) Construcción del dique de contención con parte del relave

No será necesario tener una altura considerable al culminar su ciclo de llenado. Esta opción corresponde a tratar los relaves provenientes de la planta concentradora, de manera de separar la fracción gruesa y que nos sirva de muro de contención alrededor de la cancha de relaves o llamado muro perimetral, la altura máxima será de un metro dado que su límite de llenado será hasta el borde del depósito por seguridad y evitar fugas. Al construir el muro se debe tener en cuenta que la zona es plana-horizontal.

c) Material de relaves equivalente a un suelo húmedo

Esta opción requiere tratar los relaves provenientes de la planta concentradora, a un 30% sólidos de manera de extraerle la mayor cantidad de agua posible mediante distintos métodos, por ejemplo mediante espesadores que son tanques de agitación lenta, en la cual la pulpa al ingresar al espesador, en su interior tienen unos rastrillos que van arrastrar los sólidos hacia el centro y por su parte superior la descarga de agua, por la parte inferior de forma cónica del tanque se obtiene una pulpa espesa a un 75 % sólidos que con el uso de una bomba de pulpa es bombeada a través de una tubería al filtro de discos donde se eliminarán una mayor cantidad de agua y obtendremos una humedad de relave hasta un 8% donde le llamaremos “Pasta de relaves” sin necesidad de un muro perimetral para su contención. (Ramos, 2017)

Métodos de presas de relave

Método aguas abajo:

La construcción se inicia con un muro de partida de material de préstamo compactado desde el cual se vacía el relave grueso cicloneado hacia el lado del talud aguas debajo de este muro y las lamas se depositan hacia el talud aguas arriba.

Habitualmente se construye una berma impermeable en la cara del muro de la presa que está en contacto con el depósito y se provee de un drenaje interno para asegurar que el nivel freático dentro del muro se mantenga lejos del talud de aguas arriba. El espesor de la presa en su base aumenta con la altura, debido a esto requiere aportes crecientes de material, el área ocupada es mucha mayor al método de aguas arriba, debido al progreso de la estructura para el método de aguas abajo en función del aumento de la altura.

Métodos de eje central o línea central:

Se inicia con un muro de partida de material de préstamo compactado, sobre el cual se depositan las arenas cicloneadas hacia el lado de aguas abajo y las lamas hacia el lado de aguas arriba. (Aguirre Ramos 2017)

Monitoreo del depósito de relave

Para una presa de relaves se recomienda los siguientes tipos de medición:

- a) Medición e inspección visual diaria de todos los factores que influyen directamente en la seguridad de la presa:
 - Ancho de la playa la cual debería ser lo más grande posible.
 - Borde libre con respecto a la superficie del relave o del espejo de agua, es decir la distancia vertical que la cresta de la presa está sobre el nivel del agua de la poza.
 - Descarga de percolación a través de la presa en sí, a través del cimientó y estribos.
 - Posición de la superficie freática y de cualquier daño que pueda surgir en el talud.
 - Movimiento horizontal y vertical de la cresta de la presa de arranque y del talud aguas abajo.
 - Sismicidad y presión de poros dinámica inducida.
 - Todos los procedimientos de disposición de relaves.
- b) Medición y pruebas de todos los factores relacionados con la evaluación de estabilidad en cada etapa de construcción y especialmente cuando se aproxima a la altura máxima final.
 - Distribución y zonificación de los relaves disponibles.
 - Presión de poros.
 - Comportamiento de los relaves depositados en cada zona y la no linealidad de las propiedades mecánicas del suelo (densidad, resistencia al corte, compresibilidad, consolidación) y el incremento de la carga aplicada proveniente del resultado de laboratorio y de las pruebas in situ. (Díaz, 1987)
 - Sedimentación diferencial registrada por los instrumentos de medición de movimientos internos.
 - Consolidación, sedimentación y estabilidad en la altura final durante el tiempo de la elevación de la presa y si es necesario se debe mejorar la técnica de construcción y la

estructura mediante drenajes instalados adecuadamente, bermas, inclinaciones del talud que mantengan una playa no sumergida más ancha, empleando hidrociclones, etc.

c) Monitoreo de la descarga de percolación.

Toda el agua que se percola es recuperada y descargada en vertederos, en nuestro caso se bombeara a través de una bomba de agua nuevamente al proceso, debido a la escases de agua en la zona, su medición en m^3/hra . El drenaje aumenta la descarga de percolación que es mucho mayor que en las presas de tierra, sin embargo, no es peligroso si hay filtros y drenajes funcionando apropiadamente. Las recomendaciones sobre el diseño de drenaje son proporcionadas en ICOLD.1994, Bulletin96, Dams and Enviroment Water quality and climate.

d) Medición y monitoreo de la superficie freática.

Es de primera importancia para la estabilidad de las presas de relaves.

El dispositivo básico para medir el nivel freático es el Piezómetro, son fabricados con tubos de PVC de paredes gruesas, los tubos y los empalmes deben ser herméticos para resistir la alta presión y también deben ser químicamente resistentes. (Peck, 1973)

e) Monitoreo de la presión dinámica de poros y licuefacción.

Puede existir peligro de licuefacción de los finos y de la arena limosa en la presa de relave como consecuencia de un terremoto. La presión dinámica de poros se desarrolla en relaves y la licuefacción se presenta cuando la presión de poros inducida se vuelve tan alta que empieza a destruir la estructura de la arena suelta al reducir los esfuerzos efectivos a cero. La presión dinámica de poros es medida y registrada al mismo tiempo que el terremoto y después, cuando se puede alcanzar los valores máximos.

La medición de las presiones de poros dinámicas puede ser efectuada con Piezómetros de alambre de vibratorio debido a que tiene una respuesta lo suficientemente rápida.

Cuando el terremoto está sobre un umbral predeterminado, el Acelerógrafo hace que la computadora tome lecturas más frecuentes en forma consecutiva desde todo los piezómetros: se continúan registrando las presiones de poros como antes, una vez cada 1 a 2 semanas, aproximadamente, se efectúan para todos los sismos, incluyendo los más leves, durante todo el periodo operacional mientras la presa está siendo levantada lentamente.

Sobre la base de estos datos se puede predecir la estabilidad dinámica de la presa de relave, a su altura final para el terremoto de diseño.

Si se requiere, se puede tomar medidas estructurales adicionales, como:

➤ Drenaje adecuado. - Un drenaje bien diseñado acelera la consolidación y disminuye la superficie freática, Los relaves secos no se licuefacta, el drenaje también acelera la disminución de la presión de poros dinámica y reduce el peligro de licuefacción debido al impacto dinámico.

➤ Compactación. -La arena más densa no se licuefacta tan fácilmente, la compactación se puede efectuar mecánicamente por vibro-compactación (Guía Ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina, elaborada para el MEM-DGAM, Agosto de 1997).

f) Monitoreo de los movimientos verticales.

Los depósitos de relave son grandes y se deben a la compactación por su propio peso y a la consolidación.

Los movimientos externos son medidos por medio de un sistema de control topográfico de puntos de referencia geodésicos, con un sistema de hitos ubicados:

- A lo largo de la cresta de la presa de arranque y sobre sus bermas si es alta.
- Sobre las bermas del talud aguas debajo de la presa.
- A lo largo de la cresta de la presa de relaves terminada.
- Sobre la playa de la presa de relave terminada.

Un incremento súbito en los movimientos verticales podría ser una señal de erosión interna de los relaves y de un potencial de colapso.

g) Monitoreo de los movimientos horizontales.

En las presas de relave estos movimientos se deben a la sedimentación no uniforme de las diferentes partes y en menor grado a la presión proveniente del agua retenida.

Generalmente son medidos en los mismos puntos geodésicos que son empleados para el control topográfico de los movimientos verticales.

Se pueden efectuar mediciones más exactas cuando los puntos están ubicados en una línea recta y los movimientos son medidos en relación a ello, caso contrario emplear método trigonométrico que es menos preciso. Los métodos más precisos son la colimación óptica o instrumentos sofisticados con láser.

Es difícil predecir exactamente el límite peligroso de los movimientos verticales y horizontales para los numerosos componentes de los depósitos de relaves.

h) Registros y datos.

Se debe conservar y archivar adecuadamente durante la vida operativa de la mina, los registros completos del diseño, construcción y comportamiento de la presa y el pozo de relaves, así como de cualquier evento que afecte o pueda haber afectado la seguridad de la presa de relaves., deben incluir:

- Documentos de diseño, criterios.
- Informe sobre exploración del sitio y pruebas de modelos.
- Cálculos, Dibujos
- Especificaciones
- Registros de documentación sobre los métodos y materiales de construcción, sobre el control de calidad,
- Pruebas de laboratorio e inspección de construcción,
- Registros de comportamiento operacional, tal como lecturas de instrumentos e interpretaciones relacionadas, informes de inspección y sucesos relacionados en alguna forma con la seguridad de las presas de relaves.

El Superintendente General es el responsable de la actualización, archivo y disponibilidad de los registros en su oficina, así como también de proporcionar los registros actualizados a las agencias reguladoras. (Aguirre Ramos.2017).

2.3 Definición de términos básicos

En la presente tesis se definen los siguientes términos que a continuación se desarrollan de acuerdo a los conceptos técnicos de la rama:

Descarga Espesada: Se requiere un lugar amplio y plano para utilizar la deposición mediante descarga espesada, y es por ello inadecuado para las áreas montañosas del Perú. (Yeomans, 1985 y por Wood & Mc Donald, 1986).

Desmante de mina: Es roca extraída durante el minado para tener acceso al mineral. En las minas subterráneas, este material es usualmente de tamaño menor que 20 cms. y las cantidades llevadas a la superficie son comparativamente pequeñas. El desmante de las minas a tajo abierto es mucho más grueso, su rango de tamaño va desde un metro hasta

polvo y las cantidades producidas pueden ser bastante grandes, llegando a menudo hasta dos a cuatro veces la de los relaves. Aunque las prácticas de manejo para este tipo de material están fuera de los límites de esta Guía, se puede decir que la estabilidad de los echaderos de la mina son rara vez un problema excepto en ciertos casos que involucran climas húmedos o cuando se introducen fluidos; cuando el echadero contiene arcillas o material inusualmente fino, o cuando existen suelos arcillosos en los cimientos del echadero (Zovodni, et. al., 1984; Dawson, et. al., 1992; Broughton, 1992; Proceedings, 1986).

Educación Ambiental: El proceso de reconocer valores y aclarar conceptos para crear habilidades y actitudes necesarias que sirvan para comprender y apreciar la relación mutua entre el hombre y su cultura, su medio circundante biofísico. La educación ambiental también incluye la práctica de tomar decisiones y auto formular un código de comportamiento respecto a cuestiones que concierne a la calidad ambiental. (EUROPEAN WORKING CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL CONSERVATION EDUCATION, 1978 (273 p).

Factor de seguridad. “FS”: Para un talud se define generalmente como la relación al corte disponible con respecto del esfuerzo cortante sobre la falla crítica. En el diseño de un talud o depósito, el factor de seguridad debe ser mayor a la unidad. (Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina, MEM. DGAA, Lima, Perú, Agosto de 1997).

Minería Formal: Cumple con todos los requisitos y permisos mineros, ambientales, sociales, laborales, tributarios establecidos en nuestra normatividad legal vigente, comprende a la mediana y gran minería, la pequeña minería y la minería artesanal. (7mo. Congreso de Internacional del Medio Ambiente, Responsabilidad Social en Minería y Metalurgia. Lima, 2011).

Minería Informal: No cumple con permisos para realizar actividad minera, opera en zonas no prohibidas, cuenta con declaración de compromiso y está en proceso de formalización, operan a pequeña escala. (MEM. Vargas Vargas. 2014).

Sismicidad: El Perú está ubicado en una de las áreas sísmicamente más activas del mundo y los terremotos han afectado las minas desde su comienzo en el país. Cuando un tsunami acompañó el primer gran terremoto experimentado por Lima en 1586, se esparció el temor que los depósitos de mercurio, necesarios para mantener la producción de oro, se hubieran perdido. Estos temores fueron percibidos más tarde cuando el gran terremoto de 1687 afectó la mayor parte de Lima y el subsiguiente tsunami destruyó las reservas de mercurio a todo lo largo de la costa, desde Lima a Puerto Caballas (Dorbath, et. al., 1990).

Ecología: Es el estudio del hábitat de los seres vivos. A pesar de ello, se considera que la ecología es la ciencia de las relaciones entre los seres vivos con su ambiente; los seres vivos están estrechamente integrados en su entorno, de modo que la ecología es la ciencia de los sistemas biológicos funcionales y complejos llamados ecosistemas, comprende también el estudio de las relaciones de los seres vivos entre ellos.(DUVIONEAUD,1981 (75)P).

Estabilidad de las presas de relaves: La estabilidad física de los depósitos de relaves tanto durante la época de operación como en el período de clausura están determinados por la estabilidad de las presas y las estructuras relacionadas a ella que se usan para retener la pulpa de los relaves descargados. Este capítulo explora los factores relacionados a la estabilidad de la presa de relaves en cuanto conciernen a las condiciones del Perú. (Vick, 1990)

Tabla 3. Parámetros de capacidad, extensión y producción minera

| | MINERIA ARTESANAL LEY 27651 ENERO 2002 | PEQUEÑOS PRODUCTORES MINEROS LEY 27651 ENERO 2002 | REGIMEN TUO MEDIANA MINERIA | GENERAL GM GRAN MINERIA |
|--|---|--|---|------------------------------------|
| 1) Capacidad instalada de producción o Beneficio | Hasta 25 TM/D | Hasta 350 TM/D | Hasta 5000 TM/D | Más de 5,000 TM/D |
| 2) Extensión de denuncias, petitorios y/o concesiones mineras. | Hasta 1,000 Has | Hasta 2,000 Has. | Más de 2,000 Has. | |
| 3) Producción mínima anual. Modificada por el DL 1010, que a su vez fue modificado por el DL 1054. | US\$ 25 Año/Ha 5% UIT Año/Ha para cualquier sustancia | US\$ 50 Año/Ha Sustancias Metálicas: 10% UIT Año/Ha Sustancias No metálicas: 5% UIT Año/Ha | US\$ 100 Año/Ha Sustancias metálicas: 1UIT Año/Ha Sustancias metálicas: 10% de la UIT Año/Ha | No metálicas: 10% de la UIT Año/Ha |
| 4) Derecho de Vigencia | US\$ 0.50 Año/Ha | US\$ 1.00 Año/Ha | US\$ 3.00 Año/Ha | |

1.- Para sustancia aurífera aluvial – yacimientos tipo placer.

2.- Productores de gravas auríferas de placer

Nota: Ministerio de Energía y Minas Elaboración: J. Cuadros, Cooper Acción

2.4 Formulario de hipótesis

2.4.1 Hipótesis General

Existe relación entre evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC -2011-II.Sayán-Lima.2017.

2.4.2 Hipótesis Específicas

- Existe relación directa entre los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos de relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC -2011-II. Sayán- Lima. 2017.
- Existe relación directa entre las propiedades resistentes de los materiales que conforman el dique del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC 2011-II.Sayán.Lima.2017.
- Existe relación directa entre las propiedades geotécnicas del relave minero y su tratamiento en la Planta beneficio MVC 2011-II. Sayán- Lima. 2017.

2.5 Operacionalización de las variables

Tabla 4. Operacionalización de las variables.

| VARIABLE | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DIMENSIONES | INDICADORES |
|--|---|--|--|
| Evaluación del relave minero | Los relaves mineros son desechos tóxicos, subproductos de un proceso minero, sin valor comercial. | Evaluación del relave minero | Factores de seguridad. |
| | | Desechos tóxicos. | Propiedades resistentes. |
| | | Propiedades mecánicas. | Propiedades geotécnicas. |
| Tratamiento en la planta de beneficio MVC 2011-II. | El tratamiento de los relaves en una planta de beneficio debe cumplir con las normas legales, con sus objetivos, tener aprobación del plan y post cierre del Relave N° 3. | Técnicas operativas en la planta de beneficio. | Clasificación (tipos) Disposición de relave N°3 |

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de Investigación

Explicativo-prospectivo

Según los problemas propuestos y los objetivos planteados, el tipo de investigación que se realiza determina un estudio explicativo, del tipo prospectivo, de acuerdo al tipo de información y ocurrencia de los hechos.

Explicativo

Se considera explicativo por que se pretende determinar cuáles son los efectos del relave minero en cuanto a su seguridad

Correlacional

Puesto que la presente tesis estudia las relaciones entre variables dependientes e independientes.

Prospectivo

Se considera prospectivo por que los datos que se desea obtener no se han basado en información pasada, sino que se considera el periodo de tiempo que se indica en la presente investigación.

3.1.2 Diseño de Investigación

El presente trabajo de investigación se compone de varias etapas secuencialmente dependiente para su óptima culminación:

Primera etapa: Caracterización físicas de los relaves a ser evaluados mediante los análisis en laboratorio de muestras.

Segunda etapa: Utilizando tamices para su análisis granulométrico, Malla 200, donde se separan los finos y los gruesos del relave minero.

Tercera etapa: Evaluación de caudales y tonelaje del relave minero.

Cuarta etapa: Estudio de suelo donde será ubicada la poza de relave minero N° 3.

La parte de análisis química del relave de la planta de beneficio MVC2011-II, se menciona que no tiene materiales ácidos como la presencia de pirita, pirrotita, marcasita, es un material oxidado blanquecino.

3.2 Población y muestra de estudio

3.2.1 Población

La población en la presente investigación está dada por los depósitos de relave N°1 y N°2, de características similares, sin material de préstamo de canteras, ni con recrecimiento del dique en cuanto al diseño de ingeniería.

3.2.2 Muestra

Nos enfocamos en el estudio con material a préstamo y su respectivo recrecimiento del dique, aún inoperativa, en proceso de construcción hasta ser aprobado por la DREM.

La muestra será no probabilística-Intencional Finita. Por lo tanto, el depósito de relave N°3 es la muestra en estudio. Se tomaron muestras de calicatas para el estudio de suelo donde se ubicará el nuevo depósito.

$$n = N \cdot Z^2 \cdot (P \cdot q) / (E^2 + Z^2 \cdot (p \cdot q))$$

Donde:

n = Muestra inicial

Z= Nivel de confianza

P= Probabilidad de éxito

q= Probabilidad de fracaso

E= Margen de error o nivel de precisión

3.3 Técnicas de recolección de datos

Se realizaron calicatas y puntos de muestreo en distintas partes del terreno, con el fin de tomar muestras, informe técnico realizado por SINGERS, ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACIÓN DE RELAVES MINERO, Ing. Civil: Roly Leyva Gonzales, CIP: 201380. Para efectos de toma de muestras se realizó trabajos de campo, laboratorio y gabinete, para determinar las características del terreno con el fin de establecer las profundidades de cimentación, la capacidad portante admisible del suelo y a partir de ello, los parámetros necesarios para el diseño y construcción del proyecto.

Dichos parámetros son: profundidad, tipo de cimentación, capacidad portante admisible del terreno adoptado como suelo de cimentación, pautas generales del diseño y construcción en relación con los suelos.

3.4 Técnicas para el procedimiento de información

El procedimiento de información se realizó con el desarrollo descriptivo con el fin de poder establecer si cumplen o no con los objetivos realizados en la investigación.

Permitirá recopilar datos e interpretar los ítems referidos, aplicados a la muestra del depósito de relave N°3.

Los trabajos de campo fueron realizados por personal especialista Ing Roly Leiva Gonzales y se programaron de tal manera que toda el área de investigación fue de 3000 m², así se excavaron 06 calicatas a cielo abierto ubicadas estratégicamente lo cual cubre razonablemente el área a investigar.

Las profundidades alcanzadas fueron de 3 m. La exploración de calicatas, computados a partir del terreno natural, lo que nos permitió visualizar la estratigrafía y determinar el tipo de ensayo de laboratorio a ejecutar a cada uno de los estratos de suelo encontrados, de las muestras disturbadas representativas.

Se tomaron muestras disturbadas a lo largo de las excavaciones, en cantidad suficiente. Previamente se identificaron los suelos, mediante procedimientos manuales de campo tales como la dilatancia (reacción de agitación), la resistencia en estado seco (características de rompimiento).

También se extrajeron muestras representativas para los ensayos especiales de corte directo. No se encontró presencia de Napa Freática en la excavación de las calicatas a cielo abierto.

Ensayos de laboratorio:

- Ensayos estándar: Análisis granulométrico por tamizado, límite líquido, índice de plasticidad, contenido de humedad, clasificación SUCS. Según norma ASTM.
- Ensayos especiales: Contenido de solubles totales, sulfatos, cloruros, ensayos de corte directo según norma. (ASTM, 1997)

Análisis de estabilidad física del depósito de relave N° 3

Caracterización geotécnica

Con la finalidad de caracterizar el material relleno común compactado del dique de contención, se efectuaron ensayos geotécnicos que consistieron en las calicatas mencionadas arriba, con ensayos de densidad ínsitu, análisis granulométrico de las arenas en reemplazo del agua.

Adicionalmente se analizaron la información existente de construcción y de diseño.

Las investigaciones se presentan en el anexo.

a) Calicatas y puntos de muestreo,

Se efectuaron calicatas que variaron en un promedio de 3m. profundidad, se ubicaron puntos de muestreo estratégicamente, de la cual se localizaron en el talud aguas abajo del futuro dique.

En general se ha encontrado que el relleno común compactado en el dique del depósito relave N°3 consiste principalmente en material granulado con pocos finos, un 75% de arena gruesa y algo de arcilla, con una humedad menor al 4%, sin presencia de napa freática.

Los resúmenes de las calicatas se observan en el panel de fotografías.

b) Ensayos de laboratorio

Para las muestras representativas obtenidas durante la investigación geotécnica, se efectuaron ensayos de laboratorio con la finalidad de determinar las propiedades, clasificación granulométrica y ensayos especiales del material de relleno del dique. Los ensayos de suelo se ejecutaron en laboratorio en Lima por SINGERS SAC (Estudio de suelo para habilitación de relave minero).

A partir de las muestras de suelo extraídas de los materiales almacenados en el depósito de relave N° 3 se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio: Contenido de humedad, análisis granulométrico clasificación SUCS.

En resumen, los ensayos de laboratorio se muestran en el cuadro de anexos.

Propiedades de resistencia de los materiales

Se muestran los diferentes parámetros geotécnicos de los diferentes tipos de materiales considerados en el análisis de estabilidad del depósito relave N°3, según la condición analizada.

Las propiedades resistentes fueron estimadas sobre la base de la información obtenida del estudio previo, y de los ensayos de campo y de laboratorio realizados como parte de la campaña geotécnica realizada, de acuerdo a la práctica ingenieril, y de la experiencia en proyectos similares.

La información incluye pesos unitarios húmedo/saturado y parámetros de resistencia al corte en términos de esfuerzos efectivos para todas las unidades, a excepción del relave.

Criterios de análisis utilizados

El análisis de estabilidad física del depósito de relave N°3, ha sido desarrollado a modo de cumplir los requerimientos mínimos aceptables de acuerdo a las regulaciones mineras vigentes. Se realizó el análisis de estabilidad para condición estática y en condiciones de sismo (análisis pseudoestáticos) mediante métodos de equilibrio límite, a fin de estimar los factores de seguridad más bajos. (S., 1960)

En caso de análisis pseudoestáticos, la guía ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Desechos Sólidos de Mina (Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Asuntos Ambientales; Lima Agosto de 1997) ha propuesto utilizar un valor de coeficiente sísmico (CS) que varía entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{2}{3}$ de la aceleración máxima a nivel de terreno (Peak Ground Acceleration, por sus siglas en inglés).

Considerando los depósitos de relaves como una estructura Sísmica resistente, cuyo comportamiento es similar a una presa de tierra, para almacenamiento de agua y considerar como un talud estable, se propone en el siguiente cuadro:

Tabla 5. Factores de seguridad Mínimos para Análisis de Estabilidad Física en Presas de tierra

| Condición | Talud Aguas Arriba | Talud Aguas Abajo |
|---|--------------------|-------------------|
| I) Al final de la construcción para presas de más de 15m. | 1.3-1.4 | 1.3-1.4 |
| II) Estado de infiltración constante. | - | 1.5 |
| II) Desembalse rápido. | 1.5 | - |
| IV) Sismo solo condiciones I y II | 1.0 | 1.0 |

Nota: Según el US Army Corps of Engineers, 2003.

De estos antecedentes, el depósito de relave N°3 es una estructura con una profundidad promedio de 6m., que no representa un riesgo significativo alto debido a que el depósito de relaves yace en una zona de pendiente suave y no existe estructuras ni vivienda aguas abajo del dique.

Los valores a considerarse en el análisis de estabilidad física son:

- Factor de seguridad mínimo de 1.4 para condiciones estáticas
- Factor de seguridad mínimo de 1.0 en condiciones sísmicas. (pseudoe estáticas)

Cabe señalar que el depósito de relave N°3 en sus condiciones actuales, se encuentra en una etapa de diseño y algunos avances en su estructura.

Los análisis de estabilidad en condiciones pseudoe estática considera una aceleración pico de terreno para un periodo de retorno de más de 50 años” Estudio de peligros sísmico para la ampliación de capacidad instalada a 100 TMPD de la planta de beneficio MVC 2011-II Sayán. Lima 2017”, con un coeficiente sísmico a 0.16 g el cual representa $\frac{1}{2}$ de la aceleración máxima 32 g, a nivel de terreno, el cual es recomendado para condiciones de operación de nuestra planta.

Cabe señalar que el depósito de relave N°3 en su condición actual, se encuentra en etapa de espera, hasta que la DREM-Huacho, apruebe el estudio.

El pueblo más cercano a la planta de beneficio MVC, se encuentra a casi 2 KM de distancia.

(Villalobos Ahnado L., 2013)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Generalidades:

Las operaciones de explotación y beneficio de los minerales de plata (Argentita) provenientes de la mina de Cajatambo, dado que inicialmente estaba previsto la disposición de los relaves sin los estudios pertinentes como su estabilidad y características, se ha contemplado algunos parámetros de operación en el depósito, lo mismo que se describe en el presente capítulo.

Sobre la base de la información geotécnica que se ha determinado que la profundidad de fundación promedio del dique de contención de relave N°3 es de 1.50 metros, en donde se ha podido encontrar, gravas arenosas densas a muy densas, arena limosa, arena gruesa. El sistema de recuperación de las aguas del relave ha sido diseñado para interceptar flujos de agua, las cuales, a través de una bomba serán recuperadas y utilizadas nuevamente en el proceso de flotación de los minerales.

El sistema de revestimiento consiste en una capa compactada de suelo de baja permeabilidad bajo una geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) lisa de 0.7 mm de espesor. La presa de relave se construirá de en dos etapas:

La primera considera la construcción del dique de arranque, la profundidad del depósito será de 6 metros, con taludes aguas abajo y aguas arriba de 1.5H:1V, según el diseño propuesto

En la segunda etapa se ha considerado la construcción de un recrecimiento del dique con el método línea central, el área superior e inferior de acuerdo al diseño propuesto,

Los parámetros operativos del depósito relave N°3 se detallan en el siguiente cuadro:

Tabla 6. Parámetros operativos del depósito de relave N°3

| | Etapa |
|--------------------------------|------------|
| Ancho de corona | 6 m. |
| Talud de aguas Arriba | 1.5H : 1 V |
| Talud de aguas Abajo | 1.5H : 1 V |
| Longitud de corona | 220 m. |
| Cota de corona del dique | 602 msnm |
| Borde libre | 1m |
| Altura del dique de contención | 1.50 m. |

Nota: Elaboración propia

4.2. Resultados de los análisis de la estabilidad de taludes

Una vez definida las propiedades geotécnicas, las características del depósito N° 3, se procedió analizar los suelos donde se depositara el relave con las características halladas gracias al estudio realizado.

Se ha considerado una aceleración máxima en el terreno de 0.32 g en el suelo para un periodo de retorno de 200 años, Para dicho periodo de retorno se tomó en consideración un coeficiente sísmico (CS) de $\frac{1}{2}$ de la aceleración máxima que representa 0.16.

Los factores de seguridad mínimos a considerarse en el análisis de estabilidad física del depósito de relave N°3 se detallan:

Tabla 7. Factores de seguridad mínimos para el depósito de relave

| Factores de seguridad mínimos recomendados | |
|--|-----------------------------|
| Condiciones estáticas | Condiciones pseudoestáticas |
| 1.4 | 1.0 |

Nota: MEM. Guía Ambiental Estabilidad, talud de desechos sólidos de Mina, propone C.S. de $\frac{1}{2}$ a $\frac{2}{3}$ de la aceleración máxima a nivel de terreno .PGA .Dirección General de Asuntos Ambientales. Lima Agosto 1997.

4.3. Factores de seguridad obtenidos

Los resultados de los análisis de estabilidad de taludes del depósito de relave N° 3, tanto en condiciones estáticas como sísmicas para el dique y el relave de embalse, son las que se presentan en el siguiente cuadro.

Tabla 8. Factores de seguridad obtenidos en el depósito de relave N° 3

| | |
|---|-------|
| Factor de seguridad estático | 1.259 |
| Factor de seguridad pseudoestática (cargas sísmicas) | 0.967 |

Nota: Laboratorio SINGERS

Factor de seguridad 1.259 para condición estática, se encuentra por debajo del mínimo recomendado.

Factor de seguridad 0.967 aplicada para cargas sísmicas (factor de seguridad pseudoestática), dicho resultado es menor a 1.0 que es el valor mínimo requerido para condiciones pseudoestáticas.

Discusión:

Conforme el análisis encontrado anteriormente se puede verificar que las condiciones actuales, el depósito de relave N°3 ,no satisface los valores del factor de seguridad mínimos tanto para la condición estática ,como pseudoestática, por lo tanto es necesario implementar medidas que aseguren la estabilidad física del depósito relave N° 3

Propuestas:

Propuesta de mejora

Es necesario implementar medidas que ayuden a disminuir y/o eliminar todas aquellas condiciones desfavorables que pueden ser causas de una probable falla en el depósito de relave:

- La primera acción es controlar la formación de playa de relave pegada al talud aguas abajo, con el fin de aminorar posibles fallas en el dique por tubificación licuefacción, la pulpa (relave) debe ingresar al depósito a través de una tubería de 4" diámetro pegadas a la corona, a fin de formar la, playa de cimentación y el espejo de agua.
- Otra acción a realizar es el control de nivel de agua formada en el vaso del depósito de relave, tomar muestras de pulpa llevar al laboratorio y analizar densidad de pulpa, porcentaje de sólidos, ello para la formación del espejo de agua. Donde se ubicarán la bomba de recuperación de agua, con un caudal promedio 1.5 M³ agua/hora.

- c) Se ha propuesto solicitar a la Gerencia de Operaciones de la Planta Beneficio MVC 2011-II la adquisición de un HIDROCICLÓN para acumular los gruesos en el dique a formar, donde los finos a través de una tubería de 2" diámetro descargarían en el otro extremo de la alimentación de relave, y así formar el espejo de agua.
- d) Se ha proyectado realizar una berma estabilizadora al pie y a lo largo del dique de contención de presa de relave con MATERIAL A PRESTAMO compactado con una altura aproximada de 2 m. con una inclinación aguas abajo 1.5H: 1.0V.

Resultados

Se procedió a analizar la estabilidad física con la nueva configuración del depósito de relave N° 3, adoptando las medidas ya mencionadas. Con el fin de asegurar la estabilidad física del depósito relave N°3 con las mismas medidas citadas anteriormente, que van a asegurar la estabilidad física del depósito, el factor de seguridad obtenida es el mismo con un coeficiente de seguridad CS: 0.16

Tabla 9. Resultados del Análisis de Estabilidad Física del depósito de relave N°3

| | |
|------------------------------------|-------|
| Factor de seguridad estático | 1.473 |
| Factor de seguridad pseudoestático | 1.066 |

Nota: Laboratorio SINGERS

Se puede observar del cuadro y tomando consideración las medidas propuestas en la tesis presente, se obtuvo valores de seguridad por encima del mínimo requerido a diferentes factores de seguridad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones relacionadas con el análisis de la Estabilidad Física del depósito de relave N° 3 en condición actual:

- 1 Una vez culminada la investigación, se evaluó y comparo la generación de relaves mineros en la planta de beneficio MVC 2011-II, observándose que existe una correlación entre las dos variables, entre una evaluación de relave mineros y su tratamiento en la planta de beneficio llegando a las siguientes conclusiones:
- 2 Los factores de seguridad obtenidos en la sección más vulnerable de deslizamiento, adoptando la nueva configuración, son de 1.473 para condición estática y 1.066 para condición pseudoestático, considerando un coeficiente sísmico de 0.16 g utilizando el método de análisis de Janbu simplificado (ver Anexo), dichos valores son mayores al mínimo requerido por lo que la estabilidad física del dique de depósito de relaves está asegurada.
- 3 Las propiedades resistentes de las distintas unidades geotécnicas y materiales que conforman el depósito de Relave N° 3, se obtuvieron sobre la base de la información del estudio previo del año 2017” Diseño de la Relavera, Ampliación de la capacidad de la planta de 25 a 100 TMSPD en la planta de beneficio 2011-II, informe final Lima” de los ensayos de campo y laboratorio, las propiedades resistentes obtenidas se presentan:

- a) Dique de arranque, conformada por grava mal gradada con arcilla/arena arcillosa, y arena gruesa, en un gran porcentaje; tiene un peso unitario de 17 KN/m^3 una cohesión de 21 KPa. y un ángulo de fricción 31° .
- b) Unidad Geotécnica promedio, conformada por horizontes de arena gruesa y grava de compactación suelta, tiene un peso unitario de 21 KN/m^3 con una cohesión de 30 KPa. y un ángulo de fricción de 33° .
- c) Relaves: compuestos por arcilla arenosa –limo, tiene un peso unitario de 16 KN/m^3 , una cohesión de 24 KPa. y un ángulo de fricción 0° .

4 Los relaves a disponer en el vaso del depósito de relave N° 3m, son pulpa (mineral molido más agua) cuyas densidades varían entre 1280 a 1350 grs. /litro.

5 El relave dispuesto consiste principalmente en la alternancia de horizontes de limos de arena-arcilla, con alto contenido de arena gruesa de consistencia blanda, las cuales se clasifican según SUCS como: ML, CL y SM

ML: Limo de baja plasticidad

CL: Arcilla de baja plasticidad

SM: Arena limo

Fuente: Wikipedia-La Enciclopedia Libre

6 El porcentaje de sólidos varían aproximadamente entre 30 a 35% Sólidos, el peso unitario con 15 KN/m^3 , la cohesión en 24 KPa con un ángulo de fricción 0° .

7 Para asegurar la estabilidad física del depósito relave N°3 es necesario:

- a) Asegurar la formación de una playa en uno de los extremos de la poza, se debe controlar la formación del espejo de agua y así obtener un relave en pulpa.
- b) Como medida de contingencia ante un posible colapso del dique de contención por desbordamiento, se tiene un metro de borde libre, para esto se deberá controlar el asentamiento de la corona del dique de contención y la instalación de dos bombas de agua en el espejo de agua, las cuales se recircularán nuevamente al proceso.

- c) Como ya se había comentado, se hará la construcción de una berma estabilizadora al pie y a lo largo del dique de contención de la presa de relave con material de préstamo compactado, con una altura aproximada de 2.5 metros, con una inclinación de aguas abajo 1.H: 1.0V.
- d) La estabilidad física del depósito relave N°3 estará asegurada toda vez que se considere y se cumpla lo descrito antes, es importante utilizar el material a préstamo y así asegurar la poza de relave.
- 8 Se concluye que el estrato de suelo que forma parte del contorno donde irá desplantada la poza de relave contiene concentraciones despreciables de sales solubles totales, sulfatos y cloruros, que no podrán atacar a la geomembrana HDPE.
- 9 El relave final de la planta de tratamiento inicialmente depositara en la poza un promedio de densidad de pulpa (mineral molido más agua) 1280 grs/lit, con 34 % sólidos. Por sedimentación lenta se obtendrá un promedio de 80% sólidos, más compacto y por la parte superficial el espejo de agua.
- 10 En cuanto a la calidad ambiental, con respecto al agua, la planta concentradora no tiene afluentes, lo que se recupera del relave general es recirculada (retorna al proceso), DESCARGA CERO.

5.2. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones a ser considerar son las siguientes.

- Las pequeñas empresas mineras, deberían aplicar una política Medioambiental, con objetivos, metas y programas de gestión para una buena disposición de los relaves mineros, realizando estudio de suelos mediante calicatas para tener muestras y analizarlos en laboratorio y estar seguros de tener un terreno que cumpla con las normas, libre de contaminantes, hoy es la carta de presentación de toda empresa que se dedica al tratamiento de los minerales.
- Se recomienda hacer trabajos de construcción de una berma con material de préstamo al pie del talud aguas abajo del dique de contención con el fin de dar una mayor

estabilidad a la poza de relave N°3, así como también la instalación de bomba de agua en una balsa, para la recuperación y retorno nuevamente al proceso, trayendo consigo ahorro de éste líquido y por ende un menor consumo de reactivos para la flotación de minerales de plata.

- Implementar los Procedimiento Escrito de un Trabajo Seguro (PETS) para la formación del espejo de agua en el otro extremo de la descarga de relave.
- El monitoreo geotécnico debe ser permanente, con el uso de piezómetro y verificar las condiciones existentes en la estructura, cualquier condición anormal debe ser reportado a la gerencia de operaciones y tomar acciones correctivas.
- Los valores obtenidos para la capacidad de carga admisible para el diseño de la poza se muestran en el cuadro de diseño, se recomienda para fines cálculo Capacidad Portante del Suelo de 1.75 kg/cm^2 .

Con estos valores, no se espera problemas por asentamientos de la poza de relave, ya que están por debajo de lo permisible.

- Realizar pruebas como:
 - La eliminación de algunos contaminantes del relave con el objetivo de producir ladrillos en beneficio de la colectividad.
 - Producir relaves en pasta con espesamiento y filtrado a un $8\% \text{H}_2\text{O}$, y servir de relleno a minas abandonadas.
 - Realizar pruebas de crecimiento de arbustos a nivel de laboratorio, con relave minero N°2.
- Finalmente esperamos que lo aportado en la presente tesis, sea para mejorar la estabilidad de todo relave minero así como lo hacen las grandes minerías y no ocurra accidentes de derrame, contaminando los suelos y la producción de material particulado a los alrededores de la planta de beneficio.

FUENTES DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Fuentes bibliográficas

- ASTM. (1997). American Society for Testing and Materials. *Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.08 Soil and Rock; Dimension Stone, Synthetics*.
- Alva Hurtado J.E., M. J. (1984). *Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú*. V Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Tacna. Perú.
- Bellido Narváez S. (1960). *Geología del cuadrángulo de Ático*. Carta Nacional, Bol. N°2 de la Serie A.
- Cáceres D. & Cerdanyola del Valle (2015). *Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (mp2.5) en niños que viven próximos a una playa masivamente contaminada con relaves mineros*. . Chañaral - Chile. : Departamento de Pediatría Obstetricia, Ginecología y Medicina Preventiva. Facultad de Medicina.
- Calderón Soncco VC. (2015). *Evaluación de concretos geo poliméricos mediante activación alcalina de residuos Mineros (Relave) y Zeolita Natural*.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2901>.
- Caroca. & Vallejo (2015). *Informe sobre la situación de los relaves mineros en Chile para ser presentado en el cuarto informe periódico de Chile para el comité de derechos económicos, sociales y culturales, perteneciente al consejo económico social de las naciones unidas fundación. relaves Chile y fundación Terram Medvinsky*.
- Claudia A. (2017). *Tratamiento de relaves mineros: Recuperación de valores y Estabilización ambiental del sitio intervenido*. www.csiro.cl Santiago 2 Agosto.
- Geología. (2012). *Movimiento en masa Capítulo 7*. Obtenido de jersb.blogpot.com/2012/11/capitulo-7-movimiento-en-masa.html. : 28 Noviembre.
- Juárez Badillo, R. R. (1987). *Mecánica de Suelos - Teoría y aplicaciones de la Mecánica de Suelos*. Obtenido de https://www.academia.edu/34518016/Mec%C3%A1nica_de_suelos_Tomo_II_Ju%C3%A1rez_Badillo.pdf.

- Karl Terzaghi / Ralph B. Peck (1973). *Mecánica de suelos en la Ingeniería, práctica*, segunda edición. 27 Diciembre 2014. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/.../Mecanica-de-Suelos-en-la-Ingenieria-Practica>.
- MEM. *Guía Ambiental para el manejo de relaves mineros BVSDE*. . Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/compendio-manejo.pdf>.
- MEM, DGAA (1997). *Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósito de desechos sólidos de mina*. Lima - Perú.
- Palomino A. & Omar D. (2014). *Construcción de dique con tratamiento del relave, en la mina Catalina Huanca* . Región Ayacucho - Perú.
- Ramos, A. (2017). *Análisis de estabilidad del depósito del relave N°5 de la concesión de beneficio Belén de minera Titán del Perú S.R.L.*, para la obtención del título de Ingeniero Geólogo. Arequipa-Perú.
- Roca Rojas, Mario Edilberto (2000). *Análisis de estabilidad de taludes a través del método de esfuerzo-deformación*, Universidad Nacional de Ingeniería.
- Romero R. & Amanda L. (2015). *Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la región central del Perú* Tesis para optar el grado de Maestro en Seguridad y Medio Ambiente en Huancayo-Perú, Universidad Nacional del Centro.
- Vallejos Amado L., Apaza Omar (2013). *Universidad Nacional José Carlos Mariátegui, Curso de Geología*.

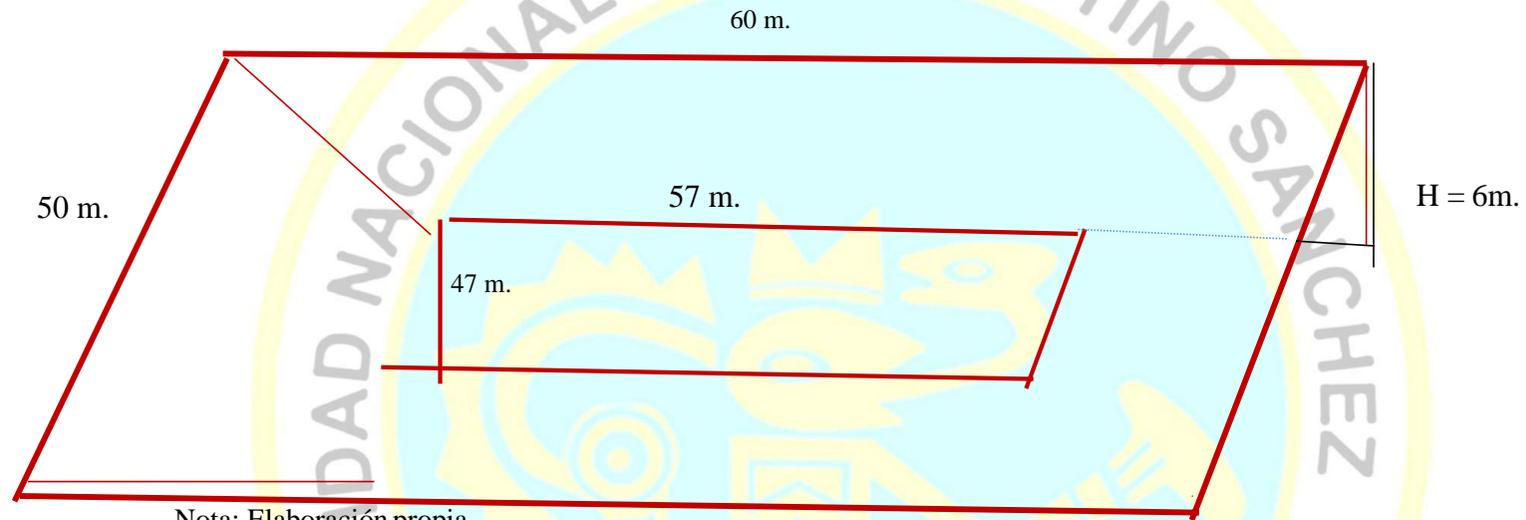
ANEXOS



MATRIZ DE CONSISTENCIA: EVALUACIÓN DEL RELAVE MINERO Y SU TRATAMIENTO EN LA PLANTA BENEFICIO MVC- 2011-II. SAYÁN – LIMA. 2017

| PROBLEMA GENERAL | OBJETIVO GENERAL | HIPOTESIS GENERAL | VARIABLES | | METODOLOGÍA | |
|--|--|--|---|--|---|--|
| Formulación General: ¿Qué relación existe entre evaluación de relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-211-II? | Determinar la relación entre evaluación de relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II | Existe relación entre evaluación de relave minero y su tratamiento en la planta de beneficio 2011-II. | V1: Evaluación de relave minero | Dimensiones | Indicadores | <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de investigación Explicativo-Prospectivo. • Diseño de estudio, no experimental correlacional. • Método de investigación: hipotético-deductivo • Determinación de población (relave N°1 y 2) y muestra (relave N° 3). • Descriptivo, se describirá a través de tablas y figuras. • Técnicas de disposición de relave N°3. |
| PROBLEMAS ESPECÍFICOS | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | HIPOTESIS ESPECÍFICAS | | - Evaluación de relave minero. | Factor de seguridad estático-pseudoestático | |
| *¿Qué relación existe entre los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos relave minero y su tratamiento en la planta de beneficio MVC 2011-II, Sayán-Lima 2017? | * Determinar si los factores de seguridad estáticos y pseudoestáticos en el relave minero afectan al tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II | *Existe relación directa entre la seguridad estáticos y pseudoestáticos de relave minero y su tratamiento en la planta beneficio 2011-II. | - Desechos tóxicos. | Propiedades resistentes de los materiales. | | |
| *¿Qué relación existe entre las propiedades resistentes de los materiales que conforman el dique de relave minero y su tratamiento en la planta de beneficio 2011-II? | *Determinar si las propiedades resistentes de los materiales que conforman el dique de relave minero afectan al tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II | * Existe relación directa entre las propiedades resistentes de los materiales que conforman el dique de relave minero y su tratamiento en la planta beneficio 2011-II. | - Propiedades mecánicas | Propiedades geotécnicas | | |
| *¿Qué relación existe entre las propiedades geotécnicas del relave minero y su tratamiento en la planta de beneficio MVC-2011-II? | *Determinar si las propiedades geotécnicas del relave minero afectan el tratamiento en la planta de beneficio MVC-2011-II | * Existe relación directa entre las propiedades geotécnicas del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio 2011-II. | - Técnica operativa en la planta beneficio. | Segregación | | |
| | | | V2: Tratamiento en la planta Beneficio 2011-II | | Clasificación | |
| | | | | | Depósito | |

Figura 3. Diseño de relave N° 03, Planta de beneficio MVC -2011-II , Sayán .Lima 2017



Nota: Elaboración propia.

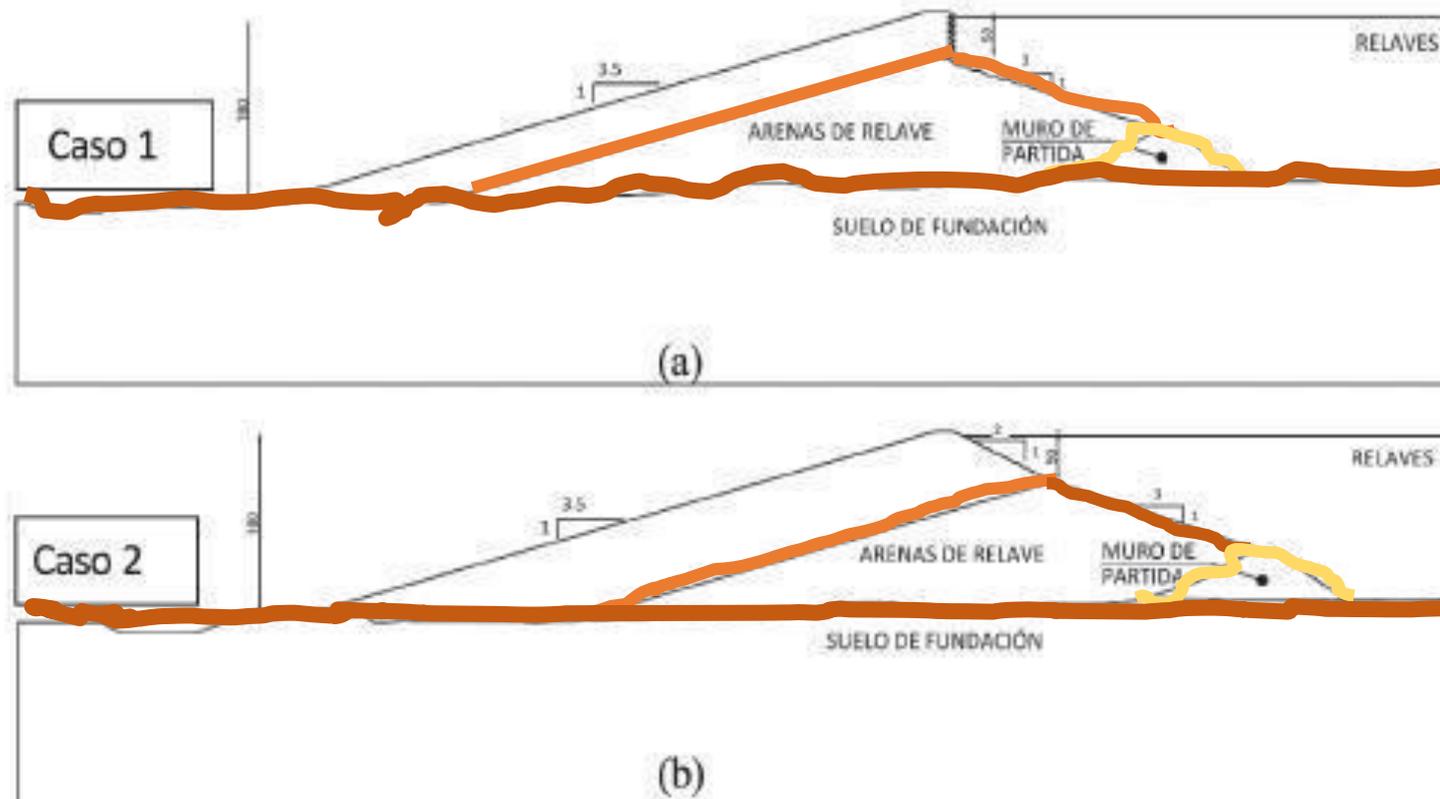
Volumen de poza de Relave N°3 : 17027 m³

Densidad de pulpa : 2.3 TM/M³

Capacidad : 39164 TM

Figura 4. Comportamiento sísmico de presas de relaves construidas aguas abajo y línea central

Comportamiento sísmico de presas de relaves construidas aguas abajo y línea central



Nota: Análisis de estabilidad física del depósito de relave N°5 de Minera Titán del Perú SRL

Figura 5. Poza Relave N° 1, Planta de beneficio MVC -2011-II. Sayán –Lima. 2017



Nota: Planta de beneficio MVC - 2011-II. Sayán. Lima. 2017

Figura 6. Poza Relave N° 2, Planta de beneficio MVC-2011-II.Sayán .Lima 2017



Nota: Planta de beneficio MVC 2011-II, Sayán .Lima 2017

Figura 7. Poza Relave N° 3, Planta de beneficio MVC-2011-II Sayán. Lima 2017



Nota: Planta de beneficio MVC- 2011-II. Sayán .Lima. 2017

Figura 8. Método de Bishop simplificado, método de Janbu

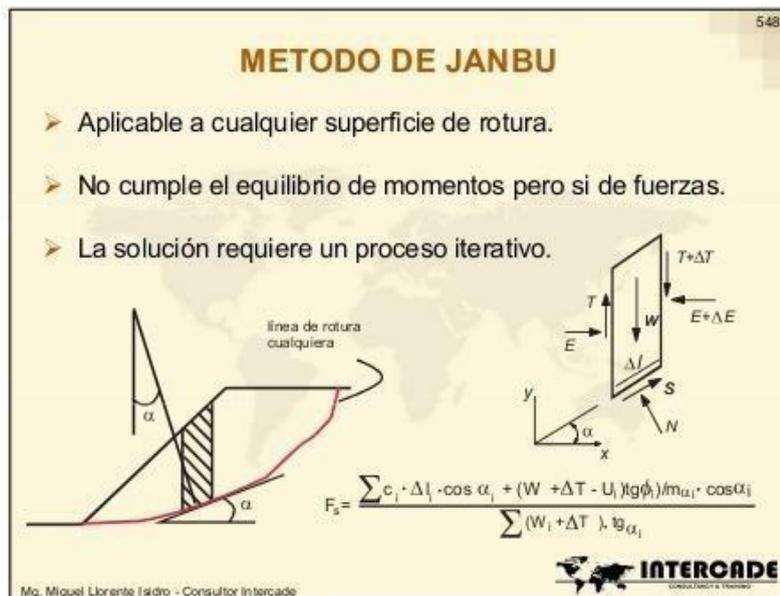
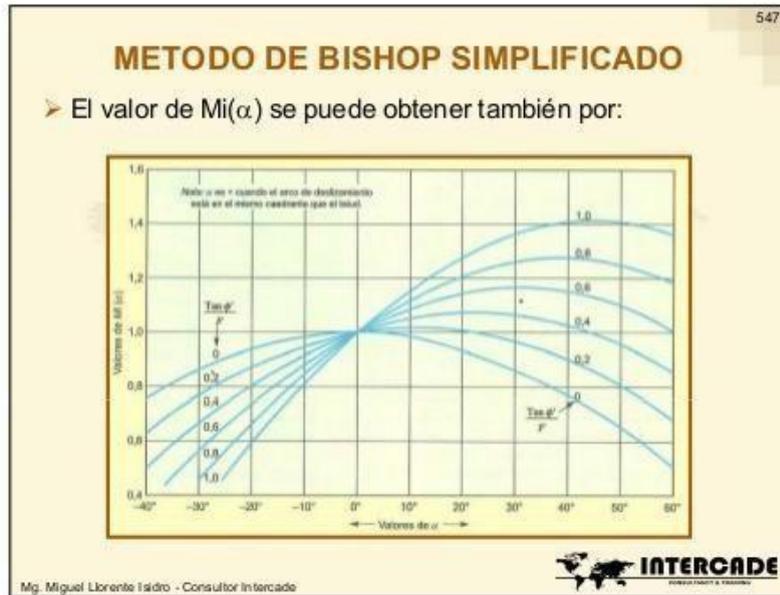
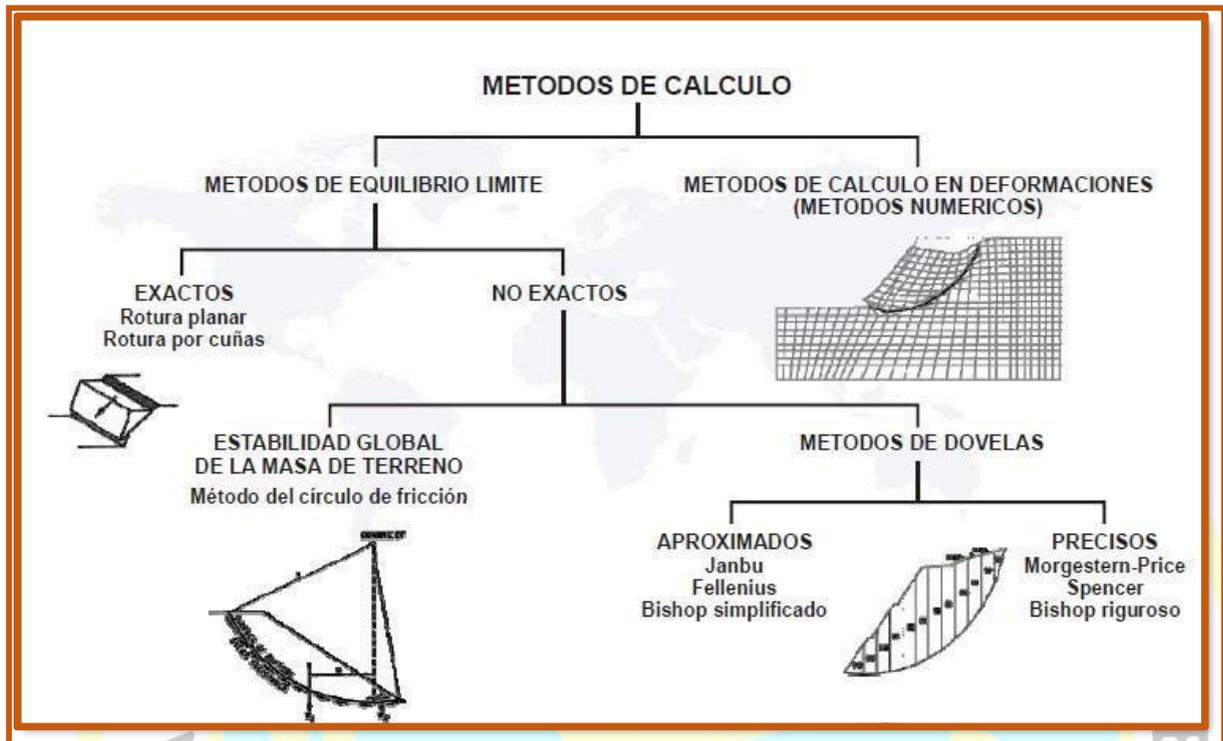


Figura 9. Clasificación general de los métodos de cálculo de estabilidad

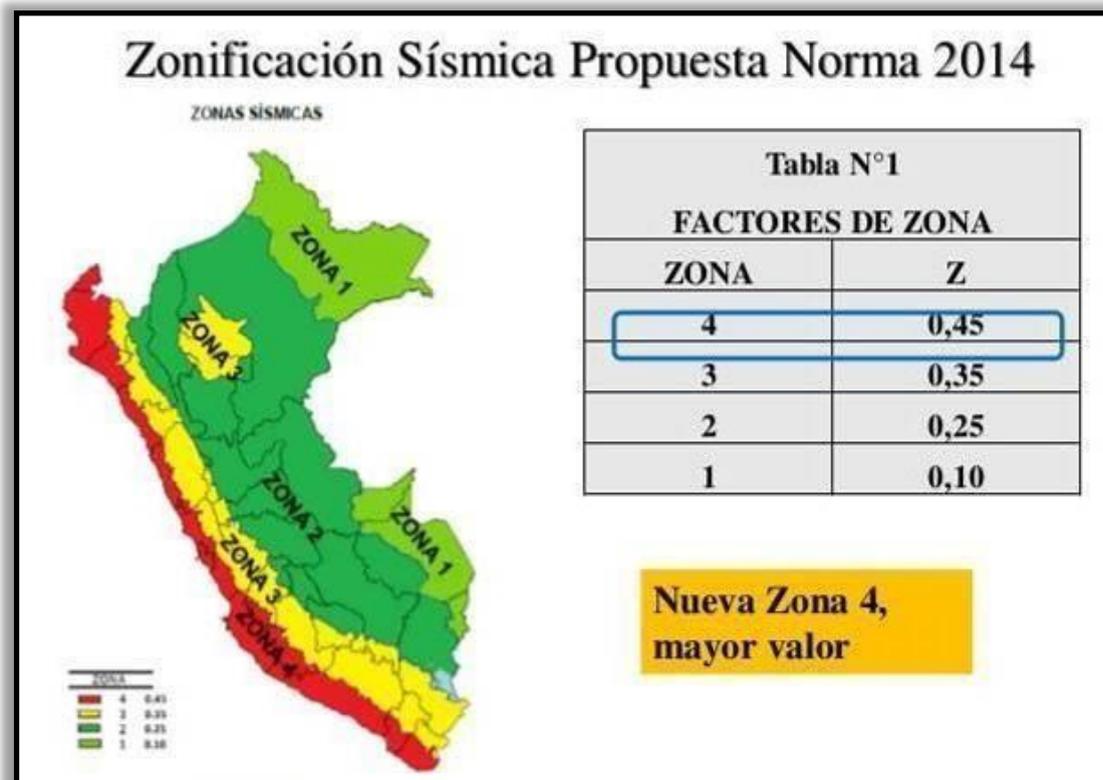


Nota: Análisis de estabilidad física del depósito de relave N° 5 de la minera Titán del Perú

ESTUDIO DE SUELO

Realizada por SINGERS SAC para Huaccachi Transformaciones Especiales, para relave N°3. Planta beneficio MVC 2011-II. Sayán-Lima. 2017.

Figura 10 Zonificación sísmica Propuesta. Norma 2014



Nota: Zonificación sísmica, propuesta. Norma 2014

Parámetros de Diseño Sismo Resistente

De acuerdo al reglamento nacional de construcciones y a la Norma Técnica de edificación E=030-Diseño Sismo resistente, se deberá tomar los siguientes valores:

- (a) Factor de Zona _____ $Z = 0.45$ (*)
- (b) Condiciones Geotécnicas: El suelo investigado, pertenece al perfil Tipo S2, que corresponde a un suelo intermedio
- (c) Periodo de Vibración del Suelo _____ $T_p = 0.6$, $T_L = 2.0$
- (d) Factor de Suelo _____ $S = 1.0$

(e) Factor de Amplificación Sísmica (C)

Se calculará en base a las siguientes expresiones:

$$T < T_p$$

$$C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L$$

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L$$

$$C = 2.5 \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$$

Para T : Factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración del suelo

(f) Categoría de la Edificación _____ C

(g) Factor de Uso _____ U = 1.0

(h) Para cada una de las direcciones horizontales por analizar se utilizará la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{Z * U * S * C}{R} * g$$

Donde:

S_a = Espectro de pseudo aceleraciones

Z = Factor de zona

U = Factor de uso

S = Factor de amplificación del suelo

C = Factor de amplificación sísmica

R = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

g = Aceleración de la gravedad

'El área en estudio, corresponde a la zona 4, el factor de zona se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Calicatas

Tabla 12. Relación de calicatas realizadas en el suelo de relave N° 3

| Muestra | Profundidad | W% Humedad |
|---------|-------------|------------|
| C-1 M-1 | 0.00 – 3.00 | 4.71 |
| C-2 M-1 | 0.00 – 3.00 | 6.11 |
| C-3 M-2 | 0.40 – 3.00 | 6.26 |
| C-4 M-1 | 0.00 – 3.00 | 8.81 |
| C-5 M-1 | 0.00 – 3.00 | 4.35 |
| C-6 M-1 | 0.40 – 3.00 | 3.65 |

Tabla 13. Análisis granulométrico por tamizado ASTM-D-422

| Muestra | Profundidad | % grava | % arena | % finos |
|---------|-------------|---------|---------|---------|
| C-1 M-1 | 0.00 – 3.00 | 4.69 | 78.91 | 16.40 |
| C-2 M-1 | 0.00 – 3.00 | 0.53 | 99.43 | 0.04 |
| C-3 M-2 | 0.40 – 3.00 | 0.59 | 99.31 | 0.10 |
| C-4 M-1 | 0.00 – 3.00 | 4.07 | 71.76 | 24.17 |
| C-5 M-1 | 0.00 – 3.00 | 6.03 | 74.51 | 19.46 |
| C-6 M-1 | 0.40 – 3.00 | 2.11 | 71.99 | 25.90 |

Límites de consistencia

Tabla 14. Límite de consistencia en el suelo de relave N°3

| Muestra | Profundidad | LL (%) | LP (%) | IP (%) |
|---------|-------------|--------|--------|--------|
| C-1 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | NP | NP |
| C-2 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | NP | NP |
| C-3 M-2 | 0.40 – 3.00 | NP | NP | NP |
| C-4 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | NP | NP |
| C-5 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | NP | NP |
| C-6 M-1 | 0.40 – 3.00 | NP | NP | NP |

(Límite líquido ASTM-D423. Límite plástico ASTM D-424)

Clasificación de los suelos

Tabla 15. Clasificación de suelos en relave N° 3

| Muestra | Profundidad | Índ. Plást. | SUCS |
|---------|-------------|-------------|------|
| C-1 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | SM |
| C-2 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | SM |
| C-3 M-2 | 0.40 – 3.00 | NP | SM |
| C-4 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | SM |
| C-5 M-1 | 0.00 – 3.00 | NP | SM |
| C-6 M-1 | 0.40 – 3.00 | NP | SM |

Descripción de los materiales por excavabilidad

Tabla 16. Descripción de los materiales por excavabilidad

| Puntos de observación | % material aproximado | | |
|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------|
| | Suelo | Roca Suelta | Roca fija |
| C-1 M-1 | 100 | 0 | 0 |
| C-2 M-1 | 100 | 0 | 0 |
| C-3 M-2 | 100 | 0 | 0 |
| C-4 M-1 | 100 | 0 | 0 |
| C-5 M-1 | 100 | 0 | 0 |
| C-6 M-1 | 100 | 0 | 0 |

Agresión al suelo de relave

La poza de relave N° 3, estará cubierta por una geomembrana de 0.7 mm espesor y que cumple con las normas de seguridad. La resistencia química obtenido en las muestras que arrojan las calicatas realizadas, se ha seleccionado las representativas y son:

- Una concentración de Cloruros promedio, de 280.00 ppm., Menor que 1,000.0 ppm., indica que en presencia de agua, no va a ocasionar problemas de corrección al armado y colocación de la geomembrana.
- Una concentración de Sulfatos promedio, de 155.00 ppm., Menor que 1,000.0 ppm., indica que no ocasionará un ataque químico a la geomembrana HDPE
- La presencia de **Sales Solubles Totales** es de 1000.00 ppm., y se encuentra por debajo de 1,500.0 ppm. Lo que indica que no ocasionará problemas de pérdida de resistencia Mecánica por problemas de lixiviación (lavado de sales).

Se concluye que el estrato de suelo que forma parte del contorno donde irá plantada la cimentación contiene concentraciones despreciables de sales solubles totales, sulfatos y cloruros, que no podrán afectar a la geomembrana HDPE.

Tabla 17. Cuadro Comparativo de Resultados (sulfatos, cloruros, sales)

| ELEMENTO QUIMICO | PARAMETROS | RESULTADO DEL ENSAYO | GRADO DE AGRESIVIDAD |
|------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|
| SULFATOS | 0 – 1,000.0 ppm | 155.00 ppm | NO PERJUDICIAL |
| CLORUROS | 0 – 1,000.0 ppm | 280.00 ppm | NO PERJUDICIAL |
| SALES SOLUBLES TOTALES | 0 – 1,500.0 ppm | 1000.00 ppm | NO PERJUDICIAL |

Nota: Laboratorio SINGERS

Cálculo y análisis de la Capacidad Portante Admisible

En base a las características del subsuelo, en base a la fórmula Terzaghi y Peck con los parámetros de Vesic

- De acuerdo al informe del Laboratorio de Suelo del ensayo de Corte Directo en la Calicata C-3, se ha obtenido los siguientes valores, de ángulo de fricción interna: $\phi = 26.8^\circ$, y cohesión $C = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

$$q_{ult} = Sc * C * Nc + \frac{1}{2} * Sy * \gamma * B * Ny + Sq * \gamma * Df * Nq$$

$$q_{ad} = \frac{q_{ult}}{FS}$$

Donde:

- q ult = Capacidad ultima de carga
- q ad = Capacidad admisible de carga
- FS = Factor de seguridad =3
- γ = Densidad del Suelo Natural
- γ_s = Densidad del suelo seco
- B = Ancho de Cimentación
- Df = Profundidad de Cimentación
- Nq, Ny, Nc = Factores de capacidad de carga
- Sq, Sy, Sc = Factores de forma

Cálculo de Asentamiento Elástico

En los análisis de cimentación por presión admisible, se distingue un asentamiento tolerable por los relaves

Los asentamientos por consolidación pueden determinarse por medio de la siguiente relación:

$$\delta = \frac{q_s * B * (1 - \mu^2) * Ip}{Es}$$

Donde:

- δ = Asentamiento (cm)
- q_s = Capacidad portante (Kg/cm²)
- B = Ancho menor de la cimentación (cm)
- μ = Relación de Poisson
- Es = Módulo de Elasticidad (Kg/cm²)
- Ip = Factor de influencia, que depende de la forma y la rigidez de la Cimentación (Bowles 1977).

Donde:

Como se puede observar en la hoja de cálculo adjunta, el valor para los cimientos corridos, cuadrados y rectangulares cambia de acuerdo a las diferentes profundidades de la cimentación como se muestra en la tabla de cálculo más completa.

Resumen de las condiciones de cimentación

Tipo de Cimentación:

Cimentación Corrida con acumulación de relave minero,

Estrato de Apoyo de la Cimentación:

SM - ARENA LIMOSA

Agresividad del Suelo a la Cimentación:

NO DESPRESIABLE.





Figura 11. Panel Fotográfico (Calicata 1 – 2)

Foto N° 01 - Calicata C-1

VISTA A CIELO ABIERTO DE LA CALICATA C-1 PARA LA HABILITACION DE RELAVES MINEROS, PLANTA DE TRATAMIENTO MVC-2011.II EN EL DISTRITO DE SAYÁN, COMUNIDAD DE CHAMBARA



Foto N° 02 - Calicata C-2

VISTA A CIELO ABIERTO DE LA CALICATA C-2 DEL PROYECTO ESTUDIO DE SUELOS PARA LA HABILITACION DE RELAVE MINERO, PLANTA DE TRATAMIENTO MVC-2011-II, DISTRITO DE SAYÁN, COMUNIDAD DE CHAMBARA.



Figura 12. Panel Fotográfico (Calicata 3, 4 y 5)

Foto N° 03 - Calicata C-3

VISTA A CIELO ABIERTO DE LA CALICATA C-3 DEL PROYECTO ESTUDIO DE SUELOS PARA LA HABILITACION DE RELAVE MINERO PLANTA DE TRATAMIENTO MVC-2011-II. DISTRITO DE SAYÁN COMUNIDAD DE CHAMBARA.



Foto N° 04 - Calicata C-4.

VISTA PANORAMICA DE LA CALICATA C-4 DEL PROYECTO ESTUDIO DE SUELOS PARA LA HABILITACION DE RELAVE MINERO, PLANTA DE TRATAMIENTO MVC-2011-II, DISTRITO DE SAYÁN, COMUNIDAD DE CHAMBARA.



Foto N° 05 - Calicata C-5.

VISTA A CIELO ABIERTO DE LA CALICATA C-5 DEL PROYECTO ESTUDIO DE SUELOS PARA LA HABILITACION DE RELAVE MINERO, PLANTA DE TRATAMIENTO MVC-2011-II, DISTRITO SAYÁN, COMUNIDAD DE CHAMBARA.



Foto N° 6 - Calicata C- 6.

VISTA A CIELO ABIERTO DE
LA CALICATA C-6 DEL PROYECTO
ESTUDIO DE SUELOS
PARA LA HABILITACION DE RELAVE
MINERO, PLANTA DE TRATAMIENTO
MVC.2011-II, DISTRITO DE SAYÁN,
COMUNIDAD DE CHAMBARA.



Figura 13. Panel Fotográfico (Calicata 6)

Foto N° 7 - Calicata C-6

VISTA A CIELO ABIERTO DE LA
CALICATA C-6 DEL PROYECTO
ESTUDIO DE SUELOS PARA LA
HABILITACION DE RELAVE
MINERO, PLANTA DE
TRATAMIENTO MVC-2011-II,
DISTRITO SAYÁN
COMUNIDAD DE CHAMBARA



**RESUMEN DE UNA DE LAS MUESTRA TOMADA PARA
ESTUDIO DE HABILITACIÓN DE SUELO PARA RELAVE N°3**

Tabla 18. Resumen de muestra-habilitación de suelos para relave N°3

| REGISTRO DE EXCAVACION | | | | | | |
|------------------------|----------------------------|--|--|----------------|-------|--|
| PROYECTO : | | ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACION DE RELAVES MINEROPLANTA, TRATAMIENTO ANTI-DESILT | | | | |
| UBICACION : | | COMPLEJO DE CHARRARA, MUNICIPIO SANTA ELIVIRA, CANTON SANAN, PROVINCIA HUARLA - LIMA | | | | |
| | | FECHA: | | 24/01/2018 | | |
| CALCATA | PROF (m) | PROF (m) M.F. | UBICACION | ESTRUCTURA | | |
| C-04 | 0.00 | 0.00 | LEONARDO CAMARGO HUARALA | PILA DE RELAVE | | |
| Profundidad (m) | Tipo de Excavacion | Muestra | Descripción | Clasificación | | |
| | | | | USCS | AHMO | |
| 0.40 | EXCAVACION A CIELO ABIERTO | M-01 | Suelo orgánico con presencia de arena. | | | |
| 3.00 | EXCAVACION A CIELO ABIERTO | M-02 | SUELO INORGANICO | SP | A-1-b | |


**ROLY ROBERTH
LEIVA GONZALES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 201380**





Tabla 19. Contenido de humedad por tamizado (ASTM D2216)

| CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216) | | | | | |
|--|-----|--|--------|--------|--------|
| PROYECTO : ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACION DE RELAVE MINERO, PLANTA TRATAMIENTO MVC.2011.II UBICACIÓN : COMUNIDAD DE CHAMBARA, ANEXO SANTA ELVIRA, DISTRITO SAYÁN, PROVINCIA HUAURA-LIMA. FECHA: 15/01/2018 | | | | | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | | |
| CALICATA : C-01 MUESTRA : M-1 PROF. (m) : 0.00-3.00 | | | | | |
| N° Latas | | | L-52 | L-44 | L-49 |
| Peso de Lata + Suelo Húmedo | (g) | | 306.80 | 383.80 | 372.70 |
| Peso de Lata + Suelo Seco | (g) | | 295.00 | 369.00 | 360.00 |
| Peso del Agua | (g) | | 11.80 | 14.80 | 12.70 |
| Peso del Lata | (g) | | 57.20 | 62.50 | 67.60 |
| Peso de Suelo Seco | (g) | | 237.80 | 306.50 | 292.40 |
| Humedad | (%) | | 4.96% | 4.83% | 4.34% |
| CONTENIDO DE HUMEDAD: | | | 4.71% | | |




 ROLY ROBERTH
 LEIVA GONZALES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 201380





Tabla 20. Análisis granulométrico por tamizado (MTC E-107)

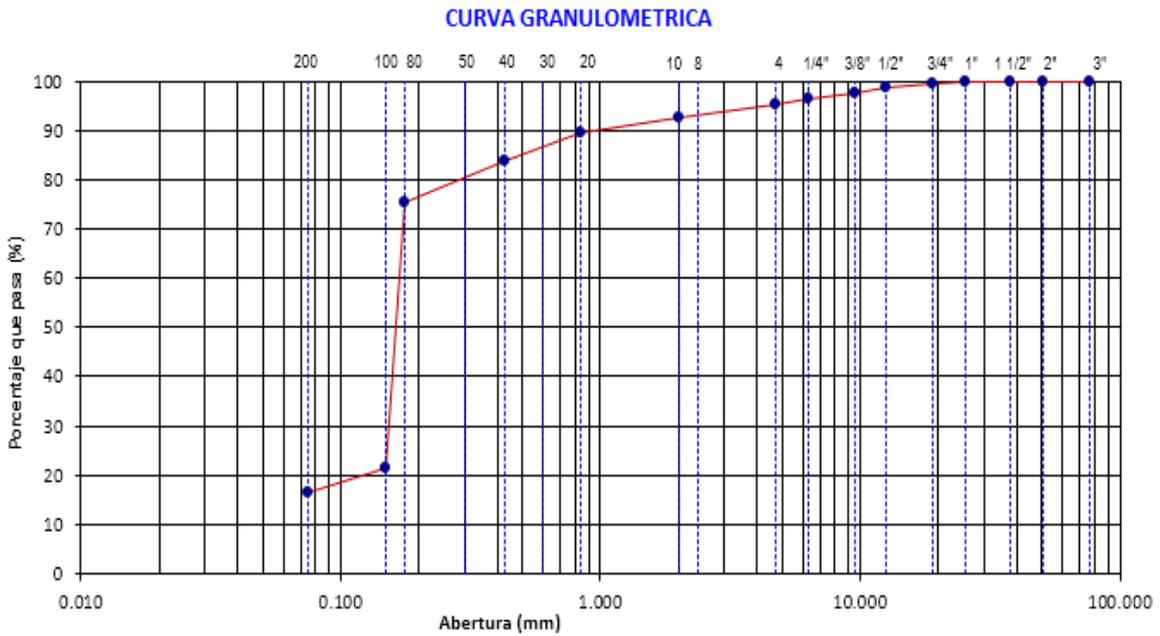
| ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (MTC E-107) | | | | | | |
|--|--|---------------|---------------------|--------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| PROYECTO | ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACION DE RELAYE MINERO, PLANTA TRATAMIENTO MVC.2011.II | | | | | |
| UBICACIÓN | COMUNIDAD DE CHAMBARA, ANEXO SANTA ELVIRA, DISTRITO SAYÁN, PROVINCIA HUAURA- LIMA. | | | | | |
| | | | | | FECHA: | 15/01/2018 |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | | | |
| CALICATA | C-01 | | | | Tamaño máximo | : 5.4mm |
| MUESTRA | M-1 | | | | Peso de la muestra secada al aire (W) | : 5259 g |
| PROF. (m) | 0.00-3.00 | | | | Peso de la muestra lavada y secada al | : 4518 g |
| TAMIZ | AASHTO T-27 (mm) | PESO RETENIDO | PORCENTAJE RETENIDO | RETENIDO ACUMULADO | PORCENTAJE AJE QUE PASA | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
| | | | | | | OBSERVACIONES |
| 3" | 76.200 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | |
| 2" | 50.800 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | Tamaño Máximo: 1" |
| 1 1/2" | 38.100 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | Grava 3" - N° 4: 4.63% |
| 1" | 25.400 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 100.0 | Arena N° 4 - N° 200: 78.91% |
| 3/4" | 19.000 | 28.00 | 0.6 | 0.6 | 99.4 | Finos < N° 200: 16.40% |
| 1/2" | 12.500 | 35.00 | 0.8 | 1.4 | 98.6 | |
| 3/8" | 9.500 | 45.00 | 1.0 | 2.4 | 97.6 | |
| 1/4" | 6.350 | 48.00 | 1.1 | 3.5 | 96.5 | |
| N° 4 | 4.760 | 56.00 | 1.2 | 4.7 | 95.3 | |
| N° 10 | 2.000 | 125.00 | 2.8 | 7.5 | 92.5 | |
| N° 20 | 0.840 | 142.00 | 3.1 | 10.6 | 89.4 | |
| N° 40 | 0.425 | 258.00 | 5.7 | 16.3 | 83.7 | |
| N° 60 | 0.177 | 370.00 | 8.2 | 24.5 | 75.5 | |
| N° 100 | 0.150 | 2446.00 | 54.1 | 78.6 | 21.4 | |
| N° 200 | 0.075 | 224.00 | 5.0 | 83.6 | 16.4 | |


 ROLY ROBERT
 LEIVA GONZALES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 201360





Gráfico 1. Curva Granulométrica (% que pasa vs mm)




ROLY ROBERTH
LEIVA GONZALES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 201380





Tabla 21. Sistema de clasificación de suelos (ASTM D 2487)

| SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELO SUCS (ASTM D 2487) | | | |
|--|---|------------------------|-------------------|
| PROYECTO | ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACION DE RELAVE MINERO, PLANTA TRATAMIENTO MVC. 2011.II | | |
| UBICACIÓN | COMUNIDAD DE CHAMBARA, ANEXO SANTA ELVIRA, DISTRITO SAYÁN, PROVINCIA HUAURA-LIMA. | | |
| | | FECHA: | 16/01/2018 |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | |
| CALICATA : | C-01 | | |
| MUESTRA : | M-2 | | |
| PROF. (m) : | 0.00-3.00 | | |
| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA | | OBSERVACIONES : | |
| Contenido de Humedad (%): | 4.71% | Bolonería > 3": | 0 |
| Límite Líquido (LL): | NP | Grava 3" - N° 4: | 4.69% |
| Límite Plástico (LP): | NP | Arena N° 4 - N° 200: | 78.91% |
| Índice Plástico (IP): | NP | Finos < N° 200: | 16.40% |
| SÍMBOLO DE GRUPO | SM | | |
| NOMBRE DE GRUPO | ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS | | |

HUACHO

[Firma]
 ROLY ROBERTH
 LEIVA GONZALES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 201360





Tabla 22. Ensayo químico de suelo, depósito del relave N° 3

| ENSAYO QUÍMICO DEL SUELO | | | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|------------|--|--------|------------|--|
| PROYECTO : | ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACION DE RELAVE MINERO, PLANTA TRATAMIENTO MVC.2011.II | | | | | | | | |
| UBICACIÓN : | COMUNIDAD DE CHAMBARA, ANEXO SANTA ELVIRA, DISTRITO SAYÁN, PROVINCIA HUAURA- LIMA. | | | | | | | | |
| | | | | | | | FECHA: | 15/01/2018 | |
| DATOS DE LA MUESTRA | | | | | | | | | |
| CALICATA : | C-01 | | | | | | | | |
| MUESTRA : | M-1 | | | | | | | | |
| PROF. (m) : | 0.00-3.00 | | | | | | | | |
| SUSTANCIA | | | | | CONTENIDO | | | | |
| SALES SOLUBLES TOTALES | | | | | 1000.0 ppm | | | | |
| SULFATOS | | | | | 155.0 ppm | | | | |
| CLORUROS | | | | | 280.0 ppm | | | | |
| OBSERVACIÓN : Muestra provista e identificada por el solicitante | | | | | | | | | |



[Handwritten Signature]
 ROLY ROBERTH
 LEIVA GONZALES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 201380





Tabla 23. Ensayo de corte directo mínimo, estudio de suelos, relave N° 3

N / / ,

| | | | |
|------------------------------------|--|-------------------|-------------------------|
| UBICACIÓN : | COMUNIDAD DE CHAMBARA, ANEXO SANTA ELVIRA, DISTRITO SAYÁN , PROVINCIA HUAURA- LIMA. | FECHA: | 18/01/2018 |
| MUESTRA: | M-1 | | |
| PESO ANILLO - SUELO HUMEDO: | 671.00 g | | |
| PESO ANILLO - SUELO SECO: | 635.00 g | DIÁMETRO: | 6.05 cm |
| PESO AGUA: | 36.00 g | ÁREA: | 28.75 cm ² |
| PESO ANILLO: | 138.50 g | ALTURA: | 1.10 cm |
| PESO SUELO SECO: | | VOLUMEN: | 31.62 cm ³ |
| CONTENIDO DE HUMEDAD: | 6.26 % | D. HÚMEDA: | 1.796 g/cm ³ |
| ESFUERZO NORMAL: | 0.50 kg/cm ² | D. SECA: | 1.654 g/cm ³ |

| Tiempo Transcurrido | Extensometro Horizontal | Extensometro Tangencial | Fuerza Cortante (kg) | Esfuerzo de Corte (kg/cm ²) |
|---------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|---|
| 30" | 26.8 | 0.030 | 0.0000 | 0.000 |
| 1:00" | 36.2 | 0.045 | 2.4562 | 0.085 |
| 30" | 42.2 | 0.057 | 2.8415 | 0.099 |
| 2:00" | 46.6 | 0.061 | 3.1254 | 0.109 |
| 30" | 49.6 | 0.076 | 3.8456 | 0.134 |
| 3:00" | 53.1 | 0.085 | 4.0156 | 0.140 |
| 30" | 55.3 | 0.092 | 4.9875 | 0.173 |
| 4:00" | 57.2 | 0.100 | 5.0147 | 0.174 |
| 30" | 59.2 | 0.110 | 5.9423 | 0.207 |
| 5:00" | 61.9 | 0.125 | 6.5423 | 0.228 |
| 30" | 63 | 0.137 | 6.9632 | 0.242 |
| 6:00" | 65.1 | 0.159 | 7.2607 | 0.253 |
| 30" | 66.4 | 0.200 | 7.2015 | 0.251 |




ROLY ROBERTH LEIVA GONZALES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 201380



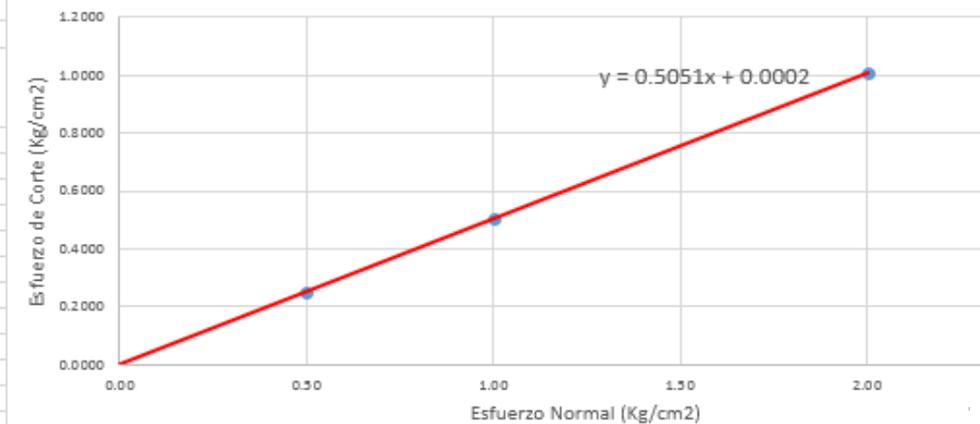


Gráfico 2. Ensayo de corte directo, para habilitación de relave N°3

| ENSAYO DE CORTE DIRECTO | | | | |
|-----------------------------|--|--|------------|-------------------------|
| PROYECTO : | ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACIÓN DE RELAYE MINERO, PLANTA | | | |
| UBICACIÓN : | COMUNIDAD DE CHAMBARA, ANEXO SANTA ELYIRA, DISTRITO SAYÁN, PROVINCIA HUAURA- LIMA. | | FECHA: | 18/01/2018 |
| MUESTRA: | M-3 | | | |
| PESO ANILLO - SUELO HUMEDO: | 871.00 g | | DIÁMETRO: | 6.05 cm |
| PESO ANILLO - SUELO SECO: | 655.00 g | | ÁREA: | 28.75 cm ² |
| PESO AGUA: | 26.00 g | | ALTURA: | 1.10 cm |
| PESO ANILLO: | 155.50 g | | VOLUMEN: | 51.62 cm ³ |
| PESO SUELO SECO: | | | D. HÚMEDA: | 1.796 g/cm ³ |
| CONTENIDO DE HUMEDAD: | 6.26 % | | D. SECA: | 1.654 g/cm ³ |
| ESFUERZO NORMAL: | 2.00 kg/cm ² | | | |

| Tiempo Transcurrido | Dilatación Horizontal | Dilatación Tangencial | Fuerza Cortante (kg) | Esfuerzo de Corte (kg/cm ²) |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---|
| 30" | 26.3 | 0.020 | 0.0000 | 0.000 |
| 1:00" | 36.2 | 0.045 | 2.1456 | 0.075 |
| 2:00" | 42.2 | 0.057 | 4.3215 | 0.150 |
| 3:00" | 46.6 | 0.061 | 6.6543 | 0.251 |
| 4:00" | 49.6 | 0.076 | 8.5546 | 0.291 |
| 5:00" | 53.1 | 0.085 | 11.5210 | 0.394 |
| 6:00" | 55.3 | 0.092 | 15.2950 | 0.462 |
| 7:00" | 57.2 | 0.100 | 19.5219 | 0.555 |
| 8:00" | 59.2 | 0.110 | 25.5266 | 0.656 |
| 9:00" | 61.9 | 0.125 | 30.5219 | 0.707 |
| 10:00" | 65 | 0.137 | 32.5218 | 0.776 |
| 11:00" | 65.1 | 0.159 | 24.9513 | 0.858 |
| 12:00" | 66.4 | 0.200 | 25.1456 | 0.875 |
| 13:00" | 67 | 0.215 | 26.5126 | 0.915 |
| 14:00" | 67.6 | 0.255 | 27.9565 | 0.974 |
| 15:00" | 67.9 | 0.300 | 28.4896 | 0.991 |
| 16:00" | 67.9 | 0.350 | 29.0429 | 1.010 |
| 17:00" | 67.9 | 0.359 | 25.7892 | 1.001 |

Esfuerzo Normal vs. Esfuerzo de Corte



| ESPECIMEN | I | II | III |
|---|--------|--------|--------|
| Presión Normal (kg/cm ²) | 0.50 | 1.00 | 2.00 |
| Esfuerzo de Corte (kg/cm ²) | 0.2526 | 0.5055 | 1.0103 |
| Humedad(%) | 6.6 | 6.6 | 6.6 |
| Densidad Húmeda (g/cm ²) | 1.8 | 1.8 | 1.8 |

[Signature]
ROLY ROBERTH LEIVA GONZALES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 201380





Tabla 24. Cálculo de asentamiento, estudio de suelo, relave N° 3

| CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS | |
|--------------------------|---|
| PROYECTO : | ESTUDIO DE SUELOS PARA HABILITACION DE RELAVE MINERO, PLANTA TRATAMIENTO MVC.2011.II |
| UBICACIÓN : | COMUNIDAD DE CHAMBARA, ANEXO SANTA ELVIRA, DISTRITO SAYÁN, PROVINCIA HUAURA- LIMA. FECHA: 19/01/2018 |

$$\delta = \frac{q_s * B * (1 - \mu^2) * I_p}{E_s}$$

| | | | | | |
|------|------|-----------------------|------|-------|-----------------------|
| qs = | 1.75 | [kg/cm ²] | lp = | 0.561 | |
| B = | 100 | [cm] | Es = | 200 | [kg/cm ²] |
| μ = | 0.35 | | | | |

LEYENDA

qs = Capacidad Portante
B = Ancho menor de la cimentación
μ = Módulo de Poisson
lp = Factor de Influencia
Es = Módulo de Elasticidad

$$\delta = 0.431 \text{ [cm]}$$
$$\delta = 4.31 \text{ [mm]}$$


ROLY ROBERTH
LEIVA GONZALES
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 201380





**UNIVERSIDAD NACIONAL
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

ESCUELA DE POST GRADO

DATOS:

Sexo: Masculino Femenino

Lista de cotejos que serán llenados mediante las siguientes preguntas:

Leyenda

| MUY EN DESACUERDO | EN DESACUERDO | NI EN DESACUERDO NI DE ACUERDO | DE ACUERDO | TOTALMENTE DE ACUERDO |
|----------------------|------------------|---|------------|-----------------------------|
| (MD) | (ED) | (NAD) | (DA) | (TA) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| N° | ITEMS | ESCALA | | | | |
|----|---|--------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| V1 | EVALUACIÓN DE RELAVE MINERO | | | | | |
| 1 | ¿Se debe realizar un análisis de estabilidad estática-pseudoestática, para un depósito de relaves? | | | | | |
| 2 | ¿Es importante realizar las estructuras de contención y drenaje que ayuden a asegurar la estabilidad física de un depósito de relave? | | | | | |
| 3 | ¿Está de acuerdo que una empresa minera se instale cerca a una población? | | | | | |
| 4 | ¿Las empresas mineras deberán destinar parte de sus recursos para mejorar el dique de contención de una relavera? | | | | | |
| 5 | ¿La evaluación de un relave minero se debe iniciar con las pruebas de ensayo en el laboratorio? | | | | | |
| 6 | ¿Es válido ejecutar evaluaciones de un relave minero durante sus operaciones en la planta de beneficio? | | | | | |
| 7 | ¿Es importante conocer las características de los relaves a disponer en el vaso de depósito de relave? | | | | | |
| 8 | ¿Se podrán recuperar los relaves en pulpa que escapan de su depósito final? | | | | | |
| 9 | ¿Se debe incluir temas como evaluación de relave minero en las instituciones de estudios superiores? | | | | | |
| 10 | ¿Se debe verificar el coeficiente de aceleración para el estudio de peligro sísmico? | | | | | |
| 11 | ¿Existe la construcción del dique de arranque para la etapa cero? | | | | | |
| V2 | TRATAMIENTO EN LA PLANTA DE BENEFICIO | | | | | |
| 12 | ¿Para la ampliación de una planta de beneficio se debe aplicar el método de recrecimiento del dique de contención? | | | | | |

| | | | | | | |
|----|---|--|--|--|--|--|
| 13 | ¿Molesta que algunas empresas mineras boten relaves a los ríos? | | | | | |
| 14 | ¿Un mal tratamiento de relaves en una planta de beneficio afecta económicamente a la empresa minera? | | | | | |
| 15 | ¿Está de acuerdo con el reciclaje de relave minero en la fabricación de ladrillos de construcción? | | | | | |
| 16 | ¿En el tratamiento de los minerales en una planta de beneficio, es importante utilizar material a préstamo para asegurar su dique contención? | | | | | |
| 17 | ¿Está de acuerdo que durante operaciones planta de beneficio fiscalicen autoridades de la comunidad cercana? | | | | | |
| 18 | ¿Durante el tratamiento en la planta de beneficio se debe tomar muestras de relave final para ser evaluados? | | | | | |
| 19 | ¿La licuefacción se produce cuando sus poros se debilitan? | | | | | |
| 20 | ¿Es importante tener el espejo de agua en una relavera? | | | | | |
| 21 | ¿El método de depositar relaves aguas arriba es más segura que la de aguas abajo? | | | | | |



Edwin Guillermo Gálvez Torres
ASESOR

José Vicente Nunja García
PRESIDENTE

Fredesvindo Fernández Herrera
SECRETARIO

Juan Manuel Ipanaque Roña
VOCAL

