UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS:

"INVESTIGACIÓN Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD FÍSICA DEL DEPÓSITO DE RELAVES CHUSPIC DE LA U.M. HUANZALÁ - 2021"

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. CUEVA MENDOZA, Efrain Ricardo

ASESOR:

Dr. Ing. TORRES YUPANQUI, Luis Alberto

HUARAZ - PERÚ

2022

FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

1. Datos del autor:

Apellidos y Nombres: CUEVA MENDOZA EFRAIN RICARDO

Código de alumno: 131.0204.580 Teléfono: 988952975

E-mail: efrain_cm23@hotmail.com D.N.I. n°: 70264831

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Tipo de trabajo de investigación:

- (●) Tesis
- ( ) Trabajo de Suficiencia Profesional
- ( ) Trabajo Académico
- ( ) Trabajo de Investigación
- ( ) Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

3. Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

4. Título del trabajo de investigación:

"INVESTIGACION Y CARACTERIZACION GEOTECNICA PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES CHUSPIC DE LA U.M. HUANZALA - 2021"

5. Facultad de: Ingeniería de Minas, Geología y Metalúrgia

6. Escuela o Carrera: Ingeniería de Minas

7. Línea de Investigación(*): Innovación Tecnológica

8. Sub-línea de Investigación(*): Gestión y Explotación Minerar

(*)Según resolución de aprobación del proyecto de tesis

9. Asesor:

Apellidos y nombres Dr. Torres Yupanqui Luis Alberto D.N.I n°: 08085204

E-mail: latorresy@gmail.com ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9128-9679

10. Referencia bibliográfica: Tesis en formato APA

11. Tipo de acceso al Documento:

- (●) Acceso público* al contenido completo.
- ( ) Acceso restringido** al contenido completo

Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

12. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

_____

Firma del autor

13. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

……

14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz, 15/08/2022

Firma: _____

Varillas Wiliam Eduardo
Asistente en Informática y Sistemas
- UNASAM -

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las Once horas con cero minutos de la mañana (11:00 a.m.) del día Quince de Agosto del dos mil Veintidos (15/08/22), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 114-2022-FIMGM/D, de fecha 02 de Junio del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. Ing. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES, como Presidente; M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME, como Secretario y el Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Titulado: **"INVESTIGACION Y CARACTERIZACION GEOTECNICA PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES CHUSPIC DE LA U.M. HUANZALA - 2021", presentado por el Bachiller EFRAIN RICARDO CUEVA MENDOZA,** para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 114-2022-FIMGM/D de fecha 02 de Junio del 2022. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditórium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO:** ***APROBAR*** **CON EL CALIFICATIVO** (*)de: **DIECISIETE** ***(17). Aprobado con Distinción.*** *Siendo las Doce horas y Cero minutos (12:00) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.*

En consecuencia, queda en condición de ser calificado ***APTO*** *por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de* ***INGENIERO DE MINAS*** *de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.*

Dr. Ing. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES **Presidente**	**M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME** **Secretario**
Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES **Vocal**	**Dr. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI** **Asesor**

(*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA** (19-20), **APROBADO CON DISTINCIÓN** (17-18), **APROBADO** (14-16), **DESAPROBADO** (00-13).

UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y METALURGIA

ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"INVESTIGACION Y CARACTERIZACION GEOTECNICA PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD FISICA DEL DEPOSITO DE RELAVES CHUSPIC DE LA U.M. HUANZALA - 2021"**, presentado por el Bachiller EFRAIN RICARDO CUEVA MENDOZA, , y sustentada el día 15 de Agosto del 2022, por Resolución Decanatural Nº 114-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 15 de Agosto del 2022

Dr. Ing. JAVIER ENRRIQUE SOTELO MONTES
Presidente

M.Sc. Ing. JUAN PELE VILLARREAL SALOME
Secretario

Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES
Vocal

Dr. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI
Asesor

DEDICATORIA

A mi madre:

Clara Mendoza,

A mi Padre:

Antonio Cueva,

Por su gran labor y amor.

A mi tío y hermano:

Jorge Aurelio,

Víctor Raúl,

Por el apoyo incondicional que me brindan cada día.

***Maibrith Minaya**, por su comprensión, amor y aliento de seguir adelante.*

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

AGRADECIMIENTO

Un sincero y cordial agradecimiento a mi alma mater la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayólo” (UNASAM) y a toda la plana docente de la Gloriosa Facultad de Ingeniería de minas. Que me impartieron sus grandes y valiosos conocimientos de la minería para adquirir responsabilidad como profesional dentro de esta gran carrera.

También un sincero agradecimiento a la empresa Santa Luisa S.A. – Unidad Huanzala por haberme dado la oportunidad de poder realizar este trabajo de investigación.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

RESUMEN

El presente trajo de investigación titulado: “Investigación y caracterización geotécnica para determinar la estabilidad física del Depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021”, tiene como objetivo general el de Realizar la Investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021. La investigación se justifica porque los efectos ambientales de una falla de talud causan efectos directos como indirectos. Hipótesis General planteada es La investigación y caracterización Geotécnica determinara la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021. El Método empleado es el del método de investigación científica y es descriptivo, no experimental. El resultado más importante fue: La Sección de análisis, sección A-A’, la ubicación de la falla es global, el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 2.119 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.327 demostrando que es estable y que no existe riesgo de falla. El resultado más importante fue que Se realizó la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021, determinándose que las gravas y arenas compactas a semi compactas, dispuestas sobre un suelo mejorado en una matriz morrénica; bajo este estrato se encuentra el macizo rocoso ubicado a una profundidad aproximada de 10 a 17 m.

Palabras claves: Investigación y caracterización Geotécnica, determinar la estabilidad física, depósito, Relaves, Chuspic, U.M. Huanzalá, 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ABSTRACT

The present brought about research entitled: "Research and geotechnical characterization to determine the physical stability of the Chuspic Tailings Deposit of the U.M. Huanzalá – 2021", has the general objective of Carrying out the Geotechnical Investigation and characterization to determine the physical stability of the Chuspic Tailings deposit of the U.M. Huanzalá - 2021. The investigation is justified because the environmental effects of a slope failure cause direct and indirect effects. General Hypothesis raised is The investigation and Geotechnical characterization will determine the physical stability of the Chuspic Tailings deposit of the U.M. Huanzalá in the year 2021. The Method used is that of the scientific research method and is descriptive, not experimental. The most important result was: The Analysis section, section A-A', the location of the fault is global, the type of fault is non-circular, the factor of safety (FS) is static (a = 0 g), it is 2.119 and the Pseudo static (a = 0.16 g) is equal to 1.327, showing that it is stable and that there is no risk of failure. The most important result was that the Geotechnical investigation and characterization was carried out to determine the physical stability of the Chuspic Tailings deposit of the U.M. Huanzalá - 2021, determining that the compact to semi-compact gravel and sand, arranged on an improved soil in a moraine matrix; Under this stratum is the rocky massif located at an approximate depth of 10 to 17 m.

Keywords: Geotechnical investigation and characterization, determine physical stability, deposit, Tailings, Chuspic, U.M. Huanzala, 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ii

AGRADECIMIENTO iii

RESUMEN iv

ÍNDICE DE FIGURAS x

ÍNDICE DE TABLAS xi

INTRODUCCIÓN xii

CAPITULO I 1

GENERALIDADES 1

1.1. El Problema 1

1.1.1. Descripción de la realidad problemática 1

1.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema 2

1.1.3. Formulación del problema General 2

1.1.4. Formulación de problemas específicos 2

1.1.5. Objetivos de la investigación 2

1.1.5.1. Objetivo General 2

1.1.5.2. Objetivos Específicos 3

1.1.6. Justificación e importancia 3

1.1.7. Alcances 3

1.1.8. Delimitación de la Investigación 4

1.1.9. Limitación de la Investigación 4

1.2. Hipótesis 4

1.3. Variables 5

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1.3.1. Operacionalización de variables 5

CAPITULO II 7

FUNDAMENTACIÓN 7

2.1. Marco Teórico 7

2.1. Antecedentes de la investigación 7

2.2. Definición de Términos 15

2.3. Fundamentación teórica 22

2.3.1. Investigación y caracterización Geotécnica 23

2.3.2. Conceptos básicos en estabilidad de taludes 28

2.3.3. El factor de seguridad 29

2.3.4. Movimientos de masa 29

2.3.5. Depósitos de relaves 29

2.3.6. Base legal 31

CAPITULO III 42

METODOLOGÍA 42

1.1. Diseño de la investigación 42

1.1.1. Tipo de investigación 42

1.1.2. Nivel de la investigación 42

1.1.3. Método 42

1.1.4. Diseño de la investigación 42

3.4.4. Población y muestra 43

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 44

CAPITULO IV 45

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN 45

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos 45

4.1.1. Ubicación y Accesibilidad 45

4.2. Criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá. 46

4.3. Condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá. 47

4.3.1. Condición Actual del Depósito 48

4.3.2. Topografía 48

4.3.3. Geotecnia 49

4.3.4. Caracterización geotécnica 49

4.3.5. Sismicidad 52

4.4. Estabilidad Física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá. 54

4.4.1. Metodología 54

4.4.2. Sección de Análisis 55

4.4.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Materiales 55

4.4.4. 4.4 Nivel Freático 56

4.4.5. Aceleración Sísmica del Diseño 57

4.4.6. Factores de Seguridad Mínimos Permisibles 58

4.4.7. Resultados del Análisis de Estabilidad 58

4.5. Discusión de resultados 61

4.6. Aportes de la tesista 61

CONCLUSIONES 62

RECOMENDACIONES 64

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 65

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ANEXOS 68

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS 69

ANEXO N° 02: UBICACIÓN DE LA RELAVERA 71

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Terminología usualmente adoptada.....28

Figura 2. Depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021. 46

Figura 3. Estabilidad física actual del depósito de relaves Chuspic, Sección Típica – Análisis Estático – Falla Global.....59

Figura 4. Estabilidad física actual del depósito de relaves Chuspic, Sección Típica – Análisis Estático – Falla Local.....60

Figura 5. Estabilidad física actual del depósito de relaves Chuspic, Sección Típica – Análisis Estático – Falla Local.....60

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables 5

Tabla 2. Acceso a la zona del proyecto 45

Tabla 3. Aceleraciones horizontales máximas (PGA) roca tipo B 53

Tabla 4. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales 56

Tabla 5. Valores mínimos admisibles del factor de seguridad 58

Tabla 6. Factores de seguridad obtenidos – condición actual 58

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

INTRODUCCIÓN

La minería en el Perú en las últimas décadas se ha convertido en un pilar de la economía nacional, ya que por medio de la extracción de los recursos naturales mineros se aporta en el PBI y su rol social es muy fuerte ya que requiere de manos de obra especializada y no especializada en forma directa e indirecta, además de intervenir en zonas inhóspitas y/o desérticas. La Compañía Minera Santa Luisa S.A. (CMSL) es una empresa dedicada a la actividad minera, actualmente opera la Unidad Minera Huanzalá, la cual extrae y produce concentrados de mineral de Zinc, Plomo y Cobre. Durante el proceso la Planta Concentradora genera residuos (relaves), los cuales son almacenados en pulpa en el depósito de relaves Chuspic. En base al primer recrecimiento de un sistema de monitoreo geotécnico para controlar la estabilidad física de relaves Chuspic, con la evaluación de parámetros como desplazamientos superficiales, deformaciones en la estructura interna del dique de contención de la presa de relaves y análisis del comportamiento del nivel freático. Los residuos generados y/o producidos en la unidad minera como ganga, desmonte, relaves, lixiviados, aguas ácidas, escorias, entre otros serán, según el caso, almacenados, encapsulados o dispuestos en lugares diseñados para tal efecto hasta su disposición final, asegurando la estabilidad física y química de dichos lugares, a fin de garantizar la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores. Es necesario realizar las investigaciones y caracterizaciones Geotécnicas, para garantizar la estabilidad de taludes, enfatizando no sólo las condiciones de la etapa operativa sino también las posteriores al cierre, siempre controlado la elevación del nivel de espejo de agua de los relaves por aportes de agua de lluvias persistentes o por obstrucción de las tuberías de evacuación, también por la infiltración de agua de lluvia, la presencia de relaves finos en la conformación del dique principal, por operación inadecuada del depósito (mal manejo del vertimiento), provocando que el espejo de agua se aproxime al dique principal, también por la presencia de mantos de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

relave fino que provoquen la ocurrencia de niveles freáticos colgados. (Avellaneda y Avellaneda, 2020).

La tesis consta de:

CAPÍTULO I: GENERALIDADES, se plantea la pregunta de investigación, así como los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN, relacionados al marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA, se plantea la metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

CAPÍTULO I: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN, se presentan los resultados obtenidos en la investigación. Finalmente se presentan las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. El Problema

La Compañía Minera Santa Luisa S.A. (CMSL) es una empresa dedicada a la actividad minera, actualmente opera la Unidad Minera Huanzalá, la cual extrae y produce concentrados de mineral de Zinc, Plomo y Cobre. Durante el proceso la Planta Concentradora genera residuos (relaves), los cuales son almacenados en pulpa en el depósito de relaves Chuspic. En la presa de relaves después de su primer recrecimiento existen desplazamientos superficiales, deformaciones en la estructura interna del dique de contención de la presa de relaves y análisis del comportamiento del nivel freático. Motivo por lo que es necesario realizar la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021. Enfatizando no sólo las condiciones de la etapa operativa sino también las posteriores al cierre, siempre controlado la elevación del nivel de espejo de agua de los relaves por aportes de agua de lluvias persistentes o por obstrucción de las tuberías de evacuación, también por la infiltración de agua de lluvia, la presencia de relaves finos en la conformación del dique principal y por operación inadecuada del depósito (mal manejo del vertimiento), provocando que el espejo de agua se aproxime al dique principal y otros.

1.1.1. Descripción de la realidad problemática

Mediante estudios realizados en el depósito de Relaves Chuspic, para verificar el terreno de cimentación, la existencia de filtraciones en el dique

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

del depósito de relaves, la verificación de la constitución del dique para garantizar el correcto funcionamiento de depósito de relaves, para ello es necesario realizar la evaluación de la estabilidad física, de la sección más representativa, del depósito de relaves Chuspic.

1.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.3. Formulación del problema General

¿Cómo se realiza la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021?

1.1.4. Formulación de problemas específicos

1. ¿Cuáles son los criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic?

2. ¿Cuáles son las condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic?

3. ¿Cómo determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic?

1.1.5. Objetivos de la investigación

1.1.5.1. Objetivo General

Realizar la Investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1.1.5.2. Objetivos Específicos

1. Determinar los criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic.

2. Determinar las condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic.

3. Determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic.

1.1.6. Justificación e importancia

La presente investigación se justifica porque los efectos ambientales de una falla de talud causan efectos directos como indirectos. Los efectos directos comprenden la pérdida inmediata de vida humana, y la destrucción de toda estructura, ya sea vida animal o vegetal por el paso de los relaves y/o desechos liberados para evitar ello es necesario ser previsores y realizar la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.

Es importante porque a través de estos estudios e investigaciones se cuidará de no contaminar el medio ambiente por la fuga de relaves contaminantes al medio ambiente.

1.1.7. Alcances

El alcance de la presente tesis es de aplicación para toda el área física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

1.1.8. Delimitación de la Investigación

La investigación se realizará exclusivamente en el depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá.

1.1.9. Limitación de la Investigación

La limitación de este estudio es la escasa bibliografía de los sistemas no convencionales de recrecimiento de relaves, en nuestro país no contamos con normativas o guías establecidas para estos nuevos métodos no convencionales para su implementación en presas de relaves. (Olaya y Sevillano, 2019).

1.2. Hipótesis

Hipótesis General

La investigación y caracterización Geotécnica determinara la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.

Hipótesis Nula

La investigación y caracterización Geotécnica **NO** determinara la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.

Hipótesis Específicas

1. Se determina los criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic.

2. Se determinar las condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3. Se determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic.

1.3. Variables

Variable Independiente (x)

Investigación y caracterización Geotécnica.

Variable dependiente (y)

Determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.

1.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Nombre de la Variable	Dimensiones	Indicadores
V.I. Investigación y caracterizaciónGeotécnica.	Normativa vigente.	Cumplir con las disposiciones reglamentarias vigentes vinculadas a la estabilidad física de depósitos de relaves.
	Criterio de desempeño	El dique del depósito de relaves debe ser estable y no debe de experimentar daños graves, antes, durante ni después de la solicitación de un sismo.
	Periodo de retorno	La presa de relaves será evaluada para un periodo de retorno de 475 años.
	Parámetro sísmico	El estudio de peligro sísmicose determinó para un periodode retorno de 475 años, equivalente a una aceleración sísmica máxima de 0.27 g en roca.
	Disposición máxima del relave	En condiciones de operaciónel dique del depósito debe contar con un borde libre mayor a 2.0 m

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

V.D. Determinar la estabilidad física deldepósito de RelavesChuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.	Factor de seguridad	Aceleración Sísmica del Diseño.
		Estático.
		Pseudoestático.

Fuente: Adaptación propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Antecedentes Internacionales:

Oñate (2020), en la tesis titulada *"Caracterización geológica y geotécnica para el depósito de relaves en el área Hijuela 10, Provincia de Huasco, Región de Atacama, Chile*", sustentado el año 2020, por Claudia Teresa Oñate Concha en la Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Químicas Departamento Ciencias de la Tierra. Concepción, Chile. En el trabajo se realiza una caracterización geológica y geotécnica del área Hijuela 10, perteneciente a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI), con el objetivo de estudiar y determinar la factibilidad de instalar depósitos de relaves. El sitio mencionado se encuentra en la comuna de Vallenar, junto a una planta de beneficios de cobre de la misma empresa y a 2,5 kilómetros de la zona urbana. La metodología utilizada para cumplir el objetivo incluye la recopilación, revisión y validación de la información geológica y geomorfológica existente. También contempla la fotointerpretación de imágenes satelitales disponibles del área mediante softwares SIG y el análisis de riesgos asociados a los peligros geológicos reconocidos en el sitio de ENAMI. Para la caracterización geotécnica de los materiales geológicos que constituyen el terreno, se utilizó la información proporcionada por un reconocimiento visual in situ efectuado por parte de

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

geólogos de la empresa GMECH (Servicios Geofísicos y Geológicos). De acuerdo con estos datos litológicos texturales se puede hacer una aproximación cualitativa de la resistencia del futuro suelo de fundación y se estiman aceptables características y comportamiento geotécnico adecuado. Para el análisis y evaluación de susceptibilidad a remociones en masa se ha escogido un método cualitativo de ponderación de factores utilizado en numerosos trabajos enfocados en esta temática. El detalle y desglose de cada factor es modificado para adaptarlo al tipo de terreno que se está analizando, descartando y agregando algunos subfactores. Mediante la aplicación de este método y la revisión de las condiciones geológicas y geomorfológicas en el área de estudio, se determina que el sitio Hijuela 10 en sí mismo presenta muy baja a nula susceptibilidad a remociones en masa. A pesar de ello, puede constituir un área de propagación de remociones del tipo flujos de barro y/o detritos ("aluviones"), al considerar la trayectoria lógica a través de quebradas que provienen de sectores que muestran mayor susceptibilidad a estos procesos. Con la información proporcionada por este estudio se espera contribuir al proyecto y a la fase de diseño en particular, donde se requiere evaluar la ubicación definitiva del o los depósitos de relaves y las alternativas tecnológicas a emplear. (Oñate, 2020).

Flores (2019), en la tesis titulada *"Propuesta metodológica de instrumentación y monitoreo para evaluar la estabilidad física de un depósito de Relaves Abandonado en Chile*", sustentado el año 2019, por Alondra Macarena Flores Barrenechea en la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile, Chile. El trabajo tiene por objetivo principal proponer una

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

metodología que permita elegir la instrumentación para monitorear la estabilidad física de los depósitos de relaves abandonados en Chile. En primer lugar, se hace una revisión de antecedentes de los componentes que caracterizan a un depósito de relaves, junto a las diferentes formas de clasificarlos. En segundo lugar, se indagan las definiciones de estabilidad física, los mecanismos de falla y los eventos gatilladores que provocan los incidentes de pérdida de estabilidad física en el mundo. Posterior a esto, se revisa la normativa y manuales de buenas prácticas chilenas y extranjeras. Por otra parte, se revisan los sistemas de instrumentación y tecnologías utilizados para monitorear los parámetros críticos revisados. Junto a la instrumentación no invasiva remota, también se estudian los ensayos de laboratorio y terreno más usuales. Además, se describen estudios de entorno regional relevantes para esta propuesta. Se revisa el estado de los depósitos de relaves abandonados en Chile mediante el estudio del Catastro de Depósitos de Relaves del SERNAGEOMIN (2019) y se complementa con información obtenida mediante el programa ArcMap. Del trabajo anterior se infiere la poca información existente relativa a depósitos de relaves abandonados en Chile. Aparentemente, ninguno cuenta con un sistema de monitoreo que permita establecer su estado actual o posterior a un evento que afecte su estabilidad física. Se identifica la necesidad de proponer una metodología que sea capaz de determinar el nivel de instrumentación necesaria para monitorear la estabilidad física de los depósitos de relaves abandonados, entendiendo su situación de abandono y falta de información respecto su construcción y operación. La metodología propuesta consta de cinco etapas y tres categorizaciones, que conducen a

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

propuestas de monitoreo. Las tres primeras etapas se realizan en gabinete y consisten en recopilar información disponible, establecer el estado actual y obtener tendencias de deformaciones del depósito de relaves abandonado, respectivamente. Dependiendo del resultado de la primera categorización, se puede asignar un monitoreo básico o continuar los estudios mediante una visita a terreno para realizar exploraciones geofísicas e instalar monolitos para monitoreo remoto. Se realiza una nueva categorización del depósito, al cual se le puede asignar un monitoreo intermedio o continuar los estudios mediante exploraciones geotécnicas tradicionales. Finalmente, se obtiene una última categorización, que conduce a un monitoreo intermedio, más intensivo que el anterior, o a un monitoreo complejo, que exige visitas a terreno anuales. Éstas últimas dos propuestas de monitoreo incluyen revisiones frente a eventos naturales extremos (lluvias y sismos). Las herramientas sugeridas para la aplicación se describen en otro apartado. Por último, la primera etapa de la metodología propuesta se aplica a tres depósitos de relves abandonados chilenos y, finalmente, se sugiere su aplicación a todos los depósitos de relaves abandonados en Chile: (Flores, 2019).

Carvajal (2018), en la tesis titulada *"Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves*", sustentado el año 2018, por Meili Ignacia Carvajal Arroyo en la Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento De Ingeniería Civil. Santiago de Chile, Chile.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

El presente trabajo de título tiene como principal objetivo proponer una metodología capaz de determinar el nivel de estabilidad física que tiene un depósito de relaves en Chile, en el contexto del Programa Tranque, iniciativa de CORFO, que busca generar tecnologías que aporten al monitoreo en línea de depósitos de relaves. Para esto se realizó una revisión de normativas nacionales e internacionales, en conjunto con manuales de buenas prácticas y documentos asociados a la operación de un depósito de relaves, con el fin de establecer el estado del arte de la verificación de estabilidad física en estas estructuras de contención. Además, se revisó el estado actual de los depósitos de relave en Chile y se analizaron las fallas ocurridas a nivel mundial, para establecer los mecanismos de falla predominantes, y los parámetros y eventos asociados a su desarrollo. La metodología propuesta consta de tres módulos, donde el nivel de dificultad aumenta en cada uno. El primero, denominado Evaluación Cualitativa, consiste en la asignación de puntaje a características físicas que son de fácil evaluación, donde la suma de estas puntuaciones, sumado a la presencia de factores agravantes, entrega un resultado. Si la evaluación cualitativa es baja, se pasa al siguiente módulo, que corresponde a la Verificación de Parámetros Críticos para cada mecanismo de falla. Si estos parámetros se encuentran dentro del umbral definido, se pasa al módulo final de Determinación del Índice de Estabilidad Física, el cual se calcula a través de un Árbol de Falla para cada mecanismo de falla. Considerando probabilidades conocidas de la bibliografía, se evalúa la sensibilidad del Índice a un cambio en sus causas raíz. La herramienta presentada en este trabajo corresponde a una. Mediante los tres módulos se busca analizar

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

de manera completa la condición de estabilidad física, a partir de lo que se controla en Chile y el mundo, donde el primer módulo tiene características de evaluación similares a los reportes E700, el segundo módulo representa, a través de parámetros críticos, el estado del arte sobre la estabilidad física de depósitos de relaves, mientras que el tercer y último módulo corresponde a una herramienta con capacidad predictiva, lo cual no existe en la actualidad. (Carvajal, 2018).

Antecedentes Nacionales:

Mamani (2019), en la tesis titulada *"Consideraciones geotécnicas para el análisis de estabilidad de Talud de la Relavera Huaybillo U.M. El Cofre*", sustentado el año 2019, por Yhefrin Angel Mamani Calderon en la Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Puno, Perú. La tesis se desarrolló en la relavera HUAYBILLO U.M. El cofre del distrito de Paratia provincia de Lampa departamento de Puno, desarrollado en el mes de septiembre del año 2018. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo considerar las características geotécnicas para determinar la estabilidad de talud en un corte crítico, obtener parámetros geotécnicos como propiedades físicas ángulo de fricción interna, cohesión. Para lo cual se utilizó la metodología experimental. Se realizaron ensayos en laboratorio (ensayos de propiedades físicas, clasificación de suelos (SUCS), corte directo, peso unitario) y así poder saber las características de los diferentes materiales que se encuentran en la relavera. Para el caso de estudio definido, el análisis de estabilidad física estática y seudoestática, se realizó

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

con el software SLIDE 6.0, para el estudio sísmico en condiciones de operación de los componentes estudiados, usaremos un coeficiente sísmico de 1/3 de la aceleración máxima que corresponde a C = 0.14. Como conclusión del análisis de estabilidad física de la relavera HUAYBILLO: En condiciones estáticas es estable con un F.S de 1.395 ya que el criterio de aceptabilidad es de 1.3. En condiciones seudoestáticas es inestable con un F.S. de 0.996 ya que el criterio de aceptabilidad es de 1.0. (Mamani, 2019).

Olaya y Sevillano (2019), en la tesis titulada *"Análisis comparativo entre el método aguas abajo y suelo reforzado para el recrecimiento de la presa de relaves Viluyo*", sustentado el año 2019, por Elizabeth Anay Olaya Rubio y Brahan Jorge Sevillano Celis en la Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Lima, Perú. La tesis realizó un comparativo de recrecimiento de relaves entre uno de los métodos convencionales (aguas abajo) y un método no convencional (suelo reforzado) para la Presa de Relave Viluyo. Teniendo una metodología de un nivel de investigación cuantitativa, aplicada y descriptiva dirigida a los métodos de recrecimiento. La Presa de Relave Viluyo se ubica en la provincia de Lampa que pertenece al departamento de Puno, entre el paraje Viluyo y el pueblo de Paratía, la tesis se realizó teniendo como objetivo un análisis comparativo de los métodos de recrecimiento aguas abajo y suelo reforzado donde analizó la estabilidad física, entre estos análisis se encontró el análisis estático pseudo estático y dinámico, adicionalmente el análisis de filtraciones que nos brindó información sobre la estabilidad interna en el recrecimiento de la presa. Se obtuvieron parámetros geotécnicos para el diseño del recrecimiento de la presa de relave Viluyo

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

con el método de suelo reforzado, utilizando parámetros geotécnicos proporcionados por la unidad minera, de los cuales se obtuvieron resultados favorables garantizando la estabilidad, y un ahorro económico en comparación al método convencional de recrecimiento aguas arriba el cual también cumple con los estándares de estabilidad, pero utiliza mayor volumen de material y mayor gasto económico. Para el análisis de estabilidad la implementación del método de suelo reforzado en el recrecimiento de la presa de relaves Viluyo, demostró el cumplimiento de los requisitos de estabilidad. Para el caso de las deformaciones, el método de aguas abajo demostró menor deformación, adicionalmente mediante el análisis de filtración demostró el recorrido del flujo de filtración de agua, en el caso del gradiente hidráulico mostro un mayor valor, lo cual puede generar fallas a futuro. (Olaya y Sevillano, 2019).

Estela (2018), en la tesis titulada *"Propuesta para la estabilidad física aplicado al pasivo ambiental Relavera de la Mina Paredones - San Pablo, Cajamarca 2018*", sustentado el año 2018, por Rosa Alexandra Estela Asto en la Universidad privada del Norte. Facultada de Ingeniería. Cajamarca, Perú. Tiene como objetivo realizar una propuesta para la estabilidad física aplicado al pasivo ambiental relavera en la mina Paredones, el cual se encuentra ubicado en el distrito de Chilete, Provincia de San Pablo, Región de Cajamarca. Se realizó diferentes estudios, con el fin de proponer el método más efectivo de estabilidad en esta zona; se realizó un muestreo de suelos mediante la realización de calicatas, para luego continuar con el análisis de laboratorio, también se realizó la toma de datos geomecánicos del macizo rocoso del relave, para determinar la resistencia de la roca

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

mediante el uso de software especializado. Ha sido importante también conocer la topografía de la zona de la relavera y su alrededor para que, de esta manera, poder diseñar los métodos de remediación y control de aguas de este pasivo ambiental minero. Como resultado se obtuvo que los suelos son una arcilla inorgánica medianamente plástica, conociendo este resultado más la topografía de la zona se determinó el factor de seguridad del talud de la relavera, el cual cumple con la estabilidad requerida; mediante el procesamiento geomecánico de las estaciones se determina que la resistencia del macizo rocoso es buena. Planteándose así un sostenimiento en la zona del talud con una cobertura vegetal y una defensa ribereña mediante la colocación de gaviones. En cuanto al control de aguas acidas en el relave, se plantea la construcción de canales perimetrales, con tal de que las aguas de las precipitaciones no discurran directamente en la relavera, previniendo la contaminación en el río Sn Pablo y aguas debajo de este. (Estela, 2018).

2.2. Definición de Términos

- **Agregado:** Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños. (Huaman, 2018).

- **Agregado grueso:** Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4,75 mm). (Huaman, 2018).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Amenaza:** Advertir algo que podría ocasionar peligro daño sea a la propiedad, instalaciones, personas y al ambiente natural. (Cairo, 2013).

- **Arcillas:** Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 µm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales. (Huaman, 2018).

- **Arena:** Partículas de roca que pasan la malla Nº 4 (4,75 mm.) y son retenidas por la malla Nº 200. (Huaman, 2018).

- **Asentamiento:** Desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía. (Huaman, 2018).

- **Asentamiento diferencial:** Diferencia de nivel como consecuencia del desplazamiento vertical o hundimiento de cualquier elemento de la vía. (Huaman, 2018).

- **Concesión de Beneficio:** Otorga al titular el derecho a extraer o concentrar la parte valiosa de un agregado mineral y/o fundir, purificar o refinar metales, ya sea mediante un conjunto de procesos físicos, químicos o físico químicos. La Planta Concentradora de Huari comprende: preparación mecánica y metalurgia. (Cairo, 2013).

- **Concesión Minera:** La concesión minera es un derecho real que se otorga al titular, el derecho a la exploración y explotación de los recursos minerales concedidos que se encuentran dentro de un sólido de profundidad indefinida, limitado por planos verticales correspondientes a los lados de un cuadrado, rectángulo o poligonal

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

cerrado cuyos vértices están referidos a coordenadas UTM. (Cairo, 2013).

- **Contaminante Ambiental:** Toda materia o energía que al incorporarse y/o actúan en el medio ambiente, degrada su calidad original a un nivel que afecta la salud, el bienestar humano y pone en peligro los ecosistemas. (Cairo, 2013).

- **Contingencia:** Condiciones, medios de prevención a las amenazas sea naturales como también antrópicas. (Cairo, 2013).

- **Declaración de Impacto Ambiental (DIA):** Están sujetos a presentar el DIA, los productores mineros artesanales cuya producción es menor a 25 TMD en minería metálica y menor a 200 m3/día en minería no metálica, que corresponde a la categoría I. Contendrá una descripción del proyecto, las características del entorno, los impactos físicos – químicos, biológicos, económicos y sociales previsibles y las medidas para prevenir y mitigar los impactos adversos y reparar los daños causados. (Cairo, 2013).

- **Ecosistema:** Interrelación entre el ser Biótico y el Abiótico. (Cairo, 2013).

- **Emergencia Minera:** Es un evento no deseado que se presenta como consecuencia de un fenómeno natural o por el desarrollo de la propia actividad minero metalúrgico. (Cairo, 2013).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Ensayo de compresión:** Ensayo para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. (Huaman, 2018).

- **Estudio de Impacto Ambiental (EIA):** Estudios que deben efectuarse en proyectos para la realización de actividades en concesiones mineras y beneficios, la labor general y de transporte minero; deben evaluar y describir los aspectos físico naturales biológicos socio económicos y culturales en el área de influencia del proyecto, con la finalidad de determinar las condiciones existentes y capacidades del medio, analizar la naturaleza, magnitud y prever los efectos y consecuencias de la realización del proyecto, indicando medidas de previsión y control a aplicar para lograr un desarrollo armónico entre las operaciones de la industria minera y el medio ambiente. (Cairo, 2013).

- **Evaluación Ambiental Preliminar (EVAP):** Es el medio que se realiza antes de la elaboración del PAMA, con el objeto de identificar los problemas en el medio ambiente que se está generando por la actividad minero-metalúrgica. (Cairo, 2013).

- **Grava:** Suelo de partículas gruesas de tamaño que van de 10 a 76 mm. (Huaman, 2018).

- **Geología Aplicada:** Comprende las ciencias que investigan el subsuelo de la tierra con fines prácticos. Divídase en dos ramas principales: la que estudia los minerales útiles y la que trata de los

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

problemas de ingeniería Geológica en la construcción de edificios y obras. (Cairo, 2013).

- **Geotecnia:** Es la ciencia que se ocupa de las modificaciones que en los estados de equilibrio y tensión de la corteza terrestre producen las construcciones humanas. La Geotecnia es la aplicación de la Geología en la construcción de obras de Ingeniería. (Huaman, 2018).

- **Impermeable:** Resistente al movimiento del agua. (Huaman, 2018).

- **Ingeniería Geológica:** Tiene por objeto estudiar las propiedades de los suelos y las condiciones de construcción (en un ambiente geológico dado). De edificios y distintas obras: carreteras, puentes presos, canales, etc. La Geología Ingenieril reforzada con información útil sacada de otras ciencias del suelo y con adecuadas nociones de ingeniería se transforma gradualmente en una nueva rama del saber humano y se le denomina: Geotecnia. (Cairo, 2013).

- **Limite líquido:** El contenido de agua al cual el suelo cambia de estado plástico a estado líquido. (Huaman, 2018).

- **Limite plástico:** es el porcentaje de humedad límite entre el estado plástico y el estado semisólido. (Huaman, 2018).

- **Limo:** Suelo compuesto de partículas de tamaño que varían entre 0.09 y 0.006 mm. (Huaman, 2018).

- **Material cohesivo:** Suelo que posee propiedades de cohesión. (Huaman, 2018).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Medio Ambiente:** Conjunto de elementos, Abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y Bióticos (organismos vivos) que integran la delgada capa de la tierra llamada Biosfera, sustento y hogar de los seres vivos. (Cairo, 2013).

- **Plan de Cierre:** Medidas que debe adoptar el titular de la actividad minera antes del cierre de operaciones, para evitar efectos adversos al medio ambiente producidos por los residuos sólidos, líquidos o gaseosos que puedan existir o puedan aflorar en el corto, mediano o largo plazo. (Cairo, 2013).

- **Programa de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA):** Programa que contiene las acciones e inversiones necesarias para incorporar a las operaciones minero-metalúrgicas, los adelantos tecnológicos y/o medidas alternativas que tengan como propósito reducir o eliminar las emisiones y/o vertimientos para poder cumplir con los niveles máximos permisibles establecidos por la autoridad competente. (Cairo, 2013).

- **Programa de Monitoreo:** Es el muestreo sistemático con métodos y tecnologías adecuada al medio en que se realiza el estudio, basados en normas de guías definidas por el Ministerio de Energía y Minas, para evaluar la presencia de contaminantes vertidos en el medio ambiente. (Cairo, 2013).

- **Protección Ambiental:** Conjunto de acciones de orden científico, tecnológico, legal, humano, social y económico, que tienen por objeto

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

proteger el entorno natural donde se desarrollan las actividades minero – metalúrgicas, y sus áreas de influencia; evitando su degradación a un nivel perjudicial que afecte la salud, el bienestar humano, la flora, la fauna o los ecosistemas. (Cairo, 2013).

- **Productos de la Planta Concentradora:**

a) cabeza: Mineral bruto, producto de la explotación minera y transportada a una Planta de Concentradora para la separación de la mena y la ganga. (Cairo, 2013).

b) concentrados: Productos metalúrgicos de la Planta de Concentración que contiene la mena, el máximo en ley de un mineral metálico. Del tratamiento de una mena pueden producirse uno o más concentrados con valor económico rentable. (Cairo, 2013).

c) relaves o colas: Producto desechado por una Planta de Concentración que contiene minerales no valiosos y rocas denominado ganga y este es de mayor volumen. El relave es una suspensión en agua de partículas de tamaño fino con pequeños porcentajes de minerales valiosos, no recuperados en el tratamiento. Algunos relaves antiguos pueden ser re-tratados cuando el alza del precio de los metales es suficiente para pagar los costos de tratamiento. (Cairo, 2013).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Talud:** Es el declive o inclinación o grado de pendiente de un muro o terreno donde los materiales que lo componen se estabilizan y no se cae, desliza o desprende pendiente abajo. (Cairo, 2013).

2.3. Fundamentación teórica

En la investigación y caracterización Geotécnica, la cantidad y el alcance de las investigaciones de campo deberían ser apropiados para el tamaño y la importancia de la estructura y para la complejidad de las características locales. El programa de exploración, así como los análisis y diseños subsiguientes, deben guiarse por los requerimientos y condiciones específicos del sitio y deberían poder ser revisados cuando se requiera para satisfacer las condiciones actuales del sitio en cuanto éstos se den a conocer. Los principales objetivos de las investigaciones detalladas deberían incluir que se determine lo siguiente:

- **La geología del sitio tanto de depósitos superficiales como de lecho de roca:** esto debería incluir estratigrafía detallada de suelo y de lecho de roca, proporcionando profundidad, espesor, continuidad y composición de cada estrato significativo y un historial de deposición y de erosión;

- **La hidrogeología del sitio, incluyendo:** definición de acuíferos y acuiclusas, determinar la conductividad hidráulica; determinar sistemas de flujo subterráneo tanto local como regional.

- **Las propiedades geotécnicas:** del suelo y estratos de roca que pueden afectar el diseño de la estructura de la represa de desecho

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **La disponibilidad de materiales de construcción.** adecuados para la construcción de presas o diques y revestimientos impermeables.

- Al interpretar los resultados de las pruebas de laboratorio y/o de campo se debe tener presente que los resultados se refieren a las muestras. Para transformar dichos resultados en datos numéricos sobre los cuales se puede basar el diseño, se tiene que considerar como una toda la relación de las muestras con la estructura geológica. (Eerik A. Rennat Shepherd Miller, Inc., 1997).

2.3.1. Investigación y caracterización Geotécnica

Investigaciones geotécnicas en las áreas de los depósitos de desecho de mina deberían determinar la naturaleza de los depósitos de suelos: geología, historial reciente de deposición, erosión y consolidación; profundidad, espesor y composición de cada estrato de suelo significativo; ubicación de agua subterránea, presión de agua de poros, o condiciones artesianas; presencia de materiales de construcción. Las investigaciones geológicas pueden incluir:

- Informes geológicos regionales, mapas y fotografías aéreas, Reconocimiento de campo y elaboración de mapas.

- Evaluación geofísica, Perforación exploratoria, Fotografía de taladros.

- Medición de condiciones de agua subterránea, Pruebas de bombeo de agua subterránea.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- Pruebas de laboratorio de muestras de rocas y suelos, incluyendo análisis mineralógicos.
- Algunos detalles que se debe observar: Evidencia de canales enterrados, Evidencia de inestabilidad o colapso.
- Cavernas producidas por la disolución de rocas.
- Evidencia de perturbación tectónica reciente.
- Evidencia de ormaciones débiles tales como capas de bentonita, milonita, planos de cizallamiento.

1. El primer paso en la investigación de cimientos debería ser realizar una evaluación de toda la minería subterránea previa y del carácter geológico general del sitio.
2. El segundo paso debería ser efectuar unas cuantas perforaciones de exploración, ubicándolas después de realizar un examen detallado de las exposiciones de suelo y roca en el sitio. La investigación preliminar podría indicar que serían útiles evaluaciones geofísicas en una etapa temprana. Las calicatas y zanjas serían útiles para determinar la naturaleza de los suelos superficiales.
3. Las etapas subsiguientes dependerán del tamaño del depósito y del carácter del perfil del suelo. La importancia de la estructura y los resultados de las perforaciones exploratorias indicarán el alcance del programa de perforación detallado. En sitios donde

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

el perfil del subsuelo es errático, será necesario definir el patrón de suelos distintos y las características de varios estratos. El examen con un penetrómetro cónico puede proporcionar una identificación rápida de la densidad de subsuelos.

- ✓ **Mapas:** Antes de cualquier investigación o recuperación significativa, se debe elaborar mapas detallados del área de la instalación de almacenamiento de desechos. Generalmente para los estudios preliminares son adecuados los mapas que tienen una escala de 1:5,000 y curvas de nivel a intervalos de 1 a 5 m. Para diseños detallados frecuentemente se requiere mapas a escalas más grandes y distancias verticales menores entre curvas de nivel. Generalmente se emplea el mapeo fotogramétrico para preparar los planos a curvas de nivel ya que es económico y rápido. Asimismo, las fotografías aéreas obtenidas para la elaboración de mapas pueden ser útiles para interpretar la geología general del sitio y para localizar fuentes potenciales de materiales de construcción.

- ✓ **Taladros:** La profundidad de la perforación de cimientos dependerá de: el tamaño del área cargada, la magnitud de la carga y el perfil del subsuelo. Como regla general, las perforaciones deberían ser lo suficientemente profundas

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

para determinar el perfil del subsuelo dentro la profundidad afectada significativamente por la estructura.

- ✓ **Calicatas:** Un método ventajoso para investigar materiales de préstamo es excavar calicatas con equipo móvil. Para proporcionar un sistema de sellado eficiente y drenaje interno para una presa de relaves, es necesario ubicar una fuente de material tanto impermeable como permeable. El muestreo y las pruebas deberían ser suficientemente extensos para confirmar una adecuada cantidad de cada uno. Normalmente, las pruebas incluirían determinar el contenido de humedad in situ, gradiente, contenido óptimo de humedad, y densidad óptima para compactación de los materiales de préstamo, resistenci al corte, y permeabilidad de los materiales.

- ✓ **Registros:** Los registros de investigaciones y muestreo de subsuelo forman el registro permanente empleado para analizar un lugar de depósito. Por lo tanto, es muy importante que las observaciones se hagan en forma minuciosa y precisa. Los registros no solo contienen datos requeridos para determinar el perfil del suelo y la ubicación de las muestras sino también observaciones de detalle que contribuyen a una apreciación de la condición de las muestras y de las propiedades físicas del suelo en el sitio. Un observador experimentado debería estar

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

presente continuamente durante la perforación para supervisar el muestreo, preparar los registros y adaptar el programa de exploración a las condiciones encontradas.

- ✓ **Muestreo:** Uno de los propósitos primarios de las investigaciones de campo es obtener muestras de suelos para clasificación y pruebas de laboratorio. Las muestras son clasificadas generalmente de acuerdo a los procedimientos de muestreo. Una forma común de agruparlas es la siguiente: muestras de lavado, muestras disturbadas y muestras no disturbadas.

- ✓ **Pruebas de Campo:** Las pruebas efectuadas in situ son probablemente más representativas de la real condición del material de desecho que las pruebas de laboratorio en las muestras. Estas no se ven afectadas por los procedimientos de muestreo o por las pruebas de laboratorio y miden las propiedades reales in situ. Se puede utilizar penetrómetros para probar la densidad y la resistencia al corte. Hay penetrómetros cónicos que pueden ser presionados por gatas hidráulicas, que también registran presión de poros y procesan automáticamente los resultados. Con el fin de poder presionar en el penetrómeto desde una playa de relaves, donde la consistencia es suave, se puede utilizar pisos de madera para sostener las máquinas de ubicación o se puede hacer

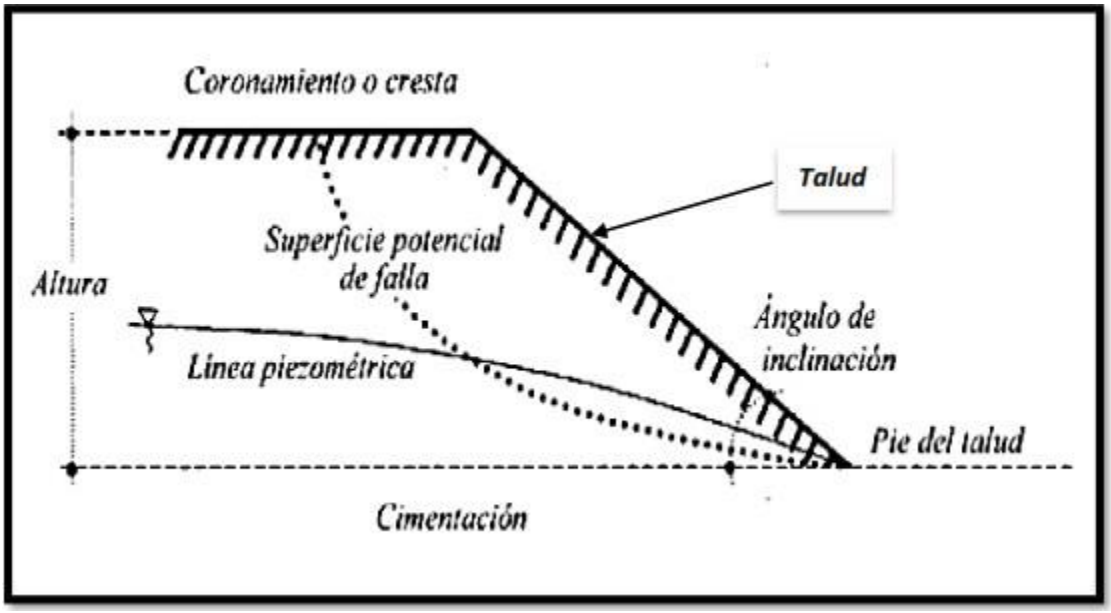
Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

una carretera y una plataforma de geotextil cubiertos con un piso de arena y grava. (Eerik A. Rennat Shepherd Miller, Inc., 1997).

2.3.2. Conceptos básicos en estabilidad de taludes

Bajo el nombre de talud se denomina a cualquier superficie inclinada que limita un macizo de suelo, de rocas o de suelo y roca. Estos pueden ser naturales, como las laderas o artificiales, como los taludes de cortes y terraplenes. La figura 1, nos muestra la terminología usualmente adoptada. En los estudios de estabilidad de taludes intervienen decisivamente condiciones relativas a la naturaleza de los materiales y agentes perturbadores, siendo éstos de naturaleza geológica, hidrológica y geotécnica, lo que los tornan de mayor complejidad, abriendo amplios horizontes a los especialistas de estas ramas. (Aguirre, 2017).

Figura 1. Terminología usualmente adoptada.



Fuente: Roberto Eduardo Aguirre Ramos, 2017.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.3.3. El factor de seguridad

El factor de seguridad "FS", para un talud se define generalmente como la relación entre la resistencia al corte disponible con respecto del esfuerzo cortante sobre la superficie de falla crítica. Las características de esfuerzos y deformaciones de la mayoría de los suelos son tales que se pueden presentar 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. (Aguirre, 2017).

2.3.4. Movimientos de masa

Un movimiento de masa (landslide), es un término usado en general para describir el movimiento cuesta abajo de los suelos y rocas bajo efecto de la gravedad. Las distintas clasificaciones de movimientos de masas están asociadas con mecanismos específicos de falla del talud y las propiedades y características de los tipos de falla. (Aguirre, 2017).

2.3.5. Depósitos de relaves

Las actividades mineras generan grandes cantidades de residuos sólidos, de los cuales los más importantes, en términos de volumen, son los estériles y los relaves mineros. El mineral que alimenta la planta de beneficio posee una determinada ley de mineral útil, estando compuesto por minerales útiles y minerales de ganga. En la planta,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

este mineral es normalmente fragmentado para permitir la liberación del mineral útil y su separación de los minerales de ganga a través de procesos físicos, químicos o fisicoquímicos, es este mineral de ganga junto con algunas partículas de roca, la parte sólida que conforman los relaves mineros. (Aguirre, 2017).

¿Qué es el relave minero?: El relave minero es un conjunto de desechos producto del proceso metalúrgico para la obtención de minerales comerciales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua, minerales de ganga y productos químicos usados en el proceso metalúrgico, aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como, cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico.

Ciclo de vida de un depósito de relaves: Origen y producción de relaves de plantas concentradoras. El proceso de concentración comienza con el chancado del mineral, proveniente del proceso de explotación minera, hasta tamaños de partículas generalmente en el rango de centímetros o milímetros. El mineral chancado y luego reducido a tamaños menores a un milímetro, en grandes tambores rotatorios clasificados como molinos de bolas, molinos de varillas y molinos semi-autógenos, dicho proceso es conocido como molienda. Luego se procede a agregar agua al mineral molido y el material permanece en forma de lodo (pulpa) a través del resto del proceso de extracción. (Aguirre, 2017).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

2.3.6. Base legal

Se ha elaborado la tesis sobre la base de los siguientes dispositivos legales: (extraído de la tesis de Janeth Marivel Huaman Martel, 2018.

Marco de Referencia Legal de Recrecimiento de Relaveras.

a) **RM-120-2014-MEM/DM:** Criterios Técnicos que regulan la modificación de componentes mineros o ampliaciones y mejoras tecnológicas en las unidades mineras, que cuenten con Certificación Ambiental. C. COMPONENTES MINEROS – C.1. (3) Depósito de Relaves: Modificación de altura del dique (recrecimiento).

b) **DS-040-2014-EM:** 12 nov 14 (Artículos 20°, 21°, 38°, 52°, 60°, 71° y 77°.

c): Reglamento para la protección y gestión ambiental para actividades de beneficio y otros. El titular de actividad minera debe asegurar la oportuna identificación y el manejo apropiado de todos los aspectos ambientales, factores y riesgos de sus operaciones que puedan incidir sobre el ambiente. De presentarse variaciones a nivel de la ingeniería de detalle, que difieran de manera significativa respecto de la descripción a nivel de factibilidad efectuada en el estudio ambiental o modificación aprobada, la DREM consultará a la Autoridad Competente.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

c) **Ley N° 27314.** 24 – mar - 2010: Ley General de Residuos Sólidos.

Artículo 22º, Numeral 2. Se considerará residuo sólido peligroso aquel que presente por lo menos una o más de las siguientes características: auto combustibilidad, explosividad, corrosividad, reactividad, toxicidad, radioactividad o patogenicidad.

Artículo 37°. (Artículo modificado por el DL 1065 del 28-jun-2008). Los generadores de Residuos Sólidos (RS) del ámbito de gestión no municipal, remitirán en formato digital, a la autoridad a cargo de la fiscalización correspondiente a su Sector: Una Declaración Anual del Manejo de RS; un Plan de Manejo de RS que estiman van a ejecutar. en el siguiente periodo; un Manifiesto de Manejo de RS Peligrosos por cada operación de traslado.

d) **DS-057-2004-PCM:** 24 – jul – 2004; Reglamento de la Ley 27314.

Artículo 26º. Los titulares de los proyectos de obras o actividades, públicas o privadas, que generen o vayan a manejar residuos, deben incorporar compromisos legalmente exigibles relativos a la gestión adecuada de los residuos sólidos generados. Dichos compromisos deben aparecer claramente descritos, en las Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA), en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), en los Programas

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA) y en otros instrumentos ambientales.

e) **DS-023-2017-EM:** 18 – ago – 2017; Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en Minería.

Artículo 400º.- Los residuos generados y/o producidos en la unidad minera como ganga, desmonte, **relaves,** lixiviados, aguas ácidas, escorias, entre otros serán según el caso, almacenados, encapsulados o dispuestos en lugares diseñados para tal efecto hasta su disposición final, asegurando la estabilidad física y química de dichos lugares, a fin de garantizar la seguridad y salud de los trabajadores.

f) **Ley 28090:** Ley que regula el Cierre de Minas y su modificatoria Ley 28507 del 8 de mayo de 2005.

La prevención, minimización y el control de los riesgos y efectos sobre la salud, la seguridad de las personas, el ambiente, el ecosistema circundante y la propiedad, que pudieran derivarse del cese de las operaciones de una unidad minera o sus componentes como la **relavera,** por ejemplo.

g) **DS-033-2005-EM:** Reglamento de la Ley de Cierre de Minas y su modificatoria DS-035-2006-EM.

El objetivo del Reglamento de la Ley de Cierre de Minas es la prevención, minimización y el control de los riesgos y efectos

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

sobre la salud, la seguridad de las personas, el ambiente, el ecosistema circundante y la propiedad, que pudieran derivarse del cese de las operaciones de una unidad minera.

h) **Ley N° 28611:** 15 – oct – 2005; Ley General del Ambiente.

Artículo 24º, numeral 1. Toda actividad humana que implique construcciones, obras, servicios y otras actividades, así como las políticas, planes y programas públicos susceptibles de causar impactos ambientales de carácter significativo, está sujeta, al Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – SEIA.

i) **Ley N° 27446:** Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, del 23-Abr-2001.

Artículo 3º modificado por DL 1078 del 28-jun-2008, establece la obligatoriedad de la certificación ambiental.

j) **DS-019-2009-MINAM:** Reglamento de la Ley Del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, del 25-set-2009.

Artículo 51º, El titular tramitará ante la Autoridad Competente la Solicitud de Certificación Ambiental adjuntando el correspondiente Estudio de Impacto Ambiental.

k) **Ley N° 27651:** Ley de formalización y promoción de la pequeña minería y la minería artesanal, del 24-ene-2002.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Artículo 15°, Para el inicio o reinicio de actividades, los pequeños productores mineros y productores mineros artesanales estarán sujetos a la presentación de Declaración de Impacto Ambiental o Estudio de Impacto Ambiental Semi-detallado, según sea su caso, para la obtención de la Certificación Ambiental referida en la Ley Nº 27446: Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.

l) **DS-013-2002-EM:** Reglamento de Ley de formalización y promoción de la pequeña minería y la minería artesanal, del 24 – ene - 2002.

Artículo 36°, La autoridad competente en asuntos ambientales es la autoridad regional, ante la cual, los pequeños productores mineros deberán presentar los Estudios de Impacto Ambiental Semi- detallado – EIAsd; los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental – PAMA; los Planes de Cierre; y las modificaciones de tales documentos, según sea el caso; enunciado que concuerda con lo establecido en el Artículo 3° del DS-051-2009-EM, del 13-jun- 2009, que establece que, la competencia y funciones del Ministerio de Energía y Minas, se entenderá como hechas por la Autoridad Regional.

m) **Ley N° 29338:** Ley de Recursos Hídricos, 31 – mar - 2009.

Artículo 80º, Autorización de vertimiento. Todo vertimiento de agua residual en una fuente natural de agua requiere de autorización de vertimiento, para cuyo efecto debe presentar el

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

instrumento ambiental pertinente aprobado por la autoridad ambiental respectiva.

Artículo 83º, Prohibición de vertimiento de algunas sustancias. Está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bio - acumulación.

n) **DS – 001 – 2009 - AG:** Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, del 24-mar-2010.

Artículo 134º, Contenido del instrumento ambiental. El instrumento ambiental de cualquier proyecto, debidamente aprobado por la autoridad competente, debe contemplar el sistema de tratamiento de aguas residuales y el efecto del vertimiento en el cuerpo receptor.

o) **Artículo 135º,** Ningún vertimiento de aguas residuales podrá ser efectuado en las aguas marítimas o continentales del país, sin la autorización de la Autoridad Nacional del Agua. En ningún caso se podrá efectuar vertimientos de aguas residuales sin previo tratamiento en infraestructura de regadío, sistemas de drenaje pluvial ni en los lechos de quebrada seca.

p) **RM-011-96 EM/VMM:** Niveles Máximos Permisibles de Emisión de Efluentes Líquidos para las Actividades Minero – Metalúrgicas, del 13 – ene - 1996. Artículo 6°. Los titulares

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

mineros deberán asegurar que las concentraciones de los parámetros…de mercurio, cromo y otros, cumplan con las. disposiciones legales vigentes en el país o demostrar técnicamente ante la autoridad competente que su vertimiento al cuerpo receptor no ocasionará efectos negativos a la salud humana y al ambiente.

q) **DS-002-2013-MINAM:** Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (ECA para suelo), del 25 – mar - 2013.

Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia. Artículo 2°. Ámbito de Aplicación.

r) **DS-002-2008-MINAM:** Estándares de Calidad Ambiental para agua (ECA para agua), del 31 – jul - 2008.

El objetivo de estos estándares es establecer el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Los Estándares aprobados son aplicables a los cuerpos de agua del territorio nacional (Perú), en su estado natural y son

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

obligatorios en el diseño de las normas legales y las políticas públicas siendo un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.

s) **DS-003-2008-MINAM:** Estándares de Calidad Ambiental para aire (ECA para aire), del 22 - ago - 2008.

Los Estándares de Calidad del Aire, son aquellos que consideran los niveles de concentración máxima de contaminantes del aire; que, en su condición de cuerpo receptor, es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana, los que deberán alcanzarse a través de mecanismos y plazos detallados en la presente norma. Como estos Estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios.

t) **RM-315-96-EM/VMM:** Niveles Máximos Permisibles de Elementos y Compuestos presentes en Emisiones Gaseosas provenientes de las Unidades Minero Metalúrgica, del 16 – jun - 1996.

Artículo 8°, Los titulares mineros están obligados a establecer en el EIA y/o PAMA, un punto do control porcada fuente emisora, así como un número apropiado de estaciones de monitoreo, a fin de determinar la cantidad y concentración de cada uno de los parámetros regulados, además del flujo de descarga. Dichos puntos de control deberán ser identificados;

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

además, deberán indicarse el número y tipo de los equipos de detección a emplear.

u) **DL-17752:** Ley General de Aguas.

Según la tradición histórica peruana y la Constitución vigente, las aguas pertenecen al Estado y su dominio es inalienable e imprescriptible.

Artículo 1º, Las aguas, sin excepción alguna, son de propiedad del Estado; y su dominio es inalienable e imprescriptible. No hay propiedad privada de las aguas ni derechos adquiridos sobre ellas. El uso justificado y racional del agua, sólo pude ser otorgado en armonía con el interés social y el desarrollo del país.

v) **DS-014-92-EM:** TUO de la Ley General de Minería.

La presente Ley comprende todo lo relativo al aprovechamiento de las sustancias minerales del suelo y del subsuelo del territorio nacional, así como del dominio marítimo. Se exceptúan del ámbito de aplicación de esta Ley, el petróleo e hidrocarburos análogos, los depósitos de guano, los recursos geotérmicos y las aguas minero- medicinales.

Son actividades de la industria minera, las siguientes: cateo, prospección, exploración, explotación, labor general, beneficio, comercialización y transporte minero.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

w) **RD-440-96-EM/DGM:** Normas que Garantizan la Estabilidad de Depósitos de Relaves.

x) **RD-224-97-EM/DGM:** Evaluación especial de la estabilidad física.

y) **RD-19-97-EM/DGAA:** Estructura del Reporte de Estabilidad Física de Presas de Relaves. Períodos de retorno de sismos: 150 años para depósitos operativos y 500 años para depósitos inactivos.

Marco de Base Técnica de Recrecimiento de Relaveras.

a) Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes del Depósito de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras.

b) Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros.

c) Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves.

d) Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas.

e) Guía Ambiental de Manejo de aguas en Operaciones Minero-metalúrgicas.

f) Guía Ambiental para el Abandono y Cierre de Minas.

g) Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros: Esta Guía de Manejo de Relaves Mineros proveniente de la Industria Minero-Metalúrgica ha sido preparada bajo los auspicios del Banco Mundial en asociación con el Programa de Asistencia

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú. En este contexto, la Asistencia Técnica del Banco Mundial contempla la revisión, modernización y consolidación de asuntos ambientales relacionados a la actividad minera en el país. (Huaman, 2018).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO III

METODOLOGÍA

1.1. Diseño de la investigación

1.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **Aplicada,** citado por Quispe y Zúñiga (2019), se caracteriza por que busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren; en la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.

1.1.2. Nivel de la investigación

El nivel será de investigación descriptiva, porque describe los resultados después de realizar la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic.

1.1.3. Método

El Método empleado es el del método de investigación científica y es descriptivo, no experimental que implica conocer las características y rasgos más relevantes de la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic

1.1.4. Diseño de la investigación

Según Gago, Citado por Quispe y Zúñiga (2019) en el diseño longitudinal el investigador toma muestra de sujeto por un periodo bastante largo, algo que

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

será evaluado en uno o varios momentos en el tiempo, así mismo menciona que el diseño ex post facto es aquel en el cual el investigador no introduce ninguna variable experimental en la situación que se desea estudiar. Por lo tanto, la presente investigación tiene un Diseño longitudinal - ex post facto.

Donde:

$$M \begin{matrix} T_1 T_2 T_3 T_4 \\ O_1 O_2 O_3 O_4 \end{matrix}$$

Ml, M2: Muestra de trabajo

Tl, T2, T3, T4: Momentos observados

01, 02, 03, 04: Observaciones realizadas

M: Muestra de estudio. (Citado por Quispe y Zúñiga, 2019).

3.4.4. Población y muestra

Población

Toda el área física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.

Muestra

La muestra será toda el área física del dique principal del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos: Según Gonzales (2011), la observación es una técnica que consiste en observar atentamente el fenómeno, hecho o caso, tomar información y registrarla para su posterior análisis. Dentro de la cual está la observación científica que consiste en observar con un objetivo claro, definido y preciso.

Técnicas: Las técnicas a usar en la presente investigación serán instrumentación, Observación directa - estructurada.

Los instrumentos: Los instrumentos a usar en la presente investigación serán equipos de prospección geotécnica que estarán instalados en diferentes puntos del área de estudio. (Citado por Quispe y Zúñiga, 2019).

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

La Compañía Minera Santa Luisa S.A. (CMSL) es una empresa dedicada a la actividad minera, actualmente opera la Unidad Minera Huanzalá, la cual extrae y produce concentrados de mineral de Zinc, Plomo y Cobre. Durante el proceso la Planta Concentradora genera residuos (relaves), los cuales son almacenados en pulpa en el depósito de relaves Chuspic.en años anteriores se realizó el recrecimiento de la relavera desde la cota 4,073 hasta la cota 4,082 m.s.n.m. Realizándose los estudios de actualización del terreno de cimentación, registrándose excavaciones de 5 a 7 m en el eje del dique, también se realizó un estudio de filtraciones

4.1.1. Ubicación y Accesibilidad

La U.M. Huanzalá, se ubica políticamente en el distrito de Huallanca, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash, al sureste de la ciudad de Huaraz, a una altitud de 3,900 a 4,400 msnm. El acceso a las operaciones se logra a través de la carretera Panamericana Norte, hasta Pativilca, punto desde el cual se toma un desvío al este hacia Conocochas para finalmente llegar a Huanzalá.

Tabla 2. Acceso a la zona del proyecto

Tramo	Distancia (Km)	Vía	Dist. Desde Lima (Km)
Lima – Pativilca	203	Asfaltada	203
Pativilca – Conocochas	158	Asfaltada	361
Conocochas - Huanzalá	75	Asfaltada	436
Total	**436**		

Fuente: Departamento de ingeniería de la U.M. Huanzalá, 2019.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 2. Depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.

Fuente: Departamento de ingeniería de la U.M. Huanzalá, 2019.

4.2. Criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá.

La presente evaluación de la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic deberá cumplir los siguientes criterios:

- **Normativa vigente:** Cumplir con las disposiciones reglamentarias vigentes vinculadas a la estabilidad física de depósitos de relaves.

- **Factor de seguridad:** Cumplir con los criterios de factores de seguridad mínimos de 1.5 y 1.0 para condiciones estáticas y pseudoestáticas respectivamente.

- **Criterio de desempeño:** El dique del depósito de relaves debe ser estable y no debe de experimentar daños graves, antes, durante ni después de la solicitación de un sismo.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Periodo de retorno:** La presa de relaves será evaluada con un periodo de retorno mayor o igual a 150 años, válida para periodos de operación de depósitos de relaves. En este caso, conservadoramente el depósito será evaluado para un periodo de retorno de 475 años.

- **Parámetro sísmico:** El estudio de peligro sísmico se determinó para un periodo de retorno de 475 años, equivalente a una aceleración sísmica máxima de 0.27 g en roca.

- **Disposición máxima del relave:** En condiciones de operación el dique del depósito debe contar con un borde libre mayor a 2.0 m.

- **Estabilidad física:** Cumplir con los criterios de estabilidad antes mencionados.

4.3. Condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá.

Durante los diferentes programas de investigación geotécnica ejecutados en el depósito de relaves Chuspic se ejecutaron: perforaciones SPT; auscultaciones con Cono de Peck; líneas de prospección geofísica y ensayos de ondas de corte MASW; calicatas; ensayos geotécnicos in-situ; y ensayos de mecánica de suelos en laboratorio. Todas estas actividades cubrieron sectores representativos del terreno con la finalidad de evaluar y determinar las características geotécnicas de los materiales existentes en el área de estudio.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.3.1. Condición Actual del Depósito

Se observó y verificó que el depósito de relaves Chuspic, actualmente en operación, cuenta con un dique que contiene los relaves producto de la operación minera, cuya elevación se extiende hasta la cota 4,082 msnm. La configuración geométrica del dique presenta un talud general de 3.3.H:1V, dividida en cuatro bancos de 10 m de altura máxima, con taludes de 2.5.H:1V, en proceso de conformación. El depósito de relaves actualmente presenta un borde libre de 4 m (dos metros por encima del borde libre mínimo de diseño). Las estructuras hidráulicas no presentan daños importantes, mantienen un desgaste mínimo tolerable, producto de la escorrentía superficial, que podrá ser corregido o substituido en posteriores recrecimientos. Desde el punto de vista de su estabilidad, el dique del depósito de relaves Chuspic no presenta fallas superficiales; sin embargo, presenta signos de infiltración superficial al pie de este, debido a las lluvias en la zona. Esta condición viene siendo controlada por el sistema de subdrenaje existente en el depósito.

4.3.2. Topografía

La información topográfica fue obtenida a partir del levantamiento topográfico, El levantamiento topográfico a nivel de detalle presenta curvas de nivel equidistantes cada 1 m y cubre una extensión de 193 ha (medida respecto a un plano horizontal). La información topográfica muestra que el área donde se ubica el depósito de relaves Chuspic se encuentra en la parte inferior de la quebrada Chuspic, presentando flancos con pendientes moderadas a elevadas, mientras que la zona inferior está constituida por taludes con pendientes moderadas.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.3.3. Geotecnia

Investigaciones geotécnicas, durante los diferentes programas de investigación geotécnica ejecutados en el depósito de relaves Chuspic se ejecutaron: perforaciones SPT; auscultaciones con Cono de Peck; líneas de prospección geofísica y ensayos de ondas de corte MASW; calicatas; ensayos geotécnicos in-situ; y ensayos de mecánica de suelos en laboratorio. Todas estas actividades cubrieron sectores representativos del terreno con la finalidad de evaluar y determinar las características geotécnicas de los materiales existentes en el área de estudio.

4.3.4. Caracterización geotécnica

A continuación, se describe la caracterización geotécnica de los materiales que conforman los relaves del depósito Chuspic.

- **Relaves finos:** Los estudios indican que el relave fino se clasifica entre un limo (ML) y una arcilla de baja plasticidad (CL), cuyo contenido de arena es de 3 a 26% y finos de 97 a 74%. El relave fino cuenta con un peso específico total de 17 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 27° y una cohesión (C) de 0 kPa. Asimismo, el nuevo relave fino contará con un peso específico total de 17 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 25° y una cohesión (C) de 0 kPa.

- **Relave grueso:** Los ensayos de laboratorio (obtenidos en estudios anteriores y recientes), realizados por otros consultores y SRK,

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

indican que el relave grueso se clasifica como una arena limosa (SM), no plástica. Considerando los esfuerzos de confinamiento, en función de su ubicación, el relave grueso superior presenta un peso específico total de 17 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 30° y una cohesión (C) de 0 kPa. Del mismo modo, el relave grueso intermedio presenta un peso específico total de 17 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 31° y una cohesión (C) de 0 kPa. Así también, el relave grueso inferior presenta un peso específico total de 18 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 31° y una cohesión (C) de 0 kPa.

- **Dique de arranque:** De acuerdo a estudios anteriores, como el de BISA (2005) y Anddes (2014), el dique de arranque está conformado por desmonte de mina, el cual se clasifica como grava limo arcillosa con arena (GC-GM). El dique de arranque presenta un peso específico total de 21 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 35° y una cohesión (C) de 0 kPa.

- **Dique de contención:** De acuerdo a estudios anteriores, los diques de contención existentes fueron conformados con desmonte de mina; material clasificado como grava limo arcillosa con arena (GC-GM). Dicho desmonte presenta un peso específico total de 19 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 33° y una cohesión (C) de 0 kPa.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Desmonte de mina:** Este material fue empleado para el recrecimiento del dique existente. IGEMIN (2013), durante este periodo, se realizó un ensayo de resistencia cortante en una muestra de material de desmonte de mina que clasificó a este material como una grava limo arcillosa con arena (GC-GM), obteniendo los siguientes resultados; peso específico total de 21 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 37° y una cohesión (C) de 0 kPa.

- **De la cimentación:** Suelo de cimentación mejorado, fue necesario reemplazar el suelo de cimentación del pie del dique existente, debido a la presencia de suelos blandos (material orgánico y arcillas blandas). El material mejorado se clasifica como un suelo granular compactado (GC y GM). El material presenta los siguientes parámetros: peso específico total de 20 kN/m3, para el que se ha considerado conservadoramente un ángulo de fricción interna (Ø) de 32° y una cohesión (C) de 0 kPa.

- **Depósito morrénico:** Este material está conformado por grava limo arcillosa (GM-GC), con fragmentos de forma redondeada y bolones de tamaño medio de 6”. De acuerdo a los ensayos SPT de estudios anteriores, este material presenta una compacidad densa a muy densa (Nspt > 36). A este material se le ha asignado un ángulo de fricción interna (Ø) de 35°, una cohesión (C) de 0 kPa y un peso específico total de 20 kN/m3.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

- **Basamento rocoso, Roca Caliza:** Esta roca presenta características geomecánicas de regular calidad y su resistencia varía de roca moderadamente dura a dura (R3 a R4). Para el cálculo de los parámetros de resistencia cortante del macizo rocoso se utilizaron las correlaciones de Bieniawski (1979). Los parámetros de resistencia, asignados conservadoramente para este material son: ángulo de fricción (Ø) de 35°, una cohesión (C) de 480 kPa y un peso específico total de 24 kN/m3.

- Intercalación de Arenisca con Lutita. Esta roca presenta características geomecánicas de mala a buena calidad y su resistencia varía de roca blanda a muy dura (R2 a R5). Para el cálculo de los parámetros de resistencia cortante del macizo rocoso se utilizaron las correlaciones de Bieniawski (1979). Los parámetros de resistencia, asignados conservadoramente para este material son: ángulo de fricción (Ø) de 25°, una cohesión (C) de 150 kPa y un peso específico total de 24 kN/m3.

4.3.5. Sismicidad

El más reciente estudio de peligro sísmico elaborado para la zona del proyecto fue el realizado por Anddes Asociados SAC, en setiembre del 2014. Este estudio fue realizado bajo los métodos probabilísticos y determinísticos, partiendo de una data sísmica actualizada al 2013 y empleando siete fuentes sismogénicas de subducción, de las cuales se diferenciaron los mecanismos de interfase (F2 y F3), de intraplaca superficial (F7 y F8) e intermedias (F11, F12 y F14). Así mismo se utilizaron tres fuentes sismogénicas continentales

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

(F15, F18 y F19). La geometría de estas fuentes es concordante con el modelo de subducción propuesto por Cahill e Isacks (1992).

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos del programa de cómputo CRISIS 2007 correspondientes a las aceleraciones horizontales máximas en el terreno (PGA), esperadas en la zona de estudio para perfiles de suelo Tipo B (Roca).

Tabla 3. Aceleraciones horizontales máximas (PGA) roca tipo B

Coordenadas Geográficas		Combinación de Leyes de Atenuación – Roca (Tipo B)	Periodo de Retorno (Tr)/Aceleración (g)				
Longitud	Latitud		100	200	475	975	2475
-77.018	-9.872	0.4Young + 0.6Zhao + Sadigh	0.154	0.198	0.270	0.341	0.448

Fuente: Anddes 2014.

La selección del movimiento sísmico de diseño depende del tipo de obra para el cual se está realizando el estudio. Para edificaciones en general se suele considerar una frecuencia anual de excedencia de 0,0021, es decir un período de retorno de 475 años que corresponde a una probabilidad de excedencia de 10% y un período de exposición de 50 años. Esto es consistente con lo establecido por el Ministerio de Energía y Minas (1995). De acuerdo con esto, la estimación probabilística del OBE (Sismo Base de Operación) en Roca (Tipo B), obtenida para un espectro de respuesta de 5% de amortiguamiento crítico, con 10% de probabilidad de excedencia y 50 años de periodo de exposición sísmica o vida útil, obtiene un valor de aceleración horizontal máxima (PGA) de 0.27 g.; además se estima el Máximo Sismo Considerado (MCE) probabilístico en 0,45 g; y el determinístico en 0,33 g según el IBC, 2012 y 0,45 g según el ICOLD, 2010 y NEHRP, 2010, los

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

cuales corresponden a valores de aceleraciones máximas que son recomendados para el diseño de estructuras de riesgo extremo.

4.4. Estabilidad Física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá.

A continuación, se establecen las metodologías y condiciones que permiten definir las superficies de falla que definen el factor de seguridad en la estabilidad física del depósito.

4.4.1. Metodología

Para la evaluación de la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic, se han considerado las condiciones de análisis estática y pseudoestática, empleando el escenario sísmico de operación. El análisis estático evalúa la estabilidad física del depósito en condiciones normales, donde las únicas fuerzas desestabilizantes están constituidas por el peso propio de los materiales y las presiones de poros presentes en el cuerpo de la presa. El análisis implica determinar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo, determinándose un factor de seguridad que se define como:

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d} \qquad \text{Ec..... 1}$$

Donde:

FS: Factor de seguridad.

τ_f Resistencia cortante promedio del suelo.

τ_d Resistencia cortante promedio desarrollada a lo largo de la superficie potencial de falla

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

El análisis pseudoestático constituye una forma simplificada de evaluar la estabilidad física del depósito, en caso de la ocurrencia de un sismo. Los análisis de estabilidad estático y pseudoestático de los taludes del depósito se evaluaron siguiendo la metodología del equilibrio límite y utilizando el método de Spencer (método que satisface todas las condiciones de equilibrio), considerado como una metodología de evaluación adecuada y conservadora para este caso. El análisis fue realizado con la ayuda del software Slide 2018 de Rockscience Inc., que permite la visualización gráfica de las superficies potenciales de fallas analizadas.

4.4.2. Sección de Análisis

La configuración actual del depósito de relaves Chuspic, presenta un nivel de cresta en la cota 4,082 msnm. Para evaluar este depósito se ha seleccionado la sección A-A' que, desde el punto de vista de su geometría, así como por su ubicación en planta, constituye la más desfavorable para el presente análisis.

4.4.3. Propiedades Físicas y Mecánicas de los Materiales

La caracterización geotécnica de los diferentes materiales involucrados en el análisis de estabilidad física del depósito de relaves Chuspic se efectuó tomando como base la información obtenida de estudios anteriores (investigaciones geotécnicas de campo y ensayos de laboratorio) y nueva información topográfica. Asimismo, se ha tenido en consideración, durante la compatibilización, los valores típicos de parámetros reportados por la literatura técnica internacional y la experiencia de SRK en materiales similares. Los valores de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

que conformarán el depósito de relaves Chuspic y su entorno geotécnico se indican en la Tabla 3:

Tabla 4. Propiedades físicas y mecánicas de los materiales

Material	ρ (kN/m3)	C' (kPa)	Ø' (°)
Relave existente (fino)	17	0	27
Relave grueso (superior)	17	0	30
Relave grueso (intermedio)	17	0	31
Relave grueso (inferior)	18	0	31
Dique de arranque	21	0	35
Dique de contención	19	0	33
Desmonte de mina	21	0	37
Suelo de cimentación mejorado	20	0	32
Depósito morrénico	20	0	35
Muro	24	100	32
Basamento rocoso (arenisca)	24	150	25
Basamento rocoso (caliza)	24	480	35

Fuente: SRK, 2019.

4.4.4. 4.4 Nivel Freático

Las lecturas obtenidas en los piezómetros tipo Casagrande y del sondeo que cuenta con sensores de cuerda vibrante, ubicadas en el interior del dique del depósito muestran valores pico de la napa interna (febrero de 2019). Esta configuración se encuentra alejada de la superficie potencial de falla, en el talud aguas abajo, lejos de la zona de riesgo. Por otro lado, al pie del depósito de relaves se encuentra el piezómetro que indica que el nivel freático se ubica a más de 2 m por debajo de la superficie del terreno natural, principalmente en el depósito morrénico. Los registros de los piezómetros existentes, de noviembre de 2019.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.4.5. Aceleración Sísmica del Diseño

Los parámetros indicados a continuación provienen del estudio de peligro sísmico; la aceleración sísmica horizontal máxima del terreno (PGA), esperadas en la zona de estudio, para la estimación probabilística del OBE (Sismo Base de Operación) en Roca (Tipo B), es de 0.27 g. No obstante, debido a que las aceleraciones sísmicas máximas se manifiestan sólo durante un periodo muy corto, la aceleración de diseño se define como una fracción de la aceleración máxima, siendo una práctica aceptada internacionalmente definir la aceleración de diseño como un valor comprendido entre 1/2 y 1/3 de la aceleración máxima (Marcuson, 1981). Asimismo, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers), recomienda el uso de un coeficiente sísmico igual al 50% de la aceleración pico de diseño, la misma que está basada en numerosos estudios del comportamiento de terraplenes durante eventos sísmicos. También, en la guía ambiental publicada por el Ministerio de Energía y Minas, se sugiere el uso de una fracción comprendida entre 1/2 a 2/3 de la aceleración pico de diseño. Según lo expuesto en el párrafo precedente, para el análisis de estabilidad física se ha propuesto conservadoramente una aceleración de diseño de 0.158 g, (fracción media entre 1/2 y 2/3 del PGA), debido a su condición de operación (corto plazo) y al bajo riesgo que representa el depósito. En consecuencia, para el presente análisis se empleará una aceleración sísmica de 0.16 g.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.4.6. Factores de Seguridad Mínimos Permisibles

Para el análisis de estabilidad, los factores de seguridad (FS) mínimos considerados en este estudio son los que se recomiendan en la "Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras" del Ministerio de Energía y Minas (DGAA, Vol. XVI – 1998), y se indican en la Tabla siguiente:

Tabla 5. Valores mínimos admisibles del factor de seguridad

Caso	Factor de seguridad mínimo aceptable (FS)
Análisis estático	1.5
Análisis pseudoestático	1.0

Fuente: SRK, 2020.

4.4.7. Resultados del Análisis de Estabilidad

Los resultados obtenidos en los análisis de estabilidad física del depósito Chuspic, según la configuración geométrica evaluada se resumen en la Tabla 6.

Tabla 6. Factores de seguridad obtenidos – condición actual

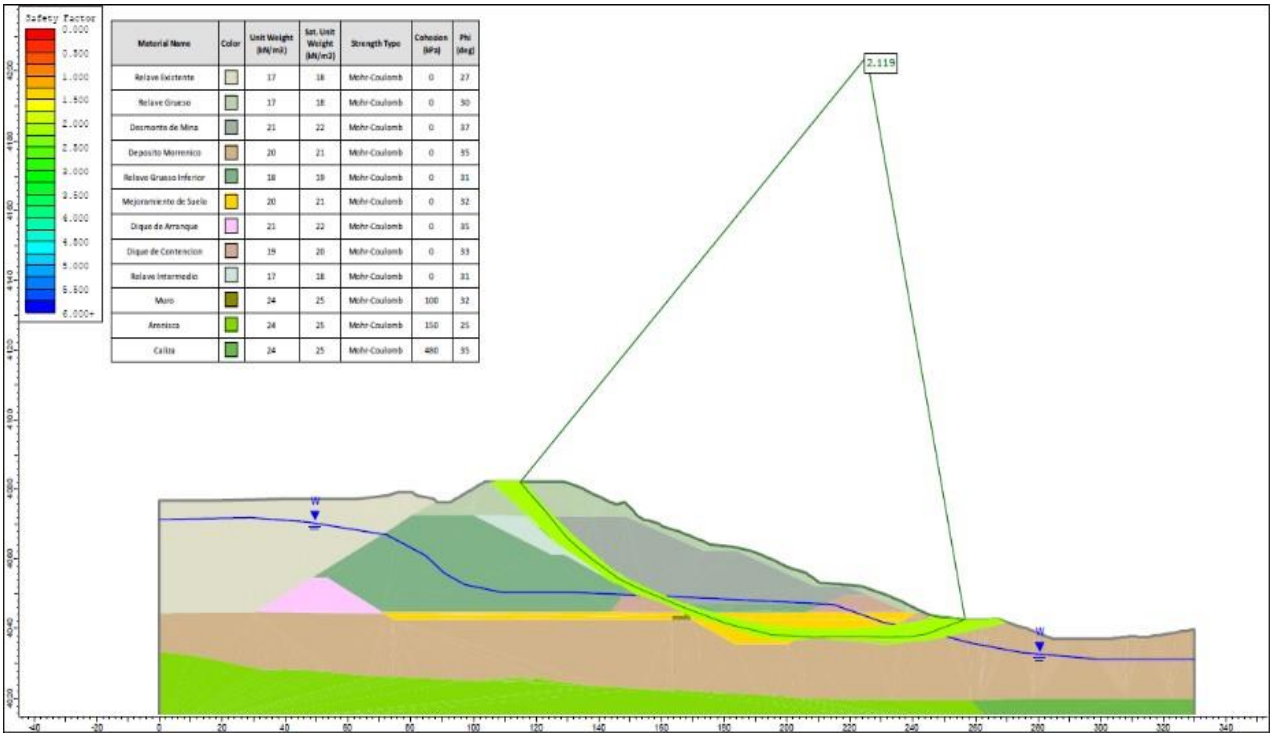
Sección de Análisis	Ubicación de falla	Tipo de falla	Factor de seguridad (FS)	
			Estático (a = 0 g)	Pseudoestático (a = 0.16 g)
Sección A-A'	Global	No circular	2.119	1.327
Sección A-A'	Talud (zona superior)	No circular	1.636	1.131
Sección A-A'	Talud (zona inferior)	No circular	2.057	1.372

Fuente: SRK, 2020

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Los resultados de los factores de seguridad obtenidos en el análisis de estabilidad física de los modelos analizados, para condiciones estáticas y pseudoestáticas, son mayores que los valores mínimos recomendados por la legislación vigente, lo que permite concluir que, para ambas condiciones de análisis, el depósito es físicamente estable.

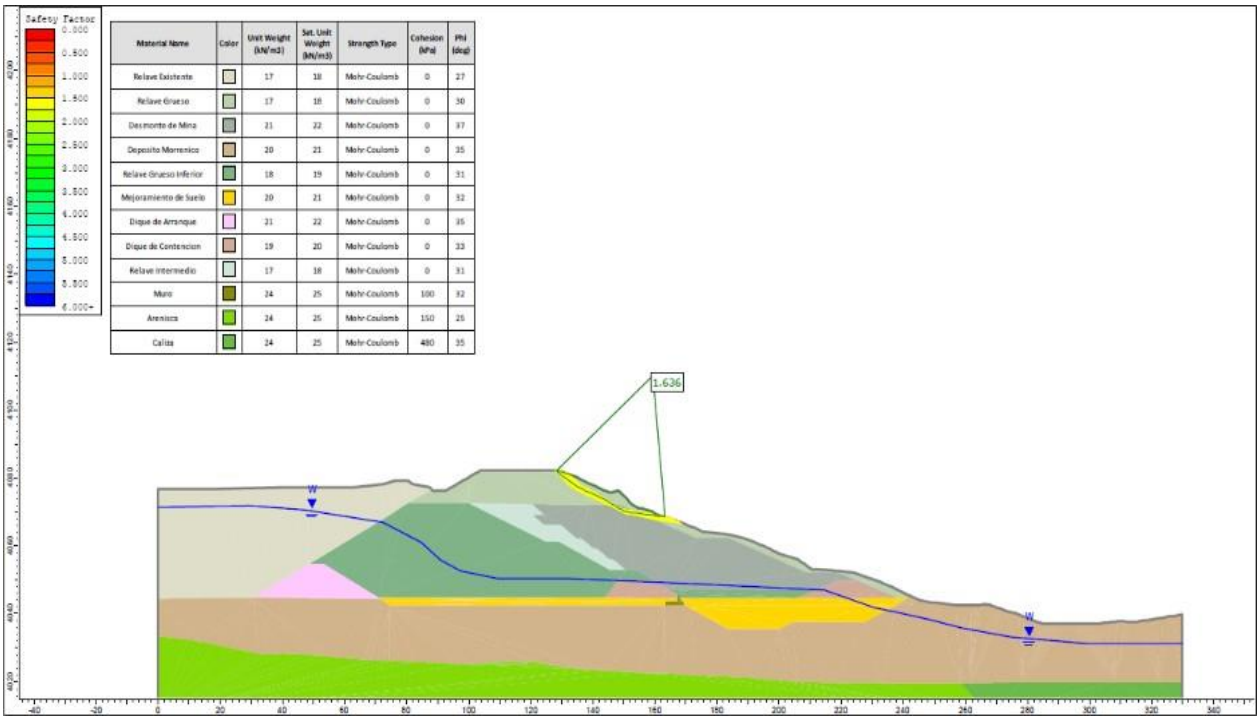
Figura 3. Estabilidad física actual del depósito de relaves Chuspic, Sección Típica – AnálisisEstático – Falla Global.



Fuente: SRK, 2020.

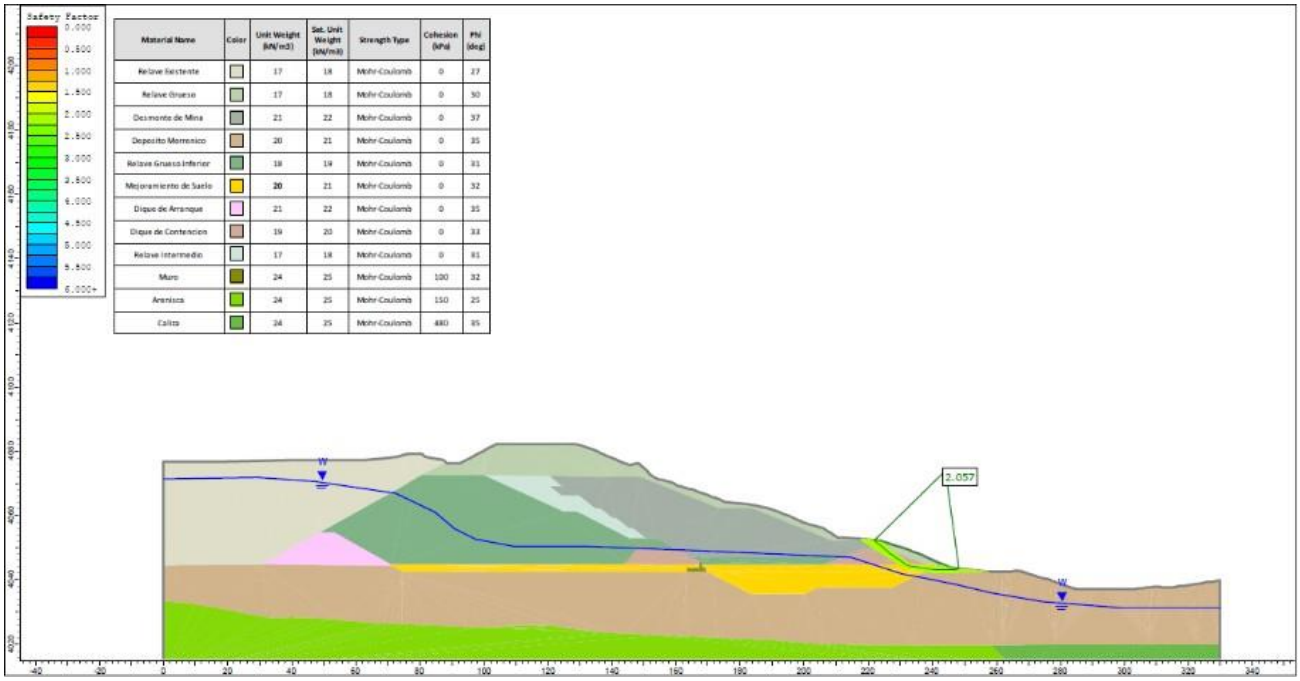
Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

Figura 4. Estabilidad física actual del depósito de relaves Chuspic, Sección Típica – AnálisisEstático – Falla Local.



Fuente: SRK, 2020.

Figura 5. Estabilidad física actual del depósito de relaves Chuspic, Sección Típica – AnálisisEstático – Falla Local.



Fuente: SRK, 2020.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

4.5. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en los análisis de estabilidad física del depósito Chuspic, según la configuración geométrica evaluada:

- Sección de análisis, sección A-A', la ubicación de la falla es global, el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 2.119 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.327 demostrando que es estable y que no existe riesgo de falla.

- Sección de análisis, sección A-A', la ubicación de la falla en el Talud (zona superior), el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 1.636 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.131 demostrando que es estable y que no existe riesgo de falla.

- Sección de análisis, sección A-A', la ubicación de la falla en el Talud (zona inferior), el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 2.057 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.372 demostrando que es estable y que no existe riesgo de falla.

4.6. Aportes de la tesista

Se contribuyo al realizar la investigación y caracterización geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

CONCLUSIONES.

1. Se realizó la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021, determinándose que las gravas y arenas compactas a semi compactas, dispuestas sobre un suelo mejorado en una matriz morrénica; bajo este estrato se encuentra el macizo rocoso ubicado a una profundidad aproximada de 10 a 17 m desde el pie de la quebrada donde está emplazado el dique del depósito Chuspic; de acuerdo a la interpretación geotécnica de piezómetros e inclinómetros en el dique de la relavera Chuspic, la napa se encuentra ubicada lejos de la superficie de falla esperada, lo cual indica que la napa actualmente no representa riesgo en la estructura interna del dique.

2. Se determino que de la evaluación de la estabilidad física del depósito de relaves se ha tomado en cuenta su localización, del que dependen detalles como la geodinámica externa, los que afectan al depósito, o las características climatológicas y sísmicas. Los depósitos de relaves en operación son instalaciones dinámicas, crecen en extensión, volumen y altura en relación al tiempo; vienen a constituir pasivos ambientales, ya que permanecen tras el cierre de la actividad.

3. Se determinó que el factor de seguridad superiores a los mínimos recomendados por el MEM, para condiciones estáticas y pseudoestáticas, se puede concluir que la geometría actual del depósito de relaves Chuspic es físicamente estable, al mes de agosto de 2020, debido los mínimos cambios de configuración que ha presentado desde su última evaluación.

4. Se determinó que la Sección de análisis, sección A-A', la ubicación de la falla es global, el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 2.119 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.327 demostrando que es estable

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

y que no existe riesgo de falla; la Sección de análisis, sección A-A', la ubicación de la falla es global, el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 1.636 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.131 demostrando que es estable y que no existe riesgo de falla; en la Sección de análisis, sección A-A', la ubicación de la falla en el Talud (zona superior), el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 1.636 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.131 demostrando que es estable y que no existe riesgo de falla y en la Sección de análisis, sección A-A', la ubicación de la falla en el Talud (zona inferior), el tipo de falla es no circular el factor de seguridad (FS) el estático (a = 0 g), es 2.057 y el Pseudo estático (a = 0.16 g) es igual 1.372 demostrando que es estable y que no existe riesgo de falla.

5. Los resultados del análisis de estabilidad física global indican que el Depósito Integrado de Relaves San Andrés presenta apropiada condición de estabilidad física para las condiciones actuales, a una cota de 3 935,10 m sobre el NMM en la corona del dique principal. Con una elevación de 4,90 m se estará llegando a la cota corona de 3 940 m sobre el NMM, altitud hasta donde tiene la autorización para su recrecimiento.

6. Los resultados de los factores de seguridad obtenidos para los depósitos de relaves de flotación y de cianuración, tanto en condiciones estáticas como pseudo-estáticas, poseen valores mayores a los factores de seguridad mínimos requeridos por la legislación vigente. Se concluye que ambas estructuras son físicamente estables

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

RECOMENDACIONES

1. Dado el tipo de material de confinamiento superior (relave grueso), se recomienda mantener alejada la ubicación de la descarga de los relaves finos unos metros del dique, a fin de evitar posibles infiltraciones hacia el dique de relave grueso.

2. Se recomienda actualizar la información piezométrica e inclinométrica ubicados en el dique de la presa de relaves Chuspic.

3. Se recomienda actualizar el Estudio de Peligro Sísmico en una próxima evaluación.

4. Se recomienda definir niveles de alerta, como medida preventiva, a fin de controlar mediante medidas correctivas un posible incremento del nivel freático dentro de la estructura del dique.

5. Se recomienda seguir monitoreando la instrumentación periódicamente, en especial en periodos de lluvia y la instrumentación que se ubica en el dique y sus alrededores.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguirre, R. (2017). *Roberto Eduardo Aguirre Ramos Análisis de la estabilidad física del depósito de Relaves Nº 5 de la concesión de Beneficio Belén de Minera Titán del Perú S.R.L.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ingeniería Geológica Geofísica y Minas. Escuela Profesional De Ingeniería Geológica. Arequipa, Perú.

Avellaneda, P. P. Avellaneda, C. C. (2020). *Evaluación de la estabilidad física del depósito integrado de relaves San Andrés (Perú).* (Trabajo de investigación). Universidad Nacional del Centro de Perú, Perú y Universidad Peruana Los Andes, Perú. Huancayo, Perú.

Cairo, J. (2013). *Evaluación geotécnica del depósito de relaves de la planta concentradora de Huari - La Oroya.* (Tesis de grado). Universidad Nacional del Centro del Perú Escuela de Postgrado. Unidad de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.

Carvajal, M. (2018). *Desarrollo de una metodología para análisis de estabilidad física de depósitos de relaves.* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento De Ingeniería Civil. Santiago de Chile, Chile.

Eerik A. Rennat Shepherd Miller, Inc. (1997). *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 41, Perú. Lima, Perú.

Estela, R. (2018). *Propuesta para la estabilidad física aplicado al pasivo ambiental Relavera de la Mina Paredones - San Pablo, Cajamarca 2018.* (Tesis de pregrado). Universidad privada del Norte. Facultada de Ingeniería. Cajamarca, Perú.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Flores, A. (2019). *Propuesta metodológica de instrumentación y monitoreo para evaluar la estabilidad física de un depósito de Relaves Abandonado en Chile.* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Civil. Santiago de Chile, Chile.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación.* Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición. México.

Huaman, J. (2018). *Análisis de estabilidad física del depósito de relave Manavale para su recrecimiento vertical con relave en pasta en la Empresa Minera Aurex S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Facultad De Ingeniería. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Geología. Cerro de Pasco, Perú.

Mamani, Y. (2019). *Consideraciones geotécnicas para el análisis de estabilidad de Talud de la Relavera Huaybillo U.M. El Cofre.* (Trabajo de suficiencia profesional). Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Facultad de Ingeniería de Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Puno, Perú.

Olaya, R. E. y Sevillano, C. B. (2019). *Análisis comparativo entre el método aguas abajoy suelo reforzado para el recrecimiento de la Presa de Relaves Viluyo.* (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma. Facultad de Ingeniería Programa de Titulación por Tesis. Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Lima, Perú.

Oñate, C. (2020). *Caracterización geológica y geotécnica para el depósito de relaves enel área Hijuela 10, Provincia de Huasco, Región de Atacama, Chile.* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Químicas Departamento Ciencias de la Tierra. Concepción, Chile.

Quispe, T. D. y Zúñiga, E. Á. (2019). *Análisis sísmico pseudo estático y pseudo dinámico de la estabilidad de la Presa Nº 9 Acchilla – Ccochaccasa - Angaraes•*

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

Huancavelica. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. Facultad de Ciencias de Ingeniería. Escuela Profesional De Ingeniería Civil – Huancavelica. Huancavelica, Perú.

SRK. (2020). *srk consulting. Perú. S.A.* Lima, Perú.U.M. Huanzalá. (2019). *Departamento de ingeniería mina Huanzalá.* Bolognesi, Perú.

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ANEXOS

Repositorio Institucional - **UNASAM** - Perú

ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION
Problema General ¿Cómo se realiza la investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021?	**Objetivo General** Realizar las Investigación y caracterización Geotécnica para determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.	**Hipótesis General** La investigación y caracterización Geotécnica determinara la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021. **Hipótesis Nula.** La investigación y caracterización Geotécnica **NO** determinara la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.	**Variable Independiente (x)** Investigación y caracterización Geotécnica. **Variable dependiente (y)** Determinar la estabilidad física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá – 2021.	**Tipo** El tipo de investigación es Aplicada. **Nivel de la investigación** El nivel será de investigación descriptiva. **Método** El Método empleado es el del método de investigación científica y es descriptivo, no experimental.	**Población** Toda el área física del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021. **Muestra** La muestra será toda el área física del dique principal del depósito de Relaves Chuspic de la U.M. Huanzalá en el año 2021.
Problemas específicos	**Objetivos específicos**	**Hipótesis específicas**			
¿Cuáles son los criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic?	Determinar los criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic.	Se determina los criterios que inciden en la evaluación del depósito de Relaves Chuspic.			
¿Cuáles son las condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic?	Determinar las condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic.	Se determinar las condiciones actuales del sitio del depósito de Relaves Chuspic.			

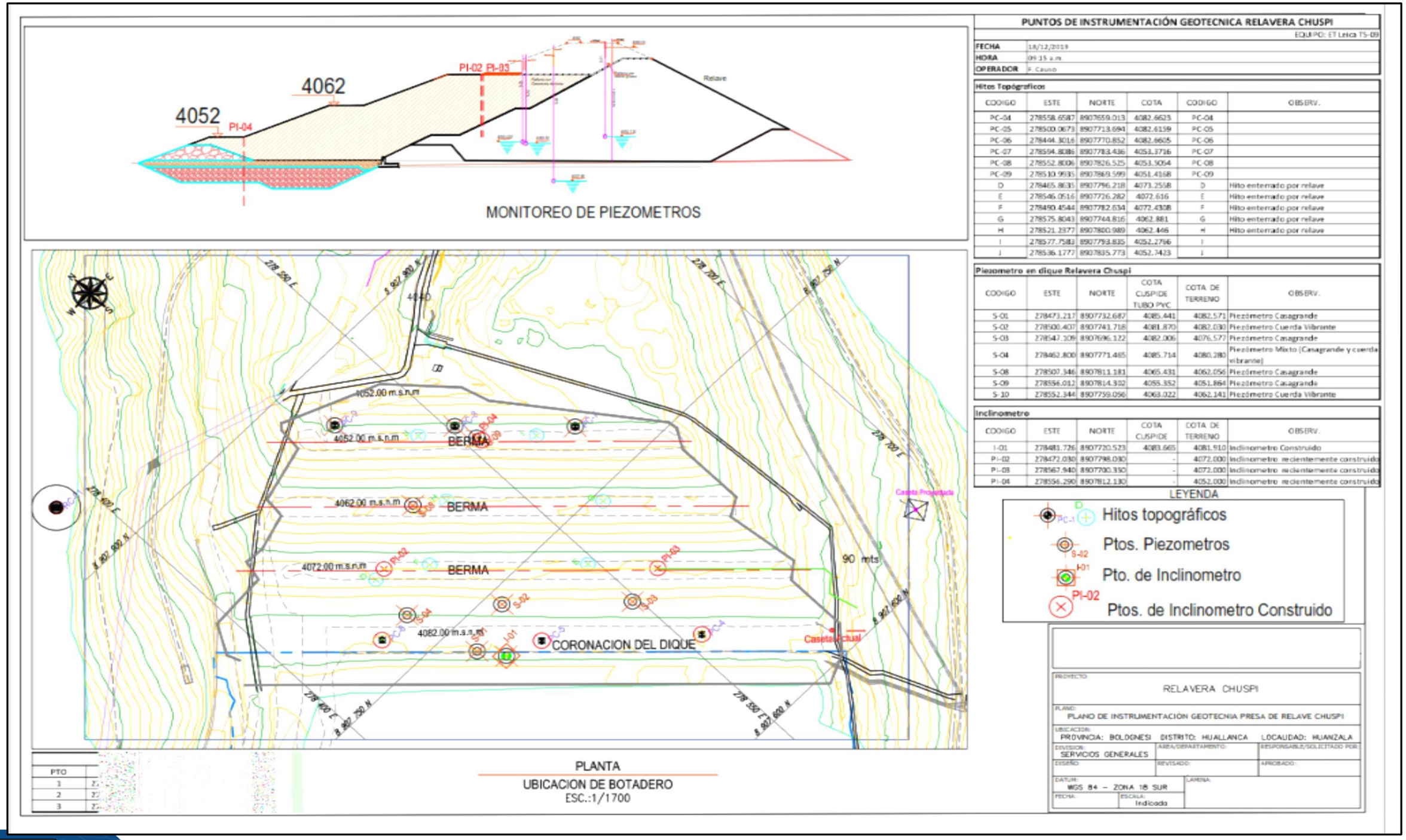
Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

¿Cómo determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic?	Determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic.	Se determinar la estabilidad física del depósito de relaves Chuspic.			

Fuente: Elaboración propia.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú

ANEXO N° 02: UBICACIÓN DE LA RELAVERA



Fuente: Fuente: Departamento de ingeniería de la U.M. Huanzalá, 2019.

Repositorio Institucional - UNASAM - Perú