

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**DISEÑO DE RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES DE LA
UNIDAD DE PRODUCCION UNTUCA-MINERA CORI PUNO SAC**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. SIXTO CIRIACO APAZA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO - PERU

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**DISEÑO DE RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES DE LA
UNIDAD DE PRODUCCION UNTUCA-MINERA CORI PUNO SAC**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. SIXTO CIRIACO APAZA QUISPE

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADA POR:

PRESIDENTE:

:


Dr. JUAN MAYHUA PALOMINO

PRIMER MIEMBRO:

:


Mg. FELIPE MAMANI OVIEDO

SEGUNDO MIEMBRO:

:


Ing. ESTEBAN AQUINO ALANOCA

DIRECTOR / ASESOR:

:


M.Sc. EUGENIO ARAUCANO DOMINGUEZ

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Diseño y planeamiento en minería

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 23 DE MAYO DEL 2019.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres, León y Hermitania por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones, a Elodia esa gran persona por dejarme compartir su vida con el mío, por darme su amor, por saber aguantarme y perdonar, por darme la confianza y no dejarme caer, por su apoyo incondicional, por darme el mayor tesoro que tenemos, ese pequeño rayito de luz y esperanza que es nuestro pequeño hijo Dayiro. A mis hermanos Gabriel, Elodia y Diana que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo.

Sixto.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento a mi alma mater la Universidad Nacional del Altiplano Puno, a la Facultad de Ingeniería de Minas, por haberme dado la oportunidad de alcanzar uno de mis objetivos; a mis profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que, con su experiencia, conocimiento y enseñanza, aportaron sus conocimientos en bien de mi formación académica y profesional.

Así mismo un agradecimiento infinito a mis padres. Por su esfuerzo y sacrificio incondicional que hicieron posible mi formación profesional.

Mi sincero reconocimiento al M.Sc. Eugenio Araucano Domínguez, director del presente proyecto y su apoyo asesoría para la ejecución del presente proyecto de investigación.

Agradezco también a la Empresa MINERA CORI PUNO SAC por haberme dado la oportunidad de desarrollar este proyecto de investigación; con un agradecimiento infinito al Ing. Superintendente de Mina, Ing. Tony Salazar por haberme permitido realizar mi trabajo de investigación para la ejecución de esta tesis.

Por último, agradezco a Dios por brindarme salud e iluminarme con el conocimiento necesario para continuar persiguiendo mis proyectos, y mis metas en mi vida.

Sixto.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIAi	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Hipótesis	15
1.3.1 Hipótesis general.....	15
1.3.2 Hipótesis específicos.....	15
1.4 Justificación del problema	16
1.5 Objetivos de la investigación	16
1.5.1 Objetivo general.....	16
1.5.2 Objetivos específicos	16

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	Antecedentes de la investigación.....	17
2.2	Marco teórico	25
2.2.1	Estabilidad de taludes	25
2.2.2	Tipos de presa y estructuras auxiliares	27
2.2.5	Conceptos básicos en estabilidad de taludes.....	37
2.2.5.1	El factor de seguridad	38
2.2.5.2	Movimientos de masa	38
2.2.1.3	Métodos de análisis de estabilidad de taludes.....	45
2.2.5.4	Métodos de equilibrio límite.....	47
2.2.1.5	Método de las dovelas.....	49
2.2.6	Conceptos básicos sobre los depósitos de relaves	51
2.2.6.1	¿Qué es el relave minero?.....	52
2.2.6.2	Ciclo de vida de un depósito de relaves.....	53
2.2.6.3	Caracterización de los relaves mineros Relaves	54
2.2.6.4	Opciones para la descarga de los relaves.....	56
2.2.7	Principales métodos de recrecimiento de los depósitos de relaves.....	57
2.2.8	Monitoreo del depósito de relaves	60
2.3	MARCO CONCEPTUAL.	67
2.3.10	Descripción de los Componentes a ser Ejecutados recrecimiento relavara.....	76
2.3.11	Conformación del Dique.....	79
2.3.12	Conformación de Rampa de Acceso.....	80
2.3.13	Sistema de Drenaje	80
2.3.14	Protección de tubería de dren principal	82
2.3.15	Control del Proceso Constructivo	82

2.3.16 Consideraciones para el diseño del depósito de relaves	85
2.3.17 Diques de arranque.	85
2.3.18 Sistema de drenaje	86
2.3.19 Método de disposición	86
2.3.20 Programa de monitoreo.....	87

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño de la investigación	89
3.2 Fases de la investigación.....	89
3.3 Método de investigación.....	90
3.4 Nivel de Investigación	90
3.5 Tipo de estudio.....	90
3.6 Población y muestra de investigación.....	91
3.6.1 Población	91
3.6.2 Muestra	92
3.7 Técnicas y procedimientos de recolección de datos	93
3.8 Instrumentos de recolección de datos	93
3.8.1 Geología.....	93
3.8.2 Configuración del recrecimiento de 6m del depósito Untuca.....	94
3.8.3 Ampliación de Corona - Muro Terramesh system 1 cara de 5m	95
3.8.4 Excavación para ampliación de corona	96
3.8.5 Estructura de recrecimiento - Muro terramesh system doble cara de 6m.....	96
3.8.6 Sistema de impermeabilización	97
3.8.7 Sistemas de evaluación de aguas de pondaje.....	99
3.8.8 Diseño contra desbordamiento.....	99

3.8.9	Diseño contra deslizamiento	99
3.8.10	Análisis Dinámico.....	100
3.8.11	Aspectos Constructivos.....	100
3.9	Instrumentación geotécnica	101
3.9.1	Puntos de control Topográfico.....	101
3.9.2	Frecuencia de Monitoreo	101
3.9.3	Procedimiento de Monitoreo	102
3.9.4	Equipo a emplear	102

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Estimación de costos de CAPEX.....	103
4.1.1	Costos Directos	103
4.1.2	Costos Indirectos.....	103
4.1.3	Costo de CAPEX	104
4.2	Cronograma	104
4.3	Análisis dinámico del recrecimiento de la presa Untuca.....	104
4.5	Movilización y Desmovilización de equipos.....	107
4.6	Explotación de canteras	108
4.7	Construcción de gaviones	109
4.8	Ejecución	111
4.9	Relleno manual de las cajas de gaviones	113
4.10	Manual de Operaciones	117
4.10.1	Control de Sobre-elevación de presa	118
4.10.2	Control del agua de precipitación y Escorrentía sobre la presa	119

4.10.3 Control de obras hidráulicas auxiliares.....	120
4.10.4 Control de disposición de relaves	121
CONCLUSIONES	125
RECOMENDACIONES.....	126
BIBLIOGRAFIA	128
ANEXOS	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Análisis cinemático de taludes en macizos rocosos	26
Figura 2.2: Esquemas de tipos de presa de materiales sueltos.....	27
Figura 2.3: Fuerzas a actuantes en las presas. H: presión hidrostática; S: subpresiones; W: peso de la presa; R: resultante de H y W (embalse lleno).	32
Figura 2.4: Mecanismos de rotura en presas de tierras por fallo de la cimentación.	34
Figura 2.5: Grafico deslizamiento horizontal, paramento aguas arriba inclinado	35
Figura 2.6: Deslizamiento horizontal a favor del contacto presa-terreno; paramento aguas arriba inclinado:	35
Figura 2.7: Deslizamiento en el terreno por debajo de la cimentación, buzando aguas abajo:.....	36
Figura 2.8: Corte geológico y perfil de excavación de la presa de Funcho (Portugal)...	37
Figura 2.9: Terminología usada para describir un talud.	37
Figura 2.10: Elementos de un movimiento de masa	39
Figura 2.11: Desprendimiento de rocas	40
Figura 2.12: Vuelco de rocas	41
Figura 2.13: Modos de falla en deslizamientos (Skempton & Hutchinson 1969).....	43
Figura 2.14: Deslizamientos laterales	44
Figura 2.15: Flujo de escombros (Debris flow)	45
Figura 2.16: Clasificación general de los métodos de cálculo de estabilidad.....	46
Figura 2.17: Fuerzas actuantes en una dovela vertical de una superficie de deslizamiento	49
Figura 2.18: Proceso de construcción del método aguas arriba.....	61
Figura 2.19: Secuencia del proceso constructivo del método aguas abajo	62
Figura 2.20: Secuencia de construcción del método de la línea o eje central.....	62
Figura 2.21: Modelo de recrecimiento presa de relaves	71
Figura 3.22: Sección Típica de la estructura de recrecimiento.....	94
Figura 3.23: Detalle de Ampliación de Corona	95
Figura 3.24: Detalle de Excavación con Equipo Pesado y de forma Manual.....	96
Figura 3.25: Detalle de anclaje de Geomembrana en margen izquierda	98
Figura 3.26: Detalle de anclaje de Geomembrana en muro de recrecimiento	98
Figura 4.27: Modelo Geotécnico de Análisis	105
Figura 4.28: Modelo Geotécnico de análisis de Esfuerzos Iniciales	106

Figura 4.29: Esfuerzos Verticales In Situ	106
Figura 4.30: Esfuerzos Verticales In Situ	110
Figura 4.31: Cosidos de elementos de gavión	112
Figura 4.32: Armado de gavión	113
Figura 4.33: Cosidos de elementos de gavión	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tipos de deslizamientos. Versión abreviada de la clasificación de Varnes (1978).....	42
Tabla 2.2: Características de otros métodos de equilibrio límite.....	51
Tabla 2.3: Balance metalúrgico	53
Tabla 2.4: Relación del porcentaje de sólidos con el volumen de agua por tonelada	56
Tabla 3.5: Factores de Seguridad - Estabilidad Global	99
Tabla 3.6: Hitos de Control topográfico	102
Tabla 4.7: Estimado de Costos CAPEX (US\$).....	104
Tabla 4.8: Control de acumulación de relaves.....	123
Tabla 4.9: Contrastación y verificación de la hipótesis	124

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Control y Cumplimiento de tonelaje.....	132
ANEXO 2: Grafico del Programa de Producción.....	133
ANEXO 3: Balance Metalúrgico	134
ANEXO 4: Factores de Seguridad - Estabilidad Global.....	135
ANEXO 5: Factores de Seguridad - Estabilidad Global.....	136
ANEXO 6: Propiedades de los Refuerzos Utilizados.....	137
ANEXO 7: Parámetros de Resistencia al corte del depósito de Relaves Untuca	138
ANEXO 8: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición sísmica de la sección A-A en la zona frontal de la Presa Untuca.....	139
ANEXO 9: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición sísmica de la sección B-B en la zona de curva de la Presa Untuca	140
ANEXO 10: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición sísmica de la sección C-C en la zona lateral de la Presa Untuca.....	141
ANEXO 11: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición estática de la sección A-A en la zona frontal de la Presa Untuca.....	142
ANEXO 12: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición estática de la sección B-B en la zona de curva de la Presa Untuca	143
ANEXO 13: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición estática de la sección C-C en la zona lateral de la Presa Untuca.....	144
ANEXO 14: Relleno Manual de cajas de Gaviones	145
ANEXO 15: Tendido de cola de gaviones y geotextiles	146
ANEXO 16: Tendido de geomallas y geomembranas.....	147
ANEXO 17: Ubicación de la unidad minera Untuca.....	148
ANEXO 18: Plano geológico local.....	149
ANEXO 19: Plano Isométrico	150
ANEXO 20: Corte de secciones A-A, B-B y C-C, para el Modelo Geotécnico	151
ANEXO 21: Volumen presa de relaves	152

RESUMEN

El proyecto de recrecimiento del depósito de relaves de la unidad de producción Untucaminera Cori Puno SAC se ha diseñado para ampliar la capacidad de almacenamiento en el área disponible de 550,000 m³ de relave, para minimizar el volumen de relleno y las áreas a afectar, debido al reducido espacio que se dispone, por ello se propone la construcción de un muro reforzado de 11m de altura, de las cuales 6m corresponde a estructura de recrecimiento y los 5m restantes a la ampliación de la corona, La estructura de recrecimiento tiene el objetivo principal de contener los relaves depositados de manera estable desde punto de vista físico y químico. El costo total de CAPEX de US\$ 2 572,580,00 cuyos componentes estarán conformados por: Ampliación de corona, estructura de recrecimiento, sistema de impermeabilización, sistema de evacuación de aguas de pontaje o espejo de agua en los relaves. El método de trabajo es; ampliación de corona, muro terramesh con cara de 5m, excavación para la ampliación de la corona, estructura de recrecimiento con muro terramesh con sistema de doble cara de 6m, sistema de impermeabilización, sistema de evacuación de aguas de pontaje, diseño contra desbordamiento y diseño contra deslizamiento. Finalmente se concluye que los parámetros para el diseño recrecimiento del depósito de relaves están considerados a partir de corana de recrecimiento, cota 4 326 msnm cuyos datos técnicos son: ancho de la corona de la presa proyectada es de 7.80 m., el borde mínimo operacional de la presa es de 1.00 m. el coeficiente sísmico para análisis sísmico: 0.12 g, la densidad de relaves secas depositadas: 1.20 Ton/m³.

Palabras Clave: Diseño, Recrecimiento presa, deposición de relaves, Vida del depósito.

ABSTRACT

The tailings deposit regrowth project of the Untuca-mining production unit Cori Puno SAC has been designed to expand the storage capacity in the available area of 550,000 m³ of pulp tailings, to minimize the volume of landfill and the areas affect, due to the limited space that is available, therefore it is proposed the construction of a reinforced wall of 11m in height, of which 6m corresponds to regrowth structure and the remaining 5m to the extension of the crown, The regrowth structure has The main objective of containing tailings deposited in a stable manner from a physical and chemical point of view. The total cost of CAPEX of US \$ 2 572,580.00 whose components will consist of: Corona expansion, regrowth structure, waterproofing system, pontoon water evacuation system or water mirror in the tailings. The working method is; extension of crown, terramesh wall with face of 5m, excavation for the extension of the crown, regrowth structure with terramesh wall with double-sided system of 6m, waterproofing system, pontoon water evacuation system, design against overflow and design against sliding. Finally, it is concluded that the parameters for the design of the recirculation of the tailings deposit are considered from the height of the elevation, elevation 4 326 meters above sea level, whose technical data are: width of the projected dam crown is 7.80 m., The minimum operating edge of the dam is 1.00 m. the seismic coefficient for seismic analysis: 0.12 g, the density of dry tailings deposited: 1.20 Ton / m³.

Keywords: Design, dam regrowth, tailings deposition, deposit life.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Cori Puno S.A.C, es una empresa minera privada dedicada a la explotación y Procesamiento de oro, la cual viene operando a un ritmo de producción de 350 TMD. Como parte de dicha operación, a la fecha viene depositando sus relaves en el actual deposito denominado Deposito de Relaves Untuca, cuyo nivel de cota de corona actual es 4310.0 msnm. Adicionalmente, fue aprobado por la Dirección Regional de Energía y Minas (DREM) de Puno en diciembre del 2014, mediante resolución directoral N°355-2014-GRP-DREM-PUNO/D, la ingeniera de recrecimiento hasta la cota 4326.0 msnm, la Cual consiste en una sobreelevación de 16m de altura, conformada en tres etapas, siguiendo el método aguas abajo.

Adicionalmente a ello, Cori Puno SAC ha visto por conveniente continuar sobre elevando la presa Untuca a través de un segundo recrecimiento, cuya cota de inicio seria 4326.0 msnm hasta la cota 4332.0 msnm. Para tal efecto, Cori Puno S.A.C ha previsto realizar su proyecto de realizar la Ingeniería a nivel de detalle del recrecimiento de 6m. desde el nivel de cota 4326.0 msnm hasta la cota 4332.0 msnm. Dicha sobreelevación permitirá ampliar la vida útil del depósito, con respecto a lo aprobado por la DREM de Puno.

1.2 Formulación del problema

¿cómo se realizará el diseño de recrecimiento del depósito de relaves, para ampliar su capacidad de almacenamiento de 550,000 metros cúbicos, de acuerdo a la construcción y asegurar su estabilidad durante su vida útil?

Problemas específicos

A) Como se diseñará la capacidad de almacenamiento del depósito de relaves de acuerdo a la capacidad de la planta concentradora de 350 TMD.?

B) ¿Cómo se realizará el diseño de recrecimiento del depósito de relaves, asegurar su máxima seguridad de acuerdo a la calidad de material de relleno estructural, y la geomembrana para evitar filtraciones y desmoronamiento de materiales?

C) ¿Cómo se realizará la instalación de instrumentación geotécnica, para controlar fallas geomecánicas y su control topográfico?

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis general

el diseño de recrecimiento del depósito de relaves, se establecerá para la capacidad de 550,000 metros cúbicos para una capacidad de la planta concentradora de 350TMD asegurando su estabilidad y correcta operación durante su vida útil.

1.3.2 Hipótesis específicos

A) La capacidad de almacenamiento del depósito de relaves se diseñará para la capacidad de 550,000m³ de planta concentradora que tiene una capacidad de 350 TMD.

B) Diseño de recrecimiento del depósito de relaves para su estabilidad estará de acuerdo al estudio geomecánica y tipo de material a utilizarse para evitar riesgo de filtraciones y desmoronamiento de materiales.

C) Conocer la instalación de instrumentación geotécnica, para monitorear y controlar

1.4 Justificación del problema

El diseño de recrecimiento de la presa de relaves es para ampliar la deposición de relaves con ello aumentar la vida de tratamiento de mineral aurífero en la zona de Untuca, evitar los diferentes impactos ambientales, social y económicos. Caso contrario se producirían graves filtraciones, drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como los efectos negativos a la biodiversidad y los ecosistemas.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objetivo general

El diseño de la capacidad de almacenamiento de la presa de relaves es asegurar la utilización de técnicas y procedimientos para almacenamiento en el área disponible de 550,000 metros cúbicos de relaves en pulpa, de acuerdo a las reservas económicas a tratar en la planta concentradora, de 350 TMD y aumentar la vida útil de la presa.

1.5.2 Objetivos específicos

- A) Asegurar la calidad de construcción de la presa de relaves para almacenar 550,000 metros cúbicos, para una planta de beneficio de 350 TMD.
- B) establecer el recrecimiento de la presa de relaves de acuerdo al estudio geomecánica, especificaciones técnicas y la calidad del material de préstamo durante la construcción.
- C) controlar y monitorear durante la construcción, las fallas geotécnicas que puede ocasionar.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes de la investigación

1.- Aguirre Ramos Roberto E.(2017), Tesis presentado a la UNSA-Arequipa, para optar Título de Ingeniero Geologo: Analisis de la Estabilidad Fisica de Depositos de Relaves de la Concesion de Beneficio de la Minera Titan del Peru S.R.L. Concluye: Que para realizar cambios en la disposición de relaves es necesario realizar antes un nuevo análisis de estabilidad física del depósito de relaves , para lo cual es necesario determinar las características geotécnicas de las unidades que yacen en los cimientos del depósito de relaves , de los materiales que conforman el dique de contención y las características físicas de los relaves a depositar en el vaso. Para realizar el cambio en la disposición de relaves, se debe implementar controles que eviten el contacto del cuerpo de agua con el talud aguas arriba del dique de contención y de esta manera se logre la formación de una playa de relaves contigua al dique de contención, asimismo se prevé la construcción de una berma estructural de material de préstamo emplazado al pie del talud aguas abajo del dique de contención, de tal manera que dichos cambios en el diseño puedan aportar positivamente en la estabilidad física del depósito de relaves .

Los resultados del análisis de estabilidad física del depósito de relaves indican que para las condiciones proyectadas tomando en cuenta los cambios realizados en la disposición de relaves, así como la construcción de la berma de contención, el depósito de relaves, obtiene valores favorables de los factores de seguridad para la sección analizada, certificando una operación segura.

2- Leon Antunez Jerzy Rómulo (2009), Informe Experiencia, presentado a la Universidad Ricardo Palma, sobre: Recrecimiento del dique de relaves Chuspic – Minera Santa Luisa – UEA Huanzala indica; **CONDICIONES INICIALES DE LA RELAVERA CHUSPIC**. El Depósito de Relaves crece mediante el método de aguas abajo. En la cresta del depósito existe un ciclón, el cual separa los materiales finos de los gruesos. El relave grueso es depositado hacia aguas abajo, constituyendo el cuerpo del mismo. El relave fino es depositado hacia aguas arriba y constituye el depósito de relaves propiamente dicho.

El relave grueso ha sido clasificado como arenas limosas de grano fino (SM), los estudios efectuados por Buenaventura Ingenieros S.A. – BISA, en Octubre de 1997, reportan que estos materiales presentan hasta 10.0 m de profundidad y un ángulo de fricción interna de 26° ; por debajo de esta profundidad el valor del ángulo de fricción interna aumenta a 31° . El relave fino ha sido clasificado para propósitos de diseño como limos arenosos y arcillas limosas (ML, CL) con valores del ángulo de fricción interna de 24° y cohesión nula.

El dique de arranque está conformado por suelos granulares extraídos de las proximidades del depósito, los cuales presentan un ángulo de fricción interna de 32° y cohesión nula.

El muro existente al pie del dique está conformado por bloques de roca y grava provenientes de la excavación de las bocaminas. El valor del ángulo de fricción para estos materiales es igual a 38° y la cohesión nula.

3. Cancela Rey Maria Dolores (1987), Tesis Doctoral; Comportamiento Geomecánico de la Presa de Residuos bajo Acciones Estáticas, presentado a la Universidad Politécnica de Madrid, indica:

El aumento de los volúmenes de residuos obtenidos por vía húmeda a almacenar exige la construcción de presas de residuos cada vez más altas, capaces de garantizar la disposición final de estos productos de forma segura y económica. Para el diseño y construcción de estas obras, es necesario aumentar el conocimiento sobre las propiedades de los materiales y el comportamiento de los diques.

En esta Tesis Doctoral se ha realizado un análisis inicial del cual se desprende que el comportamiento de los lodos no es bien conocido.

Por lo tanto, se ha planteado una metodología de estudio de dos residuos de lavadero, representativos de la amplia gama de los estériles españoles. Se pretende así hacer una aportación original sobre las variaciones de los parámetros geotécnicos que gobiernan el comportamiento de los diques autocreteables. Dicha metodología incluye:

- a) El desarrollo de técnicas especiales para la preparación de probetas mediante vertido de suspensiones de lodos.
- b) El ajuste de los equipos convencionales de laboratorio para la realización de los diferentes ensayos destinados a la evaluación de las propiedades geotécnicas de los residuos.
- c) Puesta a punto de un equipo de Corte Simple NGI para su empleo en la medida de la resistencia al corte de los estériles, con modificaciones y adiciones originales adecuadas para ensayos estáticos y dinámicos.

Se ha estudiado con especial interés el fenómeno de la consolidación sobre los residuos, mediante el empleo de células Edo métricas convencionales y de presión hidráulica. Las determinaciones de la permeabilidad por diferentes métodos han demostrado la validez de la fórmula de Hazen para los residuos areno-limosos de baja plasticidad.

El estudio de la resistencia al esfuerzo cortante se ha realizado empleando equipos de corte directo y de corte simple. Se ha analizado con detalle la variación de los parámetros de resistencia.

4- Gilbert, David (2014), 31 Convención Minera; La Importancia de la Playa de Relaves

– Antamina; concluye:

- •La disminución de las infiltraciones, hasta en 30%, es debido a la playa de relaves existente.
- •La presencia de la playa minimiza el riesgo de fenómenos de rebose y tubificación.
- •Hay ventajas secundarias asociadas si mantenemos la existencia de la misma.
- •Una playa de 200 m, deberá ser mantenida en forma permanente en condiciones operativas, todo el año

5-Veramendi Jaramillo Jorge (2016), XI Congreso Nacional de Minería – Piura; El ABC de la Relaveras, donde concluye:

Los depósitos donde se disponen relaves ocupan superficies extensas de terreno por tiempo indefinido, tal disposición si no está aislada genera impacto por infiltración de las aguas de proceso contenidas en dicho relave. Según el tipo de suelo de contacto, esta infiltración puede alcanzar algún cuerpo receptor tal como un acuífero; las consecuencias de impacto ambiental pueden ser irreversibles.

Se tiene por objetivo proponer criterios básicos para ser utilizados desde el diseño de los depósitos de relaves pasando por la construcción, operación, mantenimiento y posterior

cierre para minimizar el potencial de causar impacto al medio ambiente, cumpliendo las normativas relacionadas vigentes.

Una de las aplicaciones es durante la operación, cuando la disposición de relaves es en pulpa; donde el dique de contención es conformado con la fracción gruesa del relave y en cuyo vaso se dispone la fracción fina. La instrumentación es muy importante para el monitoreo de la gradiente hidráulica que pasa por los distintos componentes del depósito durante la operación, cierre y post cierre.

6.- Alva Hurtado Jorge (2005), Análisis Sísmico de Presas de Relaves, seminario de actualización en la UNI, concluye:

- El mayor problema es evaluar la seguridad sísmica de presas existentes.
- -El factor más común es la licuación de suelos.
- -Se requieren correcciones por sobrecarga, inclinación del terreno y magnitud sísmica para evaluar la licuación.
- - El análisis post- licuación emplea equilibrio límite y deformación.
- -Los parámetros dinámicos de los materiales controlan las características de la respuesta sísmica.
- -El análisis de respuesta sísmica permite evaluar los esfuerzos cortantes dinámicos y las características de amplificación del depósito.
- -En un depósito inactivo, el análisis dinámico involucra la estabilidad pseudo-estática y el cálculo de las deformaciones permanentes por sismo.
- -En un depósito operativo, se requiere evaluar el potencial de licuación, analizar la resistencia residual, realizar un análisis de estabilidad post-sismo y evaluar el potencial de deformación.

7.-MACCAFERRI (2016), Obras de Contención: Las estructuras de contención tienen la finalidad de contener macizos de suelos o de desechos. Es importante escoger soluciones de simple dimensionamiento, de resistencia adecuada a las necesidades y que garanticen una larga vida útil a la obra.

Refuerzo por proceso de almacenamiento se entiende a todas las operaciones de depósito de relaves en lugares apropiados. En este caso las soluciones que se ofrece se refieren a las obras de sistemas de contención y estabilización de diques que permitan asegurar un cierto volumen de almacenamiento del material de relaves y a los sistemas de impermeabilización y drenaje para acelerar la sedimentación del material depositado.

Es una geomanta formada por un colchón tridimensional fabricado con filamentos de POLIPROPILENO unidos térmicamente entre sí en los puntos de contacto. Geomanta con el mismo aspecto en las dos caras, su estructura es constituida por más del 90% de vacíos. Su acción evita que el suelo sea transformado en una superficie estéril y erosionable.

Geomanta cuyos vacíos son llenados con una mezcla de concreto proyectado, formando colchón flexible de refuerzo. Para el revestimiento de taludes geotécnicamente estables y con fuerte pendiente; la red es colocada después de la Geomanta, formando una contención pasiva.

8.- LOPEZ HUAYNATE, FRANCISCO RAFAEL (2013), Tesis: "USO DE LA SOLDADURA POR TERMOFUSIÓN EN LA IMPERMEABILIZACIÓN CON GEOMEMBRANA HDPE DEL RECRECIMIENTO DE LOS DIQUES N o 1 Y N o 2 DE LA RELAVERA RUMICHACA U.E.A. CARAHUACRA CIA. MINERA VOLCAN S.A.A." presentado a la Universidad Nacional del Centro del Perú, concluye: La producción promedio de relaves totales es de 4,000 toneladas métricas secas diarias

(TMSD) provenientes de una planta concentradora la cuales son enviadas al actual depósito de relaves Rumichaca que se encuentra en Operación. La cota de corona de la presa del depósito de relaves Rumichaca (RUMICHACA) a la fecha se encuentra a 4213 msnm. Para esta cota y para la producción actual de relaves, la capacidad máxima de deposición de los relaves en el depósito de relaves Rumichaca se alcanzaría en diciembre del año 2012. De acuerdo a lo anterior, VOLCAN solicitó realizar el estudio de "Ingeniería de Detalle para el Recrecimiento del Depósito de Relaves Rumichaca". En tal estudio se ha dispuesto que el recrecimiento de la Presa RUMICHACA se realice en dos etapas, llamadas Etapa IA (dique N° 01) y Etapa IB (dique N° 02). Para tal fin se ha considerado continuar con el recubrimiento de las superficies nuevas usando geosintéticos HDPE para el recrecimiento de la presa en sus dos etapas, el objetivo de la impermeabilización del vaso es reducir el flujo de agua a través de un medio permeable mediante el uso de un recubrimiento de muy baja permeabilidad (Geomembrana) integrado con un sistema de protección (Geotextil), con la finalidad de proteger la estabilidad del dique que podría y además de prevenir la contaminación de los suelo de las zonas aledañas así como la contaminación de las aguas subterráneas que se ubican cerca al depósito de relaves.

Los únicos métodos aprobados para efectuar los sellados y reparaciones de estos materiales son mediante proceso térmico ya sea soldadura por extrusión y por fusión; todo el equipo de sellado o fusión debe tener indicadores de temperatura y velocidad para efectuar las mediciones y calibraciones.

El principio de sellado térmico consiste en calentar las dos superficies a ser unidas de tal manera que logren ablandar las superficies y posteriormente mediante presión se unan íntimamente logrando de esta manera la impermeabilización de los diques de la relavera.

9.- Rimarachin V. Paolo y Huaranga M. Felix (2015), Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales, revista scielo, SCIENDO 18(2): 20-29, 2015, en la investigación indican: Los relaves mineros son la principal fuente de contaminación debido a la presencia de metales pesados, que repercuten en el sistema ecológico y en la salud humana; de allí que el objetivo fue tratar las aguas de efluentes mineros-metalúrgicos aplicando métodos activos y pasivos. Para el método pasivo se utilizó compost y humus y como material de reacción se usó la técnica de flujo estable propuesta por Smit (1999), mientras que para el método activo se utilizó membrana semipermeable artesanal y se siguió la técnica de la ósmosis inversa. El análisis cuantitativo de los metales pesados Cu, Zn, As, Pb, Cd y Hg, se realizó utilizando el espectrofotómetro Perkin Elmer 601. Por el sistema compost y humus encontramos remoción de Cu, As, Cd y Hg superiores al 97 %, Zn para el humus con 85.67 % y Pb para compost con 95.66 %. En el sistema de membrana semipermeable artesanales, Pb, As y Zn fueron retenidos en niveles superiores al 99 % y otros como el Hg y Cd fueron retenidos totalmente; en este caso el metal con menor capacidad de retención fue el Cu con valores de 98.83 % para la membrana del humus y 99.55 % para la membrana del compost. Se concluye que el humus y compost tienen una elevada capacidad de remoción de metales; y al juntarlo con la membrana semipermeable, maximiza aún más los resultados esperados.

10.-Rojas Linares Edito Luis (2002), DISEÑO DE PRESAS DE RELAVES, en su investigación indica: Luego de haber definido la ubicación del sitio de la presa y seleccionado el tipo de presa, se procede al diseño de la estructura. El diseño se iniciará con la selección de materiales y su distribución o zonificación dentro de la sección de la presa, así como el análisis de las condiciones de inicio, que pueden afectar el

comportamiento de la estructura. El proyecto de una presa de relaves considera los siguientes Análisis:

- Estabilidad contra el desbordamiento.
- Estabilidad contra el flujo incontrolado
- Estabilidad contra la erosión interna.

Estabilidad contra la licuefacción. Se considera que, para presas de relaves, el deslizamiento inicial de tipo rotacional, es el mecanismo que origina la falla de la mayor parte de los taludes (con excepción de aquellos inducidos por licuación); desarrollándose después como deslizamientos de flujo. Los análisis de estabilidad serán efectuados para las siguientes condiciones:

- Al final de la construcción
- Construcción por etapas
- A largo plazo
- Análisis de estabilidad sísmica

2.2 Marco teórico

2.2.1 Estabilidad de taludes

El campo de la estabilidad de taludes estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica - geotécnica.

La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel, que tiene lugar por diversas razones:

- Razones geológicas: laderas posiblemente inestables, orografía acusada, estratificación, meteorización, etc.

- Variación del nivel freático: situaciones estacionales, u obras realizadas por el hombre.
- Obras de ingeniería: rellenos o excavaciones tanto de obra civil, como de minería.

Los taludes además serán estables dependiendo de la resistencia del material del que estén compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten.

Los taludes pueden ser de roca o de tierras. Ambos tienden a estudiarse de forma distinta.

Análisis cinemático de taludes en macizos rocosos

En el análisis de taludes en macizos rocosos, se presentan bloques de roca delimitados por un sistema tridimensional de planos de discontinuidad. Se entiende por discontinuidad a todas aquellas estructuras geológicas (fallas, fracturas, diaclasas, estratificación, foliación, etc.) que forman dichos planos, los que comúnmente se conoce como fábrica estructural del macizo rocoso. Normalmente este tipo de discontinuidades son producto del tectonismo a la que fue sujeta la roca en un estado inicial de esfuerzos. Dependiendo de la orientación de las discontinuidades se tendrá un patrón de fracturamiento que delimitará los bloques de roca.

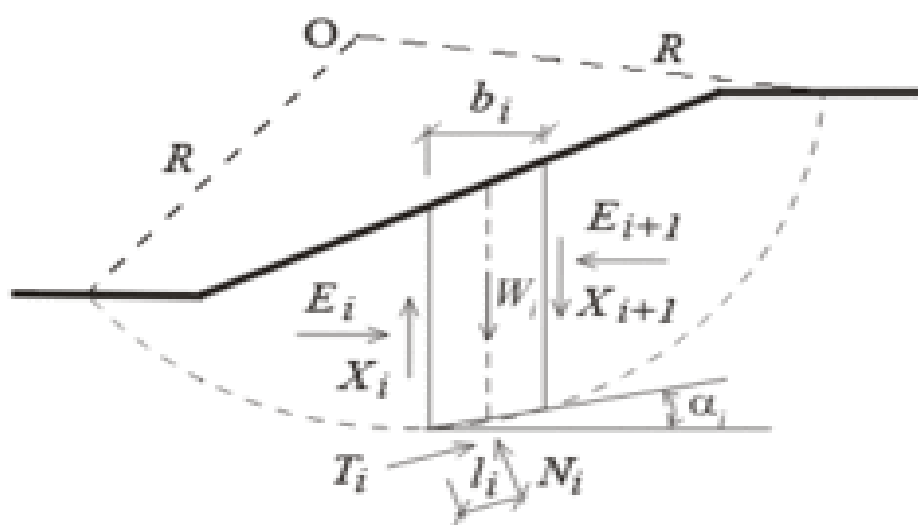


Figura 2.1: Análisis cinemático de taludes en macizos rocosos

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

2.2.2 Tipos de presa y estructuras auxiliares

a) Tipos de presa

Las presas pueden clasificarse en función de su material de construcción en dos grupos: presas de materiales sueltos y presas de fábrica.

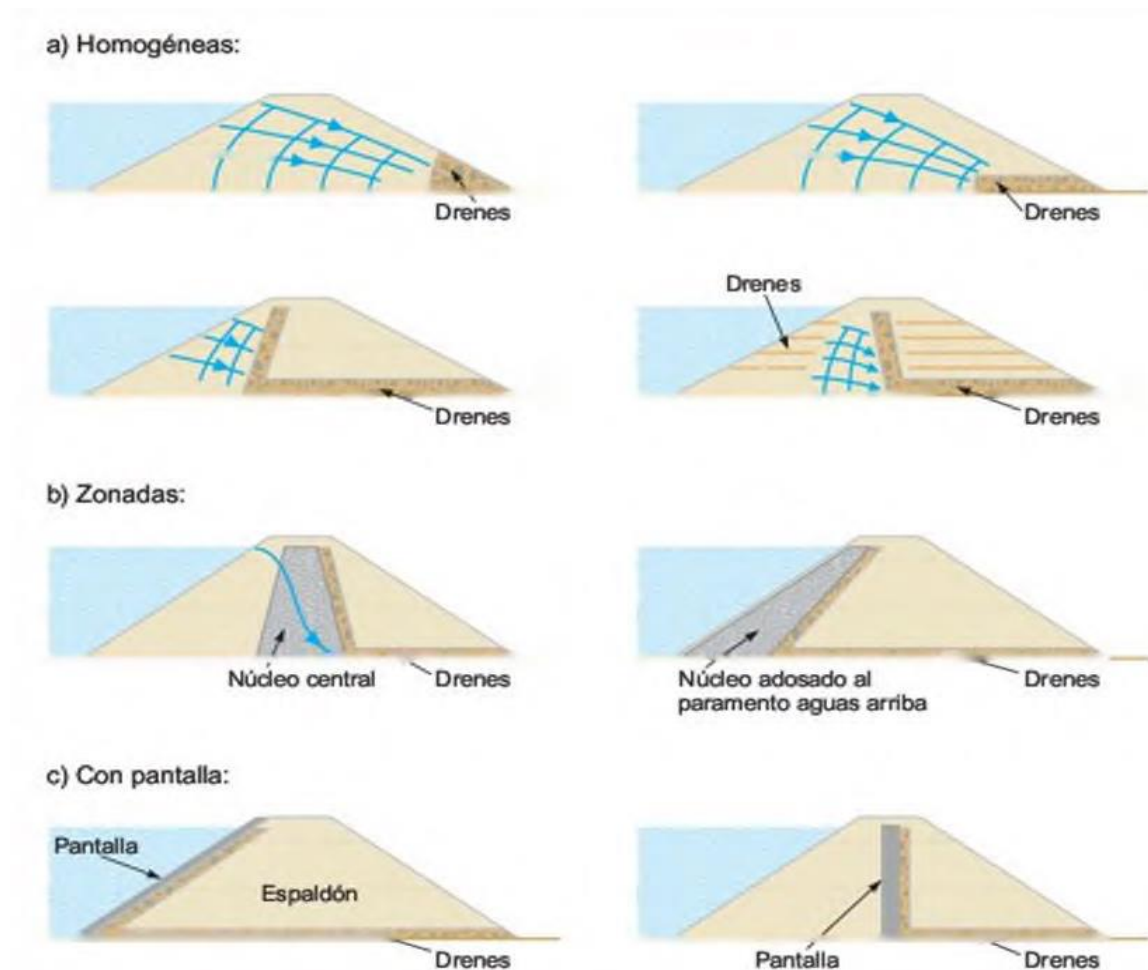


Figura 2.2: Esquemas de tipos de presa de materiales sueltos.

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

— Presas de materiales sueltos

La principal característica de estas presas es el tipo de material utilizado para su construcción. En principio, la gran mayoría de materiales geológicos son aceptables, excepto los que se pueden alterar, disolver o evolucionar modificando sus propiedades.

El sistema de construcción consiste en la compactación de materiales dispuestos por tongadas.

— **Presas de sección homogénea.**

Toda o casi to-da la sección transversal está constituida por un mismo material, formado por tierras compacta-das de baja permeabilidad. Para controlar las filtraciones a través de la presa se pueden utili-zar diferentes tipos de drenes como recoge la siguiente figura:

— **Presas zonadas con núcleo impermeable de arcilla.**

Constan de dos o más tipos de materia-les. La zona de menor permeabilidad o núcleo ejerce las funciones de elemento impermeable. La anchura del núcleo y su posición dentro de la sec-ción, respecto al resto de los materiales o espal-dones, pueden ser muy diversos.

— **Presas de pantalla.**

El elemento impermeable consiste en una pantalla relativamente delgada o lámina. Los materiales más empleados para pantallas son hormigones asfálticos, hidráulicos, materiales poliméricos o bituminosos, entre otros.

b) Presas de fábrica

Las presas de fábrica son todas, actualmente, de hormigón y pueden adoptar distinta geometría dependiendo del terreno de cimentación y la morfología de la cerrada. Los tipos más importantes son:

— **Presas de gravedad.**

Su sección transversal es resistente por sí sola sin colaboración mecánica de los estribos del valle. Requieren, en general, mayor volumen de hormigón en comparación con otras presas de hormigón. Precisan un terreno de cimentación resistente, formado por un sustrato rocoso a poca profundidad.

— **Presas de contrafuertes.**

Son presas de gravedad aligeradas formadas por elementos estructurales transversales a la sección, o contrafuertes, con objeto de reducir volumen de obra de fábrica y disminuir subpresiones, entre otros fines. Requieren terreno de cimentación muy resistente,

concentrándose las cargas en los apoyos de los citados contrafuertes. Generalmente se sitúan en valles amplios y de poca altura.

— **Presas arco-gravedad.**

Para reducir la sección de las presas de gravedad se dispone su planta en arco, con objeto de transmitir parte de las caigas a los estribos (apoyos laterales de la presa sobre las márgenes de la cerrada).

— **Presas arco-bóveda.**

Constituyen las de mayor complejidad de diseño, análisis y construcción, pues se trata de estructuras muy esbeltas, de planta y sección curvas, en que se aprovecha la alta resistencia del terreno de cimentación para disminuir notablemente el volumen de hormigón. Las condiciones de deformación del sustrato rocoso en la cerrada deben ser compatibles con las previsiones de deformación de la presa. Las presas de arco-bóveda se caracterizan por transmitir los empujes a los estribos; no sólo precisan de un terreno de cimentación altamente resistente, sino que la orientación y resistencia de las discontinuidades sea la necesaria para asegurar la estabilidad de los estribos.

2.2.3 Condiciones geológico-geotécnicas de cimentación de presas

Condiciones generales

a) La cimentación de una presa

Independientemente de su tipología, debe reunir las siguientes condiciones:

- Resistencia y estabilidad tanto del macizo de cimentación como de los estribos.
- Deformabilidad compatible con las cargas de la presa.
- Estanqueidad de la cimentación y control de las fuerzas de filtraciones con eliminación de las subpresiones o reducción a los niveles exigidos por la estabilidad de la presa.
- Estabilidad frente a erosiones internas y socavaciones.

- Estabilidad frente a sismos y sus efectos inducidos (licuefacción, densificación, colapsos, fallas activas, etc.).
- Estabilidad frente a movimientos del terreno (deslizamientos, hundimientos, subsidencias, etc.).

b) Fuerzas ejercidas

La construcción de una presa modifica sustancialmente las tensiones naturales del macizo de cimentación, dando lugar a las siguientes fuerzas:

- Peso propio de la presa, que induce compresiones y esfuerzos cortantes.
- Cargas hidráulicas como resultado de la explotación, que generan compresiones, esfuerzos cortantes y tracciones.
- Subpresiones en la base de la presa y fuerzas de filtración en el interior del macizo.

Entre estas fuerzas las de filtración son las de mayor trascendencia, por dos hechos importantes

1. Las filtraciones a través de los poros y discontinuidades del macizo producen tensiones internas en el macizo proporcionales al gradiente hidráulico de filtración (pérdida de carga por unidad de longitud).
2. El gradiente hidráulico no depende de la permeabilidad absoluta. El primer punto supone que se puedan dar fuerzas de filtración del mismo orden de magnitud de las fuerzas gravitacionales. El segundo punto puede significar que, en un mismo macizo, independientemente de su permeabilidad (la presión de agua en el interior del macizo rocoso es independiente de la permeabilidad, aunque sí depende del modelo de flujo), las tensiones debidas a las fuerzas de filtración sean las mismas; lo único que puede variar es el caudal de pérdidas. En función del tipo de presa y sus dimensiones, las fuerzas ejercidas sobre el macizo de cimentación pueden variar en magnitud y dirección:

- En las presas de materiales sueltos las tensiones sobre la cimentación corresponden a la altura de la presa en el punto considerado, es decir no son uniformes; estas presas tienen un comportamiento flexible y semiplástico,
- Las presiones debidas a la caída hidráulica son hidrostáticas y aumentan linealmente con la profundidad.
- El comportamiento de las presas de hormigón con respecto a la cimentación es rígido. Las caídas o tensiones sobre el cimiento no son uniformes, aunque las deformaciones pueden ser casi uniformes en macizos muy rígidos.
- Por efecto del llenado del embalse la resultante de las fuerzas debidas a la presión hidrostática y al peso, tiene una dirección inclinada hacia aguas abajo de la presa.
- En las presas de arco y de bóveda los empujes debidos a las cargas hidrostáticas se distribuyen hacia los estribos por el efecto arco que condiciona su geometría.
- En estos últimos tipos de presas de hormigón el sistema formado por la presa y su cimentación fuertemente hiperestático; es decir, las tensiones se distribuyen en función de los repartos esperables de la deformabilidad de los materiales. Como resultado de las fuerzas de empuje hidrostático, la presa tenderá a deslizarse a favor del contacto presa-cimentación y a volcar con respecto a un punto situado aguas abajo del pie de presa. Ambos efectos son contrarrestados mediante el adecuado diseño geométrico de la presa.

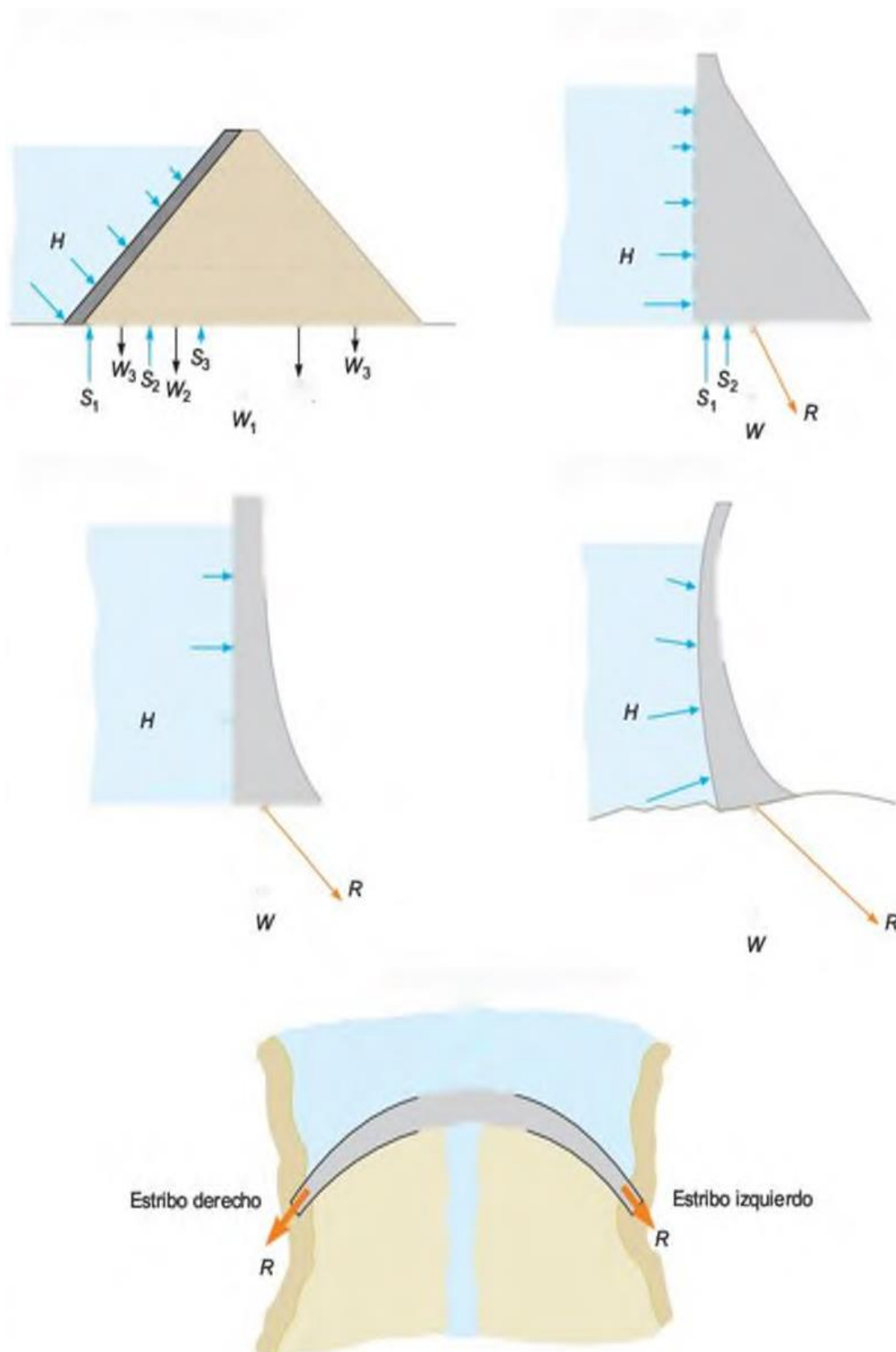


Figura 2.3: Fuerzas a actuantes en las presas. H: presión hidrostática; S: subpresiones; W: peso de la presa; R: resultante de H y W (embalse lleno).

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

c) Mecanismos de rotura

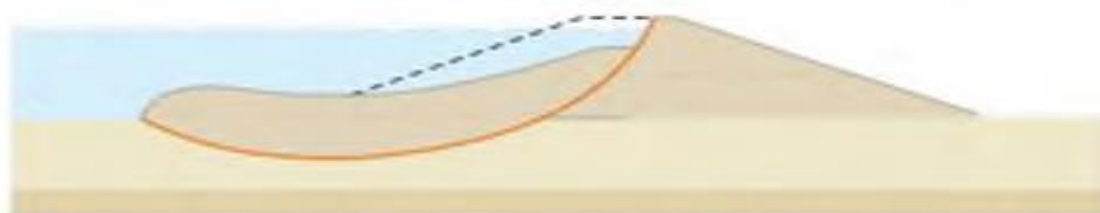
La respuesta del macizo rocoso a las fuerzas ejercidas por la presa puede dar lugar a roturas en la cimentación, aspecto muy importante en la seguridad de las Presas.

En presas de materiales sueltos las roturas más características en la cimentación son por las siguientes causas:

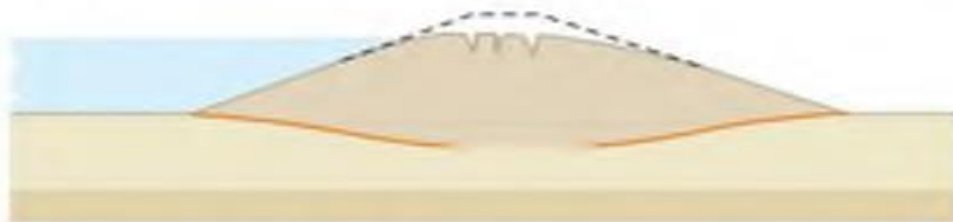
- Roturas a favor de materiales de baja resistencia (Figura 2.3).
- Asientos en la presa por compresibilidad de suelos blandos (Figura 2.3).
- Erosión interna en los materiales de cimentación (Figura 2.3).

En el Recuadro 2.3 se describe el mecanismo de la rotura de la presa de residuos mineros de Aznalcóllar, como ejemplo reciente de gran interés. En presas de hormigón, donde las cargas son más elevadas, la concentración de tensiones puede dar lugar a una deformación importante en materiales blandos o de baja resistencia. En estos casos el análisis de la rotura del macizo puede realizarse mediante algún procedimiento basado en la teoría de la plasticidad, se presentan distintos tipos de roturas en cimentaciones de presas de hormigón. Las más características son:

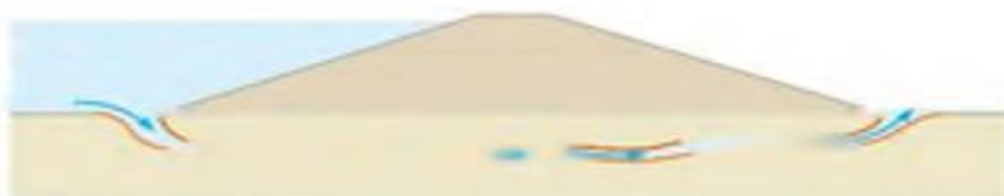
- Roturas por esfuerzos cortantes en rocas blandas bajo cargas elevadas.
- Roturas a favor de superficies de discontinuidad de baja resistencia buzando aguas abajo.
- Roturas a favor de fracturas y discontinuidades conjugadas de baja resistencia en rocas duras.
- Roturas en los estribos a favor de discontinuidades orientadas en la dirección de los empujes.
- Deslizamiento de la presa a favor del contacto presa-cimentación.
- Deslizamiento de la cimentación a favor de discontinuidades o capas de baja resistencia.



a) Rotura circular a favor de materiales de baja resistencia.



b) Asientos en la presa por suelos blandos compresibles.



c) Erosión interna en los materiales de la cimentación.

Figura 2.4: Mecanismos de rotura en presas de tierras por fallo de la cimentación.

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

2.2.4 Análisis de estabilidad de una presa frente al deslizamiento

Las presiones hidrostáticas debidas al llenado del embalse inducen una fuerza sobre la presa que debe ser resistida tanto por la presa como por el macizo de cimentación.

Factores básicos

- La resistencia al corte del macizo rocoso y de las discontinuidades
- Las presiones intersticiales ejercidas sobre el macizo y las superficies de deslizamiento, que pueden variar desde las máximas cargas a embalse lleno, aguas arriba de la cimentación, hasta disiparse completamente aguas abajo de la presa.
- Cálculo del coeficiente de seguridad de una superficie de rotura potencial

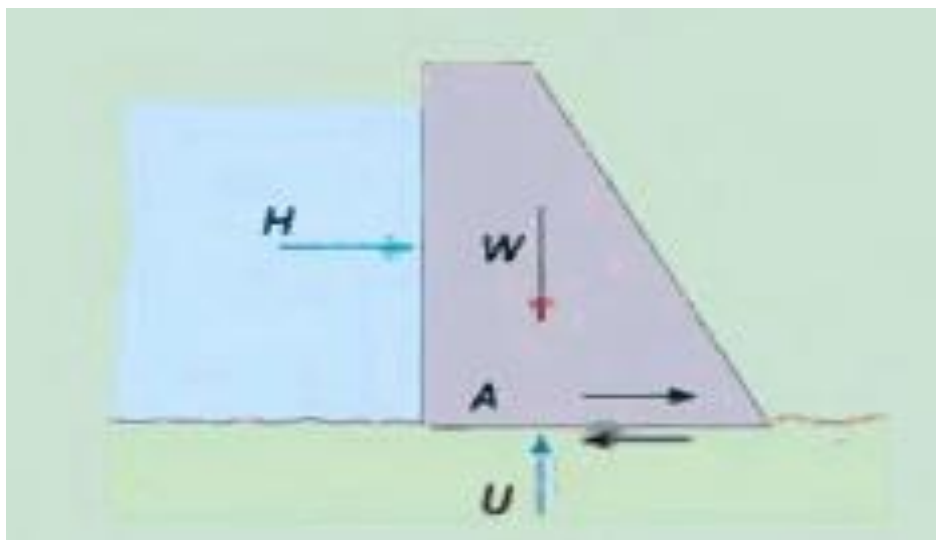


Figura 2.5: Grafico deslizamiento horizontal, paramento aguas arriba inclinado

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

a) Superficie de deslizamiento horizontal a favor del contacto presa-terreno; paramento aguas arriba de la presa vertical:

$$F = \frac{cA + (W - U)tg\phi}{H}$$

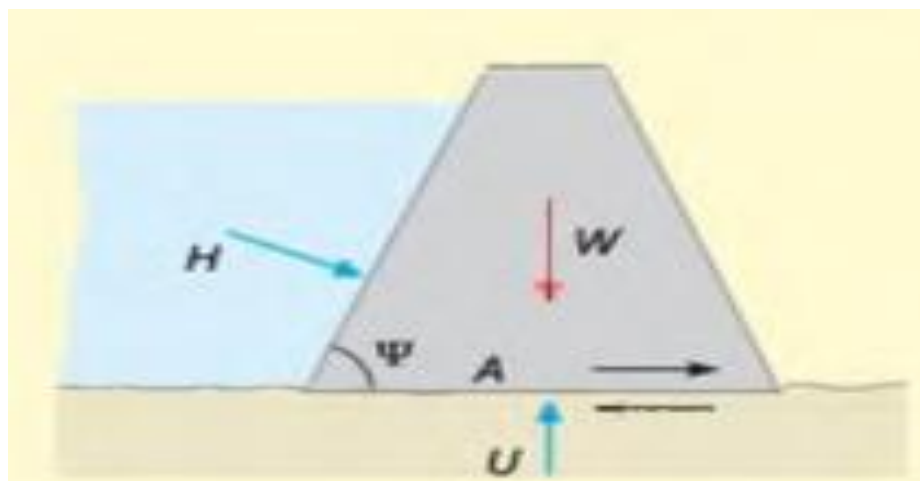


Figura 2.6: Deslizamiento horizontal a favor del contacto presa-terreno; paramento aguas arriba inclinado:

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

b) Superficie de deslizamiento horizontal a favor del contacto presa-terreno; paramento aguas arriba inclinado:

$$F = \frac{cA + (W + H\cos\psi - U)tg\phi}{H\sin\psi}$$

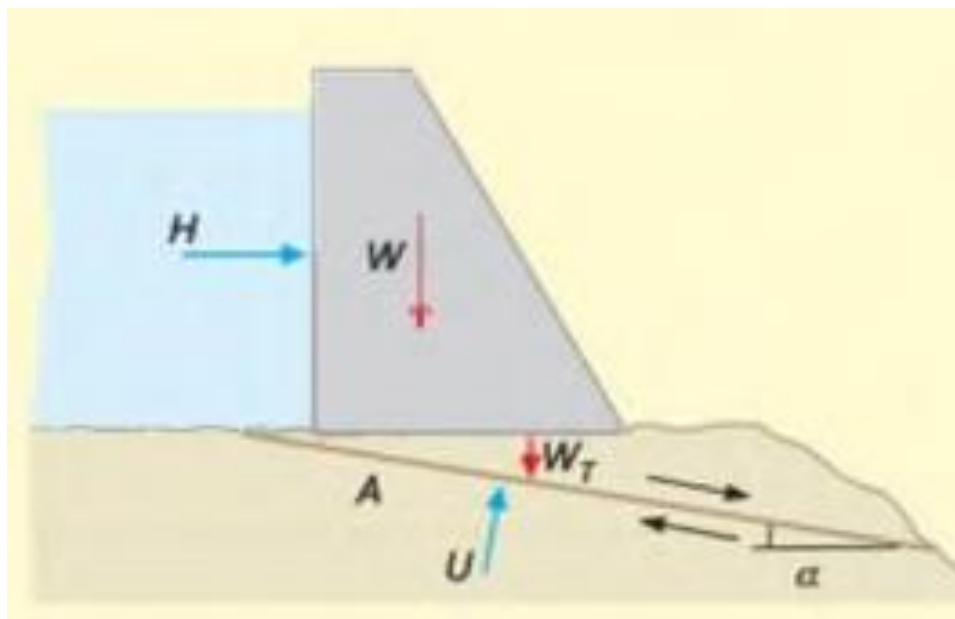


Figura 2.7: Deslizamiento en el terreno por debajo de la cimentación, buzando aguas abajo:

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

c) Superficie de deslizamiento en el terreno por debajo de la cimentación, buzando aguas abajo:

$$F = \frac{cA + (W\cos\alpha + W_T)\cos\alpha - H\sin\alpha - U}{W\cos\alpha + W_T\sin\alpha + H\cos\alpha} \text{tg}\phi$$

c, ϕ : cohesión y ángulo de rozamiento de la superficie de deslizamiento.

A: área del plano de deslizamiento.

W: peso de la estructura.

WT: peso de la cuña de terreno sobre la superficie de deslizamiento.

U: fuerza debida a la presión de agua sobre la superficie del deslizamiento.

H: fuerza hidrostática sobre la presa.

a) Problemas geológicos y posibles soluciones

En función del problema geológico presente en la cimentación y del tipo de presa y su finalidad, las soluciones pueden ser muy diferentes,

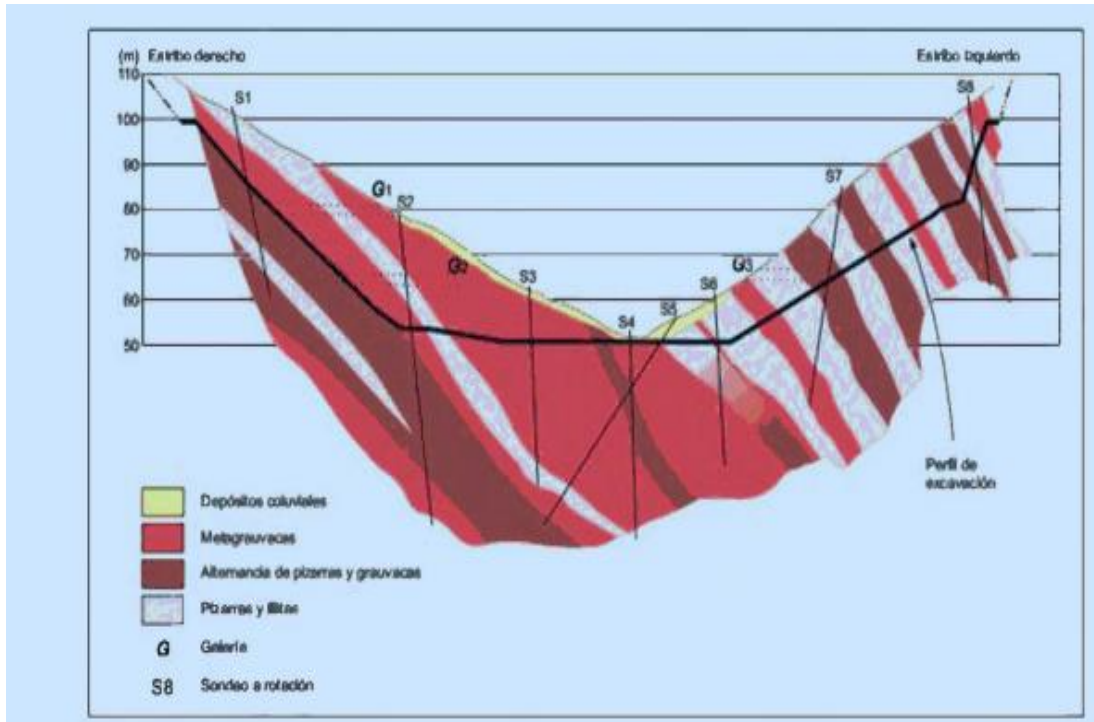


Figura 2.8: Corte geológico y perfil de excavación de la presa de Funcho (Portugal).

FUENTE: Gonzales de Vallejo-Ingeniería geológica

2.2.5 Conceptos básicos en estabilidad de taludes

Bajo el nombre de talud se denomina a cualquier superficie inclinada que limita un macizo de, 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 3.1 nos muestra la terminología usualmente adoptada.

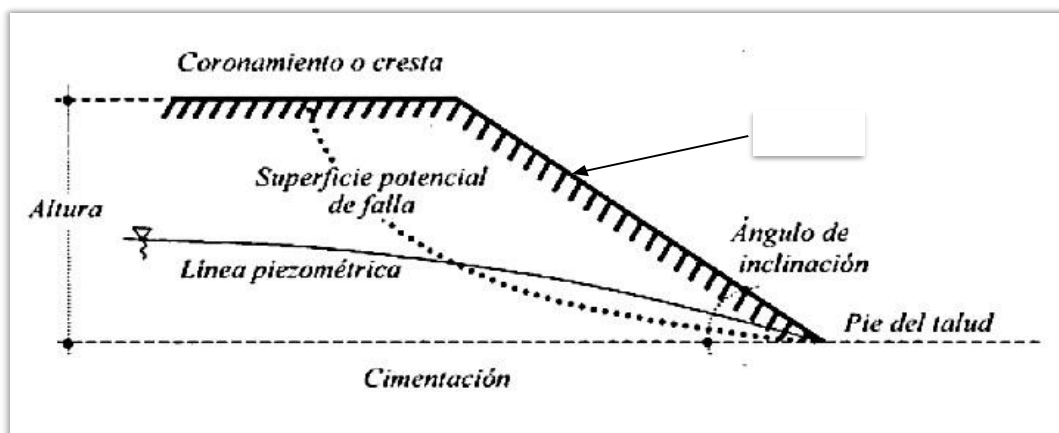


Figura 2.9: Terminología usada para describir un talud.

FUENTE: Cori puno

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.

El proyecto adecuado de una estructura geotécnica requiere que soporte las máximas fuerzas que tengan probabilidad razonable de presentarse durante el periodo de vida útil de la estructura, y que dicha estructura cumpla bien su función, pero dentro de un costo razonable. La evaluación de la estabilidad de la estructura es cuantificada usando el llamado “factor de seguridad global” o simplemente “factor de seguridad”.

2.2.5.1 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 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 unidad⁶.

2.2.5.2 Movimientos de masa

¿Qué es un movimiento de masa?

Para el propósito de la presente tesis, 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.

Existen otras frases o vocablos similares que son usados con el término “movimientos de masa”, incluyendo movimiento de masas, falla de taludes, etcétera. Independientemente de la definición exacta usada o del tipo de movimientos de masa bajo discusión, el entendimiento de las partes básicas de un movimiento de masa típico es útil. En la siguiente figura se muestra la posición y los términos usados más comunes para describir las partes de un movimiento de masa.

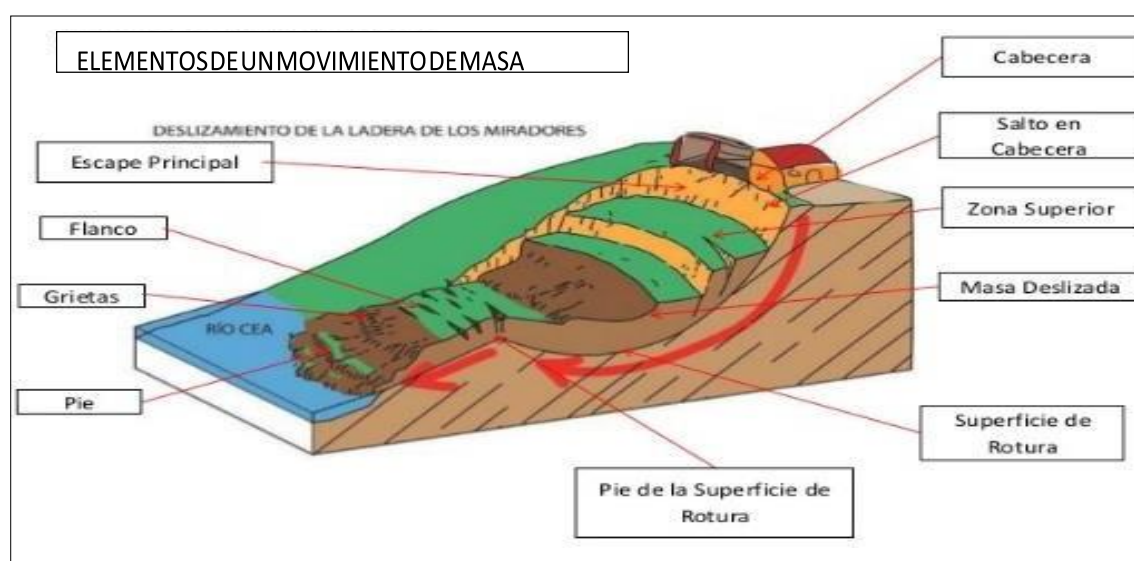


Figura 2.10: Elementos de un movimiento de masa

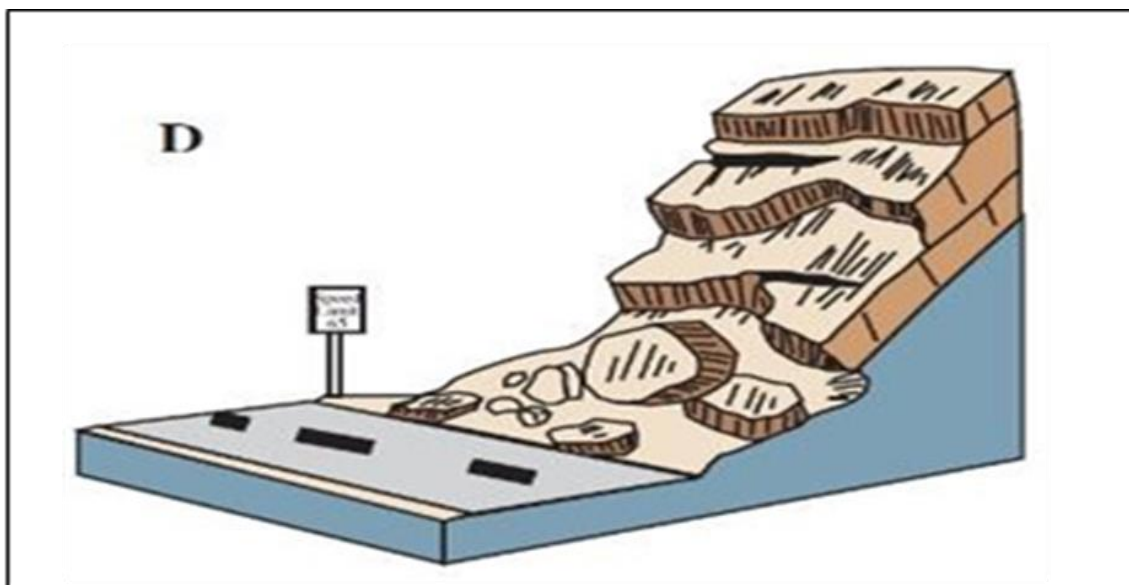
FUENTE: US Geological Survey

Tipos básicos de movimientos de masa

Un movimiento de masa es un movimiento cuesta abajo de rocas o suelo, o ambos, que ocurre sobre una superficie de ruptura, ya sea curva (deslizamiento rotacional) o ruptura planar (deslizamiento traslacional), en la que la mayor parte de material a menudo se mueve como una masa consolidada o semiconsolidada con poca deformación interna. Cabe resaltar, que en algunos casos, los deslizamientos de tierra pueden involucrar otros tipos de movimiento, ya sea al comienzo de la falla o al final, si las propiedades cambian a medida que el material desplazado se mueve cuesta abajo.

a.- Desprendimientos:

Son movimientos abruptos de masas de material geológico, tales como rocas y cantos rodados que se desprenden de pendientes empinadas o acantilados. La separación se produce a lo largo de discontinuidades tales como fracturas, juntas y planos estratificados y el movimiento se produce por caída libre, rebotando y rodando. Los desprendimientos son fuertemente influenciados por la gravedad, meteorización mecánica y la presencia de agua intersticial.

**Figura 2.11: Desprendimiento de rocas**

FUENTE: US Geological Survey

b.- Vuelcos:

Las fallas por vuelco se distinguen por el movimiento de rotación hacia delante de una unidad de unidades alrededor de un punto de pivot, bajo la acción de la gravedad y fuerzas ejercidas.

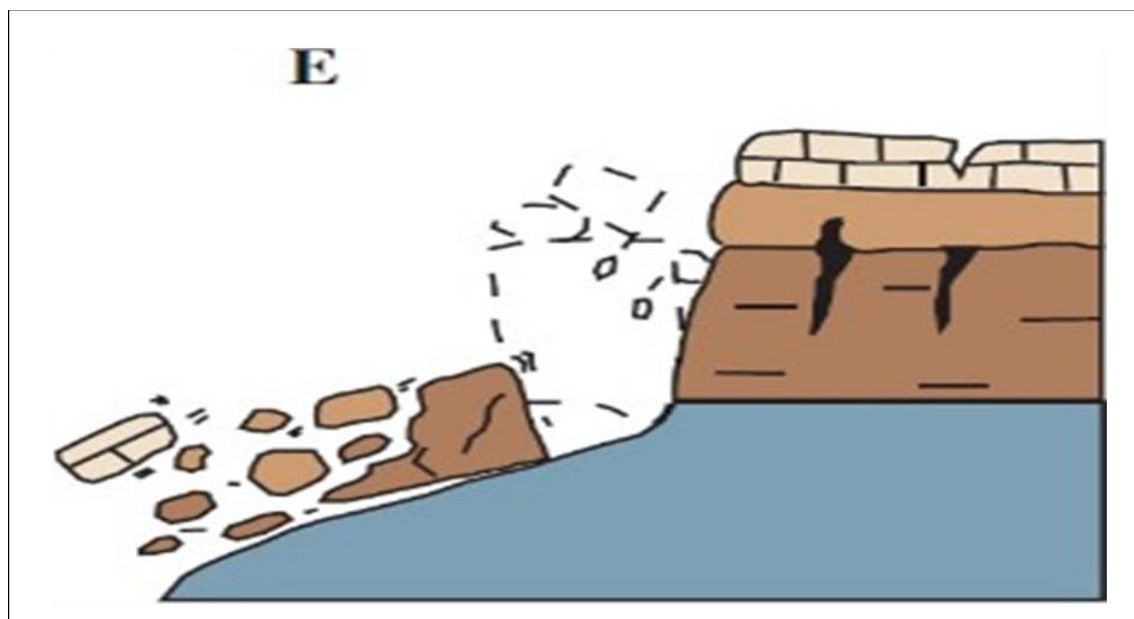


Figura 2.12: Vuelco de rocas

FUENTE: US Geological Survey

C.-Deslizamientos:

Este movimiento consiste en un desplazamiento cortante a lo largo de una o varias superficies, que pueden encontrarse fácilmente dentro de una zona relativamente de poco espesor. El movimiento puede ser progresivo, esto es, no se inicia simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o a desestabilización de masas de tierra por efectos de cortes, rellenos, deforestación, etc. La forma de una superficie de falla es controlada a través de características estructurales como fisuras, juntas, cargas aplicadas y profundidad del estrato de roca o estrato resistente.

Los deslizamientos de tierra pueden ser clasificados en distintos tipos, en base al tipo de movimiento y al tipo de material involucrado. En resumen, la masa del material de un deslizamiento es roca o suelo (o ambos), el suelo es descrito como tierra (earth) si está compuesto de partículas del tamaño de arena o granos más finos, y debris, si está compuesto de fragmentos más gruesos. El tipo de movimiento describe la mecánica

interna actual de como los deslizamientos de tierra se desplazan: Por desprendimiento, vuelco, deslizamiento, desplazamiento lateral o flujo. En consecuencia, los deslizamientos son descritos usando dos términos que hacen referencia respectivamente al material y al movimiento. Los movimientos de masa además pueden formar fallas complejas abarcando más de un tipo de movimiento. Algunas de las clasificaciones más extendidas (Varnes, 1984; Hutchinson, 1988), con diversos criterios y fines, son de gran utilidad para abordar el estudio de los movimientos de laderas y el conocimiento del comportamiento de los materiales que sufren estos procesos.

Tabla 2.1: Tipos de deslizamientos. Versión abreviada de la clasificación de Varnes (1978).

TIPO DE MOVIMIENTO		TIPO DE MATERIAL		
		LECHO ROCOSO	INGENIERÍA DE SUELOS	
			PREDOMINANTEMENTE GRUESO	PREDOMINANTEMENTE FINO
DESPRENDIMIENTOS		Caída de rocas	Caída de escombros	Caída de suelos
VUELCOS		Vuelco de rocas	Vuelco de escombros	Vuelco de suelo
DESPLAZAMIENTO	ROTACIONAL	Deslizamiento de rocas	Deslizamiento de escombros	Deslizamiento de suelos
	TRASLACIONAL			
DESPLAZAMIENTO LATERAL		Deslizamientos laterales de roca	Deslizamientos laterales de escombros	Deslizamientos laterales de suelos
FLUJOS		Flujo de rocas (deep creep)	Flujo de escombros	Flujo de suelos
COMPLEJOS		Combinación de dos o más tipos de movimientos principales		

FUENTE: Clasificación Varnes

➤ **Deslizamiento rotacional:**

Muchas fallas en taludes ocurren como movimiento de una masa de suelo a lo largo de una superficie curva. En general, la falla tipo deslizamiento rotacional es asociada a condiciones de suelo homogénea y es observada en arcillas débiles y duras, también en arcillas fisuradas e intactas rígidas.

➤ **Deslizamiento traslacional:**

Ocurre a lo largo de superficies planas o ligeramente onduladas y tiene poco o nada de movimiento de rotación o de volcadura, se caracteriza por la presencia de un estrato de alta resistencia en el subsuelo.

Si un estrato relativamente más rígido está a una gran profundidad, el movimiento puede ocurrir a lo largo de una superficie compuesta por arcos circulares, hasta que el estrato más resistente sea alcanzado en un plano de contacto.

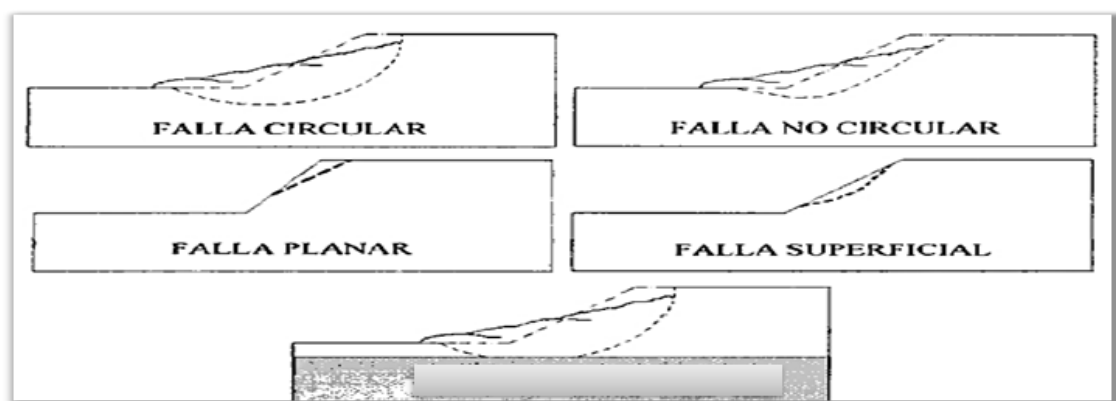


Figura 2.13: Modos de falla en deslizamientos (Skempton & Hutchinson 1969)

FUENTE: Skempton & Hutchinson 1969

d.- Desplazamientos Laterales:

Los desplazamientos laterales se distinguen porque ellos usualmente se producen sobre pendientes suaves o un terreno plano. El movimiento predominante de este movimiento es la extensión lateral acompañado por corte o fracturas de tracción. La falla es causada

por licuefacción, el proceso por el cual el suelo saturado pierde cohesión (usualmente arenas y limos) y se transforma de un estado sólido a uno licuefactado. La falla es desencadenada por un movimiento rápido, tales como los experimentados durante un sismo, pero puede ser artificialmente inducido.

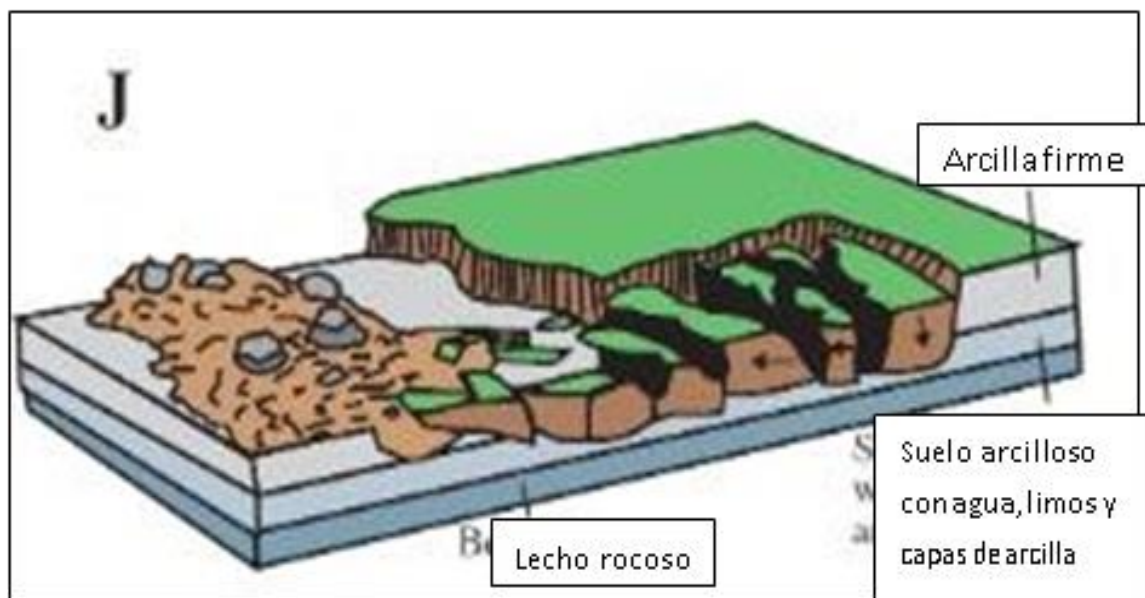


Figura 2.14: Deslizamientos laterales

FUENTE: US Geological Survey

E.-Flujos:

Los flujos son movimientos de masas de suelo (flujos de barro o tierra), derrubios (coladas de derrubios), o bloques rocosos (coladas de fragmentos rocosos) con abundante presencia de agua, donde el material está disgregado y se comporta como un fluido, sufriendo una deformación continua, sin presentar superficies de rotura definidas

Cabe señalar que el agua es el principal agente desencadenante por la pérdida de resistencia a que da lugar en materiales poco cohesivos.

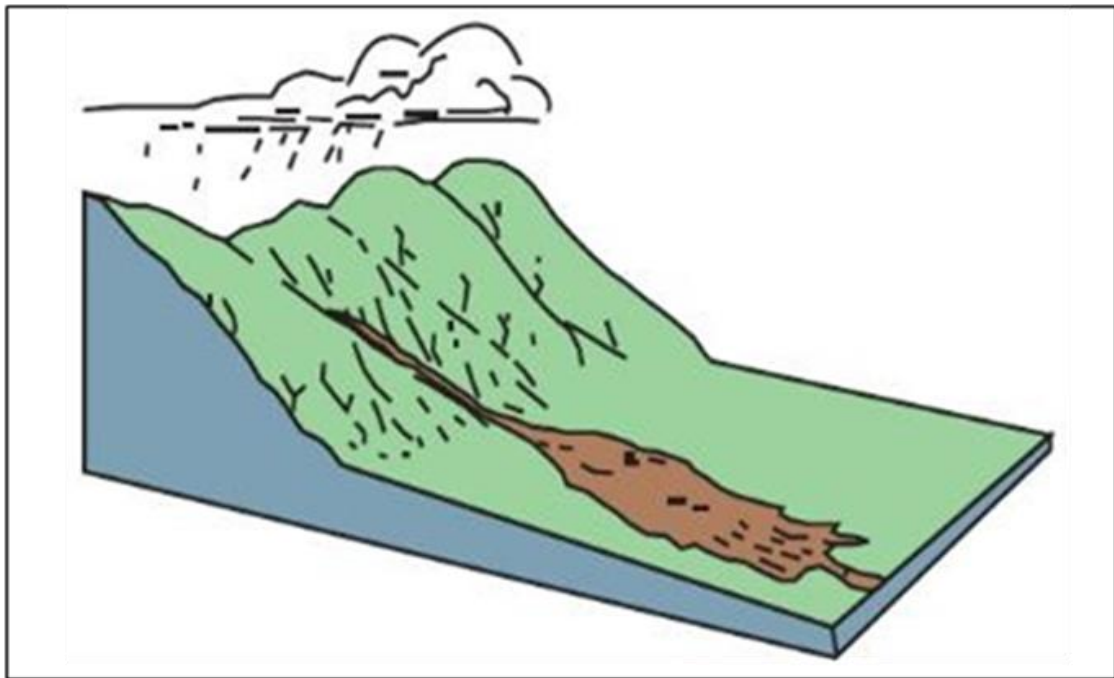


Figura 2.15: Flujo de escombros (Debris flow)

FUENTE: US Geological Survey

2.2.1.3 Métodos de análisis de estabilidad de taludes

En la clasificación general de los métodos de cálculo de estabilidad, podemos hacer la siguiente diferenciación:

- Roturas en Roca:
 - Análisis de rotura planar.
 - Análisis de rotura por cuñas y bloques.
 - Análisis de rotura por vuelco (toppling).
 - Análisis de rotura por pandeo.
- Roturas en suelos:
 - Análisis de bloque y talud infinito.
 - Análisis de rotura circular.

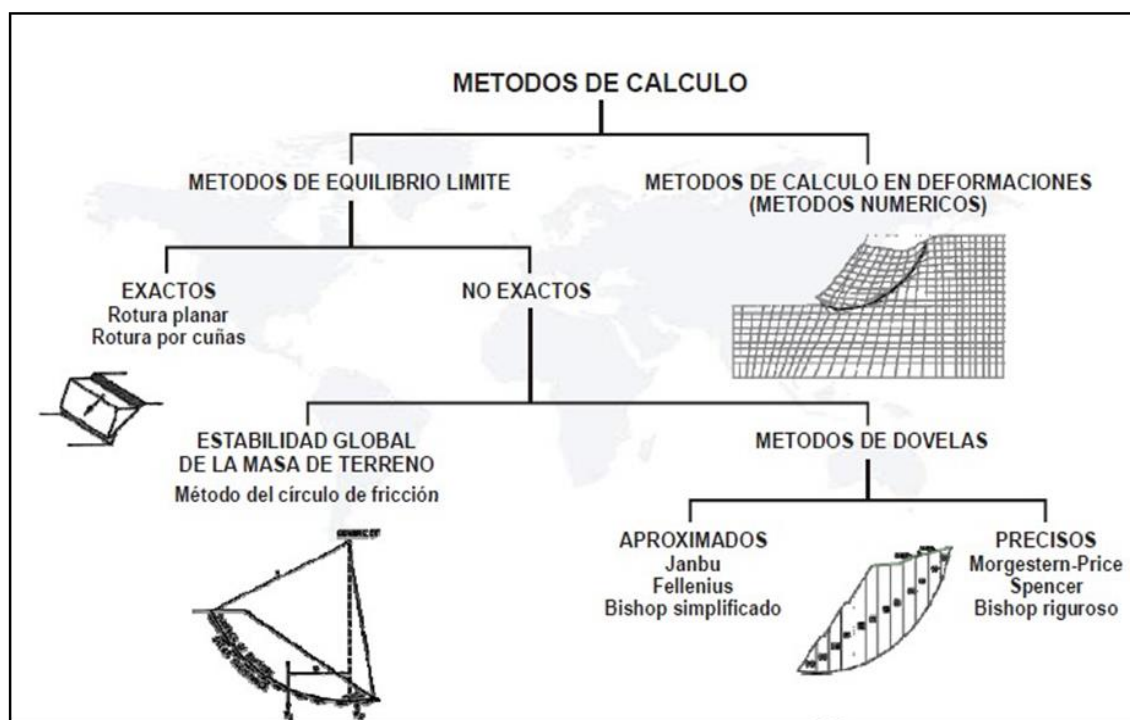


Figura 2.16: Clasificación general de los métodos de cálculo de estabilidad

FUENTE: CAMIPER

Como se puede apreciar en la figura 2.8, los métodos de cálculo se dividen en métodos de equilibrio límite y métodos de cálculo en deformaciones (métodos numéricos), a continuación, se describirá brevemente algunas características del método de cálculo en deformaciones, puesto que no es usado en la presente tesis; en cuanto al método de equilibrio límite.

Método de deformaciones

- Consideran el cálculo de las deformaciones del terreno además de las leyes de la estática.
- Su aplicación práctica es de gran complejidad y el problema se resuelve aplicando métodos numéricos, en elementos finitos o diferencias finitas.
- Estos métodos calculan las tensiones y deformaciones del terreno, haciendo una discretización del talud con elementos de formas variadas, siendo las más sencillas, las triangulares.

- Cada elemento, a efectos de deformacionales se caracteriza por su módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

2.2.5.4 Métodos de equilibrio límite

Según: ROCA ROJAS, MARIO EDILBERTO (2000), Tesis “Análisis de estabilidad de taludes a través del método esfuerzo-deformación”, Universidad Nacional de Ingeniería.

Los métodos de equilibrio límite para análisis de estabilidad de taludes son ampliamente utilizados en proyectos de excavaciones y terraplenes, y la experiencia acumulada a lo largo de los años ha demostrado que, si son adecuados para un problema analizado, son rápidos, precisos y simples.

Los métodos de equilibrio límite tienen las siguientes características comunes:

- a) Usan la misma definición para el factor de seguridad local FS local:

$$FS \text{ local} = S / T \quad (2.1)$$

Donde S representa la resistencia al corte y T el esfuerzo cortante actuante.

En gran parte de los problemas de ingeniería geotécnica las mayores incertidumbres están relacionadas con la evaluación de la resistencia al corte del suelo. Así, la definición del factor de seguridad en términos de la resistencia al corte S asocia FS local.

directamente con el parámetro cuyo grado de incertidumbre es más significativo.

Además, consideran que este factor de seguridad es el mismo en todos los puntos de la superficie potencial de falla, aunque no haya razones para aceptar esta hipótesis como verdadera, excepto en la falla donde $FS \text{ local} = 1.0$.

- a) Consideran como hipótesis genérica que los macizos de suelo se comportan mecánicamente como materiales rígidos – perfectamente plásticos, sin tomar en cuenta

cualquier consideración sobre los campos de esfuerzos y deformaciones generados por las cargas externas. En ciertas situaciones, esta hipótesis no es estrictamente aplicable, como en el caso de taludes en arcillas rígidas fisuradas donde la resistencia residual puede ser significativamente menor que la resistencia pico. En la práctica, esta dificultad puede ser superada usándose valores de resistencia al corte inferior a los evaluados en el pico.

b) Usan algunas o todas las ecuaciones de equilibrio para calcular valores medios del esfuerzo cortante movilizado T y del esfuerzo

normal δ a lo largo de la superficie potencial de falla, necesarios para la estimativa de la resistencia al corte por el criterio de Mohr- Coulomb.

$$S = C + \delta \tan \varphi \quad (2.2)$$

Donde C , φ son los parámetros de resistencia asociados al criterio de falla indicado.

c) Introducen hipótesis para complementar las ecuaciones de equilibrio puesto que el número de incógnitas del problema es en general superior al número de ecuaciones proporcionadas por la estática.

Los métodos de análisis para ser aplicables a problemas prácticos deben ser versátiles para incluir situaciones donde las propiedades del material y valores de presión de poros varíen en el interior del macizo. Por esta razón la mayoría de los métodos de equilibrio límite subdividen la región delimitada por la superficie potencial de falla en un número cualquiera de dovelas verticales, analizándose las condiciones de equilibrio de las fuerzas actuantes en cada dovela en forma separada.

2.2.1.5 Método de las dovelas

El análisis a través de los métodos de dovelas parte de la definición de una superficie de deslizamiento cualquiera para toda la masa del talud. Esta superficie es dividida en un número de dovelas verticales, mostrándose en la figura 3.9 las fuerzas que actúan en una dovela genérica.

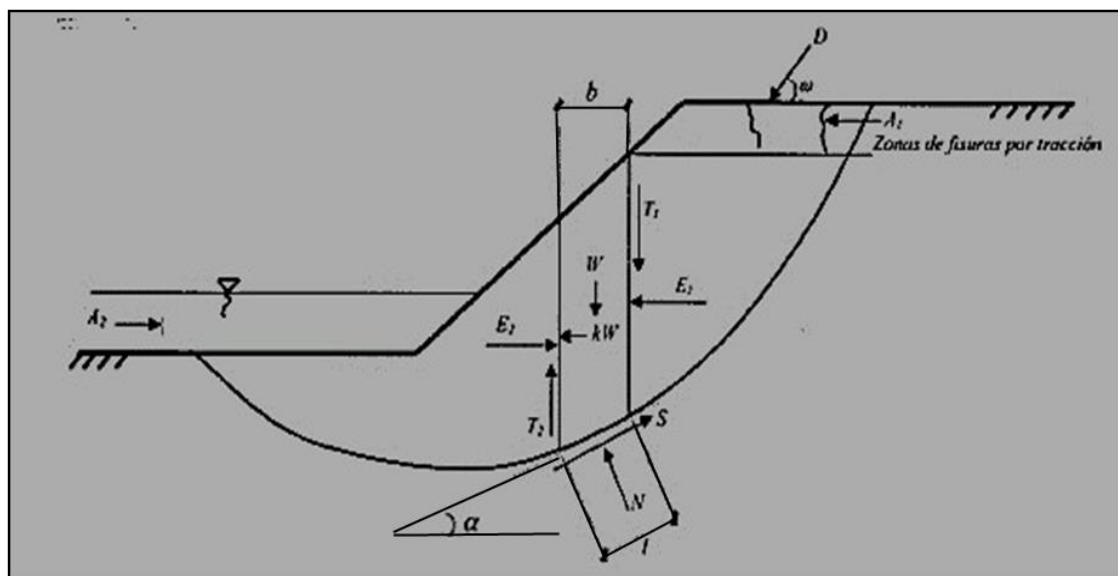


Figura 2.17: Fuerzas actuantes en una dovela vertical de una superficie de deslizamiento

FUENTE: CAMIPER

Dónde:

- W : peso de la dovela
- kW : fuerza horizontal para incorporar efectos sísmicos
- N : fuerza normal en la base de la dovela
- S : fuerza tangencial en la base de la dovela
- E_1, E_2 : componente horizontal de las fuerzas entre las dovelas
- T_1, T_2 : componente vertical de las fuerzas entre las dovelas
- D : fuerza aplicada en la superficie
- l : longitud de la base de la dovela

- b : ancho de la dovela
- A_1, A_2 : fuerzas hidrostáticas
- ω : ángulo de inclinación de las fuerzas externas
- α : ángulo de inclinación medio de la dovela

Los diferentes métodos propuestos en la literatura, algunos citados a continuación, se diferencian según las simplificaciones adoptadas en el proceso de cálculo, generalmente en relación a las fuerzas entre dovelas y en el modo de determinarse la fuerza normal N en la base de dovela.

- Método de Spencer (1967)
- Método ordinario o de Fellenius (1927).
- Método de Bishop Simplificado (1955).
- Método de Janbu Simplificado (1968).
- Método de Morgenstern & Price (1965).
- Método de Sarma (1973).

Otros métodos

El cuadro 2.2 presenta un resumen de otros métodos de equilibrio límite propuestos en la literatura evidenciando los tipos de superficie en las cuales se aplican las ecuaciones de equilibrio atendidas y las hipótesis simplificadoras introducidas por los diferentes autores.

Cabe señalar que la descripción es sucinta y la relación de métodos es incompleta.

Tabla 2.2: Características de otros métodos de equilibrio límite

Método	Superficies de deslizamiento	Ecuaciones de equilibrio	Características básicas
U.S. Army Corps of Engineers (1970)	Cualquiera	Fuerzas	Resultante de las fuerzas laterales en la dovela, tiene la misma dirección que la superficie del terreno. Factores de seguridad generalmente altos.
Lowe & Karafiath (1960)	Cualquiera	Fuerzas	Resultante de las fuerzas laterales en la dovela, tiene dirección igual a la media entre la inclinación del terreno y la base de la dovela.
Espiral logarítmica	Espiral logarítmica	Fuerzas y momentos	Diversas versiones con diferentes características cada una.

FUENTE: Lowe & Karafiath (1960)

2.2.6 Conceptos básicos sobre los 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, 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 físico-químicos, es este mineral de ganga junto con algunas partículas de roca, la parte sólida que conforman los relaves mineros.

2.2.6.1 ¿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.

ANALISIS DE LA PRESA DE RELAVES.

La estabilidad dinámica del depósito de relaves está asociada a la eventual ocurrencia de deformaciones limitadas durante un evento sísmico, manteniendo su integridad y funcionamiento después de la ocurrencia de un movimiento sísmico. Por lo tanto, una eventual falla por flujo no podrá ser admisible en una estructura de esta naturaleza. En consecuencia, para garantizar un adecuado comportamiento de estas estructuras es necesario evaluar la estabilidad de sus taludes y verificar si los factores de seguridad determinados se encuentran por encima de los valores mínimos recomendados.

OPERACIONES METALURGICAS PROYECTADAS.

La implementación y construcción de la Planta de Beneficio tendrá una capacidad de 150 TMSD para los procesos de flotación y gravimetría de minerales polimetálicos, principalmente los de plomo, zinc, plata y cobre provenientes de la explotación del tajo abierto.

A) Producción Proyectada.

La planta de Beneficio del proyecto, del proyecto se implantará y construirá para una capacidad operativa de 150 TMD, lo que permitirá alcanzar la producción anual de 45,000 TM de mineral. En siete años de producción alcanzara 63% de las reservas del mineral.

B) Volumen de Producción de Relave Durante la Vida Útil.

El tratamiento metalúrgico generará 128 TMSD a este ritmo de producción el depósito de relaves tendrá una capacidad proyectada para siete años. Según su configuración de diseño y construcción será de 137,130 TMS relave fino y 131,670 TMS de relave grueso.

C) Características de Relave Producido en Planta.

El relave general se ha estimado mediante la clasificación por tamizado y la fracción fina por sedimentación, obteniéndose la granulometría.

D) Balance Metalúrgico.

El balance metalúrgico para un tratamiento proyectado a 1800 TMSD de mineral procedente de la mina, con una ley de cabeza.

Tabla 2.3: Balance metalúrgico

BALANCE METALURGICO	TMS	LEY g Au/TMS	CONTENIDO g ORO	% RECUP. Au	RATIO CONC.
CABEZA CALCULADA	1.780,34	2,67	4.750,93		
CONCENTRADO (Filtro + Grav)	24,79	150,19	3.723,91	78	72
RELAVE	1.755,55	0,59	1.027,02		
				Acum (grs)	111.998,3
				Meta (grs)	105.202,5

Fuente: cori-puno

2.2.6.2 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 es 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.

El siguiente paso es llamado comúnmente flotación. La flotación opera sobre el principio de que partículas individuales que contienen el mineral que se desea extraer son hechas receptivas selectivamente, a pequeñas burbujas de aire que se adhieren a estas partículas y las elevan a la superficie de un tanque agitado. Las espumas que contienen estas partículas valiosas son retiradas de la superficie, procesadas, y secadas para transformarse en concentrado, este producto final de la concentradora, es embarcado a la fundición para su refinación. Entre tanto, el material restante de desecho que no conforman el denominado concentrado mineral, constituyen los relaves mineros compuestos principalmente por partículas de roca estéril, agua, reactivos químicos de flotación y partículas de mineral restante que no lograron recuperarse en el proceso de flotación. Después de recuperar algo del agua del proceso en tanques apropiados, conocidos como espesadores, los relaves son bombeados al lugar destinado para su almacenamiento.

2.2.6.3 Caracterización de los relaves mineros Relaves

Se definen como el deshecho mineral sólido de tamaño entre arena

y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo, que corresponden a una “Suspensión fina de sólidos en líquido”, constituidos fundamentalmente por el mismo material presente in situ en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso, conformando una pulpa, que se genera en las plantas de concentración, y que han experimentado una o

varias etapas en circuito de molienda fina; esta "pulpa o lodo de relaves" fluctúa en la práctica con una razón aproximada de agua/sólidos que van del orden de 1:1 a 2:1.

Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerán de la razón agua/sólidos y también de las características de las partículas sólidas.

Esto puede ilustrarse si se consideran los siguientes ejemplos:

- Una masa de relaves con un gran contenido de agua escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.
- Una masa de relaves con un contenido de agua suficientemente bajo (por ejemplo, relaves filtrados) no escurrirá gravitacionalmente.
- Si las partículas sólidas son de muy pequeño tamaño (equivalentes a arcillas), se demorarán un gran tiempo en sedimentar, manteniéndose en suspensión y alcanzando grandes distancias respecto al punto de descarga antes de sedimentar.
- Si las partículas sólidas son de gran tamaño (equivalentes a arenas) sedimentarán rápidamente y se acumularán a corta distancia del punto de descarga.

Las alternativas a utilizar en la disposición de relaves, dependerá de las características de los relaves que producidos en la planta (cantidad suficiente de material tamaño arena), del costo del agua (si es escasa, se justifican inversiones en equipos para optimizar su recuperación) y, de las características del lugar de emplazamiento del depósito de relaves.

Para conseguir estructuras estables con los relaves, deben determinarse sus características, similares a lo que se hace con los suelos (granulometría, densidad relativa, razón de vacíos, relaciones de fase, etc.).

Tabla 2.4: Relación del porcentaje de sólidos con el volumen de agua por tonelada

PORCENTAJE % de Sólidos	Volumen de agua por Tonelada de relaves (m ³ /ton)	Consistencia del Relave
30	2.3	Pulpa
65	0.5	Espesado
75	0.3	Pasta
85	0.2	Filtrado

FUENTE: Golder Associates

2.2.6.4 Opciones para la descarga de los relaves

a) Descarga del Relave Completo

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

Sin embargo, hoy debido a la legislación ambiental vigente resulta difícil de ser aceptados por su alta connotación ambiental y deberían realizarse estudios muy completos y detallados para demostrar que no se afectará el medio ambiente. Por esto, para la descarga de relaves completos, resulta técnica y ambientalmente más aceptable construir un muro perimetral con talud interno impermeabilizado hecho con material grueso de préstamo y generar así un vaso de depositación

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

b) Construcción del dique de contención con parte del relave

Esta opción corresponde a tratar los relaves provenientes de la planta concentradora, de manera de separar la fracción gruesa (arenas de relaves) de la fracción fina (lamas), para poder utilizar la fracción gruesa del relave o “arena de relaves” como material para la construcción del muro perimetral o dique de contención y descargar la fracción fina del relave al vaso del depósito de relaves. Al construir el muro utilizando la fracción gruesa de los relaves, es posible hacerlo de tres formas o métodos de crecimiento distintos:

- Crecimiento del muro hacia “aguas arriba”.
- Crecimiento del muro hacia “aguas abajo”.
- Crecimiento del muro según el método llamado “eje central o mixto”.

c) Material de relaves equivalente a un suelo húmedo (Relaves filtrados)

Esta opción requiere tratar los relaves provenientes de la planta concentradora, de manera de extraerle la mayor cantidad de agua posible mediante distintos métodos, por ejemplo, mediante espesadores de cama profunda o haciendo uso de plantas de filtrado, de tal manera que se obtiene un material equivalente a un suelo húmedo el cual puede ser depositado, en algunos casos, sin necesidad de un muro perimetral para su contención.

Para este propósito existen distintos métodos: “Filtrar los Relaves” y la alternativa más reciente es la de crear lo que se denomina “Pasta de Relaves”.

2.2.7 Principales métodos de recrecimiento de los depósitos de relaves.

Para la construcción y recrecimiento en etapas de un dique de contención, puede usarse diversos materiales como pueden ser el desmonte¹⁰ proveniente de mina, material de préstamo o empréstito y la fracción gruesa de los relaves, cuando la pulpa de relaves presenta una fracción arenosa es posible utilizarla como material de construcción del dique.

Por razones económicas (financieras) las presas de relaves se construyen gradualmente al ritmo de producción de residuos de la mina.

Las arenas de relave pueden ser utilizadas como material estructural del cuerpo del dique en tres métodos diferentes, a continuación, se desarrollarán algunos métodos de recrecimiento del dique de contención de un depósito de relaves:

a) Método aguas arriba

Consiste en un muro inicial (starter dam) construido con material de préstamo o desmote de mina, compactado sobre el cual se inicia la disposición de los relaves, utilizando hidrociclones, la fracción, más gruesa o arena, se descarga por el flujo inferior del hidrociclón (Underflow) y se deposita junto al muro inicial, mientras la fracción más fina o lamas, que sale por el flujo superior del hidrociclón (Overflow) se deposita hacia el centro del vaso del depósito de relaves en un punto más alejado del muro, de modo tal que se va formando una especie de playa al sedimentar las partículas más pesadas de lamas y gran parte del agua escurre, formando el pozo de sedimentación o laguna de sedimentación, la que una vez libre de partículas en suspensión es evacuada mediante un sistema de estructura de descarga, que pueden ser las denominadas torres o quenas de evacuación, o bien, se utilizan bombas montadas sobre una balsa flotante. Una vez que el depósito se encuentra próximo a llenarse, se procede al recrecimiento del dique de contención, desplazando los hidrociclones a una mayor elevación en la dirección hacia aguas arriba y comenzando una nueva etapa de descarga de arenas; así se continúa sucesivamente la construcción de la forma antes indicada. Con este método, en la práctica, se pueden alcanzar alturas de hasta 25 metros aproximadamente. Si bien este método es el que requiere un menor volumen de material arenoso, por lo que ha sido utilizado donde existen restricciones en cuanto al área para la construcción de los depósitos de relaves,

generalmente es el método que produce los diques de contención menos resistentes frente a oscilaciones sísmicas.

Asimismo, con este sistema la economía de volumen de presa es máxima, pero tiene la desventaja de generar una estructura cuya estabilidad es muy sensible a la posición de la superficie freática. Este sistema todavía se usa en las áreas más secas del mundo, donde los niveles de agua en el interior de la presa se pueden mantener al mínimo.

b) Método aguas abajo

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

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

c) Método del eje central o línea central

Se inicia al igual que los métodos anteriores con un muro de partida de material de préstamo compactado, sobre el cual se depositan las arenas cicloneadas hacia el lado de aguas abajo y las lamas hacia el lado de aguas arriba. Una vez completado el vaciado de arenas y lamas correspondiente al muro inicial, se eleva la línea de alimentación de arenas y lamas, siguiendo el mismo plano vertical inicial de la berma de coronamiento del muro de partida. Lo que permite lograr un muro de arenas cuyo eje se mantiene en el mismo plano vertical, cuyo talud de aguas arriba es más o menos vertical, y cuyo talud de aguas

abajo puede tener la inclinación que el diseño considera adecuada. Este método requiere disponer de un volumen de arenas intermedio entre los dos métodos anteriores, y permite lograr muros suficientemente estables. Es decir, combina alguna de las características de los métodos antes mencionados.

En este método el eje de la presa se mantiene en la misma posición en cuanto es elevada, y es una solución intermedia entre los métodos anteriores (inclusive en los costos). Como consideración final, se debe señalar que para el recrecimiento de un dique de contención pueden usarse los tres métodos anteriores combinados, es decir pueden recrecer hasta una cota determinada con el método de línea central y seguir su recrecimiento con el método de aguas abajo por mencionar un ejemplo.

2.2.8 Monitoreo del depósito de relaves

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

a) Medición e inspección visual diaria de todos los factores que influyen directamente en la seguridad de la presa:

- Ancho de la playa, la cual debería ser lo más grande posible.
- Borde libre con respecto a la superficie de los relaves o del espejo de agua, es decir, la distancia vertical que la cresta de la presa está sobre el nivel del agua de la poza.
- Descarga de percolación a través de la presa en sí, a través del cimiento y estribos.
- Posición de la superficie freática y de cualquier daño que pueda surgir en el talud.
- Movimiento horizontal y vertical de la cresta de la presa de arranque y del talud aguas abajo.
- Sismicidad y presión de poros dinámica inducida.
- Todos los procedimientos de disposición de relaves.

Método de aguas arriba – Procedimiento de construcción

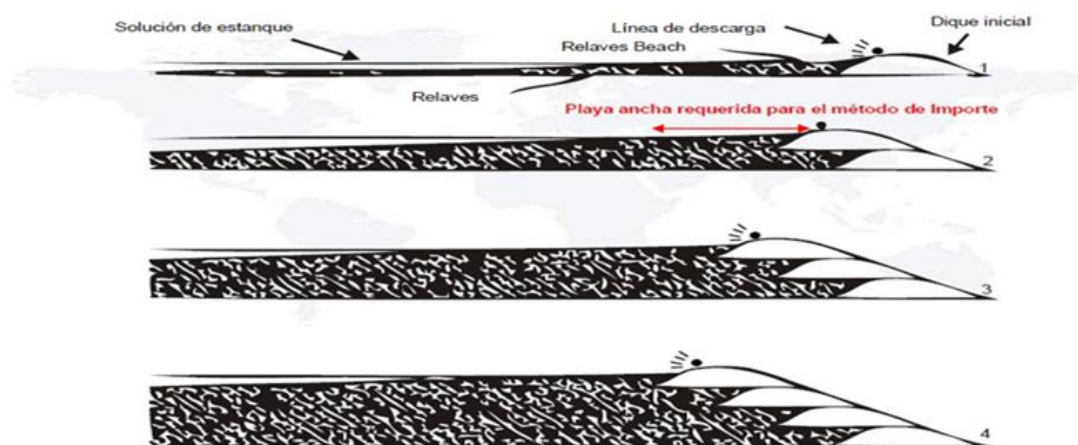


Figura 2.18: Proceso de construcción del método aguas arriba.

FUENTE: CAMIPER

b) Medición y pruebas de todos los factores relacionados con la evaluación de estabilidad en cada etapa de construcción y especialmente cuando se aproxima a la altura máxima final:

- Distribución y zonificación de los relaves depositados.
- Presión de poros.
- Comportamiento de los relaves depositados en cada zona y la no linealidad de las propiedades mecánicas del suelo (densidad, resistencia al corte, compresibilidad, consolidación) con el incremento de la carga aplicada provenientes del resultado de laboratorio y de las pruebas in situ.
- Sedimentación diferencial, registrada por los instrumentos de medición de movimientos internos.
- Consolidación, sedimentación y estabilidad en la altura final durante los años de la elevación de la presa y si es necesario se debe mejorar la técnica de construcción y la estructura mediante drenajes instalados adecuadamente, bermas, inclinaciones del

talud que mantengan una playa no sumergida más ancha, empleando hidrociclones, etc.

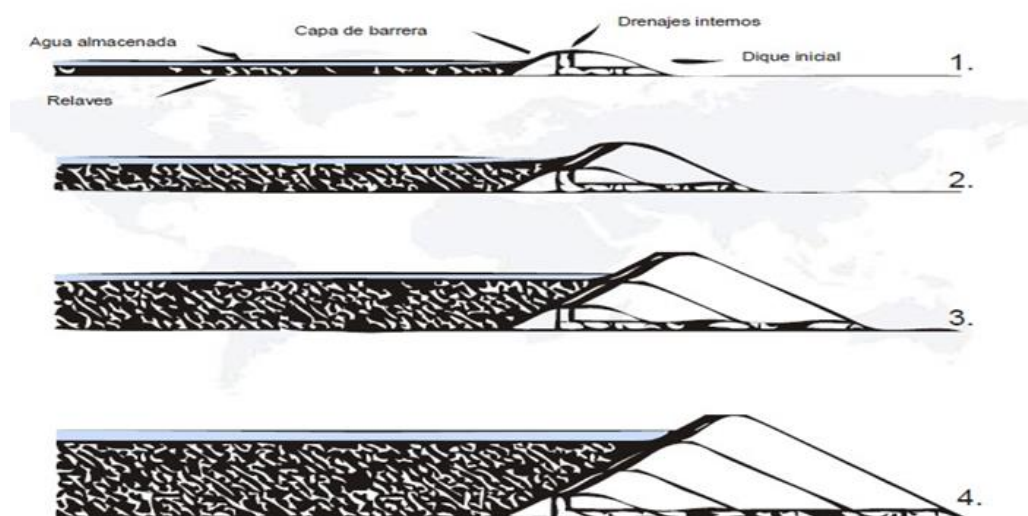


Figura 2.19: Secuencia del proceso constructivo del método aguas abajo

FUENTE: CAMIPER

c) Monitoreo de la descarga de percolación

Toda el agua de percolación debería ser recolectada y la descarga medida en vertederos de tipo rectangular o trapezoidal. Para medir descargas bajas se puede utilizar recipientes calibrados.

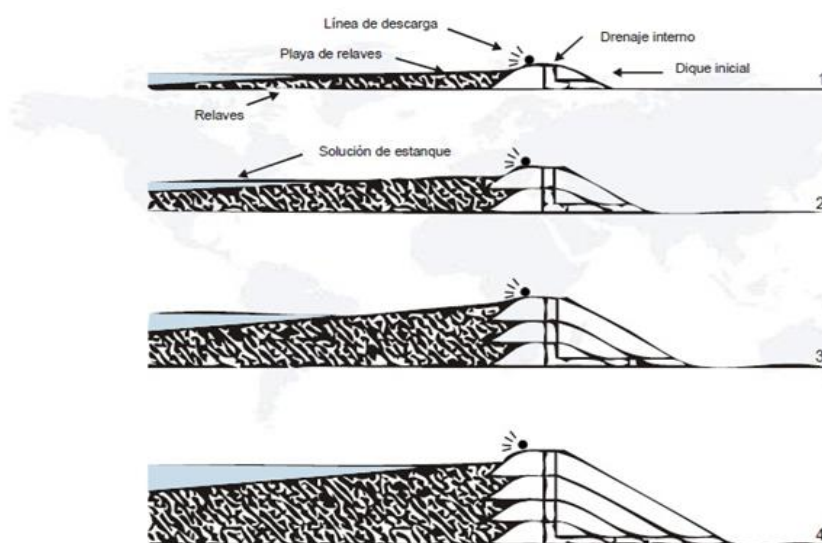


Figura 2.20: Secuencia de construcción del método de la línea o eje central.

FUENTE: CAMIPER.

La descarga de percolación es el factor más importante que tiene que ser medido. Proporciona evidencia de cualquier falla seria en la presa de relaves. Indica la erosión interna en el cuerpo de la presa con consecuencias graves si todas las medidas necesarias no son tomadas en su debido momento. Esta medición debería ser automatizada, si es posible, y las lecturas registradas sin interrupción en el cuarto de control.

Es esencial para las presas de relaves tener buen drenaje para mantener la superficie freática lo más lejos posible del talud aguas abajo, con la finalidad de reducir la presión de poros y disminuir el peligro de licuefacción. El drenaje aumenta la descarga de percolación que es mucho mayor que en las presas de tierra. Sin embargo, no es peligroso si hay filtros y drenajes funcionando apropiadamente y si la cantidad de percolación es recolectada y devuelta a la poza de relaves o a la planta de procesamiento. Las recomendaciones sobre el diseño de drenaje son proporcionadas en ICOLD (1994)

Los relaves son muy sensibles a la erosión tanto interna como externa y esto resalta una vez más la importancia del monitoreo de percolación

d) Medición y monitoreo de la superficie freática.

El nivel de superficie freática es de primera importancia para la estabilidad de las presas de relaves.

El dispositivo básico para medir el nivel freático es el piezómetro. Es importante colocar los piezómetros cerca de los drenajes para verificar la eficacia de estos últimos. Los piezómetros de columna reguladora en las presas de relaves generalmente son fabricados con tubos de PVC de paredes gruesas. Existe peligro de que los tubos se vuelvan inclinados o que incluso se rompan en las zonas internas de la presa de relaves debido a la filtración de la masa de lamas. En estos lugares es mejor conseguir que los piezómetros de columna reguladora sean de material más fuerte, tales como tubos de plásticos

reforzados con fibra de vidrio. Los tubos y los empalmes deben ser herméticos para resistir la alta presión y también deben ser químicamente resistentes. Los tubos de acero se corroen rápidamente en medios de sulfato o de relaves en oxidación y deberían ser revestidos con zinc. Los tubos de aluminio no deberían emplearse si los medios de relaves son alcalinos.

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

Existe un peligro de licuefacción de los finos y de la arena limosa en la presa de relaves como consecuencia de un terremoto. La presión dinámica de poros se desarrolla en los relaves y la licuefacción se presenta cuando la presión de poros inducida se vuelve tan alta que empieza a destruir la estructura de la arena suelta al reducir los esfuerzos efectivos a cero.

La presión dinámica de poros es medida y registrada al mismo tiempo que el terremoto y después, cuando se puede alcanzar los valores máximos. La medición de las presiones de poros dinámicas puede ser efectuada con piezómetros de alambre vibratorio debido a que tienen una respuesta lo suficientemente rápida. Cuando el terremoto está sobre un umbral predeterminado dado, el acelerógrafo hace que la computadora tome lecturas más frecuentes en forma consecutiva desde todos los piezómetros. Cuando la presión de poros se empieza a disipar, las mediciones se vuelven menos frecuentes y son finalmente discontinuadas cuando éstas disminuyen a un valor bajo dado. Después de eso, los piezómetros continúan registrando las presiones de poros como antes, una vez cada 1 a 2 semanas, aproximadamente. Las mediciones de la presión de poros dinámica se efectúan para todos los sismos, incluyendo los más leves, durante todo el periodo operacional mientras la presa está siendo levantada lentamente. Sobre la base de estos datos, se puede predecir la estabilidad dinámica de la presa de relaves a su altura final y para el terremoto

de diseño. Si se requiere, se puede tomar medidas estructurales adicionales como, por ejemplo:

1. Drenaje adecuado. - Un drenaje bien diseñado acelera la consolidación y disminuye la superficie freática. Los relaves secos no se licuefactan, el drenaje también acelera la disminución de la presión de poros dinámica y reduce el peligro de licuefacción debido al impacto dinámico.
 2. Compactación. - La arena más densa no se licuefacta tan fácilmente, la compactación se puede efectuar mecánicamente por vibro-compactación¹³.
 3. Carga. Se requiere un impacto dinámico más fuerte para licuefactar relaves cargados. Con la disminución de la superficie freática, aquellas partes que se encuentran sobre ella cargan las partes húmedas de abajo y reducen el peligro de licuefacción. El uso de capas de drenaje intermedio, como fue recomendado por ICOLD (1994), disminuye la superficie freática, permitiendo a la parte drenada que está sobre ellas cargar las capas de abajo.
- f) Monitoreo de los movimientos verticales.

Los movimientos verticales en los depósitos de relaves son grandes y se deben a la compactación por su propio peso y a la consolidación.

Los movimientos externos son medidos por medio de un sistema de control topográfico de puntos de referencia geodésicos, lo suficientemente afuera de la presa para evitar la influencia del peso de la presa, y con un sistema de hitos geodésicos ubicados:

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

- Sobre la playa de la presa de relaves terminada.

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

- g) Monitoreo de los movimientos horizontales.

En las presas de relaves los movimientos horizontales se deben principalmente a la sedimentación no uniforme de las diferentes partes y en menor grado a la presión proveniente del agua retenida. Generalmente son medidos en los mismos puntos geodésicos que son empleados para control topográfico de los movimientos verticales.

Se puede efectuar mediciones más exactas cuando los puntos están ubicados en una línea recta y los movimientos son medidos en relación a ello. Si la cresta de la presa y las bermas no están en línea recta, se puede emplear el método trigonométrico que es menos preciso. En este caso los métodos más precisos son la colimación óptica o instrumentos sofisticados con láser.

El desplazamiento horizontal de un cimiento deformable puede ser medido con inclinómetros. Estos instrumentos precisos y costosos a la vez deberían ser empleados sólo si es absolutamente necesario.

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

- h) Registros y datos.

Se debería conservar y archivar adecuadamente durante la vida operativa de la mina los registros completos del diseño, construcción y comportamiento de la presa y el pozo de relaves, así como de cualquier evento que afecte o pueda haber afectado la seguridad de la presa de relaves. Estos registros deberían incluir, pero no estar limitados a: documentos

de diseño tales como criterios de diseño, informes sobre exploración del sitio y pruebas de modelos, cálculos, dibujos y especificaciones; registros de construcción tales como documentación sobre los métodos y materiales de construcción, informes sobre el control de calidad, pruebas de laboratorio e inspección de construcción, registros de comportamiento operacional tal como lecturas de instrumentos e interpretaciones relacionadas, informes de inspección y sucesos relacionados en alguna forma con la seguridad de la presa de relaves.

Dichos datos deberían estar permanentemente disponibles y ser fácilmente accesibles para referencia por lo menos dos grupos de los registros antes mencionados, uno en la oficina del operador de la mina (preferiblemente en la zona de la presa) y otro en la oficina de la agencia reguladora. El operador de la mina debería ser responsable de la actualización, archivo y disponibilidad de los registros en su oficina, así como también de proporcionar los registros actualizados a las agencias reguladoras.

2.3 MARCO CONCEPTUAL.

2.3.1.- Análisis a considerar en diseño de presa de relaves

Luego de haber definido la ubicación de la presa y seleccionado el tipo de presa, se procede al diseño de la estructura. El diseño se iniciará con la selección de materiales y su distribución o zonificación dentro de la sección de la presa, así como el análisis de las condiciones de inicio, que pueden afectar el comportamiento de la estructura. El diseño de una presa de relaves considera los siguientes Análisis:

ESTABILIDAD CONTRA EL DESBORDAMIENTO.

El deficiente control del flujo de agua superficial puede originar el desbordamiento de la corona y consecuentemente el colapso de la presa de relaves. La altura de la presa debe considerar un borde libre mínimo para contener la descarga del flujo de relaves, así como

el agua de precipitación pluvial que cae en el depósito y el agua de escorrentía que ingresa al depósito de la cuenca de drenaje tributaria.

ESTABILIDAD CONTRA EL FLUJO INCONTROLADO

El flujo no controlado del agua subterránea puede causar tres problemas básicos:

- Inestabilidad del talud aguas abajo
- Erosión interna o tubificación
- Grandes pérdidas de flujo

La regla principal que guía el diseño de presas relacionado con el control del nivel freático, es que la disposición de los materiales en la sección de la presa, debe permitir el incremento de la permeabilidad en la dirección del flujo, de manera que el nivel freático mantenga una posición gradualmente más baja.

ESTABILIDAD CONTRA LA EROSIÓN INTERNA.

Con frecuencia se muestran problemas relacionados con erosión interna y zona de filtros incorrectos en presa de relaves, cuando se emplean desmonte de minas como material de construcción, directamente en contacto con los relaves. Por otra parte, el empleo de filtros sintéticos (geotextiles) para reemplazar los filtros convencionales de arena, es particularmente atractivo, en sitios donde los materiales naturales son escasos o de extracción costosa.

ESTABILIDAD CONTRA LA LICUEFACCIÓN

Se considera que, para presas de relaves, el deslizamiento inicial de tipo rotacional, es el mecanismo que origina la falla de la mayor parte de los taludes (con excepción de aquellos inducidos por licuación); desarrollándose después como deslizamientos de flujo.

Los análisis de estabilidad serán efectuados para las siguientes condiciones:

- •Al final de la construcción
- •Construcción por etapas
- •A largo plazo
- •Análisis de estabilidad sísmica.

La licuefacción es un fenómeno que se origina por la generación de altas presiones de poro bajo condiciones de carga no drenada, durante la ocurrencia de un sismo.

2.3.2.- ESTUDIO PARA EL DISEÑO DEL DEPOSITO DE RELAVES

Se debe considerar:

Generalidades, Ubicación. Geología, Hidrología, Análisis Sísmico, Investigaciones Geotécnicas, Propiedades de los Materiales, Análisis de la Cimentación, Análisis de estabilidad Físico de los Taludes, Caracterización del Material de Relave, Criterios para el diseño del depósito de Relaves, Instalaciones Propuestas para el Depósito de Relaves Capitulo, Obras para la construcción del depósito de Relaves Capitulo, Programa de Monitoreo.

2.3.3.- Canales de Coronación

Para captar las aguas de escorrentía de la cabecera del contorno superior del depósito de relaves se ha proyectado la construcción de canales de coronación en la periferia del depósito estabilizado, desde el inicio de operaciones y que estas quedarán de manera definitiva para el Plan de Cierre. Para determinar el caudal de diseño de los canales de coronación se considera el caudal pico calculado en el estudio hidrológico, considerando un período de retorno de 500 años.

2.3.4.-Programa de monitoreo

Los objetivos de un programa de monitoreo del talud de la relavera son:

- a) Proporcionar un aviso anticipado de la inestabilidad
- b) Proporcionar información geotécnica para analizar los mecanismos de desplazamiento de la pendiente, para designar medidas correctivas.
- c) Mantener los procedimientos operacionales de seguridad con el fin de proteger al personal y los equipos.

Un programa de monitoreo permite establecer medidas de prevención para evitar deslizamientos, colapsos de estructuras frente a potenciales fallas por acción dinámica., Durante la operación del depósito se instalarán los puntos de monitoreo tales como la instalación de inclinómetros, piezómetros, puntos de control geodésico y puntos de control topográfico.

2.3.5.- Presa Minera:

utilizada para designar depósitos de estériles de lavadero en suspensión acuosa, la nomenclatura de una presa minera de relaves, se distinguen habitualmente por los siguientes componentes:

- •Dique o muro exterior
- •Playa de arenas o estériles
- •Lago de aguas claras
- •Depósito de lodos, son los residuos provenientes de la molienda y extracción de minerales. Roca molida hasta tamaño de arena y limo para maximizar la liberación de metales en los procesos metalúrgicos.

2.3.6.- La tipología de presas mineras:

Es muy variada. Pero estas pueden clasificarse por:

a) constitución del muro exterior.

Con la utilización de una fracción de los propios lodos.

Con la utilización de materiales de aportación.

Con diseño semejante al de las presas de embalse y construcción previa al vertido.

b) métodos de recrecimiento.

Hacia atrás o hacia aguas arriba, es el levantamiento de diques sucesivos ligeramente retranqueados respecto al anterior, manteniendo un resguardo sobre el nivel de lodos.

Hacia atrás o hacia aguas abajo, se realiza hacia adelante o hacia aguas abajo, extendiendo los nuevos diques con recubrimiento del talud de aguas debajo de los anteriores.

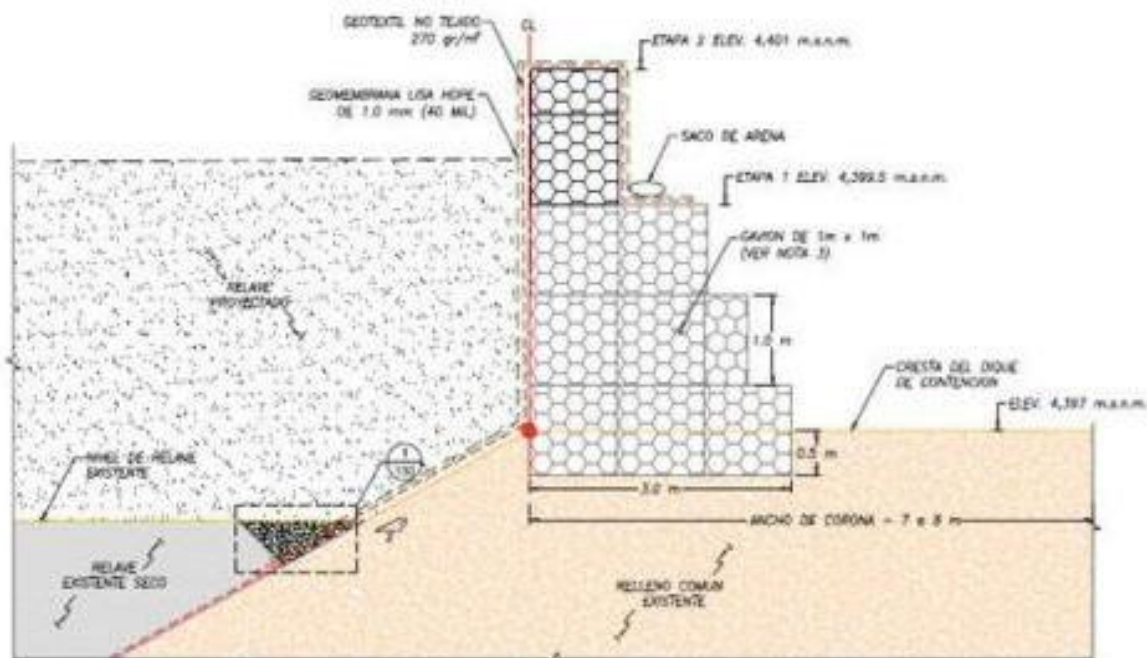


Figura 2.21: Modelo de recrecimiento presa de relaves

FUENTE: Cori Puno

MODELO DE RECRECIMIENTO PRESA DE RELAVES

El trabajo considera las siguientes actividades: Elaboración de criterios de diseño, evaluación física, química e hidrológica, diseño de obras civiles, muro de gaviones, canales de derivación afectados por el nuevo trazo del eje del dique, elaboración de planos de Ing. de detalle y especificaciones Técnicas. Estimado de cantidades y costos, cronograma de construcción, monitoreo post cierre e Informe de diseño.

c) IMPLANTACIÓN EN EL TERRENO.

EN LADERAS, Se recurre a disponer varias balsas escalonadas o en cascadas en lugar de construir una sola de gran envergadura. EN VALLE, análogas a presas convencionales.

2.3.7.- ACCIDENTES Y FALLAS EN PRESAS DE RELAVES.

La ingeniería geotécnica y su metodología geo ambiental tratan de manera moderna los principales problemas relativos al deterioro del medio ambiente en la minería, enfatizando en los aspectos de las actividades más usuales de la ingeniería peruana concernientes a la construcción y performance de los depósitos de desechos que originan efluentes líquidos y desperdicios sólidos que actualmente deben cumplir con requisitos mínimos para evitar la contaminación ambiental de su entorno.

Las presas son generalmente las más peligrosas estructuras de la ingeniería, más aún las presas de relave. La falla de una presa, puede causar gran pérdida de vidas y de propiedades, cuyo valor puede ser mucho mayor que el de la presa en sí. El estudio de las fallas de una presa de relave puede ser de gran valor para la profesión de la ingeniería, si ésta se investiga completamente y se analiza objetivamente.

Considerando específicamente las presas de relave como estructuras de retención de rellenos mineros, éstas pueden ser divididas básicamente en dos grupos: presas o diques

de tipo convencional y rellenos hidráulicos construidos por etapas. Las presas de tipo convencional son construidas de acuerdo a los métodos y tecnología usualmente utilizada en geotecnia para las presas de enrocamiento, tales estructuras constituyen una alternativa en situaciones donde volúmenes apreciables de agua o efluentes no recirculan y son almacenados junto con el relleno sólido, o cuando las características del relave no permiten un adecuado diseño de presa de relleno hidráulico.

2.3.8.- Sistema de impermeabilización.

Sistema de impermeabilización con el propósito de eliminar algún flujo del depósito de relaves hacia el dique principal y cubrir el vaso de almacenamiento y la superficie del talud del dique aguas arriba. La impermeabilización del vaso consta de colocar el geotextil a todo lo largo del dique D-2 aguas arriba, se coloca el geotextil en contacto 88 directo con el talud perfilado, luego se coloca la geomembrana a todo lo largo del dique y otra vez se coloca el geotextil, quedando de la siguiente manera, geotextil, geomembrana, geotextil, para posteriormente anclar la geomembrana en ambos estribos del dique y en la corana o cresta de la misma.

2.3.9.- ESTUDIOS PREVIOS.

Evaluar las condiciones hidrológicas del área de estudio y diseñar las obras de drenaje necesarias para evitar el ingreso incontrolado del agua de escorrentías al depósito.

Desarrollar los estudios básicos que permitan establecer las características geotécnicas de los materiales que conforman el cuerpo, la cimentación y los materiales de canteras para el recrecimiento del Depósito de Relaves.

Proponer los parámetros de resistencia cortante de los materiales que conforman el cuerpo, la cimentación y los materiales de canteras para el recrecimiento del Depósito de Relaves.

Diseñar las obras necesarias para el crecimiento del Depósito de Relaves.

Desarrollar la ingeniería de detalle de las obras necesarias para el crecimiento del Depósito de Relaves.

El planeamiento realizado para el logro de los objetivos, fue:

- Ejecutar investigaciones geotécnicas básicas en el área del depósito de relaves, como complemento a la información que se tiene disponible.
- Elaborar el diseño conceptual.
- Analizar la estabilidad del depósito de relaves para el diseño de su recrecimiento.
- Llevar a cabo la evaluación hidrológica del área.
- Elaborar los diseños civiles de las obras proyectadas.
- Elaborar las especificaciones técnicas, metrados y estimación de costos.
- Elaborar los planos del diseño

Los estudios y análisis realizados fueron:

HIDROLOGÍA Y DRENAJE´.

Información Básica

ESTUDIO DE PRECIPITACIONES

- Precipitaciones Máximas en 24 horas
- Escorrentías
- Modelo Precipitación Escorrentía
- Descargas y Volúmenes Pico

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

- Topografía
- Investigaciones de Campo
- Pruebas de Laboratorio
- Perfil Estratigráfico
- Exploración de Canteras
- Materiales para el Dique
- Material para Filtro
- Material para Obras de Concreto.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

- Relaves Gruesos
- Relave Fino
- Dique de Contención
- Material Aluvial
- Material para Dique de Contención
- Material para Enrocado de Protección
- Material para Filtro
- Material para Construcción de Obras de Arte

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

- Factores de Seguridad Mínimos
- Análisis de Peligro Sísmico
- Determinación de la Geometría del Crecimiento del Dique

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

- Condiciones del Proyecto
- Condiciones del Análisis de Estabilidad
- Análisis de Estabilidad del Crecimiento Máximo - Nivel Freático Bajo
- Análisis de Estabilidad del Crecimiento Máximo – Nivel Freático Alto

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD POST SISMO

- Condiciones de Análisis
- Metodología de Análisis
- Análisis del Potencial de Licuación
- Resultados del Análisis de Licuación
- Resultados del Análisis de Post Sismo

Condición Crítica del Nivel Freático

Plan de Contingencias.

2.3.10 Descripción de los Componentes a ser Ejecutados recrecimiento relavara

Los componentes del proyecto “Construcción de la Sobreelevación del Dique del Depósito de Relaves, comprende la construcción de los siguientes componentes:

a). Cimentación

La construcción del mejoramiento en la cimentación se realizó en la zona del estribo derecho, con la finalidad de obtener suficiente capacidad de carga para recibir los esfuerzos generados por el peso del cuerpo de la presa, la cual está constituida por 04 tipos de material seleccionado, donde se realizaron las siguientes actividades:

- Calicatas para la verificación del estrato y profundidad de cimentación.
- Trazo y replanteo topográfico.
- Desbroce del área de cimentación.

- Excavación de área de cimentación y evacuación del agua acumulada.
- Relleno y acomodo de la roca (Enrocado d = 15"-20")
- Relleno y acomodo de la roca (Enrocado d = 5"-10")
- Conformación y compactación del relleno con material de transición (GW)
- Conformación y compactación del relleno con material estructural (GP-GC, GC)

El relleno de material con roca se inició desde la cota 4638.48 m.s.n.m. en capas de 0.50 m

Debidamente conformadas y acomodadas con equipo pesado, posterior a ello se continuó con la conformación del material de transición en capas de 0.30 m (02 capas de relleno), para finalmente concluir con las capas de relleno estructural con un espesor de 0.30 m hasta alcanzar el nivel 4649.72 msnm con una pendiente aguas debajo de 2% en la plataforma. Antes de iniciar el relleno en la cimentación se evacuó toda el agua acumulada, donde fue verificado y aprobado por la supervisión QA el suelo de fundación, se verificó la calidad de roca con ensayos especiales (carga puntual, abrasión) que se utilizó para la cimentación, y ensayos de control de calidad al material estructural de relleno cumpliendo las especificaciones técnicas de proyecto, el área de cimentación construida es de 4773.36 m², perímetro de 306.57 m, dándose la continuidad a la cimentación realizada en el año 2014.

b) Estribo Derecho

Ubicado por el inicio de la progresiva del eje del dique, área de afloramiento localizado en el estribo existente, se realizaron trabajos de corte para mejorar el empotramiento del cuerpo de presa ejecutándose un total de 15 banquetas en material rocoso tantas aguas abajo y a nivel de la corona, observándose roca de tipo marga roja, y roca caliza

protegiéndose e impermeabilizando el contacto de las banquetas de caliza con concreto dental de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

- Volumen excavado: 32,598.81 m³ Perfilado del área de cimentación: 961.44 m²
- Enrocado en la cimentación: 7,266.80 m³
- Relleno estructural: 27,925.52 m³.
- Cota del fondo de cimentación: 4638.48 msnm
- Cota final de relleno: 4649.72 msnm
- Pendiente de la plataforma: 2 %

c) Dique Central

Ubicado en la parte central de talud aguas abajo, se realizó banqueteo en el afloramiento rocoso se realizó 1 banqueta para mejorar el empotramiento del recrecimiento.

d). Estribo Izquierdo

Ubicado al final de la progresiva de eje de dique, área de afloramiento rocoso localizado en el estribo existente, se realizaron trabajos de corte para mejorar el empotramiento del cuerpo de presa ejecutándose un total de 2 banquetas en material rocoso a nivel de la corona, observándose roca de tipo caliza, protegiéndose y sellándose el contacto de las banquetas de caliza con concreto dental de resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Para mejorar el procedimiento constructivo de los empotramientos en el estribo izquierdo se formuló 02 descripciones detalladas de cómo ejecutar el trabajo (Procedimientos Constructivos) que se les entregó a la supervisión Geoservice Ingeniería S.A.C.

Volumen excavado: 2,211.81 m³ Perfilado del área de cimentación: 85.09 m

2.3.11 Conformación del Dique

La conformación del Dique, se inicia con la verificación del material de desmonte de mina preparado en cantera capilla, donde se verificó la gradación y clasificación de material según las especificaciones técnicas, previo al traslado de material tipo 3 (GP-GC, GC) con tamaño máximo de 5” para la conformación aguas abajo, y para la conformación de talud aguas arriba con un tamaño máximo de 3”.

La conformación de las capas de relleno en el dique central se inició en la cota 4641.80 msnm capa nivelante hasta alcanzar la capa N° 38 del dique central; a partir de la capa N° 39 se prolongó la conformación del relleno hasta el estribo derecho, conformándose y compactándose llegando a la capa N° 105 aguas abajo del dique con material zarandeado de tamaño máximo $d=5''$, a partir de la capa N° 106 se conformó con material zarandeado y seleccionado de tamaño máximo $d=3''$, debido al contacto del relave con el talud aguas arriba es que se utilizó dicho material de menor gradación. Se realizaron todos los ensayos de caracterización según las especificaciones técnicas del proyecto, en la etapa construida se recreció 3 metros desde la cota 4673.00 m.s.n.m. a la cota 4676.00 m.s.n.m. (un total de 114 capas de relleno).

Todas las capas de relleno fueron debidamente conformadas y compactadas, se verificó que las capas no sobrepasen el espesor de 30 cm, se cumplió con el número de pasadas mínimas con el rodillo liso vibratorio para poder alcanzar el 95% de la MSD del proctor modificado; y para continuar con la conformación de la siguiente capa, se verificó que la capa anterior esté debidamente humedecida y escarificada.

- Relleno estructural: 143,923.25 m³
- Perfilado del talud: 17,395.40 m³
- Eliminación de material excedente: 20,526.57 m³

2.3.12 Conformación de Rampa de Acceso

Para poder acceder a las capas a conformar se crearon 5 accesos de ellos solo necesitaron su conformación a través del tendido de material (plataforma de conformación al acceso); estas capas de conformación se dieron de un espesor de 0.30 m compactadas que a continuación se detallan:

- Acceso N° 01: 04 capas de 0.30 m compactadas.
- Acceso N° 02: 05 capas de 0.30 m compactadas.
- Acceso N° 03: 10 capas de 0.30 m compactadas.
- Acceso N° 04: 10 capas de 0.30 m compactadas.
- Acceso N° 05: 10 capas de 0.30 m compactadas.

El material que se utilizó para conformar los accesos, es el mismo material con el que se conformaron las capas del dique, aprobado por la supervisión geoservice y verificada en campo con ensayos de densidad, hasta alcanzar el 95% de la MSD del proctor modificado según especificaciones técnicas del proyecto.

- Relleno estructural: 3,894.88 m³
- Perfilado del talud: 544.77 m³

2.3.13 Sistema de Drenaje

EL sistema de drenaje construido en la etapa actual está constituido por un dren talón con una longitud de 164.80 m, y un área de 502.0 m², colocándose una cama de arena, tubería de 6” perforada envuelto con geotextil de 300 gr/m², empalmándose con el dren talón existente de las etapas anteriores dándose la continuidad al dren, Para evacuar aguas de filtraciones (aguas de contacto), se construyeron 4 drenes fajas ubicadas en el estribo derecho y conectadas al dren talón construido con una sección de 2 x1 m, 2 m de ancho y 1 m de relleno de material drenante, aprobado por la supervisión geoservice se

impermeabiliza la zona de contacto rocoso con material arcilloso y debidamente compactado y aprobado por la supervisión, el material drenante fue envuelto con geotextil de 300 gr/m², se conformaron 4 capas de 0.25 m de altura debidamente acomodadas, aprobado con una densidad relativa mayor al 80 % , los drenes faja, se empalmaron al dren chimenea y dren talón respectivamente para cualquier eventualidad según diseño de presa de relaves, Para la continuidad del chimenea se realiza el trazo y replanteo con estación total, se excavó un ancho de 2.00 m hasta encontrar el dren chimenea existente, se realizó la limpieza manual del filtro contaminado y su nivelación, para continuar con la conformación del dren chimenea en capas de relleno con un espesor de 0.30 m debidamente conformadas y acomodadas con equipo pesado siendo aprobadas cada capa por la supervisión. El dren chimenea es una pantalla drenante teniendo como función principal la captación de las aguas de infiltración del material del cuerpo de presa.

Se conformaron un total de 10 capas de relleno de espesor 0.30 m llegando a la cota 4675.40 m.s.n.m. protegiendo el dren chimenea con dos capas de 0.30 m de material seleccionado a nivel de la corona. Los ensayos de control en campo se realizaron con cono de arena de 6", liberándose las capas de filtro cuando su densidad relativa fue mayor o igual a 80 %.

- Conformación del dren chimenea: 3,189.90 m³
- Conformación del dren blanket: 2,456.83 m³
- Conformación de los drenes fajas: 506.54 m³
- Conformación del dren talón: 234.19 m³
- Conformación de cama de arena: 60.87 m³
- Sum. e Inst. de tubería 6" perforada: 160 ml
- Sum. e Inst. de geotextil 300 gr/m²: 2,041.61 m²

2.3.14 Protección de tubería de dren principal

En la construcción del dique de arranque se construye un sistema de drenaje en el vaso con un sistema de sub drenaje en forma de espina de pescado para captar las aguas de filtración y infiltración conducidas a una red de tubería HDPE $d=12''$ para evacuar las aguas de contacto hacia una poza de recirculación, como mediada de protección la tubería fue recubierta con concreto simple llegándose a proteger hasta el pie de talud de la etapa I – cota de construcción 4673.00 m.s.n.m. Para proteger la tubería de $12''$ se hace revestimiento de la tubería HDPE con concreto armado con una resistencia de 210 kg/cm^2 y acero de grado 60 con una longitud de 176.00 m, sección del dado de concreto $1.15 \text{ m} \times 0.90 \text{ m}$, iniciándose con trazo y replanteo del eje de la tubería alineándose la tubería. Vaciándose solado de 100 kg/cm^2 concreto simple, posteriormente realizándose el armado del acero, encofrándose y colocándose el concreto de resistencia 210 kg/cm^2 curándose con aditivo impermeabilizante y sellándose las juntas con material elastomérico, se tomaron muestras (probetas) para curado y verificación de la resistencia del concreto a las diferentes edades obteniendo una resistencia al 100% a los 7 días de colocado.

- Longitud de la estructura: 178 ml
- Volumen de concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$: 179.81 m³
- Volumen de concreto $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$: 24.85 m³

2.3.15 Control del Proceso Constructivo

Los registros de control de calidad se realizaron en base a una normativa ASTM y seguimiento de los procesos constructivos bajo el enfoque del PMI, y ISO 9001, los seguimientos de los ensayos se realizaron el laboratorio del área de la unidad minera, la verificación de la caracterización y cumplimiento según las especificaciones de la ingeniería, las clasificaciones según la banda de la granulometría según clasificación sus

(GP-GC, GC), aprobadas los controles de campo se realizaron verificaciones de densidad de campo con el método densidad por método reemplazo por volumen de agua ASTM 5030, dando como aprobado con porcentaje de compactación mínimo de 95% de máxima densidad seca corregida. Se procede a construir de manera similar el sistema de drenaje, aprobación de canteras que cumplan con el material según especificaciones técnicas, el dren talón, drenes faja y dren chimenea se construyeron de igual manera, ensayos de caracterización y aprobación, controles en campo de verificación de densidad relativa, aceptación y aprobación con una densidad relativa de al menos 80% de la densidad relativa, el sistema de drenaje principal protegido con concreto armado, concreto de resistencia 210 kg/cm² y acero de refuerzo de grado 60, instrumentación geotécnica en la etapa II son 5 piezómetros que se instalaran 3 piezómetros de cuerda vibrante y 2 de casa grande ubicado 2 de casa grande en los estribos y 1 en el dique central, todos los trabajos serán verificados y aprobados por la supervisión de control de aseguramiento de calidad Geoservice ingeniería.

1. Movimiento de Tierras

- Evaluación de canteras y determinación de los procedimientos de explotación, preparación, transporte y conformación de los rellenos.
- Verificación visual y topográfica del terreno natural competente con fines de cimentación en los estribos derecho e izquierdo
- Se realizaron ensayos de laboratorio según lo requerido en las especificaciones técnicas para los distintos materiales, donde se obtuvieron los parámetros de control de rellenos en la plataforma del cuerpo del dique, accesos y dren chimenea, siendo estos:
 - Contenido de humedad ASTM D2216
 - Contenido de humedad Speedy ASTM D4944

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D422
- Límites de Atterberg ASTM D4318
- Gravedad específica de gravas ASTM C127
- Clasificación Unificada de Suelos ASTM D2487
- Próctor Modificado ASTM D1557

En todas las capas de relleno del cuerpo del dique y en las capas de los accesos se realizaron pruebas de densidad in situ por el método de reemplazo de volumen de agua ASTM D 5030. En las capas de relleno del dren chimenea, drenes faja y dren talon se realizaron ensayos de densidad relativa por el método de Cono de Arena de 6" ASTM D1556.

- Verificación topográfica de los niveles de capas de todos los rellenos realizados.
- Verificación de la conformación de enrocados en la cimentación del estribo derecho se realizó con acomodo de excavadora y asentamiento despreciable accesos (granulometría del material, acomodo del material y controles topográficos).
- Verificación de niveles de excavación. Se realizaron rellenos de prueba para la verificación de parámetros obtenidos en laboratorio, así como para la determinación de los procedimientos adecuados de conformación de los rellenos.

2. Instrumentación geotécnica

En la etapa II de construcción del depósito de relaves se realizó la instalación de 5 Piezómetros, dos en el estribo derecho (cuerda vibrante y casa grande) 1 dique central de cuerda vibrante y 2 en el estribo izquierdo (cuerda vibrante y casa grande). La perforación e instalación de los piezómetros lo realizó la empresa grupo achirana el cual se detalla en el siguiente cuadro.

2.3.16 Consideraciones para el diseño del depósito de relaves

Se contemplan principalmente las siguientes consideraciones:

- Ubicación del área para el depósito de relaves
- Caracterización geológica del área
- Condiciones climáticas e hidrológicas del área de emplazamiento del depósito de relaves.
- Condiciones Sísmicas del área del proyecto
- Determinación de las condiciones geotécnicas.
- Selección del tipo de presa
- Balance metalúrgico
- Características granulométricas del relave general

2.3.17 Diques de arranque.

Después de ubicar el área para el depósito de relaves, y teniendo en cuenta las consideraciones topográficas se determinó la configuración del vaso para lo cual requiere la construcción de un dique de arranque.

Para el diseño del dique de arranque se ha considerado el levantamiento topográfico, la evaluación geotécnica, la producción de relave, se ha caracterizado el tipo de material que conformara el cuerpo del dique.

El dique de arranque tendrá las siguientes características:

- longitud de corona de 153m.
- ancho corona de 4.50m.
- Ancho de base en la parte central de 45m.
- Altura del dique aguas arriba de 10m, y de aguas debajo de 14m.
- Talud de inclinación de 30° aguas abajo y arriba.

El material que se empleará en la construcción del dique será material de cantera seleccionada (grava arcillosa con limo), el grado de humedad deberá estar en el óptimo del valor del proctor estándar, para obtener una compactación del 95%.

Para la construcción del dique de arranque se deberá cortar 7.0m de profundidad como mínimo, teniendo en cuenta las condiciones del suelo según los resultados obtenidos durante la evaluación geotécnica

2.3.18 Sistema de drenaje

Para proteger y garantizar el funcionamiento del depósito de relaves se diseñará un sistema de drenaje para captar las aguas de escorrentía y evitar el ingreso al depósito de relaves.

En el vaso de la presa se construirá un sistema de subdrenaje a fin de evacuar las aguas de las filtraciones. Para evacuar las aguas de relave se instalarán un sistema de drenaje revestido con geomembrana que se comportara como filtro y sistema de tuberías perforadas (tipo quenás) para evacuar el pondaje de agua que se acumulara en el vaso.

2.3.19 Método de disposición

El método de disposición permitirá seleccionar y aprovechar la fracción granular del relave para recrecimiento de la presa. El relave generado por el proceso metalúrgico antes de su disposición será clasificado por un hidrociclón la que estará instalada sobre una estructura móvil para su desplazamiento y descarga, se reubicara periódicamente para formar una serie de deltas adyacentes y traslapadas que permitirán el crecimiento de la presa del depósito de relaves.

2.3.20 Programa de monitoreo

Los objetivos de un programa de monitoreo del talud de la relavera son:

- a) Proporcionar un aviso anticipado de la inestabilidad
- b) Proporcionar información geotécnica para analizar los mecanismos de desplazamiento de la pendiente, para designar medidas correctivas.
- c) Mantener los procedimientos operacionales de seguridad con el fin de proteger al personal y los equipos.

Un programa de monitoreo permite establecer medidas de prevención para evitar deslizamientos, colapsos de estructuras frente a potenciales fallas por acción dinámica., Durante la operación del depósito se instalarán los puntos de monitoreos tales como la instalación de inclinómetros, piezómetros, puntos de control geodésico y puntos de control topográfico.

Durante la construcción del depósito se instalarán los puntos de monitoreos tales como la instalación de inclinómetros, piezómetros, puntos de control geodésico y puntos de control topográfico los puntos estratégicos serán establecidos por consultor.

Inclinómetros.

El inclinómetro permitirá determinar los desplazamientos del talud de los bancos del depósito de relaves a diferentes profundidades, así como asentamientos de los materiales Dichos desplazamientos son de gran utilidad para evaluar el grado de estabilidad.

Los monitoreos inclinométricos, se basan en las deformaciones que puedan sufrir los materiales ante las cargas laterales o gravitacionales, las cuales son determinadas por medio de observaciones

Piezómetros

Se instalarán 2 piezómetros hidráulicos en diferentes lugares del depósito de relaves para realizar el monitoreo geotécnico con la finalidad de determinar la variación del nivel freático y la calidad de aguas subterráneas.

El monitoreo se realizará después de 2 meses de iniciada la operación de funcionamiento del depósito de relaves, el Ingeniero responsable del manejo de la desmontera determinará la frecuencia de los monitoreos y establecerá las medidas pertinentes del caso.

CAPITULO III.

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Diseño de la investigación

Es el que establece, qué se debe hacer para alcanzar los objetivos del estudio y para contestar 890 las interrogantes de conocimiento que se han planteado, en un estudio pueden utilizarse uno o más diseños, utilizar más de un diseño aumenta la complejidad y los costos de la 892 investigación. Es un plan detallado para realizar un estudio que maximice el control de los factores que podrían interferir con la validez de los hallazgos. (Arias F.G.1999).

3.2 Fases de la investigación.

En el presente trabajo de investigación se ha realizado en el recrecimiento del depósito de relaves de la unidad minera Untuca. Considerado el siguiente plan detallado:

- Recolección de información de campo
- Evaluación de especímenes en laboratorio
- Post proceso
- Simulación
- seño
- Consolidación de trabajo final

3.3 Método de investigación.

El presente trabajo de investigación es descriptivo aplicativo y cuasi experimental de enfoque cuantitativo, estocástico y determinístico pues se han obtenido datos de campo mediante un mapeo, que posteriormente son analizados con la aplicación de *software*, además parte de los datos de campo han sido evaluados con la aplicación de diferentes fórmulas que justifica el método determinístico, los datos de laboratorio constituyen valores específicos que se utilizarán para una aplicación en un determinado momento para la solución al problema, considerando que la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice (Hernández, Fernández y Baptista, 2003 p 119).

3.4 Nivel de Investigación

En los niveles de investigación pueden ser consideradas las siguientes:

Descriptivo. Es la descripción del dominio estructural del macizo rocoso en una circunstancia temporal y geográfica determinada, su finalidad es describir parámetros, se describen frecuencias promedias, y procedimientos de tendencia central, se estiman parámetros con intervalos de confianza, los logros con los procedimientos estadísticos en recrecimiento del depósito de relaves en la unidad minera Untuca de la Empresa Minera Cori Puno SAC.

Explicativo. Explica el comportamiento de una variable en función de otra por ser estudios de causa-efecto, calidad de masa rocosa y geometría del depósito mineral para el minado.

3.5 Tipo de estudio

La metodología de investigación utilizada para el presente proyecto de investigación es descriptiva de acuerdo a la información del movimiento de tierras, explotación de canteras, construcción de gaviones, conformación de plataformas, calidad de geo

sintéticos, geomallas, geotextiles y geomembranas y cualitativo está basado la teoría (conocimiento) y resultados de las fuentes información de laboratorio y de campo para recrecimiento del depósito de relaves de Untuca como:

- Análisis de estabilidad global
- Análisis de estabilidad interna
- Análisis dinámico
- Ensayos de laboratorio
- Especificadores técnicos
- Manual de operaciones

Otras fuentes son las fuentes de información o conocimiento que son artículos de investigación, textos de información, estudios de experiencia similares realizadas en otras minas a nivel de Perú.

De acuerdo a la naturaleza del trabajo de investigación, y por las características del estudio es de tipo descriptivo y analítico, aplicado a un problema de recrecimiento de presa de relaves en Minera CORIPUNO SAC.

3.6 Población y muestra de investigación

3.6.1 Población

La población unidad de producción Untuca de la Minera CORIPUNO SAC, distrito de Quiaca, provincia de Sandía y Región Puno. Cori Puno S.A.C, es una empresa minera privada dedicada a la explotación y procesamiento de oro, la cual viene operando a un ritmo de producción de 350 TMD. Como parte de dicha operación, a la fecha viene depositando sus relaves en el actual deposito denominado Deposito de Relaves Untuca, cuyo nivel de cota de corona actual es 4310.0 msnm. Adicionalmente, fue aprobado por la Dirección Regional de Energía y Minas (DREM) de Puno en diciembre del 2014,

mediante resolución directoral N°355-2014-GRP-DREM-PUNO/D, la ingeniera de recrecimiento hasta la cota 4326.0 msnm, la cual consiste en una sobreelevación de 16m de altura, conformada en tres etapas, siguiendo el método aguas abajo.

Adicionalmente a ello, Cori Puno SAC ha visto por conveniente continuar sobre elevándola presa Untuca a través de un segundo recrecimiento, cuya cota de inicio sería 4326.0msnm hasta la cota 4332.0 msnm.

Para tal efecto, Cori Puno S.A.C realizar trabajos de Ingeniería a nivel de detalle del recrecimiento de 6m. desde el nivel de cota 4326.0 msnm hasta la cota 4332.0 msnm. Dicha sobreelevación permitirá ampliar la vida útil del depósito, con respecto a lo Aprobado por la DREM de Puno.

3.6.2 Muestra

Presa de relaves Untuca, ubicado en la comunidad de Untuca, Mina San Miguel, quebrada Pulluncunuyoc y los depósitos morrénicos.

El Proyecto se encuentra ubicado en la parte alta de la subcuenca del río Choquechambi, que a su vez descarga sus aguas al río Madre de Dios, perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Amazonas. Esta microcuenca tiene regímenes de precipitaciones sólidas, lo que significa que la microcuenca tiene gran retención. En términos generales de acuerdo a la clasificación climática; según el sistema de clasificación de Warren Thornthwaite (SENAMHI 1988) y el Mapa Climatológico del Perú (SENAMHI 2009), la microcuenca de la quebrada Ananea presenta el siguiente clima:

- El proyecto de evaluación contempla el clima B(o,i) D' H3, lo que representa:
Precipitación efectiva; Lluvioso Distribución de la precipitación en el año; invierno y otoño seco
- Eficiencia de temperatura; Frígido
- Humedad atmosférica; Húmedo

3.7 Técnicas y procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos estará a cargo del investigador, según los criterios de valoración, realizando previamente las coordinaciones con departamento de Geología, de planeamiento y el Ingeniero de Operaciones Mina.

3.8 Instrumentos de recolección de datos

3.8.1 Geología

La zona del proyecto se encuentra emplazada en la unidad morfoestructural de la Cordillera Oriental. Esta unidad en la zona del proyecto está manifestada por cuatro subunidades denominadas de Oeste a Este: Pre-Cordillera de Carabaya, Depresión longitudinal de Crucero-Ananea-Cojata, Cadena de Nevados y Vertiente Amazónica.

Dentro de la unidad morfoestructural de la Cordillera Oriental, el área de interés se emplaza en la subunidad correspondiente a la vertiente Amazónica de topografía muy escarpada, seccionada por valles profundos y encañonados como el Ananea. Esta cordillera se extiende por 35 km al Oeste de la línea fronteriza con Bolivia, en la parte central del departamento de Puno, al Norte del Lago Titicaca. Su situación geográfica está dentro de las siguientes coordenadas: 14° 35' - 14° 45' latitud Sur, 69° 14' - 69° 34' longitud Oeste.

La estratigrafía del área está constituida por las siguientes unidades litoestratigráficas: Formación Sandía (Os-s) y Ananea (SD-a) de edad Paleozoico, cubiertos parcialmente por depósitos inconsolidados del cuaternario. La unidad litoestratigráfica más representativa del área del proyecto, es la Formación Sandía (Os-s), constituida por pizarras y lutitas negras con algunos horizontes de cuarcitas. Los afloramientos de esta formación se encuentran ampliamente expuestos en las laderas del valle de Ananea; mientras que los depósitos cuaternarios ocupan la parte baja y el fondo de la quebrada. A nivel regional las estructuras geológicas observables están representadas por

anticlinales y sinclinales con ejes de orientación andina SE-NO afectando rocas de la Formación Sandia. También ocurren fallas de tipo normal e inversa con orientaciones andina y transversal a ésta.

3.8.2 Configuración del recrecimiento de 6m del depósito Untuca

De acuerdo a los requerimientos de Minera Cori Puno, el depósito de relaves Untuca debe tener una capacidad de aprox. 550,000 m³ y una configuración tal que minimice el volumen de relleno y las áreas a afectar. Las siguientes secciones presentan un resumen de las características propuestas para el depósito y las consideraciones tomadas para su ubicación, configuración y diseño.

Debido al reducido espacio del que se dispone y a la cuenca natural que forma el tramo superior de la quebrada Ananea, la configuración que se propone incluye la construcción de un muro de suelo reforzado de 11m de altura de los cuales 6m corresponde a la estructura de recrecimiento y los 5m restantes a la ampliación de la corona.

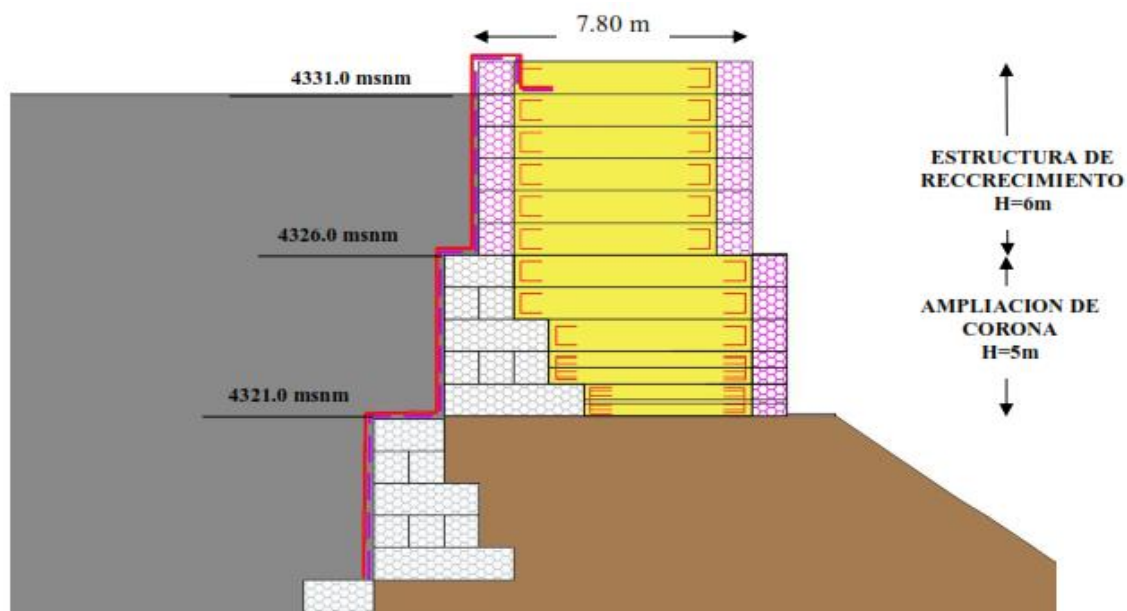


Figura 3.22: Sección Típica de la estructura de recrecimiento

FUENTE: Cori Puno

Tal como se observa en la figura, ambas estructuras, una apoyada sobre la otra, estarán cimentadas sobre la corona de la Presa en el nivel de cota 4321.00 msnm.

La configuración de la estructura de recrecimiento tiene el propósito principal de contener los relaves depositados de manera estable desde el punto de vista físico y químico. El diseño del recrecimiento del depósito de relaves incluye las siguientes estructuras:

1. Ampliación de Corona (muro terramesh system 1 cara de 5m).
2. Estructura de recrecimiento (muro terramesh system doble cara de 6m).
3. Sistema de impermeabilización.
4. Sistema de evacuación de aguas de pondaje.

3.8.3 Ampliación de Corona - Muro Terramesh system 1 cara de 5m

Para poder emplazar el muro de recrecimiento de 6m. sobre la corona del proyecto aprobado por la DREM PUNO directoral N°355-2014-GRP-DREM-PUNO/D, en el nivel de cota 4326.0 msnm. El presente proyecto propone la ampliación del ancho de corona a 9.80m; a través de un muro de suelo reforzado que va desde el nivel de cota 4321.0 msnm hasta el nivel 4326.0 msnm.

Adicionalmente, han sido consideradas como elementos de refuerzo, la instalación de Geomallas Uniaxiales en los niveles de cota 4320.0, 4322.0 y 4327.0 msnm.

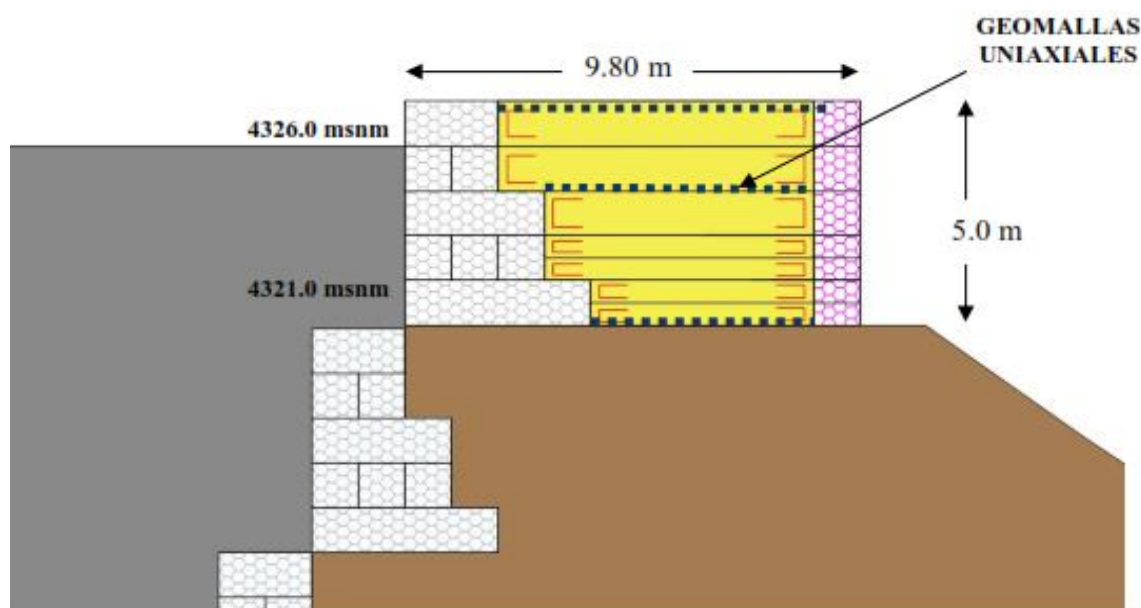


Figura 3.23: Detalle de Ampliación de Corona

FUENTE: Cori Puno

3.8.4 Excavación para ampliación de corona

Para conseguir ampliar la corona, mediante el muro de suelo reforzado, se ha considerado realizar la excavación del cuerpo de presa desde la corona proyectada en el nivel 4326.00 msnm hasta el nivel 4321.00 msnm.

Tal como se muestra en la figura N°3, dicha excavación deberá ser ejecutada en 02 fases, la primera con equipo pesado y la segunda, de forma manual.

La excavación con equipo pesado deberá de dejar un ancho de material de 1m como mínimo, con respecto al gavión, a fin de evitar cualquier daño a esta estructura. Una vez culminada la excavación con equipo, se procederá de forma manual a retirar el material restante hasta dejar en descubierto la cara interna del gavión.

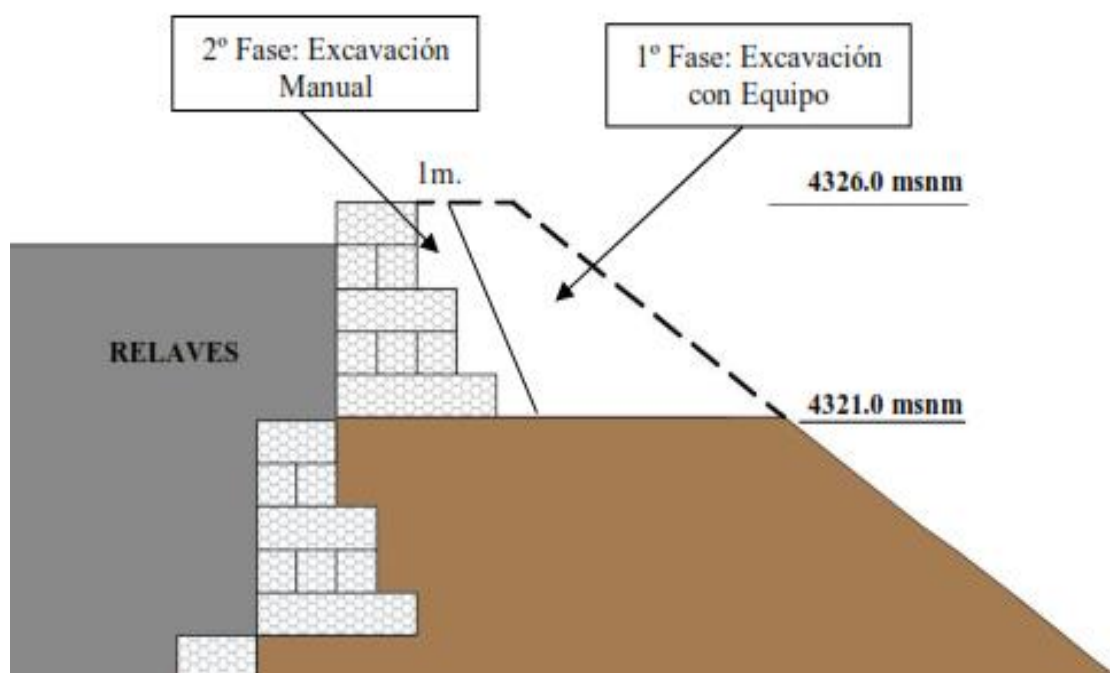


Figura 3.24: Detalle de Excavación con Equipo Pesado y de forma Manual

FUENTE: Cori Puno

3.8.5 Estructura de recrecimiento - Muro terramesh system doble cara de 6m

La estructura de recrecimiento, conformada por un muro de suelo reforzado con el sistema Terramesh, tendrá una altura de 6m. y un ancho efectivo de 7.80; además de ello se emplazará sobre la estructura de la corona ampliada.

Los elementos Terramesh System, son un sistema único y están compuestos por refuerzos de malla hexagonal a doble torsión asociado a un paramento frontal formado por la unión de la misma malla en forma de cajas, tal como se muestran en los planos.

De forma general el muro de recrecimiento proyectado posee las siguientes características geométricas.

- Ancho de corona: 7.80 m
- Nivel de corona: 4,332.00 msnm
- Nivel de deposición de relaves: 4331.00 msnm
- Altura de Recrecimiento: 6.0 m
- Borde Libre: 1.0 m
- Talud aguas abajo: vertical
- Talud aguas arriba: vertical
- Longitud de Muro: 925.00 m
- Volumen de Almacenamiento: 550,000 m³
- Período de almacenamiento: 1.0 año

3.8.6 Sistema de impermeabilización

El presente proyecto considera la impermeabilización del talud aguas arriba del muro de suelo reforzado, tanto por la margen derecha como izquierda. Los detalles del anclaje en el muro de suelo reforzado y talud natural de la margen izquierda, son mostrados con detalle en los planos de obra.

La impermeabilización se realizará mediante la instalación de una geomembrana HDPE de 1.5 mm colocada sobre un geotextil no tejido de 300 gr/m², para prevenir una falla por punzonamiento. Los detalles de anclaje sobre la margen derecha e izquierda son mostrados en las figuras N°3.4 y N°3.5.

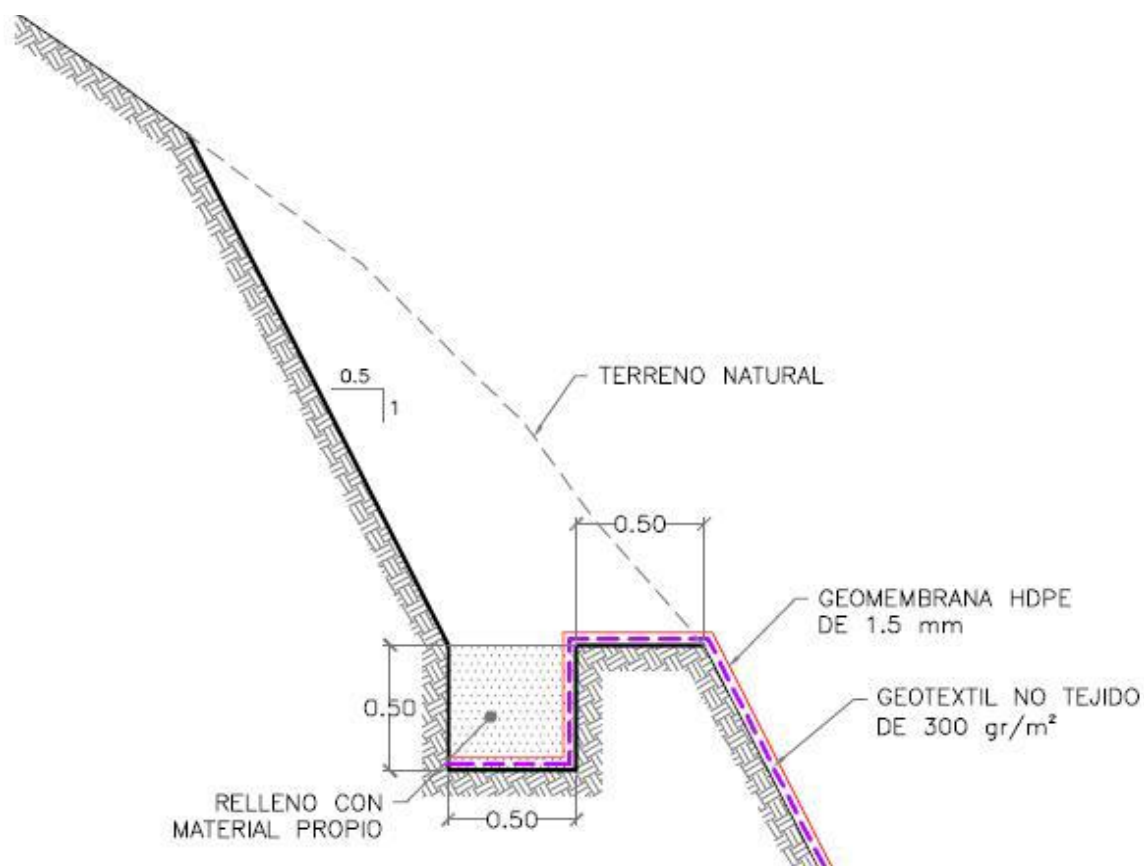


Figura 3.25: Detalle de anclaje de Geomembrana en margen izquierda

FUENTE: Cori Puno

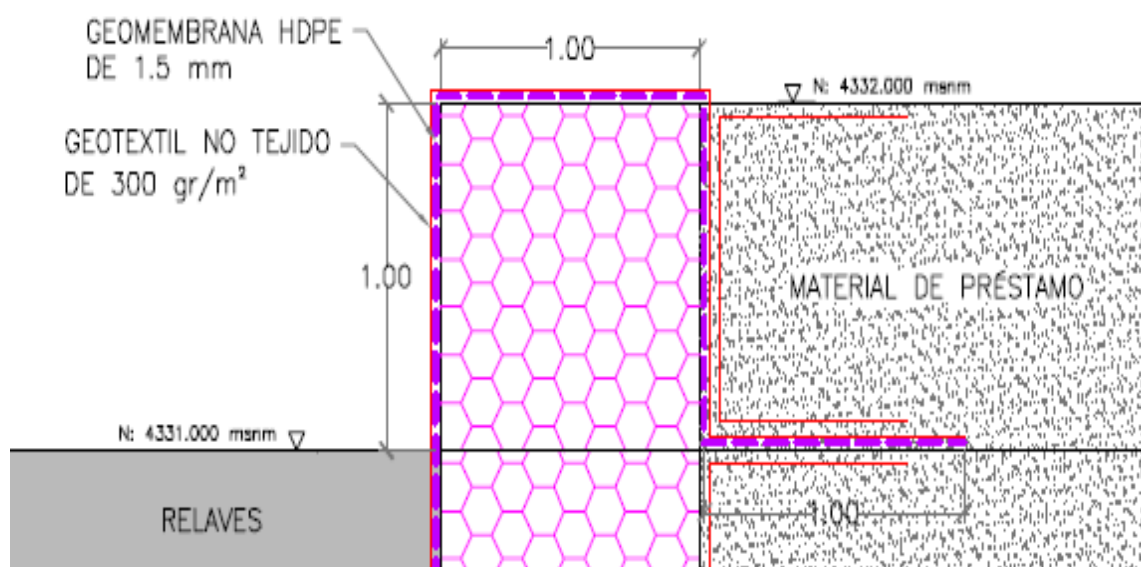


Figura 3.26: Detalle de anclaje de Geomembrana en muro de recrecimiento

FUENTE: Cori Puno

3.8.7 Sistemas de evaluación de aguas de pondaje

Las aguas de pondaje acumuladas en la cola del depósito serán evacuadas hacia planta metalúrgica mediante el sistema de bombeo instalado sobre las balsas existentes. Dicho sistema, mediante el bombeo periódico, permitirá optimizar la capacidad de almacenamiento del depósito de relaves, además de satisfacer la demanda de agua empleada en el proceso de planta.

3.8.8 Diseño contra desbordamiento

Se ha previsto un borde libre de 1.0 m para el recrecimiento, con fines de eliminar la posibilidad de la ocurrencia de desbordamiento de la presa por la entrada de un flujo de agua en el vaso.

3.8.9 Diseño contra deslizamiento

Los análisis de estabilidad contra deslizamiento efectuados, han considerado el aseguramiento de la estabilidad interna y global, en condición estática y sísmica. Para el caso del análisis en condición sísmica, se utilizó el método pseudoestático, con un coeficiente sísmico de 0.12, valor que corresponde a 1/2 de la aceleración máxima para el sitio obtenida en el estudio de peligro sísmico.

Los análisis de estabilidad global e interna, se efectuaron empleando los programas Slide V5.0 y MacStart 2000 y cuyos resultados se presentan en los siguientes cuadros 3.5.

Tabla 3.5: Factores de Seguridad - Estabilidad Global

SECCION	FACTOR DE SEGURIDAD (Estabilidad Global)	
	ESTATICO	SISMICO
Crética	1.541	1.236

FUENTE: De acuerdo American Society of Civil Engineers y the Internacional Comisión on largedams el factor de seguridad mínimo en condiciones pseudoestáticas =1.0

3.8.10 Análisis Dinámico

Para modelar el comportamiento de la estructura de recrecimiento durante un evento sísmico de gran magnitud, fue realizado un análisis dinámico mediante elementos finitos. Para la realización de dicho análisis fue empleado el software QUAKE/W de GEOSTUDIO. Así mismo los parámetros dinámicos asumidos para la ejecución del análisis fueron obtenidos a partir de los ensayos de compresión triaxial.

Cuadro N° 3.2: Deformaciones Inducidas

CONDICION	Deformación (m)	Deformación Tolerable
Sísmica	0.22	1.0

FUENTE: De acuerdo American Society of Civil Engineers y the Internacional Comisión onlargedams el factor de seguridad mínimo en condiciones pseudoestáticas =1.0

Las deformaciones halladas mediante el análisis dinámico muestran que la máxima deformación que se generara será de 0.22m. y se ubicara próxima a la corona.

3.8.11 Aspectos Constructivos

Los trabajos más significativos para la construcción de las obras involucradas en el recrecimiento de la presa consisten en:

- Eliminación de interferencias de construcción tales como: tubería de acero/HDPE que se ubican en la corona del vaso u otro material que podría interferir para la
- construcción del dique.
- Excavación y retiro de materiales y/o suelos sueltos o inadecuados que se encuentra en la zona de emplazamiento del área de recrecimiento y obras
- relacionadas. Así como la excavación con equipo pesado y de forma manual sector de emplazamiento del muro de suelo reforzado, a fin de evitar daños en el gavión adyacente.

- Extracción mediante equipo mecánico, del material de relleno estructural (Cantera anet), se efectuará actividades de control de calidad antes de su transporte y colocación.
- Selección, transporte y acopio de la roca a ser empleada en el relleno de las cajas de gaviones, asegurando que cumpla con la granulometría especificada.
- Conformación y compactación del relleno estructural, el cual deberá cumplir con la granulometría y calidad indicado en las especificaciones técnicas.
- Instalación de una Geomembrana del tipo HDPE de 1.5mm de espesor, como material impermeabilizante aguas arriba del muro de recrecimiento. Dicha Geomembrana deberá colocarse previa instalación de un geotextil no tejido de 300gr/m².
- Instalación de instrumentación geotécnica, para ello se efectuará el recrecimiento de los piezómetros existente. Los planos de construcción del recrecimiento de la presa Untuca.

3.9 Instrumentación geotécnica

La instrumentación geotécnica adicional instalada para el recrecimiento de la presa de relaves Untuca, consiste en hitos de control topográfico.

3.9.1 Puntos de control Topográfico

Los puntos e hitos de control topográfico son bases de concreto armado, de altura variable sobre las que se dispondrán equipos de topografía o prismas para efectuar las mediciones.

3.9.2 Frecuencia de Monitoreo

La frecuencia del control de hitos topográficos, será como mínimo una vez al mes en época de estiaje y cada 15 días en épocas de lluvias.

Se tomará una medición base, que permitirá hacer las comparaciones del caso para verificar los desplazamientos en X, Y y Z.

3.9.3 Procedimiento de Monitoreo

Para el procedimiento de monitoreo de los hitos de control topográfico, se dispondrá de una estación total la cual se ubicará en los puntos de control y en los hitos de control se ubicarán prismas, a partir de los cuales se medirán las coordenadas X, Y y Z, y los ángulos con el método de reiteración, que permitirá aumentar la precisión de la medición al subdividir el error de lectura y reducir el efecto de posibles errores residuales de la graduación del instrumento.

Se elaborarán curvas que permitan evaluar la evolución de los desplazamientos.

3.9.4 Equipo a emplear

Para el control topográfico el equipo consiste en una estación total y los prismas que se ubicaran en los hitos de control topográfico.

Las coordenadas de los puntos de control topográfico se indican a continuación:

Tabla 3.6: Hitos de Control topográfico

PUNTO	NORTE	ESTE
PT-01	8'388,113.32	459,110.40
PT-0	8'388,301.55	458,977.83
HT-01	8'388,294.97	459,059.75

FUENTE: Cori-puno

Donde:

HT-01: Hito de control topográfico

PT-01: Punto de control topográfico

CAPITULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Estimación de costos de CAPEX

Para la determinación del costo de capital se ha considerado los costos directos, indirectos, gerencia de construcción y aseguramiento de calidad, así como contingencias.

4.1.1 Costos Directos

Se determinó los costos directos de cada partida tomando en cuenta los metrados de obra (sin considerar un factor de crecimiento) y los precios unitarios.

Se asume que los trabajos serán llevados a cabo, bajo condiciones óptimas de construcción, por un contratista calificado, con el apoyo de profesionales con experiencia en este tipo de obra.

4.1.2 Costos Indirectos

Los costos indirectos están conformados por los gastos generales, gastos de supervisión, y elaboración de ingeniería de detalle, ambos son porcentajes que se deben aplicar a los costos directos.

4.1.3 Costo de CAPEX

El estimado del costo total de Capex de la obra para el proyecto de recrecimiento de 6m. del depósito de relaves. En el siguiente cuadro se presenta el resumen de los costos total de capital para el recrecimiento del depósito de relaves en 6.0 m.

Tabla 4.7: Estimado de Costos CAPEX (US\$)

Costo Directo (SUS\$)	Gastos Generales (SUS\$)	Supervisión 6.5 meses (SUS\$)	Elab. de Ingeniería (SUS\$)	Costo Total (SUS\$)
2'152,992.24	120,244.62	288,636.60	10,706.83	2'572,580.29

Fuente: Cori-Puno

El recrecimiento del depósito de Untuca a la cota 4332.00 msnm, permitirá depositar aproximadamente 550,000 m³ de relaves, a un costo aproximado de 3.9 \$/ton de relave depositado.

4.2 Cronograma

El inicio de la construcción del presente proyecto estará sujeto a la finalización de la Construcción del proyecto de la sobre elevación aprobada por la DREM - PUNO mediante resolución directoral N°355-2014-GRP-DREM-PUNO/D. del cronograma de construcción del recrecimiento del depósito de relaves Untuca de 6m a la cota 4332.00 msnm.

El tiempo total estimado es de **214 días calendario**. Esta cantidad de días, incluye la etapa de procura y selección de proveedores. Así mismo, este tiempo considera que la obra se realizará en condiciones climáticas normales (periodo de mayo a octubre).

4.3 Análisis dinámico del recrecimiento de la presa Untuca

El análisis realizado considera la presa Untuca recrecida hasta la cota 4332.0 msnm, mediante un muro de suelo reforzado.

Modelo de Análisis

El modelo de análisis se ha confeccionado en base a la topografía actual y el nivel máximo de sobre elevación. La Figura N°4. 27 presenta el modelo de análisis.

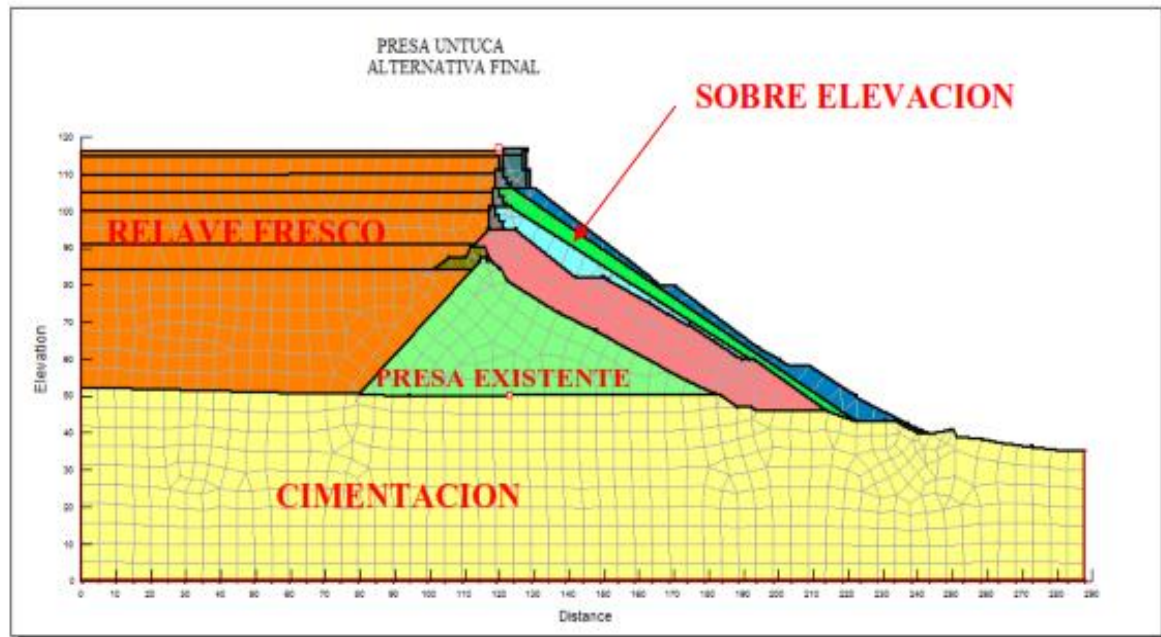


Figura 4.27: Modelo Geotécnico de Análisis

FUENTE: Cori-Puno

Esfuerzos Iniciales In Situ

El modelo geotécnico de análisis de esfuerzos iniciales, contempla los niveles de agua y la carga total de agua sobre el vaso de la presa en su etapa final como se ilustra en la Figura N°4. 28

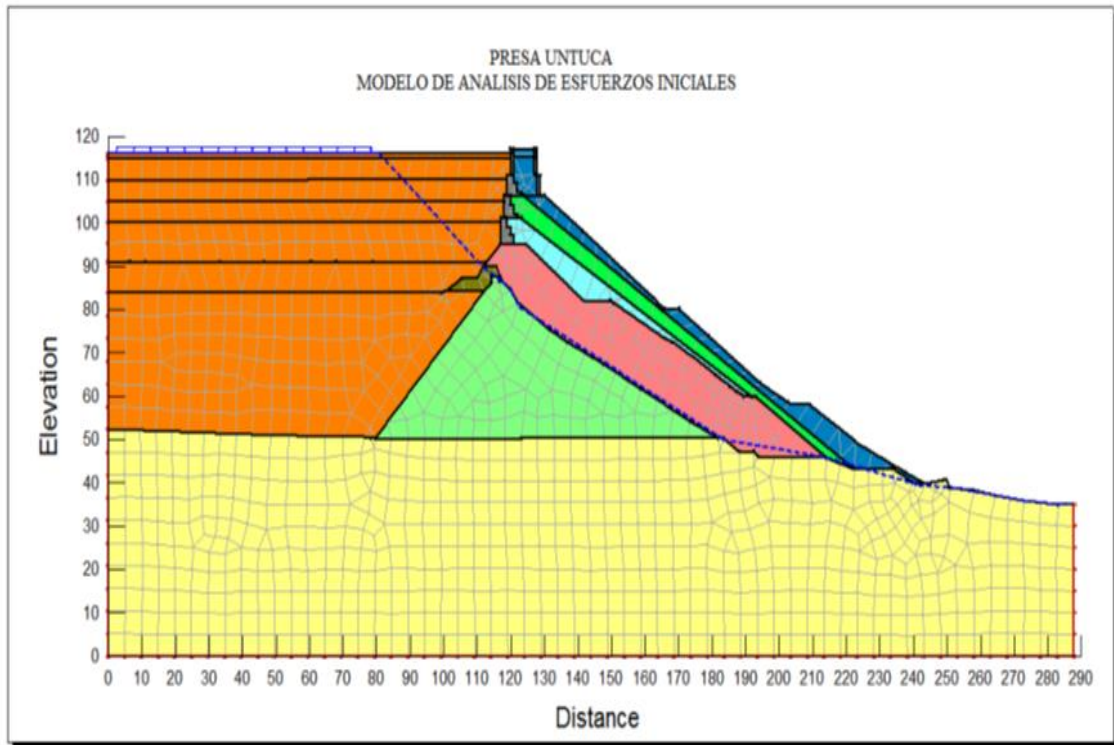


Figura 4.28: Modelo Geotécnico de análisis de Esfuerzos Iniciales

FUENTE: Cori-Puno

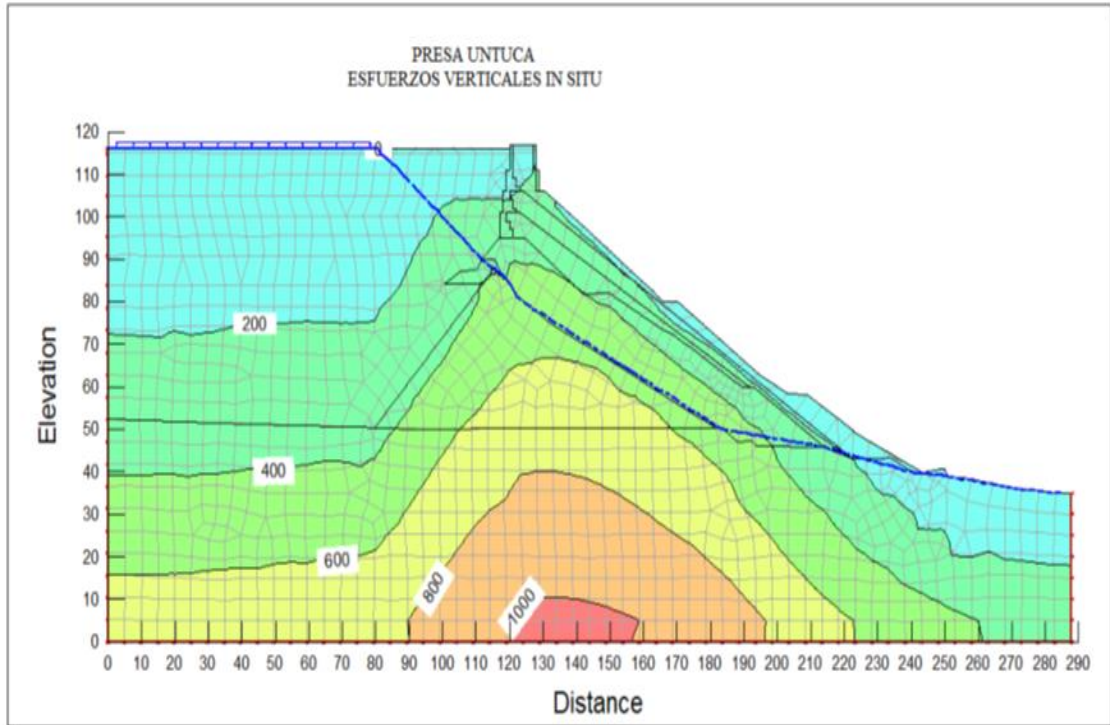


Figura 4.29: Esfuerzos Verticales In Situ

FUENTE: Cori-Puno

4.4 Análisis Dinámico

El análisis dinámico se realiza considerando como dato inicial la geometría de la presa, las propiedades de los materiales y el resultado de los esfuerzos iniciales in situ, las fuerzas motrices del sismo de diseño y las condiciones de borde.

Fuerzas Motrices dinámicas

La fuerza motriz dinámica lo constituye el sismo de Lima de Octubre del año 1974, cuyo registro escalado a la base de la roca del área de estudio

Condiciones de Frontera La condición de frontera del modelo de análisis dinámico lo constituye la libertad de desplazamiento horizontal, restringiendo el desplazamiento vertical y en la base del modelo la restricción de movimiento es en los dos ejes (x e y).

4.5 Movilización y Desmovilización de equipos

Este ítem se refiere al traslado del equipo mecánico y herramientas, para que será empleado en la construcción de la obra en sus diferentes etapas y su retorno una vez terminado el trabajo. El punto de inicio de la movilización de los equipos es la ciudad de Juliaca y/o Arequipa.

El traslado por vía terrestre del equipo pesado, se efectuará mediante camiones de cama baja, mientras que el equipo liviano (volquetes, cisterna etc.) lo hará por sus propios medios llevando el equipo liviano no autopulsado.

El Contratista antes de transportar el equipo mecánico ofertado al sitio de la obra deberá proporcionar una lista de los equipos que se compromete a utilizar para la ejecución de los trabajos, garantizando la disponibilidad de los mismos en el momento de iniciarse las tareas respectivas. En la lista antes mencionada se debe indicar las características técnicas, marca, modelo y rendimiento de los equipos mencionados a movilizar. La cual será revisada por el Supervisor y de no encontrarlo satisfactorio en cuanto a su operatividad y antigüedad, deberá rechazarlo. En cuyo caso el Contratista deberá reemplazarlo por otro

similar en buenas condiciones de operación. El rechazo del equipo no podrá generar ningún reclamo por parte del Contratista. Si el Contratista opta por transportar un equipo diferente al ofertado en su propuesta, éste no será valorizado por el Supervisor, para efectos de la presente partida.

EQUIPOS.

El equipo mínimo para la construcción de las obras, será el equipo ofertado en la etapa de la adjudicación y estará de acuerdo al Cronograma de Avance de las Obras, con los cuales el Contratista deberá contar en número y capacidad suficiente para garantizar la ejecución de la misma, entre los equipos de más importancia se enumera a los siguientes:

- Motoniveladora de 125 HP
- Retroexcavadora sobre Llantas 58 HP o similar
- Camiones Volquete de 15 m³ .
- Camión Cisterna 4x2 (agua) 1500 gln
- Rodillo liso vibratório 10 - 12 Tn
- Excavador sobre oruga 115-165 HP
- Cargador sobre llantas 160-195 HP 3.5 yd³

4.6 Explotación de canteras

Esta partida consiste en la selección de material morrénico para el recrecimiento de la presa del depósito, las actividades será la de extracción, zarandeo y apilamiento que deberá efectuarse con maquinaria pesado, el contratista deberá tener la aprobación de la Supervisión durante el proceso.

El Contratista procesara todos los materiales provenientes de las excavaciones, que la supervisión determine adecuados en las construcciones temporales o permanentes estipuladas bajo estas especificaciones. Los materiales excavados y procesados deberán ser adecuados para los rellenos del terraplén o del muro reforzado.

Los materiales no deberán estar húmedos caso contrario deberán colocarse temporalmente en pilas de reserva hasta que el contenido de humedad se reduzca lo suficiente como para permitir la selección del material adecuado y traslado del mismo.

Los materiales excavados que sean inadecuados para la conformación terraplenes, relleno y otras obras que impliquen conformación con material de préstamo, conforme determine la Supervisión, deberán ser desechados y re conformados dentro de la zona designada.

El Contratista no tendrá derecho a bonificación alguna por encima de los precios unitarios ofertados, con motivo de los requerimientos para la segregación de materiales, por cargas, excavaciones selectivas y drenaje o secado de materiales.

4.7 Construcción de gaviones

Este trabajo consistirá en la construcción de los muros de terramesh system a doble cara, que conformaran el paramento frontal del dique de tierra armada, para sobreelevar el depósito de relaves Untuca en una altura de 6.0m.

El Sistema TERRAMESH® es un sistema de contención, obtenido por la construcción de un muro donde cada elemento que compone su pared externa está anclado en su parte posterior por paños de red de malla hexagonal a doble torsión empotradas en el terreno que formará el macizo de suelo reforzado (dique). La malla usada para los refuerzos trabaja debido a la fricción y el trabamiento mecánico de las partículas del suelo, formando un bloque reforzado que soportará los empujes generados por el macizo a contener.

El elemento es constituido por un paño base que formará la cara superior, la frontal, la base del paramento externo y la cola que cumplirá la función de anclaje.

Las características indispensables que deberá tener el tipo de paño de acero a utilizar para fabricar el elemento Terramesh son las siguientes:

- No ser fácil de destejer o desmallar.

- Poseer una elevada resistencia mecánica y contra fenómenos de corrosión.
- Facilidad de colocación.

El diámetro del alambre de la malla será de 2.70 mm. para el Elemento Terramesh. El diámetro del alambre de amarre y atirantamiento será de 3.20 mm.

La especificación final para el Elemento TERRAMESH® será la siguiente:

Diámetro del alambre de la malla: 2.70 mm

Diámetro del alambre de borde: 3.40 mm

Diámetro del alambre de amarre: 2.20 mm

Recubrimiento del alambre: Zn – 5 Al – MM (ASTM A856M-98)

Revestimiento plástico: PVC (espesor mínimo 0.40mm)

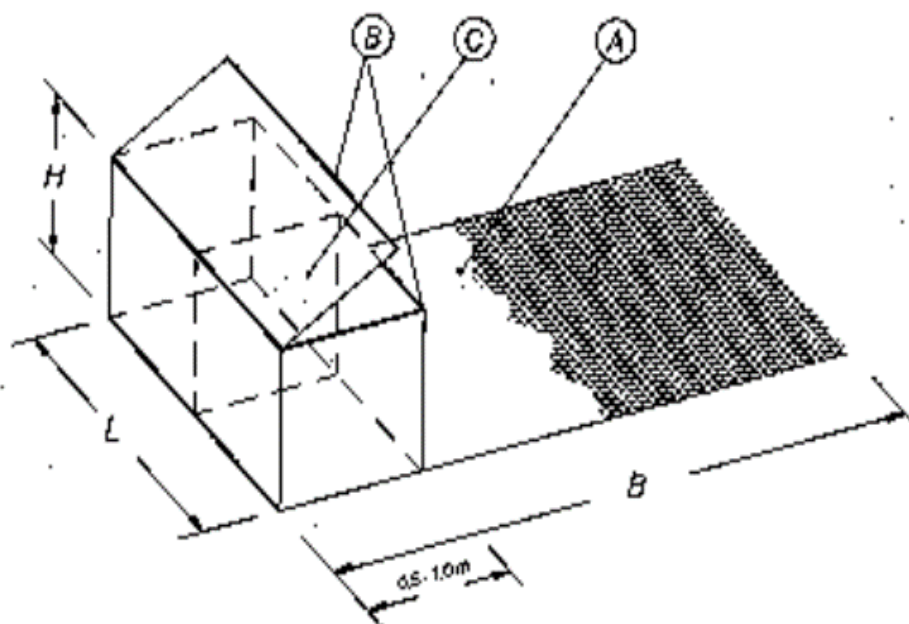


Figura 4.30: Esfuerzos Verticales In Situ

FUENTE: Cori-puno

A. Elemento Terramesh® fabricado con malla hexagonal a doble torsión tipo 10 x 12, fabricada con alambre protegido con recubrimiento de zinc + aluminio y revestido adicionalmente con PVC, con diámetro igual a 3.70 mm.

B. Bordes reforzados con enrollamiento mecánico de la malla alrededor de un alambre protegido con recubrimiento de zinc + aluminio y revestido adicionalmente con PVC, con diámetro externo igual a 4.40 mm.

C. Diafragma fabricado con malla hexagonal a doble torsión tipo 10 x 12, fabricada con alambre protegido con recubrimiento de zinc + aluminio y revestido adicionalmente con PVC, con diámetro externo igual a 3.70 mm.

El alambre para amarre y atirantamiento se proveerá en cantidad suficiente para asegurar la correcta vinculación entre los elementos, el cierre de las mallas y la colocación del número adecuado de tensores. La cantidad estimada de alambre, en relación al peso del gavión, es de 8% para los elementos Terramesh de 1.0 m de altura y de 6% para los de 0.5 m.

4.8 Ejecución

Preparación de la fundación

La fundación de la estructura deberá tener un ancho mínimo igual a la longitud de la malla de refuerzo del Sistema Terramesh más 0.50 m, o como se indique en planos. Deberá ser nivelada y compactada por los medios apropiados hasta obtener un terreno con la pendiente prevista.

Los niveles de excavación deberán ser verificados por el Ingeniero Supervisor, se constatará que el material de asiento sea el adecuado para soportar las cargas a que estará sometido y si el Supervisor lo cree conveniente, las cotas podrán ser cambiadas hasta encontrar las condiciones adecuadas.

Construcción de la estructura

Antes de proceder a la ejecución de las estructuras, el Contratista deberá obtener la autorización escrita del Ingeniero Supervisor, y deberá contar además con la asesoría del representante del sistema de suelo reforzado adoptado.

El paramento externo del muro deberá ser escalonado, tal como se indique en planos.

Se colocará el primer elemento Terramesh, el cual es un elemento único continuo, directamente sobre el suelo de fundación, desdoblándolo y estirándolo completamente.

Antes de proceder al relleno del cajón del paramento externo, deberá amarrarse cada uno a los adyacentes, a lo largo de las aristas horizontales y verticales en contacto. No es necesario amarrar los paños de red de refuerzo. El amarre se efectuará utilizando el alambre provisto y se realizará de forma continua atravesando todas las mallas cada 10 cm. con una y dos vueltas, en forma alternada.

Durante la operación de relleno del paramento externo, deberán colocarse dos o más tirantes de alambre a cada tercio de la altura del elemento de 1.00 m. Estos tirantes unirán paredes opuestas con sus extremos atados alrededor de dos nudos de la malla. Para elementos de 0.50 m. de alto bastará colocar los tirantes en el nivel medio de las cajas.

El siguiente nivel se construirá colocando encima una hilera de elementos vacíos los cuales serán cosidos a los elementos inferiores en el sentido longitudinal como se muestra en la figura.

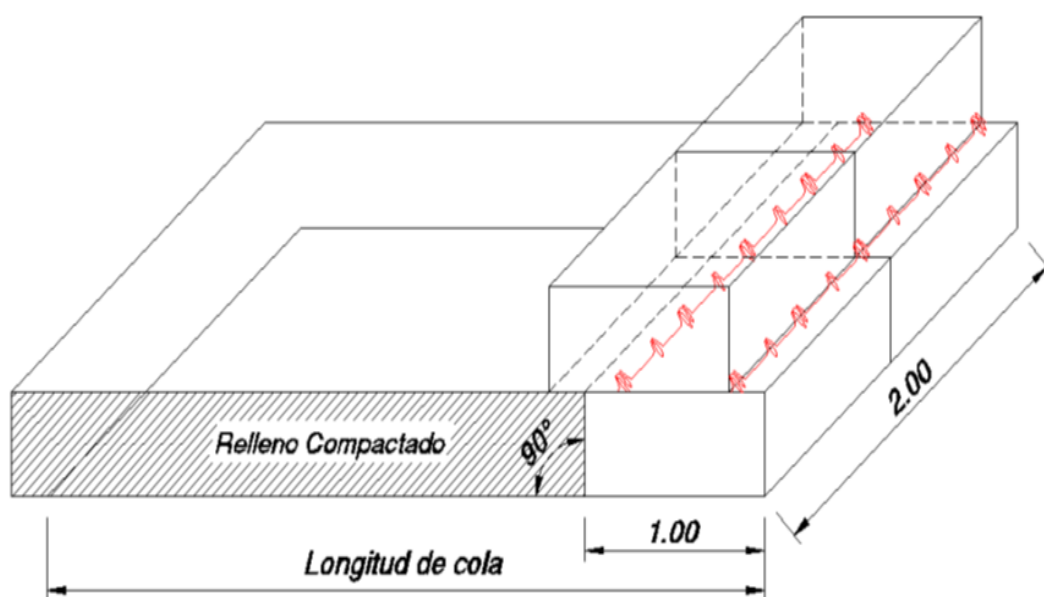


Figura 4.31: Cosidos de elementos de gavión

FUENTE: cori-puno

Las unidades pre-armadas deberán ser dispuestas en su ubicación final de obra, colocándolas de manera contigua mediante dos puntos de fijación en las colas.

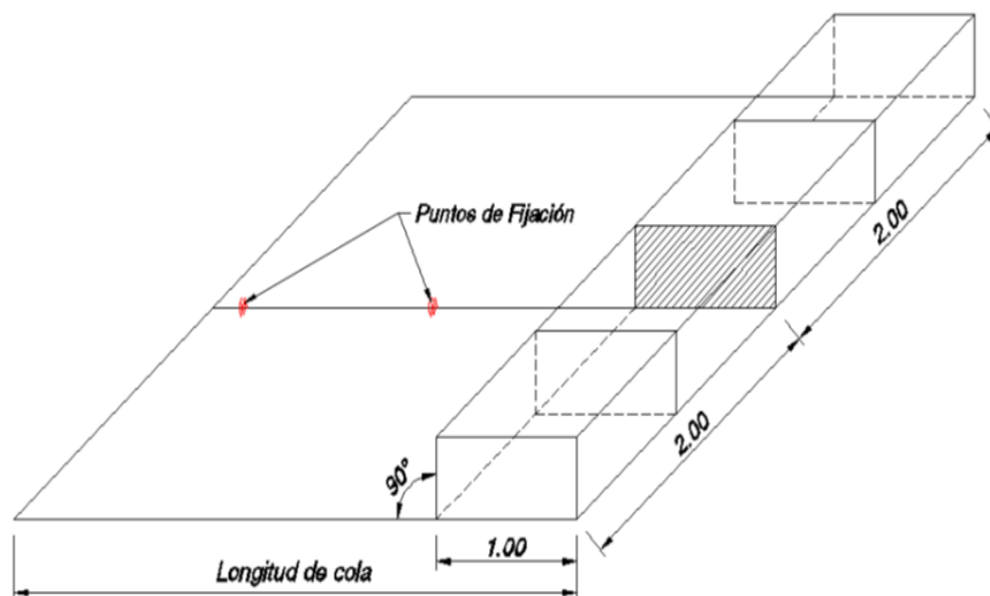


Figura 4.32: Armado de gavión

FUENTE: Cori-puno

4.9 Relleno manual de las cajas de gaviones

Esta partida se refiere a la ejecución de los rellenos a fin de conformarse dentro del gavión con rocas de 4" a 6". Todos los materiales que se empleen en la construcción provendrán de la cantera designada; para lo cual deberán estar libres de raíces, materia orgánica, y otros elementos perjudiciales. Su empleo deberá ser autorizado por el Supervisor, quien de ninguna manera permitirá la construcción con materiales de características inestable.

La Supervisión se reserva el derecho de modificar los límites o ubicaciones de las canteras o áreas de préstamo, dentro de los límites señalados para ellas, a fin de obtener material conveniente y minimizar las operaciones de limpieza y eliminación de sobre tamaños. El Contratista es responsable de la calidad, cantidad suficiente y reserva diaria de los materiales necesarios para la ejecución de las obras. El Contratista deberá presentar un programa general de construcción del dique, el cual deberá ser aprobado por la Supervisión.

MATERIAL

El material será una roca de tamaño mínimo de partículas de 4” y máximo 6” proveniente de la cantera ubicada en el plano.

El contratista velará porque el material para rellenar las cajas, no será explotado en cantera con granulometría inadecuada.

CALIDAD DE LOS MATERIALES

De cada procedencia de los suelos empleados para la construcción de relleno de gaviones y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

- La Granulometría
- El límite de consistencia
- Abrasión.

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas de los materiales y ordenará el retiro de aquellas que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

COMFORMACION DE LA PLATAFORMA

La partida describe la remoción de material de cuerpo de Presa que se deberá ejecutar para poder emplazar la estructura de recrecimiento.

Dicha excavación será ejecutada a partir del nivel de cota 4326.00 msnm hasta el nivel 4321.00 msnm.

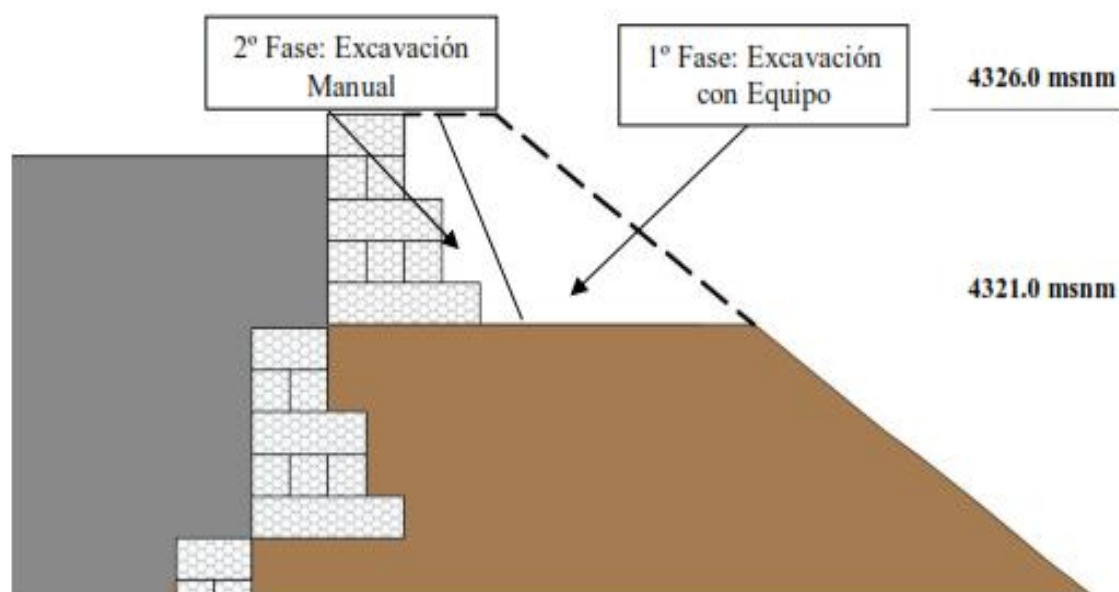


Figura 4.33: Cosidos de elementos de gavión

FUENTE: Cori-puno

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo utilizado por el Contratista.
- Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- Exigir el cumplimiento de las medidas de seguridad y mantenimiento de tránsito.
- Vigilar el cumplimiento de los programas de trabajo.
- Comprobar que los materiales por emplear cumplan los requisitos de calidad exigidos en la Sección Requisitos de los Materiales.
- Verificar la compactación de todas las capas del terraplén.
- Realizar medidas para determinar espesores, levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.

Calidad de los materiales.

De cada procedencia de los suelos empleados para la construcción de terraplenes y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

- La Granulometría
- El límite de consistencia
- Abrasión.
- Contenido de materia orgánica

Los ensayos para los materiales deberán efectuarse siguiendo los procedimientos estandarizados que se indican a continuación:

Ensayo Procedimiento

Límite líquido ASTM D-423

Límite plástico ASTM D-424 Peso específico de sólidos ASTM D-854 Granulometría por tamices y además por densímetro cuando se tenga alto porcentaje de finos (menor malla No. 200) ASTM D-422 Humedad natural y de compactación ASTM D-2216 Proctor modificado ASTM T-180 Densidad natural ASTM D-1556 Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas de los materiales y ordenará el retiro de aquellas que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado.

INSTALACIÓN DE GEOTEXTIL

Los rollos de geotextil deberán ser provistos con envoltura para protección contra la humedad y la exposición a los rayos ultravioleta antes de su colocación. Los rollos deberán ser almacenados de tal modo de protegerlos de estos elementos.

Si son almacenados a la intemperie, deberán colocarse elevados y protegidos con una cobertura impermeabilizante. En ningún momento el geotextil deberá estar expuesto a los rayos ultravioletas por un período que exceda los 14 días.

El contratista deberá manipular todos los geotextiles de manera de asegurar que no sean dañados. El área de instalación deberá ser preparada perfilándola y dejándola libre de obstrucciones que puedan dañar el geotextil. No se deberá permitir la presencia de rocas, exceso de polvo o humedad en el geotextil. El contratista no deberá operar ningún equipo directamente sobre el geotextil.

El geotextil deberá ser desenrollado tan suavemente como fuera posible sobre la superficie preparada, libre de arrugas y pliegues. En taludes, los rollos de geotextil deberán ser anclados en la corona y desenrollados hacia abajo. Si el viento pudiera levantar los geotextiles, estos deberán ser mantenidos en su lugar con sacos de arena u otro material que no dañe el geotextil.

Los geotextiles adyacentes deberán ser cosidos y traslapados. El traslape mínimo será de 50 cm. Los geotextiles dañados deberán ser reparados inmediatamente.

El área dañada más un adicional de 90 centímetros alrededor de dicha área, deberá ser limpiada de todo material de relleno. Se deberá hacer un parche de 90 centímetros más allá del perímetro del área dañada.

4.10 Manual de Operaciones

Como toda obra de ingeniería, las presas necesitan una operación eficiente y un mantenimiento adecuado y oportuno para garantizar un óptimo funcionamiento.

El mantenimiento variará de una presa a otra, de acuerdo al tipo de material con que haya sido construida. Así en una presa de tierra será fundamental dar mantenimiento a los taludes, cuidando que siempre tengan protección contra los agentes erosivos. En este caso particular, en el talud de aguas arriba la protección con geomembrana, y, aguas abajo el

acabado del talud se encuentre siempre en buenas condiciones, por lo tanto, será indispensable establecer inspecciones periódicas, así mismo se deberán cuidar la cimentación y las laderas. Los principales parámetros de control de operación del depósito de relaves son los siguientes:

- Control de disposición de Relaves
- Control del agua de Precipitación y Escorrentía Superficial.
- Control de obras civiles.
- Medidas de seguridad.

4.10.1 Control de Sobreelevación de presa

A. Responsabilidades

La determinación del control de la Sobreelevación de la presa Untuca, estará a cargo de Cori Puno Control de las Dimensiones de diseño de la sobre elevación.

- Contenido de Humedad de materiales de préstamo.
- Control de compactación de la Sobre elevación.
- Cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Así mismo, conforme a lo resuelto por la Oficina del Medio Ambiente respectiva o, deberán incorporarse al proyecto las condiciones específicas de diseño de ingeniería, que satisfagan los compromisos ambientales adquiridos en la resolución Ambiental respectiva. El usuario será el responsable de su fiel cumplimiento.

Será de entera responsabilidad de Cori Puno SAC, la incorporación de cualquier modificación que se desee efectuar al proyecto aprobado, durante la etapa de construcción.

B. Frecuencia de Monitoreo

La frecuencia de monitoreo, será inter diaria. En caso de una eventualidad como un sismo, inmediatamente después de ocurrido se organizará una inspección bajo la supervisión

directa del personal asignado y el jefe de Planta, se recomienda también solicitar la presencia de personal especializado. La información recolectada mediante este control, deberá complementarse con el control de hitos topográficos.

A. Descripción del control

El control deberá detectar:

- Taludes, que no contengan el grado de inclinación de acuerdo con los taludes de diseño, para ello se puede fabricar en los talleres de carpintería o de metalmecánica de la compañía minera escuadras de madera o metal con el talud mencionado; de tal manera que se pueda llevar cabo un rápido control.
- Identificación de fisuras o rajaduras en los taludes de aguas abajo como de aguas arriba, percibiendo la presencia de agua, profundidades, ancho, entre otros.
- Para el control de humedad del material del terraplén del dique, la compañía minera, puede contar con un “speedy”; equipo que permite obtener la humedad del material en menos de 1 minuto y asegurar el contenido de humedad que permita la compactación adecuada del terraplén del dique.
- Monitoreo de las aguas de filtración, será preciso tomar muestras de las aguas de filtración recogidas a través del sistema de drenaje instalado en el cuerpo de la presa.
- Identificación de zonas inestables en los taludes naturales adyacentes al depósito de relaves, formadas por el movimiento sísmico.

4.10.2 Control del agua de precipitación y Escorrentía sobre la presa

A. Responsabilidades

El control del agua de precipitación y escorrentía sobre la presa, estará a cargo de personal de planta de Cori Puno S.A.C.

B. Frecuencia de Monitoreo

La frecuencia de monitoreo del control del agua, será inter diaria; intensificando el monitoreo de manera diaria durante los periodos de lluvias intensas.

C. Descripción del control

Para el control de agua de precipitación y escorrentía, en el terraplén se deberá implementar un bombeo sobre la corona de la presa con una pendiente transversal de 1 %; adicionalmente la etapa de recrecimiento se dispone de una cuneta al pie del talud, la cual debe mantenerse limpia y en buen estado de operación, de tal manera de asegurar una rápida evacuación de las aguas de lluvia y de escorrentía.

4.10.3 Control de obras hidráulicas auxiliares**A. Responsabilidades**

El control de obras hidráulicas auxiliares, estará a cargo de personal asignado por Cori Puno S.A.C., el cual reportará los controles al Jefe de Seguridad y Medio Ambiente y al Jefe de Obras Civiles.

B. Frecuencia de Monitoreo

La frecuencia de monitoreo de las obras hidráulicas, será inter diaria; intensificando su monitoreo de manera diaria durante los periodos lluvias intensas. Inmediatamente después de la ocurrencia sísmica, se organizará una inspección bajo la supervisión directa del personal asignado y el Jefe de Seguridad y al Jefe de Planta, implementándose un monitoreo, se recomienda también solicitar la presencia de personal especializado en diseño de estructuras hidráulicas.

C. Descripción del control

El control de las obras hidráulicas, involucra los siguientes elementos:

- Cunetas al pie del talud.
- Obras hidráulicas auxiliares.

Cunetas al pie de talud

Se debe asegurar el paso del agua a través de las cunetas dispuestas sobre las plataformas en el pie de los taludes, para ello dichas cunetas deben mantenerse limpias. Se deberá identificar los daños ocurridos, y proponer su inmediata remediación, yasea parcial o total.

Obras hidráulicas auxiliares

Se debe asegurar el paso del agua a través de las obras hidráulicas auxiliares, para ello dichas estructuras deben mantenerse limpias, los taludes de corte indicados en los planos de diseño, deberán ejecutarse para asegurar la estabilidad de los taludes y evitar derrumbes o deslizamientos.

El manejo de las aguas de escorrentía para la presa de relaves es de gran relevancia, por lo cual se debe realizar un minucioso monitoreo, identificando:

- Grietas, rajaduras, fisuras, en las paredes o fondo de las estructuras.
- Estado del acero, identificando zonas donde el concreto ha sido desplazado por efectos de corrosión del acero.
- Estado de calidad y funcionamiento de las juntas de dilatación y contracción.
- Fugas laterales o de fondo.
- Asentamientos de la base de las estructuras.
- Zonas inestables aledañas a las obras existentes.
- Aparición de emanaciones de agua en los taludes laterales del depósito, fuera del alcance de las estructuras hidráulicas auxiliares.

4.10.4 Control de disposición de relaves

A. Responsabilidades

El control de la Sobre-elevación de la presa Untuca, estará a cargo de Cori Puno S.A.C., así como el control de vertimientos de relaves en el depósito.

El personal y/o empresa designada para el control deberá asegurarse de:

- Considerando que la sobre-elevación de la presa Untuca contempla una zona frontal y una zona lateral, siendo esta última consecuencia únicamente de la sobre-elevación proyectas careciendo de un dique de arranque, las aguas de pondaje se encuentran muy próximas a la zona lateral, requiriendo en esta zona la formación previa de una playa de relaves gruesos que permita el alejamiento de la laguna de pondaje.
- Colocar las tuberías de deposición de relave del vaso a una distancia no menor de 15 m. del pie aguas arriba de la Sobreelevación Untuca, con la finalidad que se forme una playa de relaves aguas arriba de la presa.
- Por ningún motivo prescindir de la geomembrana impermeable proyectada para las tres (03) -etapas en el talud de aguas arriba.
- Por ningún motivo los relaves serán descargados directamente sobre la geomembrana impermeable.
- Se deberá mantener una playa en el depósito de por lo menos 20 m a lo largo de toda la presa.
- Por ningún motivo el agua de pondaje deberá estar en contacto con la geomembrana impermeable instalada en el talud de aguas arriba.

B. Frecuencia de Monitoreo

La frecuencia de monitoreo, será diaria. En caso de una eventualidad como un sismo, se implementará inmediatamente después de ocurrido el evento una inspección bajo la supervisión directa del personal asignado y el Jefe de Seguridad y al Jefe de Planta.

C. Descripción del control

Para el control de la deposición de relaves en el vaso, se deberá colocar las tuberías de disposición a una distancia prudencial del talud aguas arriba con la finalidad de formar una plataforma de relaves (playa). Esta labor es importante debido a que las resistencias

que debe tener el relave consideradas en los análisis de estabilidad corresponden a que el relave aguas arriba del depósito no están saturados, el talud aguas arriba del depósito no debe estar al contacto de agua.

C. Descripción del control

Para el control de la deposición de relaves en el vaso, se deberá colocar las tuberías de disposición a una distancia prudencial del talud aguas arriba con la finalidad de formar una plataforma de relaves (playa). Esta labor es importante debido a que las resistencias que debe tener el relave consideradas en los análisis de estabilidad corresponden a que el relave aguas arriba del depósito no están saturados, el talud aguas arriba del depósito no debe estar al contacto de agua.

La estructura de recrecimiento tiene el objetivo principal de contener los relaves depositados de manera estable desde punto de vista físico y químico. El diseño del recrecimiento del depósito de relaves, para ello se tiene previsto, costo total de CAPEX de US\$ 2 572,580,00 cuyos componentes estarán conformados por: Ampliación de corona, estructura de recrecimiento, sistema de impermeabilización, sistema de evacuación de aguas de pontaje o espejo de agua en los relaves

Tabla 4.8: Control de acumulación de relaves

DESCRIPCION	CANTIDAD	OBSERVACIONES
Vol. Llendo mes Dic.-18	49038.16m ³	dic.01-18-Ene. 01-19
Altura llenada mes Dic.-18	0.392m.	Altura promedio
Altura restante a llenar	5.696m.	Cota 4330.00
Vol. Restante a llenar	813,871.07m ³	Cota 4330.00
Cota actual	4324.63	01-Enero-20019
Cota final proyectada	4331	En recrecimiento
Cota dique actual	4332	En recrecimiento
Area relave	119,056.75m ²	01-ene-19
Area de agua	14,932.31m ²	01-ene-19
Cota final del proyecto	4331	Cota final
Tiempo de vida	1.5 años	Aproximado

Fuente: Cori Puno

Tabla 4.9: Contratación y verificación de la hipótesis

HIPOTESIS GENERAL	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	CONCLUSIONES PARCIALES
<p>el diseño de recrecimiento del depósito de relaves, se establecerá para la capacidad de 550,000 metros cúbicos para una capacidad de la planta concentradora de 350TMD asegurando su estabilidad y correcta operación durante su vida útil.</p>	<p>El diseño de la capacidad de almacenamiento de la presa de relaves es asegurar la utilización de técnicas y procedimientos para almacenamiento en el área disponible de 550,000 metros cúbicos de relaves en pulpa, de acuerdo a las reservas económicas a tratar en la planta concentradora, de 350 TMD y aumentar la vida útil de la presa.</p>	<p>A) Asegurar la calidad de construcción de la presa de relaves para almacenar 550,000 metros cúbicos, para una planta de beneficio de 350 TMD. B) establecer el recrecimiento de la presa de relaves de acuerdo al estudio geomecánica, especificaciones técnicas y la calidad del material de préstamo durante la construcción. C) controlar y monitorear durante la construcción, las fallas geotécnicas que puede ocasionar</p>	<p>A) Las deformaciones estimadas a través del análisis dinámico están en el orden de 0.22m, ubicados en la corona. B) Las deformaciones estimadas son menores a 1m. valor máximo tolerable propuesto por Makdisi & Seed (1978) y recomendado por la US Army Corps of Engineers. C) Finalmente por los resultados obtenidos y presentados en los ítems anteriores se puede concluir que el recrecimiento del depósito Untuca a la cota 4332.00 msnm. no presentara deformaciones significativas ante eventos sísmicos de gran magnitud.</p>

CONCLUSIONES

Conclusión General

El diseño de recrecimiento de presa de relaves es asegurar la utilización de técnicas y procedimientos para almacenamiento en el área disponible de 550,000 metros cúbicos de relaves en pulpa, de acuerdo a las reservas económicas a tratar en la planta concentradora, de 350 TMD y aumentar la vida útil de la presa.

Conclusión Parciales

Asegurar la calidad de construcción de la presa de relaves para almacenar 550,000 metros cúbicos, para una planta de beneficio de 350 TMD. De acuerdo al balance metalúrgico.

El diseño de recrecimiento de la presa de relaves esta de acuerdo a los ensayos de laboratorio, especificaciones técnicas y la calidad del material de préstamo durante la construcción. Las deformaciones estimadas son menores a 1m. valor máximo tolerable propuesto por Makdisi & Seed (1978) y recomendado por la US Army Corps of Engineers.

Identificar y definir problemas que pudieran ocurrir durante la construcción, instrumentación geotécnica, monitoreo con ello verificar y corregir antes de finalizar, finalmente por los resultados obtenidos y presentados en los ítems anteriores se puede concluir que el recrecimiento del depósito Untuca a la cota 4332.00 msnm. no presentara deformaciones significativas ante eventos sísmicos de gran magnitud.

RECOMENDACIONES

Recomendación General

En el diseño de recrecimiento es necesario se iniciará con la selección de materiales y su distribución o zonificación dentro de la sección de la presa, así como el análisis de las condiciones de inicio, que pueden afectar el comportamiento de la estructura. Teniendo en cuenta siguientes Análisis:

- Estabilidad contra el desbordamiento.
- Estabilidad contra el flujo incontrolado
- Estabilidad contra la erosión interna.
- Estabilidad contra la licuefacción.

Recomendaciones Parciales

1.- La calidad de construcción de la presa de relaves para almacenar es necesario tener en cuenta que el nivel freático afecta en gran magnitud la estabilidad total de la presa, bajo condiciones de carga estática y sísmica, es de gran importancia mantener el nivel freático tan bajo como sea posible en las cercanías de la cara de la presa.

2.- Para el diseño de recrecimiento de la presa de relaves estará de acuerdo al ensayo de laboratorio, considerando que, para presas de relaves, el deslizamiento inicial de tipo rotacional, es el mecanismo que origina la falla de la mayor parte de los taludes (con excepción de aquellos inducidos por licuación); desarrollándose después como deslizamientos de flujo. Los análisis de estabilidad serán efectuados para las

siguientes condiciones:

- Al final de la construcción
- Construcción por etapas
- A largo plazo

– Análisis de estabilidad sísmica

3.-Para Identificar y definir problemas que pudieran ocurrir durante la construcción, será necesario contrastar con los resultados de las investigaciones geotécnicas de campo y los ensayos de laboratorio, se determinó los parámetros físicos y de resistencia para cada tipo de material o suelo que conforma la presa de relaves.

BIBLIOGRAFIA

- Alva Hurtado Jorge (2005), *Análisis Sísmico de Presas de Relaves, seminario de actualización en la UNI.*
- Azcue Jose M. (1999). *Environmental Impacts of Mining Activities, National Laboratory of Civil Engeneering (LNEC)*, pag. 124 – 140, Lisboa –Portugal, Editorial Springer.
- Bieniawski, Z.T. (1989): *Engineering Rock Mass Clasification*, USA.
- Cancela Rey María Dolores (1987), *Tesis Doctoral; Comportamiento Geomecanico de la Presa de Residuos bajo Acciones Estáticas, presentado a la Universidad Politécnica de Madrid,*
- Córdova Rojas David (2005), “*Dimensionamiento del minado del cuerpo Magaly – Tajeo 775 Mina Socorro*”. Pág. 1-24.
- Gilbert, David (2014), 31 *Convención Minera; La Importancia de la Playa de Relaves Antamina.*
- Gonzales de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, *Ingeniería Geológica* (Pearson Educación, Madrid, 2002)
- Hoek,E and Bray J.W (1981). *Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy London.*
- Hartman Howard L., (1992), *Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., “SME Mining Engineering Handbook”*. David E. Nicholas “Applications of underground mining methods”, pag. 2093
- Lottermoser Bernd G. (2010), *Mine Wastes, Characterization, Treatment and Environmental Impacts*, pag. 205 – 239, *School of Earth & Enviromental Sciences Autralia, Edit. Springer*
- López Huaynate, Francisco R. (2013), Tesis: "*Uso de la Soldadura por Termofusión en*

la Impermeabilización con Geomembrana hdpe del Recrecimiento de los Diques No1 y No 2 de la Relavera Rumichaca U.E.A. Carahuacra Cia. Minera Volcan S.A.A."

León Antunez Jerzy Romulo(2009), *Informe Experiencia, presentado a la Universidad Ricardo Palma, sobre: Recrecimiento del dique de relaves Chuspic – Minera Santa Luisa – UEA Huanzala*

MACCAFERRI (2016), *Obras de Contención: Las estructuras de contención tienen la finalidad de contener macizos de suelos o de desechos*

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM) (2007) *Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina* (<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guiaestabilidad.pdf>)

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO (2006) *Norma E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones*

OKA, Lalita, DEWOOLKAR, Mandar y OLSON, Scott (2012) *Liquefaction assessment of cohesionless soils in the vicinity of large embankments, pp. 33- 44. En Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol. 43*

OLSON, Scott (2001) *Liquefaction analysis of level and sloping ground using field case histories and penetration resistance.*

Rimarachin V. Paolo y Huaranga M. Felix (2015), *Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales, revista scielo, SCIENDO 18(2): 20-29, 2015.*

Rojas Linares Edito Luis (2002), *Diseño de presas de relaves*

Sotomayor Cabrera Aristtides (2017), *Tecnologías Limpias, pag. 537, Universidad de Lima – Fondo Editorial*

Thornburn Thomas H. (194), *Foundation Engineering, pag.59 – 78, University Of Illinois at Urbana*, Edit. Jhon Wiley and Sons.

Veramendi Jaramillo Jorge (2016), XI Congreso Nacional de Minería – Piura; *El ABC de la Relaveras*

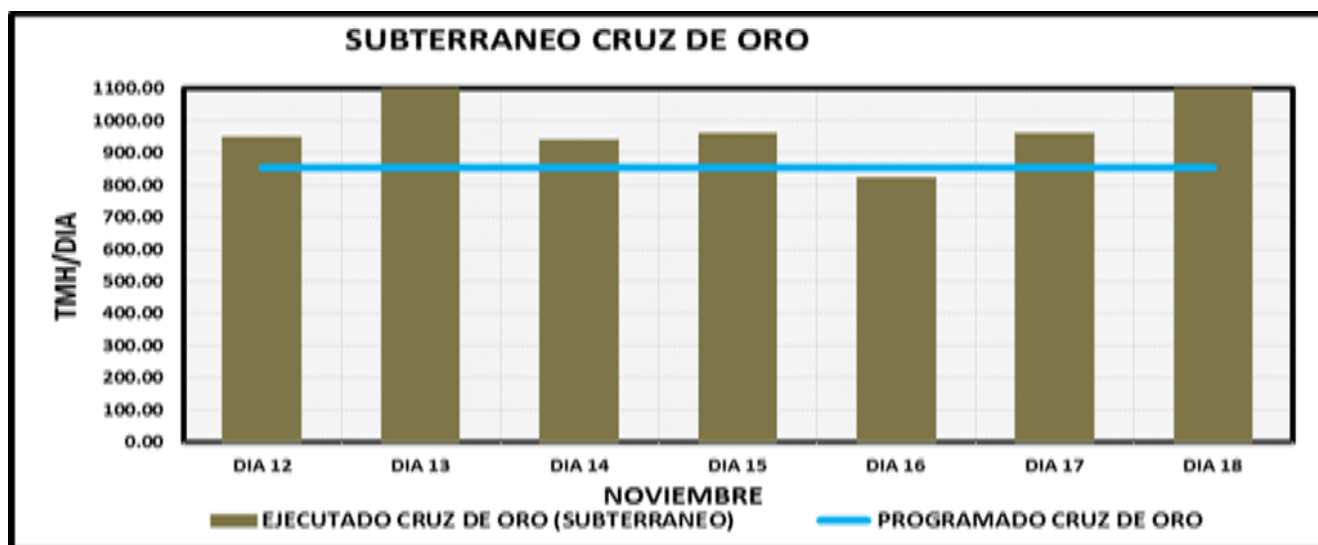
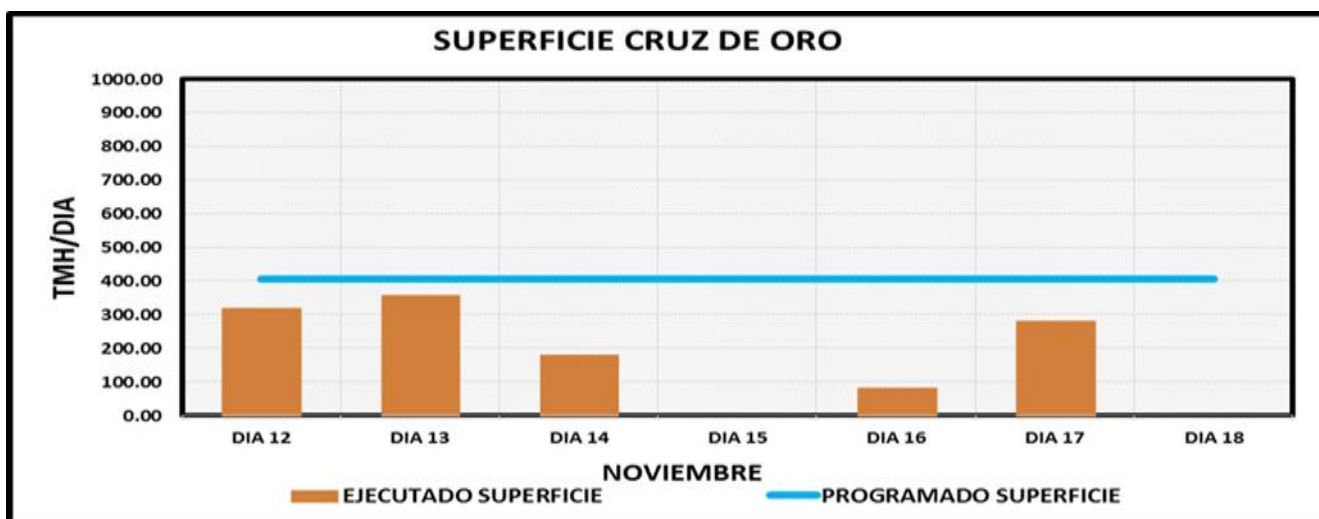
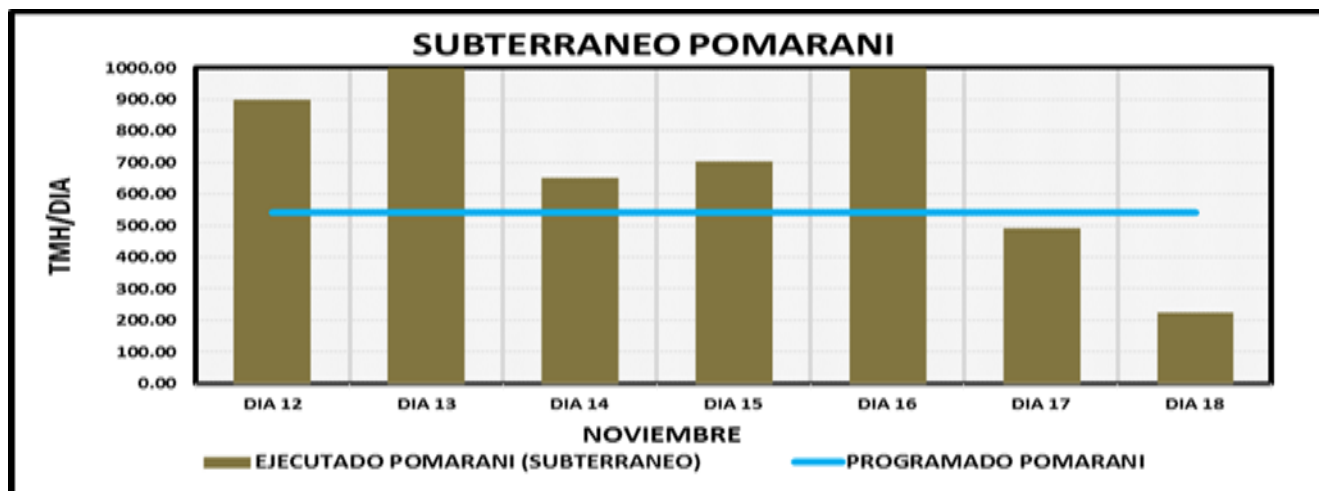
ANEXOS

ANEXO 1: Control y Cumplimiento de tonelaje

CONTROL Y CUMPLIMIENTO DE TONELAJE NOVIEMBRE 2018																
TIPO DE MINADO	PROG. TMH MES	PROG. TMH SEM	PROGRAMADO DIA	SEMANA 46							% DIARIO	TMH ACUM. SEMANAL	CUMPLIMIENTO SEMANAL	TMH ACUM MES	% PROMEDIO DE CUMPLIM. MENSUAL	
				12	13	14	15	16	17	18						
SUBTERRANEO (POMARANI)	21,040	3780	704	901.18	1160.59	652.81	706.08	1004.88	494.91	228.30	32.43%	5148.75	136.21%	12,637.61	100.11%	
SUBTERRANEO (CRUZ DE ORO)	28,140.00	5978	929	950.53	1152.86	942.10	962.11	823.88	961.25	1246.55	134.18%	7039.28	117.75%	17,376.35	102.92%	
SUPERFICIE CRUZ DE ORO (OPCION 3)	4,820.00	4820	167	323.01	359.12	183.88		85.58	285.61		0.00%	1237.20	25.67%	4,608.19	159.34%	
MINERAL COMPRA	0.00	0	0	0.00	0.00	0.00					0.00%	0.00	0.00%	894.87	0.00%	
SUB TOTAL (TMH)	54,000	14578	1,800	2,174.72	2,672.57	1,778.79	1,668.19	1,914.34	1,741.77	1,474.85	81.9%	13,425.23	106.5%	35,517.02	110%	
TOTAL ACUMULADO (TMH)				13,425.23												

FUENTE: Cori Puno

ANEXO 2: Grafico del Programa de Producción



FUENTE: Cori Puno

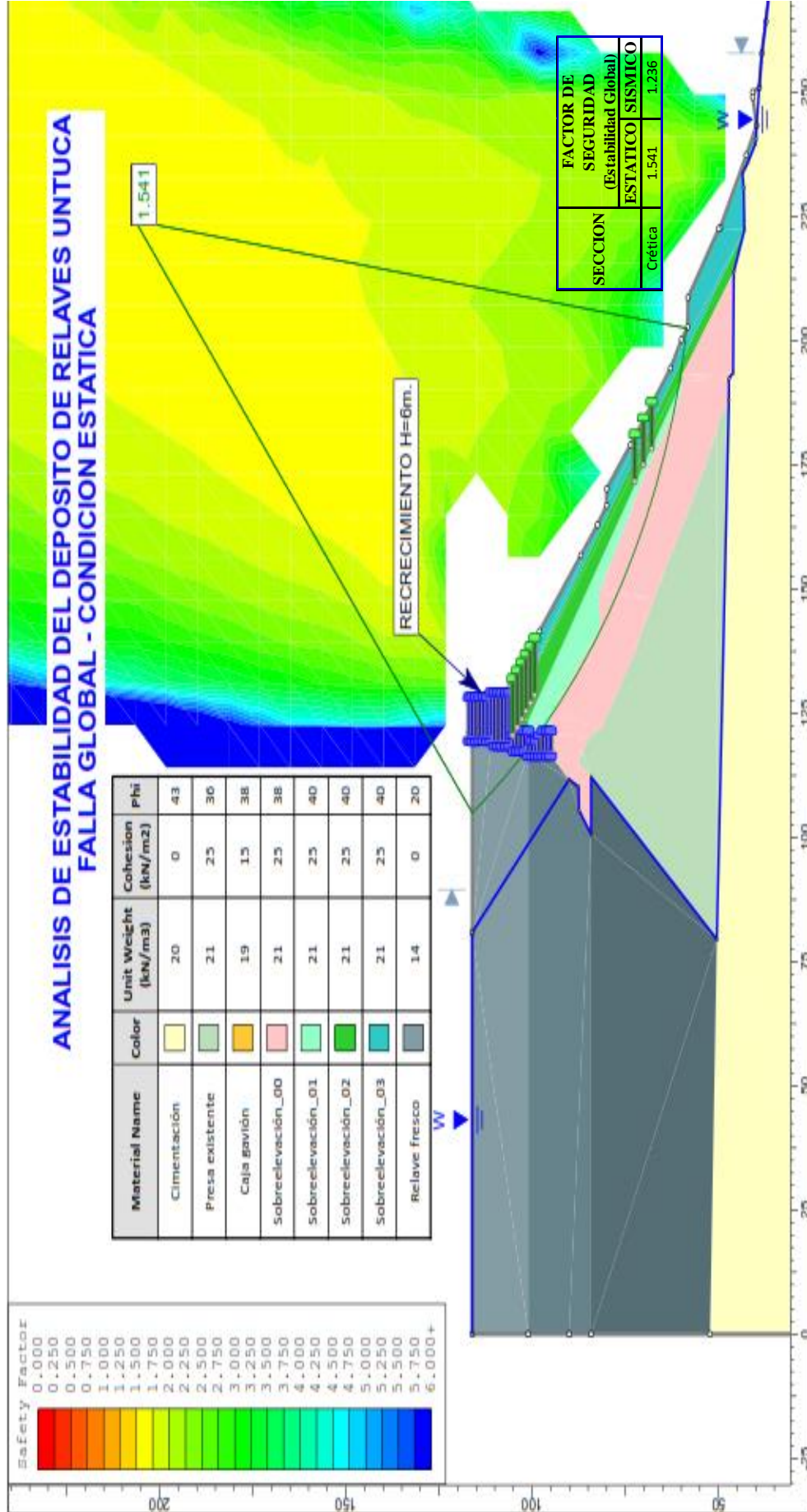
ANEXO 3: Balance Metalúrgico

BALANCE METALÚRGICO		T.M.S	LEY g AUI/TMS	CONTENIDO g ORO	% RECUP. Au	RATIO CONC.
CABEZA CALCULADA	1.780,34	2,67	4.750,93			
CONCENTRADO (Filtro + Grav)	24,79	150,19	3.723,91	76	72	
RELAVE	1.755,55	0,69	1.027,02			
			Acum (grs)	111.998,3		
			Meta (grs)	105.202,5		

Días campaña	ALIMENTACIÓN				RECUPERACIÓN										OBJETIVO DIARIO Y ACUMULADA						
	T.M.S	Aug/Lt	Au g/Lt (calculado)	Relave	FLOTACIÓN					GRAVIMETRÍA						Total día	FINOS RECUP.	Oncas-Troy	Diferencia		
					Le y de Conc. (gAu/tms)	Finos (g)	Distribución	T.M.S	Le y de Conc. (gAu/tms)	Finos (g)	Distribución	Le y de Conc. (gAu/tms)	Finos (g)	Distribución	Le y de Conc. (gAu/tms)	Grav + Flot	%Rec.	Kilos Au	Oncas-Troy	Kilos Au	
2950																					
Reservas																					
Programa (anual)	50.373,00	2,72	2,72	0,64	84,30	51.766,84	37,78	76,34	700,00	53.435,68	39,00	152,38			152,38		76,78	105,20	3.382,34	3,57	
Proyección	51.205,19	2,79	2,80	0,66	84,9	50.303,19	35,10	89,32	669,83	59.828,49	41,75	161,58			161,58		76,8	112,00	3.600,83		
Desv. Std.	1.705,1	0,29	0,34	0,05	8,24	287,09	2,38	0,32	122,18	422,24	3,27	21,44			21,44		2,11	0,67	21,45		
1-nov-18	1.759,5	2,60	2,50	0,67	18,96	1.480,5	33,71	3,00	585,21	1.756,1	39,98	147,42			147,42		73,69	3,24	104,06		-0,33
2-nov-18	1.782,2	2,23	1,97	0,56	16,69	1.211,9	34,58	3,05	425,03	1.297,1	37,01	127,06			127,06		71,59	2,51	80,66		-1,39
3-nov-18	1.725,2	2,32	2,27	0,62	17,36	1.493,4	38,06	2,75	495,37	1.363,7	34,75	141,91			141,91		72,82	2,85	91,73		-2,10
4-nov-18	1.784,6	2,27	2,29	0,60	19,05	1.411,1	34,59	2,80	571,27	1.601,7	39,27	137,83			137,83		73,86	3,01	96,86		-2,65
5-nov-18	1.776,4	3,10	3,26	0,75	16,33	1.667,8	28,78	2,94	957,19	2.869,7	46,48	232,37			232,37		77,26	4,48	143,96		-1,74
6-nov-18	1.741,6	2,64	2,55	0,65	19,51	1.728,4	38,86	3,12	512,76	1.602,2	36,02	147,14			147,14		74,88	3,33	107,08		-1,98
7-nov-18	1.784,8	2,49	2,35	0,65	19,60	1.692,3	40,36	3,13	435,6	1.864,6	32,54	134,45			134,45		72,90	3,06	98,28		-2,49
8-nov-18	1.773,3	3,09	3,15	0,70	22,33	2.183,0	39,05	2,87	761,73	2.183,2	39,06	173,31			173,31		78,11	4,37	140,38		-1,69
9-nov-18	1.786,2	2,91	2,94	0,62	25,28	1.865,6	35,56	3,05	752,42	2.291,1	43,67	146,73			146,73		79,23	4,16	133,64		-1,10
10-nov-18	1.776,9	2,55	2,60	0,62	23,23	1.751,5	37,88	3,06	581,43	1.777,8	38,45	134,24			134,24		76,34	3,53	113,47		-1,13
11-nov-18	1.786,2	2,41	2,39	0,60	19,50	1.394,4	32,64	3,10	584,42	1.809,5	42,36	147,79			147,79		75,00	3,20	103,01		-1,50
12-nov-18	1.780,8	2,58	2,59	0,58	18,32	1.649,2	35,73	3,32	584,38	1.937,7	41,98	165,77			165,77		77,71	3,59	115,32		-1,47
13-nov-18	1.790,9	3,10	3,17	0,71	19,70	1.929,1	33,99	3,07	811,22	2.491,0	43,89	194,15			194,15		77,88	4,42	142,11		-0,85
14-nov-18	832,4	2,63	2,72	0,67	9,10	753,0	33,28	1,57	612,29	959,1	42,39	160,50			160,50		75,67	1,71	55,05		-0,69
15-nov-18	1.650,0	2,72	2,80	0,72	15,43	1.355,6	25,72	2,79	734,31	2.047,6	44,89	186,76			186,76		74,62	3,40	109,41		-0,85
16-nov-18	1.778,5	2,51	2,49	0,62	18,37	1.601,7	36,15	3,19	546,03	1.739,3	39,26	154,97			154,97		75,41	3,34	107,42		-0,23
17-nov-18	1.788,3	2,85	2,99	0,66	20,51	1.833,4	34,34	3,25	716,91	2.332,0	43,68	175,26			175,26		78,02	4,17	133,92		-0,48
18-nov-18	1.785,3	2,87	2,86	0,65	21,74	1.842,2	36,13	3,13	672,08	2.103,7	41,26	158,63			158,63		77,39	3,95	126,87		-0,10
19-nov-18	1.755,5	3,06	3,10	0,71	21,20	1.997,9	36,78	3,17	696,63	2.208,2	40,65	172,60			172,60		77,42	4,21	135,23		0,54
20-nov-18	1.771,5	3,09	3,16	0,74	21,75	1.957,7	35,04	3,51	666,12	2.340,6	41,85	170,20			170,20		76,90	4,30	138,26		1,27
21-nov-18	1.773,6	3,10	3,14	0,74	21,62	1.882,2	33,76	3,39	707,63	2.399,6	43,04	171,21			171,21		76,79	4,28	137,66		1,99
22-nov-18	1.784,6	2,99	3,07	0,72	18,45	1.845,1	33,71	3,28	719,66	2.361,7	43,14	168,86			168,86		76,85	4,21	135,25		0,64
23-nov-18	1.780,3	2,64	2,63	0,69	20,26	1.616,1	34,55	3,32	589,17	1.955,4	41,80	151,49			151,49		76,35	3,57	114,82		0,01
24-nov-18	1.772,0	3,37	3,37	0,63	21,49	2.180,1	36,37	3,04	857,43	2.004,6	43,45	195,08			195,08		79,82	4,78	153,83		1,22
25-nov-18	1.779,2	3,07	3,11	0,66	22,74	1.975,2	35,67	3,09	729,10	2.004,3	43,42	169,58			169,58		79,10	4,38	140,80		0,81
26-nov-18	1.752,6	3,01	3,06	0,67	22,22	1.816,5	35,27	2,98	807,63	2.403,9	44,77	167,48			167,48		78,60	4,22	135,69		0,65
27-nov-18	1.750,3	2,96	3,05	0,64	21,70	1.884,8	35,27	3,03	777,02	2.354,7	44,06	171,43			171,43		79,33	4,24	136,30		0,67
28-nov-18	1.725,4	2,74	2,83	0,61	21,55	1.711,1	35,09	2,95	723,45	2.135,1	43,63	157,20			157,20		78,72	3,85	123,85		0,29
29-nov-18	1.775,4	2,89	2,85	0,64	23,27	1.793,3	35,47	2,93	727,31	2.132,1	42,20	149,75			149,75		77,67	3,92	126,17		0,36
30-nov-18	1.780,3	2,69	2,67	0,59	21,82	1.646,6	34,66	2,97	699,09	2.077,3	43,72	150,19			150,19		78,38	3,72	119,73		0,16
Totales	52.073,1	2,79	2,80	0,66	602,30	84,9	51.155,8	35,10	9083	669,8	60.842,5	41,75	161,58			161,58	76,8	112,00	3.600,83		6,80
Promedio x día	1.735,8																				

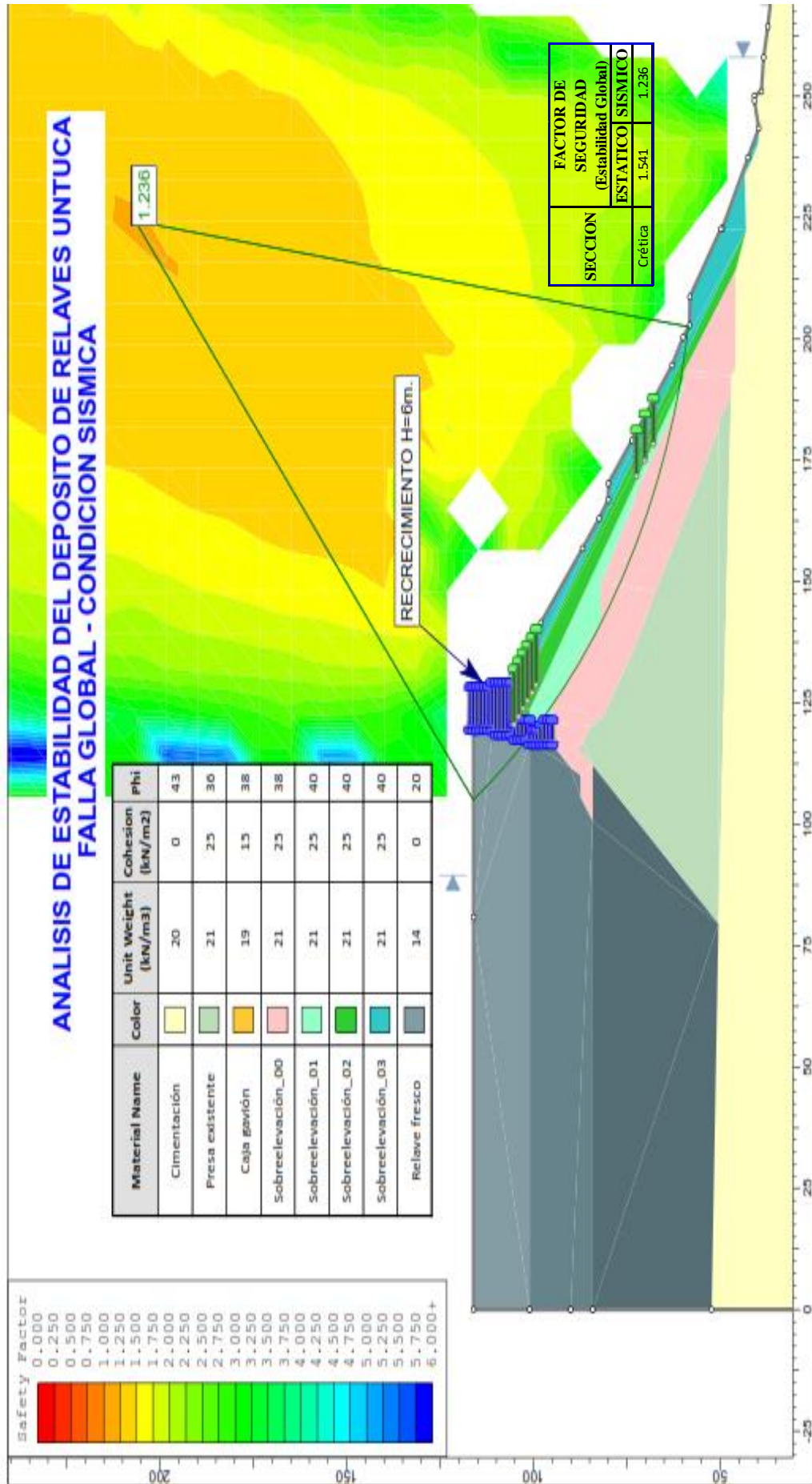
FUENTE: Cori Puno

ANEXO 4: Factores de Seguridad - Estabilidad Global



FUENTE: Reporte de producción de Planta Metalúrgico

ANEXO 5: Factores de Seguridad - Estabilidad Global



FUENTE: Cori Puno.

ANEXO 6: Propiedades de los Refuerzos Utilizados

Maccaferri - MacGrid BRA - WG 120		
Resistencia a la Tracción.....	[kN/m].....	120.00
Tasa de deformación plástica.....		0.00
Coeficiente de deformación elástica.....	[m ³ /kN].....	1.10e-04
Rigidez del refuerzo.....	[kN/m].....	1000.00
Largo de anclaje Mínimo.....	[m].....	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava).....		1.90
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena).....		1.76
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa).....		1.83
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa).....		1.83
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo.....		0.20
Coeficiente de interacción refuerzo-grava.....		0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-arena.....		0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-limo.....		0.70
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla.....		0.50
Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 0.5x1.0		
Resistencia a la Tracción.....	[kN/m].....	41.30
Tasa de deformación plástica.....		2.00
Coeficiente de deformación elástica.....	[m ³ /kN].....	1.10e-04
Rigidez del refuerzo.....	[kN/m].....	420.00
Largo de anclaje Mínimo.....	[m].....	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava).....		1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena).....		1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa).....		1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa).....		1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo.....		0.30
Coeficiente de interacción refuerzo-grava.....		0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-arena.....		0.65
Coeficiente de interacción refuerzo-limo.....		0.50
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla.....		0.30
Maccaferri - Terramesh System - 10/2.7P - 1.0x1.0		
Resistencia a la Tracción.....	[kN/m].....	41.30
Tasa de deformación plástica.....		2.00
Coeficiente de deformación elástica.....	[m ³ /kN].....	1.10e-04
Rigidez del refuerzo.....	[kN/m].....	420.00
Largo de anclaje Mínimo.....	[m].....	0.15
Factor de seg. contra la rotura (grava).....		1.44
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena).....		1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arena limosa).....		1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de seg. contra la rotura (arcilla arenosa).....		1.30
Factor de seg. contra el arrancamiento (Pull-out).....		1.00
Factor de interacción refuerzo/refuerzo.....		0.30
Coeficiente de interacción refuerzo-grava.....		0.90
Coeficiente de interacción refuerzo-arena.....		0.65
Coeficiente de interacción refuerzo-limo.....		0.50
Coeficiente de interacción refuerzo-arcilla.....		0.30

FUENTE: Cori Puno

ANEXO 7: Parámetros de Resistencia al corte del depósito de Relaves Untuca

Material	Densidad (KN/m ³)	Efectivos		Totales	
		C' (KN/m ²)	∅'(º)	C (KN/m ²)	∅ (º)
Cimentación	20	0	43	0	43
Presa Existente	21	25	36	15	38
Sobreelevación 0	21	25	38	25	38
Sobreelevación 1	21	25	40	25	40
Sobreelevación 2	21	25	40	25	40
Sobreelevación 3	21	25	40	25	40
Relave Fresco	14	0	20	10	15
Relleno Granular (Mejoramiento)	22	0	38	0	38

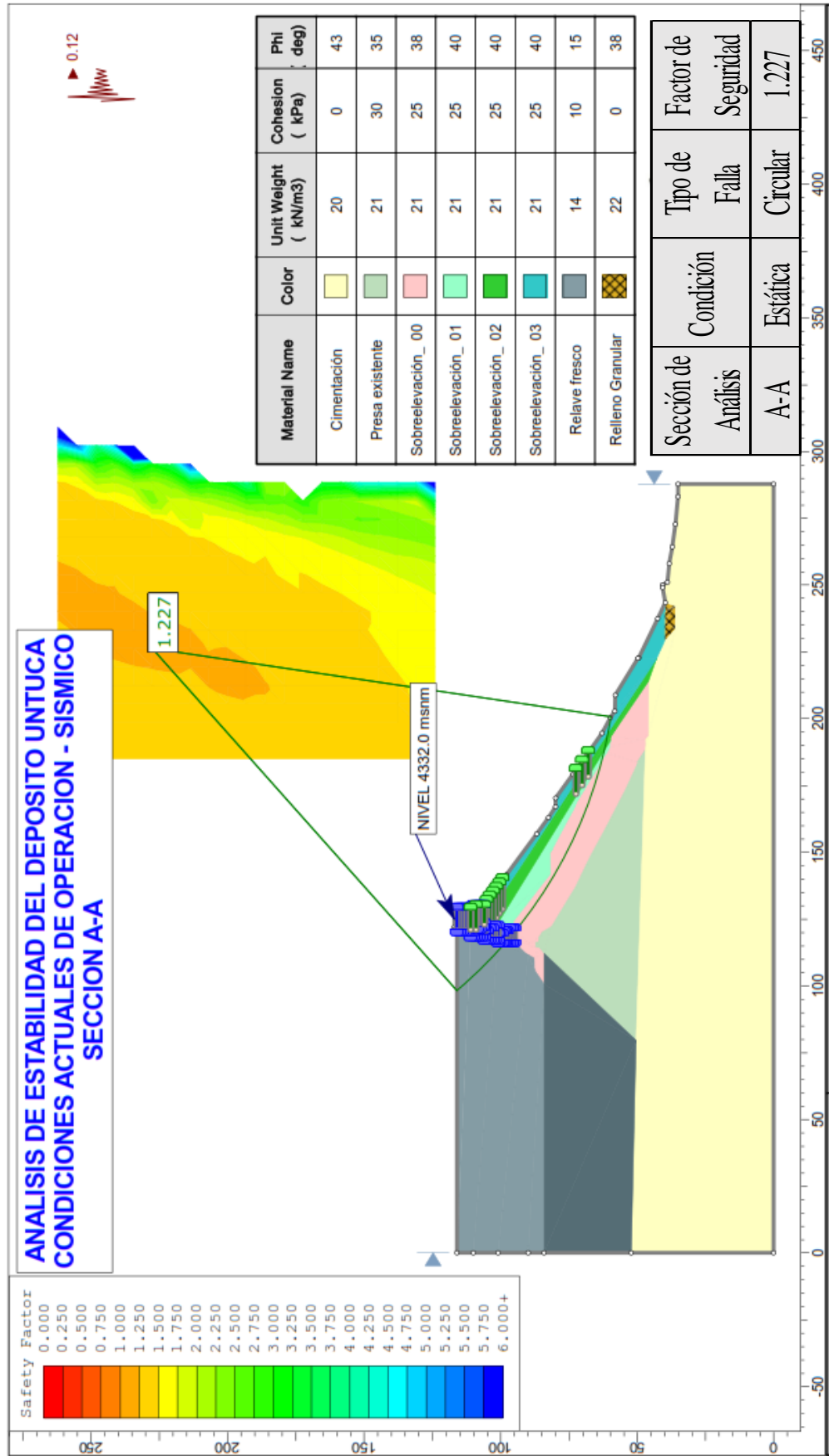
Condiciones	Factores Mínimos de seguridad	
	Análisis Estático	Análisis Sísmico
Estática (Largo Plazo)	1.5	---
Sísmico	---	1.0

Fuente: Cori Puno

Los factores de seguridad obtenidos son mayores a 1.5, lo cual muestra que la presa Untuca es estable contra deslizamiento, para condición de largo plazo y/o estática.

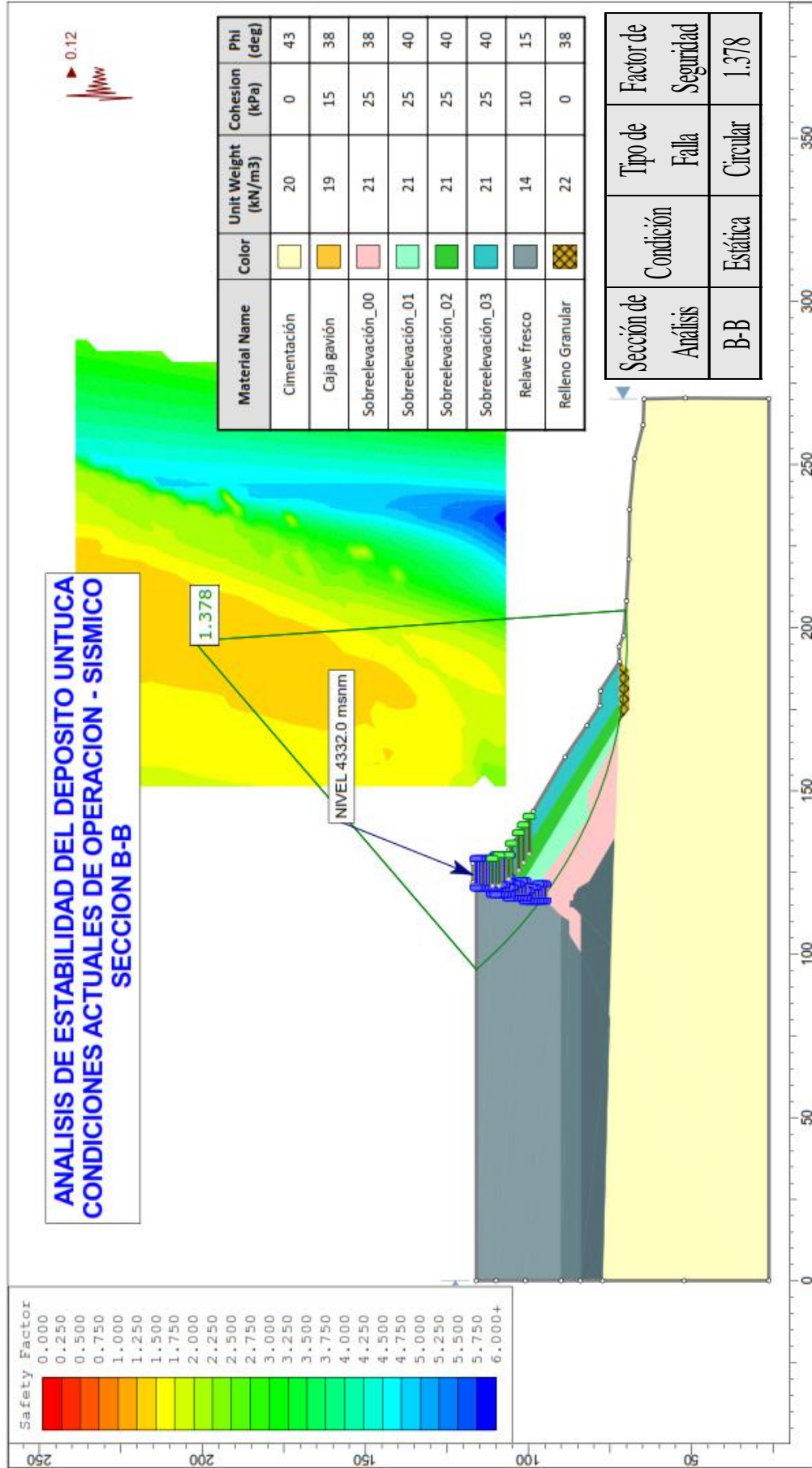
Para la condición sísmica ha sido considerado un coeficiente sísmico de 0.12, correspondiente a un terremoto con periodo de retorno de 500 años.

ANEXO 8: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición sísmica de la sección A-A en la zona frontal de la Presa Untuca



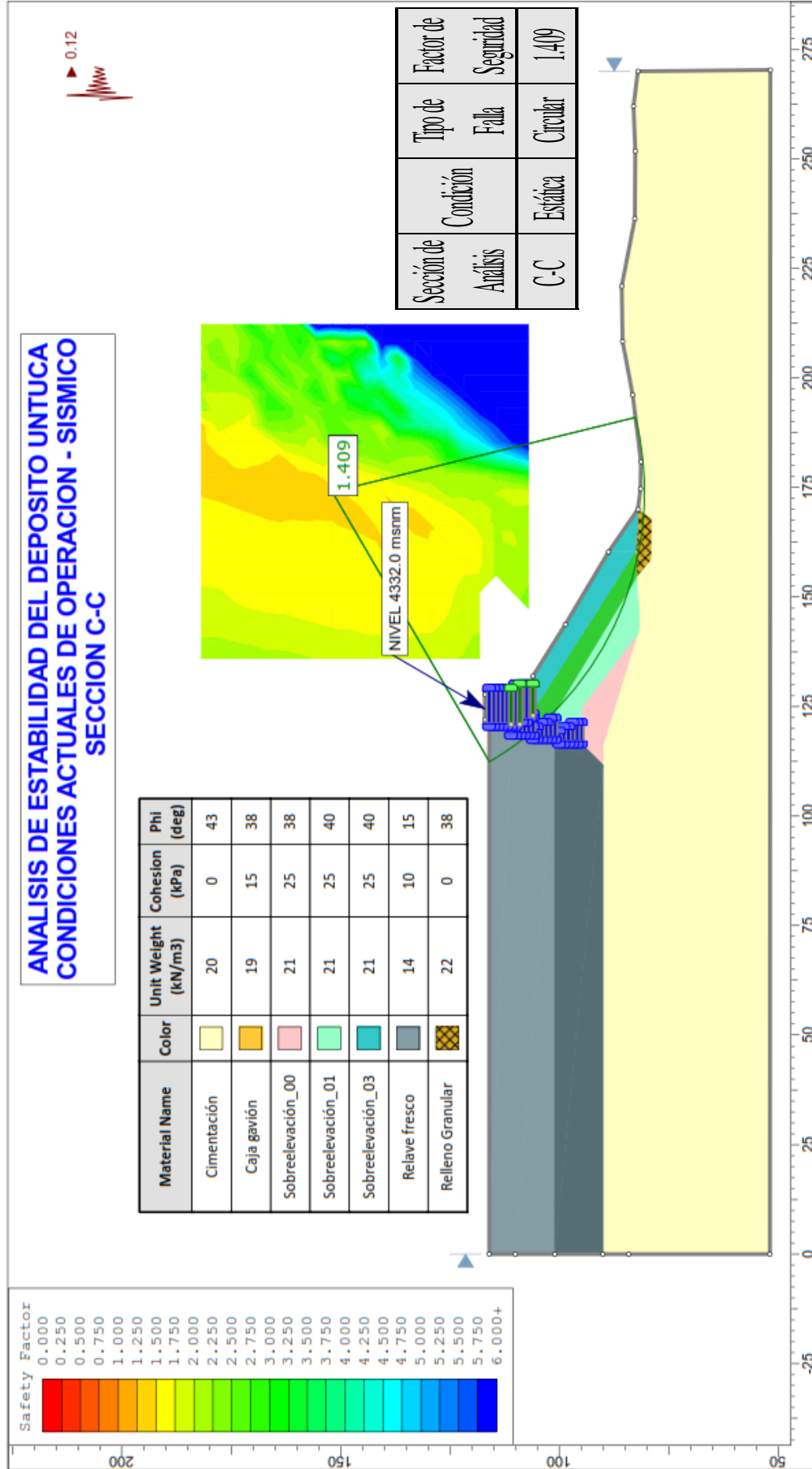
Fuente: Cori Puno

ANEXO 9: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición sísmica de la sección B-B en la zona de curva de la Presa Untuca



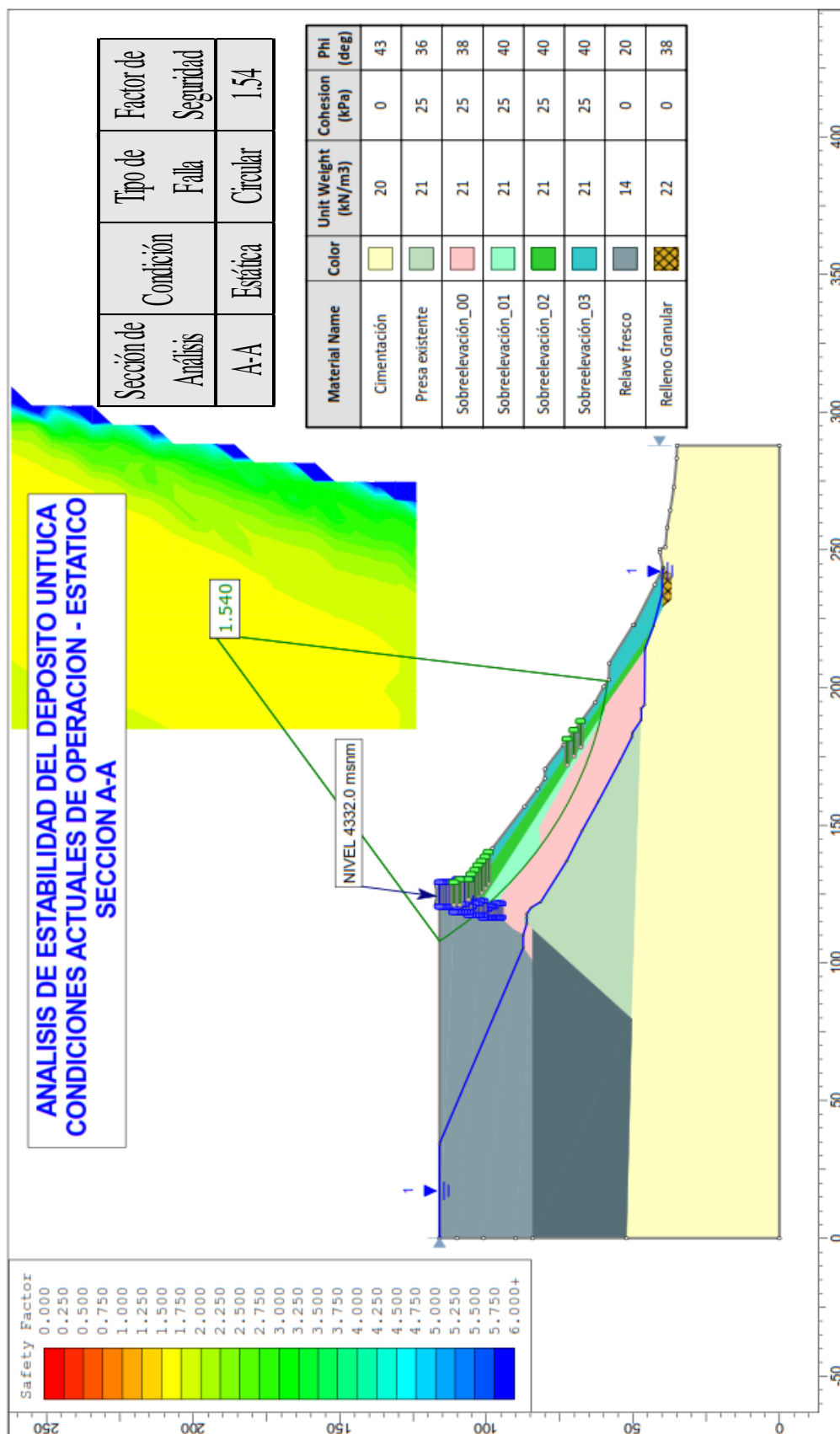
Fuente: Cori Puno

ANEXO 10: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición sísmica de la sección C-C en la zona lateral de la Presa Untuca



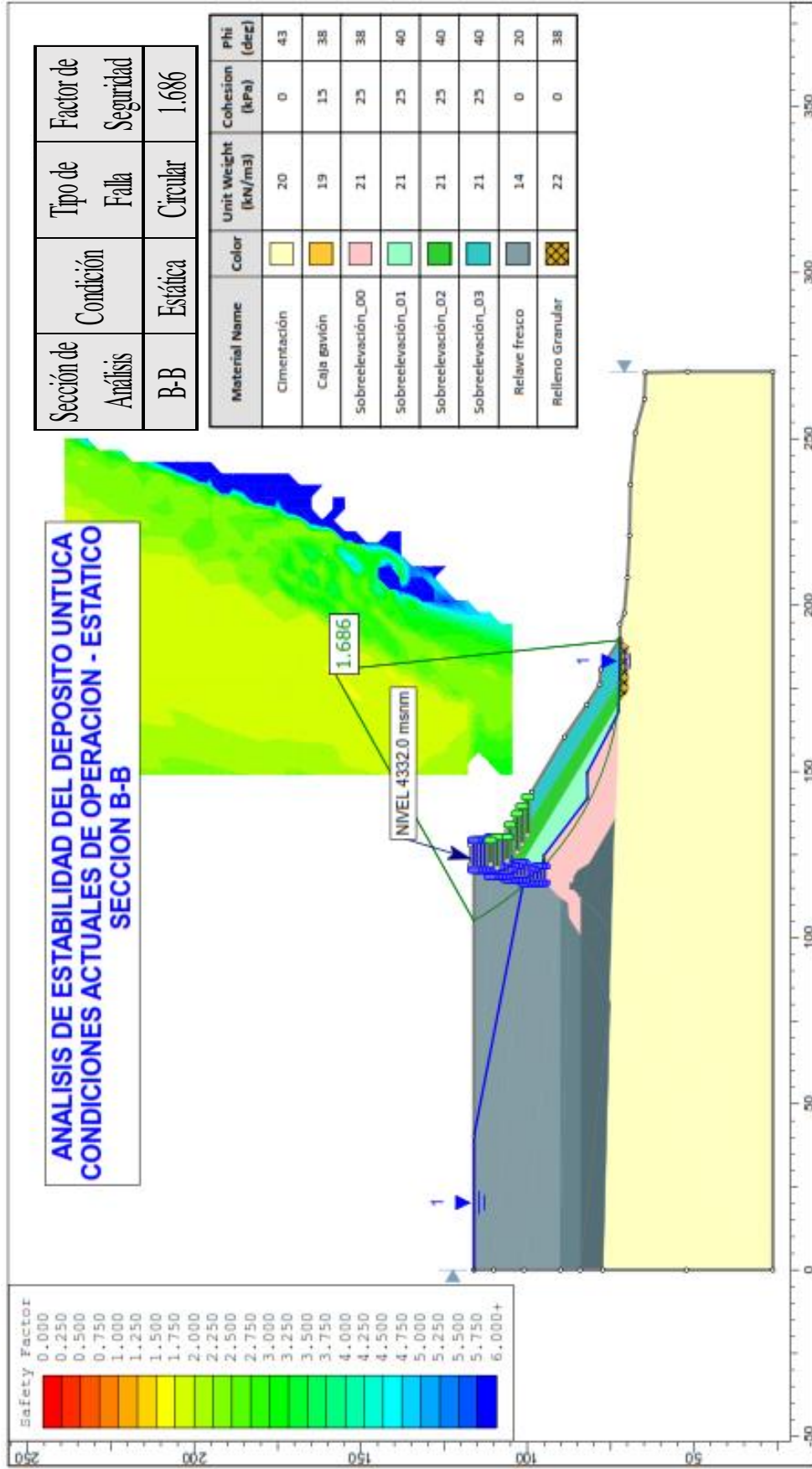
Fuente: Cori Puno

ANEXO 11: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición estática de la sección A-A en la zona frontal de la Presa Untuca



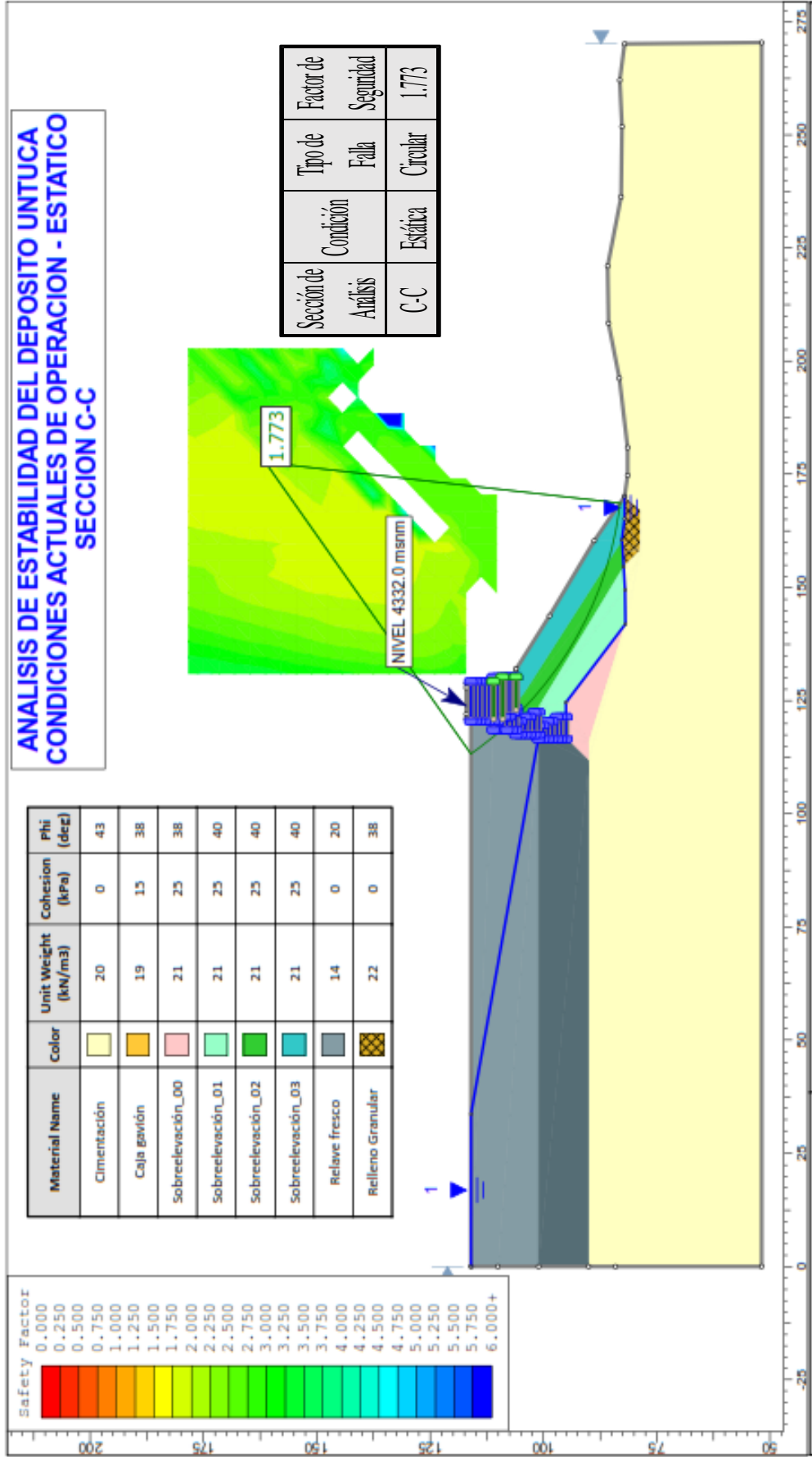
Fuente: Cori Puno

ANEXO 12: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición estática de la sección B-B en la zona de curva de la Presa Untuca



FUENTE: Cori Puno

ANEXO 13: Resultado del Análisis de Estabilidad en condición estática de la sección C-C en la zona lateral de la Presa Untuca



FUENTE: Cori Puno

ANEXO 14: Relleno Manual de cajas de Gaviones

Fuente: Elaboración Propia del Investigador

En Fotografía se muestra a nuestros colaboradores realizando el llenado manual de los gaviones con rocas a 4" y 6"

ANEXO 15: Tendido de cola de gaviónes y geotextiles

Fuente: Elaboración Propia del Investigador

En Imagen se observa el tendido de cola de gaviones y los geotextiles para proceder con el relleno del material de préstamo.

ANEXO 16: Tendido de geomallas y geomembranas



Fuente: Elaboración Propia del Investigador

En Imagen se toma la fotografía del tendido de geomallas y la instalación de geomembrana.

ANEXO 17: Ubicación de la unidad minera Untuca

ANEXO 18: Plano geológico local

ANEXO 19: Plano Isométrico

ANEXO 20: Corte de secciones A-A, B-B y C-C, para el Modelo Geotécnico

ANEXO 21: Volumen presa de relaves