

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA**



**“DISEÑO DE LA SOBREELEVACIÓN DEL DIQUE
DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE LA PLANTA
CONCENTRADORA DE ALPAMARCA NIVEL 4 703
msnm – JUNÍN – 2017”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA**

PRESENTADO POR:

Bach. HELEN DIANIRA TRINIDAD CONDOR

CERRO DE PASCO – PERU

2018

RESUMEN

El gobierno siguió dando señales ambiguas en relación a la promoción de la inversión privada, extranjera y nacional. Se generan problemas políticos y sociales que impiden la materialización de proyectos privados de grandes magnitudes. Los cambios en la legislación laboral, de medio ambiente y de seguridad y salud ocupacional dictados por el gobierno han generado retrasos en la inversión privada y sobrecostos en las compañías mineras locales. Si bien el gobierno ha intentado dar medidas para promover la inversión privada, en la práctica todavía no se han materializado.

Asimismo, la excesiva presión fiscalizadora en temas tributarios, laborales, de medio ambiente, social y las trabas burocráticas dejan sin oportunidad de desarrollo a la industria minera en el país, que se encuentra muy afectada por la caída de los precios de los metales.

Lo anterior, además del daño ocasionado por la ley de consulta previa y el uso ineficiente del canon minero, cuya distribución debería hacerse de acuerdo con las necesidades de cada región, ocasionan conflictos sociales que a la fecha no han podido ser resueltos. Como consecuencia, no se han podido llevar adelante los proyectos mineros emblemáticos como Las Bambas, Tía María, Quellaveco, las ampliaciones de las plantas concentradoras de Toquepala y Cuajone, y varios proyectos en el norte del País como Río Blanco, Galeno, Michiquillay, La Granja, Conga, entre otros.

Esta opinión crítica y constructiva ya que todos somos responsables de impulsar el desarrollo del país. Siempre competimos para atraer nuevas inversiones y estas se van a los países donde se les ofrece las mejores condiciones.

El producto bruto interno (PBI) del Perú mostró un crecimiento de 2.4%, la tasa de crecimiento más baja desde el 2009, cuando la economía mostró un crecimiento de 1.0%. El menor crecimiento del gasto público y deterioro de las expectativas de los agentes privados en el frente interno, así como, el menor crecimiento de China y el deterioro de los precios de los metales en el frente externo dejaron sentir sus efectos sobre la evolución de la economía.

Bajo estas circunstancias que afronta la minería en nuestro país es necesario plantear el crecimiento de la producción y con ello se amplía el volumen de los relaves que van a ser depositados en las canchas y es necesario diseñar el sobreelevación del dique de la relavera y con ello ampliar el depósito de relave. Motivo por el cual se ha elaborado este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A MI MADRE

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A MI HIJO

Por ser pilar de cada amanecer y la fuerza que me nutre en todo el camino que tendré que recorrer.

AGRADECIMIENTO

- **A Dios:** Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.
- **A mis Maestros:** Por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales, para la elaboración de esta tesis y por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.
- **Al personal Staff y a los trabajadores de la planta concentradora de Alpamarca:** por darme la oportunidad de realizar la presente investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	vi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema general	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	5
1.4. IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	
1.4.1. Importancia	6
1.4.2. Limitaciones	7
1.5. JUSTIFICACIÓN	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. BASES TEÓRICAS	10
2.2.1. Marco contextual	11
2.2.2. Fases de un fluido	13
2.2.3. Relave minero	13
2.2.4. La actividad minera y el origen del relave	16
2.2.5. El agua en la industria minera	17
2.2.6. Uso del agua en procesos mineros	17
2.2.7. Guías ambientales para las actividades mineras	17
2.2.8. Impacto ambiental de la actividad minera	19
2.2.9. Diseño hidráulico	20
2.2.10. Diseño estructural cierre de la presa de relaves con un dique de tierra	21
2.2.11. Diseño estructural cierre con dique de hormigón ciclópeo	22
2.2.12. Cierre de la presa de relaves con muro de hormigón ciclópeo	22
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	24
2.4. HIPÓTESIS	26
2.4.1. Hipótesis general	26
2.4.2. Hipótesis específicos	26
2.5. VARIABLES	27
2.5.1. Variable dependiente	27

2.5.2. Variable independiente	27
2.5.3. Variables intervinientes	27

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	28
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	28
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	30
3.4.1. Población	30
3.4.2. Muestra	30
3.5. ESTUDIO DEFINITIVO DEL DEPÓSITO DE RELAVES	
ALPAMARCA	30
3.5.1. Ubicación y acceso	31
3.5.2. Revisión de las condiciones geológicas del sitio de la presa	33
3.5.3. Revisión del estudio de peligro sísmico	37
3.5.4. Revisión de las condiciones hidrológicas del depósito de relaves	41
3.5.5. Simulación del comportamiento de la presa frente a una avenida extraordinaria	48
3.5.6. Evaluación geotécnica de las condiciones de	

la cimentación para el recrecimiento de la presa a la cota 4703 msnm	49
3.5.7. Condiciones geotécnicas de la cimentación de la presa	51
3.5.8. Estudio de las condiciones geotécnicas de los materiales de construcción de la presa	54
3.5.9. Criterios de diseño de recrecimiento de la presa a la cota 4 703 msnm	54
3.5.10. Descripción general del depósito	55
3.5.11. Estabilidad física del depósito	63
3.5.12. Parámetros de resistencia	64
3.6. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL DEPÓSITO	65
3.7. TIEMPO DE OPERACIÓN TOTAL	66

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1. CRITERIOS DE DISEÑO	67
4.1.1. Criterios de diseño a tomar en cuenta	69
4.2. MÉTODO DE SOBREELEVACIÓN	76
4.2.1. Volumen de almacenamiento	76
4.2.2. Ancho de corona	78
4.2.3. Borde libre	80

4.2.4. Talud de la presa	82
4.2.5. Estabilidad de la presa	83
4.2.6. Material de conformación desmonte de mina	84
4.3. DISEÑO CIVIL	86
4.3.1. Datos operacionales y parámetros de diseño	87
4.4. MÉTODO DE SOBREELEVACIÓN	88
4.4.1. Volúmenes de producción de relave	91
4.4.2. Determinación de la vida útil del depósito	91
4.4.3. Capacidad de almacenamiento del vaso	92
4.4.4. Volumen total de almacenamiento	92
4.4.5. Volumen total de recrecimiento	92
4.4.6. Determinación del ancho de la corona	93
4.4.7. Sistema de drenaje de la sobreelevación de la presa	94
4.4.8. Mejoramiento de la cimentación	95
4.4.9. Condición hidrológica para el recrecimiento de la presa	96
4.5. DISEÑO GEOTÉCNICO	98
4.5.1. Generalidades para el análisis de estabilidad de Taludes	99
4.5.2. Metodología de análisis de estabilidad de la presa	99
4.5.3. Método de equilibrio libre	99
4.5.4. Criterios de diseño para el análisis de estabilidad de la presa	102

4.6. SOFTWARE DE ANÁLISIS	107
4.7. ANÁLISIS DE EQUILIBRIO LÍMITE PARA EL TALUD	110
4.8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA	112
4.9. EVALUACIÓN DE LA CANTERA CAPILLA DON PABLO	114
4.10. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL DE CANTERA	115
4.10.1. Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos Para la sobre elevación hasta la cota 4 703 msnm	116

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

pdfelement

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad extractiva que consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales obtenidos de la corteza terrestre, la cual, en muchos casos, implica la extracción física de grandes cantidades de materiales de la misma, para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado.

Existe una gran variedad de minerales explotados a lo largo del territorio nacional como los metales (oro, plata, cobre, hierro, etc.), los minerales industriales (potasio, azufre, cuarzo, etc.), los materiales de construcción (arena, áridos, arcilla, grava, etc.), las gemas (diamantes, rubíes, zafiros y esmeraldas), y combustibles (carbón, lignito, turba, petróleo y gas).

El Manejo de Relaves Mineros sostiene que el chancado y molienda de minerales genera un volumen de relaves que es aproximadamente dos tercios más grande que el volumen original del mineral “in situ”, es por ello que su disposición, procurando que sea económicamente factible, así como física y químicamente estable, es tal vez el mayor problema ambiental asociado con el desarrollo minero.

Los impactos ambientales se trata de los efectos que los relaves provocan en los entornos donde se depositan y confinan, lo cual, al hacerse sin las

precauciones técnicas recomendadas, puede provocar daños en cuerpos acuíferos (ríos, lagunas, napa freática), suelos y atmósfera.

El aire puede contaminarse con impurezas sólidas, por ejemplo polvo y combustibles tóxicos o inertes, capaces de penetrar hasta los pulmones, provenientes de diversas fases del proceso.

Los residuos sólidos finos provenientes del área de explotación pueden dar lugar a una elevación de la capa de sedimentos en los ríos de la zona.

Las aguas contaminadas con aceite usado, con reactivos, con sales minerales provenientes de las pilas o botaderos de productos sólidos residuales de los procesos de tratamiento.

Para expresar la intención de la investigación manifiesto lo siguiente:

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, donde se ha considerado la descripción del problema, formulación del problema, los objetivos de la tesis, importancia, limitaciones y justificación de la investigación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO, donde se ha considerado los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, fases del fluido, relave minero, la actividad minera y origen del relave, impacto ambiental

de la actividad minera, diseño hidráulico, diseño estructural, cierre de la presa, definición de términos básicos, el planteamiento de la hipótesis como la identificación de las variables.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS, se da a conocer la metodología que se aplica para la realización de la investigación y poder demostrar la investigación que si es factible de realizar, así mismo se dará a conocer la ubicación y acceso de la zona de estudio, revisión de las condiciones geológicas del sitio de la presa, revisión del estudio del peligro sísmico, revisión de las condiciones hidrológicas, simulación del comportamiento y la evaluación geotécnica.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, en este capítulo se ha considerado el criterio de diseño, el método de sobreelevación, diseño civil, diseño geotécnico y el análisis de equilibrio límite para el talud.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES, se han desarrollado principalmente las conclusiones del estudio de investigación y dar sugerencias para continuar con la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Quando una relavera colmatada causa desastre ambiental este desastre comenzó el día 23 de marzo con intensas lluvias en las zonas cordilleranas donde generalmente nieva. Las lluvias inéditas de gran magnitud provocaron que el hielo, nieve se derritieran y junto a la ausencia de vegetación comenzara la formación de diferentes aludes de lodo y rocas que desbordaron los cauces naturales de los ríos arrasando con faenas mineras, caminos y puentes. El desastre afectó a varias localidades. Los ciudadanos no fueron informados a tiempo, algunos tuvieron sólo minutos para ser rescatados.

Días después del desastre comenzaron las emergencias ambientales las cuales siguen activas debido al colapso parcial de muchos relaves y otras fuentes de tóxicos de la minería, los ciudadanos tuvieron días de picazón en el cuerpo y ardor de los ojos, el removimiento del lodo de las casas y calles se hizo con maquinaria, pero también con pala y carretilla junto a los mismos pobladores. Los ciudadanos afectados estuvieron y están expuestos a niveles altísimos de Plomo, Cadmio, Cobre, Hierro, Mercurio, Ácido Sulfúrico, Arsénico, entre otros contaminantes que utiliza y desecha la minería.

El origen de este y otro desastre ambiental se da cuando están colmados los embalses terrestres que almacenaban los relaves, se procedió en forma brutal a vaciar ese caudal al río, un pequeño hilo de aguas naturales (es preciso señalar que esta zona de nuestro país tiene escasez de agua tanto para consumo humano como para la agricultura). Así en el curso de varios años fueron arrojados a diferentes ríos, más de 320 millones de toneladas de sólidos residuales mineros y unos 850 millones de toneladas de aguas servidas del proceso industrial de la Minería. La situación de los diversos asentamientos mineros han sido citados en foros nacionales e internacionales como “el más brutal ejemplo de lo que nunca debiera hacerse”; millones de toneladas de relaves arrojadas al río y que tarde o temprano llegan al mar, convirtiendo a sus aguas sin vida. Las arenas blancas, con extrañas vetas de color verdoso, las que no son

otra cosa que residuo mineral y químico con connotación corrosiva, reactiva y tóxica.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La minería polimetálica está frente a la limitada disponibilidad de agua fresca en zonas áridas donde la mayor parte de la pequeña, mediana, la gran de la minería y ante la potencial posibilidad de extraer el recurso hídrico a partir del desaguado de los relaves. En otras partes del mundo, especialmente Europa, África y Australia, a medida que el agua limpia y potable se vuelven más escasos, todo aquel proceso que reduzca su consumo o que permita su re-uso en la minería, gana más importancia. Se estima que el proceso metalúrgico requiere el uso entre 0,4 a 1,6 m³ por tonelada de mineral procesado, con una media del orden de 0,7 m³. En el caso de minería aurífera el consumo medio está alrededor de 1 m³ por tonelada de mineral.

Los relaves pueden ser almacenados de diferentes maneras dependiendo de su naturaleza físico-química, la topografía, condiciones climáticas y el contexto socio-económico, sin embargo, el requerimiento básico de un depósito de relaves es proveer almacenamiento seguro, estable y económico con mínimo impacto a la salud y ambiental durante su operación y después de ella.

La razón por la cual una presa de relaves convencional falla no es por la presa en sí, sino por el hecho de que una presa convencional retiene una gran masa de sólidos poco consolidados y una cantidad elevada de agua de proceso, elementos que sumados a una fuerza externa producen el más catastrófico de los fenómenos: La licuefacción. Se define la licuefacción como el proceso de pérdida de resistencia de ciertos tipos de suelos saturados en agua cuando son sometidos a fuerzas externas (como por ejemplo un movimiento sísmico). La pérdida de resistencia del suelo hace que la masa se comporte como un líquido, y una vez en este estado líquido, los relaves pueden viajar varios kilómetros aguas abajo, como ocurrió en la catástrofe de Stava en Italia en 1985 donde 250 000 m³ de relaves licuefactados arrasaron el valle de Stava, alcanzando una velocidad de hasta 90 km/h, y sepultaron dos pueblos con ellos 268 muertes, convirtiendo así este suceso como al peor desastre ocurrido en una instalación de manejo de relaves en Europa.

Sólo en el año 2000, nueve fallas de presa de relaves han sido reportadas en China, Rumania, Suecia y Nueva Guinea.

La principal contribución en seguridad, es que incluso si una presa de relaves espesados falla, el material bien consolidado y sin contenido de agua, no podrían fluir grandes distancias desde su lugar de confinamiento.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Por qué hacer el diseño de la sobreelevación del dique del depósito de relaves de la planta concentradora de Alpamarca nivel 4 703 msnm?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cómo realizar el diseño de la relavera mediante tecnologías actualizadas?
2. ¿Qué parámetros se debe considerar en el diseño de la relavera?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Hacer el diseño de la sobreelevación del dique del depósito de relaves de la planta concentradora de Alpamarca nivel 4 703 msnm.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar el diseño de la relavera mediante tecnologías actualizadas.

2. Identificar los parámetros que se debe considerar en el diseño de la relavera.

1.4. IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. IMPORTANCIA

Hace ocho años era impensable la extracción y tratamiento de minerales con leyes menores al 3,0 %, ya que resultaba económicamente inviable. Sin, embargo, hoy en día, la escasez del recurso minero y el aumento en la demanda, ha motivado al tratamiento de depósitos con contenidos no mayores a 0,2%, y que son factibles económicamente sólo si son explotados a gran escala, lo cual, a su vez, requiere un mayor uso de agua y genera una mayor cantidad de relaves como desecho.

En nuestro país, hay región árida y de poca disponibilidad de agua, en la mayor parte de las plantas de concentración de minerales polimetálicos el suministro de agua limita en muchos casos las operaciones y/o restringe la ampliación de éstas.

En el presente estudio, se pretende obtener información para determinar el diseño de una sobreelevación de la estructura para aplicación en la relavera existente.

1.4.2. LIMITACIONES

La investigación a realizarse tendrá como el diseño de sobreelevación para incrementar su volumen de la relavera, teniendo en cuenta que la bibliografía es escasa en el mundo de la minería, así como también se llevará a cabo en un lapso de 6 meses de estudio.

1.5. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación está enmarcada para el uso del diseño de sobreelevación, existe actualmente un compromiso ambiental y social en la reducción del impacto de toda operación minera. Hoy en día, las tecnologías de disposición de relaves convencionales, aguas arriba, aguas abajo y centrales, son vistas por el público como instalaciones inestables, como lo evidencia el gran número de incidentes reportados en este tipo de instalación.

Las ventajas ambientales y sociales más importantes de los relaves son:

- Disminución del área de impacto requerida para la disposición de grandes volúmenes de relaves; disminución de la contaminación de suelos y aguas subterráneas.
- Reducción y/o eliminación de la generación de agua ácida y transporte de contaminantes.
- Disminución de la exposición de vida salvaje a agua potencialmente contaminada o a relaves blandos donde pueden quedar atrapados.

El atractivo de reducir los costos de la gestión de relaves en el corto plazo debe ser sopesado cuidadosamente contra la posibilidad de incrementar los costos sociales y ambientales en la clausura y más allá. Esto requiere un modelo robusto y flexible de riesgos, asociado a un análisis de beneficio-costos para tomar la decisión correcta durante la vida de todo el proyecto. La salud pública, así como los riesgos de seguridad e impactos sociales y ambientales deben ser considerados, incluyendo aquellas situaciones en las que se podrían liberar contaminantes en el largo plazo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el presente estudio de investigación se desarrollará en la aplicación de la tecnología actual en sobre elevación del dique.

2.1. ANTECEDENTES

Es así que hoy en día las dos principales aplicaciones de la tecnología de desaguado de relaves pueden clasificarse en dos grandes tendencias: disposición subterránea (o relleno en pasta), y disposición superficial. Actualmente existen muchas operaciones que emplean la tecnología de relaves espesados y en pasta, se estima en cerca de 30 plantas similares alrededor del mundo que han entrado en operación o se encuentran en etapas de diseño o

construcción. Este número vendrá en aumento, ya que las limitaciones del pasado, principalmente costo y falta de tecnología, se han adelgazado. Hoy en día, la tecnología de espesadores permite la producción de descargas altamente densificadas, a la vez que los costos se han reducido significativamente.

Disposición superficial. - La disposición de relaves mineros históricamente ha sido en forma de pulpa, y en grandes extensiones destinadas para tal propósito, las cuales requieren de grandes inversiones asociadas a infraestructura y obras de ingeniería, y además en la mayoría de casos representan un alto costo operativo. Sin embargo, la tecnología de relaves en pasta y espesados no sólo generó el interés de la industria minera en el campo de la disposición superficial desde el punto de vista económico (costos de inversión y de operación) sino también desde el aspecto ambiental y geotécnico.

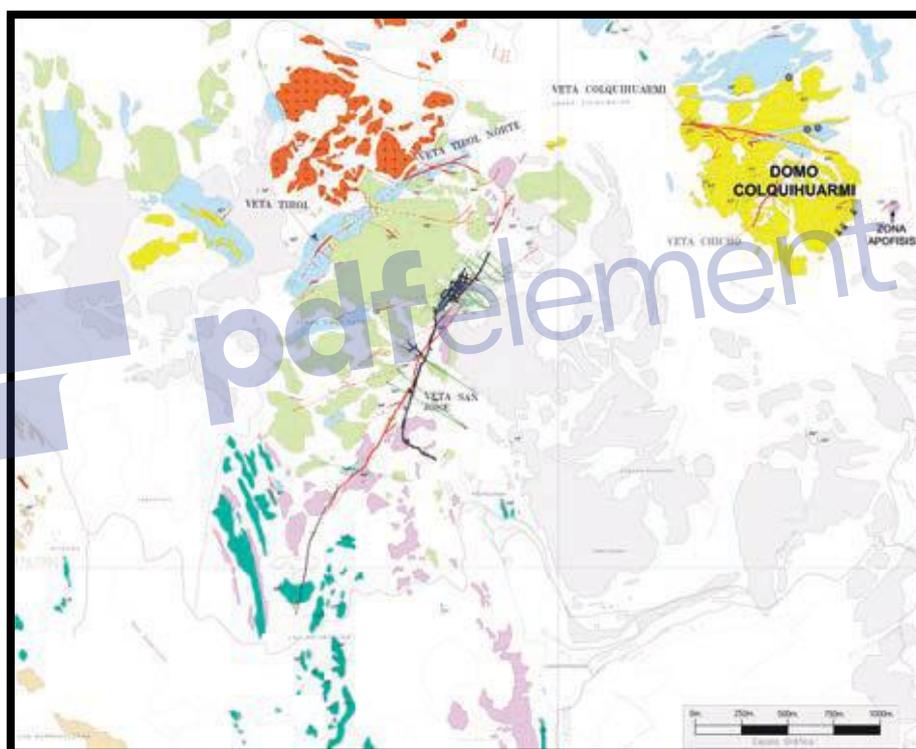
2.2. BASES TEÓRICAS

Para plantear el marco teórico debemos de manifestar lo que entendemos sobre las pruebas que se realizan a un determinado mineral y de esa manera poder plantearnos el sistema de elevación de la barrera de la relavera y ampliar el volumen de almacenamiento de los residuos finos sin valor económico es decir depositar la ganga.

2.2.1. MARCO CONTEXTUAL

La unidad Alpamarca se encuentra ubicada en el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, provincia de Yauli y departamento de Junín, a 182 km al este de Lima.

Figura N° 2.1: Plano de ubicación de la Unidad Minera Alpamarca



Fuente: Volcán Compañía Minera

Alpamarca, que inició sus operaciones en abril del 2014, está conformada por una mina subterránea de Río Pallanga, el tajo abierto Alpamarca y una planta concentradora denominada Alpamarca.

La planta tiene una capacidad instalada de 2,000 tpd de acuerdo al diseño. Inició sus operaciones después del periodo de prueba realizado por una empresa especializada en compañía de los profesionales de Alpamarca. El periodo de arranque se desarrolló con un *ramp up* de 50%, 90% y 100%; iniciado el 20 de marzo y alcanzando el 100% de la capacidad instalada en mayo 2014. En junio, se superó su capacidad nominal instalada en un 15%.

Durante el periodo abril a diciembre del 2017, el tratamiento de mineral procedente de Alpamarca y Río Pallanga alcanzó los 0.6 millones de toneladas con leyes de 1,25% Zn, 0,79% Pb, y 4,0 oz Ag/TM, lo que representó el 8% del mineral tratado de Volcan consolidado.

Volcan viene desarrollando un intensivo programa de exploración, iniciado durante el segundo semestre del año 2016, en sus unidades mineras de Yauli, Chungar y Alpamarca. Este programa ha permitido confirmar la continuidad de las principales estructuras mineralizadas en las diferentes unidades y un importante potencial geológico. Más adelante en la sección de Exploraciones y crecimiento se detalla ampliamente el programa de exploraciones.

2.2.2. FASES DE UN FLUIDO

Los elementos y compuestos en la naturaleza se presentan en 3 fases: fase sólida, líquida y gaseosa. Un fluido puede contener más de una fase y seguir comportándose como tal. De acuerdo a este criterio, los fluidos pueden ser clasificados como:

1. Unifásicos: Líquido o gas.
2. Bifásicos: Líquido-gas, líquido-sólido o gas-sólido.
3. Multifásicos: Fluidos que contienen los tres estados.

En el caso que nos compete, los relaves son considerados fluidos bifásicos compuestos de una fase sólida (mineral) y una fase líquida (agua). En el presente estudio haremos referencia a este tipo de fluidos simplemente como “pulpas”.

2.2.3. RELAVE MINERO

Se trata de gigantescos depósitos de desechos tóxicos que contienen arsénico, plomo, mercurio, sales de cianuro y químicos propios del procesamiento minero que se acumulan en millones de toneladas. Las consecuencias sobre la vida humana y el medioambiente que estos confinamientos de material contaminante producen son incalculables. A esto se suma que

en nuestro país no existe una regulación estricta en relación al acopio de desechos de la industria extractiva.

Así, la gran industria extractiva ha demostrado ser incapaz de conjugar su desarrollo con el de las comunidades cercanas a sus explotaciones, de manera que se preserven tanto su estilo de vida como el ecosistema.

Según Wikipedia: el relave (o cola) es un conjunto de desechos tóxicos de procesos mineros de la concentración de minerales, usualmente constituido por una mezcla de rocas molidas, agua y minerales de ganga (o sin valor comercial), aunque también se encuentran bajas concentraciones de metales pesados, tales como cobre, plomo, mercurio y metaloides como el arsénico¹.

Los relaves contienen altas concentraciones de productos químicos y elementos que alteran el medio ambiente, por lo que deben ser transportados y almacenados en «tranques o depósitos de relaves», donde los contaminantes se van decantando lentamente en el fondo y el agua es recuperada mayoritariamente, y otra parte se evapora. El material queda

¹ «Relave». lema.rae.es. Consultado el 7 de abril de 2015.

dispuesto como un depósito estratificado de materiales sólidos finos. El manejo de relaves es una operación clave en la recuperación de agua y para evitar filtraciones hacia el suelo y napas subterráneas, ya que su almacenamiento es la única opción. Para obtener una tonelada de concentrado, se generan casi 30 toneladas de relave.

Dado que el costo de manejar este material es alto, las compañías mineras intentan localizar los "tranques o depósitos de relaves" lo más cerca posible a la planta de procesamiento de minerales, minimizando costos de transporte y reutilizando el agua contenida.

Otras definiciones de relave se dan como que corresponde al residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación.

Este residuo, también conocido como cola, es transportado mediante canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos (arenas y limos).

2.2.4. LA ACTIVIDAD MINERA Y EL ORIGEN DEL RELAVE

La minería es una actividad extractiva que consiste en la obtención selectiva de minerales y otros materiales obtenidos de la corteza terrestre, la cual, en muchos casos, implica la extracción física de grandes cantidades de materiales de la misma, para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto deseado.

Existe una gran variedad de minerales explotados a lo largo del territorio nacional como los metales (oro, plata, cobre, hierro, etc.), los minerales industriales (potasio, azufre, cuarzo, etc.), los materiales de construcción (arena, áridos, arcilla, grava, etc.), las gemas (diamantes, rubíes, zafiros y esmeraldas), y combustibles (carbón, lignito, turba, petróleo y gas). La Guía

Para el Manejo de Relaves Mineros sostiene que el chancado y molienda de minerales genera un volumen de relaves que es aproximadamente dos tercios más grande que el volumen original del mineral “in situ”, es por ello que su disposición, procurando que sea económicamente factible, así como física y químicamente estable, es tal vez el mayor problema ambiental asociado con el desarrollo minero.

2.2.5. EL AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA

El agua es uno de los recursos naturales más importantes e indispensables para todas las formas de vida, entre estas nosotros los seres humanos, siendo una sustancia de capital importancia para la vida con excepcionales propiedades consecuencias de su composición y estructura. Es una molécula sencilla formada por tres pequeños átomos, uno de oxígeno y dos de hidrogeno, enlaces polares que permitan establecer puentes de hidrogeno entre moléculas adyacentes.

2.2.6. USO DE AGUA EN PROCESOS MINEROS

Minería a cielo abierto: su uso principal de agua es en el riego de vías internas para reducir el polvo en suspensión Minería subterránea, es reducido y el problema consiste más bien en extraer el agua natural apozada al fondo de los trabajos, la que puede provenir de lluvias o de acuíferos afectados.

2.2.7. GUÍAS AMBIENTALES PARA LAS ACTIVIDADES MINERAS

De acuerdo con el Decreto Supremo 16-93-EM, la DGAA entrega una diversidad de guías de procedimiento para la ejecución de proyectos mineros en Perú. Todas se han

formulado con el propósito de promover el objetivo general de lograr un desarrollo sustentable. Estas entregan un esquema básico para la preparación exitosa de documentos de EIA y para otras áreas del diseño de proyectos mineros.

Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita Es una solución al problema de generación de aguas ácidas de los efluentes de la industria minera que provienen de los procesos metalúrgicos de flotación. Este tratamiento alternativo se constituye en un eficaz método de remediación de efluentes metalúrgicos a un bajo costo debido a la abundancia de la dolomita. La remediación se logra mediante las reacciones químicas espontáneas y simultáneas de neutralización, precipitación y adsorción de los iones metálicos disueltos de cobre que se producen durante la agitación de la mezcla.

Límites de Máximos Permisibles para efluentes líquidos La Resolución Ministerial N° 011-96- EM/VMM de 1996 del MEM define los límites permisibles para los efluentes de la industria minera. Dicho documento establece dos listados de parámetros y sus niveles máximos para ser aplicados en dos casos:

- i) operaciones futuras y
- ii) unidades mineras en operación o que reinician operaciones.

El documento citado presenta un plazo máximo hasta el año 2006 para que todas las operaciones mineras se sometan al conjunto de normas del primer caso las cuales se da en la siguiente tabla:

Tabla N° 2.1: límites máximos permisibles en la actividad minera.

Parámetros (mg/l)	Límites para muestras puntuales	Promedio anual
pH	6 – 9	6 – 9
STS	50	25
Pb*	0,4	0,2
Cu*	1,0	0,3
Zn*	3,0	1,0
Fe*	2,0	1,0
As*	1,0	0,5
CN total	1,0	1,0
* Concentraciones disueltas		

Fuente: MINAM

2.2.8. IMPACTO AMBIENTAL DE LA ACTIVIDAD MINERA

Impactos ambientales. Se trata de los efectos que los relaves provocan en los entornos donde se depositan y confinan, lo cual, al hacerse sin las precauciones técnicas recomendadas, puede provocar daños en cuerpos acuíferos (ríos, lagunas, napa freática), suelos y atmósfera Contaminación del aire: el aire puede contaminarse con impurezas sólidas, por ejemplo polvo y combustibles tóxicos o inertes, capaces de penetrar hasta los pulmones, provenientes de diversas fases del proceso Afectación de las aguas superficiales: los residuos sólidos finos

provenientes del área de explotación pueden dar lugar a una elevación de la capa de sedimentos en los ríos de la zona

Afectación de las aguas subterráneas o freáticas: aguas contaminadas con aceite usado, con reactivos, con sales minerales provenientes de las pilas o botaderos de productos sólidos residuales de los procesos de tratamiento 7. Riesgo de salud ambiental La Organización Mundial para la Salud adopta la concepción de Salud como aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que tiene que ver con los factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales. Así como también la evaluación, corrección, control y prevención de los factores ambientales que pueden afectar en forma directa e indirectamente la salud de las generaciones presentes y futuras.

2.2.9. DISEÑO HIDRÁULICO

El proyecto de cierre para la presa de relaves que se producirán en la planta y es realmente pequeño (pequeña minería artesanal), planta que además tiene una tecnología apegada a su capacidad de producción.

Puesto que se mencionó que no existirán empujes hidrostáticos y además con la finalidad de durante el análisis de alternativas disminuir los costos, se evaluaron dos alternativas en las que se

considera utilizar únicamente materiales del sector, así como se busca facilitar el proceso constructivo.

2.2.10. DISEÑO ESTRUCTURAL CIERRE DE LA PRESA DE RELAVES CON UN DIQUE DE TIERRA

Las metodologías propuestas al inicio de las operaciones se toman en cuenta que para calcular la estabilidad de los diques de tierra tienen en cuenta las condiciones cambiantes de las cargas y el régimen de infiltración que se desarrolla desde la construcción hasta el llenado y se basan en la resistencia al corte del suelo.

El análisis de la estabilidad de taludes se efectúa en situaciones de saturación o desembalse rápido, condiciones dinámicas que en el presente caso no se presentarán por que el embalse no contendrá agua.

En las circunstancias de operación de este dique se efectúa el análisis estático, comprobando los coeficientes de estabilidad al volcamiento y al deslizamiento y las presiones contra el suelo de cimentación en las condiciones normales y pseudo-estáticas o sísmicas.

2.2.11. DISEÑO ESTRUCTURAL CIERRE CON DIQUE DE HORMIGÓN CICLÓPEO

La estabilidad del muro de hormigón ciclópeo tiene similar sistema de comprobación y su cálculo.

2.2.12. CIERRE DE LA PRESA DE RELAVES CON MURO DE HORMIGÓN CICLÓPEO

La presencia en el sector de inmensas cantidades de piedra de excelente calidad, sugirió intrínsecamente la posibilidad de utilizar este material como elemento básico para la construcción del cierre que conformaría el vaso donde se van a depositar los relaves y por lo tanto su diseño, bajo las siguientes condiciones:

- La altura libre del cierre es de 5,5 m, altura con la cual se cubre el volumen de relaves por un tiempo de 5 años.
- El volumen del vaso de almacenamiento es de 6 615 m³ que comparado con el volumen aproximado de producción que es de 5 000 m³.
- El ancho de la corona por facilidad de construcción tendrá 0,4 metros.
- En función de la clasificación del suelo que se utilizaría en la construcción del dique y de las condiciones de humedad que tendría el relave con un máximo de 15 %, lo cual implica

ausencia de presiones hidrostáticas, se toma como elemento actuante de empuje al relleno de los relaves, de tal forma que la estabilidad y la sección del muro dependen de las alturas que son variables.

- El volumen de hormigón ciclópeo que se utilizará en el dique es de 984 m^3 y el área a impermeabilizarse con la geomembrana es de $2\,918 \text{ m}^2$ y su especificación es: HDP; e = 1,5 mm ancho de rollo 7,5 m y longitud 150 m. Es notorio que este tipo de estructura disminuye el área del vaso consecuentemente el área de geomembrana.
- Tampoco se considera borde libre por cuanto el vaso no contendrá agua, de manera que el depósito de los relaves puede llegar hasta la cresta.
- El paramento que estará en contacto con los relaves será cubierto con la geomembrana, en una altura de 1 m con lo cual se garantiza la impermeabilidad en la unión suelo - muro, evitando la filtración de posibles residuos líquidos contaminados con cianuro.
- El muro de hormigón no necesita protección contra la erosión eólica.
- No se considera ningún tipo de drenaje en el cuerpo del dique en vista de que no habrá contacto directo con agua debido a la impermeabilización y la ausencia de aguas freáticas.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

Concentración. - El proceso por el cual el mineral se separa en concentrados de metal y material de desecho a través de procesos como el chancado, la molienda y la flotación. Los concentrados se envían a una fundición

Concentrado. - Un producto intermedio fino y polvoriento del proceso de molienda formado por la separación de un metal valioso del desperdicio.

Concentradora. - Las instalaciones en las que se procesa el mineral para separar los minerales de la roca madre.

Depósito mineral. - Concentración natural de material valioso que puede ser extraído y vendido con una ganancia.

Depósito mineral o material mineralizado. - Un cuerpo mineralizado subterráneo que ha sido interceptado por un número suficiente de huecos de perforación espaciados estrechamente y/o muestreo subterráneo para sustentar un tonelaje o ley de mineral suficientes como para garantizar la futura exploración o desarrollo. Los depósitos minerales o los materiales mineralizados no califican como una reserva de mineral minable comercial (las reservas probables o probadas), tal como se describe de acuerdo con las normas de la Comisión, hasta que se concluya un estudio de factibilidad integral económico, técnico y legal en base a los resultados de las pruebas.

Exploración. - Prospección, muestreo, manejo, perforación diamantina y otros trabajos comprendidos en la búsqueda de mineral.

Explotación. - Actividades relacionadas con un depósito mineral que empiezan en el punto en que se puede estimar de manera razonable que existen reservas económicamente recuperables y que, en general, continúan hasta que la producción comercial empieza.

Flotación. - Proceso para concentrar materiales en base a la adhesión selectiva de ciertos minerales a las burbujas de aire en una mezcla de agua con mineral molido. Cuando se agregan los químicos correctos al baño de agua espumosa de mineral que ha sido molido a un polvo fino, los minerales flotan a la superficie. El concentrado de la flotación rico en metales se desprende posteriormente de la superficie.

Mineral. - Es aquella sustancia sólida, natural, homogénea, de origen inorgánico, de composición química definida.

Muestra. - Una pequeña porción de roca o de un depósito mineral que se toma para poder determinar por ensayo el contenido de metales.

Muestreo. - La selección de una parte fraccional pero representativa de un depósito mineral para el análisis.

Plomo. - Un elemento metálico blanco azulado, pesado, blando maleable y dúctil pero inelástico que se encuentra sobre todo en combinación y se usa en tuberías, fundas de cable, baterías, soldadura, metal para tipos, y escudos contra la radioactividad.

Relave. - Los relaves son desechos tóxicos subproductos de procesos mineros y concentración de minerales, usualmente una mezcla de tierra, minerales, agua y rocas.

Relavera. - Una depresión usada para colocar los relaves de la operación minera, su principal función es permitir el tiempo suficiente para que los metales pesados se sedimenten.

Sobreelevación. - Aumentar de tamaño en forma vertical de una pared.

2.4. HIPOTESIS:

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si hacemos el diseño de la sobreelevación del dique del depósito de relaves de la planta concentradora de Alpamarca entonces se tendrá un nivel de 4 703 msnm.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS:

1. Si realizamos el diseño entonces mejoramos la relavera mediante tecnologías actualizadas.
2. Si identificamos los parámetros que se debe considerar entonces tendremos un diseño de la relavera.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Nivel 4703 msnm

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Diseño de la sobreelevación del dique del depósito de relaves

2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES

Variable independiente

- Criterio de diseño
- Método de sobreelevación
- Diseño civil
- Diseño geotécnico
- Análisis de equilibrio límite para el talud

Variable dependiente

- Relaves

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El trabajo será **aplicado** utilizando la metodología analítica y deductiva, se tomarán muestras representativas de las aguas del rebose del espesador. Las pruebas experimentales se realizarán en el laboratorio químico metalúrgico empleando un espesador a nivel batch.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El Diseño empleado en la presenta investigación es el de carácter **experimental**; metodología que permite establecer la relación

existente entre la aplicación de la variable independiente en el proceso y el resultado obtenido, considerado como variable dependiente, teniendo en cuenta para ello el problema principal planteado, y que será desarrollado dentro del contexto de la investigación como experimental - condicionada. Para cumplir con la Metodología y diseño de la investigación, el control de las pruebas experimentales se llevará a cabo mediante una observación controlada de la variable independiente y de aquellas que intervinieron circunstancialmente y que han afectado o favorecido en los resultados de la variable dependiente.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta los Objetivos de la Investigación y la naturaleza del Problema planteado, para el desarrollo del presente estudio se empleó el Tipo de Investigación “**cuasi experimental**”, porque permite responder a los problemas planteados, para el diseño de sobreelevación del dique de relave, describiendo y explicando las causas - efectos, traducidos en resultados obtenidos de las pruebas experimentales.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

Como población de estudio lo considero al caudal de relave que ha de ser transportado después de realizarse la flotación de la mena. .

3.4.2. MUESTRA

Como muestra de estudio es la recolección de las partículas finas sin valor económico llamado ganga.

3.5. ESTUDIO DEFINITIVO DEL DEPÓSITO DE RELAVES ALPAMARCA

La Compañía Minera de Alpacamarca proyectaba un nuevo depósito de relaves ubicado en la Quebrada Chingará al Nor Este de la Unidad Minera; el proyecto consistía en la construcción de un dique de arranque de material de préstamo conformado por gravas arcillosas, y seguidamente una sobreelevación con material de relaves gruesos proveniente de procesamiento de relaves con hidrociclones. Sin embargo las pruebas piloto que Compañía Minera Alpacamarca ha desarrollado en la roca a tratar para la recuperación de mineral, determino que la producción de relaves gruesos es menor a la necesaria para la sobreelevación del depósito, en tal sentido,

Compañía Minera Alpamarca ha solicitado a Geoservice Ingeniería, elaborar la “Estudio de la Sobreelevación del Dique del Depósito de relaves Alpamarca nivel 4703 msnm”, para lo cual se considere el empleo de materiales de préstamo para la sobreelevación; tales como desmonte de mina proveniente de la explotación del Tajo Abierto de la mina.

La presa Alpamarca, será diseñada teniendo en consideración los siguientes criterios:

- Producción de Relaves Finos 2500 TMDS.
- Estudio hidrológico.- Ha permitido dimensionar el borde libre de la presa.
- Investigaciones Geotécnicas.- Ha permitido definir las condiciones geotécnicas de la cimentación de la presa y parámetros geotécnicos de los materiales de construcción.
- Evaluación y Diseño Geotécnico.- Ha permitido dimensionar la presa mediante los análisis de estabilidad contra deslizamiento y contra erosión interna

3.5.1. UBICACIÓN Y ACCESOS

La Mina Alpamarca se ubica en una meseta entre las cordilleras Occidental y Oriental de Junín – Cerro de Pasco, a una altitud de 4,700 metros sobre el nivel del mar.

Políticamente se ubica en:

Paraje : Cerro Alpamarca.
Distrito : Santa Bárbara de Carhuacayán.
Provincia : Yauli.
Departamento : Junín.

La zona cuenta con buena conexión vial hacia Lima y La Oroya a través de la Carretera Central, vía asfaltada. Desde el puente sobre el río Yauli en el km 158, se tiene comunicación terrestre mediante carreteras afirmadas hasta Pomacocha, así mismo se cuenta con caminos carrozables hacia Pirhuacocha, y asientos mineros en la ruta.

Así mismo existe otra vía de comunicación a través de Canta mediante una carretera asfaltada de Canta a la Mina Alpamarca mediante un trocha carrozable.

La presente investigación tiene como objetivo rediseñar la presa del depósito de relaves Alpamarca, recreciendo la presa con el método Aguas Abajo, empleando material de préstamo y considerando que solo se va almacenar relaves en el vaso.

Los objetivos específicos del proyecto para el diseño de la presa a fin de almacenar 8 948 505,00 m³ de relaves desde la cota 4668 msnm hasta la cota 4 701 msnm correspondientes a una producción de 2 500 TMSD de relave son:

Diseñar la sobreelevación del depósito de relaves para el almacenamiento de los residuos que se generan por el tratamiento metalúrgico.

Definir la geometría de la sección de la presa, considerando que el terraplén estará sometido a los siguientes mecanismos de falla:

- Ruptura con rotura por traslación.
- Ruptura o extrusión de la fundación bajo el terraplén intacto.
- Ruptura del conjunto terraplén-fundación, en la superficie de ruptura bien definida.

3.5.2. REVISIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS DEL SITIO DE LA PRESA

Geológicamente, la zona del proyecto se encuentra emplazada en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes. Las formaciones litológicas comprenden rocas sedimentarias (Formación Casapalca – calcarenitas) y volcánicas (Formación Yantac-Margas) cuyas edades van del Cretáceo Terciario

Inferior estando cubiertas parcialmente por depósitos inconsolidados del Cuaternario.

Condiciones Geológicas de la Zona del Dique y el Vaso de Relaves

El Eje del Dique de Relaves se ubica transversal a la quebrada principal.

Este es un típico valle glaciar en forma de “U”, en cuyo origen aparecen depósitos fluvio glaciares y aguas abajo depósitos de suelos blandos, con un espesor de hasta 25 metros de suelo orgánico, de acuerdo a las perforaciones diamantinas y sondeos SPT realizados en la zona del vaso.

Hacia el lado izquierdo de la zona donde su ubicará el estribo, afloran rocas de la Formación Yantac (Pe-y), consistentes en calcarenitas grises, de naturaleza volcánica, se presentan poco a medianamente alteradas, fracturadas a muy fracturadas, medianamente duras. Se presentan afloramientos subverticales y verticales, con fracturación persistente, moderadamente permeables. El eje del Dique cruza el centro de la quebrada, justo en la zona donde se estrecha el valle, esto es debido a que existen afloramientos de rocas a ambos lados del valle. Se

encuentra toda esta zona saturada de agua, debido a que el río pasa por ese lugar. En consecuencia, el espesor de la capa de suelo blando en dicho sector disminuye su potencia, de acuerdo con los resultados de las perforaciones diamantinas y ensayos SPT el Suelos blando presenta aproximadamente 4.00 m de potencia. Bajo esta zona se presenta roca alterada, muy fracturada, medianamente dura; presumiblemente cercana al contacto entre las Formaciones Casapalca (Kp-Ca) y Yantac (Pe-y), debido a la alternancia de los distintos tipos de roca encontrados, presentan una moderada permeabilidad.

La zona correspondiente al estribo derecho está íntegramente en rocas de la Formación Casapalca (Kp-ca), medianamente alteradas, extremadamente fracturadas, Y medianamente duras.

Las rocas que se encuentran en superficie son margas de color gris verdoso y calcarenitas grises.

En profundidad, se encuentra el miembro más característico de la formación, es decir las capas rojas constituidas de areniscas y margas de color marrón rojizo.

Esta zona del dique se ubica en la cresta de un cerro con orientación N-S, donde aflora directamente la roca, salvo pequeña cobertura de suelo, con un espesor máximo de 0,50 m. Dichas rocas presentan mediana permeabilidad.

Geodinámica Externa

Los procesos geodinámicos que ocurren en el área de estudio, particularmente en las laderas del valle, son de mediano a bajo impacto, estos tienen su manifestación principalmente durante la temporada de lluvias. Este proceso no es trascendental y se presenta una erosión baja en los suelos suaves que rodean al proyecto de construcción de la presa de relaves.

No se evidencian mayores caídas ni desprendimiento de rocas. Tampoco se aprecian deslizamientos ni huaycos en la zona de interés.

No se observa fenómenos geodinámicos de importancia en la zona.

Las laderas de los cerros se encuentran estables, no hay zonas peligrosas que indiquen caída de bloques. No hay evidencias de deslizamientos de tierra, tampoco de huaycos.

Como una observación, se debe tener cuidado en el estado de los caminos que se dirigen hacia la zona, ya que la circulación de vehículos y maquinaria pesada deteriora las vías, especialmente en la época de lluvias, en las que se vuelven casi intransitables, por lo que necesita mantenimiento continuo.

3.5.3. REVISIÓN DEL ESTUDIO DE PELIGRO SÍSMICO

Para la evaluación del peligro sísmico se ha tomado como referencia el Informe presentado a la COMPAÑÍA MINERA ALPAMARCA S.A.C. realizado por la empresa ZER GEOSYSTEM PERÚ S.A.C. (Octubre, 2016).

En la evaluación del peligro sísmico para las obras proyectadas del nuevo depósito de relaves, se han realizado las siguientes tareas:

- ✓ Determinar la sismicidad regional.
- ✓ Identificar las características sismotectónicas.
- ✓ Estimar la atenuación de los efectos sísmicos regionales.
- ✓ Estimar el sismo extremo y el sismo de diseño.

La evaluación del peligro sísmico se ha efectuado por medio de métodos determinísticos y probabilísticos, para finalmente proponer niveles sísmicos del movimiento máximo del suelo en el área.

Determinación del Peligro Sísmico

La evaluación del nivel de peligro sísmico en Alpamarca, se ha realizado el análisis de peligro sísmico mediante métodos

probabilísticos y determinísticos, utilizando la información sísmica disponible para definir las fuentes sismogénicas que afectan esta región.

El siguiente cuadro resumen se presenta los resultados probabilísticos y determinísticos de aceleraciones:

Tabla N° 3.2: Aceleraciones de Diseño.

Análisis	Aceleración Horizontal Máxima (g) Para un periodo de Retorno 475 años		
	Roca	Suelo	
	Youngs y al. 1997 (P50)	Youngs y al. 1997 (P50)	CISMD 2016 (P50)
Probabilístico	0,26	0,41	0.39
Determinístico	0,15	0,26	0.53

Fuente: ZER GEOSYSTEM PERÚ S.A.C.

Para el caso del análisis pseudoestático, el uso de una aceleración horizontal máxima se considera que es demasiado conservador, pues su presentación es puntual conformando el valor pico. Kramer (1996) observó que los taludes de tierra no son elementos rígidos, y por consiguiente la aceleración pseudoestática empleada en la práctica, debería ser mucho menor que la aceleración máxima predicha. Sobre este particular, Marcuson (1981) sugirió que para las aceleraciones básicas de diseño, deben aplicarse coeficientes entre 1/3 y 1/2 a los valores de la aceleración máxima para el diseño.

Para los análisis de estabilidad física por métodos pseudoestáticos de los taludes, se recomienda utilizar un valor de coeficiente sísmico equivalente al 50% de la aceleración máxima de diseño (PGA).

De acuerdo al código IBC (Internacional Building Code, 2006), el cual clasifica los suelos en 6 clases, esta clasificación ha sido definida en función a la velocidad de ondas de corte promedio de un estrato de 30 m de profundidad. Teniendo en consideración la definición del IBC, para la determinación de la aceleración máxima y que la presa estará cimentada en roca y suelo (espesor máximo de 10.0m), se usara un valor de coeficiente sísmico de 0.15g, para un periodo de retorno de 475 años.

Así mismo; el profesor Bolton Seed (1979) determinó que la aceleración máxima en la corona de una presa será de 0.75 g. y que los desplazamientos permanentes serían menores de 1.00 m si se satisface el siguiente criterio de diseño:

Tabla N° 3.3: Criterio de diseño

Magnitud de Sismo	Criterio de Diseño
6,5	FS= 1,15, para un coeficiente sísmico de 0,10
8,25	FS= 1,15, para un coeficiente sísmico de 0,15

Fuente: ZER GEOSYSTEM PERÚ S.A.C.

Por consiguiente, el criterio establecido por Seed determina el empleo de los coeficientes sísmicos ampliamente utilizados, especialmente para grandes aceleraciones sísmicas (PGAs).

Por otra parte, el criterio de Hyner-Griffith & Franklin, ha sido obtenida considerando un record de sismos con rangos de aceleraciones máximas entre 0,2 y 0,3 g; que se encuentran en el rango de respuesta lineal del suelo. Sin embargo, con aceleraciones máximas (PGAs) más grandes, la respuesta de la aceleración del suelo no es lineal; por lo que el método propuesto por dichos autores no sería empleado para $PGA > 0,3$ g, por que esta fuera de la información base que la sustenta. De otro lado Harder (1991), efectuó investigaciones sobre el comportamiento sísmico de presas de tierras, mediante la instalación de sismógrafos en la cimentación y corona de la presa. La respuesta es una curva no lineal para aceleraciones mayores; lo que apoya el criterio establecido por Seed.

Aplicando el criterio de Seed que establece que para grandes aceleraciones sísmicas (PGA), el coeficiente sísmico tendrá un valor máximo de 0,15 g.

De lo expuesto se concluye que el valor de 0,15 g será empleado en el análisis de estabilidad pseudoestático de la presa Alpamarca.

3.5.4. REVISIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROLÓGICAS DEL DEPÓSITO DE RELAVES.

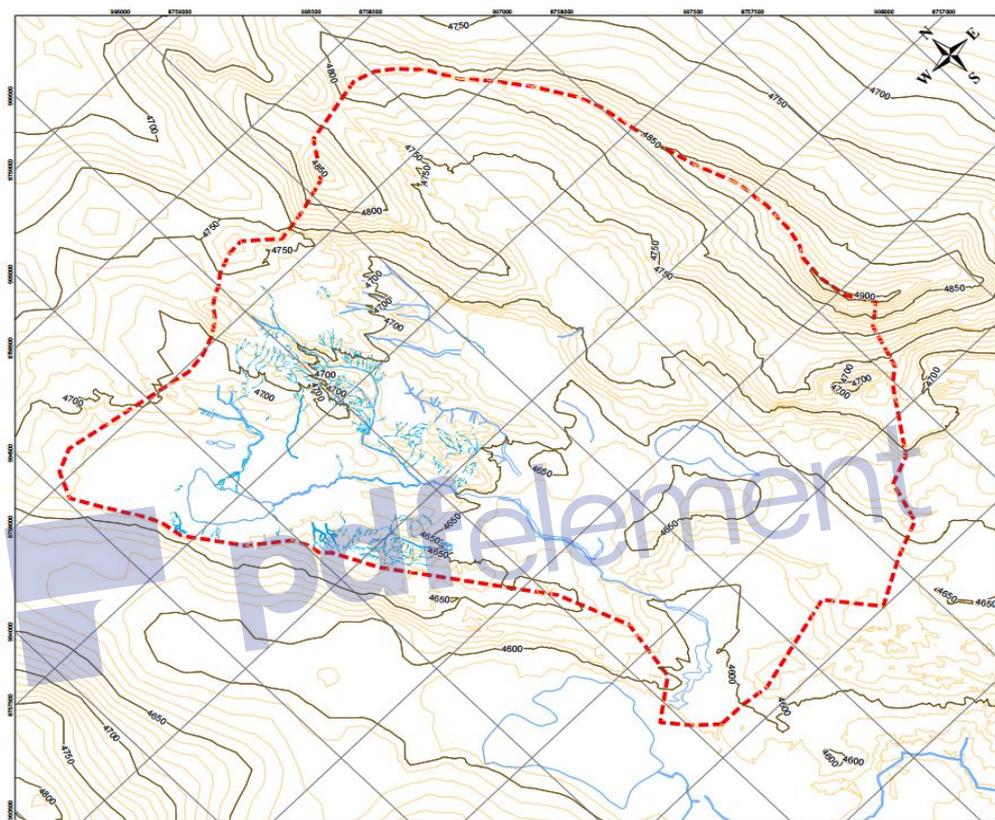
El sistema hidrológico está formado por un conjunto de glaciares, lagunas altoandinas, ríos aportantes y de desagüe, que constituyen ecosistemas especiales (humedales altoandinas) que suministran agua para uso poblacional, ganadería y para las operaciones minero-metalúrgicas.

Desde el punto de vista hidrológico el área del proyecto se encuentra ubicada en la quebrada Aguascocha, la que es un tributario de la quebrada Casacancha, la que pertenece a la subcuenca del río Conocancha, afluente por la margen derecha del río Mantaro.

La quebrada Aguascocha tiene sus nacientes en los 5250 msnm en la cordillera la Viuda, la cual está ubicada en el extremo Oeste de la región Junín. En dicha microcuenca se emplazan aproximadamente unas 13 lagunas entre las que destacan las lagunas Pucacocha, Verdecocha, Cochauman, el curso principal de agua es la quebrada Aguascocha, por otro lado destaca el cerro Alpamarca, que es donde se encuentra ubicado el

proyecto. La microcuenca Alpamarca puede ser apreciada en la siguiente figura.

Figura N° 3.1: Microcuenca Alpamarca



Fuente: Departamento de Geología

Precipitación máxima en 24 horas

Según el informe elaborado por el Ing. Nilton Ernesto Rivas Oyola (Evaluación hidrológica - hidráulica de obras de desvío para los depósitos de relaves oeste y este de la mina Alpamarca) se tiene que:

Tabla N° 3.4: Precipitación Máxima en 24 Horas

Periodo de Retorno (años)	Pmáx. en 24h (mm)
50	45,2
100	50,4
150	53,3
500	62,6
1000	67,8

Fuente: ZER GEOSYSTEM PERÚ S.A.C

Cálculo de las descargas máximas:

Para estimar el caudal pico de conducción de los canales de coronación proyectados se empleará dos métodos que se acomodan bastante bien a cuencas pequeñas:

- ✓ Fórmula racional
- ✓ Hidrograma Unitario del SCS

En ambos casos, un parámetro necesario de estimar es el llamado “tiempo de concentración” (T_c) el cual mide el tiempo que demora una partícula de agua en ir desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de interés.

Para determinarlo es necesario conocer las características morfológicas de las microcuencas en las que se dividió la totalidad de la cuenca en evaluación. Las características de

dichas áreas de drenaje correspondientes a cada punto en evaluación se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla N° 3.5: Características de las cuencas de drenaje del depósito.

Aliviadero		Área de cuenca A (km ²)	Curso más largo L (km)	Desnivel máximo H (m)	Pendiente S (%)
Depósito de Relaves	Cuenca Total	2,224	2,166	100	4,612
	Deposito	0,383	-	-	-

Fuente: ZER GEOSYSTEM PERÚ S.A.C

Existen varias expresiones propuestas por diferentes autores para obtener este valor las cuales son función de parámetros geomorfológicos de la cuenca. A continuación se calculan los tiempos de concentración obtenidos con cada expresión para cada una de las áreas analizadas.

Tabla N° 3.6: Tiempo de concentración de las cuencas de drenaje del depósito.

Autor	Fórmula	Tiempo de Concentración "T _c " (horas)
		Cuenca Total
Ventura	$t_c = 18 (L / S^{0,25})^{0,75}$	0,95
Giandotti	$t_c = 60 (4^a 0,5 + 1,5 L) / (0,8H^{0,5})$	1,15
USCE	$t_c = 12,6 (L / S^{0,25})^{0,76}$	0,68
Bransby	$t_c = 14,695 L / (A^{0,1} S^{0,2})$	0,90
Ven Te Chow	$t_c = 12,3 (L / S^{0,5})^{0,64}$	0,90
PROMEDIO T_c		0,92

Fuente: ZER GEOSYSTEM PERÚ S.A.C

Método del Hidrograma Unitario Triangular

El Método SCS o del Número de Curva (CN), del U.S. Soil Conservation Service, fue desarrollado en el año 1982, inicialmente para estimar avenidas e hidrogramas de avenidas de cuencas pequeñas; desarrollos posteriores permitieron aplicarlo a cuencas mayores, al incorporar los efectos del almacenamiento del cauce.

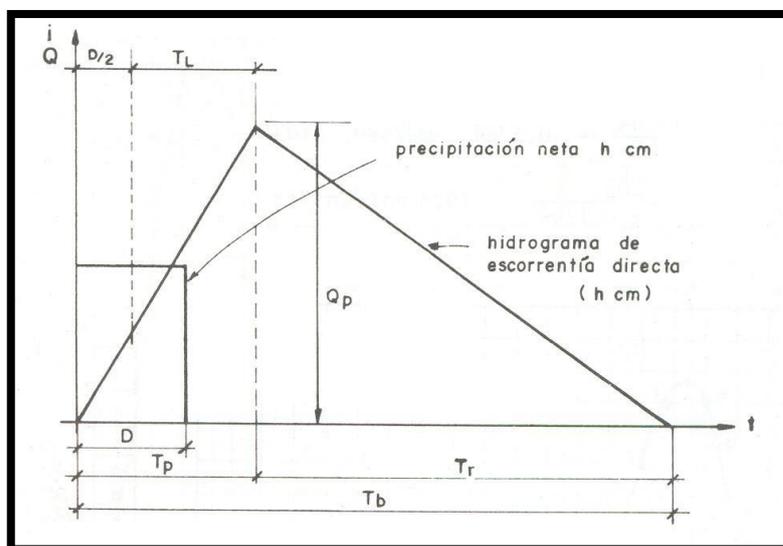
Básicamente, el método consiste en estimar un Hidrograma Triangular Unitario Sintético, a partir de las características físicas de la cuenca y un perfil de precipitación efectiva, las cuales convergen para producir un hidrograma compuesto de la avenida; se aplica principalmente en los estudios de avenidas máximas en cuencas sin aforos, determinando los valores picos del caudal en función de la tormenta de diseño seleccionada.

El método adoptado por el U.S. Conservation Service consiste en representar el hidrograma de la avenida como un triángulo de tal manera que:

$$Q_p = 2.08 \frac{A \cdot h}{T_p}$$

Los parámetros que intervienen en el cálculo del Caudal Pico (Q_p) se muestran a continuación:

Figura N° 3.2: Método del Hidrograma Unitario Triangular



Fuente: U.S. Soil Conservation Service

Donde:

h : lluvia neta, en cm

V_o : volumen de escorrentía directa, en m^3

Q_p : caudal pico, en m^3/s

T_p : tiempo al pico, en horas

T_r : tiempo después del pico, en horas

T_b : tiempo base del hidrograma, en horas

D : período de lluvia neta, en horas

T_L : tiempo de retardo, en horas

T_c : tiempo de concentración, en horas

A : área de la cuenca, en Km^2 .

Como parte de la información requerida para la formulación del hidrograma unitario es necesario determinar el tiempo e retardo (T_L) de cada una de las áreas de drenaje involucradas.

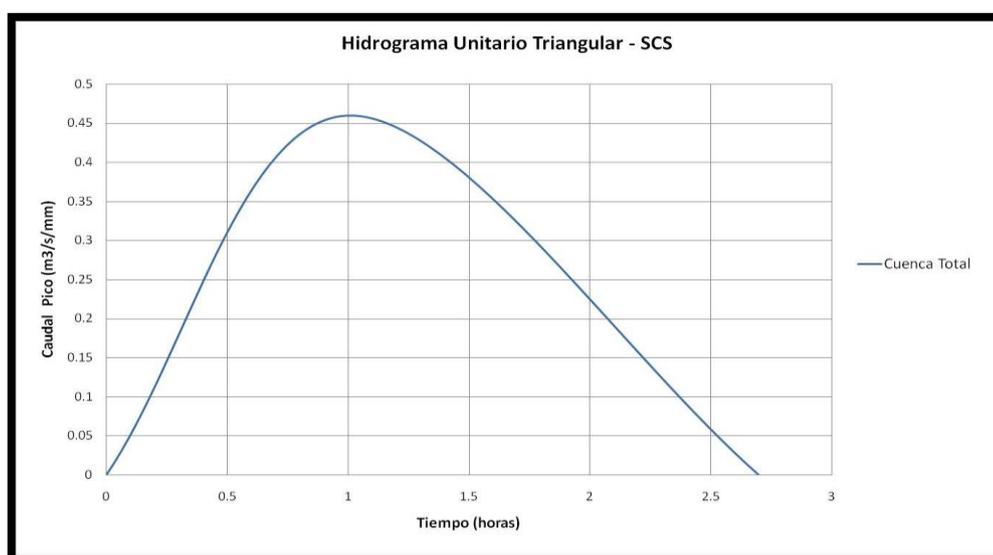
Respecto al número de curva, es importante precisar que no existe valores para las características de la cuenca existentes en el Perú; vale decir, no se ha efectuado investigaciones en éste rubro; por lo tanto, se ha tomado como referencia el **Número de Curva CN - (SCS, de los EEUU, 1964)** y se ha ajustado ó calibrado en función a las características de la cuenca interés. A continuación se presenta los parámetros del hidrograma para la cuenca en estudio la que se presenta en el Cuadro

Tabla N° 3.7: Parámetros Hidrograma Triangular

Cuenca	Tiempo de Concentración Tc (horas)	Tiempo de Retraso TR (horas)	Tiempo de Pico Tp (horas)	Tiempo Base Tb (horas)	Caudal Unitario Qp (m ³ /s/mm)
Total	0,92	0,55	1,01	2,70	0,46

Fuente: U.S. Soil Conservation Service

Figura N° 3.3: Hidrograma Unitario Triangular



Fuente: U.S. Soil Conservation Service

Los caudales máximos avenidas para el depósito son calculados por rendimientos de áreas y para diferentes periodos de retorno, obtenidos mediante los métodos utilizados son:

Tabla N° 3.8: Cálculos de caudales - Periodos de Retorno

Periodo de Retorno	P _{máx} en 24 Horas (mm)	Lluvia Efectiva Pe (mm)	Caudal Máximo (m ³ /s)	
			Cuenca Total	Deposito
50	45,20	6,42	2,95	0,51
100	50,40	8,70	4,00	0,69
150	53,30	10,08	4,64	0,80
500	62,60	14,95	6,88	1,19
1000	67,80	17,93	8,25	1,42

Fuente: U.S. Soil Conservation Service

3.5.5. SIMULACION DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRESA FRENTE A UNA AVENIDA EXTRAORDINARIA

En el análisis de descargas máximas se obtuvo que el caudal de diseño es de 1,42 m³/s, el cual ingresaría al depósito de relaves durante un tiempo igual a 6 horas que es la duración de una avenidas que se dan con más frecuencia en el Perú, de esta manera se obtiene que el volumen que ingresaría al depósito de relaves es de 30 672 m³, que cuando ingresa al depósito se lamina en toda la extensión del depósito de relaves en 0,08 m. Como el borde libre de la presa es de 2,0 m, no habría problemas puesto que el volumen generado sería eliminado por el vertedero no sobrepasando el borde libre diseñado de 2 m.

3.5.6. EVALUACIÓN GEOTÉCNICA DE LAS CONDICIONES DE LA CIMENTACIÓN PARA EL RECRECIMIENTO DE LA PRESA A LA COTA 4 703 msnm (etapa final de sobreelevación)

Como información existente se tiene investigaciones realizadas en años anteriores para conocer las condiciones geotécnicas de la cimentación de la presa Alpamarca (presa de arranque y etapas de construcción hasta la cota 4703 msnm). Las investigaciones realizadas se efectuaron mediante:

- Calicatas
- Perforaciones manuales con equipo Auger
- Perforaciones Diamantinas
- Ensayos Geofísicos

Figura N° 3.4: Vista panorámica de la Relavera



Fuente: Elaboración propia

En los cuadros siguientes se presenta el resumen de las investigaciones geotécnicas realizadas:

Tabla N° 3.9: Resumen de las Excavaciones de Calicatas (Año 2016)

Ubicación	Sondaje	Coordenadas		Cota (msnm)	Prof./ Long. (m)	Observaciones
		Norte	Este			
Cimentación de la Presa	CG-26	8'760,515	340,818	4641.0	3.50	Suelos blandos
	CG-29	8'760,453	340,725	4639.0	2.70	
	CG-32	8'760,404	340,732	4638.5	2.60	
Margen Izquierda	C-1	8'760,647.6	340,846.0	4646.0	1.00	
Eje de Presa	C-2	8'760,647.8	340,886.6	4647.2	0.80	
Margen Derecha	C-3	8'760,649.7	340,790.8	4651.1	1.50	Afloramiento de Roca Marga
	C-4	8'760,641.8	340,744.3	4651.5	1.50	
	C-5	8'760,683.5	340,729.7	4652.3	1.30	
Espaldón Aguas Abajo	C-6	8'760,604.6	340,760.0	4645.8	0.20	Morrenas
	C-7	8'760,613.4	340,877.6	4647.8	1.40	
Espaldón Aguas Arriba	C-8	8'760,677.0	340,883.1	4647.5	0.90	
Centro del Vaso	C-9	8'760,734.5	340,722.9	4651.8	0.70	Suelos blandos
	C-10	8'760,751.1	340,885.9	4649.9	1.50	
	C-11	8'760,948.5	340,793.9	4651.9	1.00	
	C-12	8'760,948.5	340,649.1	4654.7	1.30	
	C-13	8'760,960.7	340,794.1	4655.7	1.00	
	C-14	8'760,928.4	340,957.8	4662.8	2.00	
	C-15	8'761,203.3	340,646.9	4662.9	0.40	Afloramiento de roca Marga
	C-16	8'761,164.0	340,736.3	4660.2	1.00	Suelos blandos
C-17	8'761,216.8	340,798.9	4660.8	0.80	Afloramiento de roca Calcarenita	
Estribo derecho	T-1	8'760,765.2	340,648.1	4674.2	1.00	Afloramiento de roca Marga
	T-2	8'760,698.9	340,677.1	4667.4	1.00	
	T-3	8'760,673.1	340,773.7	4652.3	0.70	

Nota:

C-1 : Calicatas

T-2 : Trincheras

Fuente: Departamento de Geología

Tabla N° 3.10: Resumen de las Perforaciones Manuales con equipo Auger (Año 2015)

Número	Perforación Auger	Longitud proyectada (m)	Longitud ejecutada (m)	Observaciones
1	AG - 01	20.00	10.00	Grava arcillosa
2	AG - 02	20.00	5.00	Suelo blando
3	AG - 03	20.00	10.00	Suelo blando
4	AG - 04	20.00	10.00	Suelo blando
5	AG - 05	20.00	6.00	Grava arcillosa
6	AG - 06	20.00	5.00	Grava limosa
7	AG - 07	20.00	5.00	Grava arcillosa
8	AG - 08	20.00	11.00	Grava arcillosa

Fuente: Departamento de Geología

Tabla N° 3.11: Resumen de las Perforaciones Diamantinas (Año 2016)

Ubicación	Sondeo	Prof. Ejecutada (m)	Coordenadas		Cota (msnm)	Profundidad de Ubicación de Roca (m)
			Norte	Este		
Estribo izquierdo	P-1	25,0	8760746,6	340675,6	4665,5	1,50
	P-2	30,0	8760654,5	340707,1	4658,7	0,80
	P-3	30,0	8760653,6	340768,4	4655,0	1,70
Centro	P-4	20,0	8760652,7	340820,2	4645,9	3,00
Estribo derecho	P-5	25,0	8760652,5	340910,1	4654,5	2,90
Centro	P-7	15,0	8760608,2	340821,0	4644,6	0,00

Fuente: Departamento de Geología

3.5.7. CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE LA CIMENTACIÓN DE LA PRESA

La evaluación de las investigaciones efectuadas con las calicatas, perforaciones diamantinas, perforaciones Auger, y

ensayos geofísicos determina los modelos geológicos y geotécnicos que se muestran en los planos MI004-2016-GE-02.

La cimentación de la presa se apoyará directamente sobre el macizo rocoso considerando que el material superficial constituido por turbas y suelos orgánicos será completamente eliminado. En este sentido la presa de arranque y todas las etapas de construcción del terraplén se apoyarán directamente sobre roca de buenas condiciones geotécnicas.

3.5.8. ESTUDIO DE LAS CONDICIONES GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA

Con el fin de complementar las investigaciones realizadas, se proyectó determinar las condiciones geotécnicas actuales del material que conformará el recrecimiento de la presa, de esta manera fue necesario complementar la investigación geotécnica con la ejecución de trabajos de campo, los cuales consistieron en un programa de exploración de seis (06) excavaciones denominadas calicatas y seis (06) densidades IN SITU, ubicadas en el depósito de desmonte de mina Capilla y el Tajo Alpamarca; para determinar las condiciones geotécnicas de los materiales que serán empleados en el recrecimiento de la Presa. El programa de exploración de campo se realizó desde el 26 de

Febrero hasta el 02 de Marzo del año 2016, con el objetivo de determinar la potencia de los suelos que conformarán la presa. En el siguiente cuadro se presenta la ubicación de las calicatas:

Tabla N° 3.12: Ubicación de las calicatas (Año 2016)

Lugar	Calicatas	Coordenadas		Cota (msnm)	Nivel Freático (m)	Profundidad (m)
		Norte	Este			
Desmante de Mina Capilla	C – 1	8758899,0	341293,0	4680,0	N.E.	0,0 – 3,0
	C – 2	8758996,0	341440,0	4674,0	N.E.	0,0 – 3,0
	C – 3	8758686,0	341538,0	4684,0	N.E.	0,0 – 3,0
	C – 4	8758815,0	341647,0	4681,0	N.E.	0,0 – 3,0
	C – 6	8758619,0	341862,0	4685,0	N.E.	0,0 – 3,0
Tajo Alpamarca	C – 5	8759755,0	341447,0	4690,0	N.E.	0,0 – 3,0

N.E. No Encontrado

Fuente: Departamento de Geología

La exploración visual descriptiva de campo demostró que el tipo de suelo característico en la zona de estudio clasifica como una grava arcillosa (GC).

Las excavaciones alcanzaron una profundidad de 3,00 m dentro de las cuales se encontraron presencia de gravas arcillosa, bloques y bolonería angulares, húmeda, color beige a gris oscuro, compacidad medianamente denso a denso.

Los resultados de los ensayos de densidad de campo, se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla N° 3.13: Resultados de los ensayos de densidad de campo (Año 2016)

Calicata	Profundidad (m)	Densidad Natural (g/cm ³)	Humedad (%)	Densidad Seca (g/cm ³)
C-1	0,0 – 3,0	2,081	2,90	2,022
C-2	0,0 – 3,0	2,147	6,22	2,022
C-3	0,0 – 3,0	2,308	3,77	2,224
C-4	0,0 – 3,0	2,139	3,76	2,061
C-5	0,0 – 3,0	2,690	4,30	2,579
C-6	0,0 – 3,0	2,171	4,25	2,083

Fuente: Departamento de Geología

3.5.9: CRITERIOS DE DISEÑO DEL RECRECIMIENTO DE LA PRESA A LA COTA 4 703 msnm

Los parámetros de diseño fueron propuestos por GEOSERVICE a COMPAÑÍA MINERA ALPAMARCA S.A.C. para su aprobación y utilización en el desarrollo de la ingeniería de detalle del recrecimiento a la cota 4 703 msnm. A continuación se presenta un resumen de los parámetros de diseño utilizados en el proyecto del depósito de Relaves Alpamarca:

a) Las características del Relaves son:

Peso del concentrado	: 2 500 TMSD
Gravedad específica	: 2,74
% de sólidos en la pulpa	: 44,73 %
Densidad del Relave	: 1 460 Kg/m ³

b) Periodo de Retorno Sísmico para la Estabilidad Física, es de 475 años acorde a la R.D.N_224-1997-EM/DGM y Guía para

la Estabilidad de Taludes del MEM, de la fase de operación del depósito de relaves.

c) Factor de Seguridad para la estabilidad física de la Presa:

Condición Largo Plazo – Análisis Estático : Factor de Seguridad mayor a 1.50

Condición Sísmica – Análisis Pseudoestático : Factor de Seguridad mayor a 1.10

(Valores recomendados por el MEM)

3.5.10. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DEPÓSITO

La presa Alpamarca cuenta con 2 sobreelevaciones actualmente construidas. La primera sobreelevación o dique de arranque fue realizada hasta la cota 4660 msnm con un talud aguas arriba de 1,50:1 y un talud aguas abajo de 2,00:1, usando como material de conformación el desmonte de mina generado por el Tajo Alpamarca.

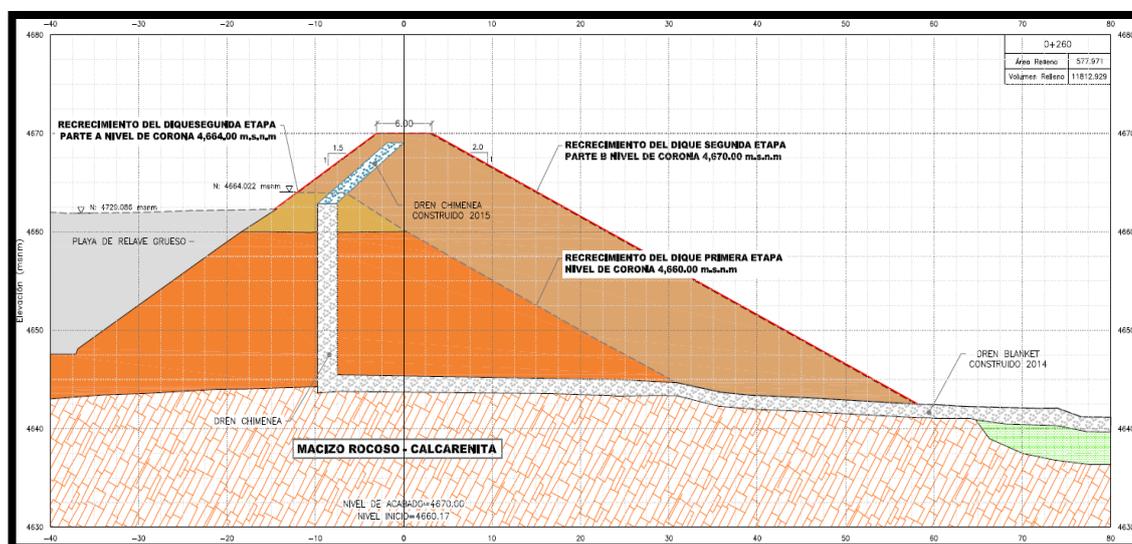
La segunda sobreelevación fue dividida en 2 recrecimientos; el primero de ellos hasta la cota 4664 msnm y el segundo hasta la cota 4670 msnm.

Primera Sobreelevación (Dique de arranque):

Talud Aguas arriba: 1,50:1

Talud Aguas abajo: 2,00:1

Figura N° 3.5. Sobre elevación de la relavera



Fuente: Ingeniería de Proyectos

Ancho de Corona.	18,00 metros
Material de construcción:	Desmante de mina (GC-GP)
Segunda Sobreelevación:	
Etapa 2A:	
Talud Aguas arriba:	1,50:1
Talud Aguas abajo:	2,00:1
Tipo de recrecimiento:	Sobre la corona
Ancho de corona:	5,5 metros
Material de construcción:	Desmante de mina (GC-GP)
Etapa 2B:	
Talud Aguas arriba:	1,50:1
Talud Aguas abajo:	2,00:1
Tipo de recrecimiento:	Aguas Abajo

Ancho de corona: 6,0 metros

Material de construcción: Desmante de mina (GC-GP)

De esta manera las siguientes sobre elevaciones a partir de la cota 4670 msnm, serán efectuadas empleando desmante de mina hasta alcanzar la altura final de coronación de 4703,00 msnm y un ancho de 8,0 m., divididas en 10 etapas, las cuales tiene las siguientes características:

ETAPA I

- Nivel de Corona : 4 673,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 3,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 671,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 6,0 m
- Longitud de Corona : 400,85 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa I : 134 461,00 m³
- Volumen de Almacenamiento : 571 300,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa I : 0,9 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 0,9 años

ETAPA II

- Nivel de Corona : 4 676,00 m.s.n.m.

- Altura de la sobre elevación : 3,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 674,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 473,4 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa II : 191 086,20 m³
- Volumen de Almacenamiento : 616 797,00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 1 187 618,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,0 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 1,9 años

ETAPA III

- Nivel de Corona : 4 680,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 4,00 m
- Nivel Máximo de Almacenamiento : 4 678,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 648,2 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa III : 269 156,40 m³
- Volumen de Almacenamiento : 890 550,00 m³

- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 2 078 168,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,4 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 3,3 años

ETAPA IV

- Nivel de Corona : 4 684,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 4,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 682,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 703,3 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa IV : 348 928,00 m³
- Volumen de Almacenamiento : 978 948 00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 3 057 116,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,6 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 4,9 años

ETAPA V

- Nivel de Corona : 4 688,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 4,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 686,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m

- Longitud de Corona : 753,20 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa V : 398 072,40 m³
- Volumen de Almacenamiento : 1 060 574,00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 4 117 691,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,7 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 6,6 años

ETAPA VI

- Nivel de Corona : 4 691,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 3,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 689,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 794,30 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa VI : 330 026,00 m³
- Volumen de Almacenamiento : 846 163,00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 4 963 854,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,4 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 8,0 años

ETAPA VII

- Nivel de Corona : 4 694,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 3,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 692,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 840,80 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2.0H : 1.0V
- Volumen de Presa Etapa VII : 353 029,60 m³
- Volumen de Almacenamiento : 899 353,00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 5 863 207,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,4 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 9,4 años

ETAPA VIII

- Nivel de Corona : 4 697,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 3,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 695,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 1 064,30 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa VIII : 410 849,40 m³

- Volumen de Almacenamiento : 959 550,00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 6 822 757,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,5 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 10,9 años

ETAPA IX

- Nivel de Corona : 4 700,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 3,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 698,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.
- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 1,110.00 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa IX : 448 996,80 m³
- Volumen de Almacenamiento : 1 034 938,00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 9 625 484,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,7 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 12,6 años

ETAPA X

- Nivel de Corona : 4 703,00 m.s.n.m.
- Altura de la sobre elevación : 3,00 m
- Nivel de Almacenamiento : 4 701,00 m.s.n.m.
- Borde Libre : 2,0 m.

- Ancho de Corona : 8,0 m
- Longitud de Corona : 1 143,30 m
- Talud Aguas Arriba : 1,5H : 1,0V
- Talud Aguas Abajo : 2,0H : 1,0V
- Volumen de Presa Etapa X : 497 489,30 m³
- Volumen de Almacenamiento : 1 090 810,00 m³
- Volumen de Almacenamiento Acumulado: 8 948 505,00 m³
- Tiempo de Operación de Etapa : 1,7 años
- Tiempo de Operación Acumulado : 14,3 años

3.5.11. ESTABILIDAD FÍSICA DEL DEPÓSITO

A partir de la revisión de la información existente, resultados de las investigaciones de campo efectuadas en el área de estudio, la evaluación geológica-geotécnica del terreno realizados y a la experiencia del consultor en proyectos similares se ha determinado los parámetros geotécnicos de resistencia al corte de los materiales, los cuáles serán los que reflejen mejor el comportamiento de la cimentación y el cuerpo de presa ante las diferentes condiciones que se presenten a lo largo de la vida de la Depósito de Relaves Alpamarca.

3.5.12. PARAMETROS DE RESISTENCIA

Las propiedades de los materiales que conforman la presa, se obtuvieron en base a la exploración geotécnica efectuada por GEOSERVICE en los años del 2009 y 2013, así como, los resultados de los ensayos de laboratorio en el año 2016. A continuación se describe un breve resumen de los materiales y sus parámetros resistentes:

Para Condición Estática y Pseudoestático:

Los parámetros considerados y resultados obtenidos para el análisis de estabilidad se indican en la tabla siguiente:

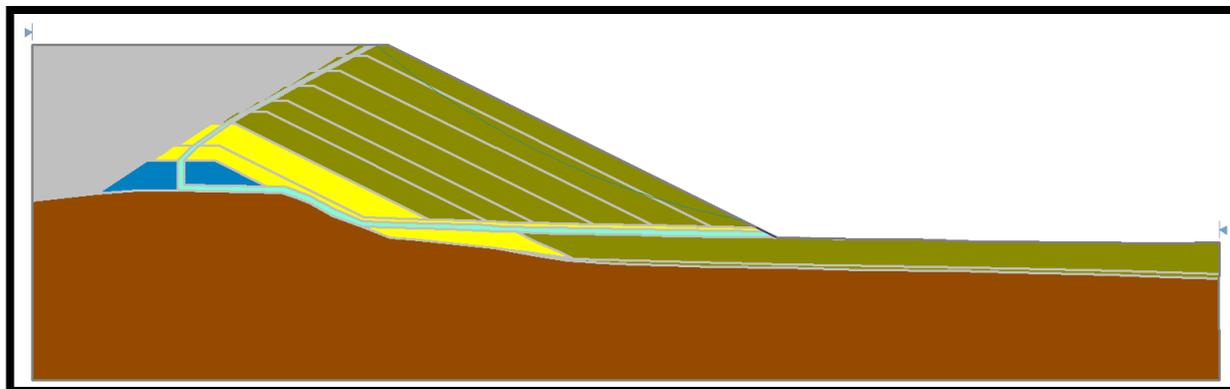
Tabla N° 3.14: Parámetros de Resistencia

Material	Clasificación SUCS	Densidad (kN/m ³)	Parámetros de Resistencia			
			Efectivos		Totales	
			c' (kN/m ²)	Ø' (°)	c (kN/m ²)	Ø (°)
Recrecimiento de 4 670 a 4 703 msnm (terraplén de Presa)	GC/ GW-GM 	23	0	40	0	44
Condiciones actuales (4 660-4 670)	GP-GC 	21	0	38	10	36
Dique de arranque	GP-GC 	21	0	38	10	36
Relaves finos del vaso del depósito	ML 	13	0	12	0	12
Cimentación (Roca Marga)	Roca 	25.5	210	27	21.0	27
Dren chimenea – Blanket	GP 	17	0	34	0	34

Nota: Los valores adoptados por Geoservice fueron tomados del estudio "REDISEÑO DE LA PRESA DEL DEPOSITO DE RELAVES ALPAMARCA, ESTUDIO DEFINITIVO Y EXPEDIENTE TÉCNICO" (Marzo, 2012)

Fuente: Ingeniería de Proyectos

Figura N° 3.6: Muestra el modelo geotécnico a utilizar en los análisis de estabilidad.



Fuente: Ingeniería de Proyectos

3.6. RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL DEPÓSITO

Los resultados de los análisis de estabilidad, reportan los siguientes valores:

Tabla N° 3.15: Análisis de estabilidad

Sección de Análisis – Etapa	FS		Superficie de Falla
	Estático	Pseudo Estático	
1	1,780	1,210	General
2	1,835	1,265	General
3	1,915	1,406	General
4	1,865	1,436	General
5	1,902	1,464	General
6	1,914	1,522	General
7	1,900	1,556	General
8	1,963	1,528	General
9	1,846	1,483	General
10	1,832	1,484	General

Fuente: Ingeniería de Proyectos

Los valores obtenidos son mayores a los mínimos solicitados para la condición estática (1,5) y sísmica (1,0). Por lo tanto la presa es estable.

3.7. TIEMPO DE OPERACIÓN TOTAL

El recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca, permite una operación de 14,3 años; se precisa que la capacidad de almacenamiento total del recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca corresponderá a las siguientes cantidades:

Tabla N° 3.16: Tiempo de Operación Almacenamiento por Etapas

ETAPAS	Tiempo de Operación (años)	Volumen de Almacenamiento (m ³)
Etapa I (*)	0,9	571 300,00
Etapa II	1,0	616 797,00
Etapa III	1,4	890 550,00
Etapa IV	1,6	978 948,00
Etapa V	1,7	1 060 574,00
Etapa VI	1,4	846 163,00
Etapa VII	1,4	899 353,00
Etapa VIII	1,5	959 550,00
Etapa IX	1,7	1 034 938,00
Etapa X	1,7	1 090 810,00
TOTAL	14,3	8 948 505,00

(*) Recrecimiento a partir de la cota 4670 de la corona de la Presa

Fuente: Ingeniería de Proyectos

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. CRITERIOS DE DISEÑO

Compañía Minera Alparmarca, con la finalidad de continuar con sus operaciones de explotación minera, ha encargado a GEOSERVICE INGENIERÍA SAC., la ejecución del Estudio de la Sobreelevación del Dique del Depósito de relaves Alparmarca nivel 4 703 m.s.n.m.

La construcción del recrecimiento del depósito de relaves Alparmarca será llevado a cabo en 10 etapas, considerando el la primera de ellas sobre la cota 4670 msnm. La sobreelevación del depósito de relaves Alparmarca será llevada a cabo mediante el método de recrecimiento

Aguas Abajo, utilizando los desmontes de mina provenientes del botadero y el tajo Alpamarca.

El volumen de almacenamiento acumulado en sus 10 etapas del depósito será de aproximadamente 8 948 505,00 m³, lo que permitirá una vida útil de aproximadamente 14,3 años.

La Unidad Minera Alpamarca se ubica en una meseta entre las cordilleras Occidental y Oriental de Junín – Cerro de Pasco, a una altitud de 4 700 metros sobre el nivel del mar.

Políticamente se ubica en:

Paraje	:	Cerro Alpamarca.
Distrito	:	Santa Bárbara de Carhuacayán.
Provincia	:	Yauli.
Departamento	:	Junín.

La zona cuenta con buena conexión vial hacia Lima y La Oroya a través de la Carretera Central, vía asfaltada. Desde el puente sobre el río Yauli en el km 158, se tiene comunicación terrestre mediante carreteras afirmadas hasta Pomacocha, así mismo se cuenta con caminos carrozables hacia Pirhuacocha, y asientos mineros en la ruta. Así mismo existe otra vía de comunicación a través de Canta mediante una carretera asfaltada de Canta a la Mina Alpamarca mediante un trocha carrozable.

El “Estudio de Sobreelevación del Dique del Depósito de Relaves Alpamarca Nivel 4 703 msnm” tiene como objetivo diseñar la sobreelevación de la presa del depósito de relaves Alpamarca, recreciendo la presa con el método Aguas Abajo, empleando material de préstamo y considerando que solo se va almacenar relaves en el vaso, así como presentar las consideraciones técnicas y cálculos justificativos necesarios que garanticen su funcionalidad durante su periodo de vida útil. En el presente acápite se presenta los criterios de diseño aplicados para el proyecto. Los criterios de diseño están sustentados por investigaciones y estudios, además de la experiencia de los Consultores para el tipo de obras que se vienen desarrollando.

4.1.1. CRITERIOS DE DISEÑO A TOMAR EN CUENTA

A continuación se presentan los criterios de diseño considerados para las principales obras componentes para la Sobreelevación del depósito de relaves Alpamarca.

Tabla N° 4.1: Criterios de diseño

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	FUENTE	COMENTARIOS
GENERALES			
Ubicación del área de estudio	Distrito de Santa Bárbara de Carhuacayán, Provincia de Yauli, Departamento de Junín	GEOSERVICE	
Mineral Extraído	Cu,Pb y Zn	ALPAMARCA	
Topografía	Curvas cada metro	GEOSERVICE	Levantamiento realizado por Geoservice el año 2015.

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	FUENTE	COMENTARIOS
GENERALES			
Material de conformación del recrecimiento de presa	Presa conformada por material de préstamo	GEOSERVICE	Desmante de mina
Método de Recrecimiento	Método Aguas Abajo	GEOSERVICE	Dividida en 10 Etapas
Propósito de la presa	Almacenamiento de relaves (feed)	GEOSERVICE	Cota máxima de almacenamiento: 4 701 msnm
Cota máxima de la presa	4 703 msnm	GEOSERVICE	
Volumen total de relave a ser depositado en el embalse	8 948 505,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería.
Vida útil adicional total de la presa	14,3 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería.
GEOMETRÍA DE LA PRESA			
Etapas			
Etapas I			
Altura de sobreelevación	3,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 670 a 4 673
Nivel de corona	4 673 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 671 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	60 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	571 300,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil de la presa de arranque	0,9 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapas II			
Altura de sobreelevación	3,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 673 a 4 676 msnm
Nivel de corona	4 676 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 674 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1 0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	FUENTE	COMENTARIOS
GENERALES			
Volumen de almacenamiento de la etapa	616 797,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil de la presa para la etapa	1,0 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapa III			
Altura de sobreelevación	4,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 676 a 4 680 msnm
Nivel de corona	4 680 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 678 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	890 550,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida util adicional de la presa	1,4 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapa IV			
Altura de sobreelevación	4,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 680 a 4 684 msnm
Nivel de corona	4 684 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 682 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	978 948,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil adicional de la presa	1,6 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapa V			

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	FUENTE	COMENTARIOS
GENERALES			
Altura de sobreelevación	4,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4,684 a 4,688 msnm
Nivel de corona	4 688 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 686 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	1 060 574,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil adicional de la presa	1,7 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapa VI			
Altura de sobreelevación	3,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 688 a 4 691 msnm
Nivel de corona	4 691 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 689 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	846 163,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil adicional de la presa	1,4 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapa VII			
Altura de sobreelevación	3,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 691 a 4 694 msnm
Nivel de corona	4 694 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 692 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	FUENTE	COMENTARIOS
GENERALES			
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	899 353,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil adicional de la presa	1,4 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapla VIII			
Altura de sobreelevación	3,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 694 a 4 697 msnm
Nivel de corona	4 697 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 695 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	959 550,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil adicional de la presa	1,5 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapla IX			
Altura de sobreelevación	3,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 697 a 4 700 msnm
Nivel de corona	4 700 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 698 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	1 034 938,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	FUENTE	COMENTARIOS
GENERALES			
Vida útil adicional de la presa	1,7 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Etapa X			
Altura de sobreelevación	3,0 m	GEOSERVICE	De la cota 4 700 a 4 703 msnm
Nivel de corona	4 703 msnm	GEOSERVICE	
Nivel máximo de almacenamiento	4 701 msnm	GEOSERVICE	
Borde libre mínimo	2,0 m	GEOSERVICE	Requerido para evitar rebose
Ancho de corona	8,0 m	GEOSERVICE	
Talud aguas abajo	2,0 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Talud aguas arriba	1,5 H : 1,0 V	GEOSERVICE	Correspondientes a las características del material de relleno
Volumen de almacenamiento de la etapa	1 090 810,00 m ³	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
Vida útil adicional de la presa	1,7 años	GEOSERVICE	Estimado, se verificara a medida que se avance la ingeniería
CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES			
Feed			
Producción de relaves	2 500 ton/día	ALPAMARCA	Información proporcionada por Alpamarca en el informe "Rediseño del Depósito de Relaves Alpamarca, Estudio Definitivo y Expediente Técnico" (Marzo, 2012)
Densidad de pulpa	1 460 Kg/m ³	ALPAMARCA	
Contenido de sólidos	44,73 %	ALPAMARCA	
Gravedad específica	2,74	ALPAMARCA	
Análisis de Estabilidad			
Método de análisis de estabilidad	Método Bishop Modificado	GEOSERVICE	Método de Equilibrio Limite
Aceleración máxima horizontal del terreno (PHGA) (475 años de período de retorno, 10% de excedencia, 50 años de vida útil)	0,46 g	GEOSERVICE	Información proveniente del estudio de riesgo sísmico efectuado por ZER GEOSYSTEM PERU (Octubre, 2008)
Coefficiente sísmico para el análisis pseudoestático (1/3 máx con período de retorno de 475 años)	0,15 g	GEOSERVICE	Información proveniente del estudio de riesgo sísmico efectuado por ZER GEOSYSTEM PERU (Octubre, 2008)
Factor de seguridad mínima permisible para condiciones estáticas	1,5	GEOSERVICE	Valor especificado por el MEM

DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS	FUENTE	COMENTARIOS
GENERALES			
Factor de seguridad mínima permisible para condiciones pseudoestáticos	1,0	GEOSERVICE	Valor especificado por el MEM
PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES			
Parámetro de Resistencia: Esfuerzos Efectivos			
Recrecimiento de 4670 a 4703 msnm (GC)	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi' = 40^\circ$; $d = 23 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Condiciones actuales (4660-4670) - (GP-GC)	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi' = 38^\circ$; $d = 21 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Dique de Arranque GP-GC	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi' = 38^\circ$; $d = 21 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Relaves finos del vaso del depósito (ML)	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi' = 12^\circ$; $d = 13 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Cimentación (Roca Marga)	$c' = 210 \text{ kg/cm}^2$; $\phi' = 27^\circ$; $d = 25.5 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Dren chimenea – Blanket (GP)	$c' = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi' = 34^\circ$; $d = 17 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Parámetro de Resistencia: Esfuerzos Totales			
Recrecimiento de 4670 a 4703 msnm (GC)	$c = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 44^\circ$; $d = 23 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Condiciones actuales (4660-4670) - (GP-GC)	$c = 10 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 36^\circ$; $d = 21 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Dique de Arranque GP-GC	$c = 10 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 36^\circ$; $d = 21 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Relaves finos del vaso del depósito (ML)	$c = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 12^\circ$; $d = 13 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Cimentación (Roca Marga)	$c = 21 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 27^\circ$; $d = 25,5 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
Dren chimenea – Blanket (GP)	$c = 0 \text{ kg/cm}^2$; $\phi = 34^\circ$; $d = 17 \text{ KN/m}^3$	GEOSERVICE	
HIDROLOGÍA			
Precipitación media anual	909,4 mm	GEOSERVICE	Información proveniente del informe de "Estudios Básicos del Rediseño del depósito de relaves Alpamarca" (Marzo, 2012). Se actualizara el informe a medida que se avance la ingeniería.
Precipitación para un período de retorno de 500 años	62,6 mm	GEOSERVICE	
Precipitación para un período de retorno de 100 años	50,4 mm	GEOSERVICE	
Evaporación media anual	1161,2 mm	GEOSERVICE	
Temperatura media anual	5,30 °C	GEOSERVICE	

4.2. MÉTODO DE SOBREELEVACIÓN

La sobreelevación del depósito de relaves Alpamarca será ejecutada mediante el método Aguas Abajo.

Este procedimiento de sobreelevación de presa en 10 etapas permitirá mantener rangos aceptables de material de préstamo para la conformación de las etapas de recrecimiento, evitando la utilización de relaves gruesos.

Sin embargo, el inicio de la operación del recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca requerirá el empleo de materiales de préstamo para la sobreelevación; tales como desmonte de mina proveniente de la explotación del Tajo Abierto de la mina.

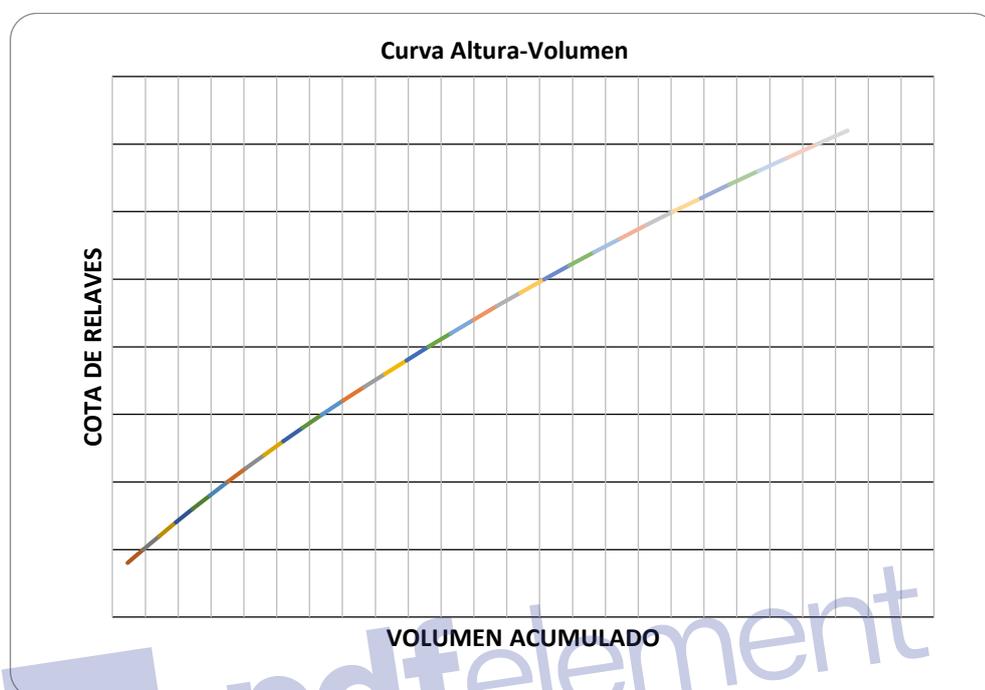
4.2.1. VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

El recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca tendrá una altura total de 33 metros, desde la cota 4 670 hasta la cota a los 4 703 msnm. A continuación se presenta la Curva Altura – Volumen:

Tabla N° 4.2: Cota versus Volumen

COTA (msnm)	AREA (m2)	VOLUMEN (m ³) PARCIAL RELAVES	VOLUMEN (m ³) ACUMULADO RELAVES
4 668	182 841,60		
4 669	187 500,40	185 171,000	185 171,000
4 670	1 926 76,57	190 088,485	375 259,485
4 671	198 446,61	195 561,590	570 821,075
4 672	203 115,69	200 781,150	771 602,225
4 673	207 961,62	205 538,655	977 140,880
4 674	212 993,02	210 477,320	1 187 618,200
4 675	217 804,10	215 398,560	1 403 016,760
4 676	222 559,06	220 181,850	1 623 198,610
4 677	227 439,89	224 999,745	1 848 198,360
4 678	232 498,94	229 969,415	2 078 167,770
4 679	237 768,07	235 133,505	2 313 301,280
4 680	245 829,35	241 798,710	2 555 099,990
4 681	251 192,46	248 510,905	2 803 610,890
4 682	255 818,68	253 505,570	3 057 116,460
4 683	260 426,05	258 122,365	3 315 238,830
4 684	265 079,08	262 752,565	3 577 991,390
4 685	269 775,00	267 427,040	3 845 418,430
4 686	274 769,84	272 272,420	4 117 690,850
4 687	279 585,01	277 177,425	4 394 868,280
4 688	284 471,48	282 028,245	4 676 896,520
4 689	289 443,36	286 957,420	4 963 853,940
4 690	296 581,06	293 012,210	5 256 866,150
4 691	303 208,56	299 894,810	5 556 760,960
4 692	309 683,48	306 446,020	5 863 206,980
4 693	316 040,81	312 862,145	6 176 069,130
4 694	322 494,46	319 267,635	6 495 336,760
4 695	332 346,97	327 420,715	6 822 757,480
4 696	342 858,50	337 602,735	7 160 360,210
4 697	348 620,00	345 739,250	7 506 099,460
4 698	354 572,78	351 596,390	7 857 695,850
4 699	360 548,57	357 560,675	8 215 256,530
4 700	366 579,45	363 564,010	8 578 820,540
4 701	372 790,41	369 684,930	8 948 505,470

Figura N° 4.1: Curva de altura versus volumen



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. ANCHO DE CORONA

La selección del ancho mínimo de la corona puede estar regido por factores como: la posibilidad de paso de caminos, la factibilidad de construcción, el tipo de material del cuerpo de la presa o de la altura de la misma.

Basado en el factor altura de presa, el Reglamento Japonés propone las siguientes ecuaciones:

$$AC = 1,65 \times h^{\frac{1}{2}}$$

$$AC = 1,10 \times Z^{\frac{1}{2}} + 1$$

$$AC = 3,60 \times Z^{\frac{1}{3}} - 3$$

La instrucción española de presas:

$$AC = K \times [3 + 1,5 \times (Z - 15)^{1/3}]$$

Donde:

AC (m): Ancho de coronamiento

h (m): Altura máxima del depósito

Z (m): Altura máxima de la presa

K = 1,3 (factor por sismicidad en la zona)

Tabla N° 4.3: Sobre elevación

SOBREELEVACIÓN	
Cota Final	4 703
Cota Inicial	4 670
h (m) =	33
Z (m) =	10
AC =	9,47
AC =	7,31
AC =	8,55
AC=	9,10
AC prom =	8,60

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al cuadro anterior, el ancho de corona asumido para la sobre elevación es 8 metros, teniendo en cuenta también el

criterio de transitabilidad por la corona de la presa. Las fórmulas utilizadas obedecen al Reglamento japonés.

Finalmente considerando la estabilidad física evaluada de la Sobreelevación de la Presa, así como factores de obra vial: paso de un camino, alumbrado, ancho de seguridad, se adoptará un ancho mínimo de corona de 8 metros para las Etapas II hasta la Etapa X. Se recomienda reevaluar el ancho de corona para cada Etapa que se realice

Basado en factores de obra vial: paso de un camino, alumbrado, ancho de seguridad, adoptaremos los siguientes valores como ancho de corona, valores expresados en metros.

4.2.3. BORDE LIBRE

Es importante la correcta selección del borde libre en presas de tierra, en este caso específico de una presa de relaves, ya que estas no pueden bajo ninguna circunstancia trabajar como diques o presas vertedoras.

En el caso de depósitos de relaves, el aumento del nivel de los relaves es progresivo, es decir, a diferencia de las presas de embalse, no se tiene un nivel de aguas máximas ordinarias y mucho menos extraordinarias, los cuales están dados por la

capacidad de agua necesaria para satisfacer el déficit hídrico a lo largo de los años, y para la amortiguación de avenidas.

En los depósitos de relaves, construidos mayormente en quebradas cuyo flujo es intermitente, las aguas naturales son captadas y conducidas mediante canales de coronación hacia aguas abajo del depósito a su cauce natural, destinando el volumen de almacenamiento del depósito exclusivamente para almacenar los relaves producidos en los procesos metalúrgicos, y las aguas de precipitación ocurridas sobre el depósito mismo.

Realizando una comparación entre las presas de embalse y presas para almacenamiento de relaves, anotamos algunos criterios para la selección del borde libre, así tenemos:

- En las presa de embalse el borde libre se mide a partir del nivel de aguas extraordinarias, calculado a partir de un tránsito de avenidas.
- En presas para almacenamiento de relaves, el escurrimiento superficial es captado mediante canales de coronación y conducido fuera del depósito, quedando únicamente como aporte las aguas de precipitación sobre el depósito mismo, definiendo de esta manera el inicio de borde libre.
- El borde libre se define como la distancia vertical entre el nivel máximo alcanzado en un evento de precipitaciones máximas, y, la altura más baja de la corona.

- El cálculo del borde libre está directamente ligado a las presas de embalse, estando su cálculo en función de la altura y longitud de ola producida por efectos del viento sobre la superficie de agua del embalse.
- El borde libre para presas de almacenamiento de relaves, por efectos de las características de la ola y el viento, no tiene efecto para este tipo de presas.

De lo descrito se recomienda considerar un borde libre de 2 metros, para asegurar la estabilidad contra el desbordamiento.

4.2.4. TALUD PARA LA PRESA

Los taludes de conformación de las presas de tierra están directamente influenciados por el tipo de material de conformación de la presa.

Los taludes recomendados para la conformación de la presa por la USBR, son los siguientes:

Presa: Materiales homogéneos o zonificada

Sujeta a desembalse rápido: No

Clasificación SUCS: GC, GM, SC, SM

Talud de aguas arriba: 2,5H: 1,0V

Talud de Aguas abajo: 2,0H: 1,0V

Estas consideraciones antes indicadas son dadas para presas de retención o almacenamiento de agua.

Para nuestro caso, los taludes recomendados son:

Talud de aguas arriba: 1,5H: 1,0V

Talud de Aguas abajo: 2,0H: 1,0V

Cabe indicar que estos taludes han sido verificados mediante un análisis de estabilidad, en los cuales se ha obtenido factores de seguridad adecuados.

4.2.5. ESTABILIDAD DE LA PRESA

El análisis de estabilidad de la presa deberá ser ejecutada para diferentes escenarios y para cada etapa de sobreelevación considerada, obteniendo diferentes factores de seguridad.

El análisis de la estabilidad de los taludes de la presa deberá efectuarse mediante un programa especializado, tomando como método para la determinación de su grado de estabilidad el de equilibrio límite de Bishop simplificado para fallas circulares o falla por volteo y el método de Janbu para fallas planares o falla por traslación, con el modelo de Mohr Coulomb.

El análisis deberá contemplar superficies potenciales circulares y planares que involucran el material del talud tanto para la condición estática como pseudoestática.

A continuación se presenta los valores de los factores de seguridad que serán considerados como aceptables para el análisis de estabilidad de la sobreelevación del depósito de relaves Alpamarca:

Tabla N° 4.4: Factores de Seguridad Mínimos

Condición	Estático	Pseudoestático
Depósito Lleno (*)	1.5	1.0

(*) Norma: Corps of Engineers U.S.A.

Fuente: Elaboración propia

4.2.6. MATERIAL DE CONFORMACIÓN: DESMONTE DE MINA

Se utilizará como material de préstamo el desmonte de mina proveniente del Tajo Alpamarca y depositado en las diferentes desmonteras aledañas, previo análisis físico y químico del material.

A continuación se presenta las obras y los volúmenes de material requeridos por etapa de recrecimiento:

Tabla N° 4.5: Tiempo de Operación Almacenamiento por Etapas

ETAPAS	Volumen requerido (m³)
Etapa I	134 461
Etapa II	191 086
Etapa III	269 156
Etapa IV	348 928
Etapa V	398 072
Etapa VI	330 026
Etapa VII	353 030
Etapa VIII	410 849
Etapa IX	448 997
Etapa X	497 489
TOTAL	3 382 094

Recrecimiento a partir de la cota 4 670

Fuente: Elaboración propia

El volumen de requerimiento asciende a 3 382 094,00 m³, con un rendimiento de 90%.

Cabe resaltar que, para el espaldón aguas arriba de la presa el requerimiento del tamaño máximo del suelo es 3" y para el espaldón aguas abajo es 5". Ambos materiales serán provenientes del depósito de desmonte de mina Capilla-Don Pablo. Esta cantera está conformada por una grava arcillosa (GC), con gravas sub-angulosas y alargadas, color beige a gris, húmeda y su compacidad es medianamente densa.

Este material será utilizado como material de agregado para las etapas de sobre elevación.

En la siguiente Foto se observa el material de agregado.

Figura N° 4.1: Se observa la extracción del agregado, como alternativa de explotación para la conformación de la sobreelevación de la presa de relave Alpamarca.



Fuente: Elaboración propia

4.3. DISEÑO CIVIL

Compañía Minera Alpamarca ha solicitado a Geoservice Ingeniería S.A.C. haga el acompañamiento a Ingeniería de Proyectos a realizar el "Estudio de Sobreelevación del Dique del Depósito de relaves Alpamarca nivel 4703 msnm", con la finalidad de ampliar su periodo de operación, participando en el proyecto en mi calidad de personal contratada.

Geoservice desarrollará dicho requerimiento dentro del marco jurídico establecido en la Ley General de Minería, por el Decreto Legislativo

Nº 109 y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo Nº 025-82-EM/VM, para la construcción de Depósitos de Relaves.

4.3.1. DATOS OPERACIONALES Y PARÁMETROS DE DISEÑO

Los criterios y parámetros de diseño fueron desarrollados por Geoservice para su utilización en el desarrollo de la ingeniería donde se incluye en detalle la cuantificación de volúmenes de relaves que van a conformar la sobreelevación del depósito de relaves Alpamarca. Además se presenta los datos operacionales proporcionados por la unidad Minera Alpamarca.

A continuación se presenta un resumen de los parámetros y criterios de diseño considerados:

Tabla N° 4.6: Parámetros de Diseño

Nivel de coronación de la etapa final de la Sobreelevación del Depósito	4 703 msnm
Producción diaria proyectada:	2 500 TMD
Ancho de corona de la presa de relaves:	8,0 m
Borde libre mínimo operacional de la presa, medido desde la corona de la presa hasta el nivel máximo del recrecimiento de relave en el depósito.	2,0 m
Coficiente sísmico para el análisis de estabilidad sísmico, correspondiente a (1/3) de la aceleración máxima para un periodo de retorno de 475 años.	0,15g
Densidad de los relaves depositados	1 460 Kg/m ³
Mínimo factor de seguridad de estabilidad en condiciones estáticas:	1,5
Mínimo factor de seguridad de estabilidad en condiciones sísmicas (pseudostático):	1,0

Fuente: Elaboración propia

El objetivo del Estudio es proporcionar a Compañía Minera Alpamarca, un estudio de Ingeniería de detalle del Recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca.

Asimismo es presentar los cálculos justificativos y memorias de cálculo basado en los criterios de diseño, y definir los dimensionamiento de las obras a proyectar.

4.4. MÉTODO DE SOBREELEVACIÓN

Las etapas de sobreelevación consideradas para el depósito de relaves Alpamarca serán ejecutadas mediante el método aguas abajo. Estas etapas serán conformadas con los materiales de desmontes de mina producidos en los procesos de explotación del Tajo Alpamarca.

El talud aguas arriba se conformará con un material de tamaño máximo de 3". A su vez, el material de conformación del talud aguas abajo tiene un tamaño máximo de partículas de 5".

A continuación se presenta el huso granulométrico correspondiente al material de conformación:

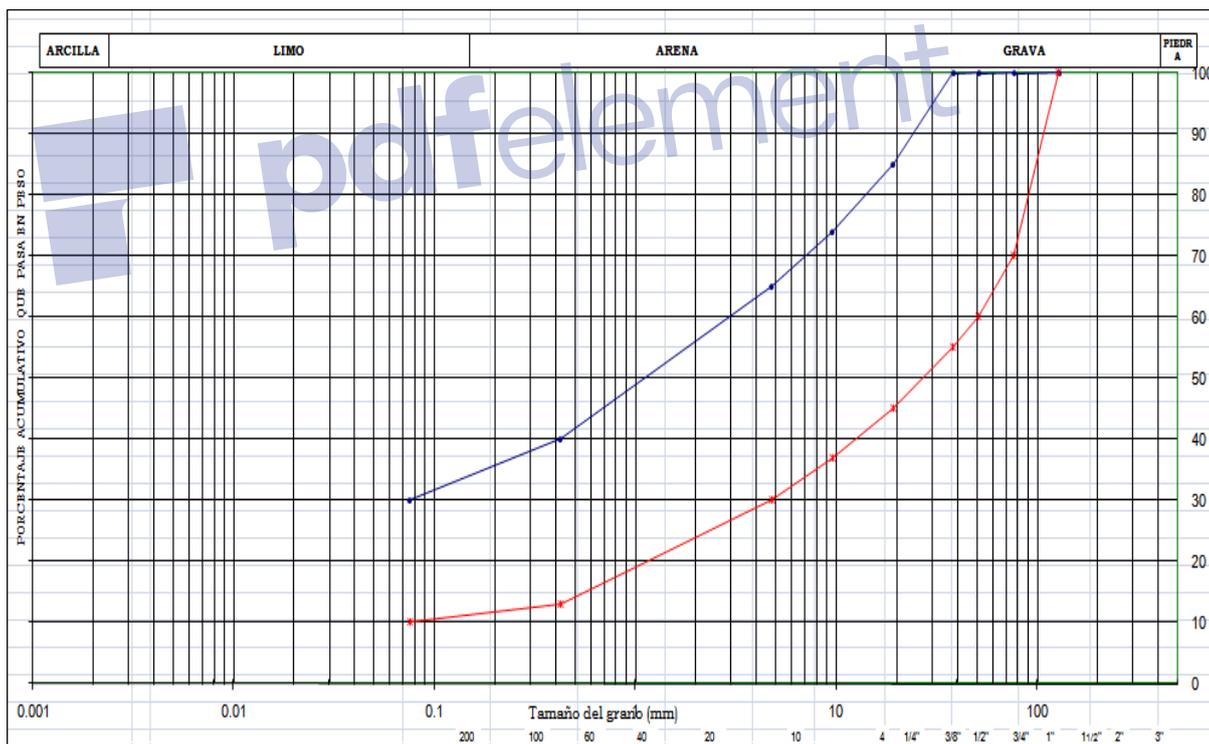
Huso granulométrico para el material de conformación del talud aguas abajo (Tam. máx. 5").

Tabla N° 4.7: Análisis granulométrico aguas abajo

Tamices		Huso Granulométrico	
N	Abertura (mm)	% que pasa	
5"	127,000	100	100
3"	76,000	100	70
2"	50,800	100	60
1 1/2"	38,100	100	55
3/4"	19,050	85	45
3/8"	9,500	74	37
N° 4	4,750	65	30
N° 40	0,420	40	13
N° 200	0,075	30	10

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.2: Análisis Granulométrico aguas abajo



Fuente: Elaboración propia

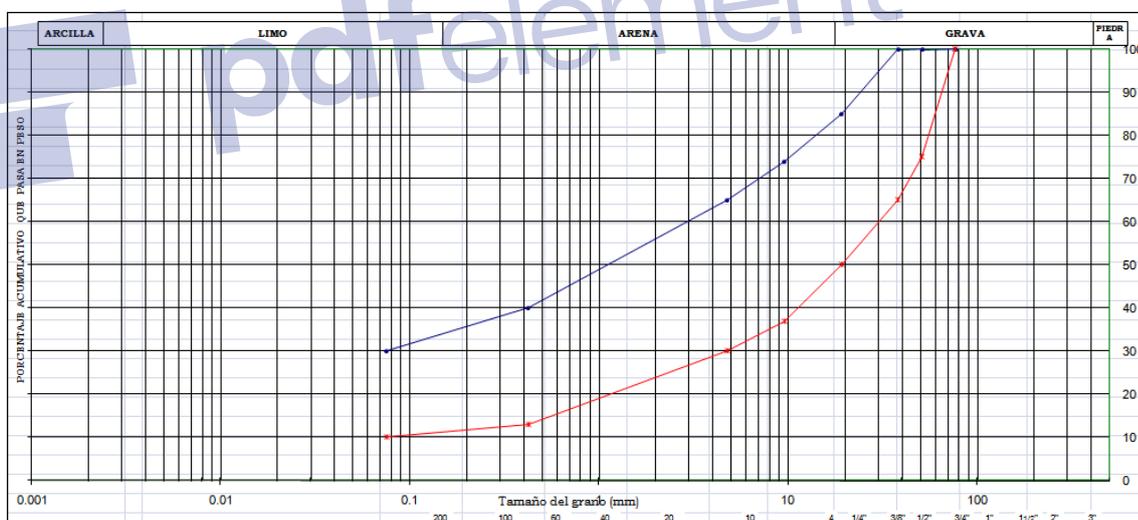
Huso granulométrico para el material de conformación del talud aguas arriba (Tamaño máximo 3")

Tabla N° 4.8: Análisis Granulométrico aguas arriba

Tamices		Huso Granulométrico	
N	Abertura (mm)	% que pasa	
3"	76,000	100	100
2"	50,800	100	75
1 1/2"	38,100	100	65
3/4"	19,050	85	50
3/8"	9,500	74	37
Nº 4	4,750	65	30
Nº 40	0,420	40	13
Nº 200	0,075	30	10

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4.3: Análisis Granulométrico aguas arriba



Fuente: Elaboración propia

La exploración visual descriptiva de campo demostró que el tipo de suelo característico en la zona de estudio clasifica como una grava arcillosa (GC), materia prima para conformar el dique de la presa.

4.4.1. VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN DE RELAVES

El volumen estimado para el recrecimiento de la presa de relaves es de aproximadamente 8 948 505,00 m³.

Producción de relaves: 2 500,00 TMD

Densidad de relaves almacenados: 1 460 Kg/m³

4.4.2. DETERMINACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL DEPÓSITO

Para la determinación de la vida útil del recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca para la altura máxima proyectada (4 701,0 msnm para el depósito y 4 703,0 msnm para la presa), se ha considerado la demanda de producción, el área delimitada por Alpamarca y las condiciones geotécnicas de la cimentación de la presa y el vaso.

El ratio de producción de relaves es del orden de 2 500 TMD, lo cual solicita se proyecte la máxima capacidad del vaso en la zona proyectada por Alpamarca, bajo esta premisa, se ha diseñado el recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca, la presa será conformada con desmontes de mina, con taludes aguas abajo de 2,0H:1,0V recreciendo, los derrames proyectados deberán estar dentro del área prevista por Alpamarca.

El nivel de coronación de la presa de relaves se ha definido en el nivel 4 703,00 msnm. De tal manera de asegurar el máximo almacenamiento de relaves finos en el vaso.

4.4.3. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DEL VASO

La capacidad de almacenamiento se ha estimado en función de la producción de la mina y de las condiciones topográficas, con apoyo del programa Autocad Civil 3D, Versión 2013. De acuerdo a su configuración geométrica la ampliación lateral tendrá una capacidad en el vaso para almacenar 8 948 505,00 m³ de relaves finos, por lo cual el tiempo de almacenamiento será de 14,3 años.

4.4.4. VOLUMEN TOTAL DE ALMACENAMIENTO

Se ha determinado el volumen total de almacenamiento en el Recrecimiento del Depósito de Relaves Alpamarca, inicia desde la cota 4 670,0 msnm (cota más baja del vaso), hasta la cota 4 703,0 m.s.n.m. (cresta de la presa).

4.4.5. VOLUMEN TOTAL DE RECRECIMIENTO

El volumen estimado para el recrecimiento de la presa o etapas de material de préstamo (desmontes de mina) es de

aproximadamente 3'382,094.00 m³. (Ver siguientes Cuadros).
 Se tiene proyectado la conformación de 10 etapas de recrecimiento Aguas Abajo conformado con material proveniente de la desmontera mina capilla y tajo Alpamarca. El volumen de conformación de las etapas es como se muestra en el cuadro N° 3. Este recrecimiento será conformado hasta la cota 4 703,0 m.s.n.m.

Tabla N° 4.9: Volúmenes de Operación - Etapas de Recrecimiento

ETAPAS	
Cota msnm	Volumen de Etapa (m ³)
4670.0	0
4673.0	134,461
4676.0	191,086
4680.0	269,156
4684.0	348,928
4688.0	398,072
4691.0	330,026
4694.0	353,030
4697.0	410,849
4700.0	448,997
4703.0	497,489

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.10: Volúmenes de Operación - Deposito

Cota de relave (msnm)	Producción de finos m ³	Tiempo en meses	Tiempo en años
4 668	0	0	0
4 701	8 948 505,00	171,6	14,3

Fuente: Elaboración propia

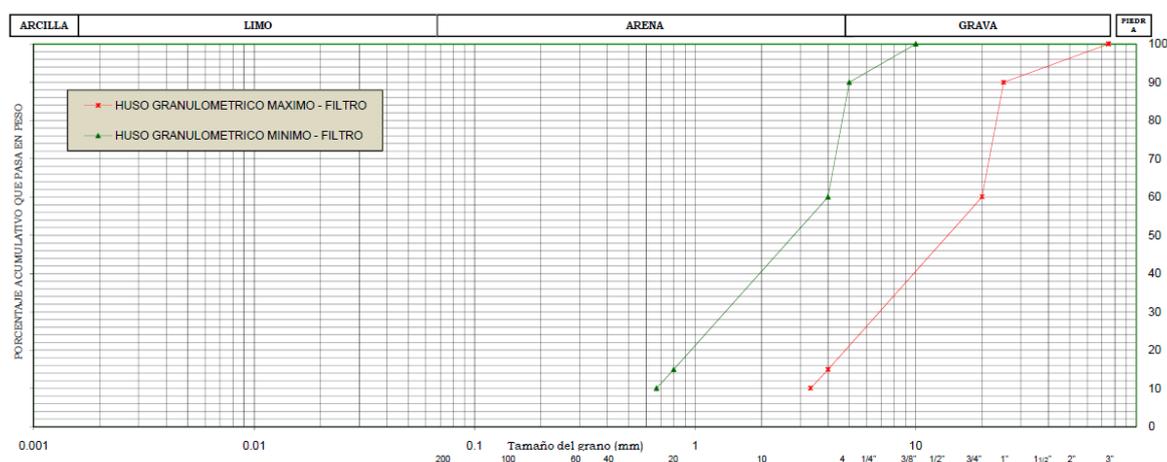
4.4.6. DETERMINACIÓN DEL ANCHO DE CORONA

Teniendo en cuenta el criterio de transitabilidad por la corona de la presa y factores de obra vial: paso de un camino, alumbrado, ancho de seguridad, adoptaremos como ancho de corona, desde la Etapa II hasta la etapa X, el valor de 8 metros.

4.4.7. SISTEMA DE DRENAJE DE LA SOBREELEVACIÓN DE LA PRESA

El sistema de drenaje de la presa estará conformado por drenes chimenea, faja y blanqueta de 1.5 metros de espesor. El material de conformación de los drenes será arena gruesa con grava, como se muestra en el diseño adjunto. El huso granulométrico de los drenes se presenta a continuación:

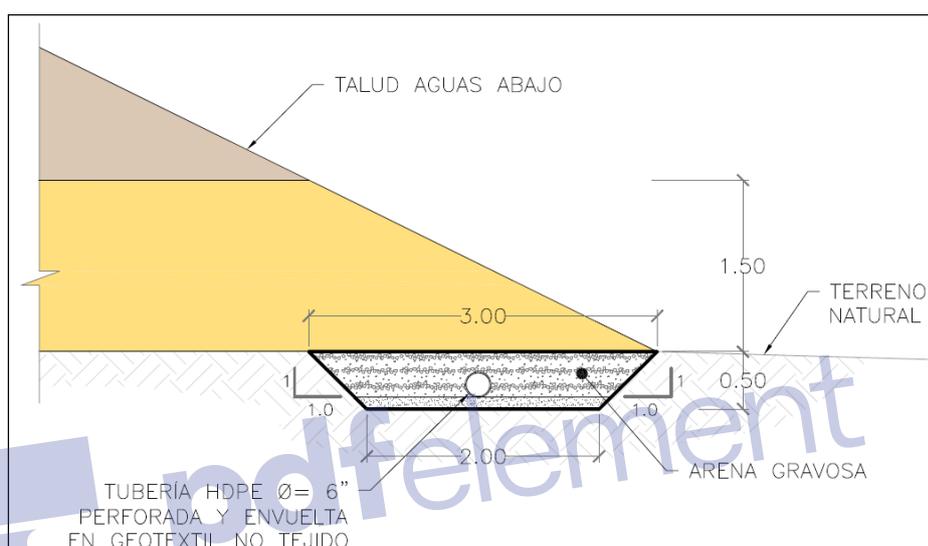
Figura N° 4.3: Análisis granulométrico de los drenes



Fuente: Elaboración propia

Al pie del talud se ubicará un dren talón, el cual derivará las aguas captadas por el sistema de drenaje, por medio de tuberías, hacia la poza colectora.

Figura N° 4.4: Talud con sistemas de drenaje



Fuente: Elaboración propia

4.4.8. MEJORAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN

Debido a que la proyección de la presa Alpamarca estaría cimentada sobre suelo blando se realizará un mejoramiento de la cimentación entre las progresivas 0+800 hasta 0+950.

Este mejoramiento consistirá en el reemplazo del material blando en su totalidad, el cual tiene una potencia variable que alcanza los 9 metros en las partes más profundas. Este

mejoramiento de la cimentación tiene como objetivo apoyar la Presa Alpamarca sobre basamento rocoso.

Cabe resaltar que dicho mejoramiento tiene como sustento geotécnico la estabilidad global de la estructura, en la cual se asumió un carácter conservador proyectando un suelo blando de 9 metros de potencial en toda la extensión de la sobreelevación de la Presa Alpamarca, cubriendo de esta manera el escenario más crítico en el que se vería dispuesta la estructura.

4.4.9. CONDICION HIDROLOGICA PARA EL RECRECIMIENTO DE LA PRESA

La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, esto se encuentra en función de la cobertura vegetal, puede aproximarse como se muestra en el siguiente tabla.

Tabla N° 4.11: Condición Hidrológica

Cobertura Vegetal	Condición Hidrológica
>75% del área	Buena
Entre 50% y 75% del área	Regular
< 50% del área	Pobre

Fuente: Elaboración propia

Respecto al número de curva, es importante precisar que no existe valores para las características de la cuenca existentes en

el Perú; vale decir, no se ha efectuado investigaciones en éste rubro; por lo tanto, se ha tomado como referencia El Método SCS o del Número de Curva (CN), del U.S. Soil Conservation Service y se ha ajustado ó calibrado en función a las características de la cuenca interés.

A continuación se presenta los parámetros del hidrograma para la cuenca en estudio en el siguiente cuadro.

Tabla N° 4.12: Parámetros Hidrograma Triangular

Cuenca	Tiempo de Concentración Tc (horas)	Tiempo de Retraso TR (horas)	Tiempo de Pico Tp (horas)	Tiempo Base Tb (horas)	Caudal Unitario Qp (m ³ /s/mm)
Total	0,92	0,55	1,01	2,70	0,46

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta los caudales calculados por el método del SCS, en el siguiente Cuadro:

Tabla N° 4.13: Caudal Máximo

Periodo de Retorno	Pmax en 24 Horas (mm)	Lluvia Efectiva Pe (mm)	Caudal Máximo (m ³ /s)	
			Cuenca Total	Deposito
50	45.20	6.42	2.95	0.51
100	50.40	8.70	4.00	0.69
150	53.30	10.08	4.64	0.80
500	62.60	14.95	6.88	1.19
1000	67.80	17.93	8.25	1.42

Fuente: Elaboración propia

4.5. DISEÑO GEOTÉCNICO

Compañía Minera Alpamarca, con la finalidad de continuar con sus operaciones de explotación minera, ha encargado a GEOSERVICE INGENIERÍA SAC., la ejecución del estudio de la Sobreelevación del dique del Depósito de Relaves Alpamarca Nivel 4703 msnm.

El presente estudio de recrecimiento de la cota 4670 a 4703 msnm, obedece a una mejora tecnológica debido a que al utilizar material de préstamo se incrementan los factores de seguridad y estabilidad física de la presa. Por lo tanto, GEOSERVICE Ingeniería realizó la visita técnica a la zona de estudio, durante los días 26-02-17 al 02-03-17; realizando investigaciones geotécnicas (calicatas y densidades) y la evaluación de la cantera de agregados.

El volumen de almacenamiento de la sobreelevación del depósito de relaves Alpamarca será de 8 948 505 m³, lo que permitirá una vida útil de aproximadamente 14, 3 años (10 Etapas).

El objetivo del diseño geotécnico es presentar las consideraciones, evaluaciones y resultados obtenidos de los análisis de estabilidad de las etapas del recrecimiento de los taludes de la presa, y definir su adecuado dimensionamiento, para garantizar la estabilidad del depósito de relaves.

4.5.1. GENERALIDADES PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

El presente informe involucra el análisis de estabilidad física de los taludes para la sección 1-1' perteneciente al dique de la presa de relaves considerando las condiciones de recremento a la cota 4703 msnm. A continuación, se presenta una descripción de las consideraciones del diseño geotécnico tomadas para la ejecución de los análisis mencionados.

4.5.2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA

Los análisis de estabilidad de la presa han sido efectuados como parte de la evaluación del recremento a la cota 4703 msnm, se tomaron en cuenta los siguientes factores: geometría de taludes, parámetros geotécnicos, cargas dinámicas monotónicas inducidas por acción de los sismos, entre otros. A continuación se describe el método numérico empleado en los análisis.

4.5.3. MÉTODO DE EQUILIBRIO LÍMITE

Este método se basa en la evaluación de resistencia al deslizamiento de un talud, tomando en cuenta ciertas hipótesis

en relación al mecanismo de falla, condiciones de equilibrio, nivel freático, resistencia cortante, etc. El método de equilibrio límite supone que en el caso de una superficie de falla las fuerzas actuantes y resistentes son iguales a lo largo de la superficie de falla, esta condición equivale a un factor de seguridad de 1.0; sin embargo, existen valores de factores de seguridad mínimos para considerar que un talud es estable, los cuales varían según las condiciones de análisis.

El método de Equilibrio Límite contempla el análisis de cargas dinámicas monotónicas, mediante la evaluación en condiciones pseudoestáticos, consiste en adicionar una fuerza horizontal equivalente al peso de la masa a deslizarse multiplicado por un coeficiente sísmico lateral. Esta metodología tiene limitaciones debido a que las estructuras de tierra y taludes se comportan como cuerpos deformables y su respuesta a la excitación sísmica depende de los materiales, de la estructura, de la geometría, de la naturaleza del movimiento, etc., como se evidenció en ensayos a escala natural y en las observaciones de la respuesta durante los sismos pasados. Otro inconveniente es que las fuerzas de inercia horizontales no actúan permanentemente en una dirección, por el contrario, fluctúan tanto en magnitud como en dirección. En consecuencia, si el factor de seguridad obtenido del análisis de estabilidad toma

valores menores que la unidad, este no será evidencia necesaria de que el talud sufrirá una súbita inestabilidad, por otra parte puede representar que dicho talud simplemente sufra algunas deformaciones de tipo permanente.

Como hipótesis del análisis se consideran que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas, son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento.

El programa SLIDE utilizado en el presente estudio, emplea el método de Equilibrio Límite para calcular el factor de seguridad en taludes de tierra y roca. Este programa tiene la capacidad de modelar tipos heterogéneos de suelo, estratigrafía y geometría de superficie de fallas complejas y condiciones variables de la presión de poros utilizando una gran selección de modelos de suelo. Los análisis pueden realizarse con parámetros determinísticos o probabilísticos. El programa SLIDE está programado para manipular:

- Métodos de búsqueda para la superficie crítica, para superficies de falla circulares y no circulares.

- Materiales múltiples; materiales anisotrópicos, Mohr-Coulomb no lineales.
- Análisis Probabilístico – calcula probabilidad de falla, índice de confiabilidad.
- Nivel freático – superficies piezométricas, factores R_u , mallas de presión de poros, análisis con elementos finitos del nivel freático, factor B_{bar} (exceso de presión de poros).
- Cargas externas – lineales, distribuidas o sísmicas.
- Refuerzos – Cuñas de suelos, cuerdas de anclaje, geotextiles, pilotes. zonas de resistencia infinita (exclusión de superficies de falla).
- Análisis regresivo de fuerza de refuerzo requerida para un factor de seguridad dado.
- Vista de cualquiera de las superficies de falla por búsqueda.
- Pueden imprimirse resultados de análisis detallados para superficies de falla individuales.

4.5.4. CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA

En el siguiente Cuadro se presentan los factores de seguridad mínimos requeridos para considerar un talud estable, valores que son sugeridos por el US Army Corps of Engineers (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos). Estos factores

de seguridad pueden servir como criterios de diseño para la evaluación del comportamiento estático y pseudoestático de los taludes a analizarse en el presente estudio.

Tabla N° 4.14: Factores de Seguridad Mínimos para el Análisis de Estabilidad de Presas de Tierra

Condición	Talud Aguas Arriba	Talud Aguas Abajo
I) Estabilidad al final de la construcción	1,3 - 1,4	1,3 - 1,4
II) Estabilidad a largo Plazo	--	1,5
IV) Sismo	1,1	1,1

Fuente: US Army Corps of Engineers

De acuerdo al cuadro anterior, en el presente estudio se definirá, un Factor de Seguridad (FS) estático mínimo a largo plazo de 1,5 y de 1,1 para el caso de un análisis pseudoestático a largo plazo.

Coefficiente Sísmico.- Para el presente estudio se utilizará un coeficiente sísmico de 0.39. Este valor ha sido obtenido a partir del estudio de peligro sísmico desarrollado por ZERGEOSYSTEM PERÚ S.A.C. (2009). El coeficiente sísmico de 0,39 representa la sismicidad de la zona y los niveles de aceleración máxima esperada en el área en estudio para periodos de retorno de 475 años, considerando 50 años de periodo de exposición sísmica.

Pero para el caso de un análisis pseudoestático del dique natural, el uso de una aceleración horizontal máxima se considera que es demasiado conservador, pues su presentación es puntual conformando el valor pico. Kramer (1996) observó que los taludes de tierra no son elementos rígidos, y por consiguiente la aceleración pseudoestático empleada en la práctica, debería ser mucho menor que la aceleración máxima predicha.

Es usual considerar una aceleración efectiva en vez del instrumental pico, sobre este particular Marcuson (1981) sugirió que para las aceleraciones básicas en los análisis de estabilidad de taludes, deben aplicarse coeficientes de reducción del orden entre $1/3$ y $1/2$. Por lo tanto, la aceleración horizontal para el presente estudio será $0,15g$.

Condiciones de Análisis.- Se tomaron en cuenta las siguientes condiciones para el análisis de estabilidad:

- Se considera que las propiedades de los materiales que conforman el perfil del talud son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento.
- Se considera tipo de fallas de superficie circular, como mecanismos de falla del talud investigado. El método de

análisis de falla circular adoptado es el de Spencer. Este método se encuentra implementado en el programa de cómputo utilizado (SLIDE).

- Los resultados del análisis se presentan en términos de superficies potenciales de falla. La superficie crítica de deslizamiento es aquella que proporciona el menor factor de seguridad. En el Apéndice 3 del Anexo 4 se presentan los resultados del análisis de estabilidad para condiciones actuales, obtenidos con el programa SLIDE para las dos secciones representativas de la presa de relave.
- El análisis es aproximado a un estado de deformación plana, esto es, un análisis bidimensional. Para el caso analizado las condiciones IN SITU reflejan aproximadamente este estado.
- Se ha tratado de asumir las condiciones reales de campo, es decir, se incluyen el efecto gravitatorio de los diferentes materiales y el efecto dinámico de los sismos. No se consideran ni el efecto del tiempo, ni la meteorización de los materiales.

Análisis de Estabilidad del terraplén de la Presa.-

Condiciones del Proyecto

- Los parámetros de resistencia cortante de los materiales han sido establecidos en base a los resultados de ensayos de laboratorio y ensayos triaxial consolidado no drenado (CU),

para la condición a largo plazo; y ensayos triaxiales no consolidados no drenados (UU), para condición sísmica y al final de la construcción.

- Los coeficientes sísmicos han sido obtenidos del estudio de peligros sísmico presentado en el informe de “Estudio definitivo para el Rediseño de la Presa del Depósito de Relaves Alpamarca” (GEOSERVICE Ingeniería S.A.C. 2009).
- La sección transversal para los análisis de estabilidad física, han sido obtenidas en base a la información topográfica.
- La sección de análisis se ha establecido considerando que la presa está cimentada sobre basamento rocoso.

Propiedades de los materiales.- Las propiedades de los materiales que conforman la presa, se obtuvieron en base a la exploración geotécnica efectuada por GEOSERVICE en los años del 2009 y 2013, así como, los resultados de los ensayos de laboratorio en el año 2016. A continuación se describe un breve resumen de los materiales y sus parámetros resistentes:

4.15. Parámetros de Resistencia- Condición Pseudoestático

Material	Clasificación SUCS	Densidad (kN/m ³)	Parámetros de Resistencia			
			Efectivos		Totales	
			c' (kN/m ²)	Ø' (°)	c (kN/m ²)	Ø (°)
Recrecimiento de 4670 a 4703 msnm (terraplén de Presa)	GC/ GW-GM ■	23	0	40	0	44

Material	Clasificación SUCS	Densidad (kN/m ³)	Parámetros de Resistencia			
			Efectivos		Totales	
			c' (kN/m ²)	Ø' (°)	c (kN/m ²)	Ø (°)
Condiciones actuales (4660-4670)	GP-GC 	21	0	38	10	36
Dique de arranque	GP-GC 	21	0	38	10	36
Relaves finos del vaso del depósito	ML 	13	0	12	0	12
Cimentación (Roca Marga)	Roca 	25.5	210	27	21.0	27
Dren chimenea – Blanket	GP 	17	0	34	0	34

Fuente: US Army Corps of Engineers

4.6. SOFTWARE DE ANÁLISIS

Para el análisis de estabilidad de las etapas del recrecimiento del depósito de relaves Alpamarca, se ha utilizado el programa Slide V6.0 que realiza los análisis de infiltraciones y de estabilidad según equilibrio límite bidimensional, calculando el factor de seguridad de un talud con varios estratos empleando el método simplificado de Bishop, método modificado de Janbu, Spencer, otros. El programa permite analizar tanto una superficie única de falla como una gran cantidad de superficie de falla circulares y no circulares.

Para los cálculos realizados en el presente estudio, se han considerado 100 y 5000 círculos de falla por cada análisis. Se obtiene así el mínimo factor de seguridad, graficando las superficies de falla con menores factores de seguridad.

Este programa ofrece entre otras las siguientes opciones:

- Sistemas de suelos heterogéneos.
- Suelos con características de resistencia anisotrópicas
- Envolvente no lineal de esfuerzos, según Mohr Coulomb
- Presiones de poros calculados de diversas maneras: a partir del coeficiente de presión de poros R_u de una superficie freática, de una superficie piezométrica o de una malla de presiones de poros definida previamente.
- Cálculo de los factores de seguridad (corregidos) según el método de Janbu.
- Verificación de errores de entrada de datos.
- Visualización preliminar de la geometría del talud analizado.
- Archivos independientes de datos de entrada, salida de resultados y gráficos, los cuales pueden ser inicialmente grabados y posteriormente recuperados e impresos.
- Análisis de taludes tanto con pendientes.
- Sistema de unidades métricas o inglesas.
- Menú de ayuda para todas las opciones del programa.
- Análisis de filtraciones.

Se han analizado una sección de la presa sometida a filtración de agua desde el embalse, ubicada en sitio debidamente seleccionado (sección máxima), calcular las filtraciones a través, por debajo y alrededor de la presa de relave.

Las permeabilidades de los materiales involucrados se presentan a continuación:

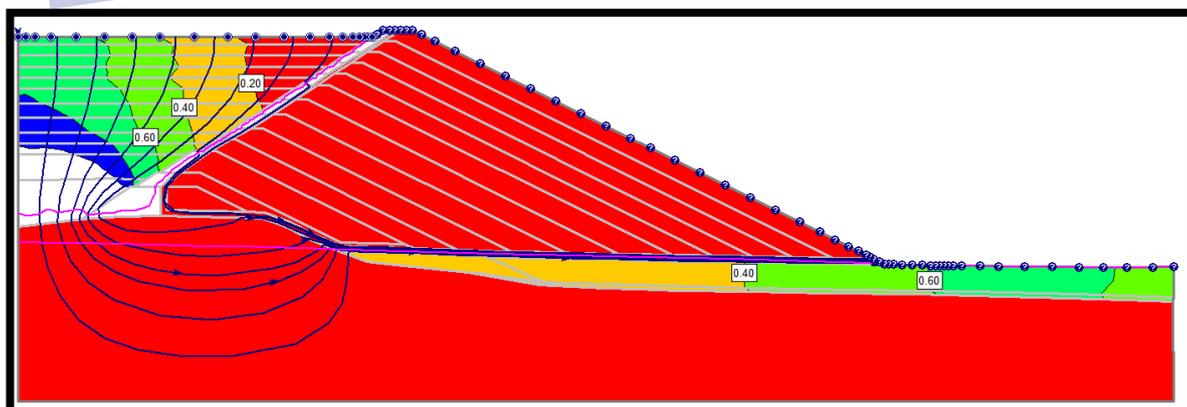
Tabla N° 4.16: Valores de permeabilidad usados en los análisis de filtración

MATERIAL	K (cm/s)
Roca Marga	3.5×10^{-3}
Dren Chimenea	1.0×10^{-1}
Dique de Arranque	7.6×10^{-8}
Condiciones actuales	7.6×10^{-8}
Desmante de mina	7.6×10^{-8}
Relave	7.4×10^{-5}

Fuente: Departamento de Ingeniería de Proyectos

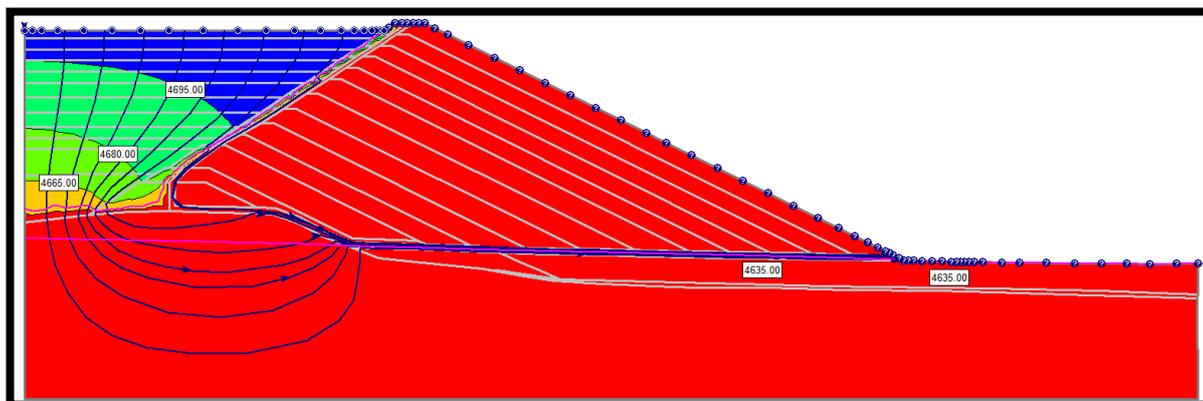
De esta manera, los resultados obtenidos son los siguientes:

Figura N° 4.4: Análisis de Estabilidad Estático (Etapa X)



Fuente: Deartamento de Ingeniería de Proyectos

Figura N° 4.5: Líneas de corriente y equipotenciales



Fuente: Deartamento de Ingeniería de Proyectos

Tabla N° 4.17: Factor contra erosión interna

Zona	Gradiente Hidráulico
Cuerpo de Presa	0,00
Cimentación	0,60

Fuente: Deartamento de Ingeniería de Proyectos

Los resultados de gradiente hidráulico son menores a 1, por lo cual se concluye que no va existir problemas de erosión interna en el material del cuerpo de Presa de relaves aguas abajo. Concluyendo que no se va a producir una reducción de la resistencia de los materiales que la conforman.

4.7. ANÁLISIS DE EQUILIBRIO LÍMITE PARA EL TALUD

Los análisis de estabilidad de taludes para la presa, se realizaron en las Secciones 1-1'.

Para los taludes representativos del área de estudio, se realizaron análisis estáticos y pseudoestáticos por etapas (etapa 1 a la etapa 10), considerando superficies de falla circulares con áreas de deslizamientos que representan fallas de tipo general y local.

Para las condiciones de recrecimiento de la presa, los análisis realizados se han obtenido factores de seguridad considerando fallas de superficies circulares, que involucran el deslizamiento de masas de suelo a lo largo de todo el talud (falla general o global) y deslizamientos que comprometen parte del talud (fallas locales). Los resultados de los análisis efectuados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 4.18: Resumen de los resultados obtenidos en el Análisis de Equilibrio Límite del talud de la presa

Sección de Análisis – Fases de construcción	FS		Superficie de Falla
	Estático	Pseudoestático	
1 (4670-4673)	1,780	1,210	Circular
2 (4673-4676)	1,835	1,265	Circular
3 (4676-4680)	1,915	1,406	Circular
4 (4680-4684)	1,865	1,436	Circular
5 (4684-4688)	1,902	1,464	Circular
6 (4688-4691)	1,914	1,522	Circular
7 (4691-4694)	1,900	1,556	Circular
8 (4694-4697)	1,963	1,528	Circular
9 (4697-4700)	1,846	1,483	Circular
10 (4700-4703)	1,832	1,484	Circular

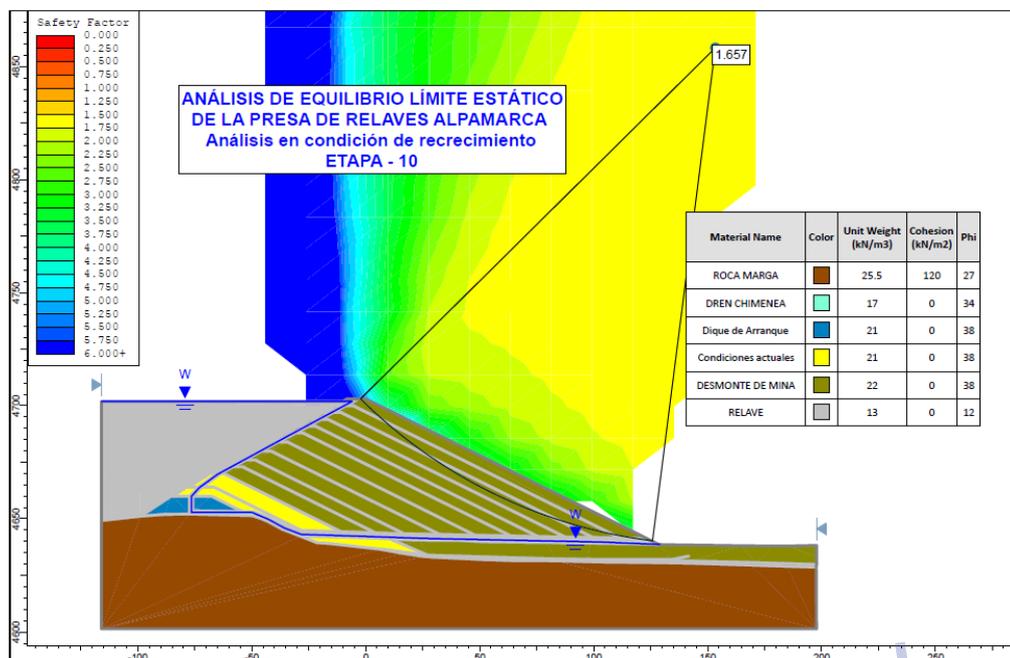
Fuente: Deartamento de Ingeniería de Proyectos

Los resultados de los análisis de estabilidad de taludes se desarrollaron considerando la geometría en sus diferentes fases de construcción (ver tabla anterior), obteniendo valores de factores de seguridad (FS) mínimo de 1,780 en la condición estática, y de 1,210 en la condición pseudoestático. Los resultados expuestos son mayores a los mínimos permisibles considerados según los criterios de diseño, con lo cual se concluye que la presa es estática y pseudoestáticamente estable en las condiciones de recrecimiento hasta la cota 4 703 msnm.

4.8. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA PRESA

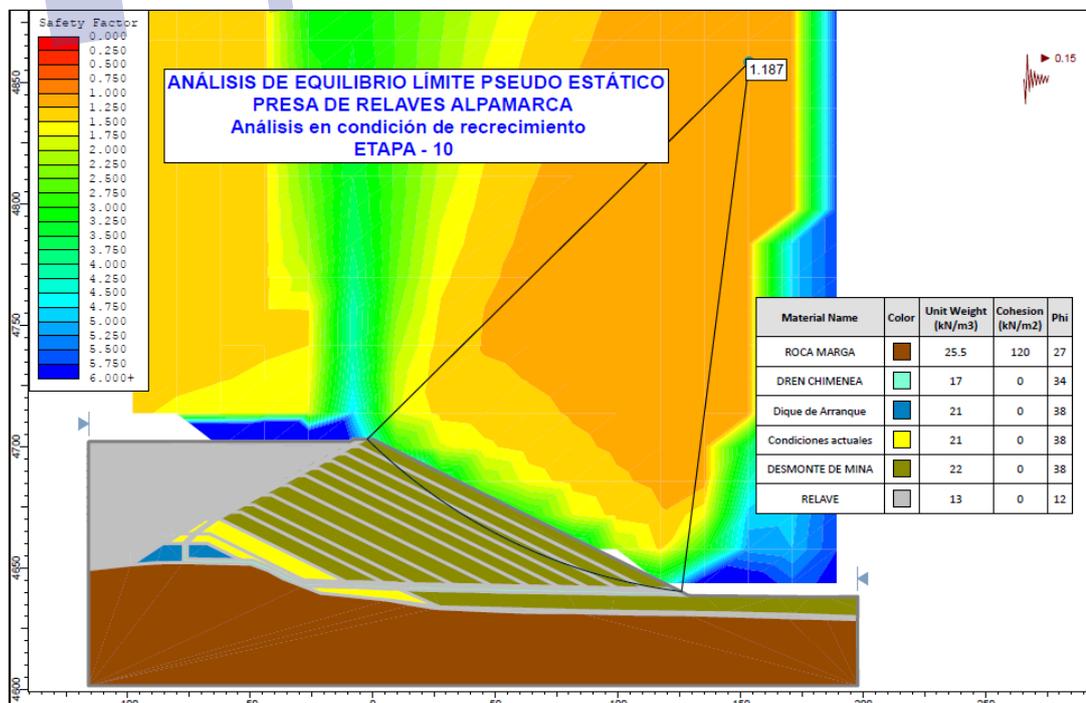
A continuación se muestran los resultados de los análisis de infiltraciones y de estabilidad realizados para la Etapa X:

Figura N° 4.6: Análisis de Estabilidad Estático (Etapa X)



Fuente: Deartamento de Ingeniería de Proyectos

Figura N° 4.7: Análisis de Estabilidad Pseudoestático (Etapa X)



Fuente: Deartamento de Ingeniería de Proyectos

4.9. EVALUACIÓN DE LA CANTERA CAPILLA DON PABLO

Con la finalidad de obtener volúmenes alcanzables y explotables de materiales adecuados que satisfagan, tanto la calidad, facilidad de accesos y procedimientos de explotación. Se paso a realizar una excavación a cielo abierto (calicata) con el fin de obtener sus parámetros resistentes y utilizarlo como material para la conformación del recrecimiento de la presa.

En la figura N° 4.8, se puede observar una cantera de agregados que corresponde amplios depósitos desmonte de mina Capilla-Don Pablo. La cantera se encuentra conformada por una grava arcillosa con arenosa, húmeda, con presencia de bolonería y boleos de forma sub-angular.

El material de desmonte de mina se encuentra expuesto sobre una superficie de relieve moderado, con afloramiento de limo areniscas, presentándose muy fracturadas.

El depósito de desmonte de mina está ubicado en la Unidad Minera Alpamarca. Se analizó esta cantera como alternativa de explotación para la conformación del recrecimiento de la presa Alpamarca.

Se ubica en las coordenadas UTM: N 8 759 391, E 342 079, a una altitud promedio de 4 610 msnm.

Figura N° 4.8: Se observa la potencia del desmonte de mina Capilla-Don Pablo



Fuente: Elaboración propia

4.10. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL DE CANTERA

Esta cantera está conformada por una grava arcillosa (GC), con gravas sub-angulosas y alargadas, con T.M= 3", color beige a gris, húmeda y su compactidad es medianamente densa.

Este material será utilizado como agregado para ser conformado en cada una de las etapas de la conformación de la presa. En la Foto N°2 se observa el material de agregado.

4.10.1. ENSAYOS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA SOBREELEVACIÓN HASTA LA COTA 4703 MSNM.

La investigación de campo ha consistido en la ejecución de una excavación superficial y la obtención de muestras de suelo, para efectuar el ensayo de clasificación y obtener sus propiedades físicas y la calidad de los materiales del depósito de desmonte de mina.

Las muestras representativas fueron extraídas por GEOSERVICE Ingeniería y enviadas a ensayar en el Laboratorio Geotécnico de EYP de Ingeniería S.R.L.

A continuación se describen las normas de la American Society for Testing and Material (ASTM) consideradas para la ejecución de los ensayos en laboratorio:

- Análisis Granulométrico por tamizado: ASTM D-422
- Granulometría de agregados: ASTM-C-136
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso: ASTM-C-127
- Gravedad específica y absorción del agregado fino: ASTM-C-128
- Ensayo de sales al agregado: ASTM D-1889
- Ensayo de carbonatos al agregado: ASTM D-1125

- Ensayo de sulfatos al agregado: ASTM D-516
- Ensayo de cloruros al agregado: ASTM D-512
- Ensayo para el material fino tamiz N°200: ASTM C-117
- Peso volumétrico varillado seco y suelto: ASTM C-29
- Ensayo de Abrasión (Maquina de los Ángeles): ASTM C-131



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. A manera de conclusión, el recrecimiento depósito de relaves tendrá estabilidad satisfactoria en su condición de cierre total, bajo sollicitaciones de los taludes, con talud global de 2.0H:1.0V.

2. A fin de lograr condiciones satisfactorias de estabilidad geoquímica del depósito de relaves, se deberá además tener en cuenta las siguientes:
 - Se deberá tener en cuenta que todos los materiales deben de tener un buen porcentaje de finos de esta manera aumentar la impermeabilidad de materiales.
 - Seguir con la metodología de los diseños de coberturas aprobados, que actualmente dieron resultados satisfactorios.
 - Estos diseños deben de incluir vegetación tanto en plataforma como talud y de esta manera minimizar la erosión e infiltración producto de las precipitaciones.
 - El modelo de cobertura aplicando los criterios de vegetación y materiales con un % de permeabilidad cumplen con reducir la infiltración y percolación hacia los relaves e menos del 1% en relación a la precipitación anual.
 - Durante la incorporación de materiales, se deberá nivelar oportunamente las capas de materiales, de tal manera que se implementen superficies de drenaje, para prevenir la acumulación del agua en la plataforma y/o vaso.

- La estabilización geoquímica del depósito de relaves debe realizarse primero en el talud, empezando de la parte superior, de este modo, la incorporación de coberturas será uniforme y así ayudará a mejorar las propiedades de resistencia de los mismos.



RECOMENDACIONES

1. La zona de estudio se ubica en la Unidad Minera ALPAMARCA, distrito de Santa Barbara de Carhuacayán, provincia de Yauli, departamento de Junín; Sierra central al oeste de la cordillera occidental del Perú.
2. Con la finalidad de cumplir el objetivo planteado, se ha revisado la documentación técnica del estudio “Ingeniería del Proyecto y Expediente Técnico de la Presa Alpamarca”.
3. La Cantera Capilla Don Pablo ubicada en la Unidad Minera Alpamarca, está constituido por gravas arcillosas (GC), localizado a una altitud promedio 4 610 msnm a una distancia aproximada de 2 km de la presa.
4. El programa de exploración de campo para el presente estudio, consistió en la ejecución de (06) calicatas con equipo mecánico. Así mismo, se realizó el logueo y muestreo de material representativo de cada uno de los sondajes ejecutados para ser sometidos posteriormente a ensayos de laboratorio, cuyos resultados indican que el material es una grava arcillosa de buenas condiciones geotécnicas para la construcción del terraplén de la presa en las etapas de construcción faltantes.

5. El coeficiente sísmico utilizado en el presente estudio es de 0,15 g. dicho valor ha sido obtenido a partir del análisis de peligro sísmico desarrollado para el estudio de la presa Alpamarca. Este coeficiente sísmico representa la sismicidad de la zona y los niveles de aceleración máxima esperada en el área en estudio para periodos de retorno de 475 años.
6. Los resultados de los análisis de estabilidad física del talud se realizaron considerando un estado crítico en el cual el material gravo arcilloso limoso se encuentra cimentado considerando la eliminación de suelo blando con una profundidad promedio aproximada de 7 metros alcanzando en ciertos puntos una profundidad de 9 metros. De esta manera la presa se cimentará sobre roca de buenas condiciones geotécnicas.
7. Los análisis de estabilidad realizados para cada etapa de construcción considerando los parámetros geotécnicos de la cimentación y del terraplén determinan factores de seguridad mínimos de 1,780 en la condición estática, y de 1,210 en la condición pseudo-estático, lo cual demuestra que los taludes se encuentran en condición estables.

BIBLIOGRAFÍA

1. BRUNKE L. de la P. (2010). La realidad del relave minero, el daño y la gestión ambiental peruana, Perú. Retrieved from.
<http://www.cda.org.pe/boletines/archivos/1347744612>.
2. CONING ISABEL ADELA DA GALLO REJAS. (2011). Estudio de impacto ambiental en la minería Yanacocha oeste Perú.
3. MEDINA E.C. ALARCÓN F.B. (2010). Impacto de los relaves mineros en el Perú.
4. ROMERO A.A. FLORES S.L. (2010). Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita.