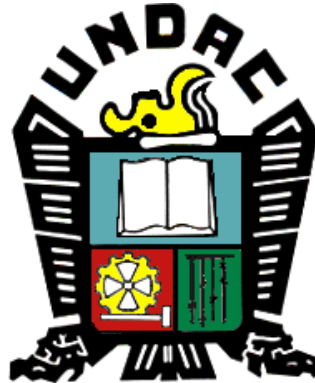


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA
METALÚRGICA**



**“CONSTRUCCIÓN DEL RECRECIMIENTO DEL
DEPÓSITO DE RELAVES ANIMÓN, ETAPA II A LA
COTA 4621 M.S.N.M. PARA EL CONTROL DE
CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA COMPAÑÍA
MINERA CHUNGAR S.A.C. – PASCO - 2017”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO METALURGISTA

PRESENTADO POR:

Bach. ELVYS RENEE CRISTOBAL DAMASO

CERRO DE PASCO – PERU

2018

RESUMEN

Los trabajos realizados son una indicación de las tareas necesarias para completar la Obra; sin embargo, será responsabilidad del Contratista visitar el lugar antes de entregar su cotización para planificar adecuadamente y evaluar todas las operaciones requeridas, suministrar el equipo, material y la mano de obra requerida para realizar la obra.

La obra será llevada a cabo en concordancia con los Términos de Referencia de los documentos contractuales.

El trabajo consiste en el Recrecimiento del Depósito de Relaves Animón y demás obras relacionadas. El recrecimiento se hará en 2 etapas. La Etapa I corresponde al recrecimiento de la presa en el sector Oeste y Este, en tanto, la Etapa II se refiere al recrecimiento de la presa en el sector Sur.

Estas especificaciones son generales, los detalles pueden ser encontrados en los planos respectivos o en las especificaciones particulares.

El Contratista podrá optar por la subcontratación de cualquier parte del trabajo, siempre que el subcontratista haya sido previamente aprobado por escrito por el Gerente de Construcción.

El alcance de trabajo se refiere a las actividades necesarias para el recrecimiento de la presa Animón, la cual presenta actualmente tres (3) tramos diferenciados por la dirección de sus ejes, a los cuales se les ha sub-dividido en las siguientes presas: Presa Oeste, Presa Sur y Presa Este. Actualmente las tres (3) presas forman un solo depósito de relaves, denominado “Deposito de Relaves de Animón”.

La presa oeste será construida sobre el depósito de Relave Inactivo N°1, asimismo, un tramo del recrecimiento de la presa oeste será recrecida utilizando suelo reforzado. Todas las presas serán recrecidas por el método de recrecimiento aguas abajo.

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 MIS PADRES.

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.

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, a mi asesor Dr. Sc. Hildebrando A. Córdor García, 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 Animón:** por darme la oportunidad de realizar la presente investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	vii
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.1. Problema general	7
1.2.2. Problemas específicos	7
1.3. OBJETIVOS	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos	8
1.4. IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	
1.4.1. Importancia	8
1.4.2. Limitaciones	9
1.5. JUSTIFICACIÓN	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES	9
2.2. BASES TEÓRICAS	12
2.2.1. Marco contextual	13
2.2.2. Relave minero	14
2.2.3. La actividad minera y el origen del relave	16
2.2.4. El agua en la industria minera	17
2.2.5. Uso de agua en procesos mineros	18
2.2.6. Guía ambiental para actividades mineras	18
2.2.7. Impacto ambiental de la actividad minera	20
2.2.8. Perfil contratista	23
2.2.9. Disposiciones generales para la presentación de ofertas	24
2.2.10. Responsabilidades	27
2.2.11. Códigos, normas y estándares aplicables	27
2.2.12. Control y aseguramiento de calidad del proyecto	29
2.2.13. Informes y documentos	30
2.2.14. Materiales y equipamiento por el contratista	31
2.2.15. Plazo de ejecución	31
2.2.16. Horarios y días de trabajo en la unidad minera	32
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	34
2.4. HIPÓTESIS	36
2.4.1. Hipótesis general	36

2.4.2. Hipótesis específicas	36
2.5. VARIABLES	36
2.5.1. Variable dependiente	36
2.5.2. Variable independiente	37
2.5.3. Variables intervinientes	37

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	38
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	39
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN	39
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.4.1. Población	40
3.4.2. Muestra	40
3.5. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	40
3.5.1. Información disponible	41
3.5.2. Metodología de evaluación	41
3.6. EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE MURO Y DISPONIBILIDAD DE ACERO	45
3.6.1. Análisis de estabilidad de muro de concreto	45
3.6.2. Diseño de estructuras de construcción de muro de voladizo	48
3.6.3. Diseño estructural de la cimentación	52

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	85
4.2. CIMENTACIÓN	85
4.3. RELLENO	86
4.3.1. Relleno masivo	86
4.3.2. Relleno estructural	86
4.3.3. Características del relleno	87
4.4. QUENAS DE EVALUACIÓN DL AGUA DEL DEPÓSITO DE RELAVES	89
4.5. BOTADEROS	90
4.6. MUROS DE CONTENCIÓN	90
4.7. MOVIMIENTO DE TIERRAS	91
4.8. IMPERMEABILIZACIÓN	91
4.9. CONTROL DE CALIDAD	92
4.10. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN	92
4.10.1. Software	92
4.10.2. Materiales	92
4.10.3. Secciones de análisis	93
4.11. ANÁLISIS ESTÁTICO	94
4.12. ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO	94
4.13. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DESARROLLADOS	95
4.14. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	96
4.14.1. Análisis estático	96

4.14.2. Análisis Pseudoestático

96

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

En el 2000, Volcan adquirió la Empresa Administradora Chungar S.A.C. y la Empresa Explotadora de Vinchos Ltda. S.A.C., las que eran propietarias de las minas Animón y Vinchos, respectivamente, por un precio de USD 20 mm en efectivo más 16 millones de acciones clase B de Volcan.

Esta adquisición incluyó las centrales hidroeléctricas Françoise y San José II, las cuales generan en conjunto 2,2 MW., en el 2004 se iniciaron las operaciones en la mina de plata Vinchos. Asimismo, se adquirieron las centrales hidroeléctricas baños I, II, III Y IV y la central hidroeléctrica de Chicrín que en su conjunto generan 7,5 MW., durante el 2006, Volcan adquirió la Empresa Minera Santa Clara y Llacsacocha S.A., propietaria de la mina Zoraida.

Un año después, adquirió la Compañía Minera El Pilar, propietaria de la mina El Pilar, contigua a la mina y tajo de Cerro de Pasco.

En el 2009, Empresa Administradora Chungar S.A.C. concluyó la construcción de la central hidroeléctrica baños IV, lo que permitió a Volcan sumar en ese entonces un total de 13 MW de potencia instalada.

Luego, en el 2010, Volcan adquirió la Compañía Minera San Sebastián, cuyas concesiones mineras se ubican también en las cercanías de Cerro de Pasco.

En enero de 2011, se aprobó la reorganización simple de la Unidad Minera Cerro de Pasco. Como resultado, esta división pasó a llamarse Empresa Administradora Cerro S.A.C. y se convirtió en una subsidiaria de Volcán Compañía Minera S.A.A. el objetivo de la reorganización era conseguir que cada unidad minera se gestione de forma independiente.

Más adelante, en enero de 2012, en el marco de una emisión internacional de bonos bajo la regla 144a y la regulación de la United States Securities Act de 1933, Volcan colocó bonos corporativos hasta por USD 600 MM por un plazo de 10 años y a una tasa fija de 5,375 %. Esta emisión tuvo como finalidad asegurar el financiamiento de futuros proyectos de crecimiento, tales como la planta de óxidos en Cerro de Pasco y la nueva unidad operativa Alpamarca.

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, Relave minero

La actividad minera y el origen del relave, El agua en la industria minera,, Uso de agua en procesos mineros, Guía ambiental para actividades mineras, Impacto ambiental de la actividad minera, Perfil contratista, Disposiciones generales para la presentación de Responsabilidades, 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, el diseño y el tipo de investigación, población, muestra recopilación de información, Información disponible, Metodología de evaluación, evaluación de estabilidad de muro y disponibilidad de acero

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS, en este capítulo se ha considerado la descripción, la cimentación, relleno, quenas, botaderos, movimiento de tierras, secciones de análisis, resultados de los análisis.

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

En el plano político el año 2017, continuaron los conflictos entre el poder Ejecutivo y Legislativo. Hubo cambios ministeriales en los sectores de educación, transportes y comunicaciones, salud, entre otros. Posteriormente el poder legislativo rechazó la confianza al Gabinete ministerial del Primer Ministro Fernando Zavala en septiembre. Además, los escándalos de corrupción relacionados a Odebrecht agudizaron los conflictos entre el poder Ejecutivo y Legislativo, deteniendo la marcha y el crecimiento del país. Se paralizaron muchas obras de infraestructura en Lima y en el interior del país. En este contexto, se dictó prisión preventiva contra el

expresidente Ollanta Humala y su esposa Nadine Heredia; y se tiene en proceso de investigación a otros expresidentes. Además, en diciembre, el Congreso pidió la vacancia.

En términos sectoriales, la construcción mostró un crecimiento de 2,2 % respecto al año anterior, registrando su primer crecimiento luego de dos años de contracción; en tanto que la actividad pesquera creció 4,7 % respecto al año previo gracias a la mayor extracción de anchoveta para consumo industrial. Por su lado, la manufactura mostró un retroceso de 0,3 %, menor a la contracción de -1,4 % que se registró el año anterior. El sector minería e hidrocarburos se expandió 3,2 % en el 2017, menor a los años precedentes, 9,5 % en el 2015 y 16,3 % en el 2016, debido al menor crecimiento de la producción de cobre, luego de que, en el 2016, Las Bambas y Cerro Verde ampliaron su producción.

La cuenta corriente de la balanza de pagos presentó un déficit de 1,3 % del PBI, menor al déficit de 2,7 % del PBI, registrado el año anterior. Los mayores precios de los metales favorecieron la balanza comercial, presionando a la apreciación del sol, que cerró el 2017 a S/ 3,24 por USD.

Cabe señalar que en promedio el tipo de cambio en el año 2017 fue de S/ 3,26, menor a los S/ 3,37 del año 2016. Por su lado, la inflación

en Lima Metropolitana cerró el año en 1,4 %, dentro del rango meta del Banco Central.

En el año 2017 las cotizaciones de la mayoría de los metales base registraron incrementos respecto al 2016. La buena performance se debe a una economía global más sólida, EE.UU., Europa, Asia y América Latina. La tendencia alcista en el ciclo de precios de los metales estuvo respaldada por el aumento de la demanda y una reforma en la oferta china con mayores controles medioambientales. Respecto a la demanda cabe destacar una recuperación importante propiciada por inversiones en infraestructura tanto en China como Estados Unidos, la revolución de los vehículos eléctricos y la mayor demanda de cobre. En cuanto a la oferta, es importante señalar que en China se vienen implementando políticas de absorción de la capacidad ociosa de las plantas con el fin de reducir el suministro altamente contaminante, ineficiente y no rentable, resultando en una reducción de los inventarios.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El precio del zinc se incrementó 29,1%, pasando de 2563 USD/TM al final del 2016 a 3309 USD/TM al cierre del 2017. De igual manera el precio del plomo se incrementó en 25.7% de 1,985 USD/TM al cierre del 2016 a 2,495 USD/TM al cierre del 2017; el cobre aumentó 30,1%

a 7157 USD/TM; la plata aumentó en 3,8% a 16,87 USD/oz, y el oro en 12,3% a 1294 USD/oz. Los precios se vienen recuperando por segundo año luego de casi cinco años de caídas constantes en los precios de los metales. Este ciclo favorable en los precios de los metales ha permitido una mayor inversión del sector minero.

Según el *ranking* anual del Instituto Fraser para el 2017, el Perú escaló nueve posiciones en la lista de atracción para la inversión minera, ocupando el puesto 19 de 91 jurisdicciones. Este *ranking* anual evalúa dos factores: el potencial geológico y la percepción política. En el potencial geológico, el Perú alcanzó el puesto 14, tres posiciones mejor respecto al 2016. En cuanto a la percepción de las políticas y prácticas públicas asociadas al sector, si bien el Perú obtuvo el puesto 43, once posiciones mejor, seguimos siendo superados por Botswana, Namibia, Chile, entre otros. Cabe mencionar que nuestro vecino país Chile alcanzó el puesto 8, escalando 31 posiciones, por una mejor percepción política y estabilidad del país.

Debemos poner mayor énfasis en promover políticas de Estado para aprovechar el potencial minero peruano, facilitar las inversiones y garantizar la puesta en marcha de importantes proyectos que aún están estancados como Tía María, Cuajone, Quellaveco, Conga, Río Blanco, Galeno, Michiquillay, La Granja, entre otros. Actualmente, el

sector minería representa el 10% del PBI y más del 60% de las exportaciones totales.

Como indicamos años atrás, somos responsables de impulsar el desarrollo del país, las ventanas de oportunidades no se abren todos los días y debemos recordar que competimos para atraer nuevas inversiones y estas van a los países donde se les ofrece mejores condiciones. Estamos observando que países vecinos tradicionalmente no mineros como Ecuador, Colombia y recientemente Argentina, con el gobierno de Mauricio Macri, empiezan a desarrollar un mejor posicionamiento como país para atraer inversionistas que aprovechen su potencial minero.

No puedo dejar de mencionar que la excesiva presión fiscalizadora en temas tributarios, laborales, ambientales y sociales deja sin oportunidad de desarrollo a la industria minera en el país.

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, ocasionaron conflictos sociales que a la fecha no han sido resueltos.

Esto ha generado retrasos en la inversión privada y sobrecostos en las compañías mineras locales.

Cabe señalar que el poder Ejecutivo está llevando adelante una serie de reformas para reducir los excesivos trámites que tiene que cumplir hoy el sector minero para poder explorar y poner en marcha los proyectos.

La producción de Volcan durante el 2017 fue de 255 mil TMF de zinc, de 17,3 millones de onzas de plata y de 51 mil TMF de plomo, es decir disminuciones de 6,7%, 21,1% y 1,9%, respectivamente, comparados con el 2016.

Esto principalmente explicado por las menores leyes de producción en las unidades de Yauli y Chungar.

Además, la producción también se vio afectada por la paralización de 65 días de la mina Islay, durante el periodo agosto-octubre, debido a conflictos con la Comunidad por la autorización del desarrollo del raise borer en la veta Sur; y de 18 días en febrero en la planta de Óxidos por conflictos con la Comunidad de Rancas.

Es importante mencionar que la Compañía continúa enfocada en el control y la reducción de costos en todas las unidades operativas.

Ante ello se tiene el incremento de la relavera para ello se debe de culminar el recrecimiento en altura el dique.

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Por qué hacer la construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para el control de contaminación ambiental en la Compañía Minera Chungar S.A.C.?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cómo realizar la construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para depositar mayor volumen de relave?
2. ¿Qué parámetros se debe considerar en la construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para evitar la contaminación ambiental?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Construir el recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para controlar la contaminación ambiental en la Compañía Minera Chungar S.A.C.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar la construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para depositar mayor volumen de relave.
2. Identificar los parámetros que se debe considerar en la construcción del recrecimiento de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m,s.n.m. para evitar la contaminación ambiental.

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. El control ambiental está dado por la emisión de relave en pasta y evitar que el agua pueda discurrir a la rivera.

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 la construcción de una sobreelevación del depósito de relaves Animón para el control ambiental en la Compañía Minera Chungar.

1.4.2. LIMITACIONES

La investigación a realizarse tendrá la construcción de sobreelevación del depósito de relaves Animón para el control ambiental e 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 la construcción sobreelevación del depósito de relaves Animón, 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 la sobreelevación 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 (ó 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 tener en cuenta el propósito del investigador referente a un determinado tema como en nuestro caso lo que se trata es controlar el relave y para ello es necesario incrementar la altura del dique y para ello es necesario conocer el tipo de relave que se está depositando.

2.2.1. MARCO CONTEXTUAL

La mina Animón se ubica en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, a una altitud de 4,600 msnm.

La unidad de producción Chungar, a su vez forma parte de VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. (EN ADELANTE VOLCAN).

La unidad Animón se dedica a la explotación de minerales polimetálicos con contenidos de zinc, plomo, cobre, plata y procesa en promedio 5450 TPD.

El acceso a la unidad Minera desde la ciudad de Lima, se logra a través de la Carretera Central: Lima - La Oroya – Cerro de Pasco, antes de llegar a la ciudad de Cerro de Pasco existe un desvío de carretera asfaltada hacia el distrito de Huayllay, desde ahí hay una carretera afirmada hacia la unidad minera, el recorrido total de Lima – Chungar es de 314 km.

Existen otras rutas alternativas Lima–Canta–Huayllay y la ruta Lima-Huaral- Huayllay.

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 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

¹ [«Relave»](http://lema.rae.es). lema.rae.es. Consultado el 7 de abril de 2015.

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).

2.2.3. 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.

2.2.4. 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.

2.2.5. 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 suspension 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.

2.2.6. 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

2.2.7. 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

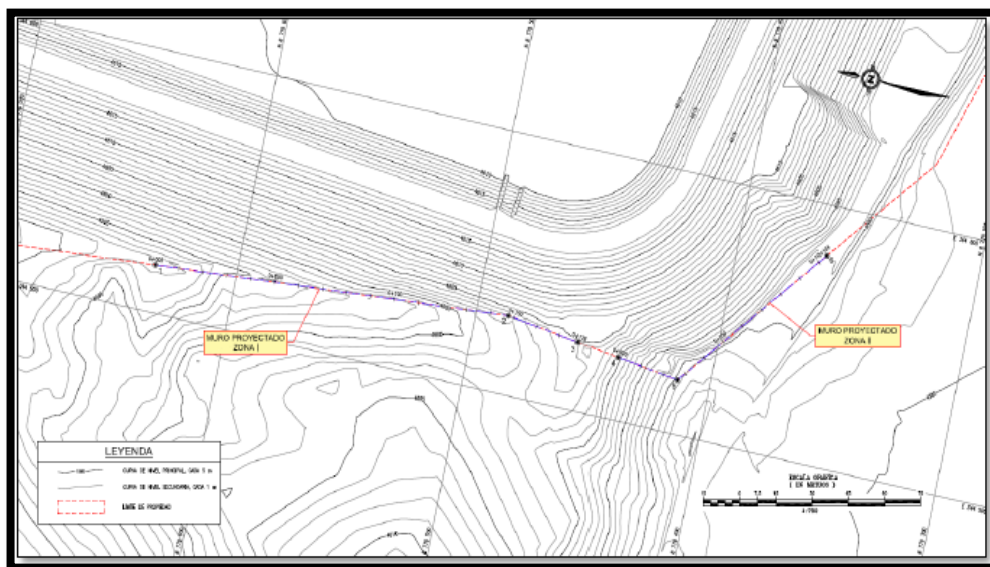
Afectación de las aguas superficiales: los residuos sólidos finos provenientes del área de explotación pueden dar lugar a una elevación de la capa de sedimentos en los ríos de la zona

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.

Muros de contención.- Se van a construir 282,22 ml de muros de contención de concreto armado dividido en dos zonas (figura 4.1).

Figura N° 4.1 Planta de ubicación de muro de contención de concreto armado



Fuente: Elaboración propia

Control de Calidad.- El contratista deberá garantizar el control de calidad del proyecto en base al plan de control de calidad del recrecimiento, deberá incluir en su propuesta la mano de obra, dirección técnicas y equipos necesarios para el cumplimiento de la gestión de control de calidad del proyecto.

2.2.8. PERFIL DEL CONTRATISTA

Condiciones requeridas:

- Empresas con experiencia en trabajos en recrecimiento de Depósito de Relaves, en las disciplinas de Movimiento de Tierras, y Obras Civiles y Mecánicas
- Haber desarrollado y registrado control de calidad en la ejecución de sus proyectos.
- Conocimiento de las normas de seguridad y procedimientos basados en el DS-023-2016-EM.
- Equipo técnico capacitado y especializado en el proyecto a desarrollar.
- Contar con ingenieros supervisores con experiencia permanente en el proyecto y de acuerdo a las disciplinas.
- Contar con ingenieros supervisores seguridad con experiencia permanente en el proyecto.
- Tener implementado en sus operaciones un Sistema de Gestión de Seguridad y Calidad.

2.2.9. DISPOSICIONES GENERALES PARA LA PRESENTACIÓN DE OFERTAS

Requerimientos de seguridad

El postor deberá cumplir las disposiciones internas de CMCH así como la reglamentación vigente.

Documentos a especificar en la cotización

El CONTRATISTA presentará su propuesta considerando lo siguiente:

a. Propuesta técnica

Se menciona un listado parcial, no limitativo de actividades y documentos comunes que se deben generar y que deberán ser incluidas en la propuesta técnica.

1. Plan de Trabajo: Descripción de los trabajos a realizar, garantizando el cumplimiento de los procedimientos de calidad, seguridad, y medio-ambientales.
2. Hoja de vida de la empresa postora, servicios similares brindados a otras empresas
3. Hoja de vida del profesional encargado, asistente y jefe de control de calidad.

4. Organización planteada para la ejecución de obra y control de calidad (Organigrama)
5. Tabla indicando la cantidad de personal y equipos propios o alquilados considerados para realizar el trabajo.
6. Cronograma de ejecución (Diagrama en Gantt de la ejecución del proyecto especificando la ruta crítica y las actividades involucradas e Hitos importantes para el cumplimiento del plazo del proyecto, histograma de personal y equipos críticos).
7. Plan de calidad.
8. Plan de seguridad.
9. Plan de Gestión de Riesgos.
10. Cumplimiento de gestión de Seguridad en el estándar de Gestión de Riesgos

b. Propuesta económica

El CONTRATISTA deberá presentar una oferta comercial para el servicio solicitado considerando todos los costos asociados como: equipos, suministros, personal para la supervisión, ayudantes, transporte externo e interno del personal, alojamiento, alimentación, paradas por causas ajenas a CMCH, seguros, pólizas, fianzas y cualquier costo necesario para la correcta ejecución del proyecto. La documentación deberá contener:

1. Resumen de propuesta económica.

2. Análisis de precios unitario
3. Sustento de gastos generales
4. Otros que el contratista crea conveniente.

Modalidad de contratación.- Los términos generales de contratación son a “PRECIOS UNITARIOS”.

El adjudicatario suministrará todos los elementos necesarios para la correcta ejecución del servicio, tales como herramientas, transporte de personal, instrumentos, mano de obra, equipos, elementos de seguridad, no existiendo responsabilidad de CMCH por el cuidado de ellos.

Valorizaciones.- Los pagos serán por valorización en un periodo mensual el cual tiene un inicio el día 20 de cada mes y como término el 21 de cada mes.

Los avances ejecutados por la CONTRATISTA serán validados por el supervisor de CHUNGAR. Las valorizaciones presentadas deben contener los siguientes documentos: (se menciona un listado parcial, no limitativo de documentos a presentar:

1. Memoria descriptiva de los trabajos realizados.
2. Valorización (formato proporcionado por CMCH)
3. Justificación de metrados ejecutados
4. Protocolos de calidad.
5. Panel fotográfico.

Al culminar del proyecto el CONTRATISTA debe presentar la Liquidación de Obra respectiva y el Dossier y/o memorando técnico.

2.2.10. RESPONSABILIDADES

El CONTRATISTA deberá informar sobre cualquier detalle omitido en las especificaciones, el cumplimiento de los requerimientos de la especificación no relevará al CONTRATISTA de la responsabilidad de entregar un sistema confiable cuyo diseño sea apropiado para las condiciones especificadas. A menos que sea aprobada por CMCH, no se permitirá ninguna desviación de las especificaciones, tan sólo que CMCH solicite un cambio y que el mismo sea ordenado por escrito. En caso de conflicto entre lo especificado y algún código o norma aplicable, el CONTRATISTA deberá indicarlo a CMCH, y obtener por escrito el criterio o norma a aplicar.

2.2.11. CÓDIGOS, NORMAS Y ESTÁNDARES APLICABLES

Las especificaciones técnicas estarán basadas en las normas y códigos nacionales e internacionales que aplican en cada una de las disciplinas.

De existir divergencia entre las normas y códigos que afecten la correcta ejecución de la obra, siempre prevalecerán los mejores criterios de ingeniería que resulten del análisis, el cual debe ser el resultado de los acuerdos entre el CONTRATISTA y CMCH, sin afectar la calidad de la obra ni omitir condiciones contractuales.

Deberá usarse la edición / revisión y adenda más recientes de los citados documentos. La lista incluida se deberá considerar como el requerimiento normativo mínimo exigido. De no existir una especificación o procedimiento de construcción o inspección específico para una determinada actividad, será responsabilidad del CONTRATISTA elaborarlo y presentarlo a CMCH para su aprobación.

Será responsabilidad exclusiva del CONTRATISTA la logística completa para su personal de campo, así como de disponer en la oficina de campo, los procedimientos escritos de trabajo seguro, las normas y códigos internacionales que apliquen en la obra.

Será responsabilidad de CMCH verificar que dicha documentación esté disponible en las oficinas de campo y que sea correctamente usada por el personal del CONTRATISTA.

Entre las normas y códigos aplicables a la obra, en forma referencial y no limitativa, se mencionan la siguiente:

- DS 023-2016-EM, Reglamento de salud y seguridad ocupacional de minería.

2.2.12. CONTROL Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD DEL PROYECTO

El CONTRATISTA deberá presentar el plan de calidad para ejecución del servicio, así como para las tareas de supervisión y puesta en marcha que estén a su cargo.

Estos documentos bajo la forma de listas de verificación a utilizar, deberán ser presentados como parte de la oferta técnica y su calidad será evaluada durante el proceso de calificación.

Todos los documentos y/o planos deben estar firmados por un ingeniero colegiado de acuerdo a cada especialidad y ser acompañados de su respectiva lista de verificación. Todos los planos diseñados deberán cumplir con las simbologías aprobadas por CMCH.

El control de calidad (QC) estará a cargo del Contratista.

CMCH se reserva el derecho de realizar auditorías de calidad (QA) al trabajo encomendado al postor, cuando así lo considere

conveniente, con el fin de asegurarse que se cumplan las normas y procedimientos establecidos.

2,2,13. INFORMES Y DOCUMENTOS

Una vez adjudicado el proyecto y antes del inicio de los trabajos en campo el CONTRATISTA debe presentar los siguientes documentos:

- Plan de trabajo.
- Plan de seguridad.
- Gestión de Seguridad en el estándar de Gestión de Riesgos
- Plan de control de calidad
- Cronograma detallado de ejecución de obra, con curvas de avances programado

Durante la ejecución del proyecto el CONTRATISTA deberá presentar reportes diarios y semanales del avance del proyecto y participar de las reuniones de coordinación diaria.

Una vez terminado el proyecto del contratista deberá presentar un informe final y dossier de calidad conteniendo lo siguiente:

- Acta de conformidad y entrega de obra
- Resumen ejecutivo de obra.
- Ordenes de cambio (si se cambia el alcance original)

- Justificación de metrados finales
- Presupuesto final
- Planos As built
- Panel fotográfico
- Listado de los materiales utilizados.

Los documentos referentes al proyecto deberán ser presentados en 2 originales y 1 copia, adicionalmente se entregará un 1 CD conteniendo la información en formato editable y en formato PDF.

2.2.14. MATERIALES Y EQUIPAMIENTO POR EL CONTRATISTA

Además de los recursos humanos calificados necesarios para la realización de los trabajos, se deberá incluir a costo del CONTRATISTA: suministro de todos los insumos; materiales consumibles y no consumibles; instrumentos, maquinaria, herramientas y equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos.

2.2.15. PLAZO DE EJECUCIÓN

El CONTRATISTA deberá elaborar un cronograma de ejecución de las actividades, proponiendo el plazo adecuado a las condiciones del proyecto.

2.2.16. HORARIOS Y DÍAS DE TRABAJO EN LA UNIDAD MINERA

El horario habitual de trabajo dentro de las instalaciones de CMCH es de lunes a domingos de 7:00 a.m. hasta las 6:00 p.m. con refrigerio de 12:00 a 01:00 p.m., el cual puede ser modificado a solicitud. El CONTRATISTA debe organizar su sistema de rotación de personal para asegurar la continuidad del trabajo y cumplimiento a los histogramas propuesto.

2.2.17. CONSIDERACIONES

Consideraciones del CONTRATISTA

- El CONTRATISTA será responsable de proveer a su personal de vestimenta y equipo de protección personal (ropa de trabajo, zapatos de seguridad con punta de acero, cascos, guantes, protectores visuales, de oídos, arnés de seguridad, líneas de vida, etc.).
- El CONTRATISTA será responsable de brindar asistencia médica a su personal en casos de accidente o enfermedades imprevistas durante los trabajos de campo, salvo algunos casos de primeros auxilios que podría brindar CMCH.
- El CONTRATISTA internará dentro de las instalaciones de CMCH, con un inventario detallado, solamente los repuestos,

equipos, herramientas, insumos y materiales necesarios para la ejecución del servicio.

- El CONTRATISTA deberá contar necesariamente con las facilidades de cómputo (computadora, impresora, etc.) y comunicación (radios, etc.) necesarios para la ejecución de los trabajos de campo; asimismo contar con movilidad para el transporte del personal dentro de CMCH y fuera de la unidad minera.
- El CONTRATISTA propondrá un sistema de información y comunicación que le permita a CMCH estar informado del avance del proyecto.
- Alojamiento y alimentación para su personal.
- El CONTRATISTA es responsable de stand by por causas ajenas a CMCH.

Consideraciones de CMCH

No se incluye en los requerimientos al postor la realización de los siguientes trabajos que estarán a cargo de CMCH:

- Topografía de toda la zona del proyecto con curvas de nivel.
- Ingeniería de detalle de las obras a ejecutar
- CMCH contara con baños provisionales en obra.
- Designación de un supervisor de CMCH para las coordinaciones del proyecto con el CONTRATISTA.

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 empiece.

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.

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 (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).

2.4. HIPOTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

Si construimos el recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. entonces posemos controlar la contaminación ambiental en la Compañía Minera Chungar S.A.C.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

1. Si realizamos la construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. entonces podemos depositar mayor volumen de relave
2. Si identificamos los parámetros que se debe considerar en la construcción de relaves Animón entones podemos evitar la contaminación ambiental.

2.5. VARIABLES:

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Controlar la contaminación ambiental en la Compañía Minera Chungar S.A.C.

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón,
etapa II a la cota 4621 m.s.n.m.

2.5.3. VARIABLES INTERVINIENTES

Diseño

Movimiento de tierras

Materiales de construcción

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 en cuenta la emisión de aguas subterráneas, que son ácidas, aguas descargadas de las escombreras después de una temporada de lluvias, la emisión de aguas ácidas después del proceso de flotación, en todas ellas el cobre está en solución, si no se logra controlar las emisiones éstas se convierten en focos de contaminación del río y por el traslado va contaminando las orillas de los ríos y éstas a su vez contaminan a los animales domésticos que más tarde va servir de alimentación humana.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El Diseño empleado en la presente investigación es el de carácter **descriptivo**; 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 "**descriptivo analítico**", 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. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

El objetivo del modelamiento es determinar la geometría óptima en condiciones estáticas y pseudoestáticas, de tal manera que no se generen problemas de estabilidad física global, deslizamiento o volcamiento de la estructura proyectada.

3.5.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la elaboración del presente informe, se contó con la **siguiente información disponible:**

- Informe versión 4: "Disposición Superficial de relaves

Espesados en el Depósito de Relaves Animón”. Golder Associates S.A, 2 013. (Golder, 2 013).

- Informe de “Ingeniería de Detalle para el Depósito de Relaves Animón – Zona Alta”. SRK Consulting (Peru) S.A., 2016 (SRK, 2016).
- Informe de “Ingeniería Animón – Zona Alta” SRK Consulting (Perú) S.A., 2017 (SRK, 2017).de Detalle del Estribo Oeste del Dique del Depósito de Relaves

3.5.2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Software

Para todos los análisis de estabilidad física realizados en este documento se utilizó el software GEO5 (módulo - Muro en voladizo), para realizar las verificaciones de estabilidad global, por deslizamiento y volcamiento. Asimismo, se realizaron verificaciones del acero en la estructura.

Materiales

Las propiedades de los materiales considerados en el presente documento son las mismas que se emplearon para el análisis de estabilidad física para el recrecimiento del depósito de relaves Animón

- zona alta (SRK, 2016), tanto para la presa como para el muro de concreto y los refuerzos. Estas propiedades se muestran en la Tabla N° 3.1 y la nota: Los parámetros del Material de la Presa Existente se obtienen a partir de la envolvente generada por medio de una función entre esfuerzos de corte y esfuerzos normales.

Tabla N° 3.1: Propiedades de los materiales empleados.

Material	Peso Unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Ø°
Material de Presa Existente	20	5	35
Material de Recrecimiento (GC)	19	10	32

Fuente: HA Barbat - 2005

Nota: Los parámetros del Material de la Presa Existente se obtienen a partir de la envolvente generada por medio de una función entre esfuerzos de corte y esfuerzos normales.

Secciones de análisis

Se analizaron las cinco (05) secciones diseñadas en las Zona I y II de la presa del depósito de relaves Animón, consideradas en dichas zonas según las condiciones del terreno. Se muestran las geometrías adoptadas para el modelamiento de las secciones en el programa de análisis.

En estas secciones se llevaron a cabo el Análisis Estático y el Análisis Pseudoestático. Para ambas condiciones de estudio se realizaron las verificaciones por Estabilidad Global, Deslizamiento y Volcamiento. Además, se realizaron verificaciones del acero para la estructura proyectada.

Análisis Estático

El comportamiento estático de las secciones analizadas se estudió considerando los factores de seguridad mostrados en la Tabla N° 3.2 como los mínimos admisibles, según el tipo de verificación o análisis realizado.

Tabla N° 3.2: Factores de seguridad mínimos para análisis estático.

Tipo de análisis	Factor de seguridad
Deslizamiento	1,5
Volcamiento	1,5

Fuente: HA Barbat - 2005

Análisis Pseudoestático

Para este análisis se consideró conveniente emplear un valor de aceleración sísmica igual a 0,18 g. Además, se consideraron como factores de seguridad mínimos admisibles los mostrados en la Tabla N° 3.3 y 3.4, según el tipo de verificación o análisis realizado.

Resultados de los análisis desarrollados

El comportamiento de las secciones modeladas, fueron analizadas en condiciones estáticas y también bajo la acción de una carga sísmica, tal como fue descrito en el capítulo anterior.

Los valores de los Factores de Seguridad obtenidos en la sección más crítica en condiciones estáticas y pseudoestáticas se muestran en la Tabla N° 3.3 y Tabla N° 3.4:

Tabla N° 3.3: Factores de Seguridad general del muro de concreto

Análisis		Factor de Seguridad	
		Deslizamiento	Volcamiento
Muro N°1	Estático	2,38	6,58
	Pseudoestático	1,13	1,97
Muro N°2	Estático	2,78	7,60
	Pseudoestático	1,21	2,16
Muro N°3	Estático	3,72	8,88
	Pseudoestático	1,30	2,06
Muro N°4	Estático	3,47	8,07
	Pseudoestático	1,26	1,91
Muro N°5	Estático	6,84	12,49
	Pseudoestático	1,52	2,30

Fuente: HA Barbat - 2005

Tabla N° 3.4: Factores de Seguridad global

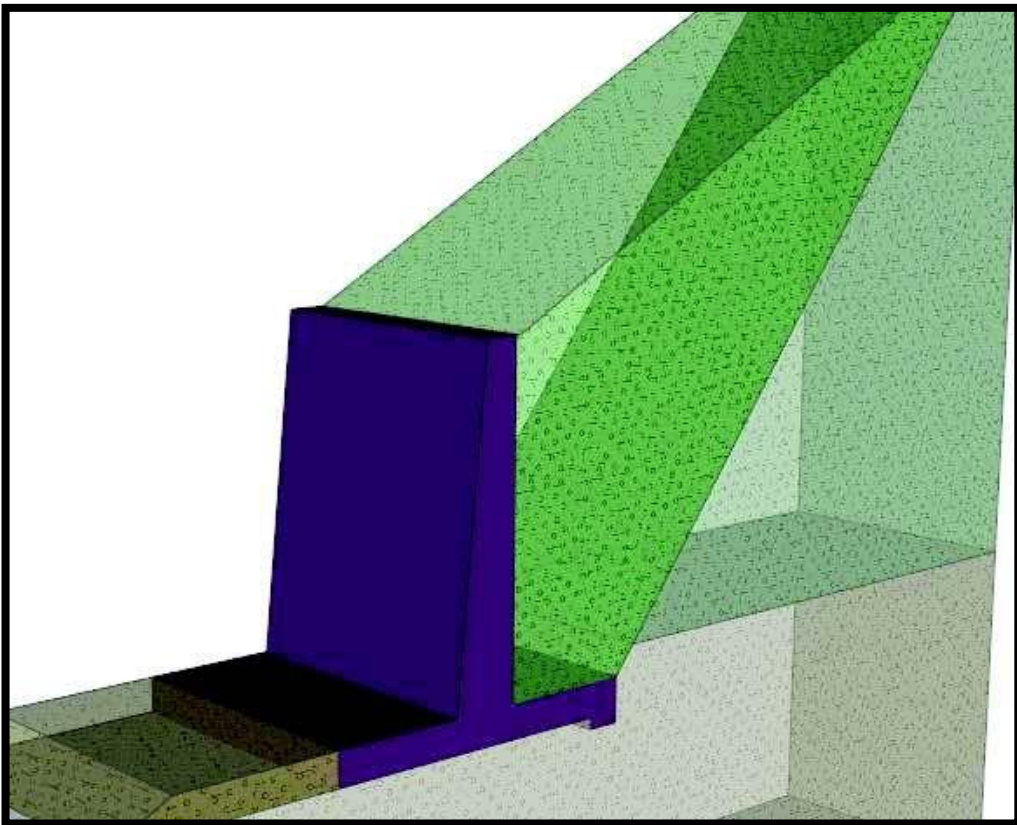
Sección	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
Muro N°1	1,66	1,21
Muro N°2	1,74	1,27
Muro N°3	1,84	1,33
Muro N°4	1,88	1,37
Muro N°5	2,07	1,49

Fuente: HA Barbat - 2005

3.6. EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE MURO Y DISTRIBUCIÓN DE ACERO

3.6.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE MURO DE CONCRETO

Figura N° 3.1: Esquema geométrica general del muro de concreto con acero de refuerzo.



Fuente: Elaboración propia en software GEO5

Sección: Muro N°1 (H= 6.30 m)

Verificación del Muro completo

Análisis Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

$$\text{Momento Estabilizador } M_{res} = 2582,61 \text{ kNm/m.}$$

$$\text{Momento de vuelco } M_{ovr} = 392,72 \text{ kNm/m.}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 6,58 > 1,50$$

Muro para vuelco ES ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

$$\text{Fuerza horizontal resistente } H_{res} = 422,55 \text{ kN/m}$$

$$\text{Fuerza horizontal activa } H_{act} = 177,63 \text{ kN/m}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 2,38 > 1,50$$

Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE Verificación completa

- MURO ES ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

$$\text{Momento Estabilizador } M_{res} = 4930,50 \text{ kNm/m.}$$

$$\text{Momento de vuelco } M_{ovr} = 2505,81 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1,97 > 1,00$$

Muro para vuelco ES ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

$$\text{Fuerza horizontal resistente } H_{res} = 742,50 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Fuerza horizontal activa } H_{act} = 656,89 \text{ kNm/m}$$

$$\text{Factor de seguridad} = 1,13 > 1,00$$

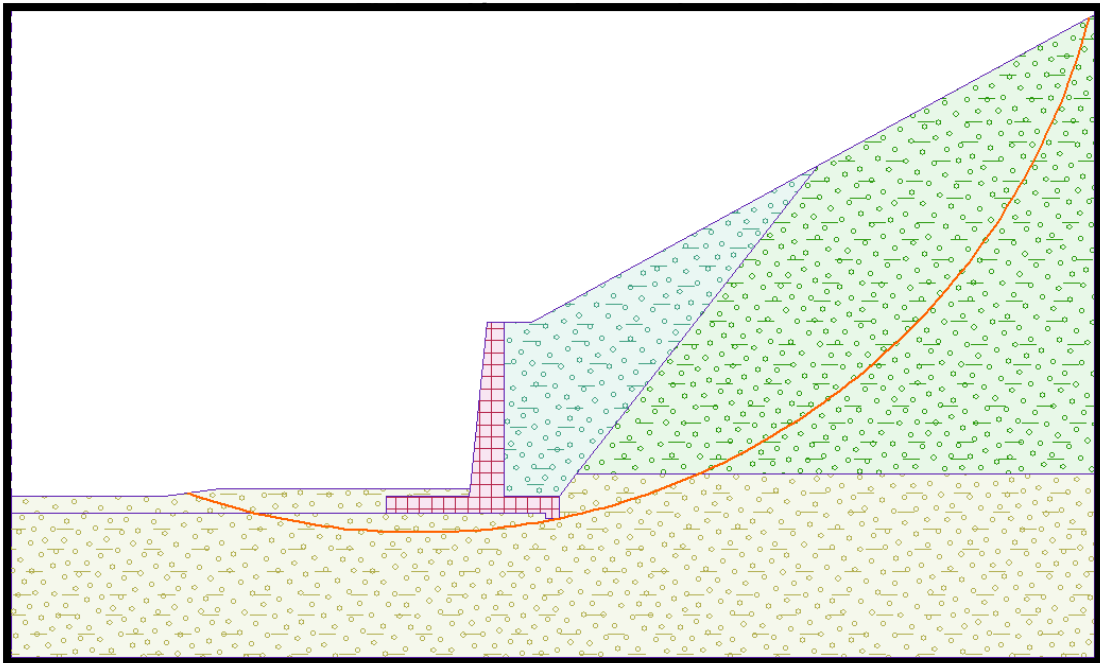
Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE Verificación completa

- MURO ES ACEPTABLE.

Estabilidad Global

A continuación, se muestran los factores de seguridad obtenidos en la verificación del equilibrio a nivel global, empleando el software GEO5/Muro en Voladizo.

Figura N° 3.2: Determinación de factores de seguridad



Fuente: Elaboración propia en software GEO5

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop).

Suma de fuerzas activas: $F_a = 1947,21 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 2362,04 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 48621,89 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 58980,05 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = 1,21 > 1,00

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

3.6.2. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE CONTENCIÓN MURO DE VOLADIZO

Replanteo y evaluación de muros – Zona Suroeste

a. Datos iniciales

Tabla N° 3.5: Suelo

	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo de fricción	S	°	35,00
Cohesión	C	kN/m ²	5,00
Peso unitario	F	kN/m ³	20,00
Peso unitario saturado	F _{us}	kN/m ³	21,00
Fricción estructura-suelo	G	°	28,00
Cohesión en la base	C	°	0,00
Fricción en la base	G	°	28,00
Capacidad última de carga	g _g	kPa	290,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.6: Cargas actuantes

	Símbolo	Unidad	Valor
Aceleración horizontal (sismo)	K _s	g	0,18
Aceleración vertical (sismo)	K _s	g	0,00
Sobrecarga	S _c	kN/m	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.7: Materiales

	Símbolo	Unidad	Valor
Resist. A la compresión del concreto	F _c	Kg/cm ²	210
Densidad del concreto	F	Ton/m ³	2,4
Esfuerzo de fluencia del acero	f _a	Kg/cm ²	4200

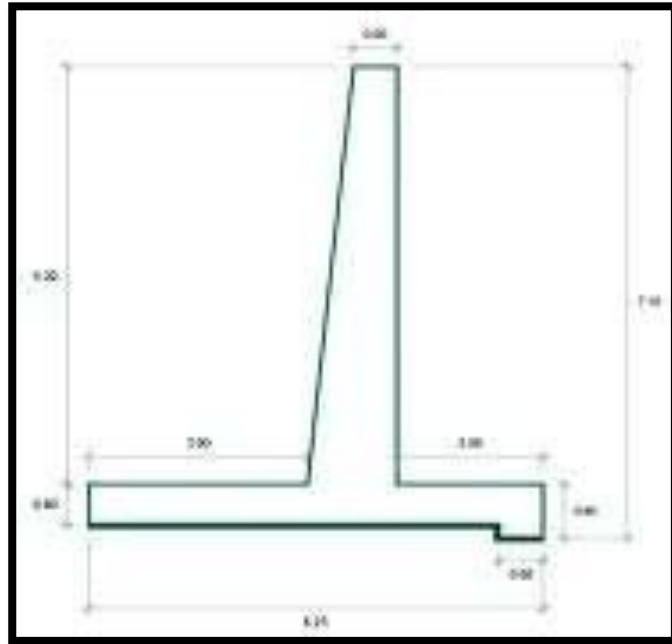
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.8: Geometría

	Símbolo	Unidad	Valor
Ancho superior de la pantalla	b_1	m	0,60
Ancho inferior de la pantalla	b_2	m	1,23
Talón delantero	X_1	m	3,00
Talón posterior	X_2	m	2,00
Altura del muro	H	m	6,30
Altura de la base	h_1	m	0,60
Talud del relleno	Z	m	5,67
Ángulo de talud del relleno	c	m = 1 m	10

Fuente: Elaboración propia

Figura N 3.3: Perfil del muro



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.9: Verificación de estabilidad general

	Símbolo	Unidad	F_x	F_y	dx	dy	M (kNm/m)
Peso del muro	W	kN/m	0,00	220,86	3,53	-2,15	779,64
Fuerza de inercia	F	kN/m	-39,75	0,00	3,53	-2,15	-85,46
Empuje pasivo*	F_c	kN/m	3,45	0,10	2,89	-0,30	1,32
Peso del suelo	W_c	kN/m	0,00	140,93	4,91	-3,02	691,97
Sismo – cuña del suelo	E_s	kN/m	-25,37	0,00	4,91	-3,02	-76,62
Empuje activo*	F_s	kN/m	-198,92	191,09	5,81	-1,98	716,37
Empuje sísmico**	E_s	kN/m	-428,90	452,09	5,19	-4,55	394,85

*El empuje activo y pasivo se calculó a través de la teoría de Coulumb.

**El empuje sísmico se calculó mediante el método de mononobe-Okabe

Fuente: Elaboración propia

Factores de seguridad estáticos**FS** volteo (Mínimo 1,5) **6,58 mayor al mínimo (OK)****FS** desliz (Mínimo 1,5) **2,38 mayor al mínimo (OK)****Factores de seguridad dinámicos****FS** volteo sísmico **1,97 mayor al mínimo (OK)****FS** desliz sísmico (Mínimo 1,0) **1,13 mayor al mínimo (OK)****Tabla N° 3.10: Factor de seguridad por capacidad de carga**

	Símbolo	Unidad	Valor
Fuerza vertical equivalente	F_{ve}	kN/m	1026,67
Momento equivalente	M_e	kNm/m	775,03
Tipo de distribución	Rectangular		
Esfuerzo	g_{ii}	kPa	217,36

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad por capacidad de carga**FS_{qu}** **1,33 mayor al mínimo (OK)****Exentricidad (e)** **0,121 m menor al máximo (OK)****b. Diseño estructural de la pantalla****Acero vertical para cara exterior**Área de acero requerida*: 9,23 cm²/m

Acero escogido 1: 3/4"

Espaciamiento utilizado 1: 30 cm 40 cm máx.* **menor al máximo (OK)**As instalado 9.47 cm²/m **mayor al minimo (OK)**

Acero final: 3/4 @ 0,3 m**Acero vertical para cara interior (mitad inferior)**

Momento máximo amplificado 95,239 Ton / m

Área de acero requerida* 21,83 cm²/m

Acero escogido 1"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo (OK)**As instalado 25.50 cm²/m **mayor al mínimo (OK)****Acero final: 1 @ 0,2 m.****Acero vertical para cara interior (mitad superior)**

Momento máximo amplificado 47.619 Ton . m

Área de acero requerida* 14.86 cm²/m 1 "

Acero escogido 1"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx. **menor al máximo (OK)**As instalado 17,00cm²/m **mayor al mínimo (OK)****Acero final: 1 @ 0,3 m.****Acero horizontal**Área de acero requerida* 12,30 cm²/m.

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo (OK)**

As instalado 14,20 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 3/4 @ 0,2 m.

3.6.3. DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA CIMENTACIÓN

Malla inferior

Momento máximo amplificado 106,579 Ton . m

Área de acero requerida* 58,61 cm²/m 1"

Acero escogido 1 3/8"

Espaciamiento utilizado 15 cm 40 cm máx.* menor al máximo
(OK)

As instalado 67,07 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 1 3/8 @ 0,15 m.

Malla superior

Momento máximo amplificado 29,043 Ton . m

Área de acero requerida* 14,41 cm²/m 1"

Acero escogido 1"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* menor al
máximo (OK)

As instalado 17,00 cm²/m mayor al
mínimo (OK)

Acero final: 1 @ 0,3 m.

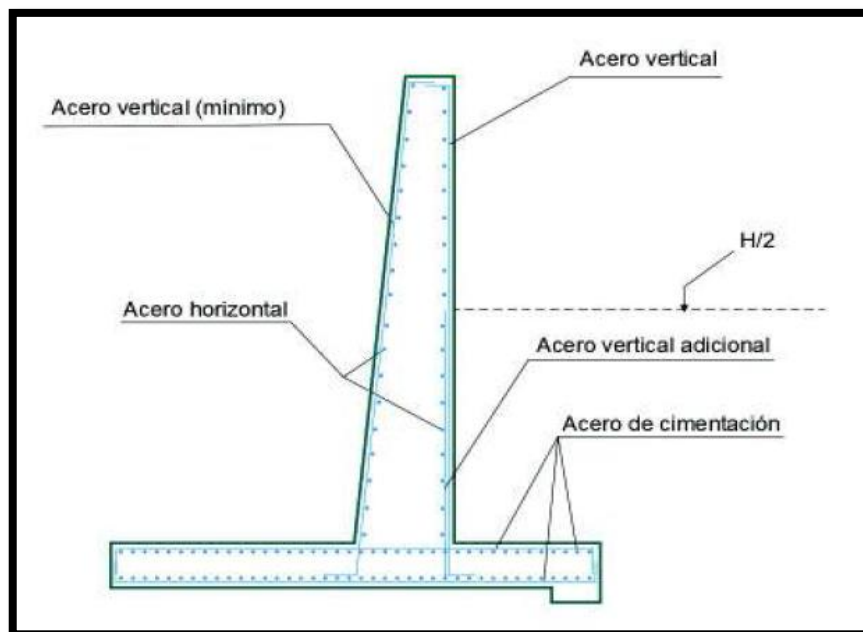
- * Según norma E.060 de Concreto Armado (Reglamento nacional de edificaciones) – DS N° 010–2009–VIVIENDA.

Tabla N° 3.11: Resumen de acero de refuerzo

	Vertical	Horizontal
Cara exterior	3/4 @ 0,3 m	3/4 @ 0,2 m
Cara interior (mitad inferior)	1 @ 0,2 m	3/4 @ 0,2 m
Cara interior (mitad superior)	1 @ 0,3 m	3/4 @ 0,2 m
Malla interior de cimentación	1 3/8 @ 0,15 m	1 3/8 @ 0,15 m
Malla superior de cimentación	1 @ 0,3 m	1 @ 0,3 m

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.4: Perfil de muro



Fuente: Elaboración propia

Muro N°2 (H= 5,30 m)

Sección Muro N°2 (H= 5,30 m)

Verificación del Muro completo

Análisis Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 1864,99 \text{ kNm/m}$

Momento de vuelco $M_{ovr} = 245,42 \text{ kNm/m}$

Factor de seguridad = $7,60 > 1,50$ Muro para vuelco ES

ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

Fuerza Horizontal resistente $H_{res} = 349,82 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 125,74 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $2,78 > 1,50$

Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE Verificación completa

- MURO ES ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 3479,24 \text{ kNm/m}$

Momento de vuelco $M_{ovr} = 1610,72 \text{ kNm/m}$

Factor de seguridad = $2,16 > 1,00$ Muro para vuelco ES

ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

Fuerza Horizontal resistente $H_{res} = 592,17 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 489,34 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $1,21 > 1,00$

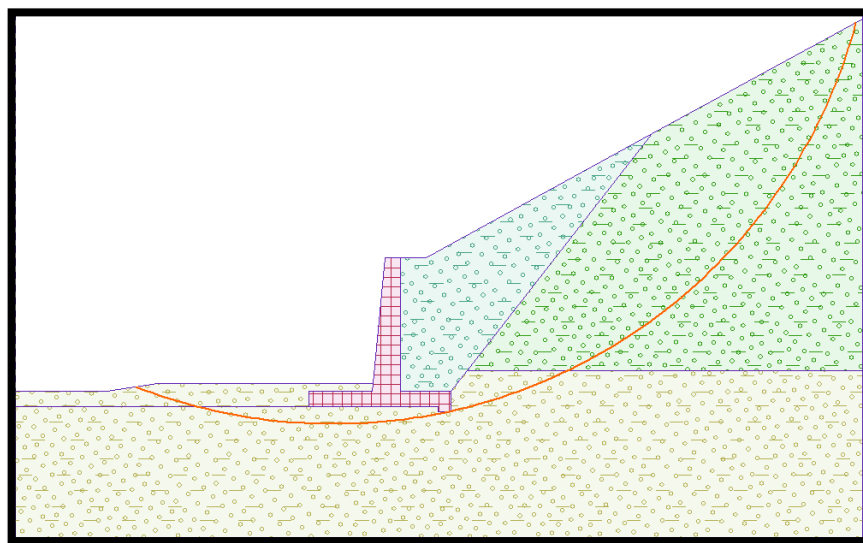
Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE Verificación completa

- MURO ES ACEPTABLE

ESTABILIDAD GLOBAL

A continuación, se muestran los factores de seguridad obtenidos en la verificación del equilibrio a nivel global, empleando el software GEO5/Muro en Voladizo.

Figura N° 3.5: Perfil del muro 2



Fuente: Elaboración propia

Análisis Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 1106,51 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 1929,21 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 23723,64 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 41362,19 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $1,74 > 1,50$

Estabilidad del talud ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 1431,96 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 1814,14 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 30701,16 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 38395,22 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $1,27 > 1,00$

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

Replanteo y evaluación de muros Zona Suroeste

DATOS INICIALES

Tabla N° 3.12: Suelo

	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo de fricción	S	°	35,00
Cohesión	c	kN/m ²	5,00
Peso unitario	F	kN/m ³	20,00
Peso unitario saturado	F_{us}	kN/m ³	21,00
Fricción estructura-suelo	G	°	28,00
Cohesión en la base	c	°	0,00
Fricción en la base	G	°	28,00
Capacidad última de carga	g_g	kPa	290,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.13: Cargas actuantes

	Símbolo	Unidad	Valor
Aceleración horizontal (sismo)	K_h	g	0,18
Aceleración vertical (sismo)	K_v	g	0,00
Sobrecarga	S_c	kN/m	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.14: Materiales

	Símbolo	Unidad	Valor
Resist. A la compresión del concreto	F_c	Kg/cm ²	210
Densidad del concreto	F	Ton/m ³	2,4
Esfuerzo de fluencia del acero	f_a	Kg/cm ²	4200

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.15: Geometría

	Símbolo	Unidad	Valor
Ancho superior de la pantalla	b_1	m	0,60
Ancho inferior de la pantalla	b_2	m	1,23
Talón delantero	X_1	m	3,00
Talón posterior	X_2	m	2,00
Altura del muro	H	m	6,30
Altura de la base	h_1	m	0,60
Talud del relleno	Z	m	5,67
Ángulo de talud del relleno	i	$m = 1 m$	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.16: Verificación de estabilidad general

	Simbolo	Unidad	Fx	Fy	dx	dy	M (kNm/m)
Peso del muro	W	kN/m	0,00	185,44	3,06	-1,82	567,45
Fuerza de inercia	F_i	kN/m	-33,38	0,00	3,06	-1,82	-60,75
Empuje pasivo*	F_c	kN/m	3,45	0,10	2,41	-0,30	1,28
Peso del suelo	W_c	kN/m	0,00	129,82	4,34	-0,30	563,42
Sismo – cuña del suelo	E_s	kN/m	-23,37	0,00	4,34	-2,76	-64,50
Empuje activo*	F_s	kN/m	-145,42	139,26	5,27	-1,69	488,14
Empuje sísmico**	E_s	kN/m	-319,18	340,38	4,74	-3,89	371,79

*El empuje activo y pasivo se calculó a través de la teoría de Coulumb.

**El empuje sísmico se calculó mediante el método de mononobe-Okabe

Fuente: Elaboración propia

Factores de seguridad estáticos

FS volteo (Mínimo 1,5) **7,60 mayor al mínimo (OK)**

FS desliz (Mínimo 1,5) **2,78 mayor al mínimo (OK)**

Factores de seguridad dinámicos

FS volteo sísmico (Mínimo 1,0) **2,16 mayor al mínimo (OK)**

FS desliz sísmico (Mínimo 1,0) **1,21 mayor al mínimo (OK)**

Tabla N° 3.17: Factor de seguridad por capacidad de carga

	Símbolo	Unidad	Valor
Fuerza vertical equivalente	F_{ve}	kN/m	812,88
Momento equivalente	M_e	kNm/m	421,16
Tipo de distribución	Rectangular		
Esfuerzo	g_{ii}	kPa	176,81

Fuente: Elaboración propia

Factor de seguridad por capacidad de carga

FS_{qu} **1.64** **mayor al mínimo (OK)**

Excentricidad (e) **0.092 m** **menor al máximo (OK)**

Diseño estructural de la pantalla

Acero vertical para cara exterior

Área de acero requerida* 8,48 cm²/m

Acero escogido 1 3/4"

Espaciamiento utilizado 1 30 cm 40 cm máx.* **menor al máximo (OK)**

As instalado 9,47 cm²/m **mayor al mínimo (OK)**

Acero final: 3/4 @ 0.3 m

Acero vertical para cara interior (mitad inferior)

Momento máximo amplificado 56,133 Ton. m

Área de acero requerida* 13,96 cm²/m

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo (OK)**

As instalado 14,20 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 3/4 @ 0.2 m

Acero vertical para cara interior (mitad superior)

Momento máximo amplificado 28,066 Ton.m

Área de acero requerida* 9,23 cm²/m

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* menor al máximo (Ok)

As instalado 9,47 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 3/4 @ 0,3 m.

Acero horizontal

Área de acero requerida* 11.30 cm²/m

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* menor al máximo (Ok)

As instalado 14.20 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 3/4 @ 0.2m

Diseño estructural de la cimentación

Malla inferior

Momento máximo amplificado 59.475 Ton . m

Área de acero requerida* 30.61 cm²/m

Acero escogido 1"

Espaciamiento utilizado 15 cm 40 cm máx.* **menor al máximo**

(OK)

As instalado 34.00 cm²/m **mayo al mínimo (OK)**

Acero final: 1 @ 0,15m.

4.2 Malla superior

Momento máximo amplificado 18.523 Ton.m

Área de acero requerida* 9.09 cm²/m

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* **menor al máximo**

(OK)

As instalado 9.47 cm²/m **mayor al mínimo (OK)**

Acero final: ¾ @ 0,3m

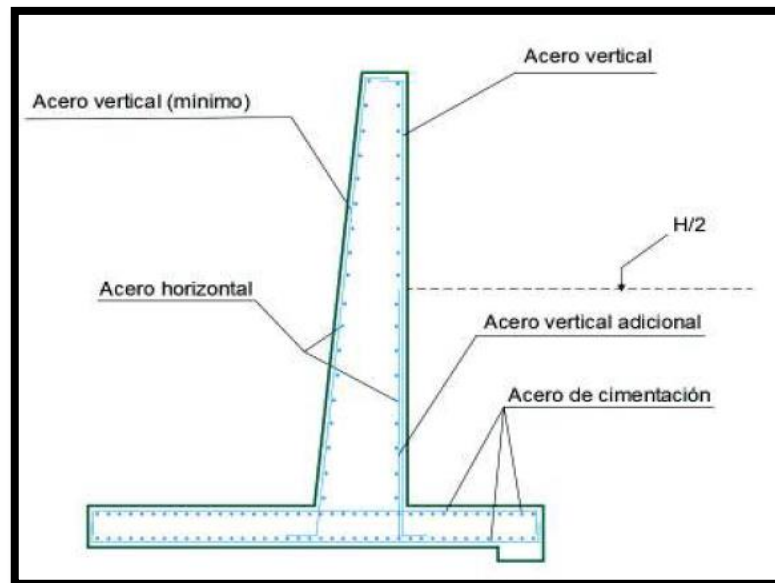
*Según norma E.060 de Concreto Armado (Reglamento nacional de edificaciones) DS N° 010 2009 VIVIENDA.

Tabla N° 3.18: Resumen de acero de refuerzo

	Vertical	Horizontal
Cara exterior	3/4 @ 0,3 m	3/4 @ 0,2 m
Cara interior (mitad inferior)	3/4 @ 0,2 m	3/4 @ 0,2 m
Cara interior (mitad superior)	3/4 @ 0,3 m	3/4 @ 0,2 m
Malla interior de cimentación	1 @ 0,15 m	1 @ 0,15 m
Malla superior de cimentación	3/4 @ 0,3 m	3/4 @ 0,3 m

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.6: Perfil del muro N° 2



Fuente: Elaboración propia

Muro N°3 (H= 4.30 m)**Sección Muro N°3 (H= 4,30 m)****A. Verificación del Muro completo****Análisis Estático****Verificación de la estabilidad de vuelco**Momento estabilizador $M_{res} = 959,05 \text{ kNm/m}$ Momento de vuelco $M_{ovr} = 108,02 \text{ kNm/m}$ Factor de seguridad = $8,88 > 1,50$ **Muro para vuelco ES ACEPTABLE****Verificación del deslizamiento**Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 233,56 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 62,71 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $3,72 > 1,50$

Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE

Verificación completa - MURO ES ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 1912.90 \text{ kNm/m}$

Momento de vuelco $M_{ovr} = 926.80 \text{ kNm/m}$

Factor de seguridad = $2.06 > 1.00$

Muro para vuelco ES ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 414.51 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 318.33 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $1.30 > 1.00$

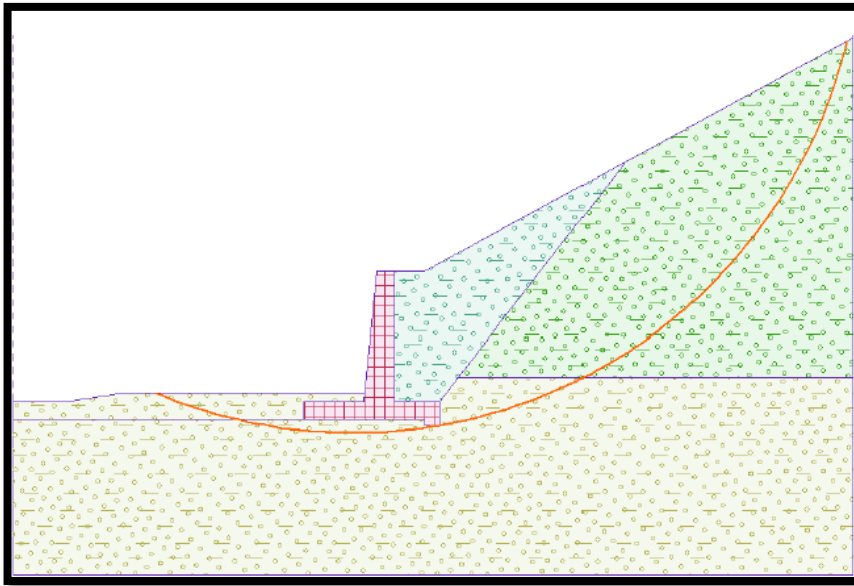
Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE

Verificación completa - MURO ES ACEPTABLE

B. Estabilidad Global

A continuación, se muestran los factores de seguridad obtenidos en la verificación del equilibrio a nivel global, empleando el software GEO5/Muro en Voladizo.

Figura N° 3.7: Perfil del muro N° 3



Fuente: Elaboración propia

Análisis Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 156,50 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 1388,35 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 12822,72 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 23532,47 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $1,84 > 1,50$

Estabilidad del talud ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 982,49 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 1309,89 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 16653,20 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 22202,59 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $1,33 > 1,00$

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

Datos iniciales

Tabla N° 3.19: Suelo

	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo de fricción	S	°	35,00
Cohesión	c	kN/m ²	5,00
Peso unitario	F	kN/m ³	20,00
Peso unitario saturado	F _{us}	kN/m ³	21,00
Fricción estructura-suelo	G	°	28,00
Cohesión en la base	c	°	0,00
Fricción en la base	G	°	28,00
Capacidad última de carga	g _g	kPa	290,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.20: Cargas actuantes

	Símbolo	Unidad	Valor
Aceleración horizontal (sismo)	K _h	g	0,18
Aceleración vertical (sismo)	K _v	g	0,00
Sobrecarga	S _c	kN/m	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.21: Materiales

	Símbolo	Unidad	Valor
Resist. A la compresión del concreto	F _c	Kg/cm ²	210
Densidad del concreto	F	Ton/m ³	2,4
Esfuerzo de fluencia del acero	f _a	Kg/cm ²	4200

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.22: Geometría

	Símbolo	Unidad	Valor
Ancho superior de la pantalla	b ₁	m	0,60
Ancho inferior de la pantalla	b ₂	m	1,03
Talón delantero	X ₁	m	2,00
Talón posterior	X ₂	m	2,00
Altura del muro	H	m	1,50
Altura de la base	h ₁	m	4,30
Talud del relleno	Z	m	0,60
Ángulo de talud del relleno	i	m = 1 m	5,67

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.23: Verificación de estabilidad general

	Símbolo	Unidad	F _x	F _y	dx	dy	M (kNm/m)
Peso del muro	W	kN/m	0,00	145,42	2,49	-1,55	362,10
Fuerza de inercia	F _i	kN/m	-26,18	0,00	2,49	-1,55	-40,58
Empuje pasivo*	F _c	kN/m	3,45	0,10	1,93	-0,30	1,23
Peso del suelo	W _c	kN/m	0,00	72,74	3,54	-2,22	257,50
Sismo – cuña del suelo	E _s	kN/m	-13,09	0,00	3,54	-2,22	-29,06
Empuje activo*	F _s	kN/m	-79,38	79,87	4,24	-1,37	229,90
Empuje sísmico**	E _s	kN/m	-227,84	254,43	3,75	-3,29	204,52

*El empuje activo y pasivo se calculó a través de la teoría de Coulumb.
**El empuje sísmico se calculó mediante el método de mononobe-Okabe

Fuente: Elaboración propia

Factores de seguridad estáticos**FS** volteo **8,88 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,5)**FS** desliz **3,72 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,5)**Factores de seguridad dinámicos****FS** volteo sísmico **2,06 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,0)**FS** desliz sísmico **1,30 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,0)

Tabla N° 3.24: Factor de seguridad por capacidad de carga

	Símbolo	Unidad	Valor
Fuerza vertical equivalente	F _{ve}	kN/m	567,15
Momento equivalente	M _e	kNm/m	299,73
Tipo de distribución	Rectangular		
Esfuerzo	G _p	kPa	163,09

Fuente: Elaboración propia

FS_{qu} **1,78 mayor al mínimo (OK)****Excentricidad (e)** **0,117 m menor al máximo (OK)****Diseño estructural de la pantalla****Acero vertical para cara exterior**Área de acero requerida* 7,73 cm²/m

Acero escogido 1 5/8"

Espaciamiento utilizado 1 20 cm 40 cm máx.* menor al máximo

(OK)

As instalado 9,95 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 5/8 @ 0,2m

Acero vertical para cara interior (mitad inferior)

Momento máximo amplificado 29,630 Ton.m

Área de acero requerida* 8,08 cm²/m

Acero escogido 5/8"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* menor al máximo

(OK)

As instalado 9,95 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 5/8 @ 0,2m

Acero vertical para cara interior (mitad superior)

Momento máximo amplificado 14,815 Ton.m

Área de acero requerida* 6,11 cm²/m

Acero escogido 5/8"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* menor al máximo

(OK)

As instalado 6,63 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: 5/8 @ 0,3m

Acero horizontal

Área de acero requerida* 10,30 cm²/m

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo**

(OK)

As instalado 14,20 cm²/m **mayor al mínimo (OK)**

Acero final: 3/4 @ 0,2m

Diseño estructural de la cimentación

Malla inferior

Momento máximo amplificado 35,319 Ton . m

Área de acero requerida* 17,66 cm²/m

Acero escogido 1"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo**

(OK)

As instalado 25,50 cm²/m **mayor al mínimo (OK)**

Acero final: 1 @ 0,2m

Malla superior

Momento máximo amplificado 8,756 Ton.m

Área de acero requerida* 4,50 cm²/m

Acero escogido 5/8"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* **menor al máximo**

(OK)

As instalado 6,63 cm²/m **mayor al mínimo (OK)**

Acero final: 5/8 @ 0,3m

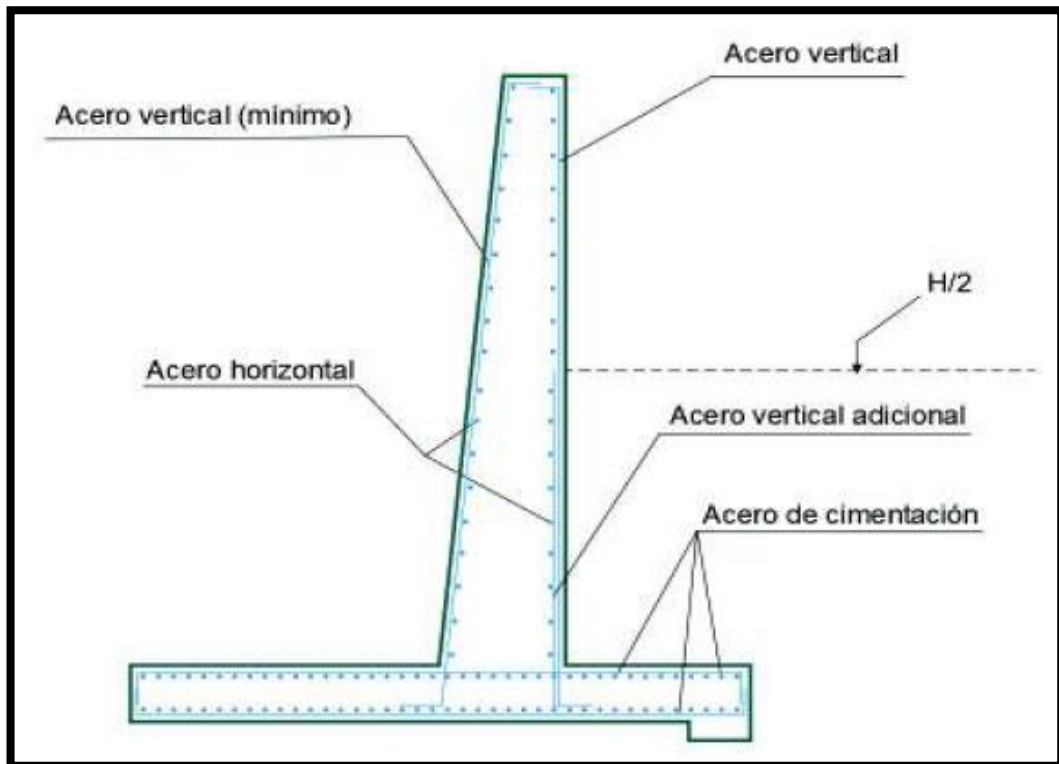
*Según norma E.060 de Concreto Armado (Reglamento nacional de edificaciones) DS N° 010 2009 VIVIENDA.

Tabla N° 3.25: Resumen de acero de refuerzo

	Vertical	Horizontal
Cara exterior	5/8 @ 0,2 m	3/4 @ 0,2 m
Cara interior (mitad inferior)	5/8 @ 0,2 m	3/4 @ 0,2 m
Cara interior (mitad superior)	5/8 @ 0,3 m	3/4 @ 0,2 m
Malla interior de cimentación	1 @ 2 m	1 @ 0,2 m
Malla superior de cimentación	5/8 @ 0,3 m	5/8 @ 0,3 m

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.8: Perfil del muro N° 4



Fuente: Elaboración propia

Muro N°4 (H= 3,30 m)

Sección Muro N°4 (H= 3,30 m)

A. Verificación del Muro completo

Análisis Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 365,54 \text{ kNm/m}$

Momento de vuelco $M_{ovr} = 45,32 \text{ kNm/m}$

Factor de seguridad = $8,07 > 1,50$

Muro para vuelco ES ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 126,72 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 36,55 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $3,47 > 1,50$

Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE

Verificación completa - MURO ES ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 729,34 \text{ kNm/m}$

Momento de vuelco $M_{ovr} = 382,31 \text{ kNm/m}$

Factor de seguridad = $1,91 > 1,00$

Muro para vuelco ES ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 222,58 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 176,55 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $1,26 > 1,00$

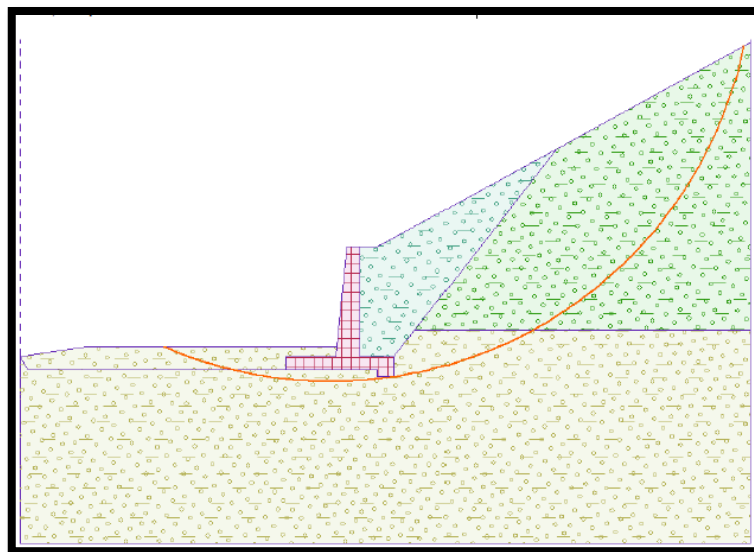
Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE

Verificación completa - MURO ES ACEPTABLE

B. Estabilidad Global

A continuación, se muestran los factores de seguridad obtenidos en la verificación del equilibrio a nivel global, empleando el software GEO5/Muro en Voladizo.

Figura N° 3.9: Perfil de muro N° 4



Fuente: Elaboración propia

Análisis Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 451,68 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 848,71 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 5718,30 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 10744,65 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $1,88 > 1,50$

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

Análisis Pseudo Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 583,68 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 802,17 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 7389,33 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 10155,43 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $1,37 > 1,00$

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

Datos iniciales

Tabla N° 3.26: Suelo

	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo de fricción	S	°	35,00
Cohesión	c	kN/m ²	5,00
Peso unitario	F	kN/m ³	20,00
Peso unitario saturado	F _{us}	kN/m ³	21,00
Fricción estructura-suelo	G	°	28,00
Cohesión en la base	c	°	0,00
Fricción en la base	G	°	28,00
Capacidad última de carga	g _g	kPa	290,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.27: Cargas actuantes

	Símbolo	Unidad	Valor
Aceleración horizontal (sismo)	K _h	g	0,18
Aceleración vertical (sismo)	K _v	g	0,00
Sobrecarga	S _c	kN/m	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.28: Materiales

	Símbolo	Unidad	Valor
Resist. A la compresión del concreto	F _c	Kg/cm ²	210
Densidad del concreto	F	Ton/m ³	2,4
Esfuerzo de fluencia del acero	f _a	Kg/cm ²	4200

Fuente: Elaboración propia
Tabla N° 3.29: Geometría

	Símbolo	Unidad	Valor
Ancho superior de la pantalla	b_1	m	0,40
Ancho inferior de la pantalla	b_2	m	0,73
Talón delantero	X_1	m	1,50
Talón posterior	X_2	m	1,00
Altura del muro	H	m	3,30
Altura de la base	h_1	m	0,40
Talud del relleno	Z	m	5,67
Ángulo de talud del relleno	i	m = 1 m	10

Fuente: Elaboración propia

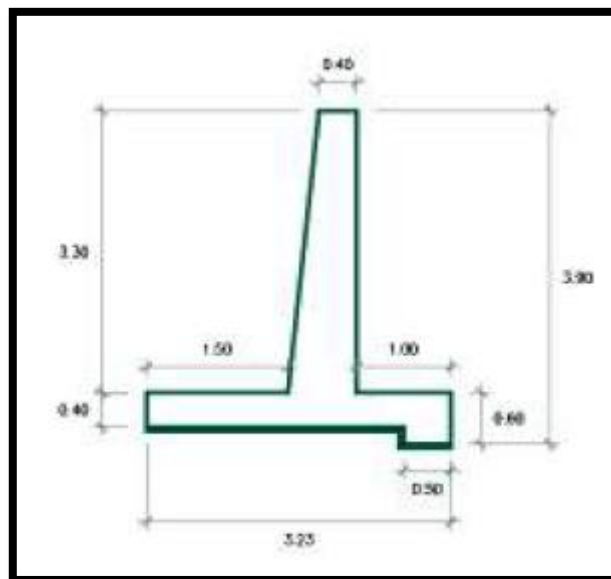
Tabla N° 3.30: Verificación de estabilidad general

	Simbolo	Unidad	Fx	Fy	dx	dy	M (kNm/m)
Peso del muro	W	kN/m	0,00	145,42	2,49	-1,55	137,82
Fuerza de inercia	F_i	kN/m	-26,18	0,00	2,49	-1,55	-15,64
Empuje pasivo*	F_c	kN/m	3,45	0,10	1,93	-0,30	0,62
Peso del suelo	W_c	kN/m	0,00	72,74	3,54	-2,22	92,19
Sismo – cuña del suelo	E_s	kN/m	-13,09	0,00	3,54	-2,22	-10,59
Empuje activo*	F_s	kN/m	-79,38	79,87	4,24	-1,37	89,16
Empuje sísmico**	E_s	kN/m	-227,84	254,43	3,75	-3,29	52,15

*El empuje activo y pasivo se calculó a través de la teoría de Coulumb.
**El empuje sísmico se calculó mediante el método de monobe-Okabe

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.9: Perfil del muro 4



Fuente: Elaboración propia

Factores de seguridad estáticos**FS** volteo **8,07 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,5)**FS** desliz **3,47 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,5)**Factores de seguridad dinámicos****FS** volteo sísmico **1,91 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,0)**FS** desliz sísmico **1,26 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,0)**Tabla N° 3.31: Factor de seguridad por capacidad de carga**

	Símbolo	Unidad	Valor
Fuerza vertical equivalente	F_{ve}	kN/m	301,43
Momento equivalente	M_e	kNm/m	140,71
Tipo de distribución	Rectangular		
Esfuerzo	G_p	kPa	130,91

Fuente: Elaboración propia

FS_{qu} **2,22 mayor al mínimo (OK)****Excentricidad (e)** **0,145 m menor al máximo (OK)****Diseño estructural de la pantalla****Acero vertical para cara exterior**Área de acero requerida* 5,48 cm²/m

Acero escogido 1 5/8"

Espaciamiento utilizado 1,30 cm 40 cm máx.* **menor al máximo****(OK)**As instalado 6,63 cm²/m **mayor al mínimo (OK)****Acero final: 5/8 @ 0,3m****Acero vertical para cara interior (mitad inferior)**

Momento máximo amplificado 13,784 Ton . m

Área de acero requerida* 5,48 cm²/m

Acero escogido 1/2"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* [menor al máximo](#)

(OK)

As instalado 6,45 cm²/m [mayor al mínimo \(OK\)](#)

Acero final: ½ @ 0,2m

Rectangular

Diseño estructural de la pantalla

Acero vertical para cara interior (mitad superior)

Momento máximo amplificado 6,892 Ton . m

Área de acero requerida* 4,24 cm²/m

Acero escogido 1/2"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* [menor al máximo](#)

(OK)

As instalado 4,30 cm²/m [mayor al mínimo \(OK\)](#)

Acero final: ½ @ 0,3m

Acero horizontal

Área de acero requerida* 7,30 cm²/m

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* [menor al máximo](#)

(OK)

As instalado 9,47 cm²/m [mayor al mínimo \(OK\)](#)

Acero final: ¾ @ 0,3m

Diseño estructural de la cimentación

Malla inferior

Momento máximo amplificado 16,054 Ton . m

Área de acero requerida* 12,67 cm²/m

Acero escogido 3/4"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* menor al máximo

(OK)

As instalado 14,20 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: ¾ @ 0,2m

Malla superior

Momento máximo amplificado 3,908 Ton . m

Área de acero requerida* 3, 00 cm²/m

Acero escogido 1/2"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* menor al máximo

(OK)

As instalado 4,30 cm²/m mayor al mínimo (OK)

Acero final: ½ @ 0,3m

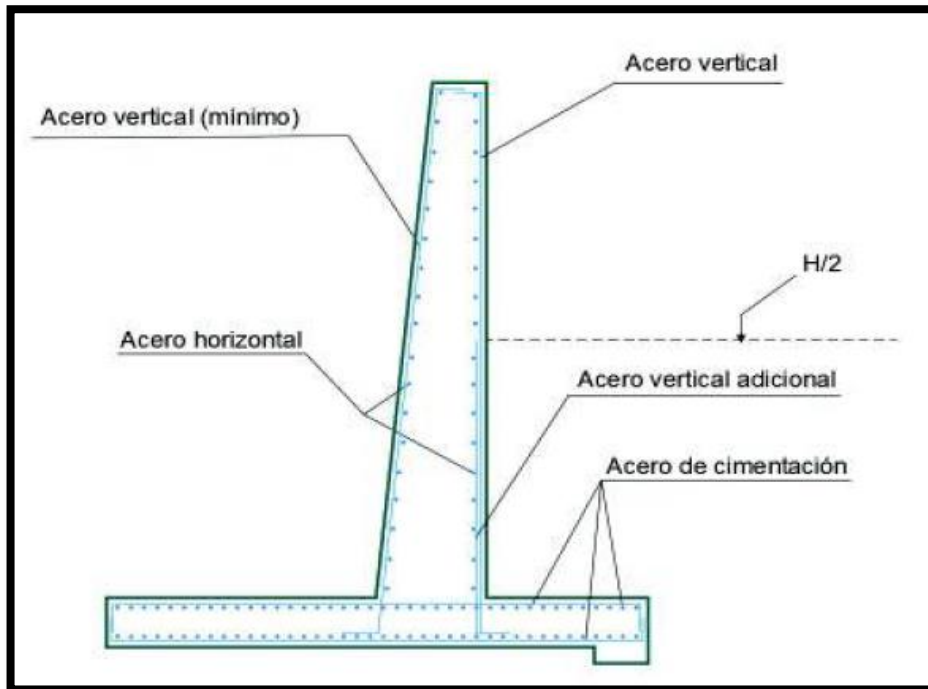
*Según norma E.060 de Concreto Armado (Reglamento nacional de edificaciones) DS N° 010 2009 VIVIENDA.

Tabla N° 3.32: Resumen de acero de refuerzo

	Vertical	Horizontal
Cara exterior	5/8 @ 0,3 m	3/4 @ 0,3 m
Cara interior (mitad inferior)	1/2 @ 0,2 m	3/4 @ 0,3 m
Cara interior (mitad superior)	1/2 @ 0,3 m	3/4 @ 0,3 m
Malla interior de cimentación	3/4 @ 0,2 m	3/4 @ 0,2 m
Malla superior de cimentación	1/2 @ 0,3 m	1/2 @ 0,3 m

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.10: Perfil del muro 4



Muro N°5 (H= 2,30 m)

Sección Muro N°5 (H= 2,30 m)

A. Verificación del Muro completo

Análisis Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 187,92 \text{ kNm/m}$

Momento de vuelco $M_{ovr} = 15,05 \text{ kNm/m}$

Factor de seguridad = $12,49 > 1,50$

Muro para vuelco ES ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 87,72 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 12,82 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $6,84 > 1,50$

Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE

Verificación completa - MURO ES ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de la estabilidad de vuelco

Momento estabilizador $M_{res} = 369,42 \text{ kNm/m}$

Momento de vuelco $M_{ovr} = 160,50 \text{ kNm/m}$

Factor de seguridad = $2,30 > 1,00$

Muro para vuelco ES ACEPTABLE

Verificación del deslizamiento

Fuerza horizontal resistente $H_{res} = 146,34 \text{ kN/m}$

Fuerza horizontal activa $H_{act} = 96,09 \text{ kN/m}$

Factor de seguridad = $1,52 > 1,00$

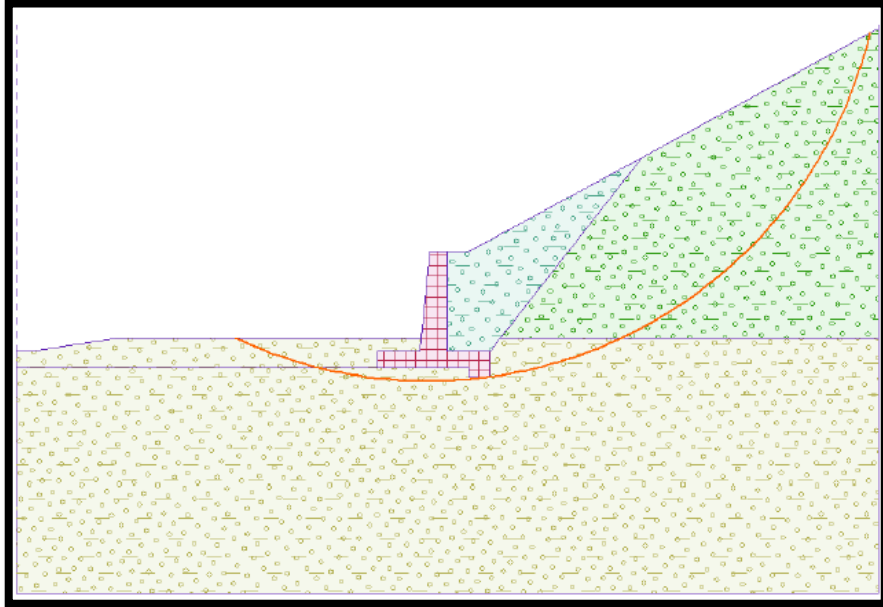
Muro para deslizamiento ES ACEPTABLE

Verificación completa - MURO ES ACEPTABLE

B. Estabilidad Global

A continuación, se muestran los factores de seguridad obtenidos en la verificación del equilibrio a nivel global, empleando el software GEO5/Muro en Voladizo.

Figura N° 3.11: Perfil del muro 5



Fuente: Elaboración propia

Análisis Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 287,12 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 595,10 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 3026,27 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 6272,37 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $2,07 > 1,50$

Estabilidad del talud ACEPTABLE

Análisis Pseudo Estático

Verificación de estabilidad de taludes (Bishop)

Suma de fuerzas activas: $F_a = 387,41 \text{ kN/m}$.

Suma de fuerzas pasivas: $F_p = 565,05 \text{ kN/m}$.

Momento de deslizamiento: $M_a = 3988,42 \text{ kN/m}$.

Momento estabilizador: $M_p = 5955,58 \text{ kN/m}$.

Factor de seguridad = $1,49 > 1,00$

Estabilidad del talud **ACEPTABLE**

Datos iniciales

Tabla N° 3.33: Suelo

	Símbolo	Unidad	Valor
Ángulo de fricción	S	°	35,00
Cohesión	c	kN/m ²	5,00
Peso unitario	F	kN/m ³	20,00
Peso unitario saturado	F _{us}	kN/m ³	21,00
Fricción estructura-suelo	G	°	28,00
Cohesión en la base	c	°	0,00
Fricción en la base	G	°	28,00
Capacidad última de carga	g _g	kPa	290,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.34: Materiales

	Símbolo	Unidad	Valor
Resist. A la compresión del concreto	F _c	Kg/cm ²	210
Densidad del concreto	F	Ton/m ³	2,4
Esfuerzo de fluencia del acero	f _a	Kg/cm ²	4200

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.35: Cargas actuantes

	Símbolo	Unidad	Valor
Aceleración horizontal (sismo)	K _h	g	0,18
Aceleración vertical (sismo)	K _v	g	0,00
Sobrecarga	S _c	kN/m	0,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.36: Geometría

	Símbolo	Unidad	Valor
Ancho superior de la pantalla	b_1	m	0,40
Ancho inferior de la pantalla	b_2	m	0,63
Talón delantero	X_1	m	1,00
Talón posterior	X_2	m	1,00
Altura del muro	H	m	2,30
Altura de la base	h_1	m	0,40
Talud del relleno	Z	m	5,67
Ángulo de talud del relleno	i	m = 1 m	10

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.37: Verificación de estabilidad general

	Simbolo	Unidad	Fx	Fy	dx	dy	M (kNm/m)
Peso del muro	W	kN/m	0,00	53,74	1,39	-0,83	74,70
Fuerza de inercia	F_i	kN/m	-9,67	0,00	1,39	-0,83	-8,03
Empuje pasivo*	F_c	kN/m	2,08	0,10	0,97	-0,23	0,58
Peso del suelo	W_c	kN/m	0,00	30,07	2,00	-1,36	60,14
Sismo – cuña del suelo	E_s	kN/m	-5,41	0,00	2,00	-1,36	-7,36
Empuje activo*	F_s	kN/m	-22,94	21,15	2,50	-0,68	37,53
Empuje sísmico**	E_s	kN/m	-74,55	80,58	2,25	-1,74	51,59

*El empuje activo y pasivo se calculó a través de la teoría de Coulumb.
**El empuje sísmico se calculó mediante el método de mononobe-Okabe

Fuente: Elaboración propia

Factores de seguridad estáticos**FS** volteo **12,49 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 5)**FS** desliz **6,84 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,5)**Factores de seguridad dinámicos****FS** volteo sísmico **2,30 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,0)**FS** desliz sísmico **1,52 mayor al mínimo (OK)** (Mínimo 1,0)

Tabla N° 3.38: Factor de seguridad por capacidad de carga

	Símbolo	Unidad	Valor
Fuerza vertical equivalente	F_{ve}	kN/m	193,58
Momento equivalente	M_e	kNm/m	46,38
Tipo de distribución	Rectangular		
Esfuerzo	G_p	kPa	89,69

Fuente: Elaboración propia

FSqu 3,23 mayor al mínimo (OK)

Excentricidad(e) 0,091 m menor al máximo (OK)

Diseño estructural de la pantalla

Acero vertical para cara exterior

Área de acero requerida* 4,73 cm²/m

Acero escogido 1 1/2"

Espaciamiento utilizado 1 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo (OK)**

As instalado 6,45 cm²/m **mayor al mínimo (OK)**

Acero final: ½ @ 0,2m

Acero vertical para cara interior (mitad inferior)

Momento máximo amplificado 4,636 Ton . m.

Área de acero requerida* 4, 73 cm²/m

Acero escogido 1/2"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo (OK)**

As instalado 6,45 cm²/m **mayor al mínimo (OK)**

Acero final : ½ @ 0,2m

Rectangular

Diseño estructural de la pantalla

Acero vertical para cara interior (mitad superior)

Momento máximo amplificado 2,318 Ton . m

Área de acero requerida* 3,86 cm²/m

Acero escogido 1/2"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* [menor al máximo](#)

(OK)

As instalado 4,30 cm²/m [mayor al mínimo](#) (OK)

Acero final: ½ @ 0,3m

Acero horizontal

Área de acero requerida* 6,30 cm²/m

Acero escogido 1/2"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* [menor al máximo](#)

(OK)

As instalado 6,45 cm²/m [mayor al mínimo](#) (OK)

Acero final: ½ @ 0,2m

Diseño estructural de la cimentación

Malla inferior

Momento máximo amplificado 4,813 Ton . m

Área de acero requerida* 3,68 cm²/m

Acero escogido 1/2"

Espaciamiento utilizado 30 cm 40 cm máx.* [menor al máximo](#)

(OK)

As instalado 4,30 cm²/m [mayor al mínimo](#) (OK)

Acero final: ½ @ 0,3m

Malla superior

Momento máximo amplificado 1,265 Ton . m

Área de acero requerida* 3,00 cm²/m

Acero escogido 3/8"

Espaciamiento utilizado 20 cm 40 cm máx.* **menor al máximo**
(OK)

As instalado 3,55 cm²/m **mayor al mínimo** (OK)

Acero final : 3/8 @ 0,2m

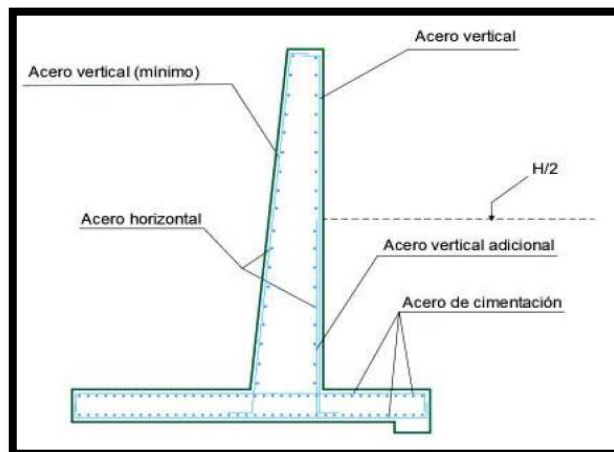
*Según norma E.060 de Concreto Armado (Reglamento nacional de edificaciones) DS N° 010 2009 VIVIENDA.

Tabla N° 3.39: Resumen de acero de refuerzo

	Vertical	Horizontal
Cara exterior	1/2 @ 0,2 m	1/2 @ 0,2 m
Cara interior (mitad inferior)	1/2 @ 0,2 m	1/2 @ 0,2 m
Cara interior (mitad superior)	1/2 @ 0,3 m	1/2 @ 0,2 m
Malla interior de cimentación	1/2 @ 0,3 m	1/2 @ 0,3 m
Malla superior de cimentación	3/8 @ 0,2 m	3/8 @ 0,2 m

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.12: Perfil del muro 5



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

La Compañía Minera Chungar S.A.C. (CMCH) es administradora de las operaciones de la mina Animón, ubicada en el distrito de Huayllay, provincia y departamento de Pasco, a una altitud media de 4600 m.s.n.m.

En la actualidad, el límite de propiedad hace necesario el replanteo parcial del pie del sector Suroeste del recremento proyectado del depósito Animón – zona alta, por ello, CMCH plantea la modificación de las estructuras de contención.

A fin de concretar la modificación, CMCH solicitó a SRK (Perú) el rediseño de los muros de contención en el área del proyecto.

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto de Culminado de la II Etapa del Recrecimiento de la Zona Alta del Depósito de Relaves Animón, consiste en la construcción de muros de contención de concreto armado, construcción del cuerpo del dique con material de relleno granular, construcción de la ampliación de las dos quenas de evacuación de aguas y la impermeabilización de la parte interna del vaso.

4.2. CIMENTACIÓN

Las actividades de preparación de la superficie de cimentación han sido realizadas por el contratista. Dicha preparación es para toda el área de cimentación de la presa hasta su altura final. El contratista ha removido todo material inadecuado para la construcción para lo cual a seleccionado el equipo adecuado y considerando que habrá filtraciones al interior del área de excavación. El material de excavación ha sido llevado a los botaderos señalados por el gerente de construcción, ubicados en los alrededores de la zona de ubicación del depósito de relaves, indicado en los planos. Como parte de la preparación de la cimentación para las presas, está incluida la limpieza del basamento de roca si se encontrase la roca luego de la excavación estipulada en los planos, más si el material encontrado fuese suelo, procederá con la nivelación y compactación con equipo

mecánico del nivel de cimentación, antes de realizar cualquier relleno compactado. Las actividades típicas de preparación de la cimentación a incluido, pero no en forma limitante, lo siguiente:

- Se ha quitado la cobertura vegetal y dispuso en las pilas de almacenamiento de suelo orgánico designadas por el gerente de construcción.
- Se ha quitado el material fino (arcillas, limos) y/o granular (grava arcillosa) no adecuado para la construcción y se dispuso en diferentes pilas de suelo aprobadas por el gerente de construcción.

4.3. RELLENO

4.3.1. RELLENO MASIVO

Es el relleno de material no seleccionado que es colocado en gran cantidad y con espesores irregulares, no necesita compactación ni control de calidad. Este relleno forma parte de los desmontes o botaderos.

4.3.2. RELLENO ESTRUCTURAL

Es aquel relleno de material seleccionado que es colocado en capas y compactado según los espesores requeridos para cada

tipo de material. Este relleno forma parte de la cimentación, filtros, cuerpo de presa, carpeta de rodadura, entre otros.

4.3.3. CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO

El material considerado para el relleno de cimentación y protección de la geomembrana en la Presa Animón, fue el correspondiente a la Cantera Santo Rosario II. El material de la cantera Santo Rosario II es una grava arcillosa (GC) y se encuentra aproximadamente a 10 km de distancia de la mina Animón.

El material considerado para construcción del cuerpo de la presa fue una grava arcillosa (GC). Este material se ha obtenido de la cantera Esperanza 1 como de la cantera La Sirena. La capa externa del cuerpo de la presa (de 2 m de ancho) y el material de relleno del muro de suelo reforzado fueron construidos con material proveniente de la cantera La Sirena.

Se debe considerar que se dispondrá de material de desmonte de mina por acumulaciones futuras de las operaciones mineras que podrán ser utilizadas en los recrecimientos de la Etapa II. El material de filtro-dren es un material constituido por una grava arenosa limpia mal gradada (GP). Este material fue usado

simultáneamente como filtro para evitar la migración de material fino del cuerpo de presa (grava arcillosa) de presentarse flujos de agua, así como material de drenaje para conducir los flujos de posibles filtraciones de agua a través del cuerpo de la presa. La presa existente cuenta con material de filtro. El filtro-dren está colocado entre el relleno de cimentación y el cuerpo de presa.

En el recrecimiento de la presa, se han considerado filtros horizontales en el sentido transversal, y diseñados con ligeras pendientes en el sentido longitudinal en la presa este y presa oeste, los cuales en su nivel más bajo serán derivados a una trinchera perpendicular a los filtros, la cual también contiene material de filtro-dren además de tuberías de drenaje de tal manera de coleccionar las aguas de filtración y derivarlas a pozas colectoras de filtraciones. Posteriormente se bombeará el agua de filtración captada en estas pozas colectoras hacia el vaso del depósito de relaves.

Los filtros existentes han sido empalmados por medio de una transición de acuerdo a los planos. El material de filtro dren se obtendrá de una cantera particular, siendo un proveedor del propietario. Los materiales deberán cumplir con las granulometrías especificadas y con las pruebas de control de calidad listadas en las especificaciones técnicas. Es preciso

mencionar que es admisible el uso de otras canteras cercanas al proyecto, previa evaluación y aprobación por parte del Ingeniero de diseño y el gerente de construcción.

El contratista previo al inicio de las obras ha de familiarizarse con la ubicación y materiales de cantera. La información del material de cantera presentada en esta especificación, no ha eximido de responsabilidad al contratista de verificar la calidad y disponibilidad de los materiales de cantera.

4.4. QUENAS DE EVACUACIÓN DEL AGUA DEL DEPÓSITO DE RELAVES

Esta estructura permite la evacuación del agua de la laguna del depósito de relaves la cual se forma como producto del agua de operación del vertimiento del relave así como del agua de origen pluvial.

Estas quenas serán recrecidas durante toda la operación del depósito de relaves de manera de asegurar un borde libre mínimo de 1,5 m.

El borde libre está referido como la diferencia de cota entre el coronamiento de la presa de relaves y el nivel máximo de operación de la poza del depósito de relaves.

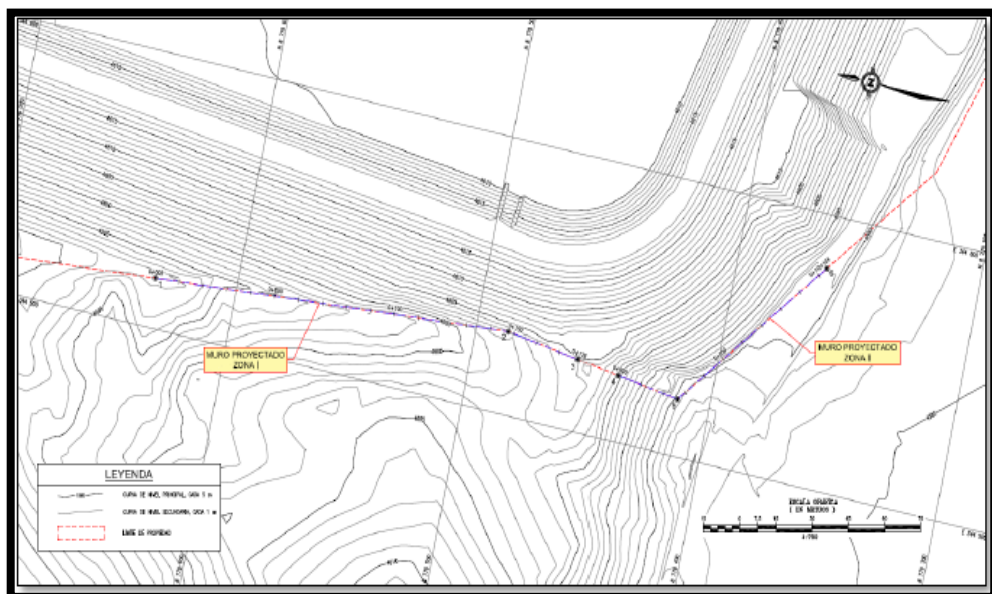
4.5. BOTADEROS

Se realizarán trabajos de habilitación para los botaderos indicados por el gerente de construcción, los cuales se han ubicado en los alrededores del área de trabajo. Los trabajos de habilitación han consistido en limpieza, desbroce, nivelación, construcción de canales perimetrales, bermas, diques de contención y pozas de drenaje, de requerirse.

4.6. MUROS DE CONTENCIÓN

Se van a construir 282.22 m de muros de contención de concreto armado dividido en dos zonas (figura 4.1).

Figura N° 4.1: Planta de ubicación de muro de contención de concreto armado



Fuente: Departamento de geología

4.9. CONTROL DE CALIDAD

El contratista deberá garantizar el control de calidad del proyecto en base al plan de control de calidad del recrecimiento, se ha incluido en la propuesta de la mano de obra, dirección técnicas y equipos necesarios para el cumplimiento de la gestión de control de calidad del proyecto.

4.10. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

4.10.1. SOFTWARE

Para todos los análisis de estabilidad física realizados en este documento se utilizó el software GEO5 (módulo - Muro en voladizo), para realizar las verificaciones de estabilidad global, por deslizamiento y volcamiento. Asimismo, se realizaron verificaciones del acero en la estructura.

4.10.2. MATERIALES

Las propiedades de los materiales considerados en el presente documento son las mismas que se emplearon para el análisis de estabilidad física para el recrecimiento del depósito de relaves Animón – zona alta (SRK, 2016), tanto para la presa como para

el muro de concreto y los refuerzos. Estas propiedades se muestran en la Tabla N° 4.1, y la Nota: Los parámetros del Material de la Presa.

Existente se obtienen a partir de la envolvente generada por medio de una función entre esfuerzos de corte y esfuerzos normales.

Tabla N° 4.1: Propiedades de los materiales empleados

Material	Peso unitario (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	ϕ°
Material de presa existente	20	5	35
Material de Recrecimiento (GC)	19	10	32

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los parámetros del Material de la presa existente se obtienen a partir de la envolvente generada por medio de una función entre esfuerzos de corte y esfuerzos normales.

4.10.3. SECCIONES DE ANÁLISIS

Se analizaron las cinco (05) secciones diseñadas en las Zona I y II de la presa del depósito de relaves Animón, consideradas en dichas zonas según las condiciones del terreno.

En estas secciones se llevaron a cabo el Análisis Estático y el Análisis Pseudoestático. Para ambas condiciones de estudio se

realizaron las verificaciones por Estabilidad Global, Deslizamiento y Volcamiento. Además, se realizaron verificaciones del acero para la estructura proyectada.

4.11. ANÁLISIS ESTÁTICO

El comportamiento estático de las secciones analizadas se estudió considerando los factores de seguridad mostrados en la Tabla N° 4.2, como los mínimos admisibles, según el tipo de verificación o análisis realizado.

Tabla N° 4.2: Factores de seguridad mínimos para análisis estático

Tipo de análisis	Factor de seguridad
Deslizamiento	1,5
Volcamiento	1,5

Fuente: Elaboración propia

4.12. ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO

Para este análisis se consideró conveniente emplear un valor de aceleración sísmica igual a 0,18 g. Además, se consideraron como factores de seguridad mínimos admisibles los mostrados en la Tabla N° 4.3, según el tipo de verificación o análisis realizado.

Tabla N° 4.3: Factores de seguridad mínimos para análisis sísmico

Tipo de análisis	Factor de seguridad
Deslizamiento	1,0
Volcamiento	1,0

Fuente: Elaboración propia

4.13. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DESARROLLADOS

El comportamiento de las secciones modeladas, fueron analizadas en condiciones estáticas y también bajo la acción de una carga sísmica, tal como fue descrito en el capítulo anterior.

Los valores de los Factores de Seguridad obtenidos en la sección más crítica en condiciones estáticas y pseudoestáticas se muestran en la Tabla N° 4.4 y Tabla N° 4.5.

Tabla N° 4.4: Factores de Seguridad general del muro de concreto

Análisis		Factor de seguridad	
		Deslizamiento	Volcamiento
Muro N° 1	Estático	2,38	6,58
	Pseudoestático	1,13	1,97
Muro N° 2	Estático	2,78	7,60
	Pseudoestático	1,21	2,16
Muro N° 3	Estático	3,72	8,88
	Pseudoestático	1,30	2,06
Muro N° 4	Estático	3,47	8,07
	Pseudoestático	1,26	1,91
Muro N° 5	Estático	6,84	12,49
	Pseudoestático	1,52	2,30

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.5: Factores de Seguridad global

Sección	Factor de Seguridad	
	Estático	Pseudoestático
Muro N° 1	1,66	1,21
Muro N° 2	1,74	1,27
Muro N° 3	1,84	1,33
Muro N° 4	1,88	1,37
Muro N° 5	2,07	1,49

Fuente: Elaboración propia

4.14. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

4.14.1. ANÁLISIS ESTÁTICO

Los valores de los Factores de Seguridad obtenidos en los análisis llevados a cabo en condiciones estáticas, son superiores a los mínimos permisibles, tanto para el deslizamiento como para el volcamiento. A partir de esto se puede decir que la estructura, con la geometría planteada y demás consideraciones de diseño, es estable.

4.14.2. ANÁLISIS PSEUDOESTÁTICO

En los análisis desarrollados en condiciones estáticas se obtuvieron valores de Factores de Seguridad superiores a los mínimos permisibles, tanto para el deslizamiento como para el volcamiento. Esto verifica la estabilidad de la estructura en condiciones sísmicas.

CONCLUSIONES

A partir del estudio de la estabilidad física desarrollado en este documento, se puede concluir para el depósito de relaves Animón lo siguiente:

1. De los resultados obtenidos en condiciones estáticas se concluye que la estructura propuesta soportará las cargas que actúan sobre ella, sin volcarse o deslizarse.
2. Los resultados permiten concluir que las estructuras analizadas soportarán un evento sísmico de 0.18 g, indicado en el estudio de "Ingeniería de Detalle para el Depósito de Relaves Animón – Zona Alta".
3. Con la nueva geometría evaluada y la topografía proporcionada por CMCH, el contratista deberá construir las estructuras de concreto según las características geométricas indicadas en los planos adjuntos (Planos N° 1, 2, 3 y 4).

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de equipos de compactación liviano (rodillo chupetero 1,0 tn) para los trabajos detrás (trasdós) del muro de contención, dentro del primer metro de profundidad y hasta 1,0 m adyacente a la pared interior del muro. Dentro del primer metro de profundidad, las capas no deberán exceder el espesor de 0,25 m.
2. Luego del primer metro de profundidad se podrá utilizar equipo pesado y compactar en capas de hasta 0,30 m.
3. En caso sea necesario el contratista deberá replantear las estructuras de contención en el área del proyecto, previa aprobación de la Supervisión, considerando los límites de propiedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Manual de diseño de ingeniería software geotécnico Geo5.
2. Reglamento Nacional de Edificaciones.
3. Normas Técnicas Peruanas (NTP).
4. ASTM (American Society for Testing of Materials).

1.3 Información disponible

Para la elaboración del presente informe, SRK contó con la siguiente información disponible:

- Informe versión 4: “Disposición Superficial de relaves Espesados en el Depósito de Relaves Animón”.

Golder Associates S.A, 2 013. (Golder, 2 013).

- Informe de “Ingeniería de Detalle para el Depósito de Relaves Animón – Zona Alta”. SRK Consulting

(Peru) S.A., 2016 (SRK, 2016).

- Informe de “Ingeniería de Detalle del Estribo Oeste del Dique del Depósito de Relaves Animón – Zona

Alta” SRK Consulting (Peru) S.A., 2017 (SRK, 2017).