

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO
BENEDICTO XVI**

ESCUELA DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON MENCIÓN EN DIRECCIÓN
Y GESTIÓN DE PROYECTOS**



**ESTUDIO GEOTÉCNICO Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL
PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA EN UNA PRESA DE
RELAVES, HUANCAVELICA – PERÚ 2022**

Tesis para obtener el grado académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA CON MENCIÓN EN: DIRECCIÓN Y
GESTIÓN DE PROYECTOS

AUTOR

Br. Eder Jake, Gamboa Peralta

ASESOR

Dr. Paolo André, Amaya Alvarado

<https://orcid.org/0000-0003-1551-7048>

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

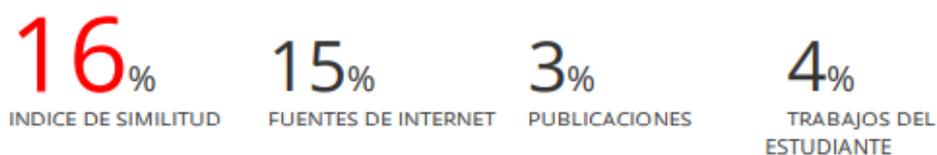
Normas Internacionales y Certificaciones en la Gestión de Proyectos

TRUJILLO - PERÚ

2023

ESTUDIO GEOTÉCNICO Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA EN UNA PRESA DE RELAVES, HUANCVELICA – PERÚ 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	oa.upm.es Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.monografias.com Fuente de Internet	1%
8	guzlop-editoras.com Fuente de Internet	1%

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Exemo Mons. Dr. Héctor Miguel Cabrejos Vidarte, O.F.M.

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

Fundador y Gran Canciller de la Universidad

Católica de Trujillo Benedicto XVI

Dr. Luis Orlando Miranda Díaz

Rector de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

Dra. Mariana Geraldine Silva Balarezo

Vicerrectora académica

Dr. Winston Rolando Reaño Portal

Director de la Escuela de Posgrado

Dra. Ena Cecilia Obando Peralta

Vicerrectora de Investigación (e)

Dra. Teresa Sofía Reategui Marin

Secretaria General

Conformidad de Asesor

Yo, Paolo Andre Amaya Alvarado con DNI N° 46128308, asesor de la Tesis de Maestría titulada: ESTUDIO GEOTÉCNICO Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA EN UNA PRESA DE RELAVES, HUANCVELICA – PERÚ 2022, del maestrando Br. Gamboa Peralta, Eder Jake, identificado con N° DNI: 44952174, de la Maestría en Ingeniería con Mención en dirección y gestión de proyectos, informo lo siguiente:

En cumplimiento de las normas establecidas en el Reglamento de la Escuela de Posgrado de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, en mi calidad de asesor(a), me permito conceptuar que la tesis reúne los requisitos técnicos, metodológicos y científicos de investigación exigidos por la escuela de posgrado.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación está en condiciones para su presentación y defensa ante un jurado.

Trujillo, 10 de abril del 2023.



Dr. PAOLO ANDRE AMAYA ALVARADO
ORCID: 0000-0003-1551-7048
Escuela de Posgrado - UCT

Asesor

DEDICATORIA

Sin duda a mi familia, en el apoyo constante y la confianza que depositan en el desarrollo de mi carrera profesional, en especial a PJJ, a mis padres y hermanos quienes son la motivación más fuerte durante mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. PAOLO ANDRE AMAYA, asesor de la presente tesis, por las recomendaciones, apreciaciones y sugerencias para la formulación del presente trabajo de investigación.

A mis jurados Dra. Patricia Maribel Yllescas Rodríguez y Mg. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz, por el apoyo y la disponibilidad durante la revisión de este informe.

A los distinguidos docentes de la Maestría en Gestión y Dirección de Proyectos de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional.

Finalmente, a mis amigos y compañeros de la Maestría en Gestión y Dirección de Proyectos de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, a PJJ en especial y a mi familia, por el apoyo y la confianza que apostaron durante mi formación personal y profesional, parte de ello que han contribuido para la realización del proyecto de tesis.

Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI

Trujillo, abril de 2023

GAMBOA PERALTA, Eder Jake

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, Eder Jake Gamboa Peralta con DNI: 44952174 , egresado de la Maestría en Ingeniería con Mención en Dirección y Gestión de Proyectos de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, doy fe que seguí rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos emanados por la Escuela de Posgrado de la citada Universidad para la elaboración y sustentación de la tesis titulada: ESTUDIO GEOTÉCNICO Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA EN UNA PRESA DE RELAVES, HUANCVELICA – PERÚ 2022, la que consta de un total de 115 páginas, las que contiene 31 tablas, 41 figuras y 11 páginas en los apéndices y anexos.

Se deja constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaro bajo juramento en razón a los requerimientos éticos, que el contenido de dicho documento, corresponde a mi autoría respecto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizo que los fundamentos teóricos están respaldados por el referencial bibliográfico, asumiendo un mínimo porcentaje de omisión involuntaria respecto al tratamiento de cita de autores, lo cual es de mi entera responsabilidad.

Se declara también que el porcentaje de similitud o coincidencia es de 16 %, el cual es aceptado por la Universidad Católica de Trujillo.

El autor



EDER JAKE GAMBOA PERALTA

DNI 44952174

INDICE

Porcentaje de similitud.....	ii
Autoridades Universitarias.....	iii
Conformidad Asesor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Declaratoria de autenticidad.....	vii
Índice.....	viii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
I. INTRODUCCION	15
II. METODOLOGÍA	55
III. RESULTADOS.....	66
IV. DISCUSIÓN.....	93
V. CONCLUSIONES	97
VI. RECOMENDACIONES	99
VII. REFERENCIAS	100
ANEXOS.....	105
Anexo 1: Instrumentos de recolección de la información.....	105
Anexo 2: Consentimiento informado	106
Anexo 3: Matriz de categorías y subcategorías.....	109
Anexo 4 Constancia emitida por la institución donde se realiza el estudio.....	110

LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1.** Causas de Fallos Presas de Relaves en el Perú período 1952-2022
- Figura 2.** Fallos de presas de relaves en el Perú de los métodos constructivos período 1952-2022
- Figura 3.** Formas de partículas del suelo
- Figura 4.** Tipo de estructura de suelo
- Figura 5.** Piezómetro abierto tipo casagrande
- Figura 6.** Equipo de Ensayo de penetración estándar
- Figura 7.** Equipo de perforación Wash Boring
- Figura 8.** Equipo cono Peck
- Figura 9.** Modelamiento de una Presa de relaves con Geoestudio
- Figura 10.** Ciclo de mejora continua
- Figura 11.** Ciclo de mejora continua en la propuesta de mejora de estudio de investigación
- Figura 12.** Método Aguas arriba
- Figura 13.** Método Aguas abajo
- Figura 14.** Método Eje Central
- Figura 15.** Variación del factor de seguridad de estabilidad geotécnica en la Presa
- Figura 16.** Fallo de talud de relaves
- Figura 17.** Fallo por desbordamiento
- Figura 18.** Fallo por terremotos.
- Figura 19.** Falla por erosión interna o tubificación
- Figura 20.** Fallo por erosión hídrica del pie del talud.
- Figura 21.** Falla de presas de relaves en el mundo período 1910-2022
- Figura 22.** Fallo de acuerdo a la altura de relavera en el mundo período 1910-2022
- Figura 23.** Causas de Fallo de Relaveras en el Mundo período 1910-2022
- Figura 24.** Fallo de relaveras de los métodos constructivo período 1910-2022
- Figura 25.** Métodos de Cálculo de Estabilidad de taludes
- Figura 26.** Partes un talud de relaves.
- Figura 27.** Esfuerzo cortante en taludes
- Figura 28.** Análisis por método dóvelas

- Figura 29.** Método de dóvelas
- Figura 30.** Distribución de zonas sísmicas en el Perú
- Figura 31.** Distribución de los valores de coeficiente sísmico.
- Figura 32.** Investigación geotécnica en la Presa de relaves.
- Figura 33.** Muro de contención lado sur de la Relavera-Huachocolpa.
- Figura 34.** Construcción del muro de contención de la relavera
- Figura 35.** Mapa tectónico para la región central del Perú
- Figura 36.** Líneas discontinuas F1 y F2 fuentes sismogénicas ($h < 70$ km)
- Figura 37.** Líneas discontinuas F3 con foco intermedio ($71 > h < 300$ km)
- Figura 38.** Construcción de dique de relaves lado sur de la presa
- Figura 39.** Materiales de dique de relaves
- Figura 40.** Secciones geotécnicas – análisis estático y pseudoestático después del fallo de la presa de relaves
- Figura 41.** Secciones geotécnicas – análisis estático y pseudoestático propuesta de mejora de la presa de relaves

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Relación de Presas de Relaves fallados en el Perú (1950-2022)
Tabla 2.	Matriz de Categorías y subcategorías
Tabla 3.	Presiones admisibles de los suelos
Tabla 4.	Valores de cohesión en suelos arcillosos
Tabla 5.	Factores resistencia cortante de suelos
Tabla 6.	Factores de resistencia cortante de suelos
Tabla 7.	Clasificación de Bieniawski RMR y las propiedades Geomecánicas
Tabla 8.	Propiedades Geomecanica de Rocas Inalteradas
Tabla 9.	Propiedades Geomecanica de Rocas trituradas
Tabla 10.	Casos históricos de embalse de relave falladas con el método aguas arriba
Tabla 11.	Casos Históricos de Presas de Relaves Falladas con el Método aguas abajo
Tabla12.	Casos Históricos de Presas de Relaves Falladas con el Método Eje Central
Tabla 13.	Relaveras fallados en el Perú (1950-2022)
Tabla 14.	Ensayos de Sondaje SPT.
Tabla 15.	Calicatas
Tabla 16.	SUCS de las zonas
Tabla 17.	Características físicas de los materiales existentes en el desborde lado sur
Tabla 18.	Características físicas de los Materiales para la estabilización física
Tabla 19.	Parámetros geotécnicos para construir el dique de relaves.
Tabla 20.	Factores de seguridad DGAA
Tabla 21.	Riesgo Sísmico para el proyecto de estudio
Tabla 22.	Ensayos de Sondaje SPT.
Tabla 23.	Registro de Perforación en la Relavera
Tabla 24.	Características físicas y mecánicas de la presa en desborde en el lado sur
Tabla 25.	Características físicas y mecánicas con la estabilización física
Tabla 26.	Parámetros geotécnicos para construir el dique de relaves
Tabla 27.	Factores de seguridad en la falla de la relavera
Tabla 28.	Capacidad Portante en la base del dique
Tabla 29.	Factores de seguridad del dique de contención

Tabla 30. Cálculo de los factores de seguridad después del fallo lado sur de la relavera

Tabla 31. Cálculo de los Factores de seguridad con la estabilización física en la Relavera

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito de realizar una propuesta de mejora para una presa de relaves según el estudio geotécnico y modelamiento estructural, Huancavelica – Perú 2022, fue de tipo aplicada para la solución de problemas de presa de relaves con un enfoque cualitativo. Presentó un diseño No experimental donde la población y muestra fue la Presa de Relaves de la localidad de Huachocolpa de la provincia y departamento de Huancavelica. Se emplearon técnicas e instrumentos como guía de observación y revisión bibliográfica. Los principales hallazgos fueron determinar las propiedades físicas y mecánicas de la presa de relaves como la densidad, cohesión y ángulo de fricción y conocer el desempeño de su estabilidad estructural de la presa de relaves mediante el diseño de un modelamiento estructural para obtener los factores de seguridad.

Palabras clave: propiedades geotécnicas, presa de relaves, dique contención, relave.

ABSTRACT

The purpose of the research was to make an improvement proposal for a tailings dam according to the geotechnical study and structural modeling, Huancavelica - Peru 2022, it was applied to solve tailings dam problems with a qualitative approach. He presented a non-experimental design where the population and sample was the Tailings Dam of the town of Huachocolpa in the province and department of Huancavelica. Techniques and instruments were used as an observation guide and bibliographic review. The main findings were to determine the physical and mechanical properties of the tailings dam such as density, cohesion and friction angle and to know the performance of its structural stability of the tailings dam through the design of a structural modeling to obtain the safety factors.

keywords: geotechnical properties, tailings dam, containment dam, tailings

I. INTRODUCCION

La situación general de los deterioros del medioambiente es tratada por la ingeniería geotécnica y sus metodologías en el cual enfatizan actividades de la ingeniería peruana en la construcción y desempeño de sus Presas de relaves y estos deben cumplir con criterios y requisitos evitando la contaminación ambiental.

Para ello se constituye un Estudio Geotécnico y su posterior modelamiento Estructural para fines de Estabilización Física. Las estructuras más peligrosas son estas presas de relaves.

El estudio geotécnico influye de manera que realiza ensayo de perforación a profundidades, que son muestras y estas son llevados a los laboratorios para conocer las características del material que contiene el suelo de una Presa de Relaves y sean clasificados a distintas profundidades. Para analizar e investigar objetivamente un embalse de relaves se debe hacer un estudio de fallas siendo un aporte de alto valor.

En el Perú existen mineras que explotan oro plata, cobre y otros metales cuyos residuos que vienen de las plantas concentradoras lo depositan en la Presas de relaves, el interés radica en garantizar la estabilidad física de estos depósitos. Así que se realiza un levantamiento topográfico de la zona de utilizando el diseño cad, luego con el análisis geotécnico y los datos obtenidos se realiza el modelado estructural de la presa de relaves para ver el comportamiento de la estabilidad física para condiciones estáticas y pseudoestático y que garanticen los factores de seguridad deseados para las Presas de relaves.

La situación problemática en la minería peruana registra un historial de algunas Falla de Presas de Relaves proporcionado por el INGEMMET 1982, se recurre también a WISE (2018), ICOLD (2001). En la tabla se presentan:

Tabla 1*Relación de Presas de Relaves fallados en el Perú (1950-2022)***PRESAS DE RELAVES FALLADOS EN EL PERÚ**

Depósito de Relaves	Altura (m)	Año Colapso	Causa	Consecuencia	Sistema Constructivo	Estado del deposito
Casapalca (CENTROMIN)-Lima	60	1952	Sismo	Numerosos muertos y contaminación del Río Rimac	aguas arriba	Abandonado
Millpo-Cerro de Pasco	60	1956	Sismo	Muchos muertos, interrupción de la carretera Cerro de Pasco-Huánuco	aguas abajo	Abandonado
Almivirca (QUIRUVILCA)	40	1962	Sismo de magnitud 6.7	Daño en la Agricultura y obras de infraestructura	aguas arriba	Abandonado
Yauli-Yacu (CENTROMIN)	80	1968	Sismo	Interrupción de la carretera central y contaminación del Río rimac	aguas arriba	Abandonado
Recuperada (BUENAVENTURA)	22	1969	Se desconoce	Daños en la agricultura del río Huachocolpa	aguas abajo	Se desconoce
Almivirca (QUIRUVILCA)	40	1970	Sismo de 1970	Contaminación del río San Felipe	aguas arriba	Abandonado
Atacocha- Cerro de Pasco	14	1971	Falla en drenaje	Contaminación del Río Huallapa y daños a infraestructura vial	aguas arriba	Abandonado
Ticapampa (ALIANZA)	20	1971	Sismo	Tres muertos, destrucción de viviendas e interrupción de la carretera Huaraz - Lima	Eje Central	Abandonado
San Nicolás-Cajamarca	---	1980	Se desconoce	Contaminación del río Tingo y daños en la agricultura	Se desconoce	Se desconoce
MARSA-Trujillo	25	1996	Overtopping-Sobrepado	6 personas muertas	aguas arriba	Se desconoce
AMATISTA-Nazca	45	1996	Licucion - sismo	contaminacion de rio, fuga de 300, 000 m3 relave	aguas arriba	Se desconoce
Caraveli	18	1996	Sismo de Nazca	Relaves con Cianuro y mercurio contaminan	aguas arriba	Abandonado
Cuajone	---	2001	Sismo Magnitud 8.3	Falla en presa relaves licuación y colapso	---	Operación

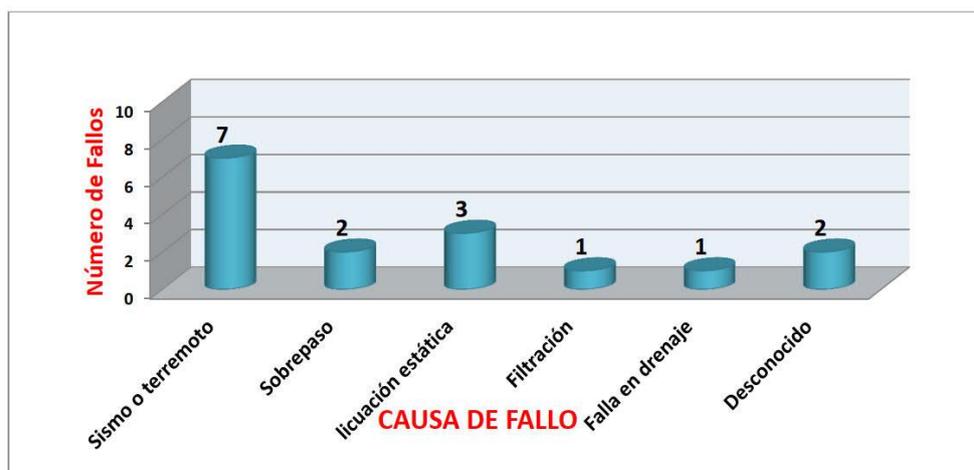
Shila- (BUENAVENTURA)	15	2015	Licuaación- Filtración en la fundación	Contaminación rio Santa y daños en la agricultura	Eje Central	Abandonado
HUANCAPETI- Ancash	35	2018	Licuaación - Sobrepaso por lluvias intensas	Contaminación rio Santa y daños en la agricultura	aguas arriba	Se desconoce

Nota. Historial de presas fallados en el Perú según WISE(Agosto2021), Tailings Dam Security (2022), INGEMMET(1982) and Oldecop (2017)

De acuerdo a los registros históricos los sismos o terremotos influyen en el territorio peruano, siendo posible las fallas de las presas por efectos de las ondas sísmica o fenómenos de licuefacción. Además, existen fallas por sobrepaso y filtraciones en cantidades menores. Una presa de relaves puede fallar debido a erosión en la superficie, filtraciones excesivas, fallas estructurales y derrumbes o colapsos en la cimentación o en su talud, tenemos en la figura:

Figura 1

Causas de Fallos Presas de Relaves en el Perú período 1952-2022

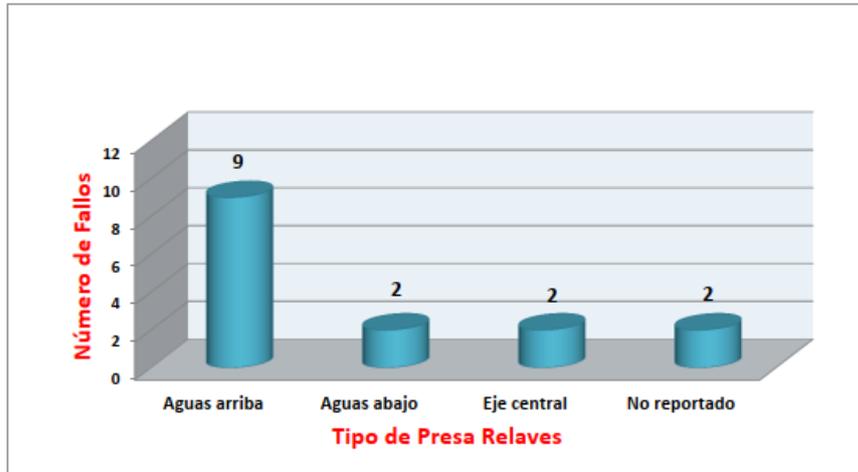


Nota. Clasificación de las causas de fallo de las presas de relaves en el Perú 1952-2022

Las Presas de relaves construidos con el método de aguas arriba son inestables a las ondas sísmicas en comparación a los de aguas abajo que tienen mayor estabilidad. De acuerdo al caso histórico se puede observar que mayor cantidad son los fallos de embalse de relaves con el método aguas arriba a comparación de otros métodos. A continuación, la siguiente figura:

Figura 2

Fallos de presas de relaves en el Perú de los métodos constructivos período 1952-2022



Nota. Clasificación de fallos método constructivo de las presas en el Perú 1952-2022

En el embalse de relaves de la Minera de Huancavelica a finales del 2007, la contrata IGERSA realizó el diseño del dique de las Relaveras A y B. Sólo la parte correspondiente a la relavera. Fue ejecutada por la contrata ARMI S.A. culminándose a finales del 2008. Posterior en el 2010 SVS Ingenieros S.A.C, realizó el estudio de Estabilidad de Taludes de las Canchas A y B, donde se determinó que todos los taludes perimetrales tenían factores de seguridad por debajo de los mínimos sugeridos por la legislación vigente y requerían de la construcción de etapas para la estabilización que deberían ser implementadas de forma consecutiva.

En este contexto la minera, inició la construcción del contrafuerte de la estabilización de las Relaveras A y B en mayo de 2010, como parte de la primera fase de estabilización, fue realizada por la contrata Bouby S.A.C. El 25 de junio de 2010, ocurrió la ruptura en la Relavera A que dio lugar a 57,894m³ de relave fluyeran hacia el vaso de la Relavera C, generando la colmatación de la capacidad de almacenamiento del mismo con 35,278m³ y el derrame de 22,616 m³ hacía la quebrada Escalera (de acuerdo a la estimación de volúmenes efectuada por una de la Minera de Huancavelica). El problema investigado es el colapso de la presa de relave almacenado, a causa de una falla de estabilización de uno de los diques laterales, ha originado problemas de impacto, pérdidas, contaminación de los ríos y suelos, ocasionando la paralización de

las actividades de la Minera de Huancavelica, dando como resultado daño a la imagen empresarial. Al problema se plantea acciones como estabilizar la presa de relaves.

El trabajo está enfocado en un estudio geotécnico y modelamiento estructural como una propuesta de mejora de una presa de relaves.

Con ello se tiene el problema general del trabajo de investigación siendo este:

1. ¿Cuál es la propuesta de mejora para una presa de relaves según el estudio geotécnico y modelamiento estructural, Huancavelica – Perú, 2022?

También los problemas específicos son:

- a) ¿De qué manera el estudio geotécnico de las propiedades físicas y mecánicas, influirá en la propuesta de mejora de una presa de relaves, Huancavelica – Perú 2022?
- b) ¿De qué manera el modelamiento estructural, influirá en la propuesta de mejora de una presa de relaves, Huancavelica – Perú 2022?
- c) ¿Por qué el estudio geotécnico y modelamiento estructural genera posibles impactos en la propuesta de mejora de una presa de relaves, Huancavelica – Perú 2022?

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general:

1. Realizar una propuesta de mejora para una presa de relaves según el estudio geotécnico y modelamiento estructural, Huancavelica – Perú, 2022.

También los objetivos específicos son:

- a) Describir el estudio geotécnico para una propuesta de mejora en una presa de relaves, Huancavelica – Perú 2022.
- b) Describir el modelamiento estructural para una propuesta de mejora en una presa de relaves, Huancavelica – Perú 2022.
- c) Identificar posibles impactos de la propuesta de mejora para una presa de relaves según el estudio geotécnico y modelamiento estructural, Huancavelica – Perú 2022.

La justificación de la investigación comprende 3 aspectos como son:

La justificación teórica, que con la investigación se abordará la actualización de un constructo que obedece al estudio geotécnico y modelamiento estructural para una presa de relaves, en tal sentido se empleará un conocimiento basado en la experiencia, extraído de expedientes técnicos y descritos en la zona de Huancavelica. Asimismo, con

ello se profundizará el conocimiento en materia de proyectos de construcción para minería.

La justificación práctica, que con la investigación el sector de construcción dedicado a la minería (diseño y construcción de estructuras) tendrán mayor alcance de información sobre el estudio geotécnico y modelamiento estructural para una presa de relaves, logrando una mayor estabilidad física de una presa de relave, evitando colapsos o derrumbes de dichos depósitos y estos puedan ocasionar pérdidas y/o daño ambiental bajo un enfoque empresarial, por consiguiente una propuesta como la que se pretende realizar contribuye a la continuidad de negocio (operación) de una minera, ahorrando tiempo y recurso financiero.

La justificación metodología, la investigación se justifica ya que al ser una propuesta va proporcionar instrumentos de gran utilidad para recolectar hechos y/o situaciones de una realidad en particular (proyectos de construcción en minería) para luego ser procesados en próximas investigaciones, y más aún que aborden la pertenencia para describir lo relevante del estudio geotécnico y modelamiento estructural para una presa de relaves y así proponer acciones de mejora que beneficien al área de estudio de interés.

Las categorías y subcategorías se encuentran en la tabla:

Tabla 2

Matriz de Categorías y subcategorías.

Variables	Categorías	Sub-Categorías	Indicadores	Definición Operacional	
ESTUDIO GEOTÉCNICO	Propiedades Físicas de la Relavera	Densidad relave Cohesión relave Angulo fricción	KN/m3 KPa grados (°)	Registro de entrada extraídos de pruebas con ensayos SPT y ensayos de laboratorio	Comprende realizar y describir el estudio geotécnico de campo en la Relavera, determinando sus propiedades físicas, con ello cuantificar su estabilidad estructural aplicando el uso de un Software de taludes ; para obtener los parámetros de factores de seguridad (F.S).
	Geometría del Dique de contención	Base Talud Altura	m H:V m	Registro de entrada de pruebas y ensayos de laboratorio	Para mejorar la estabilidad física de la Relavera se describirá el diseño de un dique de contención ,compuesto de material desmonte mina y enrocado
		Densidad	KN/m3	Registro de	

MODELAMIENTO ESTRUCTURAL	Factor de Seguridad	desmorte mina		entrada del Modelamiento Geotécnico de la Presa con Aplicación Software	A partir de las propiedades físicas se cuantificará la estabilidad estructural de la Presa con el modelamiento de un software
		Cohesión	KPa		
		desmorte mina			
		Angulo fricción	grados (°)		
	Factor de Seguridad FS>1 estable	Densidad relave	KN/m3	Datos extraídos de monitoreo geotécnico y levantamiento topográfico	Se realiza y describe las investigaciones geotécnicas, para obtener las propiedades físicas de los materiales y los factores de seguridad(F.S)
		Cohesión	KPa		
		desmorte mina			
		Angulo fricción	grados (°)		
	Factor de Seguridad del dique de contención FS>1 estable	Densidad desmorte mina	KN/m3	Registro de los factores de seguridad del Modelamiento del Dique de contención	Para una propuesta de mejora de estabilidad física de un embalse de Relave se describirá el diseño de un dique contención ,compuesto de material desmorte mina y enrocado
		Cohesión	KPa		
		desmorte mina			
		Angulo fricción	grados (°)		
	Superficie de falla	Esfuerzo de corte	KPa	Modelamiento con software a partir de los datos extraídos de monitoreo geotécnico	A partir de las propiedades físicas se cuantificará y describirá la propuesta de mejora de la estabilidad estructural del embalse de relaves con el modelado de un software.
		Esfuerzo resistente	KPa		

Nota. Matriz de categoría y subcategorías realizados para la investigación.

Para el trabajo de investigación se recurre como marco teórico a los antecedentes de la investigación, los cuales tenemos a los Antecedentes Internacionales, en base a los siguientes estudios realizados:

Arias (2021) en la investigación titulada MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE UNA PRESA DE RELAVES PARA DISMINUIR LOS RIESGOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD.

Esta tesis trato como gestionar los depósitos de relaves para mejorar el desempeño de una industria minera, utilizando prácticas en ingeniería y sean concordantes con la legislación vigente apoyado en los criterios medio ambientales en la selección, modelado, edificación y operación, y el cierre de este.

Investigación de tipo inductivo, exploratoria, de nivel descriptiva. La muestra es la relavera Chinchán y procesa minerales de plomo, zinc, cobre y plata.

Las conclusiones fueron dos modos de falla: Falla de presa por pérdida de resistencia por licuación y falla de presa por rebose o overtopping.

Alcántara (2021) en la investigación titulada **COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL SUBSISTEMA DE DISPOSICIÓN DE RELAVES: ROUGHER SCAVENGER TAILINGS, TRAMO: PLANTA CONCENTRADORA - RELAVERA LADO NORTE, DEL PROYECTO CERRO CORONA.**

Investigación tipo aplicada, inductivo. La investigación será de nivel descriptiva, cuyo diseño no experimental.

La investigación analiza la problemática de la inadecuada disposición de relaves del Proyecto Cerro Corona, que actualmente, viene operando con cierta dificultad, se han establecido los criterios para evaluar su operatividad y funcionabilidad; su incidencia directa en el crecimiento de la presa de relaves; y cuya metodología, puede ser usada para la verificación hidráulica de los sistemas auxiliar de descarga directa y de recuperación de agua.

Jiménez (2020) en la investigación titulada **IDENTIFICAR LAS CAUSAS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES PRODUCIDOS POR LA ACTIVIDAD MINERA SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS QUE DESEMBOCAN AL LAGO TITICACA – PUNO**

Investigación tipo aplicada, inductivo. La investigación será de nivel descriptiva, cuyo diseño no experimental.

La Rinconada constituye ser cabecera de la cuenca hidrográfica Titicaca, Ananea, Puno, Perú, y las actividades mineras, se evidencia mineros artesanales, ingresando a bocaminas, trasladando material bruto (roca) para posterior molienda en trapiches y recuperación de oro mediante mercurio; asimismo, se evidencia aguas industriales mineras, residuos sólidos, aguas domésticas discurriendo por calles; de igual forma, se acopió de la Autoridad Local del Agua Ramis, Puno. En conclusión, las aguas que discurren del cerro La Rinconada a los bofedales y laguna La Rinconada se encuentran contaminadas con aguas ácidas y vienen causando efectos negativos a la flora, fauna silvestre y al ser humano durante el recorrido hasta el lago Titicaca.

Solis (2019) en la investigación titulada **ANÁLISIS DE SUELOS PARA DETERMINAR LA ESTABILIDAD DE TALUD EN EL SERVICIO DE**

ALMACENAMIENTO DE RELAVES DE LA PRESA HUACHUCAJA – EL BROCAL

Investigación de tipo aplicada, inductivo. La investigación será de nivel explicativo, cuyo diseño experimental.

La investigación garantiza la consistencia de la presa, que utiliza la herramienta SLIDE para determinar los factores de seguridad. El suelo armado es mejorar con geomallas y compactar para llegar a la solidez del talud de una presa.

Aliaga y Melendez (2019) en la investigación titulada ANÁLISIS DE LICUACIÓN DINÁMICA DE UNA PRESA DE RELAVES RECRECIDA

Investigación de tipo aplicada, inductivo. La investigación será de nivel descriptiva, cuyo diseño no experimental.

La investigación trato en aplicar métodos de evaluación de Seed e Idriss y Scott Olson para la licuación de suelos.

Cruz y Sonny (2019) en la investigación titulada EVALUACION DEL FALLO DE PRESAS DE RELAVES CON EL MÉTODO DE ÁRBOL DE FALLOS

Investigación de tipo aplicada, inductivo. La investigación será de nivel descriptiva, cuyo diseño no experimental.

Partiendo de la información generada en la base de datos se elaboro un análisis preliminar de Riesgo (PHA) a las presas de relaves, ya que el PHA constituye una base de apoyo para identificar los peligros y las consecuencias potenciales y, sobre todo, definir el “top-event” o máximo daño como consecuencia del fallo de una presa de relaves. El paso siguiente ha consistido en elaborar el Árbol de Fallos correspondiente al “top-event” ya definido, apoyándose en la matriz de caracterización internacional sobre las roturas de presas más importantes. Esta matriz parte de diversas fuentes y ha sido filtrada y ordenada para ese fin.

Se tiene a continuación los antecedentes nacionales en base a los autores:

Villanueva (2020), en la investigación titulada DISEÑO DE PRESA DE RELAVES ALPAMARCA Y EL USO DE MATERIALES DE MINA COMO CUERPO DE PRESA

Investigación de tipo aplicada, inductivo. La investigación será de nivel descriptiva, cuyo diseño no experimental.

La investigación da a conocer, características físicas, importancia, criterios de diseño y estudios básicos. Utilizan material préstamo, preparación de la cimentación y métodos constructivos

Los resultados obtenidos son el análisis y diseño de la presa de relaves. Según los registros históricos se debe tomar en cuenta, efecto de la onda sísmica o el desarrollo del fenómeno de licuefacción. Además, existen fallas por sobrepaso y filtraciones en cantidades menores.

Y finalmente como antecedentes locales a los autores:

Arias (2021), en la investigación titulada MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE UNA PRESA DE RELAVES PARA DISMINUIR LOS RIESGOS AMBIENTALES Y DE SEGURIDAD.

Investigación de tipo inductivo, exploratoria de nivel descriptiva, cuyo diseño no experimental.

Las conclusiones fueron dos modos de fallas: falla por pérdida de resistencia por licuación y falla por rebose. En contexto en la región Huancavelica, opera diferentes Mineras y deposita los relaves producto de la concentración de minerales, en la Presa de Relaves A.

Según una Minera de Huancavelica, el inicio del funcionamiento del depósito A y B, fue durante las administraciones anteriores de la mina, no teniendo una fecha precisa del inicio de la disposición de relaves. La contrata IGERSA en el 2006, realizó estudios de reforzamiento de taludes y ampliación de las canchas de relave. Este proyecto estuvo compuesto de dos fases: Primera fase correspondiente al reforzamiento del pie de taludes de la Relaveras A y B y la Segunda fase correspondiente a una presa de embalse de la poza de lodos de la Planta NCD, las mismas que fueron construidas por la contrata IRSA a inicios del 2007.

A finales del 2007, IGERSA realizó el diseño del Dique de las Relaveras A y B. Sólo la parte correspondiente de la relavera A fue ejecutada por la contrata ARMI culminándose a finales del 2008. La contrata SVS Ingenieros S.A.C., realizó el estudio de Estabilidad de Taludes de las Relaveras A y B, presentando el informe a inicios de febrero del 2010, donde se determinó que todos los taludes perimetrales tenían factores de seguridad por debajo de los mínimos sugeridos por la legislación vigente y requerían de la construcción de una serie de obras de estabilización que deberían ser

implementadas de forma consecutiva. En este con texto, la minera inicio la construcción del contrafuerte de la estabilización de las relaveras A y B e n mayo de 2010, como parte de la primera fase de estabilización, la misma que fue realizada por la contrata BOUBYSAC. Entregándose el informe final del mismo en junio de 2010.

Las obras de estabilización de las relaveras A y B, comprendían la construcción de un contrafuerte con material de préstamo a lo largo del pie de talud Este, con su respectivo sistema de sub-drenaje. Asimismo, consideraba la estabilización de la presa flotante Este y el perfilado de todos los taludes perimetrales hasta alcanzar un ángulo de talud de 2.5 (H): 1.0 (V). El 25 de junio de 2010, ocurrió el fallo de la Presa de relaves que dio lugar a que alrededor de 57,894 m³ de relave fluyeran hacia el vaso de la relavera C, generando la colmatación de la capacidad de almacenamiento del mismo con 35,278 m³ y el derrame de 22,610 m³ hacia la quebrada Escalera.

Para el trabajo de investigación se recurre como referencial teórico a la Teoría del estudio geotécnico.

Para el objeto de investigación de una propuesta de mejora con una estabilización física de una presa de relaves, se considera como base a los distintos autores; los cuales citaremos en base a los estudios realizados.

Para la construcción de Presas de relaves existen tres métodos: aguas arriba, aguas abajo y eje central, según Vick (1990), clasifica en 3 métodos aguas arriba, eje central y aguas abajo, ICOLD (2001) y Odelcop (2011) las presas de relaves son depósitos para almacenar residuos provenientes de las actividades mineras, Martin Morrison (1995) propone la construcción de un muro inicial y luego se depositan relaves aguas arribas y Saad (2008) propone la construcción por eje central.

Para el estudio geotécnico para una presa de relaves, se debe conocer la clasificación de los materiales y estos son:

- Granulometría, referido al tamaño y forma de las partículas.
- Graduación, se refiere a la variedad de diámetros de las partículas.
- Forma, se refiere a la forma redondas angulares y otras. (Aedo & Jiménez, 2003).

Figura 3

Formas de partículas del suelo

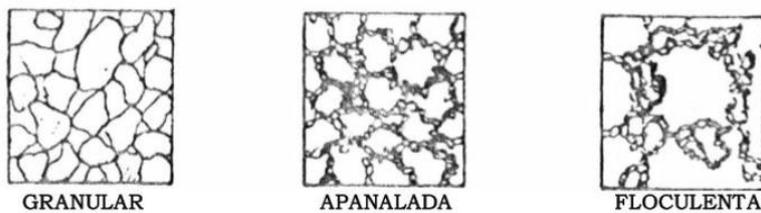


Nota. Se observa las formas de las partículas del suelo Aedo & Jiménez, 2003

- Plasticidad: comportamiento del material para limos y arcillas.
- Estructura: Tenemos la granular, apanalada y la flocúlenla.

Figura 4

Tipo de estructura de suelo



Nota. Se observa tipo de estructura del suelo Aedo & Jiménez, 2003

- Límite de contracción (LC): es la reducción o aumento de volumen de suelos arcillosos.
- Límite líquido (LL): El suelo ofrece resistencia al corte y se comporta como material plástico

- Límite plástico (LP): Es contenido de agua evaporado del suelo dejando ser material plástico volviéndose quebradizo. (Aedo & Jiménez, 2003)

Para las investigaciones geotécnicas de campo se debe conocer las características de los suelos como son:

- Suelos limo arcillosos, el limo es inestable, para la identificación de suelos limo arcillosos en el campo se realiza con la malla n°40. Los depósitos de arcillas son suelos variables, generalmente compresibles y de baja capacidad de soporte. Tienen resistencia: variable a baja, la cohesión es variable, fricción es nula, capacidad portante 0.5 a 2.0 kg/cm², son suelos malos como cimentación y se realiza ensayos de consolidación. Los ensayos de campo en suelos limo arcillosos se consideran las características físicas, calicatas, perforación wash Boring, ensayos de penetración estándar. (Bishop & Bjerrum, 1960).

Tabla 3

Tipo de Suelo	Presión Admisible (kg/cm²)	<i>Presiones admisibles de los suelos</i>
Arena muy suelta	0 - 0.5	
Arena suelta	0.5 - 1.5	
Arena firme	1.5 - 3.0	
Arena compacta	3.0 - 6.0	
Arcilla blanda	0 - 0.75	
Arcilla firme	0.75 - 1.25	
Arcilla resistente	1.25 - 2.50	
Arcilla dura	2.50 - 5.0	
Roca en capas, laminadas o fracturadas	5.0 - 15.0	
Roca masiva con alguna fisura	15.0 - 40.0	
Roca masiva sana	40.0 - 100.0	

Nota. Presiones admisibles de los suelos según Peck 1993, Ing de cimentaciones.

Tabla 4*Valores de cohesión en suelos arcillosos*

Tipo de Suelo	Cohesión (KPa)
Arcilla muy blanda	
Arcilla blanda	5 a 10
Arcilla media	25 a 50
Arcilla firme	60 a 80
Arcilla muy firme	80 a 100
Arcilla dura y compacta	100 a 120
Arcilla arenosa densa	40 a 60
Arcilla arenosa suelta	10 a 30
Limo	10 a 30

Nota. Valores de cohesión de suelos arcillosos según Terzaghi and Peck 1980.

- Suelos granulares, conforman los bloques, boleos, gravas, arenas suelos estables para utilizar en terraplenes y estabilización de suelos. Los depósitos de gravas: tiene propiedades físicas como resistencia alta, cohesión menor a 0.4 kg/cm², ángulo de fricción alta 36° a 40° y capacidad de soporte 2.5 a 8.0 kg/ cm². Son adecuados para la cimentación de Presas, terraplenes por zapatas aisladas.

Los depósitos de arenas son compresibles de baja capacidad de corte, consecuentes a fenómenos de colapso y licuación. Tienen resistencia baja, cohesión nula, fricción 30° a 35°, capacidad de soporte: 1.0 a 2.5 kg/ cm².

Inadecuados para la cimentación.

Ensayos de campo en Suelos Arenosos.

Características físicas.

Calicatas.

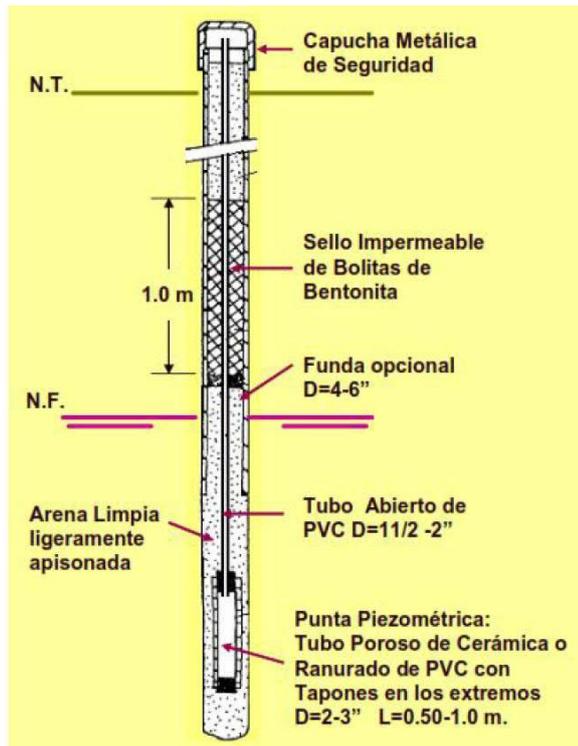
Ensayos de Penetración Estándar SPT.

Perforación por lavado Wash boring y Cono Peck

Braja (2001), Presenta algunos factores de resistencia cortante de suelos de gravas y arcillas:

Figura 5

Piezómetro abierto tipo casagrande



Nota. Piezómetro abierto Casagrande Alva Hurtado, J.E. (2000)

Tabla 5

Factores resistencia cortante de suelos

Tipo de Suelo	Angulo de Fricción		Peso Específico(KN/m ³)
	Suelto(grados)	Denso (grados)	
Limo	27° a 32°	30° a 34°	13.6 a 21.60
Arena limosa	27° a 33°	30° a 35°	13.8 a 17.5
Arena uniforme	28	34°	14.5 a 17.0
Arena bien gradada	30° a 34°	38° a 46°	14.5 a 17.5
Grava arenosa	35° a 42°	40° a 48°	18.5 a 23.0
Limo Arcilloso	25° a 30°	28° a 31°	17.0 a 20.5
Arcilla arenosa	10° a 18°	16° a 20°	17.0 a 20.6
Arcilla	18° a 20°	22° a 32°	13.0 a 19.0

Nota. Valores de resistencia cortante de suelos según Terzaghi and Peck 1980.

Se observa los valores de resistencia cortante propuestos por Terzagui.

Tabla 6

Factores de resistencia cortante de suelos

Tipo de Suelo	Angulo de Fricción Interna (ϕ)
Grava con arena	34° a 48°
Arcillas consolidadas	20° a 30°
Limos	26° a 35°
Tierra vegetal	20° a 26°
Turba	5°

Nota. Valores de resistencia suelos según Braja M. Das 2001.

- Las rocas de acuerdo a la clasificación de Bieniawski 1979 se valora una serie de 5 parámetros: resistencia del material intacto, R.Q.D, distancia entre discontinuidades, condición de las discontinuidades, agua subterránea.

Tabla 7

Clasificación de Bieniawski RMR y las propiedades Geomecánicas

Clase	Calidad	RMR	Cohesión (Kpa)	Ángulos de Fricción (°)
I	Muy buena	81 -100	>400	>45
II	buena	61 -80	300 -400	35 -45
III	regular	41 -60	200 -300	25 -35
IV	mala	21 -40	100 -200	15 -25
V	muy mala	0 -20	<100	<15

Nota. Valores de propiedades Geomecánicas según Bieniawski, Z.T. 1979

Tenemos valores de propiedades geomecánicas de rocas inalteradas, que fueron propuestos por RMR, Bienawski, Hoek and Brown 1989, basados en ángulos de fricción, cohesión y sus pesos específico, que se observan estos datos a continuación en la tabla.

Es necesario tener en cuenta algunos de estos materiales cohesivos para estudios posteriores.

Tabla 8*Propiedades Geomecanica de Rocas Inalteradas*

Materiales Cohesivos	Angulo de Fricción (ϕ)	Cohesión (Kpa)	Peso Específico (KN/m3)
Arcillas	22° a 32°	20 a 100	17.0 a 21.0
Roca Inalteradas			
Igneas: granito, basalto, andesita	35° a 50°	5000 a 55000	25 a 30
Metamorficas: cuarcitas, gneiss, pizarra, marmol	30° a 40°	20000 a 40000	25 a 28
Sedimentarias duras: caliza, dolomita, arenisca	35° a 45°	10000 a 40000	23 a 28
Sedimentarias blandas: arenisca, lutitas, limonitas	25° a 35°	10000 a 20000	17 a 23

Nota. Valores de rocas inalteradas según RMR, Bienawski, Hoek and Brown 1989

Tabla 9*Propiedades Geomecanica de Rocas trituradas*

Tipo de Roca	Angulo de Fricción (ϕ)	Cohesión (Kpa)
Roca Triturada		
Basalto	35° a 50°	0
Granito	45° a 50°	0
Andesita	40° a 50°	0
Caliza	35° a 40°	0
Arenisca	35° a 45°	0

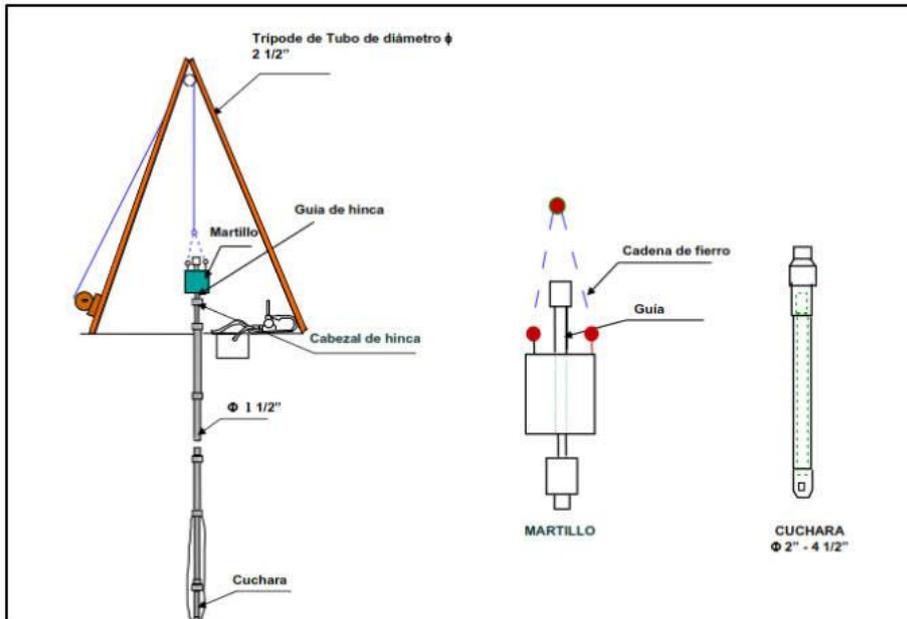
Nota. Valores rocas trituradas según Bienawski, Hoek and Brown 1979

El ensayo de penetración estándar (SPT) (NTP 339.133, ASTM D 1586) juega un papel importante para realizar estudios geotécnicos para los proyectos de construcción en minería y otros, se contabiliza los números de golpes haciendo penetrar

un tubo de 2" hasta un total de 45 cm, se utiliza un martillo de 140 lb (63.5 Kg) este cae desde 30" (0.76 cm de altura). El valor de N, son los últimos 30 cm penetración para los 45 cm del total. Su ejecución de la perforación se hace mediante con barrenos (pasteadora), a rotación por lavado wash Boring.

Figura 6

Equipo de Ensayo de penetración estándar



Nota. Ensayo SPT según Alva Hurtado, J. (2012) “Exploración Geotécnica”

La perforación mediante lavado Wash Boring este método es utilizado en Norteamérica. Se pone una bomba de agua y este impulsa un choro a las varillas y pasa al taladro que salen de sus orificios a presiones altas. Conforme en el fondo se va perforando el agua a presión elimina y retira las partículas del suelo.

Prueba de ensayo con el Cono Peck fue citado por Terzaghi-Peck 1948, utilizado para fundaciones. Para la penetración emplea varios tipos de varillas con o sin cono insertados al suelo por medio de golpes del martillo. Se anota el número de golpes.

El cono Dinámico Peck en el Perú en 1970, se aplica para suelos arenosos y finos y tiene la relación RM Ass (1971):

$$N = 0.5 c$$

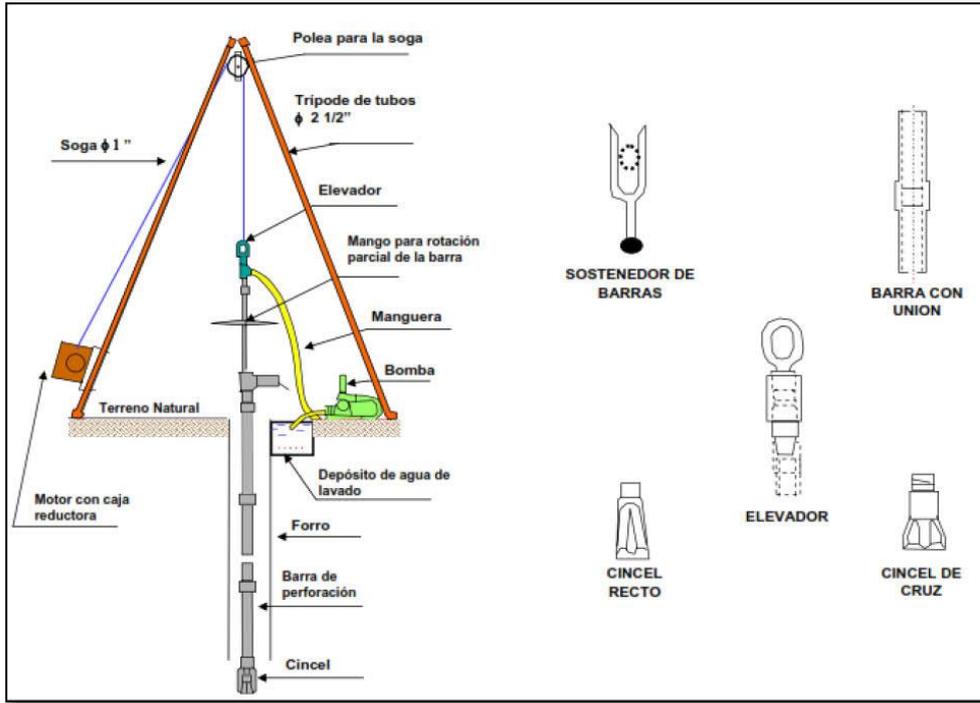
N: número de golpes por 30 cm de penetración en el SPT.

c : número de golpes por 30 cm de penetración con el cono de peck.

Estas pruebas son rápidas y económicas.

Figura 7

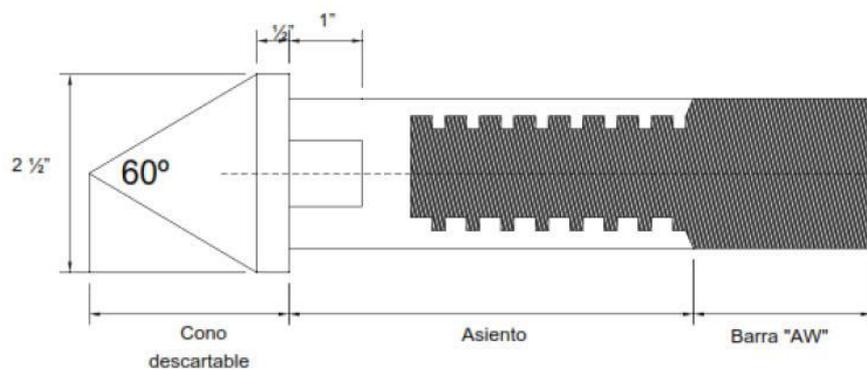
Equipo de perforación Wash Boring



Nota. Equipo wash Boring según Alva Hurtado, J. (2012) “Exploración Geotécnica”

Figura 8

Equipo cono Peck



Nota. Equipo cono Peck según Terzaghi y Peck 1948

Para el modelamiento estructural se debe realizar estudios y análisis como:

- El estudio de los taludes utilizando método del equilibrio límite, con el respectivo análisis sísmico asimismo para su estabilización y diseño. Dentro de los estudios

realizados tenemos los siguientes como el equilibrio límite y Factor de seguridad, análisis sísmico de presas de tierra y enrocado, estabilización y diseño de taludes.

- El análisis de estabilidad estática, que, según Martínez, Barrera y Gómez, (2011) se refiere al equilibrio límite de una fuerza o momento.
- El análisis de estabilidad sísmica, ahora según Mittal y Morgenstern 1977 la compactación de arenas con densidades relativas mayores de 50-60% evitan la licuación para aceleraciones menores de 0.1g, y las compactaciones mayores de 75%, evitan la licuación de aceleraciones más altas. Alva e Infantes (1993) realizó para relaveras de pequeña y mediana altura, análisis pseudoestáticos. Seed y Martín (1966), indica el coeficiente lateral sísmico obedece al sismo del país y es semiempírica. Ruesta (1988) Propone valores de coeficiente sísmico en embalses de tierra y enrocado. Martínez, Barrera y Gómez, en 1920 los análisis pseudoestáticos de un sismo están representados por incrementos planos o perpendiculares. Kramer (1996) establece que la aceleración pseudoestático es menor que la aceleración sísmica.

Marcuson (1981) recomienda uso de coeficientes sísmicos entre $1/3$ y $1/2$ del incremento máximo para el diseño, el Cuerpo de Ingenieros del ejército de Estados Unidos emplear 50% del incremento máximo de diseño.

La guía ambiental del Minem 1998 emplear $1/2$ y $2/3$ del incremento máximo de diseño. Bender y Perkins, (1987) realizó estudio de peligro sísmico implementada en el programa SEISRISK-III. Casaverde y Vargas (1980) utilizó fórmulas de atenuación

- En el análisis de la susceptibilidad de licuación se toman enunciados:

Davies (2004), menciona la resistencia del suelo disminuye con los esfuerzos cíclicos.

Ishihara (1985), las arenas y suelos con más 40% de finos y limos son licuefactables.

Oldecop (2014), menciona que los sismos son la segunda causa principal de fallas de presas en el mundo. Seed (1987) Y Poulos (1988), sugiere utilizar la resistencia residual no drenada, para el análisis estático.

Para el modelamiento estructural para una presa de relaves se clasifica en dos grupos:

1. Métodos de cálculo en deformaciones se evita adoptar cierta geometría de superficie de falla. Se determina los esfuerzo - deformaciones del terreno, para su solución se

aplica los cálculos numéricos de elementos o diferencias finitas.

Proporciona soluciones en términos de tensiones y deformaciones, realiza discretizaciones triangulares. Un elemento posee un módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson.

2. Método de equilibrio Límite sirven para el estudio de estabilidad de taludes son breves, útil y simples, a través de sistemas de dovelas (Witlow & Tompson, 1994)

En el método de las dovelas la superficie de masa de un talud se divide en porciones o número de dovelas.

El equilibrio Límite y Factor de seguridad según Abramson y Sharma (1996) para una falla la relación de fuerzas actuantes y resistentes son iguales en una superficie de falla a un factor de seguridad 1.0, en un material de un talud.

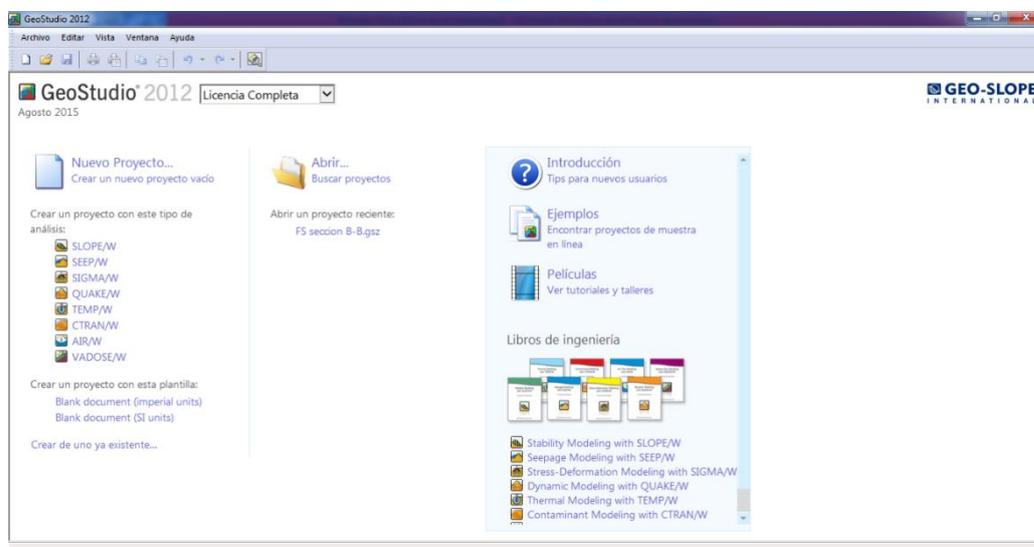
En el modelamiento de estabilidad de Presa de Relaves el Software Geoestudio 2012 realiza análisis con el MEF, siendo un programa utilizado para: determinar el factor de seguridad ingresando datos al con CAD.

Usa la teoría del equilibrio límite. Algunos métodos son: Morgenstern-Price, Spencer, Bishop, Janbú, y otros. El estudio de estabilidad de taludes realizado mediante las herramientas computacionales de Geoestudio ha permitido obtener el factor de seguridad FS.

A continuación, se muestra el entorno del Software Geoestudio:

Figura 9

Modelamiento de una presa de relaves con geoestudio



Nota

Prog

rama Geoestudio para modelamiento de presas y embalses.

El paquete de programas Geoestudio 2012 posee varias herramientas de distintos usos como:

Slope/W: para cálculo de estabilidad de taludes.

Seep/W: para cálculo de redes de flujo (filtraciones).

Sigma/W: orientado al cálculo tenso deformacional.

Quake/W: para cálculo de los efectos de sismos en suelos y estructuras de suelos (presas, terraplenes, etc).

Temp/W aplicación de la ecuación del calor sobre estructuras de suelos.

Ctran/W aplicado a fenómenos de contaminación de suelos.

En la investigación se utilizará Slope/W.

El Ciclo Mejora Continua (PDCA) llamado también círculo de Deming, el Dr. Williams Edwards Deming uso este resumen lógico para la mejorar la calidad. Las siglas PDCA son Plan, Do, Check, Act, que significan Planificar, Hacer, Verificar, y Actuar.

Figura 10

Ciclo de mejora continua

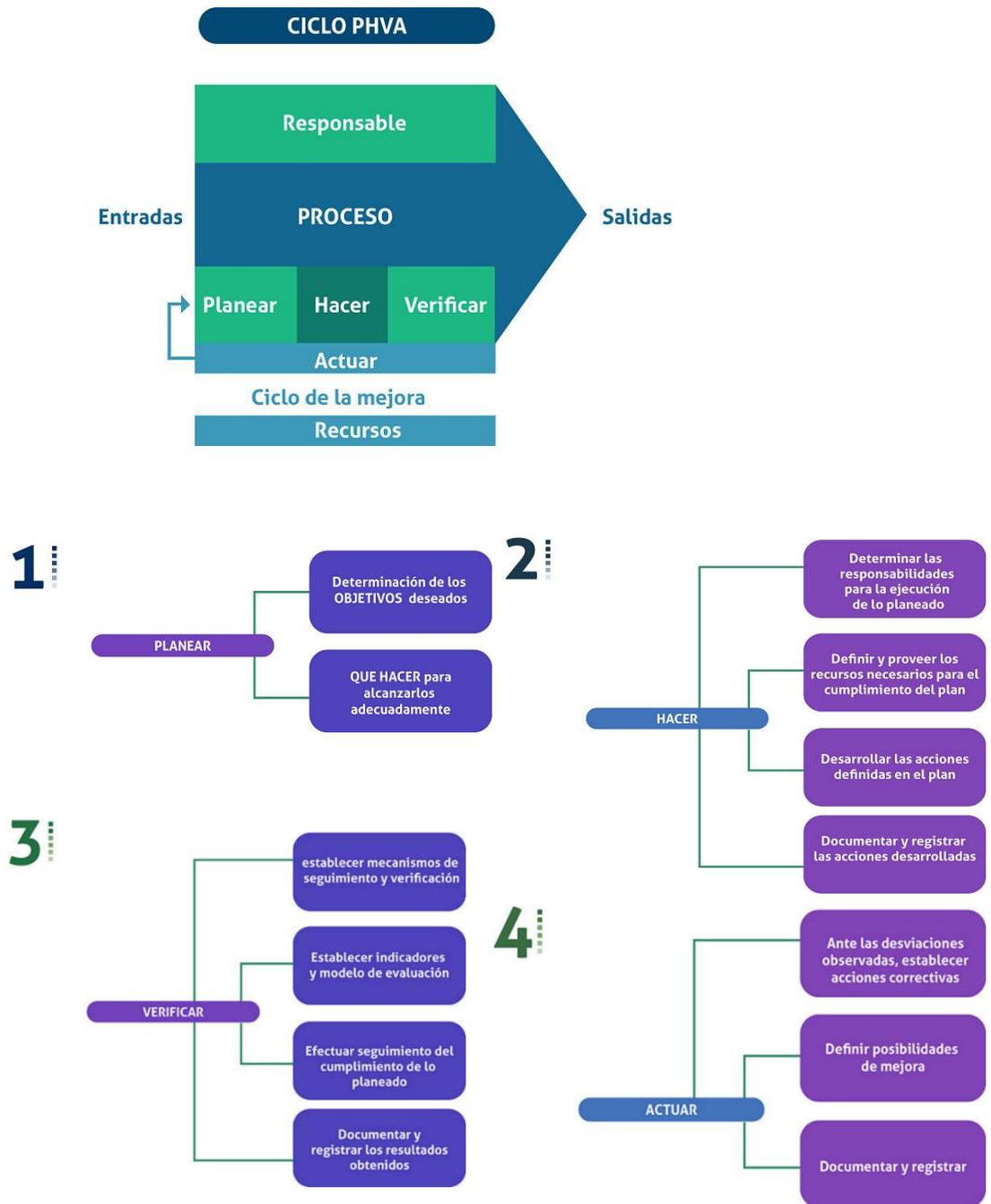


Nota. Ciclo de mejora continua

Para el trabajo de investigación se recurre como referencial conceptual a: Relaves mineros que son los desechos tóxicos provenientes del proceso minero metalúrgico, los cuales son depositados en presas de relaves para evitar su contaminación y estos pueden causar impactos negativos (García & Torres, 2016).

Figura 11

Ciclo de mejora continua en la propuesta de mejora de estudio de investigación



Nota. Fases del ciclo de mejora continua

Desmonte de mina, son los residuos provenientes de la perforación y voladura de las actividades mineras, son colocados especialmente en los botaderos para reutilizados con rellenos y reforzamientos de taludes. Están constituidos por roca y

minerales de baja ley económica, requiere ser desechado para asegurar condiciones aceptables de seguridad y medioambiente (Villanueva & Orlando, 2018).

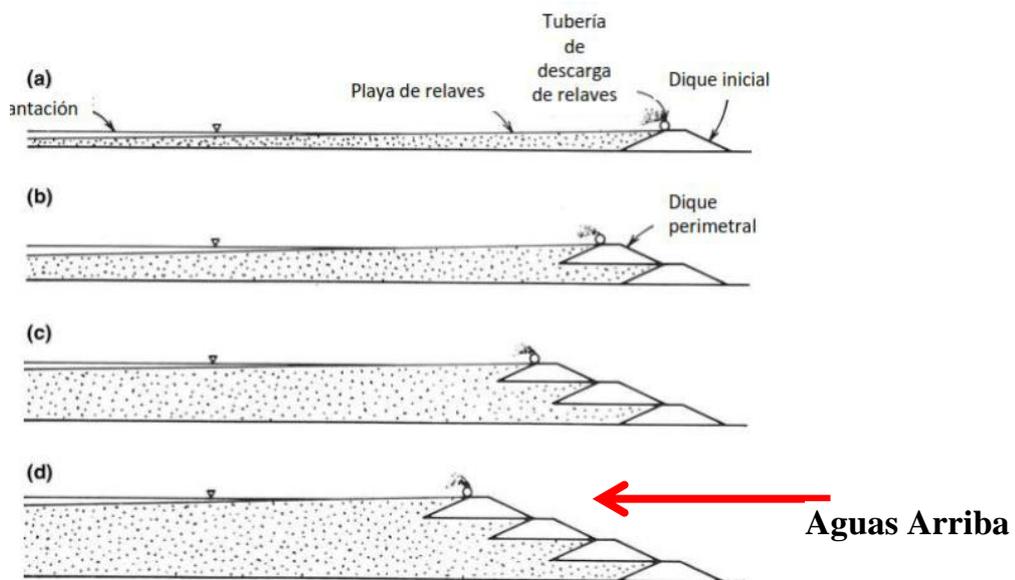
El dique de Contención de Relaves llamado también Dique de relaves es una barrera construido para evitar el paso del relave minero. Puede ser construido con materiales de canteras naturales, desmonte de mina, enrocado o material cicloneado de la arena de relaves (ICOLD, 2001). Los efluentes líquidos son las soluciones líquidas tóxicas disueltas que contienen el relave minero.

Los Sistemas de Construcción de Relaveras son 3 tipos: aguas arriba, aguas abajo y eje central. Vick (1990).

1. Método aguas arriba, se comienza con construir el muro inicial en la zona aguas abajo y debe ser suficiente poroso al paso de aguas de filtración y resistente a los poros de agua y aire retenidos. Luego se descargan los relaves usando ciclones en la corona para construir un muro con la fracción gruesa del relave. La corona de la presa se traslada hacia el área de la laguna conforme aumenta la altura de la presa. La superficie exterior es menos estable a medida que aumenta la altura. Este sistema es el más económico, pero menos favorable en términos de equilibrio sísmico.

Figura 12

Método aguas arriba

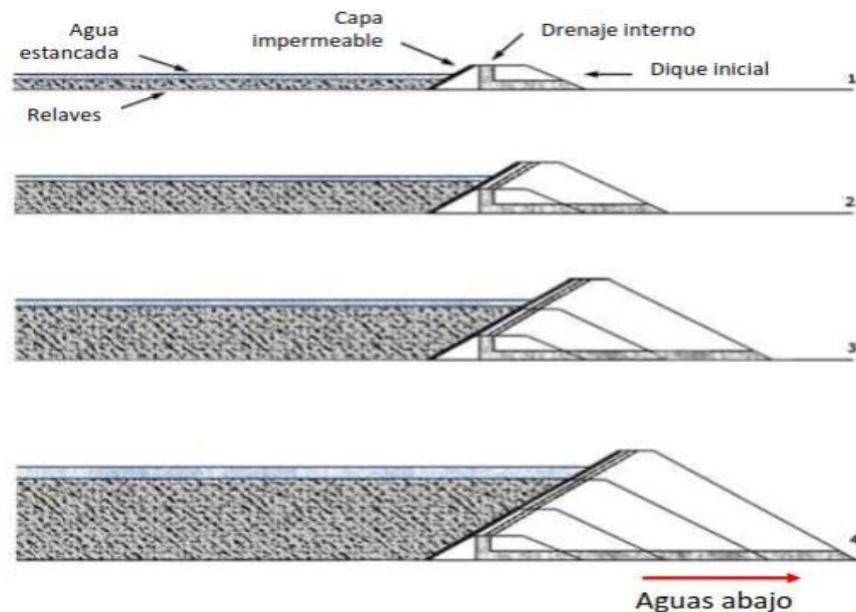


Nota. Sistema constructivo método aguas arriba ICOLD 2011 and Vick 1900

2. Método aguas abajo, la corona de la presa se traslada aguas abajo al aumentar la altura de la presa. Para cada fase de la construcción del dique se refuerza en la parte alta del talud aguas abajo.

Figura 13

Método aguas abajo



Nota. Sistema constructivo método aguas abajo ICOLD 2011 and Vick 1900

Para minimizar la filtración, la cara aguas arriba de ser sellada, con suelo impermeable o depositando parte fina de los relaves sobre la cara del talud aguas arriba. Requiere mayor material para su construcción, el sistema de aguas abajo es más caro y presenta mejor equilibrio sísmico.

3. Método Eje o Línea Central, la cresta de la presa persiste una dirección perpendicular durante las fases del levantamiento de la presa.

Esta metodología de edificación es considerada un punto medio entre los 2 métodos aguas arriba y abajo.

Las fallas de Presas de Relave son los mecanismos de falla debidos a la perdida de resistencia o estabilidad del suelo con respecto a un esfuerzo cortante que actúa en sentido contrario, originando la inestabilidad, pueden ser por deslizamiento del talud, desbordamiento, terremotos, erosiones internas y licuación.

La ecuación define el principio de tensiones efectivas:

$$t = (s - u) * \operatorname{tg}\phi + C$$

Donde:

t: resistencia al corte

s: tensión total

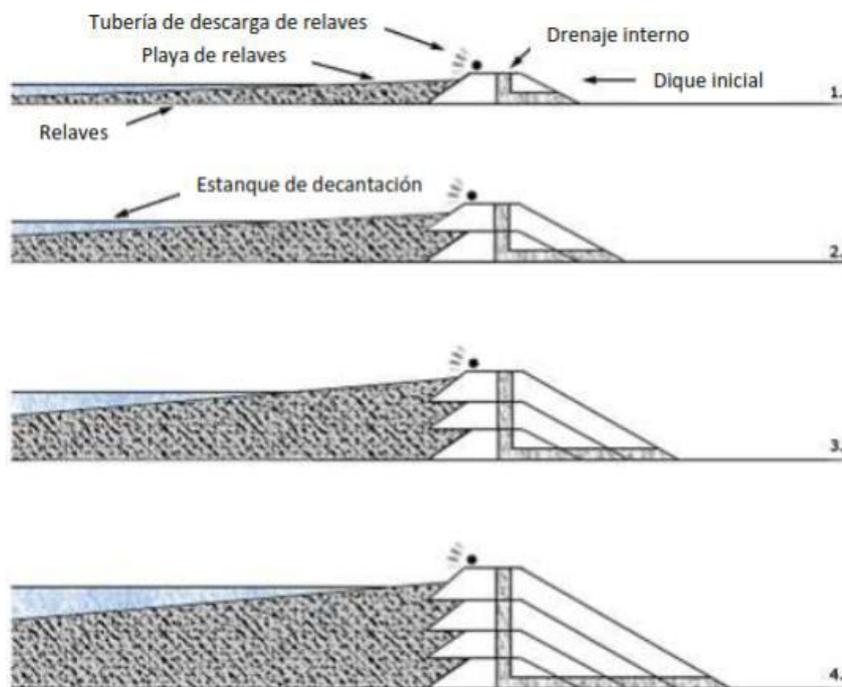
u: presión de poros

ϕ : ángulo de fricción interna

c: cohesión.

Figura 14

Método eje central



Nota. Sistema constructivo método eje central ICOLD 2011 and Vick 1900

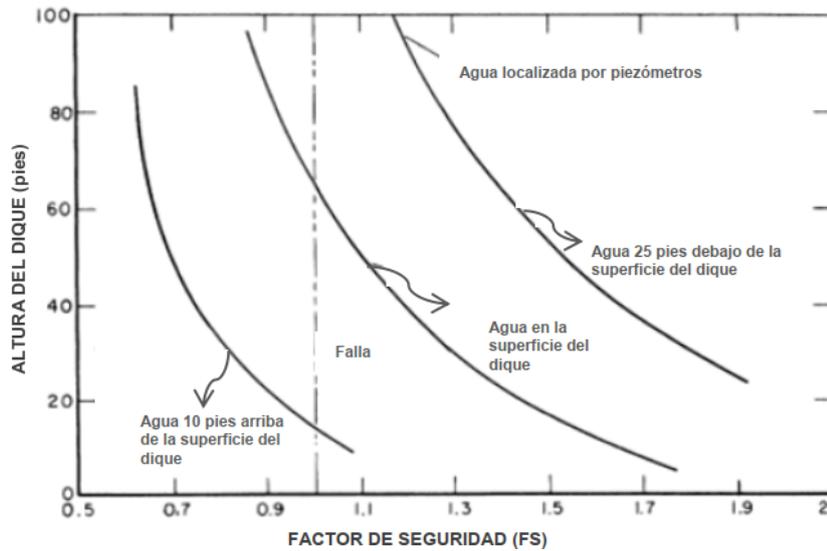
El deslizamiento del talud o inestabilidad de la pendiente, se da cuando los esfuerzos de corte de un suelo exceden a la resistencia de corte, existen 2 situaciones por lo cual se desencadenan:

- La superficie freática se eleva y aproxima al talud.
- Aumento de presiones de poros durante el recrecimiento y no permite las disipaciones.

El deslizamiento ocurre en el pie, cuerpo y base del talud.

Figura 15

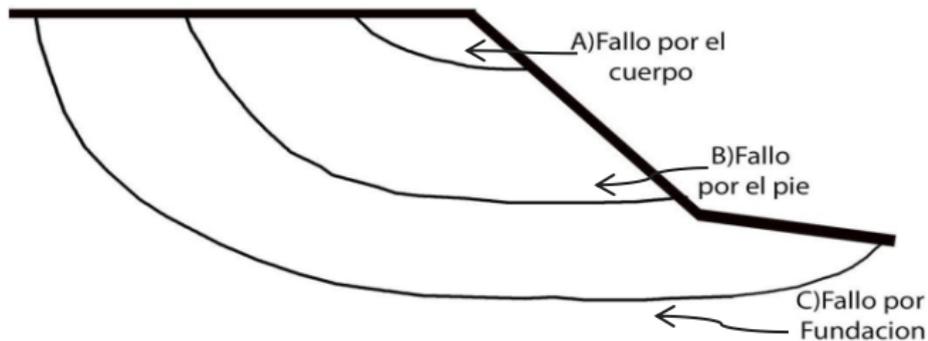
Variación del factor de seguridad de estabilidad geotécnica en la presa



Nota. variación FS en función altura según Kealy and Busch 1971

Figura 16

Fallo de talud de relaves



Nota. Fallo de talud en relaves Kealy and Busch 1971

Al aumentar la densidad mejora la resistencia al corte y se logra esto con compactación, evaporación y consolidación de relaves.

La falla por desbordamiento o sobrepaso, para evitar el sobrepaso construir canales de desvío o coronación que ingrese al depósito, verificar la obstrucción de tuberías.

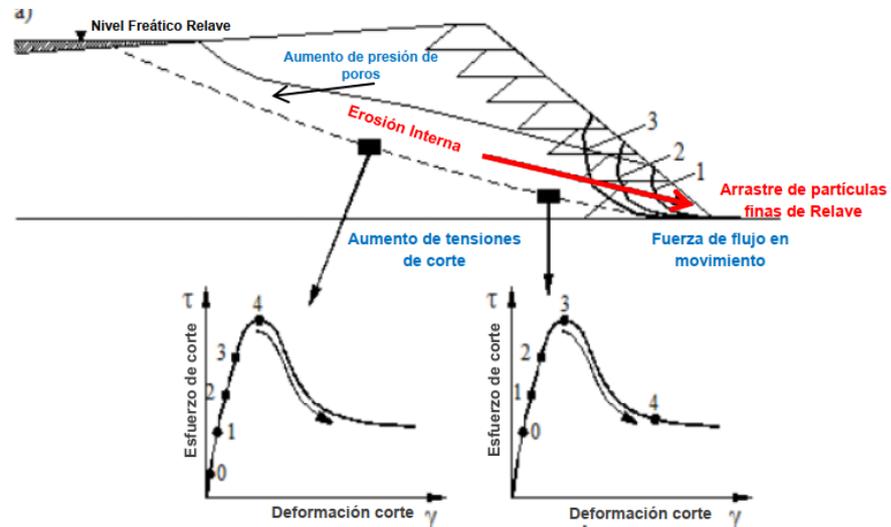
Los fallos por terremotos, se da debido a cargas cíclicas por un terremoto o voladuras.

Se muestra a continuación la figura:

cimientos y contacto de terraplenes. La erosión interna se da por tipo de material y su susceptibilidad, la carga hidráulica crítica y la presencia de tensiones crítica. (J. Lara & Barrera, 2017).

Figura 19

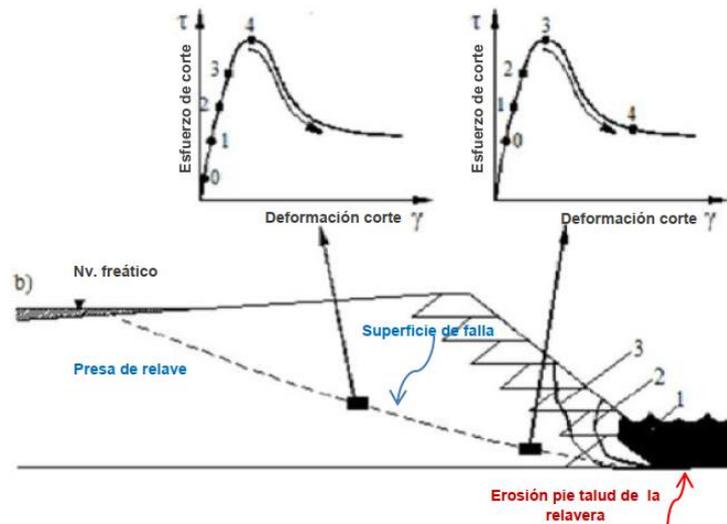
Falla por erosión interna o tubificación



Nota. Fallo por erosión interna Rodríguez and García-Cortés,2006.

Figura 20

Fallo por erosión hídrica del pie del talud.



Nota. Fallo por erosión hídrica al pie talud Rodríguez and García 2006.

Se tiene un historial de falla de Presas de Relaves, en el cual se muestran casos

históricos de Fallos de relaveras en las siguientes tablas:

Tabla 10

Casos históricos de embalse de relave falladas con el método aguas arriba

Depósito de Relaves	Altura(m)	Tipo de Relleno de material de Presa	Tipo de Falla	Causa	Año Colapso
Barahona(Chile)	61	Arena cicloneado de relave	Licuación	Sismo Ms=8.3	1928
Moshikoski(Japón)	28	Terraplen	Licuación	Sismo Ms=7.0	1978
Stava(Italia)	29	Arena cicloneado de relave	Estabilidad de taludes	Falla Ductos muro	1985
Veta de Agua (Chile)	24	Terraplen	Licuación	Sismo Ms=7.8	1985
Bafokend(Sudafrica)	20	Terraplen	Tubificación	Filtración	1974
Berrien, Francia	9	Enrocado	Licuación	Erosión Interna	1984
Bellavista(Chile)	20	Terraplen	Licuación	Sismo Ms=7.6	1965
Captains Flat Dam6A (Australia)	13	Terraplen	Estabilidad de taludes	Estructural-Deslizamiento	1939
Cerro Negro (Chile)	46	Terraplen	Licuación	Sismo Ms=7.6	1965
Dashihe(China)	37	Arena cicloneado de relave	Licuación	Sismo Ms=7.9	1976
Deneen Mica(USA)	18	Arena cicloneado de relave	Estabilidad de taludes	Elevación Superficie freática	1974
Chingola (Zambia)	5	Terraplen y Enrocado	Desbordamiento	Sobrepaso	1993
Madjarevo(Bulgaria)	40	Terraplen	Estabilidad de taludes	Inestabilidad pie talud	1975
Fernandhino(Brasil)	40	Terraplen	Estabilidad de taludes	Deslizamiento del talud	1968
Balka(Rusia)	25	Desmorte mina	Estabilidad de taludes	Estructural	1981
Mirolukova(Ucrania)	32	Terraplen y enrocado	Estabilidad de taludes	Inestabilidad en la fundación	1984
Merriespruit(Sudáfrica)	31	Terraplen	Licuación	Inundación(presion de agua)	1994
Ray Mine(USA)	52	Terraplen	Estabilidad de taludes	Estructural-Deslizamiento	1972
Mina Mount Polley (Canadá)	42	Terraplen	Licuación	Erosión interna	2014
Mina Samargo(Brasil)	19	Arena cicloneado de relave	Licuación	Erosión interna	2015
Glashütte(Alemania)	25	Terraplen	Licuación	Inundación(presión de agua)	2002
Los Frailes (España)	27	Terraplen	Licuación estática	Carga y agua excesiva	1998
Mishor Rotem(Israel)	18	Terraplen	Licuación	Erosión interna	2017
Ohya (Japón)	25	Terraplen	Licuación	Sismo Ms=7.6	2011
Mina Vale Brumadhino (Brasil)	42	Arena de relave y limos	Licuación	Erosión interna	2019

Nota. Historial de presas fallados aguas arriba según WISE(Agosto2021), Tailings Dam Security (2022), INGEMMET(1982), Oldecop (2019), Mayte Rico (2020), Davies 2019 and Shahid Azam (2021)

Las fallas de relaveras en la historia de América del Norte y del sur: La Mina Mount Polley en Canadá fallo en agosto de 2014, derramó de 25 millones m³ y la Mina Vale en Brasil falló en noviembre de 2015, derramó 32 millones m³; ocasionó contaminación y pérdidas humanas.

Tabla 11

Casos históricos de presas de relaves falladas con el método aguas abajo

Depósito de Relaves	Altura(m)	Tipo de Relleno de material de Presa	Tipo de Falla	Causa	Año Colapso
Battle Gold(USA)	8	Terraplen	Estabilidad de taludes	Fallo pie talud	1984
Derbyshire (Reino Unido)	8	Terraplen	Estabilidad de taludes	Fallo en la fundación	1966
El Cobre (Chile)	19	Relave de arena	Licuacion	Sismo Ms=7.6	1965
Granisle (Canada)	24	Desmonte mina	Tubificación	Filtración	1948
Hirayama (Japón)	9	Enrocado	Licuacion	Sismo Ms=8.3	1968
El Cobre N°4 (Chile)	50	Terraplen	Licuacion	Sismo Ms=7.8	1985
La Belle (USA)	79	Desmonte mina	Estabilidad de taludes	Fallo en la fundación	1985
Monsanto Dike (USA)	43	enrocado	Licuacion	Filtracion	1969
Norosawa (Japón)	24	Terraplén	Licuacion	Sismo Ms=8.1	1978
Portworthy (Reino Unido)	15	enrocado	Estabilidad de taludes	Estructural-Deslizamiento	1970
Silver King (USA)	9	enrocado	Desbordamiento	Sobrepaso	1974
Baia mare (Rumania)	18	Relave de arena	Desbordamiento	Aumento del nivel de agua	2000
Taoshi(China)	23	Terraplen	Licuacion	Sismo Ms=8.5	2009

Nota. Historial de presas fallados aguas abajo según WISE(Agosto2021), Tailings Dam Security (2022), INGEMMET(1982), Oldecop (2019), Mayte Rico (2020), Davies 2019 and Shahid Azam (2021)

Tabla 12*Casos históricos de presas de relaves falladas con el método eje central*

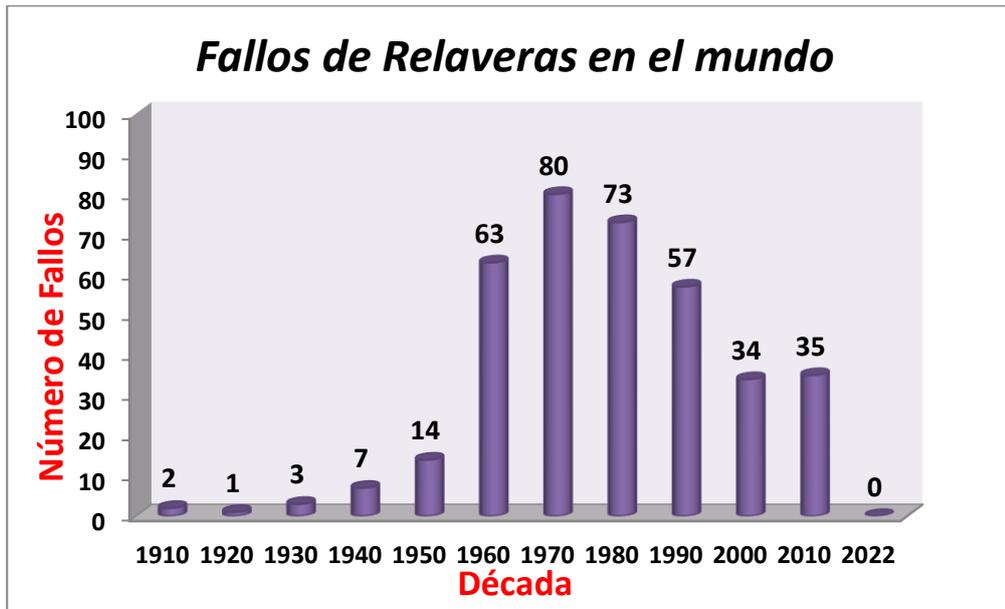
Depósito de Relaves	Altura(m)	Tipo de Relleno de material de Presa	Tipo de Falla	Causa	Año Colapso
Riltec(Tasmania)	7	Terraplen	Licuacion	Filtracion	1995
Captains Flat Dam2(Australia)	22	enrocado	Estabilidad de taludes	Inestabilidad pie talud	1966
Dresser 4 (USA)	15	enrocado	Estabilidad de taludes	Estructural - Fundación	1975
Synchrude(Canada)	13	Terraplen	Estabilidad de taludes	Estructural - Fundación	1978
Mineral King (Canada)	6	Relave cicloneado de arena	Desbordamiento	Sobrepaso	1948
Big Four(USA)	18	enrocado	Estabilidad de taludes	Estructural - Fundación	1986
Tailings Omai (Guyana)	44	enrocado	Licuacion	Erosion Interna	1995
Nyurkka (Rusia)	12	Terraplen	Estabilidad de taludes	Estructural - Fundación	1965
Kojkovac(Montenegro)	19	Relave cicloneado de arena	Licuacion	Erosión Interna	1992
Rossarden(Tasmania)	7,5	Terraplen	Sobrepaso	Desborde	1986
Tailings Pond(Filipinas)	13	Desmonte mina	Estabilidad de taludes	Estructural - Fundación	1982
Park(Reino Unido)	8	Terraplen	Desbordamiento	Sobrepaso	1970
Placer Bay (Filipinas)	17	Terraplen	Estabilidad de taludes	Inestabilidad cuerpo talud	1995

Nota. Historial de presas fallados eje central según WISE(Agosto2021), Tailings Dam Security (2022), INGEMMET(1982), Oldecop (2019), Mayte Rico (2020), Davies 2019 and Shahid Azam (2021)

Las estadísticas de fallos corresponden: inestabilidad de pendiente 27% sobrepaso 20%, sismo o terremotos 18%, estructura y fundación 13% erosión interna 5% y otros menores. A continuación, se muestra el número de fallos de presas ocurridos según los últimos años, los fallos ocurridos de acuerdo a su altura y su método constructivo en las siguientes figuras:

Figura 21

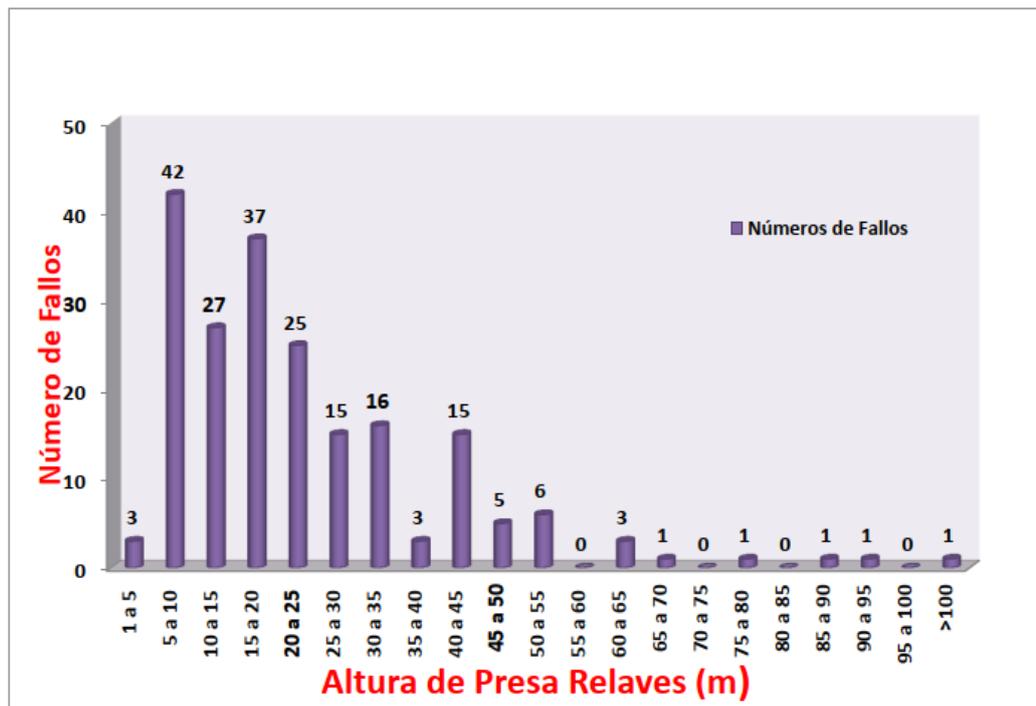
Falla de presas de relaves en el mundo período 1910-2022



Nota. Fallo de relaveras en el mundo por cada década, según historial fallos.

Figura 22

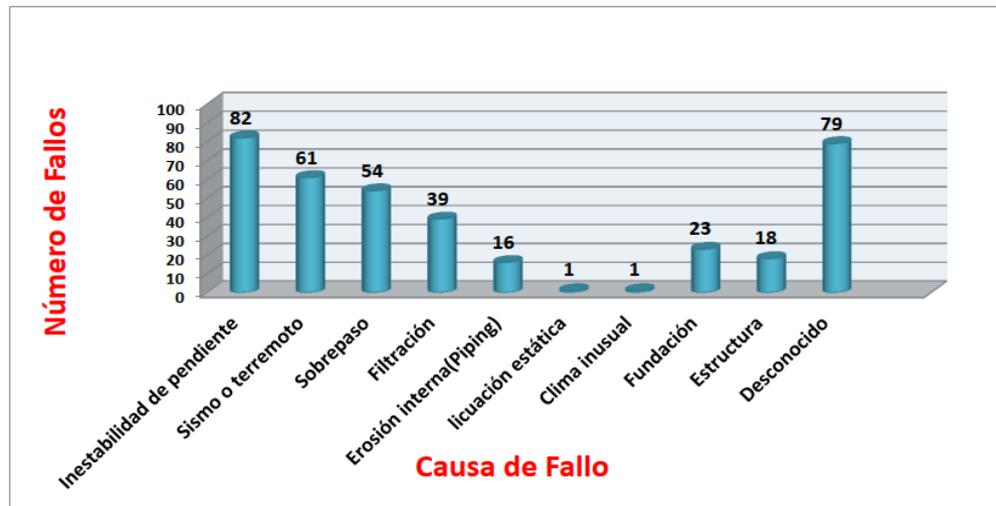
Fallo de acuerdo a la altura de relaveras en el mundo período 1910-2022



Nota. Fallo de relaveras en el mundo por altura de presas, según historial fallos.

Figura 23

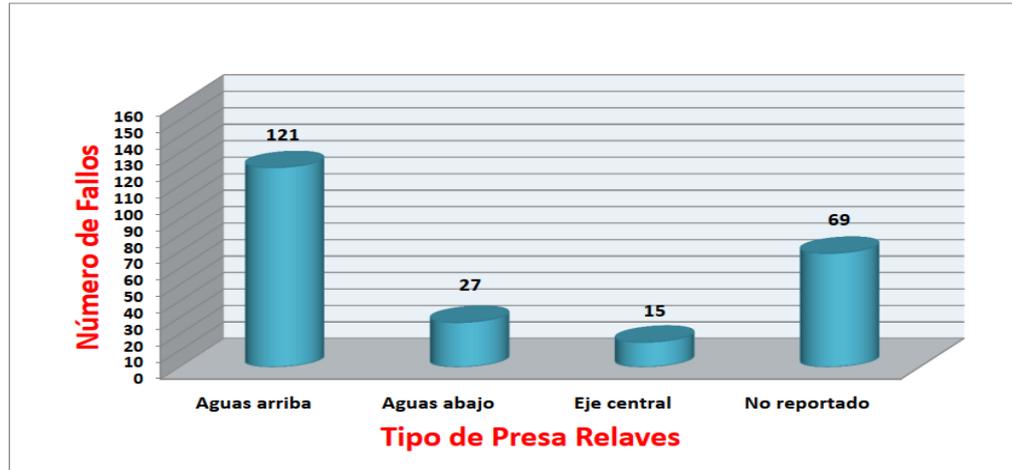
Causas de fallo de relaveras en el mundo período 1910-2022



Nota. Fallo de relaveras en el mundo por causas, según historial fallos

Figura 24

Fallo de relaveras de los métodos constructivo período 1910-2022



Nota. Fallo de relaveras en el mundo por tipos de presas por historial fallos

En la minería peruana se tiene el historial de algunas Falla de Presas de Relaves proporcionado por el INGEMMET 2020 que ocurrieron a lo largo de los años en las distintas regiones, se recurre también a WISE (2021), ICOLD (2021). En la tabla se presenta las relaveras fallados en el Perú:

Tabla 13*Relaveras fallados en el Perú (1950-2022)*

PRESAS DE RELAVES FALLADOS EN EL PERÚ						
Depósito de Relaves	Altura (m)	Año Colapso	Causa	Consecuencia	Sistema Constructivo	Estado del deposito
Casapalca (CENTROMIN)-Lima	60	1952	Sismo	Numerosos muertos y contaminación del Río Rimac	aguas arriba	Abandonado
Millpo-Cerro de Pasco	60	1956	Sismo	Muchos muertos, interrupción de la carretera Cerro de Pasco-Huánuco	aguas abajo	Abandonado
Almivirca (QUIRUVILCA)	40	1962	Sismo de magnitud 6.7	Daño en la Agricultura y obras de infraestructura	aguas arriba	Abandonado
Yauli-Yacu (CENTROMIN)	80	1968	Sismo	Interrupción de la carretera central y contaminación del Río rimac	aguas arriba	Abandonado
Recuperada (BUENAVENTURA)	22	1969	Se desconoce	Daños en la agricultura del río Huachocolpa	aguas abajo	Se desconoce
Almivirca (QUIRUVILCA)	40	1970	Sismo de 1970	Contaminación del río San Felipe	aguas arriba	Abandonado
Atacocha- Cerro de Pasco	14	1971	Falla en drenaje	Contaminación del Río Huallapa y daños a infraestructura vial	aguas arriba	Abandonado
Ticapampa (ALIANZA)	20	1971	Sismo	Tres muertos, destrucción de viviendas e interrupción de la carretera Huaraz - Lima	Eje Central	Abandonado
San Nicolás-Cajamarca	---	1980	Se desconoce	Contaminación del río Tingo y daños en la agricultura	Se desconoce	Se desconoce
MARSA-Trujillo	25	1996	Overtopping-Sobrepado	6 personas muertas	aguas arriba	Se desconoce
AMATISTA-Nazca	45	1996	Licucion -sismo	contaminacion de rio, fuga de 300, 000 m3 relave	aguas arriba	Se desconoce
Caraveli	18	1996	Sismo de Nazca	Relaves con Cianuro y mercurio contaminan	aguas arriba	Abandonado
Cuajone	---	2001	Sismo Magnitud 8.3	Falla en presa relaves licuación y colapso	---	Operación
Shila- (BUENAVENTURA)	15	2015	Licución-Filtración en la fundación	Contaminación río Santa y daños en la agricultura	Eje Central	Abandonado

HUANCAPETI- Ancash	35	2018	Licueción - Sobrepaso por lluvias intensas	Contaminación río Santa y daños en la agricultura	aguas arriba	Se desconoce
-----------------------	----	------	---	---	--------------	-----------------

Nota. Historial de presas fallados en el Perú según WISE(Agosto2021), Tailings Dam Security (2022), INGEMMET(1982),Oldecop (2019)

Según los registros históricos se debe tomar en cuenta, efecto de la onda sísmica o el desarrollo del fenómeno de licuefacción. Además, existen fallas por sobrepaso y filtraciones en cantidades menores.

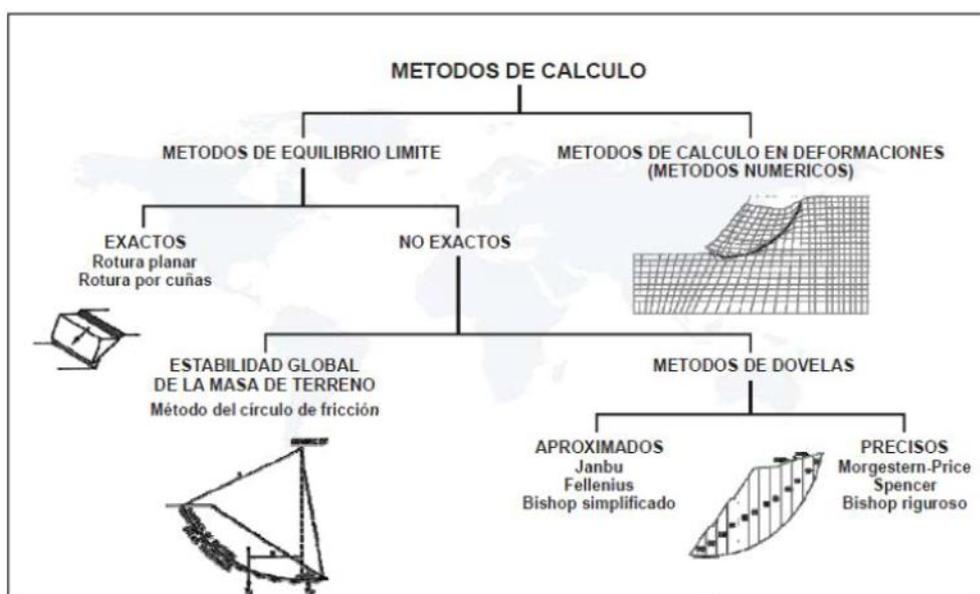
Los principios de estabilidad de taludes en las relaveras están basados en la resistencia al corte de un suelo y suponer superficies de fallas para determinar un factor de seguridad. Según Abramson y Sharma (1996) proponen la definición de la estabilidad de un talud en términos de factor de seguridad a través de cálculos matemáticos.

Existen 2 grupos:

1. Métodos de cálculo en deformaciones, permite realizar el computo de los esfuerzo - deformaciones del terreno. Determinar las tensiones y deformaciones.
2. Método de equilibrio Límite, son los más utilizados en la ingeniería requiere información de densidad, cohesión y ángulo de fricción.
 - a) Método de las dovelas, una masa de suelo es dividida en porciones verticales.

Figura 25

Métodos de cálculo de estabilidad de taludes

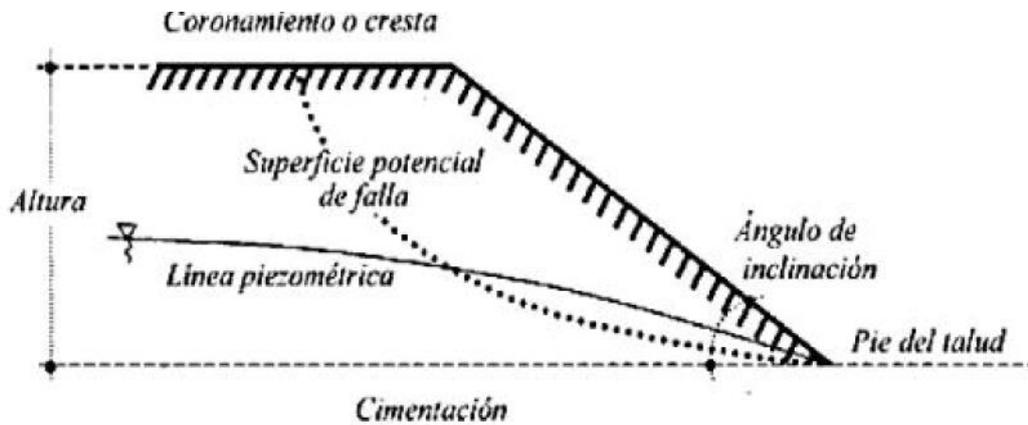


Nota. Métodos de cálculos de estabilidad Alva Hurtado,J (2006)

Talud se denomina a una superficie inclinada que limita un macizo de suelo, de rocas, de relaves o desmonte de mina. Estos pueden ser naturales, como las laderas o artificiales, como los taludes de relaves y terraplenes.

Figura 26

Partes un talud de relaves.

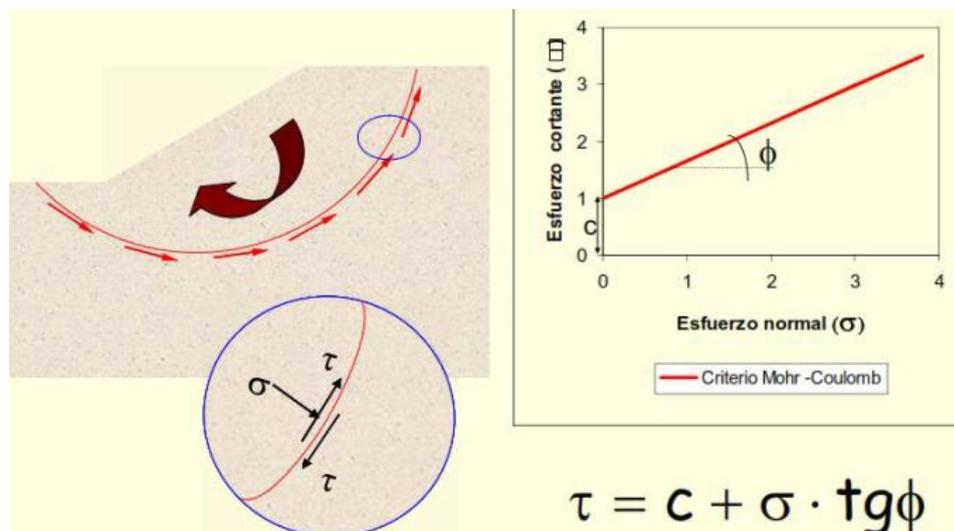


Nota. Partes de un talud de relaves, figura de Alva Hurtado (2006)

Terzagui-Peck (1969). el agua actúa interna como externo, se generan presión de poros y erosión. Siendo los materiales finos más sensibles.

Figura 27

Esfuerzo cortante en taludes

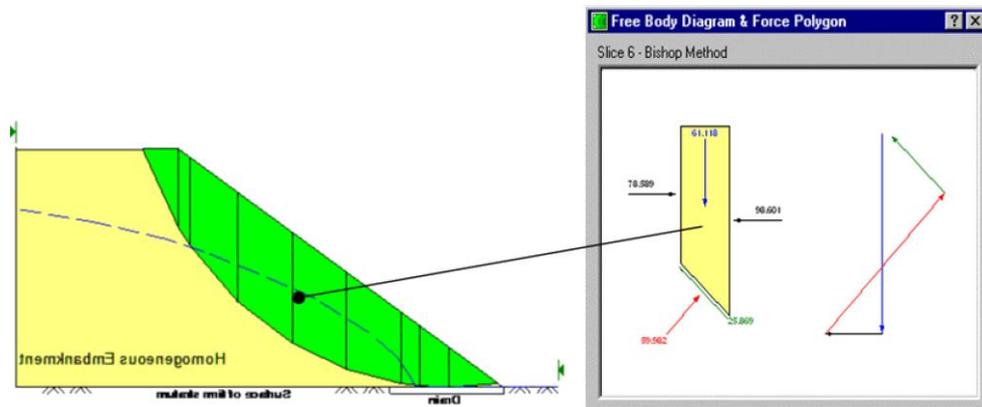


Nota. Esfuerzo cortante en un talud, según Angelone Dzick, S. (2010)

El Factor de Seguridad (FS) es la correspondencia de la resistencia al corte de un suelo y el esfuerzo cortante. Se dividen la masa en porciones o dovelas y se realizan las condiciones de equilibrio de fuerzas o momentos.

Figura 28

Análisis por método dovelas

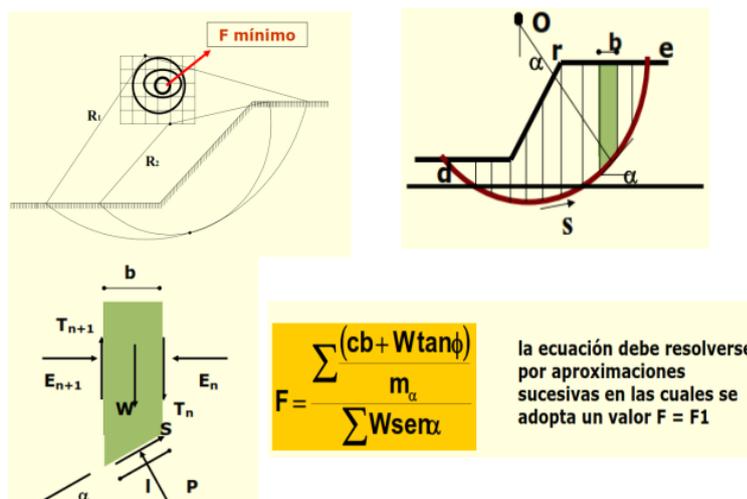


Nota. Análisis de dovelas, según Angelone Dick ,S. (2010)

El método de las dovelas o fajas, es realizar una segmentación al talud en porciones para luego estimar el factor de seguridad (Terzagui & Peck, 1969).

Figura 29

Método de dovelas



Nota. Método de dovelas, según Angelone Dick ,S. (2010)

El Análisis sísmico de presas de tierra y enrocado, según Parra y Seed (1996) menciona que una presa bien construida soporta sismos con 0.2g de aceleraciones máximas, las presas con cimentación rocosa soportan sismos con aceleraciones

máximas.35g a 0.8g. los sismos inducen fuerzas cíclicas que producen falla en los taludes o generación de altas presiones de poros.

1. Método Pseudo-Estático. Se emplea un coeficiente lateral sísmico que obedece a la sismicidad del Perú y es semiempírica para calcular el factor de seguridad. En 1988 Ruesta propuso valores de coeficiente lateral sísmico para embalse de tierra y enrocado en el Perú.

2. Estudio de peligro sísmico. Es la probabilidad ocurra un sismo en un lugar determinado con una magnitud. Inicia a partir del estudio de Cornell (1968), y fue realizado por el software SEISRISK-III. (Bender y Perkins, 1987). Este factor se traduce como el aceleramiento máximo en un suelo resistente con una probabilidad de 10% de ser superado en 50 años.

Figura 30

Distribución de zonas sísmicas en el Perú.



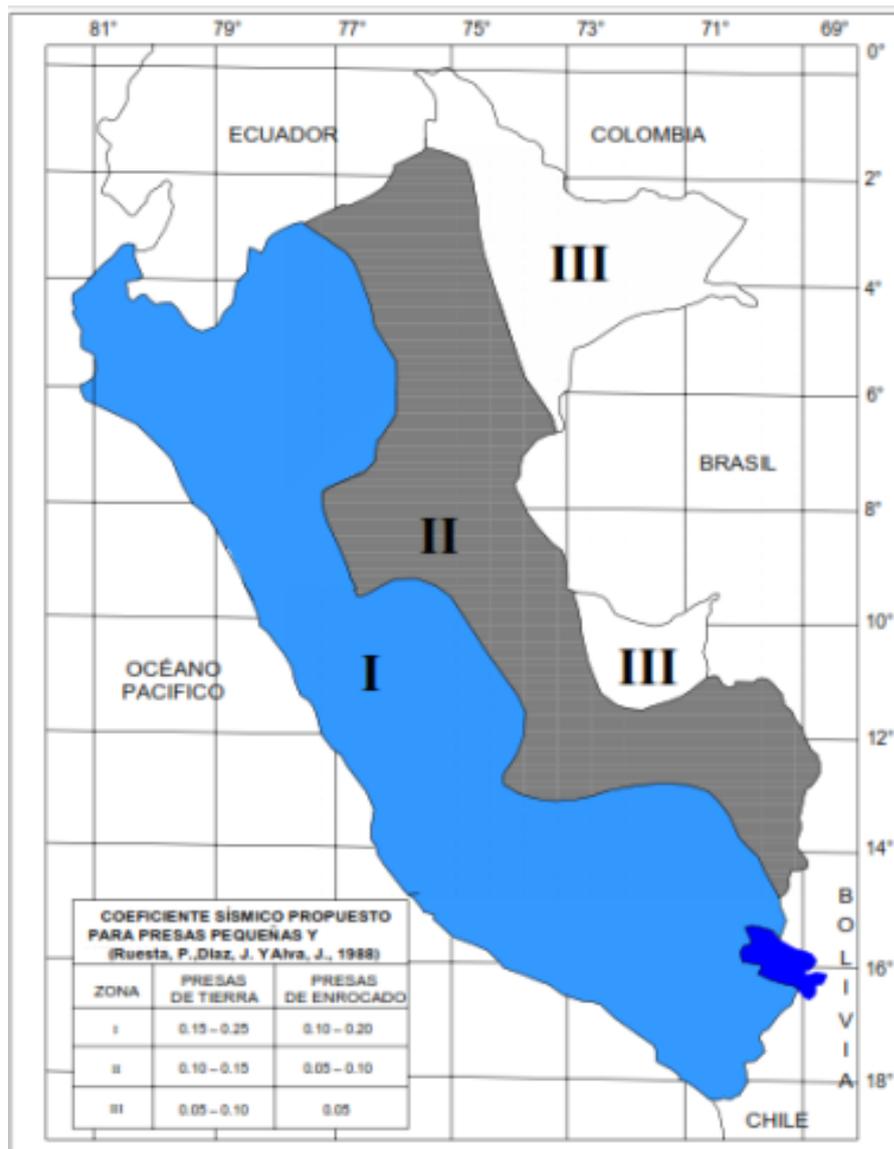
Nota. Mapa de distribución sísmica del Perú, según NTP E.030

3. Coeficiente sísmico, los métodos utilizados para analizar embalse de tierra y enrocado son los pseudoestáticos que son fuerzas horizontales por un peso del material deslizando $F=Ac*W$

Ruesta realizo un mapa de coeficientes sísmicos (A_c) para embalses pequeños y medianos divididos en 3 zonas. Para nuestra investigación el proyecto está en la zona I y los valores varía entre 0.15 a 0.25.

Figura 31

Distribución de los valores de coeficiente sísmico.



Nota. Distribución de coeficiente sísmico en el Perú, según Alva y Ruesta (1988).

II. METODOLOGÍA

2.1 Objeto de estudio

El tipo de investigación es aplicada, se aplicará conocimientos científicos para la solución de problemas respecto a... (Maletta, 2009, p.110).

Tendrá un enfoque cualitativo, según Hernández et al. (2014, p.7), utiliza la recolección y análisis de datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación.

Los métodos de investigación, serán de tipo inductivo, a través de observaciones se aborda a conclusiones generales (Hernández et al., 2014, p.7).

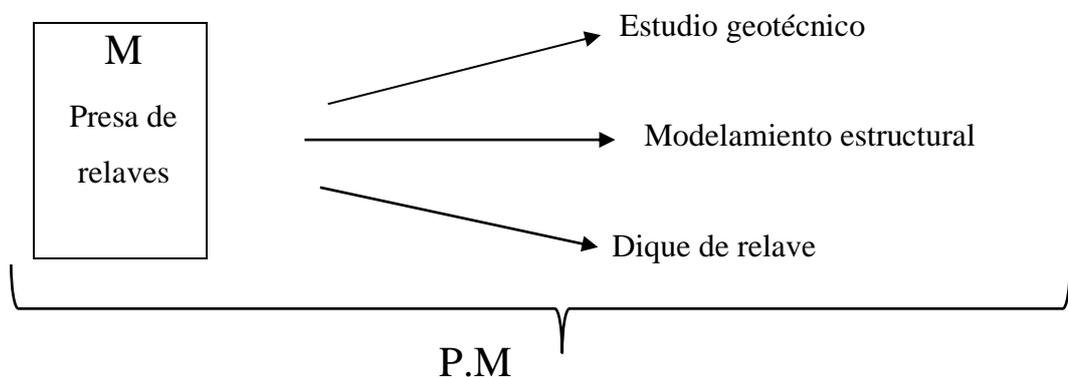
El diseño de investigación, presentará un diseño No experimental, donde por ninguna razón se manipularán las variables de estudio (Carrasco, 2019).

De tipo Transversal, en razón que la información para la investigación se recolectara en un tiempo único o tiempo determinado a fin de describir el comportamiento de las variables en estudio (Hernández et al., 2014, p.116).

Los participantes de la investigación serán la población que conforma la Presa de Relave de la Región de Huancavelica.

El escenario de estudio es la presa de relave del distrito Huachocolpa de la Provincia y Departamento Huancavelica.

A continuación, se presenta el diagrama del estudio de la investigación:



Donde:

M : muestra

P.M : población muestra

2.2 Instrumentos, técnicas, equipos de laboratorio de recojo de datos

Las técnicas e instrumentos en la investigación emplearán lo siguiente:

Técnicas	Instrumentos
Observación	Guía de Observación.
Revisión Bibliográfica	Guía de revisión bibliográfica

El procedimiento de recolección y análisis de datos, de toda la información será recolectada en los instrumentos de gestión:

- Guía de Observación.
- Guía de revisión bibliográfica

2.3 Análisis de la información

Lo recolectado será almacenado en una base de datos (archivo Excel), para luego ser procesado y presentado en tablas (matrices) y figuras (esquemas).

2.4 Aspectos éticos en la investigación

La Ética Investigativa, abordará un tema real y tiene la responsabilidad de proteger la dignidad, identidad, la confidencialidad de las personas que participan protegiendo sus derechos fundamentales que aporte a la mejora del enfoque.

Se trabajarán con fuentes reales, búsqueda técnica y legal, a fin de respaldar la investigación para obtener los resultados, que puedan socializarse. La investigación asegurará el uso la ética y confianza, los cuales son base de la relación armoniosa entre el investigador y los participantes.

El rigor científico; implica la credibilidad en la información recolectada y procesada para dar solución a la problemática residuos mineros, basándose en requisitos legales. Es preciso indicar que posee argumentos fiables que pueden ser demostrados en los resultados del estudio realizado.

Fue necesario también conocer y detallar ciertos alcances realizados durante el estudio de la investigación y que se dieron soluciones a los problemas de contaminación ambiental.

Ahora como sustento del desarrollo del trabajo de tesis, se da un alcance del proyecto, siendo que la zona de estudio de la investigación esta minera se halla al lado este de la cordillera de los andes, políticamente pertenece al distrito de Huachocolpa departamento de Huancavelica.

Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

- Latitud: 13° 03' 52" Sur
- Longitud: 74° 53' 43" Oeste

Tiene coordenadas U.T.M. E : 502,230.550 N : 8' 555,752.860 y las cotas están entre 4,000 a 4,900 m.s.n.m.

La geomorfología presenta relieve cordillerano, morfología agreste, con numerosas quebradas y altiplanicies presenta relieves suaves como pampas, colinas y cerros.

Las investigaciones geotécnicas de campo sirven para resolver las propiedades físicas y mecánicas a través del SPT con la perforación wash Boring y el ensayo de cono Peck.

También se realizó excavaciones de calicatas y del suelo (Presa de relave "A") y del material de relleno (cantera Rublo y Totorapampa), para realizar pruebas en el laboratorio para obtener los parámetros geotécnicos.

Figura 32

Investigación geotécnica en la Presa de relaves A.



Nota. Imagen de la zona de estudio

El ensayo de penetración estándar (SPT) en la Presa de Relaves (NTP- 339.133) se ejecutaron un total de (06) pozos de perforación. Son los siguientes:

Tabla 14*Ensayos de Sondaje SPT.*

	Código de perforación	Profundidad (m)	Coord.UTM	
			NORTE	ESTE
Nota. Datos procesa dos del ensayo SPT	P-1	28,45	8556417,84	501457,26
	P-2	20,83	8556317,87	501447,39
	P-3	17,15	8556315,75	501447,39
	P-4	25,15	8556322,7	501515,99
	P-5	33,9	8556327,79	501547,65
	P-6	22,1	8556389,41	501425,12

L

as calicatas en la cantera Rublo y Totorapampa, se ha excavado 04 calicatas en promedio hasta una profundidad máxima de 4.00 m para realizar los ensayos de laboratorio. A continuación, se muestra un cuadro de calicatas realizados:

Tabla 15*Calicatas*

Calicatas	Profundidad (m) Promedio de excavaciones	Zona
C-1	4	<i>Deposito A</i>
C-2	2,5	<i>Rublo</i>
C-3	2	<i>Rublo</i>
C-4	1	<i>Totorapampa</i>

Nota. Datos procesados de las calicatas de la zona de estudio

Para los ensayos de laboratorio de la Presa de Relaves se da a partir de las muestras inalteradas de los Ensayos SPT y del cual se determinó las características físico mecánicas que contienen los materiales extraídos de los 06 pozos de perforación y son:

- Análisis granulométrico por Tamizado (NTP- 339.128, ASTM D-422)
- Contenido de humedad (NTP- 339.127, ASTM D-2216)

- Límite líquido (NTP- 339.129, ASTM D-423)
- Límite plástico (NTP- 339.129A, ASTM D-424)
- Método Cono de Arena (ASTM D-1556)
- Clasificación SUCS (ASTM D-2487).

Ahora para la clasificación del suelo de la presa de relaves, se determina usando la clasificación SUCS de las muestras de los SPT.

Los materiales de cimentación para construir el dique de contención de Relaves: la abertura del lado sur presenta materiales muy finos como arena limo arcillosa y arcilla de baja plasticidad.

Los materiales desmonte mina de la cantera Rublo contiene material granular, que son gravas y boleas angulosos según SUCS es grava mal graduado arcilloso, y con poca humedad. Se muestra los resultados de las calicatas efectuados:

Tabla 16

SUCS de las Zonas

SUCS	Zona
Arena limo arcilloso (SM,SC)	Depósito Relavero A
Grava limoso (GM)	Cantera de Totorapampa
Orgánico de baja plasticidad (OL)	Cantera de Totorapampa
Gravo arcilloso mal gradada (GP,GC)	Cantera granular Rublo

Nota. Datos procesados SUCS de la zona de estudio

Los parámetros geotécnicos de la presa de relaves constituyen la base para luego realizar un modelamiento, estas propiedades físicas y mecánicas de la presa de relaves, sus valores se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 17*Características físicas de los materiales existentes en el desborde lado sur*

Material	Densidad Seca (KN/m3)	Densidad Saturada (KN/m3)	Cohesión (c) Kpa	Angulo de Fricción (°)
Relave Grueso	16,12	16,80	0	30°
Relave fino blando	20,00	20,50	17	10°
Desmante de Mina	20,6	21,00	0	37°
Grava de cimentación	19,60	20,60	0	40°
Macizo Rocoso	27,5	28	800	45°

Nota. Datos procesados de materiales existentes de la zona de estudio

Para la estabilización se consideran los materiales que serán utilizados para la estabilización de los taludes perimetrales y el dique de contención, y estos son:

Tabla 18*Características físicas de los Materiales para la Estabilización Física*

Material	Densidad seca (KN/m3)	Densidad Saturada (KN/m3)	Cohesión (c) Kpa	Angulo de Fricción (°)
Desmante de Mina Conformado (contrafuerte)	22,00	22,50	0	42°
Relave Grueso de Otongucucho	16,12	16,80	0	30°
Grava Arcillosa de Chonta	13,3	14,00	36	14°
Relave fino Lodo	18,60	19,00	17	10°

cancha C

Nota. Datos procesados de materiales existentes de la zona de estudio

Las características físicas y mecánicas de la cantera Rublo y Totorapampa se realizarán a través del ensayo de corte directo

Tabla 19

Parámetros geotécnicos para construir el dique de relaves.

SUELO O MATERIAL	Densidad seca(KN/m3)	Densidad sat(KN/m3)	C (Kpa)	$\phi(^{\circ})$
Cimentación 1	16,12	16,8	0	30°
Desmonte Mina Rublo	22,0	22,5	0	42°
Macizo Rocoso Totorapampa	21,0	21,5	0	36°

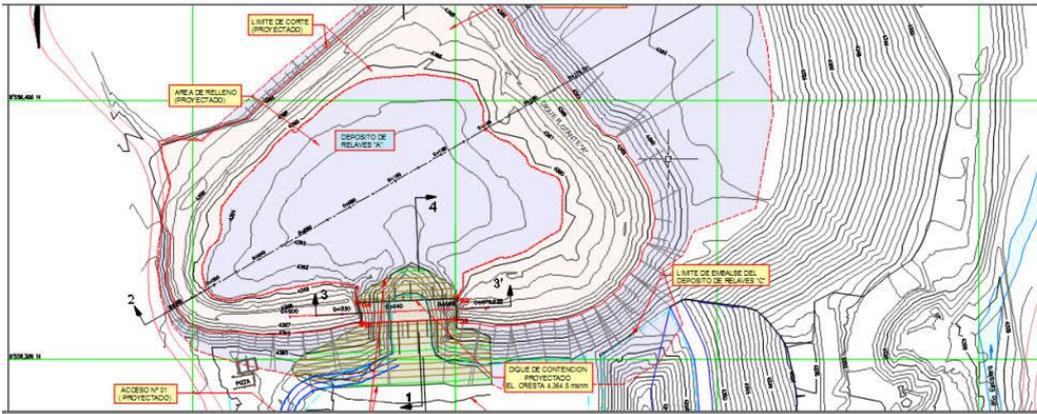
Nota. Datos procesados de la zona de estudio

El tipo y profundidad de la cimentación del Dique de Relaves, el suelo de la cimentación se encuentra cubierto por material relavero del depósito “A” estos se deberán retirarse con limpieza de este material, de manera preliminar se debe re-llenar con material de bolonería (rocas) de cantera Totorapampa hasta una altura de 5.40 m.

Luego se realizará el relleno con desmonte mina de la cantera Rublo hasta una altura de 9.60m compactado en capas de 0.30m de espesor de material granular. Sera cuadrada con cargas trapezoidal con profundidad de 2.50 m.

La capacidad portante, el material usado para la cimentación de la relavera presenta características de una material botonería (rocas) en la base y luego se realizará el relleno con material de Rublo a partir de la altura de 5.40 m hasta la cresta de cota 4364.5 msnm compacto, cuya altura promedio es de 16.5 m.

Figura 33 Muro de contención lado sur de la Relavera-Huachocolpa.



Nota. Imagen Cad de la zona de estudio

El dique de contención de relaves, se presenta como una propuesta de construcción de un muro de contención en la presa y se muestra:

Figura 34

Construcción del muro de contención de la relavera



Nota. Imagen del muro de contención de la zona de estudio

La estabilización física del depósito de relaves, sirve para determinar la estabilidad del cual se obtendrá para condiciones estáticas y pseudoestáticas utilizando el cálculo de equilibrio límite para fallas circulares, cuyo algoritmo de cálculo está contenido en el programa de computo Geostudio Slope/W @2012(versión 8.1.0). Los Factores de Seguridad Mínimos Permisibles DGAA se muestra en la tabla:

Tabla 20

Factores de seguridad DGAA

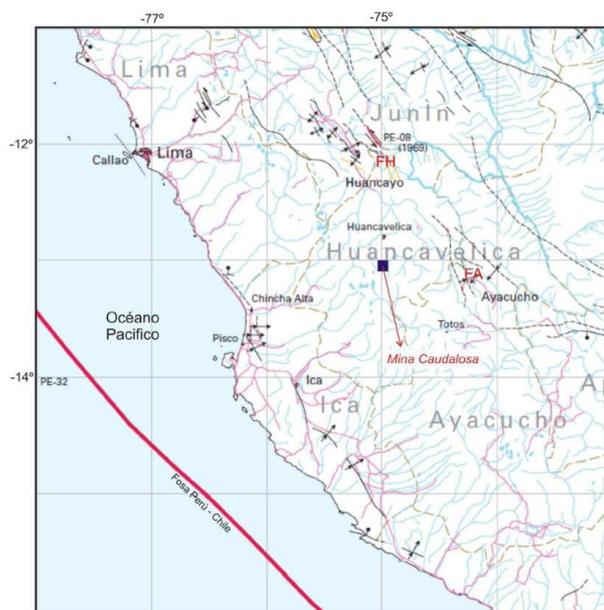
Caso	Factor de Seguridad Mínimo Aceptable*	Factor de Seguridad Mínimo Aceptable**
Análisis Estático	1,5	1,3
Análisis Pseudo-estático para abandono	1,3	1,2
Análisis Pseudo-estático para operación	1,0	1,0
(*) Cuando existen condiciones de alto riesgo aguas abajo de la presa		
(**) Cuando el riesgo aguas abajo de la presa es moderado a bajo		

Nota. Factores de seguridad mínimos, según la Guía ambiental DGAA Vol. XVI-1998

El análisis de peligro sísmico en la relavera, se muestra a continuación:

Figura 35

Mapa tectónico para la región central del Perú

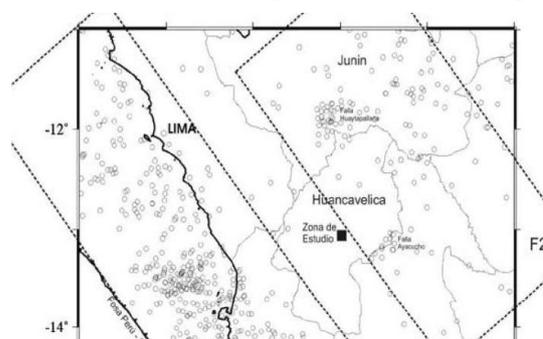


Nota. Imagen de la zona de estudio Instituto Geográfico Nacional, 2015

Se utilizará líneas discontinuas F1 y F2 son fuentes sismogénicas para una distribución espacial superficial ($h < 70$ km) en la zona del proyecto (periodo 1963 - 2010).

Figura 36

Líneas discontinuas F1 y F2 fuentes sismogénicas ($h < 70$ km)

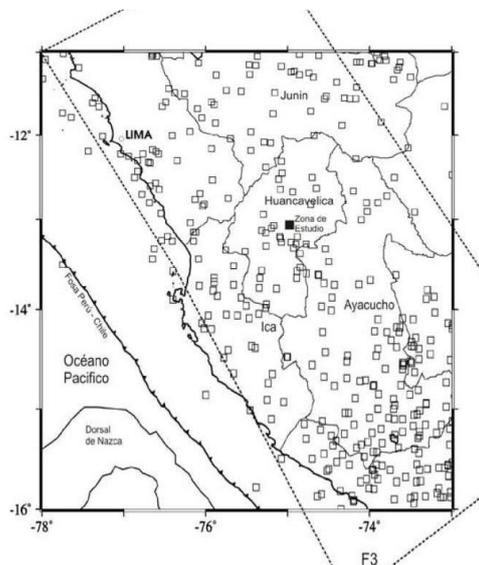


Nota. Imagen de la zona de estudio, Instituto Geofísico del Perú, 2009

La distribución de foco intermedio ($71 > h < 300$ km) para la zona del proyecto (período 1963 – 2010). Las líneas discontinuas y F3 indican las fuentes sismogénicas consideradas en este estudio.

Figura 37

Líneas discontinuas F3 con foco intermedio ($71 > h < 300$ km)



Nota. Imagen de la zona de estudio, Instituto Geofísico del Perú, 2009

Se tiene a continuación la fórmula de atenuación de CASAVARDE y VARGAS

$$a = 68.70 \cdot e^{0.8.Ms} (R + 25) \quad (3.1)$$

Donde:

a : Aceleración en cm/s^2 .

Ms : Magnitud de las ondas superficiales.

R : distancia hipocentral en Km.

Tabla 21

Riesgo Sísmico para el proyecto de estudio

Periodo de Retorno en(años)	Aceleración sísmica	Probabilidad anual de excedencia
100	0.22	1.0x10 ⁻²
500	0.36	2.0x10 ⁻³
1000	0.44	1.0x10 ⁻³

Nota. Riesgo sísmico según Instituto Geofísico del Perú, 2009

Para el diseño sísmico en la relavera, se toma en cuenta los enunciados de Marcuson que propone utilizar valores de aceleraciones máxima de 1/3 y 1/2.

El Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EEUU propone utilizar coeficiente sísmico igual al 50% de la aceleración máxima de diseño.

La Guía Ambiental del MINEM, propone utilizar 1/2 a 2/3 de la aceleración máxima de diseño.

III. RESULTADOS

3.1 Presentación de Resultados

1. Al realizar los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, se determina las propiedades físicas y mecánicas de la presa de relaves.

Se presentan los resultados SPT en las siguientes tablas:

Tabla 22

Ensayos de Sondaje SPT.

Código de perforación	Profundidad (m)	Coord.UTM	
		NORTE	ESTE
P-1	28,45	8556417,84	501457,26
P-2	20,83	8556317,87	501447,39
P-3	17,15	8556315,75	501447,39
P-4	25,15	8556322,7	501515,99
P-5	33,9	8556327,79	501547,65
P-6	22,1	8556389,41	501425,12

Nota. Resultados del ensayo SPT

Tabla 23

Registro de Perforación en la Relavera

POZO	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (m)	SUCS
	E	N		
P-1	501457,28	8556417,6	hasta 4.90	Desmonte Mina: GP grava mal gradada
			4.9 - 11.90	Relave: SM arena limosa, plomo claro, suelto
			11.90 - 12.20	Relave: CL arcilla de plasticidad media, plomo blanco
			12.20 - 15.80	Relave: SM arena limosa
			15.80 - 17.15	Relave: CL -ML arena limosa
			17.15 - 27.90	Relave: SM
			27.90 - 28.45	Suelo natural : GP-GC grava mal gradada
hasta 2.50	Desmonte Mina: GP-GC			

			2.50 - 9.80	Relave: SM
			9.80 - 11.90	Desmonte Mina: GP-GM
P-2	501457,39	8556317,8	11.9 - 12.70	Relave: SM
			12.70 - 15.60	Relave: CL
			15.60 - 16.60	Suelo natural : SC
			16.60 - 20.83	Ensayo CONO PECK , presencia gravas gran tamaño
			hasta 2.80	Desmonte Mina: GP
			2.80 - 3.60	Relave: SP-SM
P-3			3.60 - 4.60	Desmonte Mina: GP-GC
	501428,64	8556315,75	4.60 - 6.95	Relave: SM
			6.95 - 9.30	Relave: CL
			9.30 - 11.35	Suelo natural : GP-GM
			11.35 - 18.75	Ensayo CONO PECK , presencia gravas gran tamaño
			hasta 4.25	Relave: SM
			4.25 - 4.45	Relave: CL
			4.45 - 10.0	Relave: SM
P-4	501515,95	8556322,25	10.0 - 11.3	Relave: SP-SM
			11.3 - 22.30	Relave: CL arcilla de plasticidad media.
			22.3 - 24.90	Relave: SM
			24.9 - 25.15	Suelo natural : GC
			hasta 3.00	Relave: SM arena limosa
			3.0 - 7.00	Relave: SP-SM
			7.0- 12.0	Relave: SM
P-5	501547,65	8556327,79	12.0 - 21.90	Relave: SC-SM
			21.9 - 26.6	Relave: CL arcilla de plasticidad baja.
			26.6 - 29.70	Relave: SP
			29.70 - 33.9	Suelo natural : SP
			hasta 5.60	Desmonte mina: GP
			5.60 - 18.80	Relave: SM
			18.8 - 19.25	Suelo natural : MH en descomposición
P-6	501425,12	8556389,41	19.25 - 20.70	Suelo natural : GC
			20.7 - 22.10	Ensayo CONO PECK , presencia gravas gran tamaño

Nota. Resultados del ensayo SPT

Para la determinación de Propiedades Física y Mecánicas de Presa de Relaves, se tiene los resultados de las propiedades físicas y mecánicas de Presa de Relaves

Tabla 24

Características físicas y mecánicas de la Presa con el desborde en el lado sur

Material	Densidad Seca (KN/m3)	Densidad Saturada (KN/m3)	Cohesión (c) Kpa	Angulo de Fricción (°)
Relave Grueso	16,12	16,80	0	30°
Relave fino blando	20,00	20,50	17	10°
Desmote de Mina	20,6	21,00	0	37°
Grava de cimentación	19,60	20,60	0	40°
Macizo Rocosó	27,5	28	800	45°

Nota. Datos obtenidos de materiales existentes de la zona de estudio

Tabla 25

Características físicas y Mecánicas con la Estabilización física

Material	Densidad seca (KN/m3)	Densidad Saturada (KN/m3)	Cohesión (c) Kpa	Angulo de Fricción (°)
Desmote de Mina Conformado (contrafuerte)	22,00	22,50	0	42°
Relave Grueso de Otongucucho	16,12	16,80	0	30°
Grava Arcillosa de Chonta	13,3	14,00	36	14°

Relave fino Lodo cancha C	18,60	19,00	17	10°
--------------------------------------	-------	-------	----	-----

Nota. Datos obtenidos de materiales existentes de la zona de estudio

Por tanto, con el estudio geotécnico se determina las propiedades físicas y mecánicas del suelo y es una propuesta para mejorar una Presa de relaves.

- Al aplicar la propuesta de un modelamiento estructural utilizando la construcción de un dique de relaves empleando material granular y enrocado, mejora la estabilidad de la presa de relaves.

La determinación de propiedades mecánicas, para construir el dique de relaves se presenta a continuación el cuadro de las propiedades mecánicas:

Tabla 26

Parámetros geotécnicos para construir el dique de relaves

SUELO O MATERIAL	Densidad seca(KN/m3)	Densidad sat(KN/m3)	C (Kpa)	ϕ(°)
Cimentación 1	16,12	16,8	0	30°
Desmante Mina Rublo	22,0	22,5	0	42°
Macizo Rocoso	21,0	21,5	0	36°
Totorapampa				

Nota. Datos obtenidos de materiales existentes de la zona de estudio

La bolonería de la cantera de Totorapampa que se colocara en la cimentación1, corresponde a la roca basalto, tipo ígnea volcánico extrusiva color oscuro, de composición química intermedia (45-50%) de sílice SiO₂ con minerales ferromagnesianos de plagioclasa, piroxeno y olivino, presenta un RMR=55 a 65 de clase II.

La roca de Totorapampa es inaletrada sin presencia de discontinuidades, rugosa, con una buena separación de diaclasas 0.6 a 1.0 m, resistente ante el contacto de la maquinaria durante la selección, el carguío y la colocación en la cimentación y sin

presencia de agua subterránea o freática en la cantera de Totorapampa, siendo una roca de calidad buena.

La bolonería se encuentra dentro del rango el ángulo de fricción=35° a 45°, la cohesión del basalto en condición bolonería es nula y el peso específico= 25 a 30 KN/m3.

Figura 38

Construcción de Dique de relaves lado sur de la Presa



Nota. Foto de la zona de estudio donde se construirá el dique de relaves

Después de la falla en el lado sur se realizó a el cálculo de estabilidad en la sección D-D lado sur presentando inestabilidad en dicho sector, comparando con los valores de FS mínimos de la DGAA y estos son:

Tabla 27

Factores de seguridad en la falla de la relavera

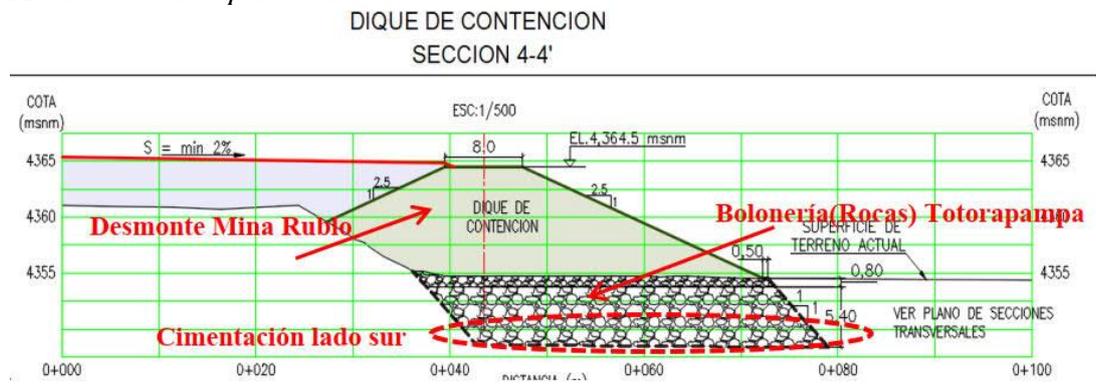
Depósito	SECCIÓN	Descripción	Tipo de Falla	Factor de Seguridad (FS)		DGAA	
				Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
Presa de Relaves A	D-D'	Talud Sur (Zona de derrame)	Circular	1,24	1,09	1,3	1,2

Nota. Datos obtenidos de materiales existentes de la zona de estudio

Debido a inestabilidad del lado sur, se da la propuesta de construcción de un dique de contención en la zona de falla, con bolonería de la cantera Totorapampa y desmante mina de la cantera Rublo, para mejorar la estabilidad.

Figura 39

Materiales de dique de relaves



Nota. Figura de diseño de los materiales del dique de relaves

- Altura del talud: 5.40m enrocado y 9.60m material desmante mina.
- Densidad seca mínima: 2.2 ton/m³, ancho de berma: 8.0m.
- Gradiente de la berma: 1, altura final proyectada: 16.5 m.

La capacidad portante se muestra a continuación:

Tabla 28

Capacidad Portante en la base del dique

CIMENTACION EN SUELO DE RELAVE CON MATERIAL BOLONERIA (ROCAS)	
FORMULA DE TERZAGHI	
$Q_{adm} = 1/FS(C*N_c + \gamma_t *D_f* N_q + 0.4 * \gamma_t * B * N_\gamma)$	Valores
donde:	
Q_{adm}	Capacidad de carga admisible (kg/cm ²)
C	cohesión (kg/cm ²) 0
D_f	Profundidad de la cimentación (m) 2,5
B	Ancho de la Zapata (m) 40
N_c , N_q , N_γ	Coeficiente de capacidad de carga en función del ϕ
ϕ	ángulo de fricción interna 36°
FS	factor de seguridad 3

γ_t	densidad seca del material (gr/cm ³)	2,10
Nc= 50.6 , Nq= 37.7 , Ny= 56.3		
entonces :		
Qadm =	71.90 kg/cm²	

Nota. Datos obtenidos de la capacidad portante del suelo

La capacidad de carga admisible de 71.9 kg/cm² es adecuado colocando roca basáltica de Totorapampa en el suelo lado sur. Una vez construido el dique de contención se realizó el análisis de estabilidad, y se obtuvo FS superiores a indicados por la DGAA. Se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 29

Factores de seguridad del dique de contención

Depósito	SECCIÓN	Descripción	Tipo de Falla	Factor de Seguridad (FS)		DGAA	
				Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
Presa de Relaves A	D-D'	Talud Sur (Dique de Contención)	Circular	2,75	2,15	1,3	1,2

Nota. Datos obtenidos de los factores de seguridad del dique de relaves

Por tanto, la propuesta de un modelamiento estructural utilizando la construcción de un dique de relaves sirve para mejorar la estabilidad de la presa de relaves.

3. Al emplear el estudio geotécnico y modelamiento estructural, **se determina impactos en la propuesta de mejora** obteniendo los factores de seguridad (F.S) de la Presa de Relave.

Tabla 30

Calculo de los factores de seguridad después del fallo lado sur de la relavera

Depósito	SECCIÓN	Descripción	Tipo de Falla	Factor de Seguridad (FS)		DGAA	
				Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
	B-B'	Talud margen	Circular	1,16	0,95	1,3	1,2

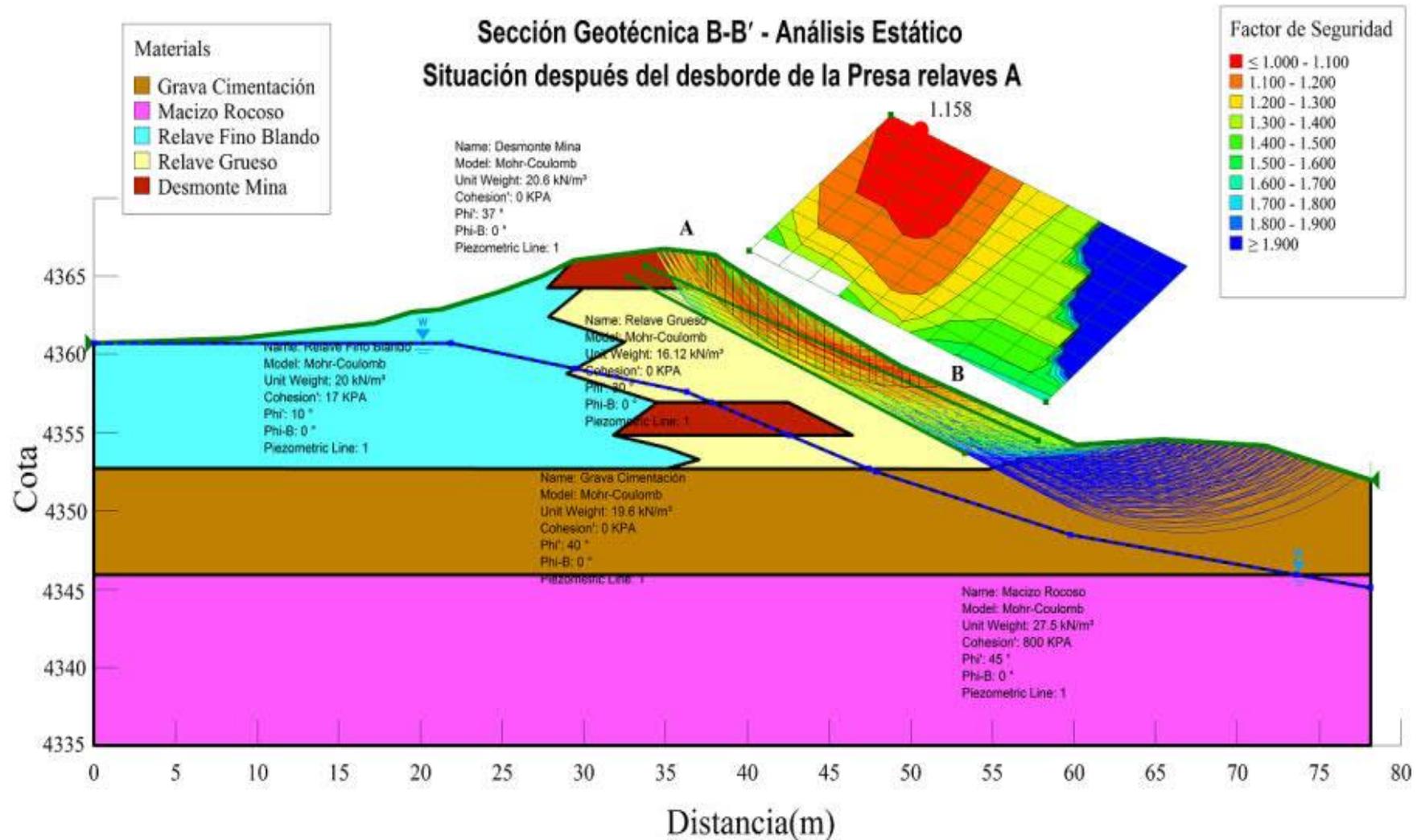
		izquierda a la zona de derrame					
Presa de Relaves A	C-C'	Talud margen derecha a la zona de derrame	Circular	1,05	0,87	1,3	1,2
	D-D'	Talud lado norte	Circular	2,48	1,78	1,3	1,2
	D-D'	Talud lado sur (zona de derrame)	Circular	1,24	1,09	1,3	1,2

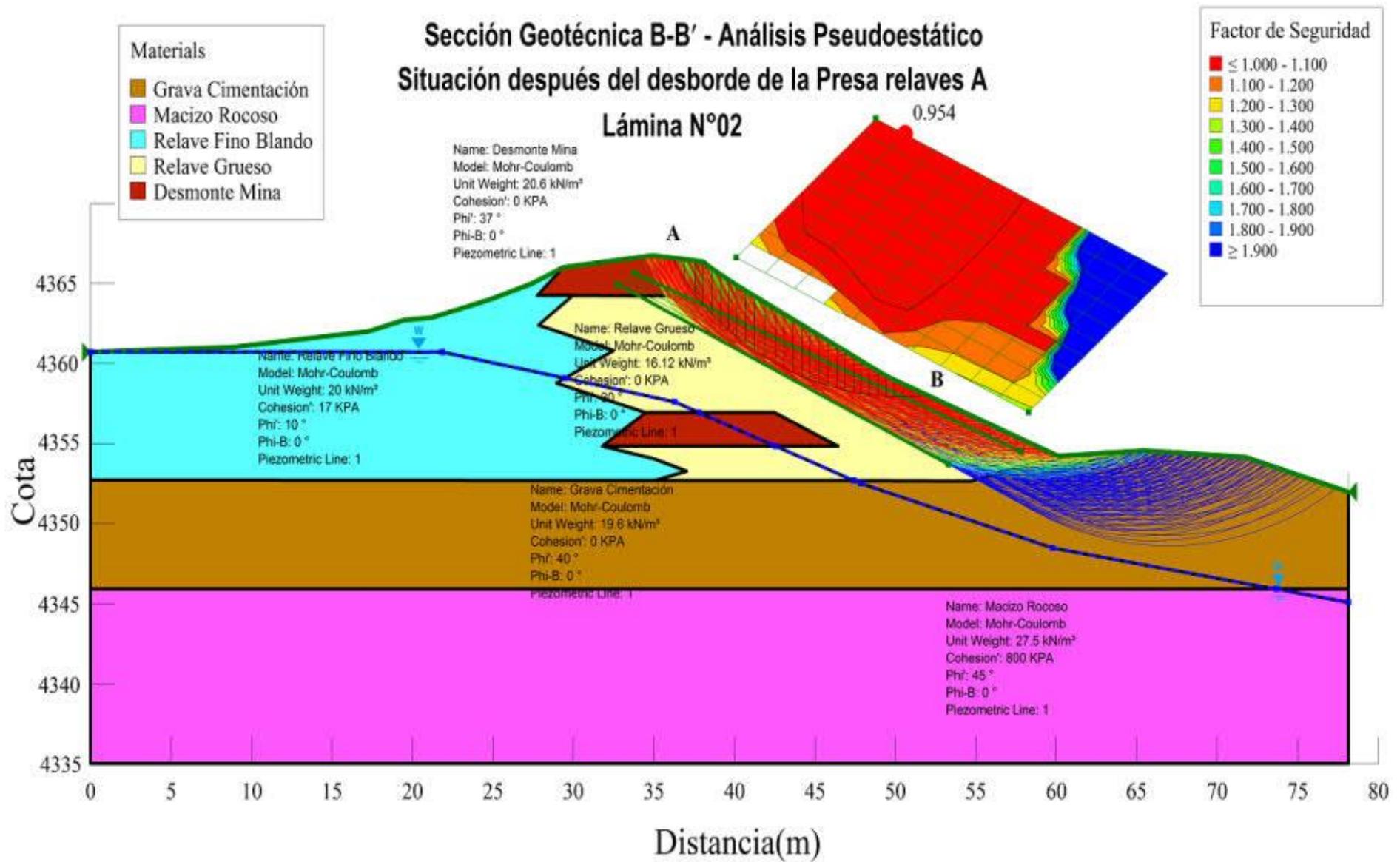
Nota. Datos obtenidos de los factores de seguridad de la relavera

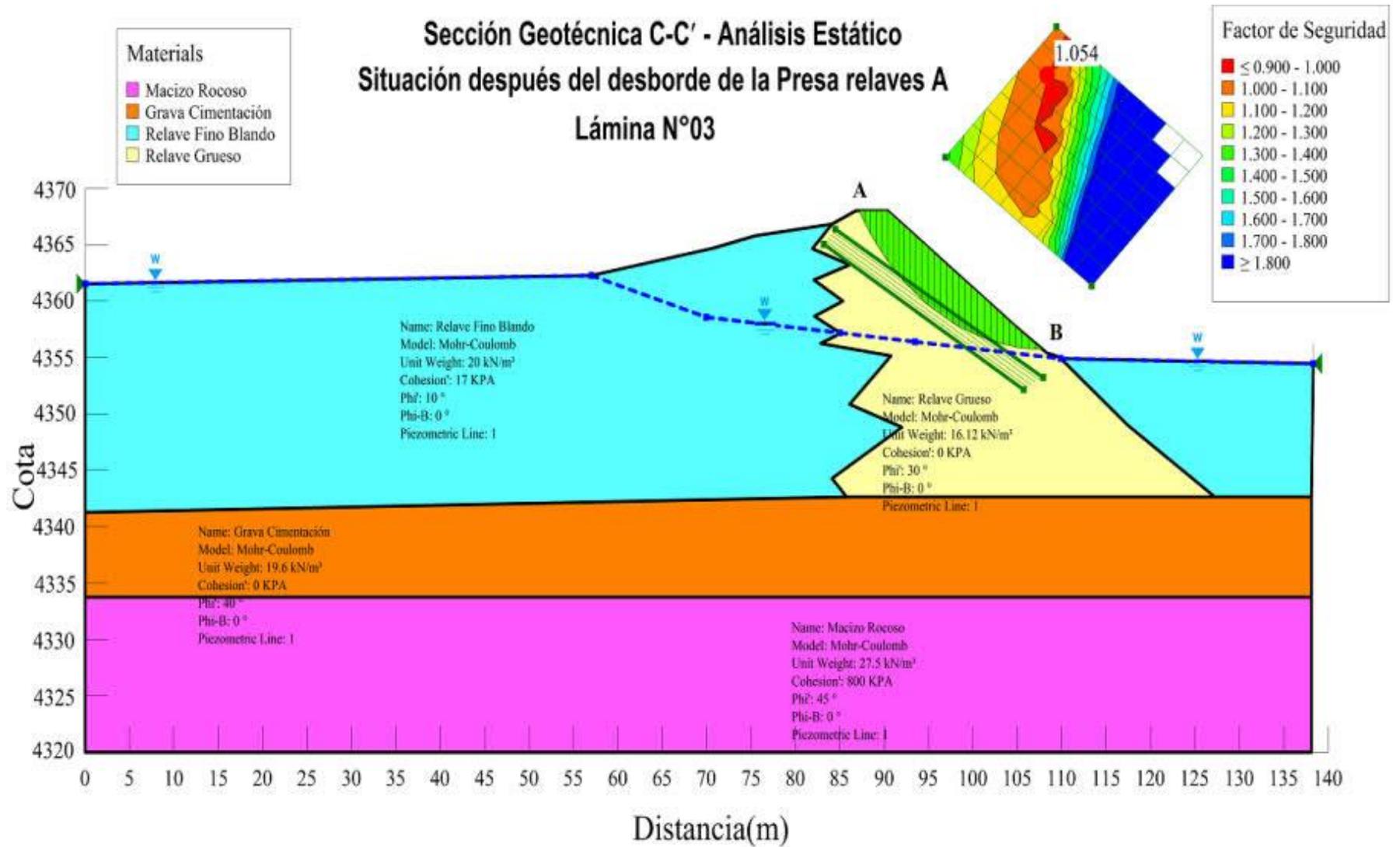
Con el Software computacional, se obtiene valores de los factores de seguridad (F.S) de la presa de relaves. Se muestran a continuación los valores de los cálculos de los factores de seguridad con el modelamiento estructural de la presa de relaves en cada una de las secciones, después del fallo la relavera:

Figura 40

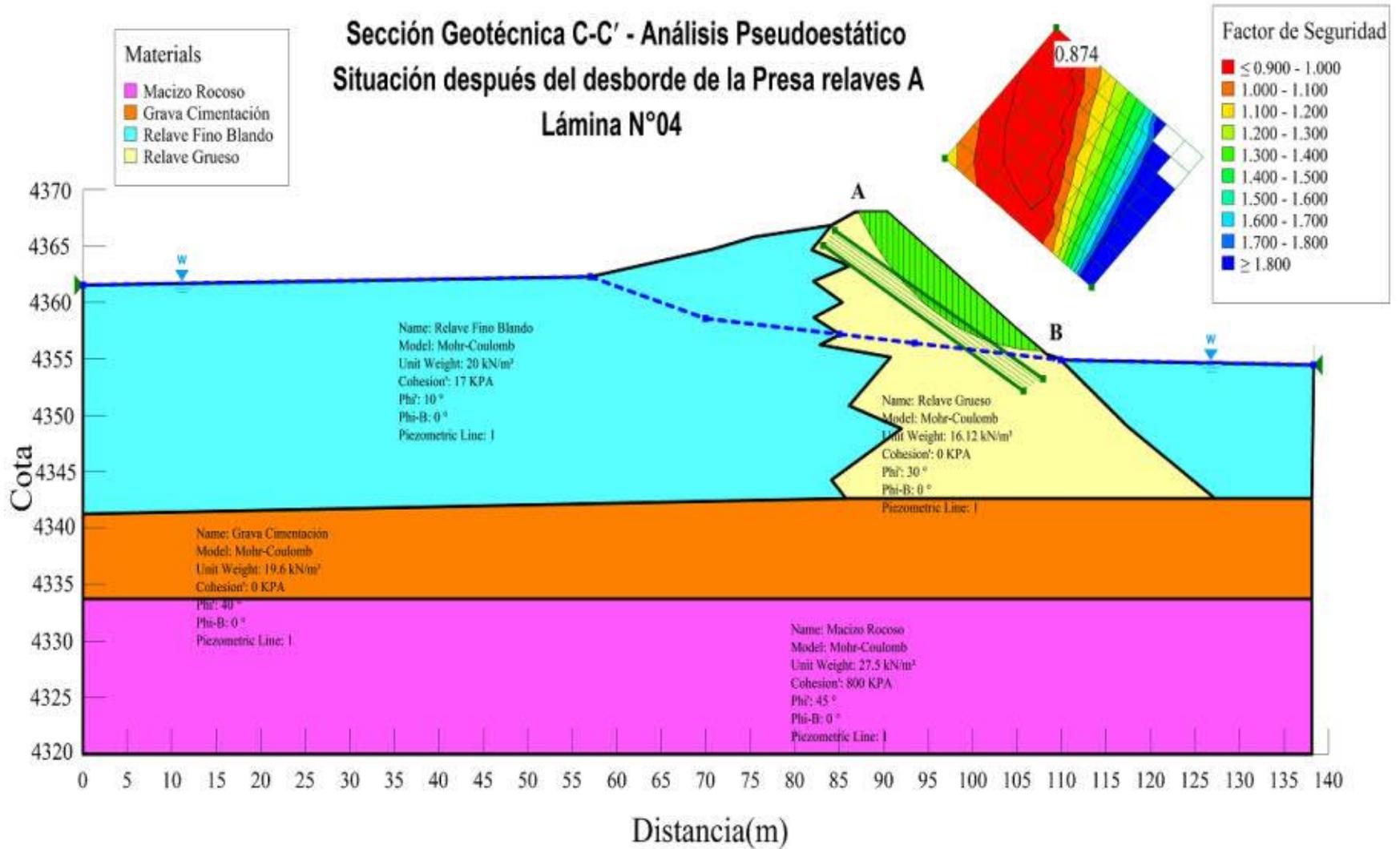
Secciones geotécnicas – análisis estático y pseudoestático después del fallo de la presa de relaves

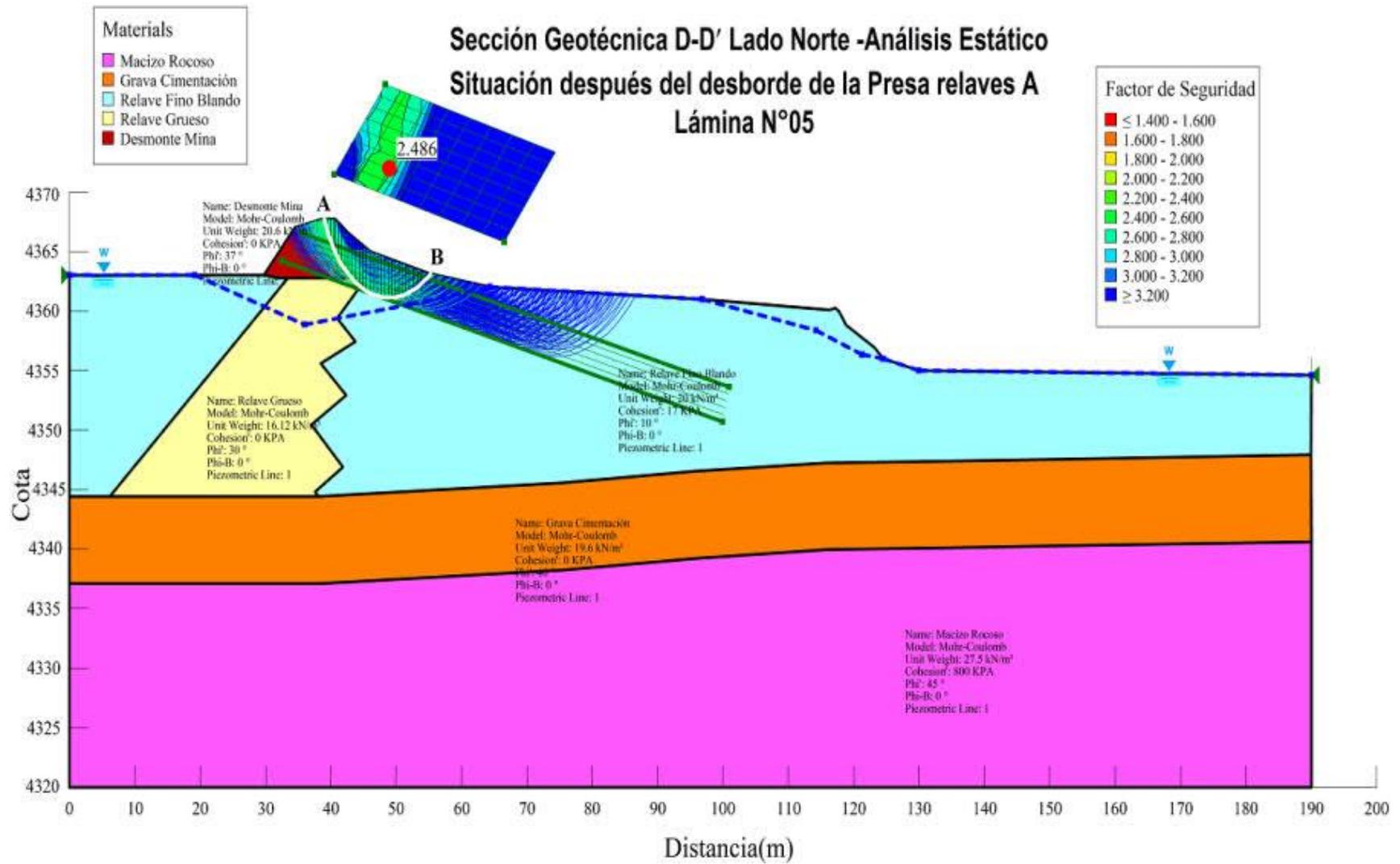


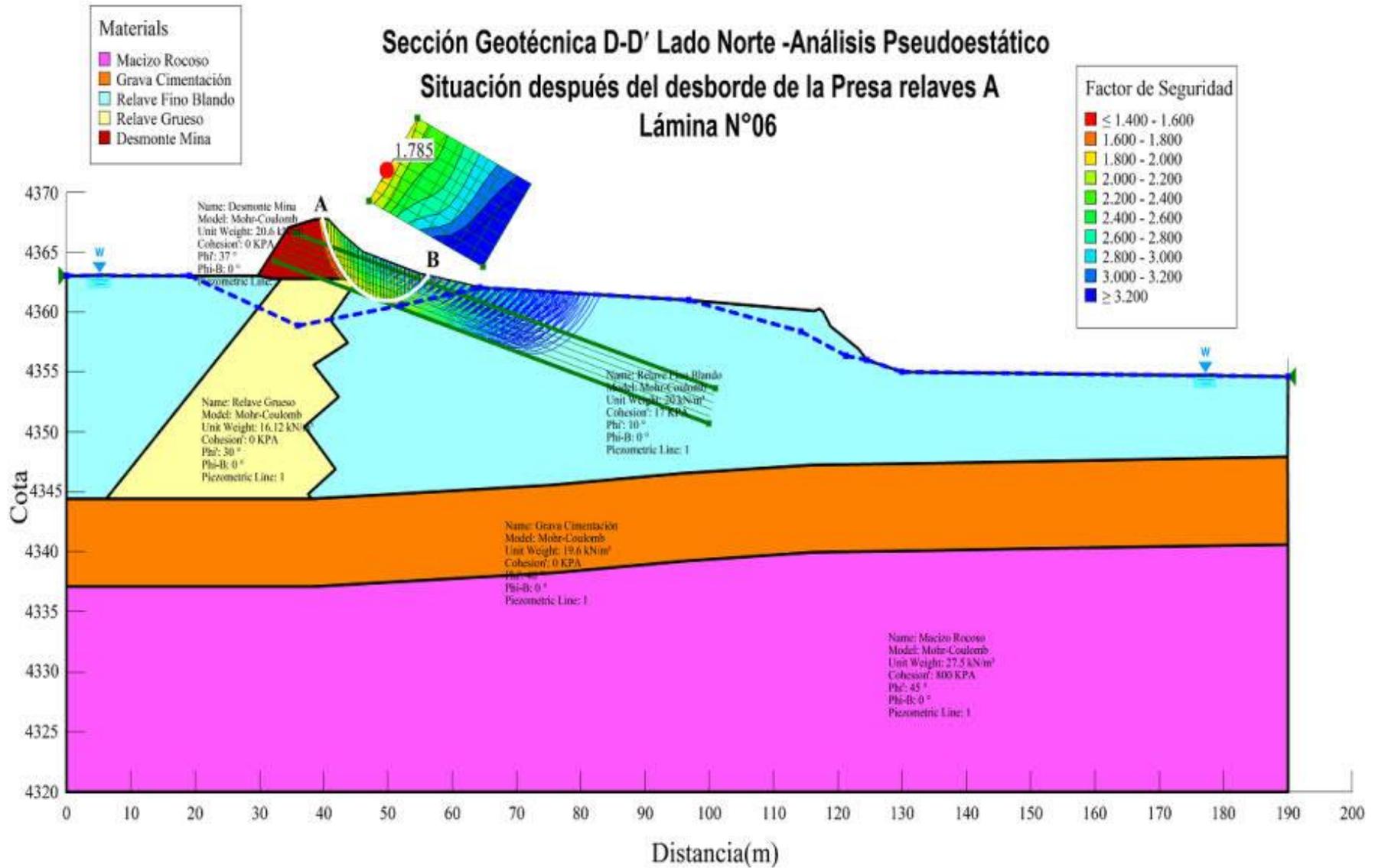




Sección Geotécnica C-C' - Análisis Pseudoestático Situación después del desborde de la Presa relaves A Lámina N°04



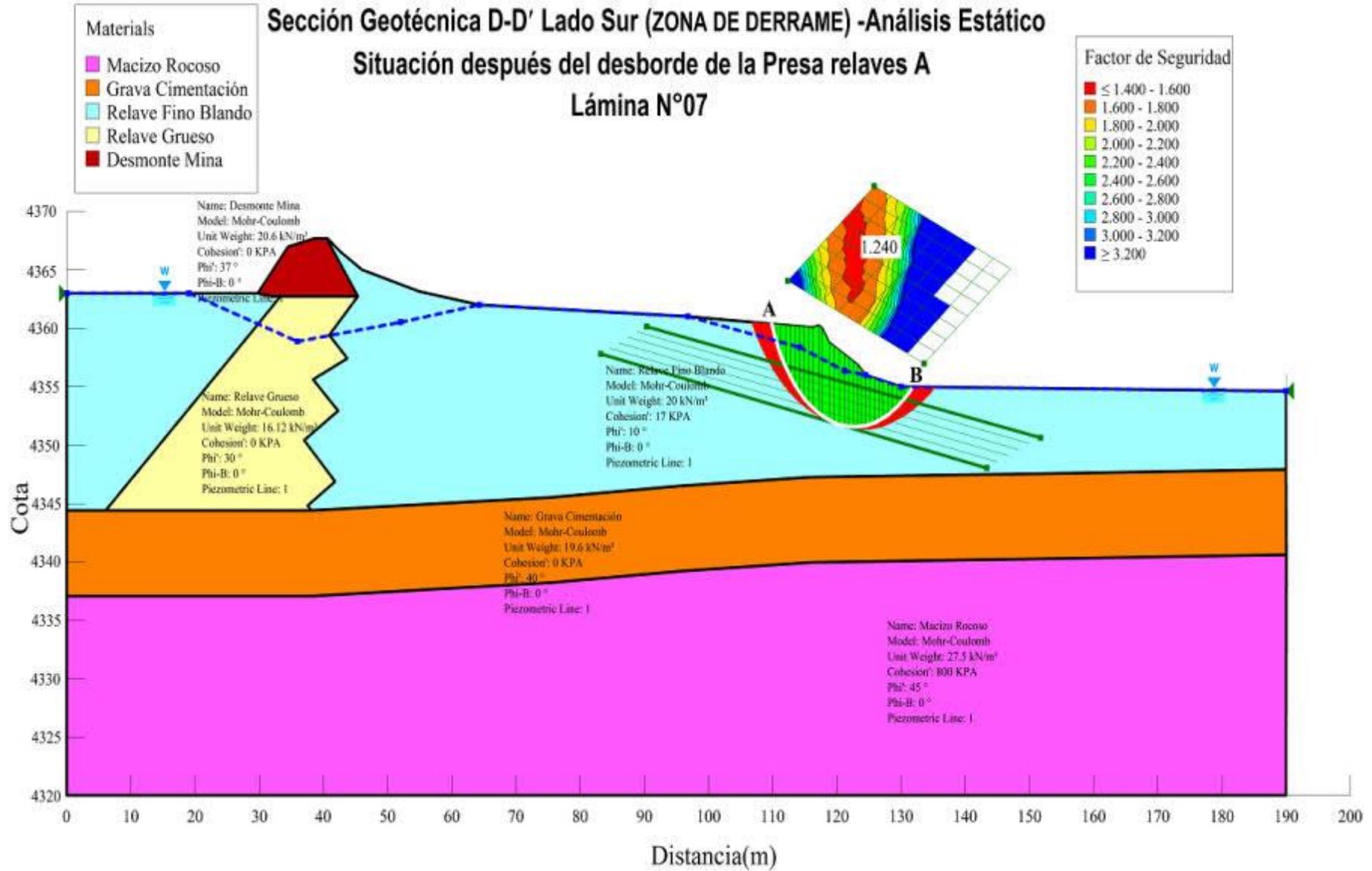




Sección Geotécnica D-D' Lado Sur (ZONA DE DERRAME) -Análisis Estático

Situación después del desborde de la Presa relaves A

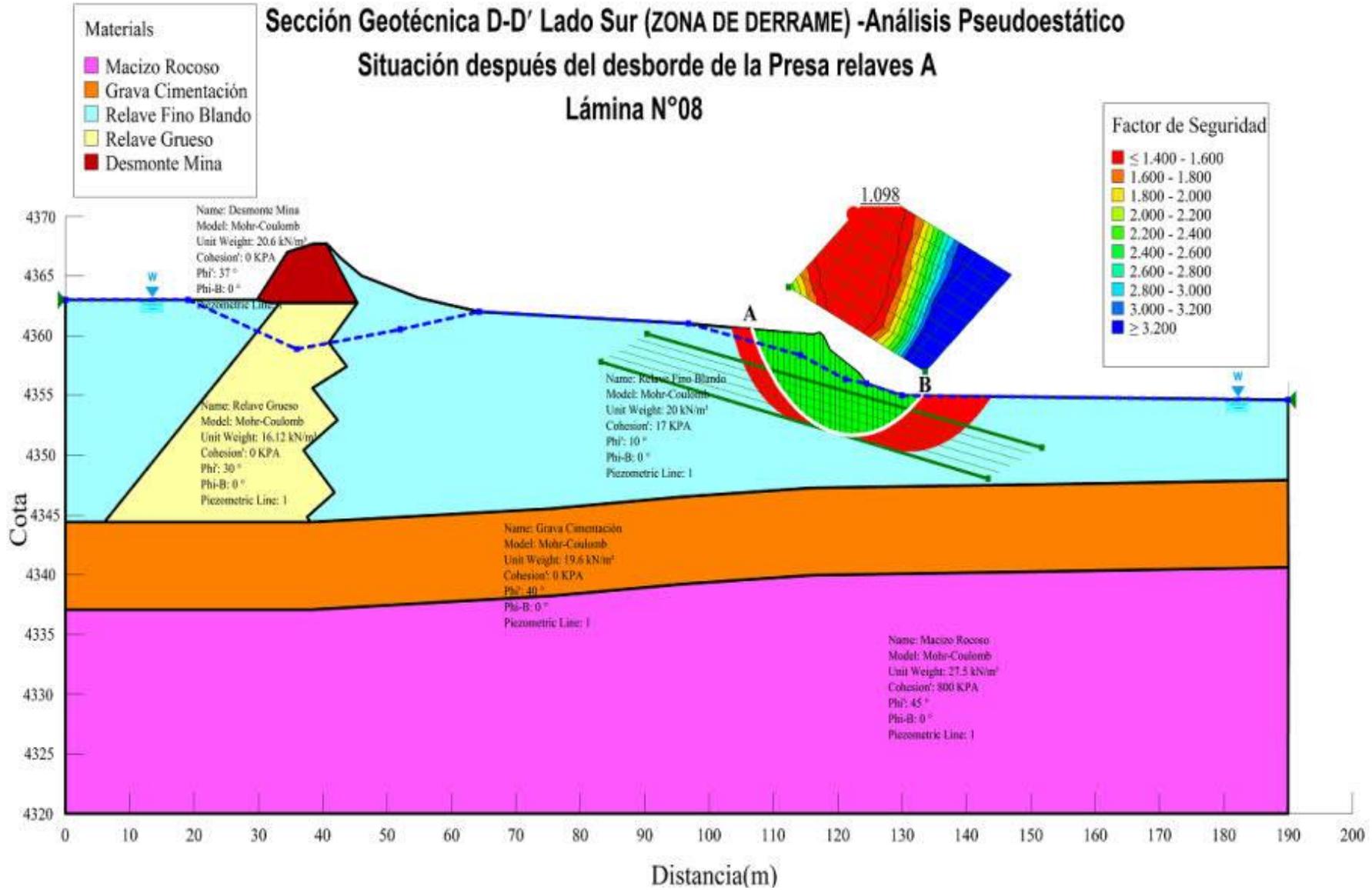
Lámina N°07



Sección Geotécnica D-D' Lado Sur (ZONA DE DERRAME) -Análisis Pseudoestático

Situación después del desborde de la Presa relaves A

Lámina N°08



Una vez realizado la propuesta de construcción del dique de contención en la zona de fallo de la relavera, se realizó el cálculo de estabilidad nuevamente con el modelamiento computacional de taludes. Los Factores de seguridad superan los valores de la DGAA, presentando estabilidad adecuada la Presa de relaves. Se tiene el siguiente cuadro:

Tabla 31

Cálculo de los Factores de seguridad con la estabilización física en la relavera

Depósito	SECCIÓN	Descripción	Tipo de Falla	Factor de Seguridad (FS)		DGAA	
				Estático	Pseudo-estático	Estático	Pseudo-estático
Presa de Relaves A	B-B'	Talud Sur	Circular	1,89	1,48	1,3	1,2
	C-C'	Talud Sur	Circular	1,75	1,30	1,3	1,2
	D-D'	Talud Sur (Dique de Contención)	Circular	2,68	2,07	1,3	1,2
	E-E'	Talud Este	Circular	1,84	1,59	1,3	1,2
	E-E'	Talud Oeste	Circular	1,83	1,46	1,3	1,2

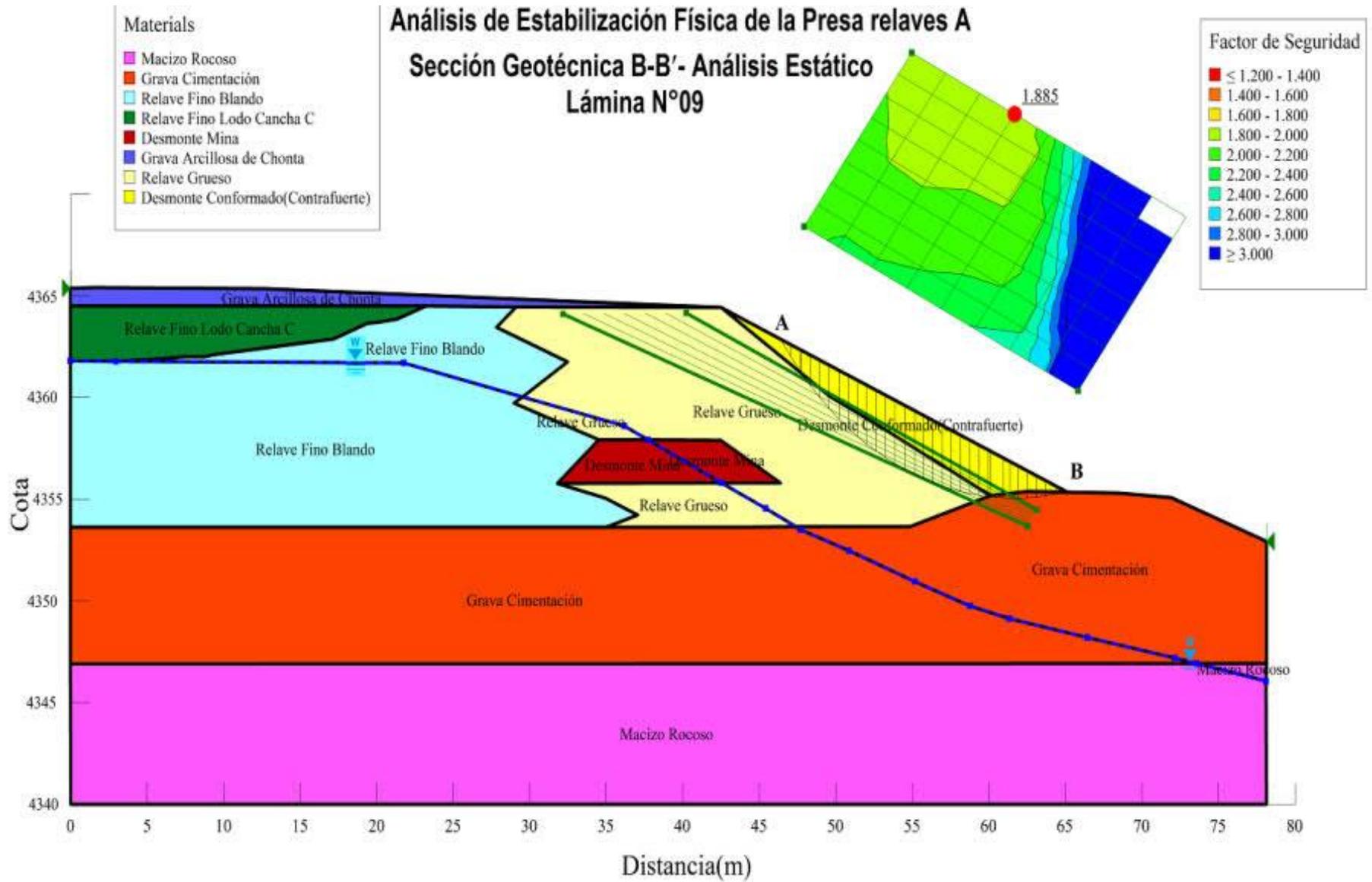
Nota. Datos obtenidos de los factores de seguridad de la relavera

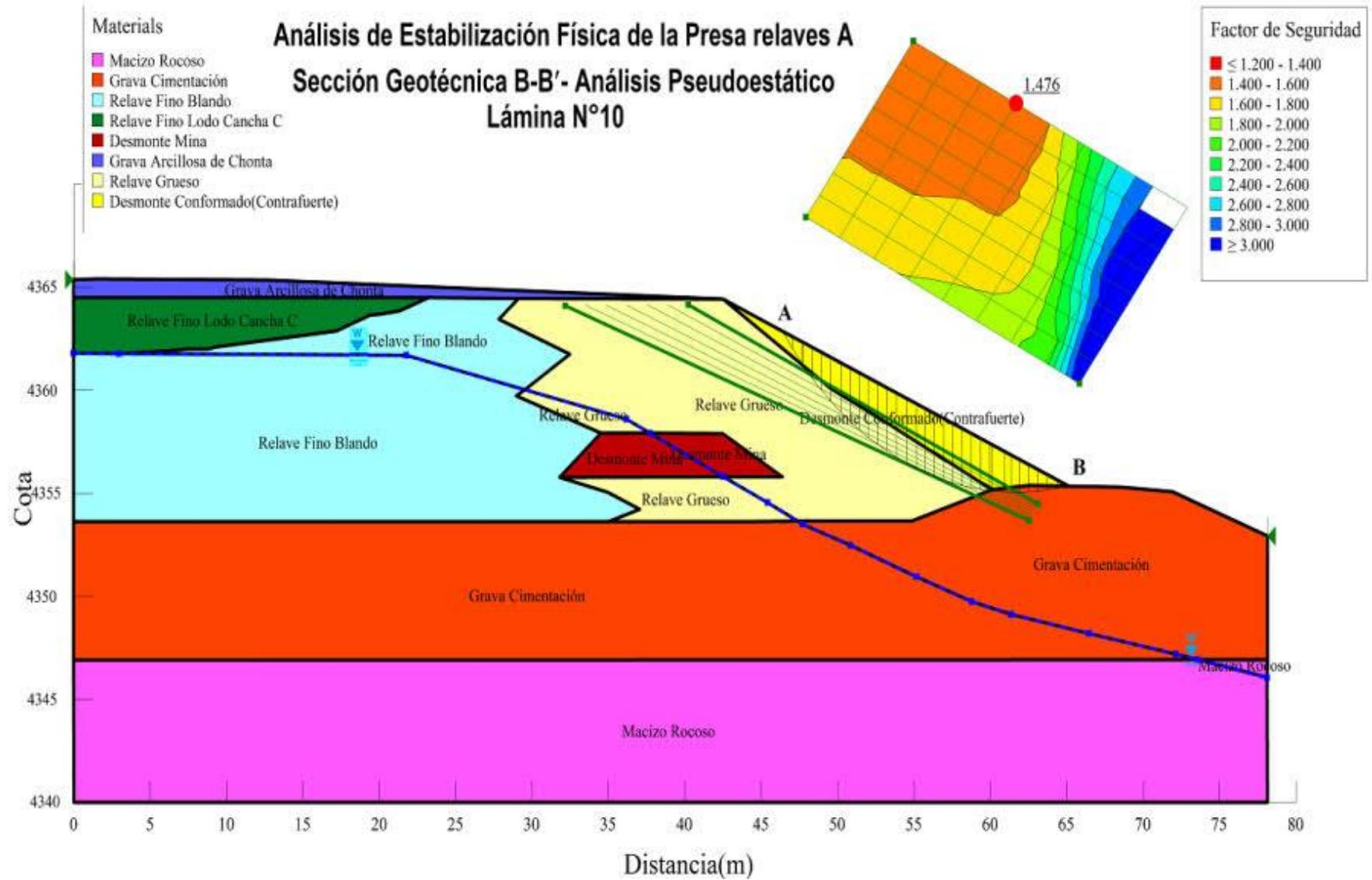
Por tanto, la propuesta en emplear un estudio geotécnico y modelamiento estructural sirve determinar impactos positivos de sus factores de seguridad, en la propuesta de mejora de la estabilidad de una presa de relaves.

Se muestran a continuación los valores de los cálculos de los factores de seguridad con el modelamiento estructural de la presa de relaves en cada una de las secciones, con la propuesta de mejora de estabilidad de la relavera:

Figura 41

Secciones geotécnicas – análisis estático y pseudoestático propuesta de mejora de la presa de relaves

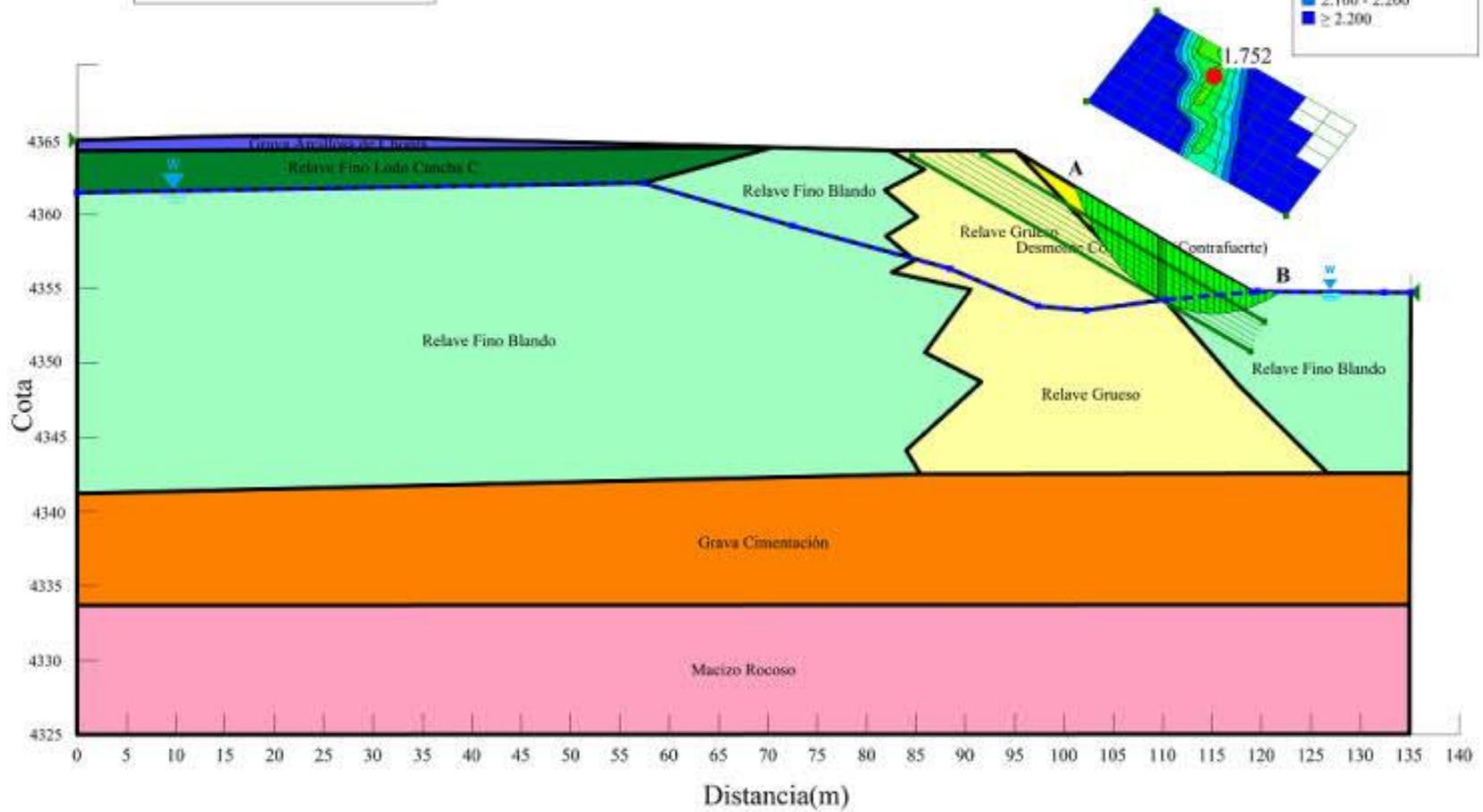




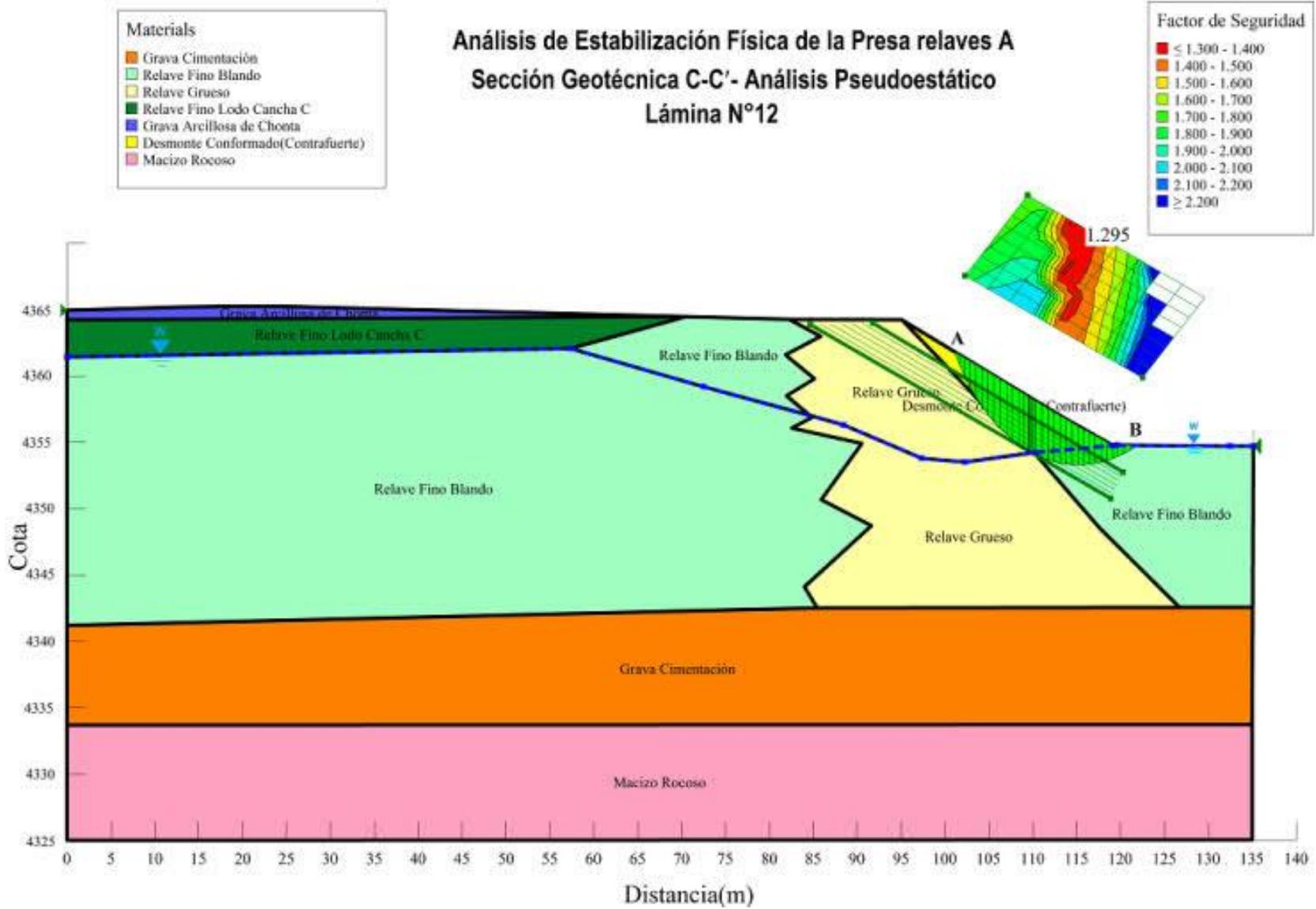
Análisis de Estabilización Física de la Presa relaves A
Sección Geotécnica C-C'- Análisis Estático
Lámina N°11

Materials	
	Grava Cimentación
	Relave Fino Blando
	Relave Grueso
	Relave Fino Lodo Cancha C
	Grava Arcillosa de Choeta
	Desmonte Conformado(Contrafuerte)
	Macizo Rocoso

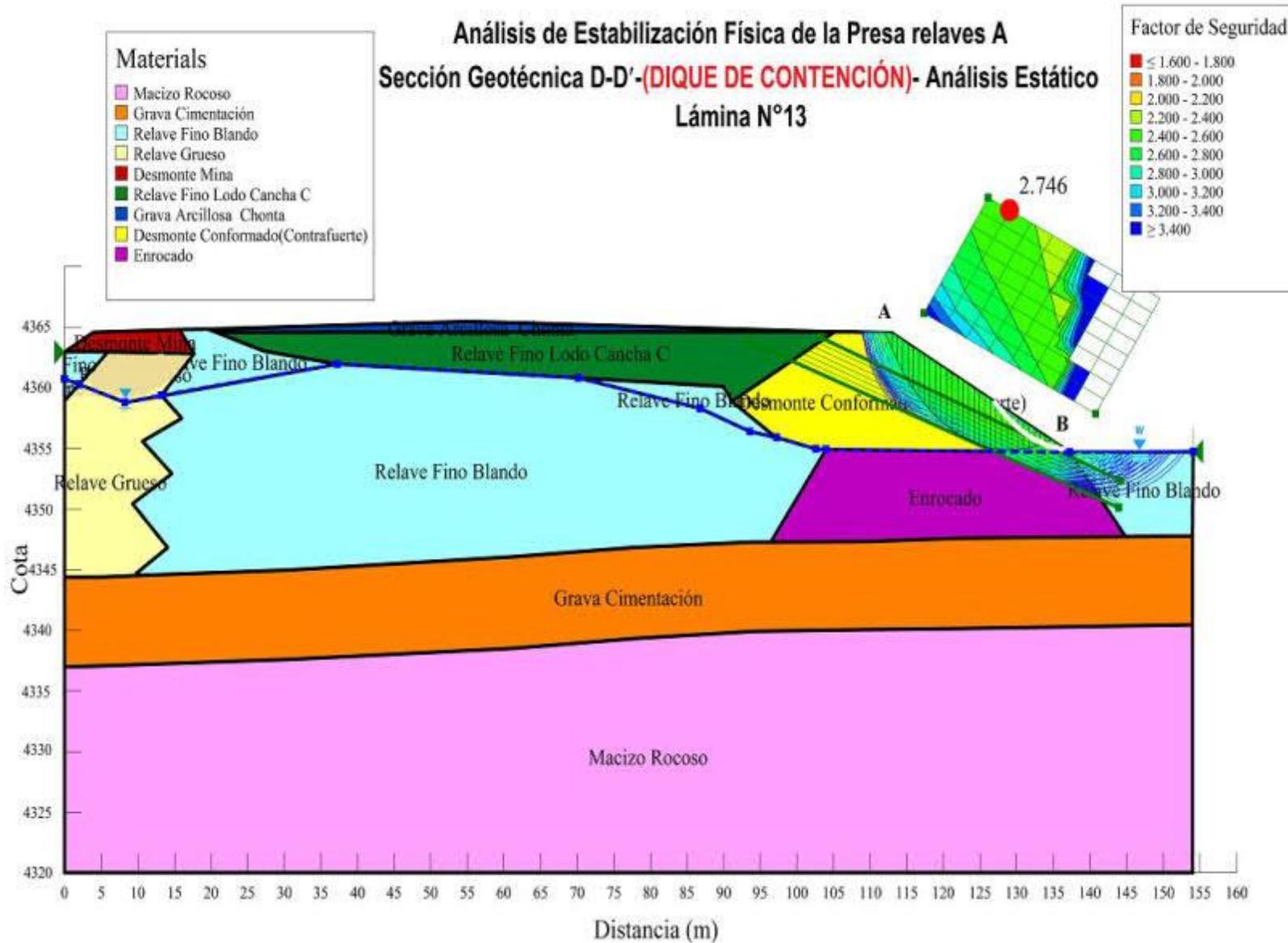
Factor de Seguridad	
	≤ 1.300 - 1.400
	1.400 - 1.500
	1.500 - 1.600
	1.600 - 1.700
	1.700 - 1.800
	1.800 - 1.900
	1.900 - 2.000
	2.000 - 2.100
	2.100 - 2.200
	≥ 2.200

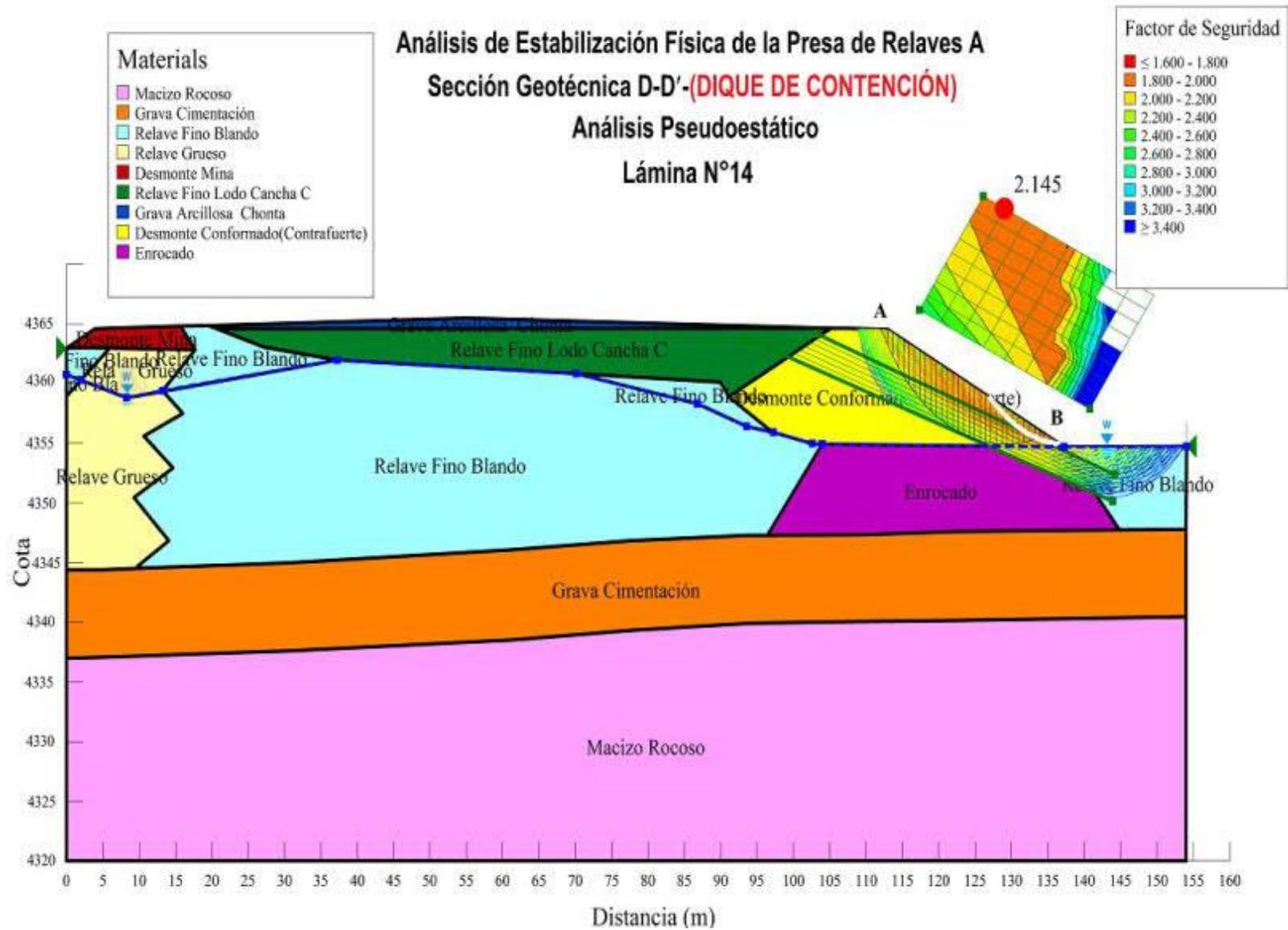


Análisis de Estabilización Física de la Presa relaves A Sección Geotécnica C-C'- Análisis Pseudoestático Lámina N°12

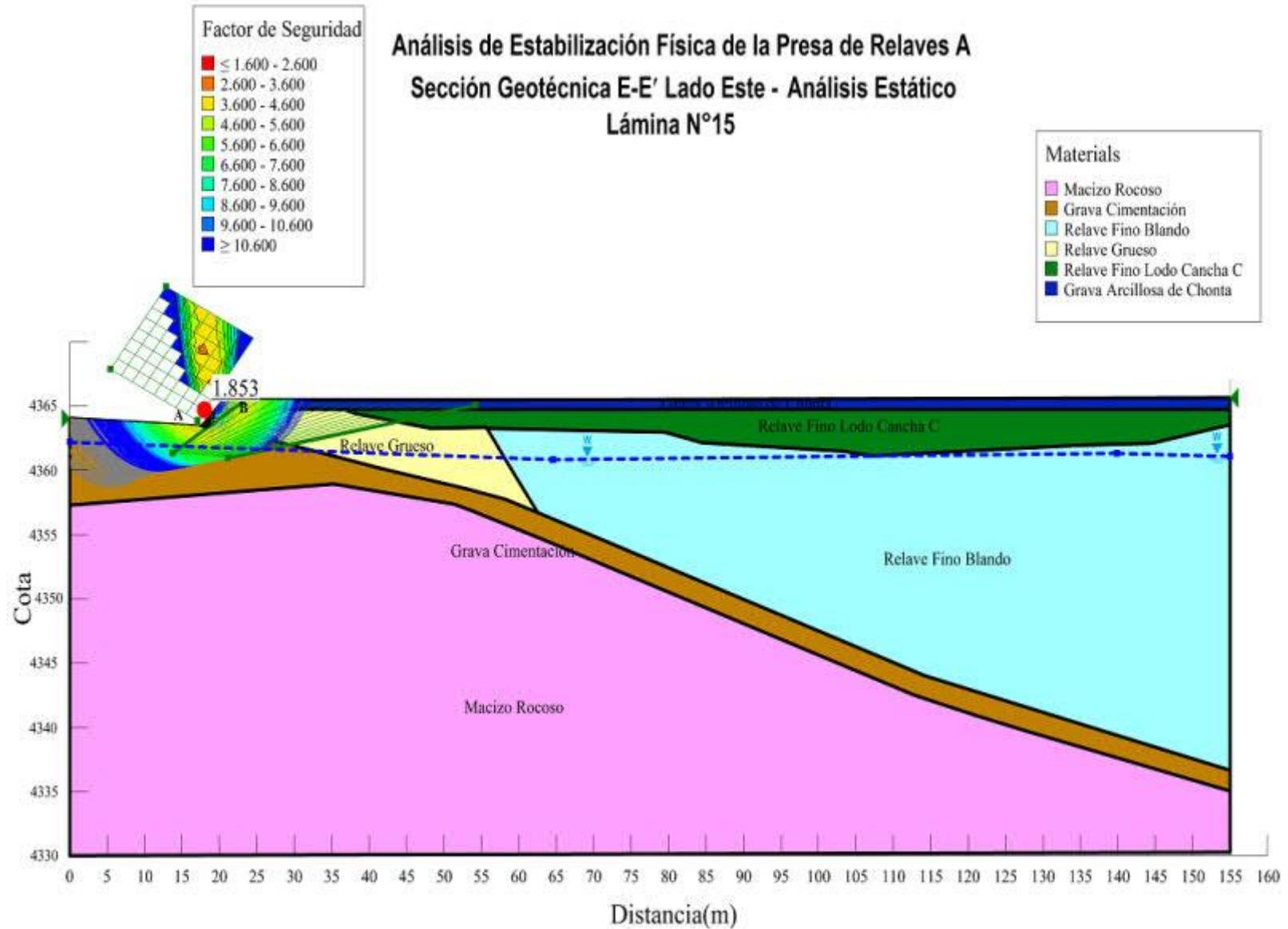


Análisis de Estabilización Física de la Presa relaves A
Sección Geotécnica D-D'-(DIQUE DE CONTENCIÓN)- Análisis Estático
Lámina N°13

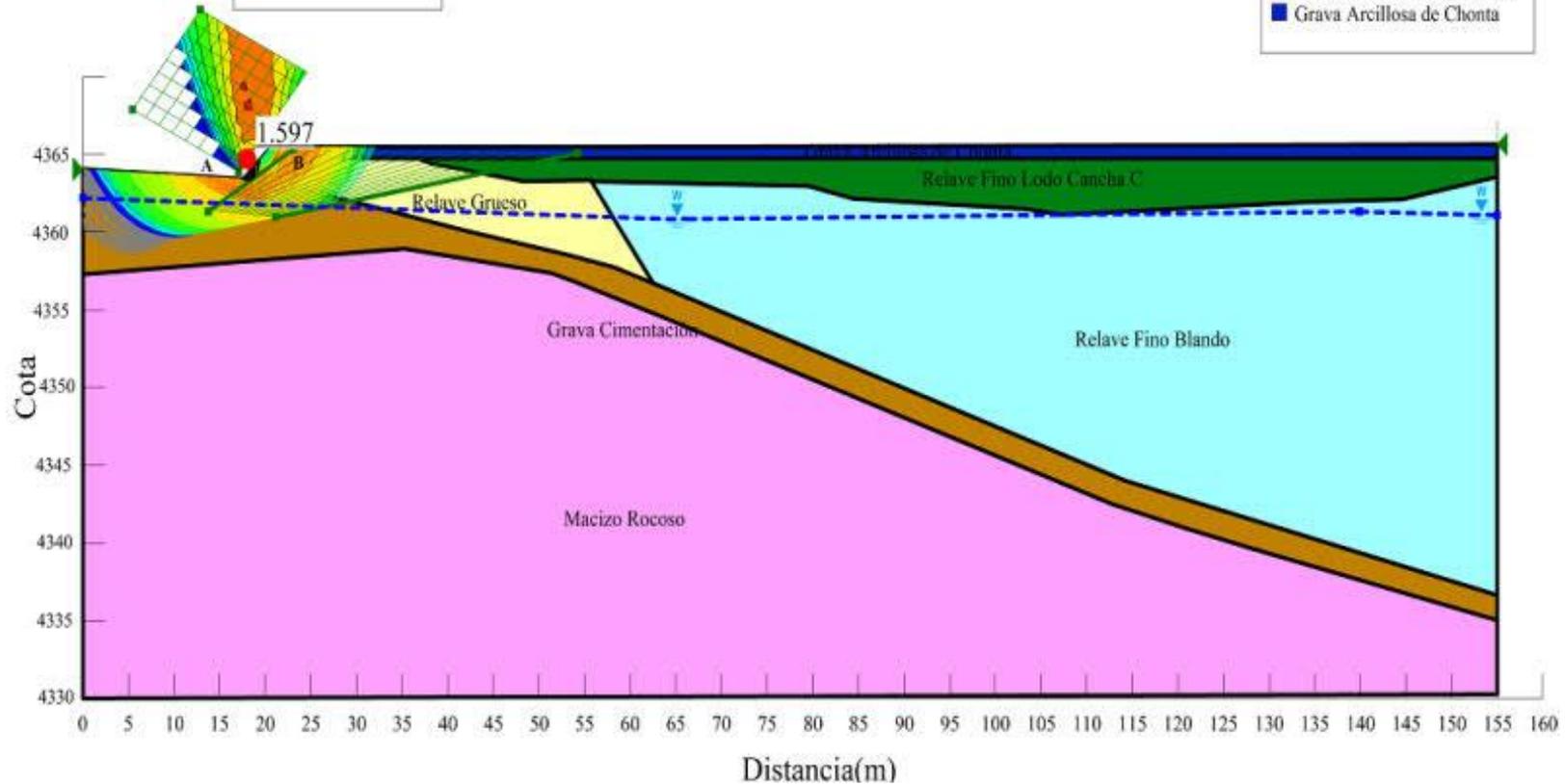
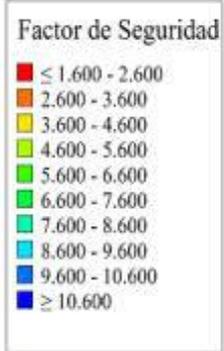




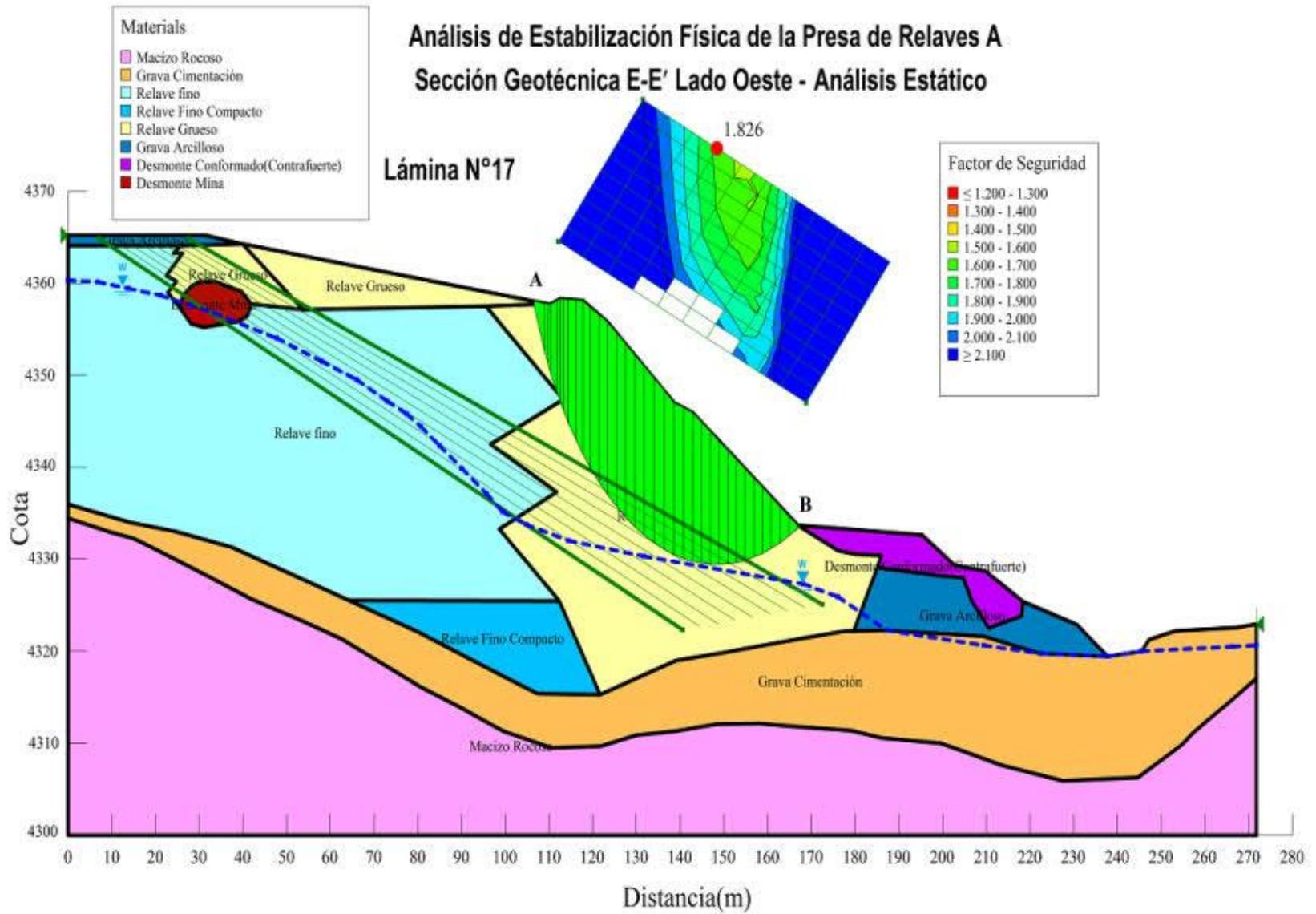
Análisis de Estabilización Física de la Presa de Relaves A Sección Geotécnica E-E' Lado Este - Análisis Estático Lámina N°15



Análisis de Estabilización Física de la Presa de Relaves A
Sección Geotécnica E-E' Lado Este - Análisis Pseudoestático
Lámina N°16

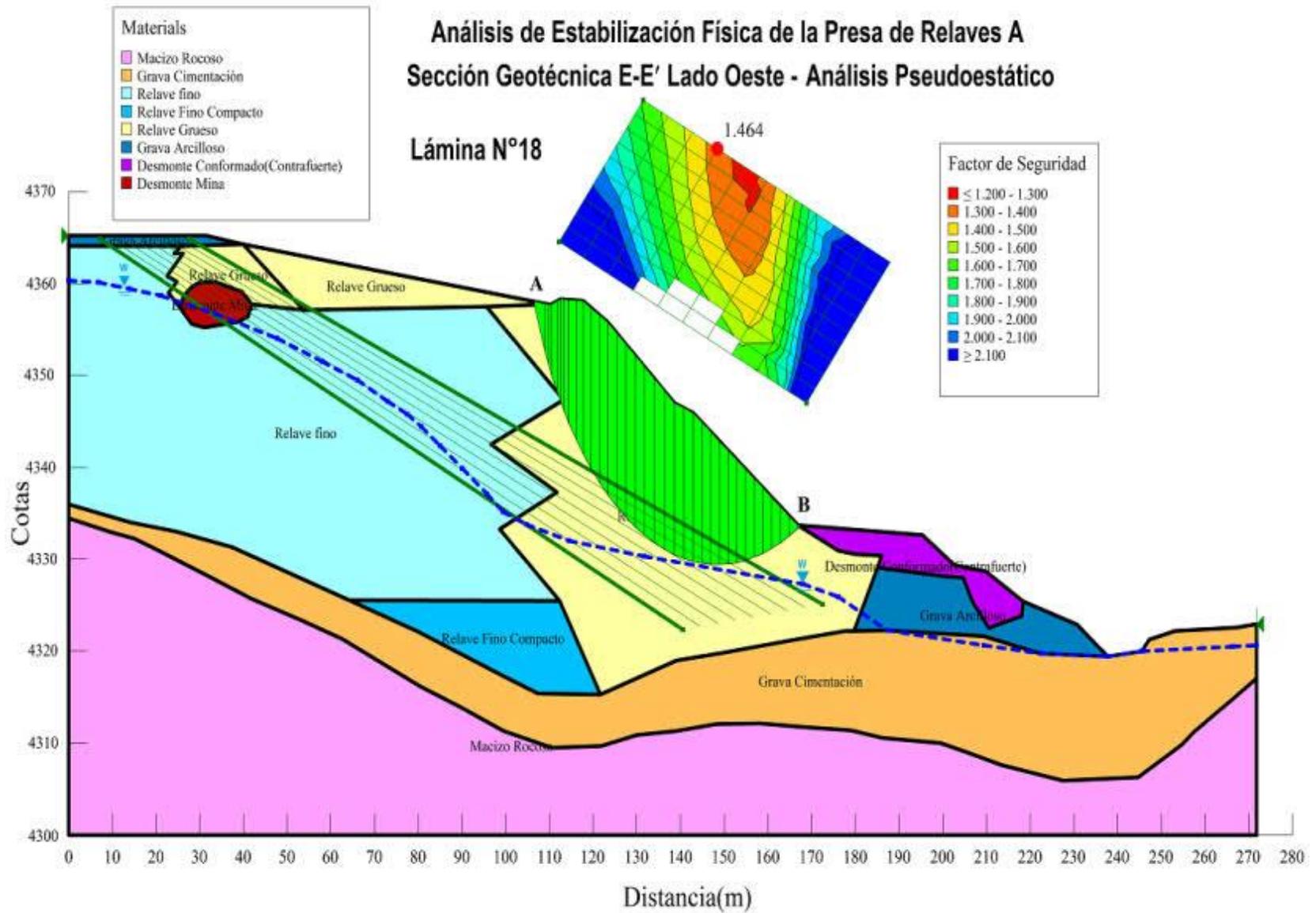


Análisis de Estabilización Física de la Presa de Relaves A Sección Geotécnica E-E' Lado Oeste - Análisis Estático



Análisis de Estabilización Física de la Presa de Relaves A Sección Geotécnica E-E' Lado Oeste - Análisis Pseudoestático

Lámina N°18



IV. DISCUSION

4.1 Análisis y Discusión de Resultados

Para el análisis estático y pseudoestático, se utilizó el método equilibrio limite, está contenido en el Programa de Geoestudio 2012 SLOPE/W (versión 8.0.1). Se efectúa el análisis estabilidad en condición desborde y después con la propuesta de estabilización física.

Análisis de estabilidad de la Relavera durante el fallo.

Los resultados de los factores de seguridad obtenidos para los taludes del sector Sur de la Relavera A en la condición (desborde lado sur), son todos mayores a 1.0 en la condición estática, presentando condiciones de estabilidad precaria en los taludes B-B y C-C, al obtenerse factores de seguridad de 1.158 y 1.054 respectivamente comparando con la DGAA.

Sin embargo, los factores de seguridad para condiciones pseudoestáticos están cercanos y por debajo de la unidad, lo que representa una condición potencialmente inestable para sismos de 100 años de periodo de retorno. Los valores obtenidos con el modelamiento estructural con SLOPE/W se comparan con la DGAA a continuación:

SECCION B-B': Según el análisis de modelamiento de la presa de relaves la sección geotécnica B-B' tiene los factores de seguridad $FS=1.16$ y $FS=0.95$ en condición estático y pseudoestático; por lo tanto, comparando estos valores con los FS mínimos exigidos por la DGAA ($FS=1.3$ y $FS=1.2$) se encuentra debajo, esta sección tiene una estabilidad precaria y potencialmente inestable para sismos con un período de retorno de 100 años.

SECCION C-C': Según el análisis de modelamiento de la presa de relaves la sección geotécnica C-C' tiene los factores de seguridad $FS=1.06$ y $FS=0.86$ en condición estático y pseudoestático; estos valores se encuentran por debajo de la sección B-B' y aun de los FS mínimos exigidos por la DGAA ($FS=1.3$ y $FS=1.2$), esta sección tiene una estabilidad muy precaria y potencialmente inestable para sismos con un período de retorno de 100 años.

SECCION D-D' lado Norte: La sección D-D' recorre el talud lado norte de la presa de relaves A hasta el talud sur de la zona de falla de la presa. Para el análisis de modelamiento del talud lado norte, este sector tiene los factores de seguridad $FS=2.48$ y

FS=1.78 en condición estático y pseudoestático. Estos valores comparando con los FS mínimos exigidos por la DGAA (FS=1.3 y FS=1.2) supera las recomendaciones. Por lo tanto, la sección D-D lado norte presenta una estabilidad adecuada.

SECCION D-D' lado sur: El análisis de estabilidad de la sección geotécnica D-D' lado sur corresponde a la zona de falla que un talud con material relave fino colgado en la zona de derrame, se realizó el modelamiento en condición estática tiene un **FS=1.24** y en condición pseudoestático tiene un **FS=1.09** representando una condición de estabilidad precaria y potencialmente inestables para sismos con un período de retorno de 100 años. Estos valores comparando con los FS mínimos de la **DGAA (FS=1.3 y FS=1.2)**, están por debajo. Por lo tanto, debido al riesgo que representa se debería realizar una propuesta de construcción de un dique de contención en esta sección D-D' lado sur, para mejorar la estabilidad precaria que tiene la Presa de Relaves.

Análisis de la presa de relaves con la propuesta de mejora en su estabilidad física.

Luego de haber realizado la propuesta de la construcción del dique de contención, se procede a realizar los cálculos de estabilidad por medio de los factores de seguridad. Realizado el cálculo de la estabilidad de todos los taludes perimetrales de la presa, dan como resultado que los factores de seguridad tanto para la condición estática como pseudoestática son todos similares o superiores a los mínimos sugeridos por la legislación vigente. Los valores obtenidos con el modelamiento estructural con SLOPE/W se comparan con la DGAA a continuación:

SECCION B-B': Se realizó el modelamiento del talud lado izquierdo después del diseño del dique de contención. Presenta 560 posibles superficies de deslizamiento, los puntos A y B indica la superficie de falla circular crítica estas se dividen en 33 dovelas con un radio de $R= 18.863$ m. Los FS para condición estática es FS=1.89 y para condición pseudoestática es FS=1.48. Al comparar con los valores del FS mínimo de la DGAA (FS=1.3 y FS=1.2), supera los valores. Por lo tanto, la sección B-B' presenta una estabilidad adecuada.

SECCION C-C': Se realizó el modelamiento del talud lado derecho después del diseño del dique de contención. Presenta 490 posibles superficies de deslizamiento, los puntos A y B indica la superficie de falla circular crítica estas se dividen en 33 dovelas

con un radio de $R= 15.914$ m. Los FS para condición estática es $FS=1.75$ y para condición pseudoestática es $FS=1.30$. Al comparar con los valores del FS mínimo de la DGAA ($FS=1.3$ y $FS=1.2$), se encuentran por encima del rango. Por lo tanto, la sección C-C' presenta condiciones de estabilidad adecuada en análisis estático y puede soportar sismos con período de retorno de 100 años.

SECCION D-D' (Lado sur - Dique de contención): Se realizó el modelamiento del talud del dique de contención que se ha construido en el lado sur de la presa de relaves A Presenta 550 posibles superficies de deslizamiento, los puntos A y B indica la superficie de falla circular crítica estas se dividen en 30 dovelas con un radio de $R= 18.87$ m. Los FS para condición estática es $FS=2.68$ y para condición pseudoestática es $FS=2.07$. Estos valores se encuentran por encima de los FS mínimo de la DGAA ($FS=1.3$ y $FS=1.2$). Por lo tanto, el dique de contención en el lado sur de la Presa de relaves analizado, presenta condiciones de estabilidad **adecuada y puede soportar sismos con período de retorno de 100 años.**

SECCION E-E' lado Este: El talud lado este. Presenta 510 posibles superficies de deslizamiento, los puntos A y B indica la superficie de falla circular crítica estas se dividen en 30 dovelas con un radio de $R= 2.41$ m. Los FS para condición estática es $FS=1.85$ y para condición pseudoestática es $FS=1.59$. Al comparar con los valores del FS mínimo de la DGAA ($FS=1.3$ y $FS=1.2$), se encuentran por encima del rango. Por lo tanto, la sección E-E' lado Este de la presa de relaves, presenta condiciones de estabilidad física adecuada en análisis estático y puede soportar sismos con período de retorno de 100 años.

SECCION E-E' lado Oeste: El talud lado oeste. Presenta 580 posibles superficies de deslizamiento, los puntos A y B indica la superficie de falla circular crítica estas se dividen en 36 dovelas con un radio de $R= 45.219$ m. Los FS para condición estática es $FS=1.83$ y para condición pseudoestática es $FS=1.46$. Al comparar con los valores del FS mínimo de la DGAA ($FS=1.3$ y $FS=1.2$), se encuentran por encima del rango. Por lo tanto, la sección E-E' lado Oeste de la presa de relaves, presenta condiciones de estabilidad física adecuada en análisis estático y puede soportar sismos con período de retorno de 100 años.

Por lo tanto, de acuerdo a los autores anteriores y el presente trabajo de investigación con la propuesta de mejora de la presa de relaves, busca disminuir los

riesgos ambientales y de seguridad en la gestión de una presa de relaves, reducir el comportamiento inestable y deficiente de la presa de relave en el lado sur de la falla.

Las causas posibles de fallas de la relaveras se deben a licuación estática, desbordamiento y inestabilidad de taludes que provocó desbordes no controlados de materiales contaminantes para el medio ambiente.

Es recomendable analizar y construir presas con el método aguas arriba debido a que presentan mayor estabilidad, en los trabajos de los autores muestran de presas de diferentes métodos de construcciones siendo estos depósitos potencialmente inestables y que desencadenaron en desbordes y fallos.

Cada presa difiere de otra a nivel local, nacional e internacional en aspectos de métodos de construcción, en volumen para contener fluidos, en tamaños, alturas del depósito, riesgos ambientales aledaños y cercanías a poblaciones o comunidades la ubicación de la presa, comportamientos inestables, la sismicidad de la zona, los métodos de instrumentación geotécnica en las presas, todas ellas generan fallas ahí está la diferencia de cada autor en sus investigaciones y en este caso se considera los estudios geotécnico y su modelamiento estructural con un fin de mejorar la propuesta de estabilidad de una presa de relaves.

Finalmente, la investigación coincide con los trabajos de los autores anteriores para mejorar una presa de relaves con los estudios geotécnico y el modelamiento estructural con fines de evitar fallos de las presas y disminuir contaminación por desbordes de estos residuos peligrosos.

V. CONCLUSIONES

- (1) Se determinó que la propuesta de mejora para una presa de relaves comprende en:
 - a) Realizar un estudio geotécnico para definir las propiedades físicas y mecánicas del suelo
 - b) Diseñar un modelamiento estructural para obtener los factores de seguridad de la estabilidad física de la presa de relave.

- (2) Se describió el estudio geotécnico el cual consistió en:
 - a) Realizar 06 pozos de perforación con sondajes SPT.
 - b) Determinar los materiales de la presa de relaves como son los siguientes:
 - Desmonte de mina contiene grava mal graduada (GP-GC)
 - Relave grueso contiene arena limosa (SM)
 - Relave fino contiene arcilla con arena (CL)
 - Suelo natural contiene grava mal graduada con arcilla (GP-GC)
 - Basamento rocoso abajo de la Presa contiene roca andesita.
 - c) Determinar las propiedades físicas y mecánicas como son la densidad, cohesión y ángulo de fricción.

- (3) Se describió el modelamiento estructural el cual consistió:
 - a) Realizar el análisis de estabilidad del dique de contención dando como resultado los factores de seguridad $FS=2.75$ y $FS=2.15$ para condición estática y pseudoestático, superando los valores de los FS mínimos de la Dirección General de Asuntos Ambientales (DGAA, Vol.XVI – 1998).
 - b) Cuantificar el desempeño de estabilidad estructural de la presa de relaves en 5 secciones: B-B; C-C; D-D; E-E al este y oeste, dando como resultado los factores de seguridad (FS) para la: condición estática: 1.87; 1.75; 2.75; 1.84 y 1.83; y para la condición pseudoestática: 1.48; 1.30; 2.15; 1.59 y 1.46. Siendo todos superiores a los mínimos sugeridos por la legislación vigente.

- (4) Se identificó los posibles impactos; el cual tenemos impactos positivos como:
- a) Aspecto económico: Con la construcción de la presa de relaves por el método aguas arriba será más duradero su uso y tendrá una menor falla por inestabilidad.
 - b) Aspecto social: Disponer los residuos mineros en las presas de relaves evita conflictos sociales por contaminación, además mejora la imagen y/o prestigio de una empresa minera siendo de socialmente responsable.
 - c) Aspecto Ambiental: la construcción de la relavera evita la contaminación del suelo, ríos y el aire, al dispuestos adecuadamente estos residuos mineros en la presa.

VI. RECOMENDACIONES

- (1) Realizar un estudio geotécnico a detalle antes de la ejecución de un proyecto porque como antecedente la Presa de relaves, indica que tenía una precaria cimentación su diseño, anterior en 2010 se realizaron estudios de Estabilidad de taludes los cuales tenían factores de seguridad (FS) por debajo de la legislación vigente, teniendo que ejecutar un contrafuerte de reforzamiento.

El estudio geotécnico de la Relavera estabilizada contiene un suelo arenoso limoso predominante (SM) siendo mayor la posibilidad de filtración. Se debe realizar un manejo y control de filtraciones agua puesto que todas las presas de tierra sufren filtraciones en el terraplén, la fundación, los estribos. Se debe diseñar para pre-venir: subpresiones excesivas, inestabilidad del talud aguas abajo y erosión interna.

- (2) En las presas de relaves se debe continuar con los estudios geotécnicos para verificar el desempeño de su estabilidad y monitorear los sistemas de instrumentación y control durante su operación: Presiones de poros, (presión del agua durante un sismo), los niveles freáticos (nivel de agua al interior del muro), desplazamientos y asentamientos, las filtraciones, aceleraciones sísmicas, con la finalidad de evitar inestabilidad de la presa.

- (3) Mejorar el alcance del Proyecto para cuantificar el desempeño de la estabilidad estructural de los factores de seguridad FS, puesto que, para la construcción del muro de contención, la distancia de las canteras para transportar material fueron superiores a 1.0km a lo indicado en las especificaciones del expediente, porque para la bolonería de Totorapampa la distancia fue de 5.5 km. y para los materiales granulares de la cantera Rublo fue de 1.5 km.

Al realizar el relleno de material en temporada de precipitaciones, se debe cubrir la plataforma con materiales apropiados para evitar la saturación.

- (4) Realizar las inspecciones periódicas y el monitoreo de la presa de relaves para detectar posibles fallas y evitar desbordamientos futuros generando consecuencias como problemas de contaminación e impactos negativos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abramson, L., Lee, T. y Sharma, S. (2019). *Slope stability and stabilization methods*. Catalunya, España: Wiley - Interscience.
<https://doi.org/10.1201/b17015-4>
- Aedo, D. & Jiménez, T.E. (2018). *Estabilidad de Taludes en Presas de tierra y enrocamiento*. México: Instituto Politécnico Nacional. Alva, E. (2000). Análisis de Estabilidad de Taludes. *UNI Facultad de Ingeniería Civil*, 25–30.
https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4828/319_ESTABILIDAD%20DE%20TALUDES%20EN%20PRESAS%20DE%20TIERRA%20Y%20ENROCAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alva, H. (2004). Diseño Sísmico de Presas de Tierra y Enrocado. *UNÍ Facultad de Ingeniería Civil*, 12–15.
https://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis30_a.pdf
- Alcántara, V. (2021). *Comportamiento hidráulico del subsistema de disposición de relaves: rougher scavenger tailings, tramo: planta concentradora - relavera lado norte, del proyecto cerro corona*. Tesis de Ingeniero Civil – Universidad Nacional de Cajamarca.
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/4267>
- Bazaraa, A. (1967). *Use of Standard Penetration Test for Estimating Settlement of Shallow Foundation son Sand*. University of Illinois.
https://doi.org/10.3208/sandf1972.24.4_58
- Bieniawski, Z.T. (1979). *The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications* (4th ISRM Congress). Switzerland: International Society for Rock Mechanic sand Rock Engineering.
<https://doi.org/10.14299/ijser.2020.04.06>
- Bishop, A.W. & Bjerrum, L. (1960). *The relevance of the triaxial test to the solution of stability problems*. New York: In Proc. ASCER search conference on the strength of cohesive soils. American Society of civil engineers.
https://sochige.cl/wp-content/uploads/2021/07/Paper-2-The_Relevance_of_the_Triaxial_Test_to_the_Solution_of_Stability_Problems1.pdf

- Bowles, J.E. (1996). *Foundation Analysis and Design*. McGraw–Hill–International Editions.
- <https://cequcest.files.wordpress.com/2015/09/je-bowles-isbn0071188444bowlesfoundationanalysisanddesign.pdf>
- Braja, D. (2001). *Principios de la Ingeniería de Cimentaciones*. México: Internacional Thomson Editores.
- https://www.academia.edu/18553128/Principios_De_Ingenier%C3%ADa_De_Cimentaciones_Braja_M_Das_4ta_Edici%C3%B3n
- Casagrande, A (1936). *Characteristics of Cohesion Less Soils Affecting the Stability of Slope sand Earth Fills*. Journal of the Boston Society of Civil Engineers, January; reprinted in Contributions to Soil Mechanics (1925–1940), the Boston Society of Civil Engineers.
- <https://doi.org/10.21236/ada394419>
- Castillo, L., Castillo, I. (2019). *Generación de mapas de peligro producido por la simulación del vertido de relaves de la rotura de la presa N° 4 en el distrito de Carmen de Atrato en el departamento de Chocó – Colombia*. Tesis Ingeniero Civil-UPC
- https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652388/Castillo_VL.pdf?sequence=3
- Davies, M. y Martin. (1986). *Licucción estática de relaves, historial y fundamentos*. Licuacion estatica de relaves.
- <https://doi.org/10.31692/2526-7701.iicointerpdvagro.2017.00337>
- Fernández, S. (2019). *Evaluación del fallo de presas de relaves con el método del árbol de fallos*. Tesis de Master, E.T.S.I. de Minas y Energía (UPM).
- <https://oa.upm.es/46944/>
- Gama, D. & Navarro, T.V. (2001). Innovadoras formas de abordar los problemas Ambientales en la Industria minera. *Universidad Agraria La Molina, Perú*.
- <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/fear-puj/20190717043539/flopez.pdf>
- García, S.C. & Torres, A.E. (2016). Los relaves mineros, su efecto en el ambiente y la salud, 3–6. Retrieved from
- http://conacin.upeu.edu.pe/wp-content/uploads/2014/10/CIn_3415.pdf

- Guzmán Martínez, Fredy (2022). *Evaluación de la peligrosidad de los elementos potencialmente tóxicos presentes en residuos mineros abandonados*. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. de Minas y Energía (UPM).
<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.71891>.
- Jiménez, A. (2020). *Identificar las causas de los impactos ambientales producidos por la actividad minera sobre los recursos hídricos que desembocan al Lago Titicaca – Puno*. Tesis Magíster en Políticas, Legislación y Gestión Ambiental- Universidad Paulo Freire.
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3083162>
- ICOLD (2021). Static liquefaction as possible explanation for the Merriespruit tailings dam failure, 10–25. Retrieved from
<https://doi.org/10.1139/t02-078>
- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall civil engineering and engineering mechanics series.
<https://doi.org/10.1190/1.9781560803300.refs>
- Liao, Rain Whitman. (1986). *Over burden Correction Factor for SPT in Sand*. Journal of Geotechnical Engineering American Society of Civil Engineers.
<https://doi.org/10.1061/9780784413272.002>
- Lopez. (2012). *Introducción al uso del programa Slope/w*. Córdoba. Retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/321319365_Introduccion_al_programa_SlopeW_2012
- Marcusen, W., Hynes, M.& Franklin, G, G. (1990). *Evaluation and Use of Residual Strength in Seismic Safety Analysis of Embankments*. Earthquake Spectra.
<https://doi.org/10.1193/1.1585586>
- Meyerhof. (1956). *Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesion Less Soils*. Journal of the Soils Mechanics and Foundations Division, ASCE.
<https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0000001>
- OEFA (2010). Acciones adoptadas, ante la emergencia ambiental, como consecuencia del derrame de relave minero en el río Opamayo Huancavelica.
<https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/Comisiones/2009/com2009pueandamaafram>

[beco.nsf/0/c8545de5926315dc0525775f00531e51/\\$FILE/Caso%20Huachocolpa%20-%20OEFA.pdf](https://beco.nsf/0/c8545de5926315dc0525775f00531e51/$FILE/Caso%20Huachocolpa%20-%20OEFA.pdf)

Oldecop, L. & Rodríguez, R. (2006). *Estabilidad y seguridad de depósitos de residuos mineros*. Instituto Geológico y Minero de España: Editores Rodríguez y García Inc.

https://www.academia.edu/36662974/Estabilidad_y_seguridad_de_dep%C3%B3sitos_de_residuos_mineros

Oldecop, L. & Rodríguez, R. (2016). *Licuefacción de los relaves minero*, 2–25. Retrieved from

https://www.researchgate.net/profile/Roberto_Lorenzo_Pacheco/publication/263704095_Mecanismos_de_fallas_de_las_presas_de_residuos_mineros/links/53d2871b0cf2a7fbb2e9a58b/Mecanismos-de-fallas-de-las-presas-de-residuos-mineros.pdf

Parra, M. & Seed, D. (1996). *Modelado Comportamiento Estático e Sísmico de Barragens de Terra* (Master's thesis). Brasil.

<https://core.ac.uk/download/pdf/154407662.pdf>

Peck. (1953). *Foundation Exploration—Denver Coliseum*. J Proceedings ASCE.

<https://doi.org/10.1061/AJGEB6.0000026>

Ruesta, J. & Alva, J. (1988). El coeficiente sísmico en el diseño de presas de tierra y de enrocado.

https://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis31_a.pdf

Skempton, A. (1986). *Standard Penetration Test Procedure and Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Over consolidation*. Geotechnique 36.

<https://doi.org/10.1680/geot.1986.36.3.425>

Tailings.info (2019). Presa de relaves mineros fallados en el mundo ,3–10. Retrieved from

<http://tailings.info/>.

Terzagui & Peck (1969). Application of composite slip surfaces for slope stability analysis. *European Conference on Stability of Earth Slopes*, 43–39.

<https://doi.org/10.4236/ojg.2019.911091>

- Terzagui, K. & Peck, R. (1948). *Soils Mechanics in Engineering Practice*. New York, USA: Wiley and Sons Inc.
<https://doi.org/10.1002/9781118280492.ch1>
- Van Zyl, D., Mac G & Robertson. (1980). Subsurface drainage of tailings impoundments. Geotechnical Engineering Program, Civil Engineering Department. Colorado.
<https://doi.org/10.1201/9781003079286-38>
- Vesic & Skempton. (1985). *Residual strength of clays in landslides, folded strata, and the laboratory*. Geotechnique.
<https://trid.trb.org/view/270203>
- Vick, S. G. (1990). *Planning Design and Analysis of Tailings Dams*. Canadá.
Witlow, R. & Tompson, A. (1994). *Análisis de la estabilidad de taludes*. Catalunya España: Sociedad Española de Geomorfología.
<https://www.redalyc.org/pdf/454/45437354007.pdf>

APÉNDICES Y ANEXOS

Anexo 1: Instrumentos de recolección de la información

PRESENTACIÓN A JUICIO DE EXPERTO

Estimado Validador:

Me es grato dirigirme a usted, a fin de solicitar su colaboración como experto para validar el instrumento que adjunto denominado:

Formato Registro de Perforación del tipo de Sondaje Wash Boring con SPT, diseñados por el alumno Br. Eder Jake Gamboa Peralta, cuyo propósito es conocer la opinión de un experto respecto a la gestión documentaria para el Estudio Geotécnico y Modelamiento Estructural de una Presa de Relaves para fines de Estabilidad Física, por cuanto considero que sus observaciones, apreciaciones y acertados aportes serán de utilidad.

El presente instrumento tiene como finalidad recoger información directa para la investigación que se realiza en los actuales momentos, titulado:

ESTUDIO GEOTÉCNICO Y MODELAMIENTO ESTRUCTURAL PARA UNA PROPUESTA DE MEJORA EN UNA PRESA DE RELAVES, HUANCVELICA – PERÚ 2022.

Tesis que será presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Católica de Trujillo – Benedicto XVI, como requisito para obtener el grado académico de:

Maestro en Ingeniería con mención en Gestión y Dirección de Proyectos.

Para efectuar la validación del instrumento, usted deberá leer cuidadosamente cada enunciado, en donde se realizará la anotación de acuerdo a los N° de golpes en el Ensayo de penetración Estándar SPT y se conseguirá muestras a determinadas profundidades para conocer el tipo de material del suelo, dando la respuesta al instrumento. Se le agradece cualquier sugerencia referente a redacción, contenido, pertinencia y congruencia u otro aspecto que se considere relevante para mejorar el mismo.

Gracias por su aporte.

Anexo 2: Consentimiento informado (Guía de observación)

REGISTRO DE PERFORACIÓN		SONDAJE:
UNIVERSIDAD CATOLICA DE TRUJILLO		HOJA: DE:
TESIS : <i>Estudio Geotécnico Y Modelamiento Estructural en un Proyecto de Estabilización Física de una Presa de Relaves, en la Region Huancavelica 2016-2020</i>		
TIPO DE SONDAJE : WASH BORING (con SPT)	COTA:	COORDENADAS:
REGISTRADO:	REVISADO:	FECHA
PROF. (m)	MUESTRA 0 10 20 30 40 50 60 Ensayo de Penetración Estándar (SPT) Golpes/30 cm (N)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION
0,0 1,0 2,0 3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0 9,0 10,0 11,0 12,0 13,0 14,0 : : : 50,0		

Evaluado por: Ms. Ing José Carlos Mendoza Barbaran
D.N.I.: 28305582
Fecha: 21/07/2022
Firma:

<h1>REGISTRO DE PERFORACIÓN</h1>		SONDAJE:
UNIVERSIDAD CATOLICA DE TRUJILLO		HOJA: DE:
TESIS : <i>Estudio Geotécnico Y Modelamiento Estructural en un Proyecto de Estabilización Física de una Presa de Relaves, en la Region Huancavelica 2016-2020</i>		
TIPO DE SONDAJE : WASH BORING (con SPT)	COTA:	COORDENADAS:
REGISTRADO :	REVISADO:	FECHA

PROF. (m)	MUESTRA	Ensayo de Penetración Estándar (SPT) Golpes/30 cm (N)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION
0,0		0 10 20 30 40 50 60	
1,0			
2,0			
3,0			
4,0			
5,0			
6,0			
7,0			
8,0			
9,0			
10,0			
11,0			
12,0			
13,0			
14,0			
...			
50,0			

Evaluado por: Ms. Ing. Jose Antonio Ravello Flores.
D.N.I.: 18217446
Fecha: 23/07/2022

Firma:



Ing. Jose Antonio Ravello Flores
 Ingeiero Consultor de Constrata
 Proyecto Quilbaruco - AAQ
 TROVOPUESTOS S.A.S.

<h1>REGISTRO DE PERFORACIÓN</h1>		SONDAJE:
UNIVERSIDAD CATOLICA DE TRUJILLO		HOJA: DE:
TESIS : <i>Estudio Geotécnico Y Modelamiento Estructural en un Proyecto de Estabilización Física de una Presa de Relaves, en la Region Huancavelica 2016-2020</i>		
TIPO DE SONDAJE : WASH BORING (con SPT)	COTA:	COORDENADAS:
REGISTRADO :	REVISADO:	FECHA

PROF. (m)	MUESTRA	Ensayo de Penetración Estándar (SPT) Golpes/30 cm (N)	DESCRIPCION Y CLASIFICACION
0,0	█		
1,0	█		
2,0	█		
3,0	█		
4,0	█		
5,0	█		
6,0	█		
7,0	█		
8,0	█		
9,0	█		
10,0	█		
11,0	█		
12,0	█		
13,0	█		
14,0	█		
...	█		
50,0	█		

Evaluado por: Ms. Ing. Laddy Tatiana Espejo Reyes
D.N.I.: 45812978
Fecha: 25/07/2022

Firma:




 MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE
HUANCAYO
 Ing. Laddy Tatiana Espejo Reyes
 "FRONTE DE SALUD Y GESTION AMBIENTAL"

Anexo 3: Matriz de categorías y subcategorías cualitativo

Variables	Categorías	Sub-Categorías	Indicadores	Definición Operacional	
ESTUDIO GEOTÉCNICO	Propiedades Físicas de la Relavera	Densidad relave Cohesión relave Angulo fricción	KN/m3 KPa grados (°)	Registro de entrada extraídos de pruebas con ensayos SPT y ensayos de laboratorio	Comprende realizar y describir el estudio geotécnico de campo en la Relavera, determinando sus propiedades físicas, con ello cuantificar su estabilidad estructural aplicando el uso de un Software de taludes ; para obtener los parámetros de factores de seguridad (F.S).
	Geometría del Dique de contención	Base Talud Altura	m H:V m	Registro de entrada de pruebas y ensayos de laboratorio	Para mejorar la estabilidad física de la Relavera se describirá el diseño de un dique de contención ,compuesto de material desmonte mina y enrocado
	Factor de Seguridad	Densidad desmonte mina Cohesión desmonte mina Angulo fricción	KN/m3 KPa grados (°)	Registro de entrada del Modelamiento Geotécnico de la Presa con Aplicación Software	A partir de las propiedades físicas se cuantificará la estabilidad estructural de la Presa con el modelamiento de un software
MODELAMIENTO ESTRUCTURAL	Factor de Seguridad FS>1 estable	Densidad relave Cohesión relave Angulo fricción	KN/m3 KPa grados (°)	Datos extraídos de monitoreo geotécnico y levantamiento topográfico	Se realiza y describe las investigaciones geotécnicas, para obtener las propiedades físicas de los materiales y los factores de seguridad(F.S)
	Factor de Seguridad del dique de contención FS>1 estable	Densidad desmonte mina Cohesión desmonte mina Angulo fricción	KN/m3 KPa grados (°)	Registro de los factores de seguridad del Modelamiento del Dique de contención	Para una propuesta de mejora de estabilidad física de un embalse de Relave se describirá el diseño de un dique contención ,compuesto de material desmonte mina y enrocado
	Superficie de falla	Esfuerzo de corte Esfuerzo resistente	KPa KPa	Modelamiento con software a partir de los datos extraídos de monitoreo geotécnico	A partir de las propiedades físicas se cuantificará y describirá la propuesta de mejora de la estabilidad estructural del embalse de relaves con el modelado de un software.

Anexo 4: Constancia emitida por la Institución donde se realiza el estudio

AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA Y/O INSTITUCIÓN

YoGILBER OSCAR GOMEZ TENORIO.....
(Nombre del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)

identificado con DNI 44291392, en mi calidad deREPRESENTANTE LEGAL.....
(Nombre del puesto del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)

del área deGERENCIA DE PROYECTOS.....
(Nombre del área de la empresa)

de la instituciónCONSORCIO CONTRATISTAS SAN CRISTOBAL.....
(Nombre de la empresa)

con R.U.C N°.....20574615942....., ubicada en la ciudad de ...HUAMANGA- AYACUCHO.....

OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al /la/s Sr(a/es)EDER JAKE GAMBOA PERALTA.....
(Nombre completo del o los estudiantes)

Identificado(s) con DNI N°...44952174, del Programa de Maestría en .. INGENIERÍA CON MENCIÓN EN DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS(indicar el nombre del programa), para que utilice la siguiente información de la empresa:

.....Documentos internos de la empresa, Memoria descriptiva de ejecución de proyectos

.....construcción y Guía de revisión bibliográfica de procesos, metodología de estudios geotécnicos y

.....herramientas de Modelamiento con el programa Geoestudio

.....;

(Detallar la información a entregar)

con la finalidad de que pueda desarrollar su () Informe estadístico, ()Trabajo de Investigación, (X)Tesis para optar el grado académico de Maestro/ Doctor.

(X) Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCT.

Indicar si el Representante que autoriza la información de la empresa, solicita mantener el nombre o cualquier distintivo de la empresa en reserva, marcando con una "X" la opción seleccionada.

() Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o
(X) Mencionar el nombre de la empresa.

CONSORCIO CONTRATISTAS
SAN CRISTOBAL
GILBER OSCAR GÓMEZ TENORIO
REPRESENTANTE LEGAL

Firma y sello del Representante Legal

DNI: 44291392

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.

Firma del Estudiante

DNI: 44952174

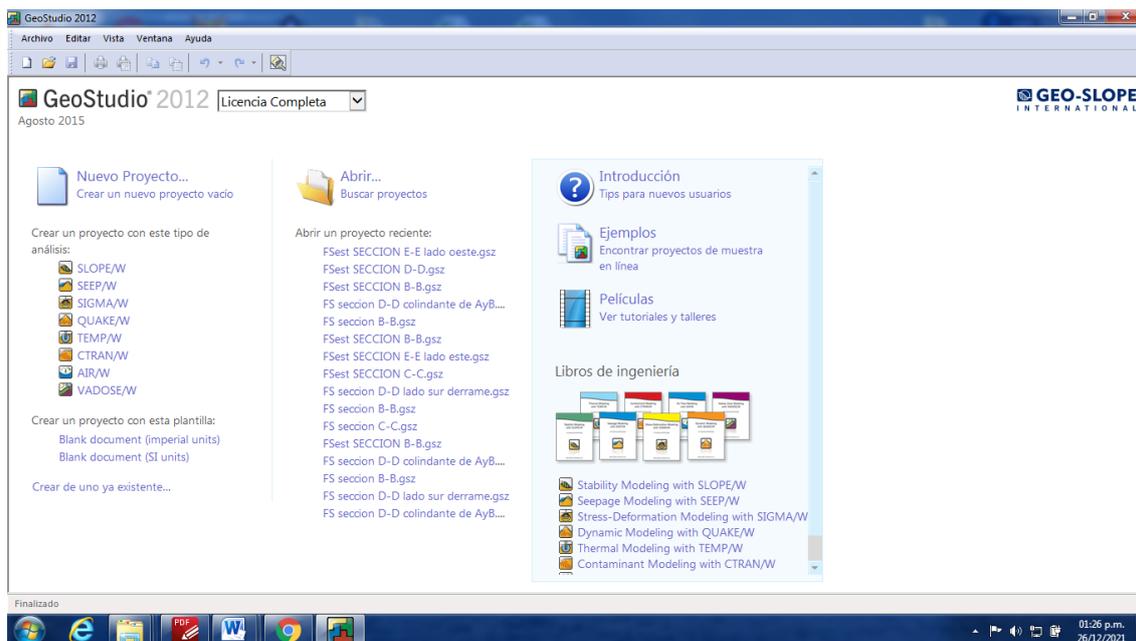
Otros anexos:

Ficha Técnica del Programa GeoStudio 2012

Desarrollador:	GEO-SLOPE International Ltd.
Licencia:	Shareware
Versión:	8.16.1
Categoría:	Diseño CAD
Sistema Operativo:	Windows XP//Vista/7/8/10
Idioma:	Ingles
Autor:	GeoStudio
Tamaño:	7.83Mb

Este programa fue creado originariamente por GEO-SLOPE International Ltd. Los nombres de archivo de instalación de la herramienta más comunes incluyen: GeoStudio 2012 v8.15.3.exe y GeoStudio.exe. GeoStudio 2012 es compatible con versiones de 32 bits de Windows XP/Vista/7/8/10. Las versiones 8.1 y 8.0 son las más descargadas por los usuarios del programa.

GeoStudio 2012 es un programa diseñado para resolver la estabilidad de taludes y análisis geotécnicos relacionados. También puede utilizarlo para el análisis de problemas de filtración en estado estacionario confinado y no confinado, de asentamiento lineal-elástico y problemas de distribución de tensiones, para rastrear contaminantes dentro del flujo de agua subterránea, para el análisis de problemas de congelación-descongelación y para la zona de vadosidad 1D. y análisis de cobertura del suelo.



Instrumento de objeto de aprendizaje abierto

Requisitos y otros requisitos

* Guía Ambiental para la Estabilidad de Taludes de Depósitos de Residuos Sólidos Provenientes de Actividades Mineras” del Ministerio de Energía y Minas (DGAA, Vol.XVI - 1998).

I.- Estudio Geotécnico

a. Insumos

El estudio de Mecánica de Suelos (ensayos de Perforación, recolección de muestras y posterior análisis de las propiedades mecánicas) y los registros de perforación de la zona de estudio.

b. Costo

El costo estimado es 15 % del presupuesto del proyecto que comprende para los estudios geotécnicos.

c. Tiempo

El tiempo que involucra en el uso de los recursos humanos y físicos es 1.5 meses que representa en el 25% del calendario y/o cronograma de ejecución del Proyecto, que comprende para los estudios geotécnicos.

II.- Modelamiento Estructural

a. Insumos

El Software GEO-SLOPE International Ltd. (análisis y modelamiento estructural en condiciones estática y pseudoestáticas) los datos de propiedades mecánicas del suelo y el Diseño CAD del levantamiento topográfico de la zona de estudio.

b. Costo

El costo estimado es 10 % del presupuesto del proyecto que comprende el modelamiento estructural.

c. Tiempo

El tiempo que involucra en el uso de los recursos humanos y físicos es 0.75 meses que representa en el 12.5% del calendario y/o cronograma de ejecución del Proyecto, que comprende para el modelamiento estructural.

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE LA GUIA DE REVISION
BIBLIOGRAFICA PARA EL ESTUDIO GEOTECNICO Y MODELAMIENTO
ESTRUCTURAL.**

Yo, José Ravello Flores, con Documento Nacional de Identidad N.º 18217446, de profesión Ingeniero Industrial, grado académico de maestro en Gerencia de Operaciones, con código de colegiatura 124115, labor que ejerzo actualmente como Administrador de Contrato Senior.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación el Instrumento denominado “Instrumento para la medición del Estudio geotécnico y Modelamiento Estructural”, cuyo propósito es medir la validez del instrumento, a los efectos de su aplicación para una propuesta de mejora de una presa de relaves.

Luego de hacer las observaciones pertinentes a los ítems, concluyo en las siguientes apreciaciones.

Observaciones (precisar si hay suficiencia): SI HAY SUFICIENCIA

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable

Aplicable después de corregir

No aplicable

Ms. Ing. José Ravello Flores.

DNI 18217446

Especialidad del validador: Gestión SST y Operaciones mineras.

Trujillo, 02 de agosto del 2022.

-
Firma del Experto Informante

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE LA GUIA DE REVISION
BIBLIOGRAFICA PARA EL ESTUDIO GEOTECNICO Y MODELAMIENTO
ESTRUCTURAL.**

Yo, Laddy Tatiana Espejo Reyes, con Documento Nacional de Identidad N.º 45812978, de profesión Ingeniero Químico, grado académico de maestro en Gestión Pública, con código de colegiatura 217247, labor que ejerzo actualmente como Administrador de Contrato Senior.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación el Instrumento denominado “Instrumento para la medición del Estudio geotécnico y Modelamiento Estructural”, cuyo propósito es medir la validez del instrumento, a los efectos de su aplicación para una propuesta de mejora de una presa de relaves.

Luego de hacer las observaciones pertinentes a los ítems, concluyo en las siguientes apreciaciones.

Observaciones (precisar si hay suficiencia): SI HAY SUFICIENCIA

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable

Aplicable después de corregir

No aplicable

Ms. Ing. Laddy Tatiana Espejo Reyes.

DNI 45812978

Especialidad del validador: Gestión Pública.

Trujillo, 04 de Agosto del 2022.



-
Firma del Experto Informante

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE LA GUIA DE REVISION
BIBLIOGRAFICA PARA EL ESTUDIO GEOTECNICO Y MODELAMIENTO
ESTRUCTURAL.**

Yo, Ing José Carlos Mendoza Barbaran, con Documento Nacional de Identidad N.º 28305582, de profesión Ingeniero Civil, con código de colegiatura 144145, labor que ejerzo actualmente como Administrador de Contrato Senior.

Por medio de la presente hago constar que he revisado con fines de Validación el Instrumento denominado “Instrumento para la medición del Estudio geotécnico y Modelamiento Estructural”, cuyo propósito es medir la validez del instrumento, a los efectos de su aplicación para una propuesta de mejora de una presa de relaves.

Luego de hacer las observaciones pertinentes a los ítems, concluyo en las siguientes apreciaciones.

Observaciones (precisar si hay suficiencia): SI HAY SUFICIENCIA

Opinión de aplicabilidad:

Aplicable [X] Aplicable después de corregir [] No aplicable []

Ms. Ing. José Carlos Mendoza Barbaran.

DNI 28305582

Especialidad del validador: Gestión de Proyectos.

Trujillo, 05 de Agosto del 2022.




-
Firma del Experto Informante