

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

Ingeniería del Recrecimiento de la Presa de Relaves para incrementar la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Lenin Jhervi ALVAREZ CARHUARICRA

Asesor:

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA

Cerro de Pasco – Perú – 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

Ingeniería del Recrecimiento de la Presa de Relaves para incrementar la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Joel Enrique OSCUVILCA TAPIA
PRESIDENTE

Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA
MIEMBRO

Mg. Wilfried Bryan PÉREZ PARRAGUEZ
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 063-2025

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Alvarez Carhuaricra Lenin Jhervi

Escuela de Formación Profesional
Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"Ingeniería del Recrecimiento de la Presa de Relaves para Incrementar la Capacidad de Almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C."

Asesor:

Ing. Julio César Santiago Rivera

Índice de Similitud: **28 %**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 18 de diciembre de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a toda mi familia, principalmente a mi madre por su apoyo incondicional y por ser una pieza muy importante en el desarrollo de mi carrera profesional. Así mismo, a Dios por haberme guiado y bendecido en cada paso que doy y en especial por brindarme mucha sabiduría en inteligencia; finalmente, a mis docentes por brindarme sus conocimientos y enseñanzas durante mi etapa universitaria.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión y a la Facultad de Ingeniería de Minas por brindarme una sólida formación profesional. Al Ing. Julio César Santiago Rivera por su valiosa asesoría, y a la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. por permitirme desarrollar esta investigación. A todos quienes me brindaron su ayuda y apoyo, muchas gracias.

RESUMEN

La presente investigación titulada “Ingeniería del Recrecimiento de la Presa de Relaves para Incrementar la Capacidad de Almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.” tiene como objetivo general evaluar técnicamente la viabilidad del recrecimiento de la presa El Porvenir, ubicada en Yauli, Junín, mediante un diseño geotécnico y estructural que garantice la estabilidad física y funcional del depósito de relaves hasta la elevación 4765 m.s.n.m.

El estudio contempla ensayos de laboratorio y de campo como perforaciones diamantinas, calicatas, ensayos geofísicos MASW, análisis triaxial, de permeabilidad y granulometría. Los resultados permitieron establecer parámetros de resistencia cortante adecuados (cohesión de 16–18 kPa y ángulo de fricción 35.8° – 38.5°) y confirmar la estabilidad del dique con factores de seguridad superiores a los mínimos establecidos (FS estático ≥ 1.5 , FS pseudo-estático ≥ 1.0).

El volumen adicional de almacenamiento logrado con el recrecimiento es de 17.31 millones de m³, asegurando la continuidad operativa de la mina sin expansión territorial. Se concluye que existe una correlación positiva y significativa entre las variables ingeniera de recrecimiento de la presa de relaves y la capacidad de almacenamiento. Por otro lado, el presente proyecto demuestra ser técnica, económica y ambientalmente viable.

Palabras Claves: relaves, estabilidad, recrecimiento, geotecnia, minería, almacenamiento

ABSTRACT

This research, entitled “Engineering for Raising the Tailings Dam to Increase Storage Capacity at the Doña Gloria Mining Company S.A.C.,” has the general objective of technically evaluating the feasibility of raising the El Porvenir dam, located in Yauli, Junín, through a geotechnical and structural design that guarantees the physical and functional stability of the tailing's storage facility up to an elevation of 4765 m.a.s.l.

The study includes laboratory and field tests such as diamond drilling, test pits, MASW geophysical tests, triaxial analysis, permeability analysis, and particle size distribution analysis. The results allowed for the establishment of adequate shear strength parameters (cohesion of 16–18 kPa and friction angle of 35.8° – 38.5°) and confirmed the stability of the dam with safety factors exceeding the established minimums (static FS ≥ 1.5 , pseudo-static FS ≥ 1.0).

The additional storage volume achieved with the tailings dam expansion is 17.31 million m³, ensuring the mine's continued operation without territorial expansion. It is concluded that there is a positive and significant correlation between the tailings dam expansion engineering variables and storage capacity. Furthermore, this project has proven to be technically, economically, and environmentally viable.

Keywords: tailings, stability, raising, geotechnics, mining, storage

INTRODUCCIÓN

La minería moderna enfrenta grandes desafíos relacionados con la gestión responsable de sus residuos. En este contexto, el almacenamiento de relaves constituye una de las operaciones más críticas dentro del ciclo de vida de una unidad minera. Las presas de relaves, además de representar una solución técnica para la disposición segura de estos residuos, deben cumplir con altos estándares de seguridad, eficiencia y sostenibilidad ambiental.

La Compañía Minera Doña Gloria S.A.C., consciente de la importancia de estos factores, ha proyectado el recrecimiento progresivo de su presa de relaves El Porvenir hasta alcanzar la cota final de 4765 m.s.n.m., con el objetivo de aumentar su capacidad de almacenamiento sin necesidad de ocupar nuevas áreas geográficas. Esta estrategia se basa en criterios técnicos rigurosos, respaldados por estudios geotécnicos, hidrológicos y sísmicos, que garanticen la estabilidad del dique y la seguridad de las operaciones.

La presente tesis desarrolla una investigación aplicada que integra conocimientos de ingeniería civil, geotecnia y gestión minera, con el fin de evaluar la viabilidad del recrecimiento desde una perspectiva técnica, económica y ambiental. En este trabajo se detallan los métodos empleados para la recolección y análisis de datos, los resultados obtenidos, así como una discusión fundamentada que permite validar la hipótesis planteada.

Asimismo, se espera que los hallazgos de este estudio sirvan como referencia para proyectos similares en otras operaciones mineras del país, contribuyendo a una minería más segura y sostenible.

De igual forma, este trabajo está dividido en dos secciones, y se organiza de la siguiente forma. La primera sección aborda los aspectos teóricos y se divide en tres capítulos; el capítulo I se refiere al planteamiento del problema, en el que se identifica el problema para posteriormente delimitar el presente trabajo y establecer el problema general y los problemas específicos. Basándose en estos problemas, se establecieron el objetivo general y los específicos. Para concluir el capítulo I, se justificó la investigación y se establecieron las restricciones del trabajo; el capítulo II se refiere al marco teórico.

La segunda sección corresponde al trabajo práctico, el cual se desarrolla en dos capítulos, en el capítulo 4 se presentarán las generalidades del proyecto donde se realizó el estudio.

Para finalizar el trabajo en la última parte están las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	2
1.2.1.	Delimitación espacial	2
1.2.2.	Delimitación temporal	3
1.2.3.	Delimitación temática.....	3
1.3.	Formulación del problema.....	3
1.3.1.	Problema general.....	3
1.3.2.	Problemas específicos	3
1.4.	Formulación de Objetivos	4
1.4.1.	Objetivo General	4
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	4
1.5.	Justificación de la investigación	4

1.6.	Limitaciones de la investigación	5
------	--	---

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	7
2.2.	Bases teóricas – científicas	15
2.3.	Definición de términos básicos	24
2.4.	Formulación de hipótesis.....	26
2.4.1.	Hipótesis general	26
2.4.2.	Hipótesis específicas	26
2.5.	Identificación de variables.....	26
2.5.1.	Variable independiente	26
2.5.2.	Variable dependiente.....	27
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores.....	27

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación	31
3.2.	Nivel de investigación.....	31
3.3.	Métodos de investigación.....	32
3.4.	Diseño de investigación	32
3.5.	Población y Muestra.....	33
3.5.1.	Población.....	33
3.5.2.	Muestra	33
3.6.	Técnicas e instrumento de recolección de datos	33

3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	34
3.8.	Tratamiento estadístico.....	34
3.9.	Orientación ética filosófica y epistémica	34

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	36
4.1.1.	Ubicación	37
4.1.2.	Accesos	39
4.1.3.	Trabajo de campo	40
4.1.4.	Sismicidad.....	42
4.1.5.	Ensayos Geofísicos MASW	43
4.1.6.	Perforaciones diamantinas.....	47
4.1.7.	Registros de Perforaciones	48
4.1.8.	Descripción Petrográfica.....	50
4.1.9.	Excavaciones.....	51
4.1.10.	Ensayos de Laboratorio de Rocas	51
4.1.11.	Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos.....	52
4.1.12.	Parámetros de Resistencia Cortante.....	57
4.1.13.	Análisis de Estabilidad	57
4.1.14.	Instrumentación y Monitoreo Geotécnico	58
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	59
4.3.	Prueba de hipótesis.....	60
4.4.	Discusión de resultados	62

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1. Matriz de Operacionalización de Variables.....	30
Tabla 2. Período de Retorno versus Aceleración Sísmica.....	43
Tabla 3. Velocidades de Onda de Corte (Vs) y Tipo de Terreno (Ref. IBC, 2009).....	44
Tabla 4. Profundidad Total de las Perforaciones.....	47
Tabla 5. Resumen de Interfase Relleno-Suelo-Roca	48
Tabla 6. Resistencia a la Compresión Simple y Calidad de Roca	52
Tabla 7. Resultados de Ensayos de Laboratorio Estándar – 2022	53
Tabla 8. Resultados de Ensayos de Laboratorio Especiales – 2022	54
Tabla 9. Resultados de Ensayos de Laboratorio – 2018	55
Tabla 10. Resultados de Ensayos de Laboratorio – 2007	56
Tabla 11. Parámetros de Resistencia Cortante	57
Tabla 12. Factores de Seguridad Admisibles	58
Tabla 13. Factor de Seguridad – Fase 3	58
Tabla 14. Prueba de correlación entre la ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves y la capacidad de almacenamiento.....	61
Tabla 15. Resumen de Resultados	64

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1. Objetivos de la ingeniería de detalle.....	20
Figura 2. Etapa en la fase de ingeniería de detalle de un proyecto	21
Figura 3. Pasos que se debe realizar en la etapa 1	22
Figura 4. Proceso que se debe realizar en la etapa 3	23
Figura 5. Ubicación del lugar de la investigación.....	38
Figura 6. Presa de relaves	39
Figura 7. Ubicación de presa de relaves el porvenir.....	40

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

En febrero 2007, se diseñó el depósito de relaves El Porvenir, la cual se encuentra cimentado sobre un extenso afloramiento de rocas volcánicas y conformado por una estructura de contención o dique principal con material de préstamo. La corona máxima de recrecimiento del dique de contención tendrá una altura de 67 metros, hasta la elevación 4765 m.s.n.m., la cual se encuentra aprobada en el Estudio de Impacto Ambiental de Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

En su primera etapa del proyecto, se ha construido el dique del depósito de relaves hasta la cota 4738 m.s.n.m., conformado con material de cantera identificado como gravas bien gradadas con arenas (GW) y gravas bien y mal gradadas con limos o arcillas (GWGM/GP-GC) debidamente seleccionado, conformado en capas de 0.40 m de espesor y compactado con rodillo para alcanzar las especificaciones técnicas del proyecto.

Las represas de relave se utilizan para almacenar el agua y los desechos derivados del proceso de extracción, el relave es un sólido finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. La minería de sulfuros de cobre extrae grandes cantidades de material (roca) del yacimiento que se explota. Donald East en su charla ante el Instituto de Ingenieros de Minas, las exigencias en la construcción de relaveras

en el Perú son muy altas, al punto que las empresas más especializadas en este tema están presentes en nuestro país

Tovar indica que las relaveras se construyen en función a los terrenos y a las condiciones geológicas. En la medida en que el área sea consistente, se obtiene la posibilidad de tener estructuras más amplias. Asimismo, el especialista indica que el desarrollo tecnológico permite lograr una recuperación más eficiente de agua en las relaveras y orientarlas a la operación minera. De esta manera, no tienen que recurrir a fuentes de agua naturales y no se perjudica a otros sectores intensivos como la agricultura o la ganadería, con lo que, a la vez, se evita generar suspicacias en la población.

El manejo de las relaveras es hoy un tema sumamente técnico, donde la seguridad es un factor clave. East comentó que estas estructuras no son baratas, aunque sí rentables, pues están bien diseñadas y construidas. En ese sentido, la minería moderna no repara en invertir en estas moles de ingeniería, a diferencia de prácticas antiguas en las que, por evitar costos, se dejaban estas estructuras en planos. “Más que un costo adicional, se trata de sostenibilidad” (East D, 2020).

Por ello, es fundamental realizar una ingeniería para la Fase 3 Etapas 3, 4 5 y 6, cada 5 metros hasta la elevación 4765, de la Presa de Relaves para Incrementar la Capacidad de Almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

1.2. Delimitación de la investigación

La presente investigación se enmarca en el análisis técnico del recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir, con el propósito de incrementar su capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. La investigación se limita a un enfoque aplicado, con diseño no experimental, nivel descriptivo- explicativo y orientación cuantitativa, basada en datos geotécnicos, estructurales y de estabilidad física del dique.

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrolla en la presa de relaves El Porvenir, ubicada en el

distrito de Yauli, provincia de Yauli, región Junín, en la unidad minera de la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. Las actividades de campo, ensayos y análisis técnicos se realizaron dentro del perímetro geográfico del depósito de relaves.

1.2.2. Delimitación temporal

El desarrollo de la investigación abarca el periodo comprendido entre enero y diciembre del año 2023, momento en el cual se ejecutaron las actividades de recopilación de datos, trabajo de campo, análisis de laboratorio y elaboración de propuestas de ingeniería para el recrecimiento.

1.2.3. Delimitación temática

La tesis se centra en la **ingeniería del recrecimiento de una presa de relaves**, abarcando aspectos de geotecnia, diseño estructural, estabilidad física, control de calidad y estimación de volumen de almacenamiento. Se excluyen aspectos operativos de planta, gestión ambiental integral y análisis financiero detallado.

1.3. Formulación del problema

Para realizar esta investigación tomaremos como muestra el depósito de relaves el Provenir. Por lo tanto, se podrá conocer y determinar que la ingeniería necesaria para la construcción del recrecimiento del depósito de relaves

1.3.1. Problema general

¿De qué manera la ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves incide en el incremento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas necesarias para el recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir que garanticen su estabilidad geotécnica y estructural en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.?
- b. ¿Qué volumen adicional de almacenamiento se obtiene con el recrecimiento hasta la cota 4765 m.s.n.m. en la Compañía Minera Doña

Gloria S.A.C.?

- c. ¿Qué sistema de control de calidad es aplicable para asegurar la ejecución adecuada del recrecimiento de la presa de relaves en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar cómo incide la ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves en el incremento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Determinar las especificaciones técnicas del diseño geotécnico y estructural del recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.
- b. Calcular el volumen de almacenamiento adicional generado por el recrecimiento hasta la cota 4765 m.s.n.m. en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.
- c. Proponer un sistema de control de calidad para garantizar la correcta ejecución del recrecimiento de la presa de relaves en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

1.5. Justificación de la investigación

El depósito de relaves Porvenir tiene una extensión de 120 hectáreas y fue diseñado en 2007 por el Ing. Abel Ordóñez hasta la cota 4765 m.s.n.m. para almacenar 70 millones de toneladas de relaves, con una vida útil de 40 años. El depósito de relaves Porvenir está conformado por una estructura de contención o dique principal de material de préstamo, cimentado sobre un extenso afloramiento de rocas volcánicas. La corona del dique de contención tendrá una altura final de 67 metros, hasta la elevación 4765 m.s.n.m.

La Fase 1 comprende la construcción del dique de contención hasta la cota

4738 msnm, los dos canales de coronación, en la margen izquierda y en la margen derecha, de 2,760 y 2,860 metros de longitud respectivamente. Para el drenaje de la cimentación se colocaron, dos líneas de drenes tipo “francés” que entregan las aguas a la poza de control de drenaje. El talud aguas arriba fue revestido con una capa de geomembrana de HDPE hasta una distancia hacia el vaso, de 60 metros del pie del talud aguas arriba.

En el año 2018-2019, OMINLA realizó el diseño y los estudios correspondientes a la Fase 1. Posteriormente, el proceso de construcción ha continuado con la ejecución de la Fase 2 hasta la cota actual 4745 m.s.n.m.

Dado el fundamento mencionado de este estudio, es una alternativa económicamente viable para incrementar la producción en el contexto de expansión de un depósito de relaves de una empresa minera. Teniendo en cuenta que las características geotécnicas facilitarán un control más riguroso y mejorará la seguridad ambiental del suelo, además de proteger la flora, la fauna y a la comunidad local.

Por lo tanto, cabe mencionar que las prácticas de minería responsable impulsarán el crecimiento económico de la región y el País. Así mismo, este estudio abarca información muy detallada e importante que permitirá un conocimiento más adecuado para diseñar la expansión de los depósitos de relaves, por ende favorecerá al sector minero.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las siguientes limitaciones surgieron durante la preparación del trabajo de investigación:

- Los miembros del equipo pertenecen a diferentes disciplinas y áreas, por lo que combinar la experiencia y el conocimiento en la gestión de proyectos ha creado un argumento que debe combinarse para un proyecto de tesis.
- Programar reuniones presenciales fue extremadamente difícil ya que los miembros no acordaron el mismo horario. Como tal, decidimos realizar una

reunión virtual, lo que resultó en una coordinación limitada.

Sin embargo, estas limitaciones fueron superadas por el autor de este estudio de investigación no solo investigo la literatura universitaria nacional, sino que también reviso literatura internacional. Independiente de estos el autor se desempeña y cuenta con experiencia en otros proyectos. Además, el estudiante de esta tesis participó en el diseño, investigación de ingeniería y construcción de la etapa 2 del recrecimiento.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

En este estudio se analizaron trabajos locales, nacionales e internacionales mediante un análisis retrospectivo que mantiene la validez de las conclusiones. Se seleccionaron diversos artículos relacionados con la materia para evitar malas interpretaciones de las investigaciones que se describen detalladamente a continuación:

Antecedentes internacionales

Se describen a continuación:

Título:	Design and Construction of a Tailings Dam over an Ancient Tailings Facility at La Parrilla Mine
Autor:	José Miguel Galera Fernando de la Fuente Juan García Manuel Calleja Vanessa Pozo
Fecha de publicación:	2021
Editorial:	Mine Water and the Environment
Tipo:	TECHNICAL ARTICLE
Resumen y conclusión:	La Parrilla is a tungsten and tin mine located in western Spain. The tailings facility has a total capacity for 3 Mm3 and will be executed in four different phases. The main constraint for the design and construction of the tailings dam is that it has been constructed over an existing one from the 1980s. The construction activities involved removal and substitution of the old tailings from the southern portion of the facility, ground improvement with gravel columns over an area of about 10,000 m2, and construction of the dyke's dam. This article describes the main design and construction aspects, including monitoring, until the dam's completion in June 2019.
URL:	https://web.archive.org/web/20210718070857id_/https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10230-021-00756-4.pdf?error=cookies_not_supported&code=9e5ad85b-8842-492e-8312-d1082f95e463
Título:	Mine tailings dams: Characteristics, failure, environmental impacts, and remediation
Autor:	D. Kossoff a b, W.E. Dubbin b, M. Alfredsson c, S.J. Edwards d, M.G. Macklin e f, K.A. Hudson-Edwards
Fecha de publicación:	2014
Editorial:	ScienceDirect
Tipo:	ARTICLE
Resumen y conclusión:	On a global scale demand for the products of the extractive industries is ever increasing. Extraction of the targeted resource results in the concurrent production of a significant volume of waste material, including tailings, which are mixtures of crushed rock and processing fluids from mills, washeries or concentrators that remain after the extraction of economic metals, minerals, mineral fuels or coal. The volume of tailings is normally far in excess of the liberated resource, and the tailings often contain potentially hazardous contaminants. A priority for a reasonable and responsible mining organization must be to proactively isolate the tailings so as to forestall them from entering groundwaters, rivers, lakes and the wind. There

	is ample evidence that, should such tailings enter these environments they may contaminate food chains and drinking water. Furthermore, the tailings undergo physical and chemical change after they have been deposited. The chemical changes are most often a function of exposure to atmospheric oxidation and tends to make previously, perhaps safely held contaminants mobile and available. If the tailings are stored under water, contact with the atmosphere is substantially reduced, thereby forestalling oxygen-mediated chemical change. It is therefore accepted practice for tailings to be stored in isolated impoundments under water and behind dams. However, these dams frequently fail, releasing enormous quantities of tailings into river catchments. These accidents pose a serious threat to animal and human health and are of concern for extractive industries and the wider community. It is therefore of importance to understand the nature of the material held within these dams, what best safety practice is for these structures and, should the worst happen, what adverse effects such accidents might have on the wider environment and how these might be mitigated. This paper reviews these factors, covering the characteristics, types and magnitudes, environmental impacts, and remediation of mine tailings dam failures
URI :	https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0883292714002212
Título:	A new look at the statistics of tailings dam failures
Autor:	Luca Piciullo, Erlend Briseid Storrosten, Zhongqiang Liu, Farrokh Nadim, Suzanne Lacasse
Fecha de publicación:	2022
Editorial:	ScienceDirect
Tipo:	ARTICLE
Resumen y conclusión:	Tailings dams are commonly built incrementally to increase the storage capacity of the Tailings Storage Facility (TSF), usually without interrupting the mining activities. Dam management practices, lack of knowledge on tailings behaviour and the poor performance of monitoring and management processes have resulted in disastrous tailings dam failures with human and economic losses, as well as huge environmental consequences to ecosystems and local communities. In the literature, correlation analyses have been carried out considering different variables: stored volume, released volume, runout distance, dam height, peak discharge. Several

databases of tailings dam failure are available online, each with different levels of detail. This paper computes the statistics of tailings dam failures using an up-to-date database on failures and a catalogue of existing TSF. The existing correlations between stored and released volumes have been verified using a larger database. The new proposed regression analysis considers the functional relationship between released volume and characteristics of the dam such as height and stored volume (i.e., dam factor). The effect of construction type, fill material and failure mode on the released volume has also been evaluated as well as the frequency of tailings dam failure as function of the construction method. Tailing dams built using the upstream construction method turn out to be more prone to failure, and more susceptible to static and dynamic liquefaction. The new correlation provides more reliable estimates of the expected released volume as a function of dam height and stored volume and should prove useful for runout analyses and risk assessment of tailings dam failure. Finally, the analyses carried out show that there is no correlation between the water pond extension and the released volume.

IIRI : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013795222001429>

Antecedentes nacionales

Se describen a continuación:

Ingeniería de detalle para el recrecimiento del depósito de relaves la Esperanza – Vitoc – Chanchamayo – Junín	
Autor:	Rodríguez Uchuypoma, Gonzalo
Fecha de publicación:	2021
Editorial:	Universidad Peruana Los Andes
Tipo:	Tesis
Resumen y conclusión:	El presente informe técnico parte de la problemática: ¿Cómo interviene la Ingeniería de Detalle en el Recrecimiento del Depósito de relaves: La Esperanza – Vitoc – Chanchamayo – Junín 2017? Teniendo como el objetivo principal que consiste en: Determinar cómo interviene la Ingeniería de Detalle en el Recrecimiento del Depósito de relaves: La Esperanza – Vitoc – Chanchamayo – Junín 2017. El tipo de investigación es Aplicada, nivel Descriptiva, diseño de investigación: Experimental. Desde el año 1998, SIMSA viene operando el actual depósito de relaves La Esperanza y debido a la

	proximidad en alcanzar la cota máxima aprobada del depósito (952 msnm), ha visto por conveniente ampliar su capacidad de almacenamiento mediante el recrecimiento del depósito hasta la cota 955.6 msnm, el cual representa un crecimiento en altura del 10%. Teniendo como principal conclusión del presente informe técnico, que después de haber realizado el proyecto, tomando en cuenta la ingeniería de detalle propuesta para el recrecimiento del dique principal y estructuras que complementan dicho crecimiento con la finalidad de incrementar la altura actual del depósito de relaves "la Esperanza" hasta en un 10% así como la capacidad de almacenamiento actual del depósito se concluye que se logra aumentar la capacidad de almacenamiento del depósito de relaves la esperanza.
URL:	https://hdl.handle.net/20.500.12848/2148
Título:	Ingeniería de detalle del canal de coronación de operación del depósito de relaves de Atacocha Cota 4 155 m.s.n.m.
Autor:	Chávez García, Edgar Ivan
Fecha de publicación:	2021
Editorial:	Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo
Tipo:	Tesis
Resumen y conclusión:	Se ha elaborado este informe siguiendo los compromisos indicados en la propuesta N°1826940, y los requerimientos solicitados por Cía. Minera Atacocha S.A.A. – Unidad Minera Atacocha (en adelante "CMA") para realizar el estudio: Ingeniería de Detalle del Canal de Coronación de Operación del Depósito de Relaves Atacocha cota 4 155 msnm. En esta ingeniería se desarrollará el manejo de aguas para la operación del depósito de relaves Atacocha a la cota 4 155 msnm, el cual consistirá en el diseño geométrico del canal de coronación a dicha cota, con sus correspondientes accesos de construcción y operación, además de las obras complementarias como estructuras de cruce, captaciones y descargas, según se requiera, y que conectará con las estructuras diseñadas para el manejo de aguas del depósito de desmonte Atacocha, ingeniería desarrollada por Ausencio en 2018.
URL:	https://hdl.handle.net/20.500.12893/10498

TÍTULO: Diseño de recrecimiento de la presa de relaves de la unidad de producción Untuca - Minera Cori Puno SAC

Autor:	Apaza Quispe, Sixto Ciriaco
Fecha de publicación:	2019
Editorial:	Universidad Nacional del Altiplano
Tipo:	Tesis
Resumen y conclusión:	El proyecto de recrecimiento del depósito de relaves de la unidad de producción Untuca-minera Cori Puno SAC se ha diseñado para ampliar la capacidad de almacenamiento en el área disponible de 550,000 m³ de relave, para minimizar el volumen de relleno y las áreas a afectar, debido al reducido espacio que se dispone, por ello se propone la construcción de un muro reforzado de 11m de altura, de las cuales 6m corresponde a estructura de recrecimiento y los 5m restantes a la ampliación de la corona, La estructura de recrecimiento tiene el objetivo principal de contener los relaves depositados de manera estable desde punto de vista físico y químico. El costo total de CAPEX de US\$ 2 572,580,00 cuyos componentes estarán conformados por: Ampliación de corona, estructura de recrecimiento, sistema de impermeabilización, sistema de evacuación de aguas de pontaje o espejo de agua en los relaves. El método de trabajo es; ampliación de corona, muro terramesh con cara de 5m, excavación para la ampliación de la corona, estructura de recrecimiento con muro terramesh con sistema de doble cara de 6m, sistema de impermeabilización, sistema de evacuación de aguas de pontaje, diseño contra desbordamiento y diseño contra deslizamiento. Finalmente se concluye que los parámetros para el diseño recrecimiento del depósito de relaves están considerados a partir de corana de recrecimiento, cota 4 326 msnm cuyos datos técnicos son: ancho de la corona de la presa proyectada es de 7.80 m., el borde mínimo operacional de la presa es de 1.00 m. el coeficiente sísmico para análisis sísmico: 0.12 g, la densidad de relaves secas depositadas: 1.20 Ton/m³.
<u>URL:</u>	http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/10713

Antecedentes locales

Se realizó una búsqueda exhaustiva en el repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, donde se identificaron investigaciones vinculadas directamente con el objeto del presente estudio.

Título:	Aumento de la vida útil de relavera mediante la evaluación de costos unitarios en el sistema de relleno hidráulico en la Mina Animón – Compañía Minera Chungar S.A.C.
Autor:	Meza Samaniego, Joseph Anderson
Fecha de publicación:	2022
Editorial:	Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Tipo:	Tesis
Resumen y conclusión:	El tema de mi investigación que lleva por título "Aumento de la vida útil de relavera mediante la evaluación de costos unitarios en el sistema de relleno hidráulico en la Mina Animón – Compañía Minera Chungar S.A.C." se ha desarrollado dentro del marco científico de un trabajo de investigación. Nos trazamos como objetivo Incrementar la vida útil de la relavera para evitar problemas en el futuro, en la "Mina Animón - Compañía Minera Chungar S.A.C." La investigación está definida como un trabajo aplicado, con un nivel descriptivo explicativo; empleando el método científico y los métodos inductivo y analítico, el diseño es el no experimental transversal Dentro de las conclusiones que llegamos son las siguientes: - Para determinar la vida útil de la relavera en función del relleno hidráulico, primeramente, se ha tenido que realizar varias acciones o actividades que nos indica las condiciones del lugar donde se halla la relavera, estos aspectos fueron los aspectos físicos de la zona, topografía, fisiografía, geología, geomorfología, sismicidad, rasgos naturales, climatología. - Se evaluó las condiciones físicas de la relavera para ver el estado en la que se encontraba, para lo cual se realizó una evaluación geotecnia, toma de muestras, evaluación física, verificación de la construcción de la relavera. - Se optó por realizar un recrecimiento de la relavera, por las condiciones topográficas, de espacio, no afectar a las áreas circundantes; lo que nos permitirá aumentar la vida útil de la relavera y que estará en relación al uso del relleno hidráulico para rellenar las labores vacías. Los costos que significa prolongar la vida de la relavera, mediante el recrecimiento fueron: costos de construcción del recrecimiento 15,000,000 \$ y los costos operativos fue de 9.736 \$/m³ Las principales características de la relavera encontradas en el estudio fueron: - Volumen creado = 1,600,000 m³ - costo de relave en cancha = 9.376 \$/m³ - Costo de bombeo = 0.391 \$/m³ - Bombeo promedio mensual a la relavera = 48,064 m³/mes - Bombeo mensual optimizado a la relavera = 39,994 m³/mes - Incremento de R/H a la mina = 8,070 m³/mes - Vida útil de la relavera = 3 años y 4 meses

URI :	http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2965
Título:	Construcción del recrecimiento del depósito de relaves Animón, etapa II a la cota 4621 m.s.n.m. para el control de contaminación ambiental en la compañía minera Chungar S.A.C. – Pasco – 2017
Autor:	Cristóbal Damaso, Elvys Renee
Fecha de publicación:	2018
Editorial:	Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
Tipo:	Tesis
Resumen y conclusión:	En el 2000, Volcan adquirió la Empresa Administradora Chungar S.A.C. y la Empresa Explotadora de Vinchos Ltda. S.A.C., las que eran propietarias de las minas Animón y Vinchos, respectivamente, por un precio de USD 20 mm en efectivo más 16 millones de acciones clase B de Volcan. Esta adquisición incluyó las centrales hidroeléctricas Françoise y San José II, las cuales generan en conjunto 2,2 MW., en el 2004 se iniciaron las operaciones en la mina de plata Vinchos. Asimismo, se adquirieron las centrales hidroeléctricas baños I, II, III Y IV y la central hidroeléctrica de Chicrín que en su conjunto generan 7,5 MW., durante el 2006, Volcan adquirió la Empresa Minera Santa Clara y Llacsacocha S.A., propietaria de la mina Zoraida. Un año después, adquirió la Compañía Minera El Pilar, propietaria de la mina El Pilar, contigua a la mina y tajo de Cerro de Pasco. En el 2009, Empresa Administradora Chungar S.A.C. concluyó la construcción de la central hidroeléctrica baños IV, lo que permitió a Volcan sumar en ese entonces un total de 13 MW de potencia instalada. Luego, en el 2010, Volcan adquirió la Compañía Minera San Sebastián, cuyas concesiones mineras se ubican también en las cercanías de Cerro de Pasco. En enero de 2011, se aprobó la reorganización simple de la Unidad Minera Cerro de Pasco. Como resultado, esta división pasó a llamarse Empresa Administradora Cerro S.A.C. y se convirtió en una subsidiaria de Volcán Compañía Minera S.A.A. el objetivo de la reorganización era conseguir que cada unidad minera se gestione de forma independiente. Más adelante, en enero de 2012, en el marco de una emisión internacional de bonos bajo la regla 144a y la regulación de la United States Securities Act de 1933, Volcan colocó bonos corporativos hasta por USD 600 MM por un plazo de 10 años y a una tasa fija de 5,375 %. Esta emisión tuvo como finalidad asegurar el financiamiento de futuros proyectos de crecimiento, tales como la planta de
	óxidos en Cerro de Pasco y la nueva unidad operativa Alpacar
URL:	http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/774

2.2. Bases teóricas – científicas

Pérez (2016) identifica como materia prima a los elementos extraídos de la naturaleza que son transformados en materiales para la fabricación de bienes de consumo finales. La extracción de minerales, requiere de procedimientos tan diversos, tales como el desbroce, producción de desmonte, transporte interno de minerales y su consecuente tratamiento y disposición de relaves, almacenamiento y operaciones auxiliares.

(Aznar J. 2010), afirma que, “de los minerales y las rocas, obtenemos muchas de las materias primas que utiliza el hombre. Estos minerales útiles o minerales de interés económico, los podemos clasificar como: Minerales metálicos; los cuales, además de los elementos nativos, como el oro y la plata, son importantes, como materia prima para la industria.

Los relaves son el producto residual obtenido después del tratamiento de recuperación. Según Cabrejos (2011), la gestión integral de relaves espesados, que incluye su caracterización reológica, constituye la solución tecnológica para el control de impactos ambientales negativos. Esta metodología resuelve problemas como la baja disponibilidad hídrica en zonas áridas, la inestabilidad de las presas por licuefacción, la limitación de espacio para almacenamiento y la generación de aguas ácidas."

Depósito de relave

Espacio designado para el depósito de residuos mineros con el fin de gestionar y prevenir daños al entorno natural. Según SERNAGEOMIN (2018), esta infraestructura garantiza el control de los materiales producidos por la actividad minera sobre el ecosistema."

Relave

Es el material con muy baja concentración de mineral de interés económico que se produce en los procesos de extracción y recuperación. Se obtiene en partículas finas y debe ser depositado de forma segura en un área específica, debido a los

posibles daños que podría ocasionar al medio ambiente (SERNAGEOMIN, 2018).

Disposición de relaves:

Respecto a las modalidades de depósito, Abraao (1987) señala que los relaves pueden ser evacuados desde la unidad de beneficio en tres formas: sólida, pasta a granel o pulpa (mezcla de agua y sólidos). En el primer escenario, el transporte se realiza por vía terrestre mediante camiones; en el segundo y tercer caso, se emplean tuberías a través de bombeo o gravedad, siendo este último el método más frecuente debido a su eficiencia económica.

Finalmente, la disposición de estos residuos puede efectuarse en superficie, cavidades subterráneas o ambientes subacuáticos.

Tipos de relave

- a) Relave espesado: Al relave obtenido por los procesos realizados por la planta, se le añade un material espesador el cual ayuda con la sedimentación de sólidos, con el fin de eliminar el agua, aumentar su densidad, y darle una mayor estabilidad en apilamientos con mayor pendiente
- b) Relave Filtrado: Similar al espesado, siendo una característica la presencia de menos agua, por el proceso de filtrado generando contenido de humedad de <20%.
- c) Relave en pasta: Buscando una consistencia homogénea y espesa, se mezcla poca agua con el sólido y se obtiene partículas finas con un bajocontenido de agua. Este tipo de relave es parecido a una pulpa de alta densidad. (SERNAGEOMIN, 2018).

Recrecimiento de la presa

Según Kossoff, Dubbin y Alfredsson (2014), los relaves son mezclas de roca triturada y fluidos de procesamiento provenientes de molinos o concentradores, generados tras la extracción de minerales, metales o combustibles. El término es de carácter genérico, ya que abarca subproductos de diversas industrias, como las de aluminio, carbón, arenas petrolíferas y metales preciosos.

Por su parte, Thygesen (2017) sostiene que la mayoría de las instalaciones de almacenamiento se diseñan utilizando los propios relaves como soporte estructural. Estas presas pueden alcanzar dimensiones monumentales, comparables a lagos, con alturas de hasta 300 metros. En este proceso, mientras los sólidos se sedimentan en el fondo, el agua es reciclada para su reutilización en la planta (Industrial, 2021).

Finalmente, respecto a la gestión de estos residuos, Kossoff et al. (2014) identifican enfoques que van desde la eliminación fluvial y submarina hasta el apilamiento en seco. No obstante, el método predominante en la gran minería actual es el almacenamiento en estanques o presas de relaves.

Propósito de los relaves

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2014) el propósito último de un depósito de relaves es contener relaves de grano fino, a menudo con un depósito secundario o Co-propósito de conservar agua para uso en mina y molino.

Esto debe lograrse de una manera rentable de manera que proporciona la estabilidad a largo plazo de la estructura del terraplén y los relaves incautados y la protección del medio ambiente a largo plazo.

Talud

Cumulo de tierra, que presenta una pendiente, formado artificialmente con el fin de no fallar ante cambios topográficos, presencia de aguas subterráneas, nivel de sismicidad. Existiendo 3 tipos de taludes: Los terraplenes, muros de contención y cortes de laderas naturales (SUAREZ, 1998).

Concepto de proyecto

De acuerdo al PMBoK (2017) un proyecto es definido como un “[e]s un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (PMBoK, 2017:4). A su vez posee las siguientes características: Tiene un propósito único, es temporal, usa múltiples recursos, cuenta con un patrocinador o un cliente principal y tiene incertidumbre.

Características del ciclo de vida del proyecto

Los proyectos comparten determinadas características comunes en sus ciclos de vida las cuales son las siguientes: Las fases son secuenciales, iterativas o superpuestas y, normalmente. Asimismo, para el paso de una fase a otra realizan diversas transiciones de información técnica. El presupuesto al inicio del proyecto es bajo, alcanza su nivel máximo en las fases intermedias y cae cuando el proyecto se acerca a su fin. Finalmente, el nivel de incertidumbre es más elevado al inicio por ello el riesgo de no cumplir con los objetivos es alto. La confianza de concluir con éxito aumenta progresivamente a medida que se avanza en el proyecto.

La Ingeniería Básica

Según **Geek de la Ingeniería (2020)**, la fase de ingeniería básica está estrechamente vinculada al estudio de viabilidad económico-financiera. En esta etapa se desarrollan las soluciones más adecuadas identificadas previamente, profundizando en detalles técnicos mediante estudios de campo topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos. Asimismo, se determinan los costos unitarios de materiales y las fases constructivas para obtener una estimación presupuestaria precisa. En esta fase se consolidan los requerimientos del usuario, las especificaciones técnicas, el cronograma de ejecución y la valoración económica final. Específicamente, se definen los siguientes trabajos:

- La revisión detallada de la ingeniería conceptual y los requerimientos del usuario.
- Las hojas de datos de todas las salas (críticas y no críticas), los equipos y las instalaciones.
- El cálculo de cargas térmicas y el caudal de aire en cada una de las salas, etc.,
- Los Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID) básicos de aguas, los sistemas HVAC y de routing para tuberías.
- La distribución de puntos de uso de servicios.

- La revisión del layout de salas, las implantaciones de equipos, incluyendo las áreas de servicios
- Listas de consumos y de equipos

El desarrollo de la ingeniería básica se divide en la recolección de datos iniciales y la posterior ejecución de los estudios técnicos de soporte. De acuerdo con **Ingeniería y Desarrollos Integrales S.L. (2018)**, la validación de esta fase es el requisito indispensable para iniciar la ingeniería de detalle, la cual se encarga de definir con precisión técnica los elementos del proyecto.

Ingeniería de detalle

Janjua, Khalil y Akbar (2015), en su estudio sobre la personalización de la ingeniería de detalle, sostienen que este enfoque es fundamental para lograr un diseño preciso, confiable y rentable. Esta técnica optimiza los procesos de desarrollo al reducir los tiempos de búsqueda de información y clarificar las acciones necesarias, lo que permite cumplir los objetivos de fabricación sin errores ni reprocesos.

Por otro lado, Chaur Bernal (2016) destaca que cada proyecto posee características y objetivos únicos. Por ello, la ingeniería de detalle debe definir cada componente de tal forma que los documentos previos sean suficientes para la ejecución práctica. Al ser la fase más crítica del ciclo de vida del proyecto, es aquí donde se materializa la visión del diseño; la precisión de estos detalles determinará tanto la operatividad del sistema como la satisfacción del cliente.

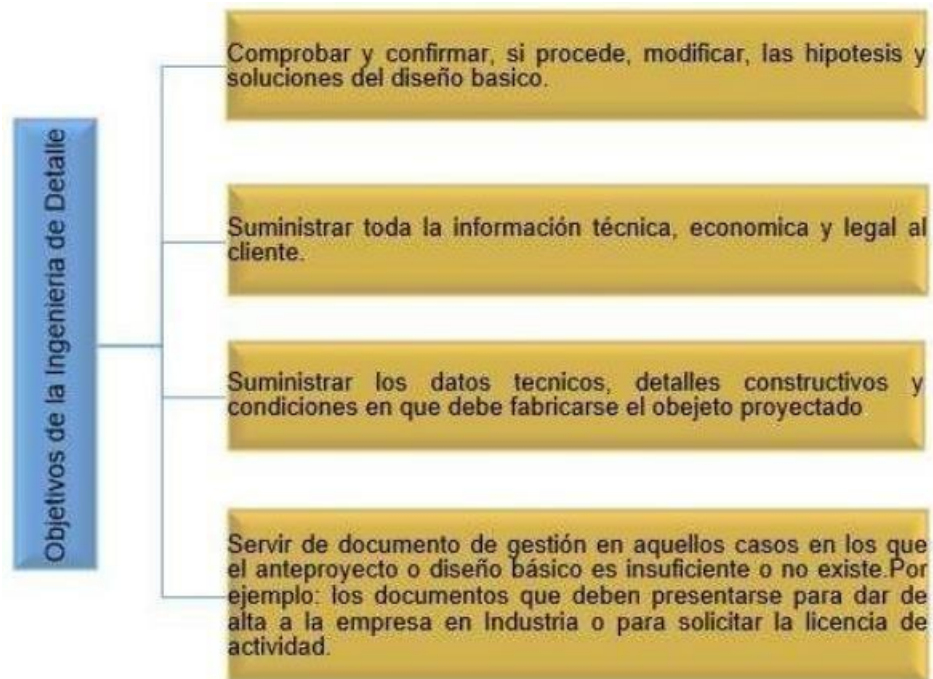
En esta etapa se elaboran los planos de taller, los requerimientos de materiales y el plan de habilitado, estableciendo métodos constructivos alineados con el cronograma y el presupuesto. Actualmente, el desarrollo de esta fase se apoya en herramientas de software avanzado como AutoCAD, SolidWorks e Inventor, las cuales resultan idóneas para alcanzar el nivel de detalle requerido.

Objetivos de la ingeniería de detalle

Gómez-Senent Martínez E. (2015), señala que las soluciones planteadas en

otras etapas deben ser únicas, esto conlleva a que las respuestas sean reales y que pueden desarrollarse en toda su totalidad evitando fallas al momento de la realización de un producto.

Figura 1. Objetivos de la ingeniería de detalle.



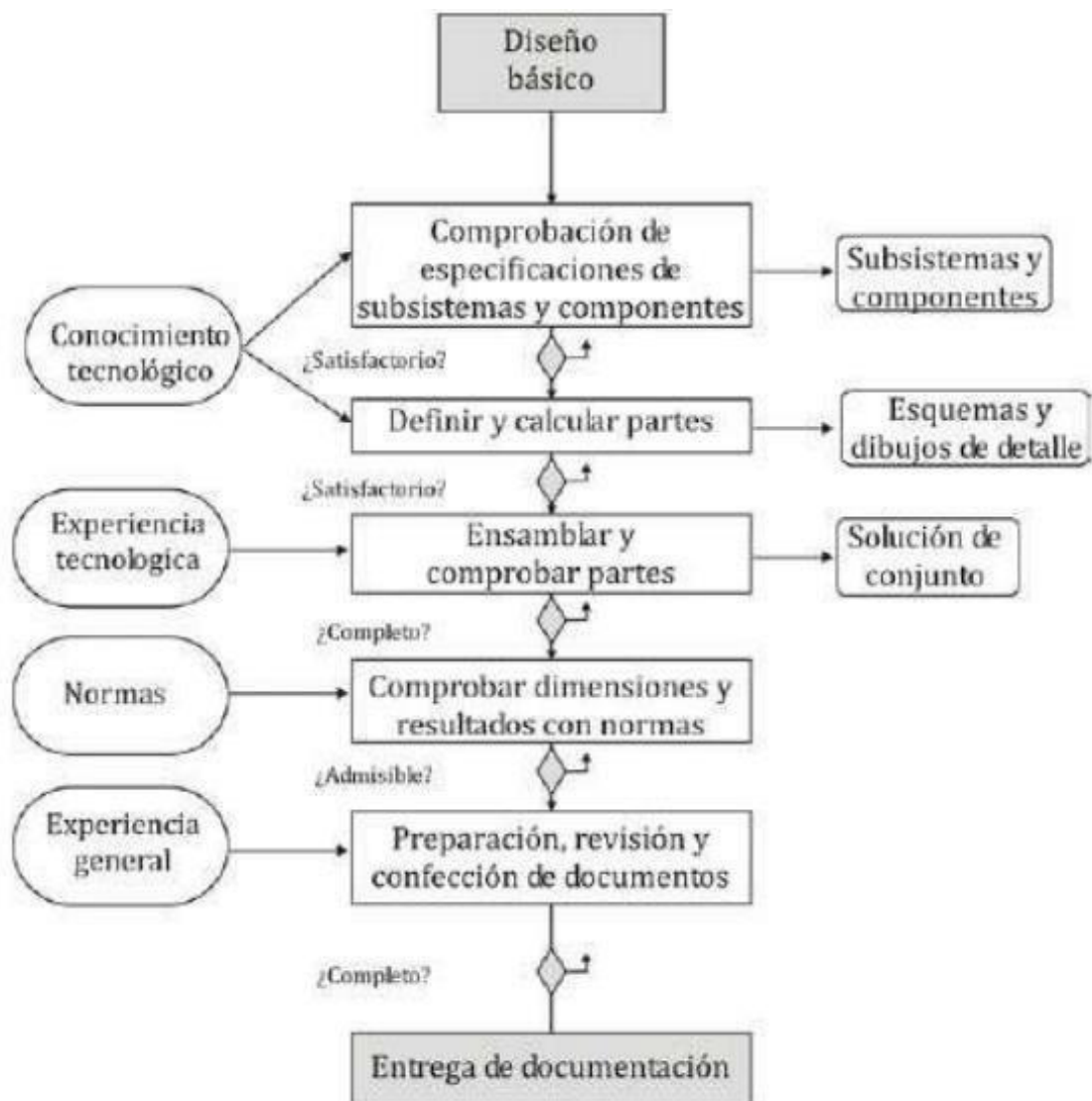
Fuente: Gómez-Senent Martínez E.

Etapas de la fase de la ingeniería de detalle

Gómez-Senent Martínez E. (2015), nos dice que esta fase del proyecto es fundamental los cálculos técnicos y cálculos de diseño. Porque a partir de esto dependerá si el producto es factible para lo que se ha diseñado o desarrollado.

Para ello los ingenieros o proyectistas deben realizar un estudio general de los componentes y partes su funcionamiento y la importancia de cada uno de ellos. Es donde se percata la importancia y la calidad de los cálculos y diseños realizados que se aprecia en los resultados finales al término de la realización del producto.

Figura 2. Etapa en la fase de ingeniería de detalle de un proyecto

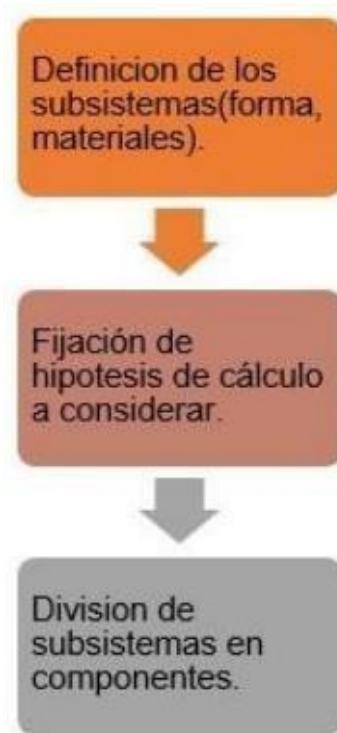


Fuente: Gómez-Senent Martínez E.

Etapas 1. Comprobación de especificaciones

Gómez-Senent Martínez E. (2015), indica que en esta etapa se debe realizar el control de los estudios preliminares de la ingeniería básica, para luego acomodarlos y desarrollarlos al momento de realizar la ejecución del proyecto con la finalidad plasmar lo descrito en la ingeniería básica.

Figura 3. Pasos que se debe realizar en la etapa 1



Fuente: Gómez-Senent Martínez E.

Etapla 2. Definir y calcular las partes

La ingeniería de detalle exige que cada pieza esté definida con precisión para prevenir errores en la planta de producción. **Gómez-Senent Martínez (2015)** advierte que cualquier resolución pendiente puede ocasionar retrasos en la entrega final. Existe una conducta peligrosa entre algunos proyectistas de omitir especificaciones técnicas bajo la premisa de que el fabricante resolverá los detalles. Esta falta de rigor técnico delega la responsabilidad en terceros y aumenta exponencialmente la probabilidad de fallos en la ejecución del proyecto. Esta etapa incluye:

- Definir las piezas de cada elemento y desarrollar las conclusiones emitidas en los cálculos realizados previo al diseño del producto.
- Realizar el modelado 3D, con los detalles estándar según normas de diseño, cálculos, dimensionado en cada pieza y/o componente.
- Tener en consideración las piezas, componentes que forma parte del ensamble

de un elemento, esto debe cumplir la función de manera adecuada y optima. • El análisis y cálculo de los elementos de unión y accesorios auxiliares, la definición y control de piezas para montaje en equipos y en terreno.

- Se debe tener en cuenta los bosquejos, dibujos, detalles, vistas, secciones, de cada una de las piezas a fabricar, con la finalidad que la información brindada tiene que ser claro y preciso

Etapa 3. Ensamblar y comprobar partes

En esta etapa se tiene una solución preliminar del diseño con un ensamble completo de las piezas que forman el producto, para ello se debe tener en consideración lo siguiente:

Figura 4. Proceso que se debe realizar en la etapa 3



Fuente: Gómez-Senent Martínez E.

Etapa 4. Comprobar dimensiones y resultados con normas

Tras definir las dimensiones de los componentes mecánicos, se debe validar su cumplimiento con los estándares y normas de diseño (Gómez-Senent Martínez, 2015). Estos criterios permiten realizar ajustes finales al diseño sin comprometer el funcionamiento ni los cálculos realizados. Es fundamental que cualquier modificación sea evaluada normativamente y quede plasmada en los planos de fabricación y documentos técnicos. Estas recomendaciones no son opcionales, sino que constituyen una parte integral del diseño para asegurar un producto final de alta

calidad.

Etapas 5. Preparación, revisión y confección de documentos

En esta última fase se consolida la documentación previa a la fabricación del producto. La claridad y exhaustividad de estos registros son fundamentales para optimizar los tiempos de ejecución. A pesar de su importancia, la omisión frecuente de esta etapa por parte de los proyectistas suele convertirse en la principal fuente de fallos y retrasos en las fases posteriores.

Finalidad de la Ingeniería de Detalle

Según **Present Group (2019)**, las actividades de diseño e ingeniería adquieren diferentes matices según el tipo de proyecto. Cabe destacar que el objetivo final es permitir que la organización obtenga los equipos y materiales requeridos, asegurando además que los trabajos de construcción y puesta en marcha se realicen de forma fluida y segura.

Aseguramiento de la calidad

El aseguramiento de la calidad es la parte de la gestión de calidad enfocada en brindar la certeza de que se cumplirán los requisitos exigidos. Esta garantía es doble: hacia el interior de la organización para su administración, y hacia el exterior para los clientes, agencias gubernamentales, reguladores y certificadores (Plataforma ISOTools, 2021)

2.3. Definición de términos básicos

Relave minero

Los relaves mineros son los desechos resultantes de la extracción de minerales tras su procesamiento metalúrgico. Dada su magnitud y potencial contaminante para el ecosistema y la salud humana, su manejo es crítico. Por ello, se trasladan a depósitos diseñados específicamente para su confinamiento seguro. En dichas instalaciones, se realiza la separación del agua mediante decantación, facilitando su recuperación para fines industriales o procesos internos, asegurando que el recurso hídrico sea gestionado de manera responsable y fuera del alcance del

consumo humano.

Presa de relave

Los depósitos de relaves principalmente hacen referencia a Presas de Relaves, las cuales se pueden definir como construcciones estables empleadas para almacenar relaves mineros y son erigidas gradualmente a lo largo del tiempo de la explotación minera. Las dimensiones y metodologías empleadas para su construcción dependerán de la clasificación del relave, ubicación geográfica, así como del horizonte de producción de la compañía minera a cargo de la extracción de mineral. A diferencia de una presa de agua, las presas de relaves representan un alto riesgo ambiental en caso de darse una fuga, es por ello que se requiere un estricto mantenimiento y supervisión del crecimiento del volumen de relave constante. Lo cual, permite obtener alertas tempranas de realizar un crecimiento gradual o recrecimiento de la presa

Según RAE un recrecimiento es la acción y efecto de acrecentar o aumentar, es así que, el recrecimiento de una presa de relaves consiste en la elevación de los niveles existentes a través de procesos constructivos e ingenieriles con la finalidad de brindar mayor cabida de residuos y evitar un desborde de capacidad. En la siguiente imagen se explica visualmente una forma de recrecimiento.

Estimación

Estimación es una parte esencial de la gestión de proyectos, a partir de ello se puede brindar un valor aproximado de un parámetro en particular. De una óptima o deficiente estimación dependerá de que un proyecto tenga pérdidas o beneficios significativos

Concentración

Operación unitaria en la cual se busca eliminar el material que no es de interés económico con el fin de disminuir el volumen de mineral a procesar. Para esta separación se pueden utilizar métodos físicos, químicos o biológicos (Glosario Técnico Minero, Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia).

Depósito de relaves

De acuerdo con el **Decreto Supremo 248/06 de Chile**, estas obras están estructuradas para el confinamiento seguro de relaves y sus instalaciones anexas. Su propósito central es el depósito permanente de los residuos sólidos de la planta de concentración.

Asimismo, su diseño facilita la decantación y recuperación eficiente del agua de transporte, permitiendo su recirculación en el proceso productivo.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves incide significativamente en el incremento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. El recrecimiento de la presa de relaves basado en criterios técnicos mejora los parámetros de estabilidad, cumpliendo con factores de seguridad aceptables ($FS \geq 1.5$ estático y $FS \geq 1.0$ pseudo-estático) en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.
- b. El recrecimiento de la presa de relaves permite incrementar significativamente la capacidad de almacenamiento del depósito en más de 15 millones de m^3 en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.
- c. La implementación de un sistema de control de calidad basado en ensayos de laboratorio, geofísica y monitoreo piezométrico permite verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del diseño en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Ingeniería del Recrecimiento de la Presa de Relaves:

La ingeniería de detalle constituye la fase en la que se definen con precisión

todos los componentes del proyecto. Según Senent, Sánchez y González (2000), la documentación generada en esta etapa debe ser lo suficientemente exhaustiva para permitir la ejecución práctica, ya sea bajo la supervisión de los proyectistas originales o de un equipo externo.

Por su parte, Janjua, Khalil y Akbar (2015) sostienen que la personalización en esta fase es un enfoque rentable, especialmente en la fabricación de estructuras de acero. Esta técnica optimiza el desarrollo del proyecto al reducir los tiempos de búsqueda de información y clarificar las acciones necesarias, garantizando así el cumplimiento de los objetivos de fabricación sin errores ni reprocesos.

2.5.2. Variable dependiente

Incrementar la Capacidad de Almacenamiento de relaves:

Según Contreras (2022), las dimensiones críticas para esta variable se definen mediante el volumen de almacenamiento (en metros cúbicos) y la vida útil de la infraestructura (en años).

Al respecto, McLeod (2003) sostiene que la construcción, operación y clausura de las presas de relaves presentan diferencias fundamentales en comparación con las presas de agua convencionales.

Aunque ambas comparten principios geotécnicos similares, el almacenamiento de relaves sólidos saturados introduce desafíos de diseño únicos.

Esto se debe a que el relave cumple una doble función: actúa tanto como material de construcción de la propia presa como material de almacenamiento. En consecuencia, se requieren consideraciones ambientales estrictas y un diseño de secciones transversales que puede variar considerablemente a lo largo de la estructura, adaptándose a las necesidades específicas de cada unidad minera.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variable Independiente:

Ingeniería del Recrecimiento de la Presa de Relaves Definición conceptual:

Comprende el conjunto de actividades de ingeniería y diseño geotécnico-

estructural orientadas a la elevación progresiva del dique. Estos métodos constructivos están diseñados para garantizar la estabilidad física, la continuidad operativa, la seguridad ambiental y la eficiencia funcional de la presa de relaves (Kossoff et al., 2014; Chaur Bernal, 2016).

Definición operacional:

Se medirá mediante los siguientes indicadores técnicos derivados del proyecto de ingeniería:

- Altura del recrecimiento (m)
- Especificaciones técnicas del diseño (materiales, ángulos de talud, bermas, métodos de compactación)
- Método constructivo empleado (downstream, centerline)
- Parámetros geotécnicos empleados (cohesión, fricción, densidad seca, factor de seguridad)
- Implementación de controles de calidad (ensayos de laboratorio, monitoreo, piezometría)

Instrumentos de medición:

- Planos de diseño
- Memoria de cálculo
- Informes de ensayos de laboratorio
- Reportes de instrumentación geotécnica
- Bitácoras de obra
- Software de modelado (Slope/W, GeoStudio, AutoCAD Civil 3D)

Variable Dependiente:

Capacidad de Almacenamiento de Relaves Definición conceptual:

Representa el volumen útil de confinamiento seguro en una presa de relaves (m^3). Su magnitud es determinada por factores críticos como el diseño estructural,

la elevación progresiva del dique, la metodología de disposición de lodos y el aprovechamiento eficiente de la topografía del terreno (McLeod, 2003; Contreras, 2022).

Definición operacional:

Se evaluará mediante los siguientes indicadores:

- Volumen adicional de almacenamiento (m^3) generado por el recrecimiento.
- Variación en la capacidad total del depósito antes y después del recrecimiento (%).
- Incremento proyectado de la vida útil del depósito (años).
- Relación entre altura del recrecimiento y volumen generado (m^3/m).
- Instrumentos de medición.
- Modelos topográficos y volumétricos (software: AutoCAD Civil 3D, Global Mapper).
- Informe de cálculo de capacidad del depósito.
- Proyecciones de vida útil basadas en tasas de deposición.

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de Variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala de medición
Ingeniería de recrecimiento	Diseño técnico	Altura del recrecimiento (m)	Memoria de diseño, planos	Razón (continua)
	Geotecnia y materiales	Cohesión, ángulo de fricción, densidad seca	Ensayos de laboratorio	Razón
	Estabilidad	Factor de seguridad estático y pseudo-estático	Software de análisis (Slope/W)	Razón
	Control de calidad	N° de ensayos realizados	Informe de control de calidad	Absoluta
Capacidad de almacenamiento	Volumen disponible	M3 antes y después del recrecimiento	Modelo topográficos y cálculos	Razón
	Vida útil proyectada	Años adicionales de operación	Proyecciones de disposición	Razón
	Relación volumen y altura	M3/m de recrecimiento	Memoria de cálculo estructural	Razón

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación tiene con un enfoque cuantitativo; por el tipo de investigación que se realiza posee una característica descriptiva, por el punto de profundidad siendo aplicada, es una investigación retrospectiva por su temporalidad se denomina como investigación transversal. La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema práctico mediante el uso de conocimientos científicos. El enfoque es cuantitativo, con un diseño no experimental y de nivel explicativo.

Para Ortiz (2020) refiere que se destacan los factores cuantitativos que subyacen en el concepto de crecimiento económico, el cual se adapta al presente estudio y guarda relación con los objetivos de la investigación.

Rodríguez (2018), el diseño de corte transversal se clasifica como un estudio observacional de base individual que suele tener un doble propósito: descriptivo y analítico. Por ello debido a que este estudio se encuentra enmarcado dentro de un periodo definido por el autor, este trabajo califica debidamente como transversal y clasificado como descriptivo.

3.2. Nivel de investigación

La investigación es descriptiva, porque describen los hechos tal como son observados in situ.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista, P. (2014):

“Los estudios descriptivos miden de manera independiente las variables, sin establecer relaciones entre ellas. Su objetivo es describir fenómenos tal como se presentan en la realidad.” (Fuente: Metodología de la investigación, McGraw-Hill, 6ta edición

Dankhe, G. L. (1986):

“La investigación descriptiva está orientada a la interpretación de los hechos sin alterar el contexto observado; registra, analiza e interpreta la naturaleza actual, y la composición o procesos de los fenómenos.”

3.3. Métodos de investigación

Esta parte del trabajo de investigación es el resultado de la aplicación sistemática y lógica de los conceptos y fundamentos presentados en el marco teórico, ya que representa un marco metodológico.

La metodología en nuestro caso especifica cómo se debe realizar la investigación para lograr un diseño metodológico bien definido y definido. Para ello desarrolla tipos de investigación, enfoques, fuentes de información, así como técnicas de recopilación y análisis de datos, poblaciones y muestras, y deriva procedimientos apropiados.

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista (2014), el marco metodológico describe “el tipo de investigación, los métodos y procedimientos que se emplearán para recopilar y analizar los datos, así como los criterios para seleccionar la población y la muestra”.

3.4. Diseño de investigación

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista (2014):

“El diseño transversal recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.” (Metodología de la investigación, McGraw-Hill, 6ta edición).

Asimismo, Kerlinger y Lee (2002) explican que:

“Los estudios transversales son útiles para obtener una instantánea del estado de las variables en estudio, sin necesidad de observar los cambios a lo largo del tiempo.” (Foundations of Behavioral Research, Harcourt College Publishers).

3.5. Población y Muestra

3.5.1. Población

Es el universo el que se ve afectado por el problema en estudio. Hemos seleccionado un modelo que cumple con las características requeridas por este tema.

Población es el número de empresas mineras que requieren recrecimiento de sus relaveras, definida como el 10% antes del final de la vida útil de las relaveras primarias en etapa I.

Los investigadores adoptan una postura realista y aplican un enfoque práctico al estudio. En otras palabras, los depósitos de relaves en todo el país son tan vasto que se desconoce el tamaño de la población. Es decir, desconocemos cuantas presas de relave requieren a la fecha del presente recrecimiento.

3.5.2. Muestra

La muestra forma parte del presente estudio, es decir la Presa de Relaves Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. llamado el Porvenir.

3.6. Técnicas e instrumento de recolección de datos

Se utilizaron técnicas como la observación directa, el análisis documental y la medición en campo. Los instrumentos empleados incluyeron perforadoras, equipos geofísicos MASW, calicatas, piezómetros y software de análisis geotécnico como Slope/W.

En la recaudación de datos para el trabajo de investigación se emplearon las técnicas siguientes:

La técnica descriptiva

Se inicia con la justificación de la investigación que, demarca la continuidad de la vida útil de una Planta de Tratamiento de Minerales (Concentradora); la misma que, depende de la presencia de un depósito de relaves en condiciones óptimas de

volumen y estabilidad.

Este hecho, conlleva a una mayor necesidad en la capacidad de almacenamiento de los relaves, precisándose tener un lugar que con amplitud satisfaga los requerimientos dentro de la vida útil de la planta; y por defecto de la mina o las minas de su entorno, de donde procede el mineral para tratamiento.

Técnica de observación directa:

Con esta técnica se obtuvo información directa del contexto en donde se realizó la investigación, en este caso a un plan de minado. De este modo se detalló lo que interesa en la investigación, haciendo uso de las guías de observación.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de la información se utilizará el programa IBM.SPSS versión 23, para aplicar la prueba estadística de correlación Pearson para las variables ingeniería de recrecimiento de la presa de relaves y capacidad de almacenamiento que son variables cuantitativas continuas. Para el análisis estadístico se tendrá en cuenta la estadística descriptiva y se elaborará tablas y gráficos para un mayor entendimiento de los resultados.

Luego, la información obtenida será procesada y analizada en forma individual por medio de una base de datos realizada en el programa Microsoft Excel 2 versión 23, para facilitar y agilizar el cruce de variables y la construcción de tablas gráficas que representen con mayor exactitud las tendencias evaluadas.

3.8. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva e interpretación ingenieril. Se aplicaron modelos de análisis de estabilidad de taludes y evaluación de parámetros de resistencia con base en normas ASTM y estándares internacionales de ingeniería de presas.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

Este estudio cumple rigurosamente con los lineamientos éticos de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Se garantiza la integridad de la

información proporcionada por la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C., asegurando resultados objetivos y exentos de manipulación en el análisis del recrecimiento de la presa.

Los pilares éticos de esta investigación incluyen:

1. Respeto y Autonomía: Aplicación de consentimiento informado para todo el personal participante.
2. Uso Académico: Tratamiento confidencial de datos operativos y técnicos.
3. Rigor Intelectual: Cumplimiento estricto de las normas de citación APA para evitar el plagio.
4. Responsabilidad Ambiental: Enfoque en el desarrollo sostenible y la seguridad de las instalaciones mineras.

Por lo expuesto, el presente trabajo se alinea con los valores éticos de la profesión y el compromiso social de la ingeniería de minas.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

Aspectos generales de la mina / Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

La Compañía Minera Doña Gloria S.A.C., con más de una década en operación (desde agosto de 2012), se ha consolidado como una pequeña empresa minera legalmente constituida y fiscalmente cumplida. Se especializa en la comercialización de metales y concentrados, particularmente de antimonio, realizando exportaciones hacia China.

Antecedentes

El depósito de relaves Porvenir tiene una extensión de 120 hectáreas y fue diseñado en 2007 por el Ing. Abel Ordóñez hasta la cota 4765 m.s.n.m. para almacenar 70 millones de toneladas de relaves, con una vida útil de 40 años. El depósito de relaves Porvenir está conformado por una estructura de contención o dique principal de material de préstamo, cimentado sobre un extenso afloramiento de rocas volcánicas. La corona del dique de contención tendrá una altura final de 67 metros, hasta la elevación 4765 m.s.n.m.

La Fase 1 comprende la construcción del dique de contención hasta la cota 4738 msnm, los dos canales de coronación, en la margen izquierda y en la margen derecha, de 2,760 y 2,860 metros de longitud respectivamente. Para el drenaje de la

cimentación se colocaron, dos líneas de drenes tipo “francés” que entregan las aguas a la poza de control de drenaje. El talud aguas arriba fue revestido con una capa de geomembrana de HDPE hasta una distancia hacia el vaso, de 60 metros del pie del talud aguas arriba.

En el año 2018-2019, OMINLA realizó el diseño y los estudios correspondientes a la Fase 1. Posteriormente, el proceso de construcción ha continuado con la ejecución de la Fase 2 hasta la cota actual 4745, ampliando la huella del dique principal, la misma que es evaluada en el presente estudio considerando la Fase 3 hasta la cota final 4765 msnm.

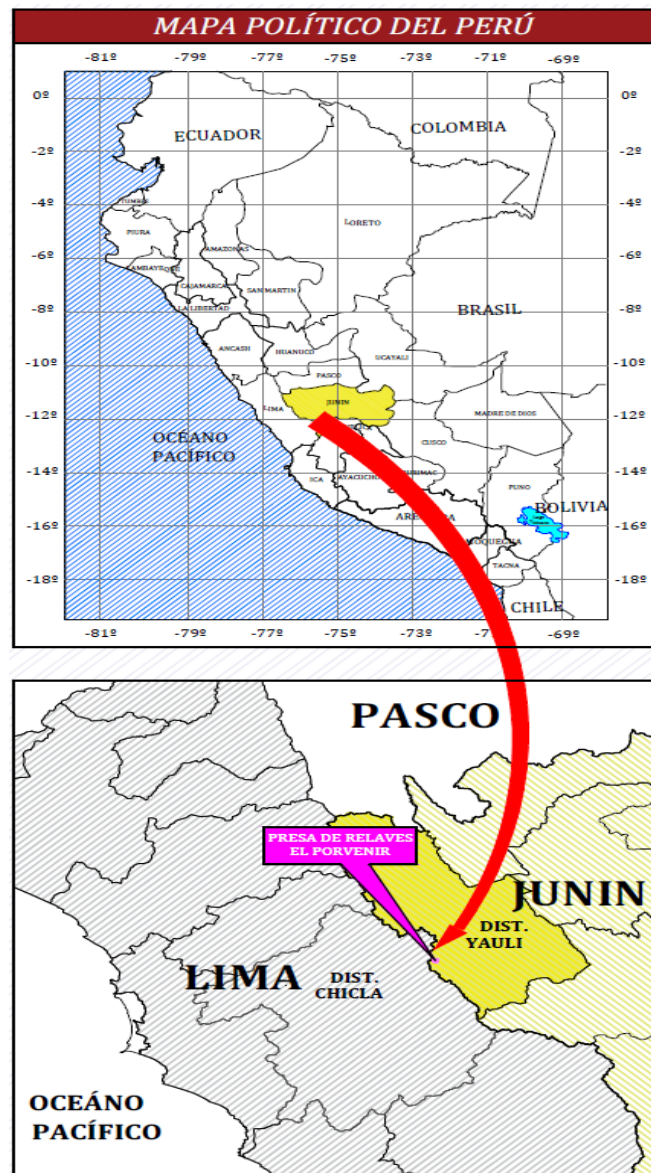
4.1.1. Ubicación

El proyecto, se encuentra ubicada en el distrito de Yauli, provincia de Yauli, departamento de Junín, en la cuadrícula:

- 8'708,202 N; 370,476 E a 8'709,712 N; 372,024 E y
- 8'707,320 N; 371,337 E a 8'708,830 N; 372,884 E

La Presa de Relaves El Porvenir se ubica sobre el Flanco Oriental de la Cadena Occidental de la Cordillera de los Andes, en una microcuenca glacial sobre los 4700 m.s.n.m. cuyas escorrentías constituyen afluentes de la quebrada Huaricancha y el río Yauli.

Figura 5. Ubicación del lugar de la investigación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6. Presa de relaves



Fuente: Fotografía inicial de la presa de relaves

4.1.2. Accesos

El acceso a la unidad minera desde Lima es a través Ruta terrestre Lima – Yauli (Junín)

Punto de partida: Lima Metropolitana Ruta principal: Carretera Central (PE-22)

- Destino: Yauli – Junín, zona de operación minera (probablemente cerca de Cajamarquilla o La Oroya)

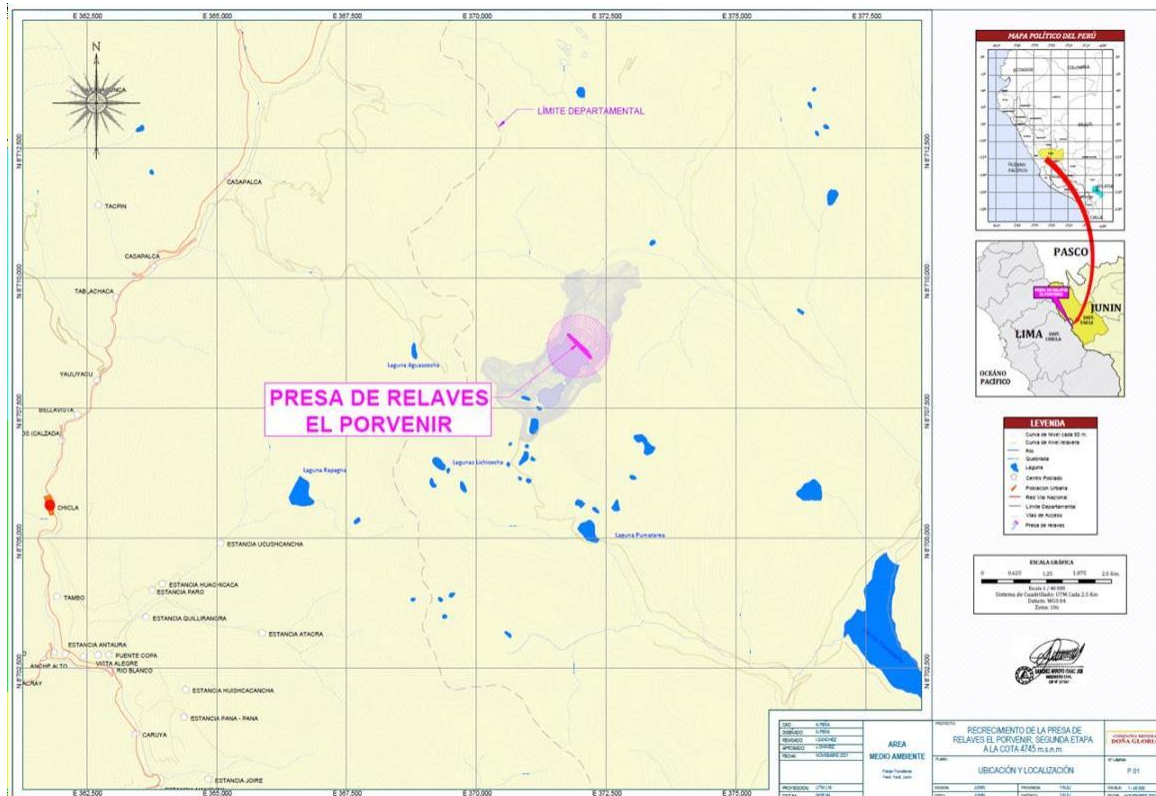
Tramos:

Lima → La Oroya (vía Carretera Central)

- Distancia: aprox. 180 km
- Tiempo estimado: 5 a 6 horas, dependiendo del tráfico y clima
- Altitud: sube hasta los 4,818 m.s.n.m. en Ticlio La Oroya → Yauli o Cajamarquilla (zona minera)
- Trayecto adicional de 20 a 30 km, dependiendo del punto exacto de la operación minera

- Tiempo: 30 a 60 minutos
- Vía: desvío hacia la zona minera (carretera afirmada o asfaltada, dependiendo de la operación)

Figura 7. Ubicación de presa de relaves el porvenir



4.1.3. Trabajo de campo

Para garantizar la estabilidad estructural y la viabilidad del recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir, se realizaron diversos trabajos de campo orientados a obtener información geotécnica, geológica y geofísica del terreno. Estas actividades se desarrollaron en distintas etapas y consistieron en perforaciones diamantinas, calicatas, ensayos geofísicos MASW, así como muestreo y análisis de materiales en laboratorio.

Se ejecutaron tres perforaciones diamantinas (PZ-1, PZ-2 y PZ-3), alcanzando profundidades de 31.9 m, 34.5 m y 35.0 m respectivamente. A lo largo de estas perforaciones se recolectaron testigos continuos de suelo y roca,

evaluándose la calidad del macizo rocoso mediante el índice RQD, el cual arrojó valores entre 55% y 85%, clasificando el macizo como de calidad regular a buena. Se llevaron a cabo calicatas en sectores clave del dique y la cimentación con profundidades de hasta 3.0 metros, donde se identificaron materiales de tipo gravas arenosas y gravas limosas, adecuadamente compactadas. Estas excavaciones sirvieron para evaluar visualmente la estructura estratigráfica y obtener muestras disturbadas y no disturbadas.

En cuanto a los ensayos geofísicos, se aplicó el método MASW (Análisis Multicanal de Ondas Superficiales) en tres perfiles. Esta técnica permitió estimar las velocidades de onda de corte (V_s) para distintas profundidades. Los perfiles evidenciaron velocidades de V_{s30} superiores a 360 m/s en la mayoría del sector, lo que clasifica el terreno como tipo B-C, es decir, competente para soportar estructuras de envergadura.

También se instalaron piezómetros para el monitoreo del nivel freático en distintos sectores del depósito, permitiendo conocer la presión intersticial del agua y su influencia en la estabilidad del dique. Toda esta información fue utilizada para el diseño de secciones tipo, modelamiento geotécnico y cálculo de estabilidad del recrecimiento.

Criterios de Diseño

Los criterios considerados en el diseño de la Fase 3 del Depósito de Relaves El Porvenir

- Sismo de Diseño: 1,000 años y MCE
- Aceleración del Sismo de Diseño (PGA): 0.38g
- Coeficiente Sísmico: 0.18
- Factor de Seguridad Estático Admisible: 1.5
- Factor de Seguridad Seudo-Estático Admisible: 1.0
- Altura de la Dique de Contención: 67 metros

- Talud General del Dique de Contención: 1.93H:1.0V o 27.4°
- Talud de Banquetas: 1.5H:1.0V o 33.7°
- Ancho de Bermas: 5 metros
- Condición de Cimentación: Roca volcánica fracturada
- Piezómetros operativos que quedarán inoperativos durante la construcción: 03 del tipo abierto.
- Piezómetros a instalarse en el Dique Principal: 07 del tipo abierto
- Colocación de Material del Dique de Contención: Compactado
- Potencial de Generación de Aguas Acidas del Material del Dique de Contención: No
- Volumen Total de Relleno Compactado - Fase 3: 2.00 millones de m³
- Volumen de Almacenamiento de Relaves – Fase 3: 17.31 millones de m³

4.1.4. Sismicidad

Se ha actualizado el estudio del peligro sísmico para el proyecto de recrecimiento del depósito de relaves Porvenir. Para el desarrollo del estudio de peligro sísmico se ha aplicado la metodología determinística basado en la información sismotectónica y sísmica histórica y la metodología probabilística propuesto por la U.S. Geological Survey, utilizando la sismicidad instrumental actualizada al año 2005 y el programa RISK (McGuire, 1976).

El depósito de relaves El Porvenir se ubica en el distrito y provincia de Yauli y Región Junín.

Las coordenadas geográficas correspondientes al sitio son:

- Longitud: 76.17° Oeste
- Latitud: 11.68° Sur

En el Cuadro se presentan los valores de aceleración sísmica para los diferentes períodos de retorno, basados en los resultados de la aplicación de la metodología probabilística y el uso del programa RISK.

Tabla 2. Período de Retorno versus Aceleración Sísmica

Período de Retorno (años)	Aceleración Sísmica (g)
50	0.18
150	0.24
475	0.32
1000	0.38
2475	0.47
5000	0.54
10000	0.62

Las conclusiones del estudio de peligro sísmico son:

- La metodología determinística concluye que el máximo sismo creíble, MSC corresponde a un sismo con hipocentro en la zona de subducción superficial con una magnitud, Ms de 8.8 y puede generarse en el sitio en estudio una aceleración basal de 0.36g, valor correspondiente a un sismo con un período de retorno menor de 1,000 años.
- La metodología probabilística concluye que la máxima aceleración basal esperada, considerando un período de retorno de 1,000 años es de 0.38g.
- Para los cálculos de estabilidad física del depósito de relaves Porvenir, estructura cimentada sobre un extenso afloramiento de rocas volcánicas, se recomienda el sismo de diseño de 0.38 g, mayor al valor de MCE y un período de retorno de 1,000 años.
- Los resultados de la actualización del estudio de peligro sísmico, indica el valor de coeficiente sísmico de 0.18 para el depósito de relaves Porvenir, valor comprendido entre $\frac{1}{2}$ y $\frac{2}{3}$ de la aceleración del sismo de diseño.

4.1.5. Ensayos Geofísicos MASW

Los ensayos MASW permiten medir las velocidades de ondas superficiales de corte o de dispersión, las cuales brindan información sobre las características del tipo de terreno a través de las correlaciones de categorización del IBC (2009). La Tabla muestra las correlaciones utilizadas de acuerdo al IBC (2009).

Tabla 3. Velocidades de Onda de Corte (V_s) y Tipo de Terreno (Ref. IBC, 2009)

V_s (m/s)	Tipo de Terreno
200 a 360	gravas limosas y arcillosas semicompacto a compacto
360 a 450	gravas limosas y arcillosas semicompacto a compacto o/con fragmentos de roca dura, capas profundas
450 a 500	roca dura muy fracturada (RQD menor a 50) capas superficiales
500 a 800	roca dura poco fracturada (RQD entre 50 y 80) capas profundas

Ensayos geofísicos realizados, el equipamiento propio utilizado y detalles del procesamiento de datos.

Ensayos Geofísicos 2022

En el año 2022, OMINLA realizó 04 perfiles geofísicos MASW (“multichannel analysis of surface waves”), en la cimentación correspondiente a la Fase 3.

Cimentación

- Perfil 1: 0.00 a 3.7 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con V_s entre 286 y 365 m/s. 3.7 a 5.3 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto con fragmentos de roca dura, con V_s entre 365 y 451 m/s. 5.3 a 26.8 m roca muy fracturada (RQD menor a 50), con V_s entre 451 y 475 m/s.
- Perfil 2: 0.00 a 9.3 m roca dura muy fracturada (RQD menor a 50) V_s entre 478 y 561 m/s.
- 9.3 a 35.7 m roca dura poco fracturada (RQD entre 50 y 80) con V_s entre 561 y 568 m/s. Perfil 3: 0.00 a 5.3 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto y roca dura muy fracturada (RQD menor a 50) con V_s entre 391 y 593 m/s. 5.3 a 36.4 m roca poco fracturada (RQD entre 50 y 80), con V_s entre 593 y 897 m/s.
- Perfil 4: 0.00 a 4.9 m roca dura muy fracturada (RQD menor a 50) con V_s entre 458 y 667 m/s. 4.9 a 48.6 m roca poco fracturada (RQD entre 50 y 80), con V_s

entre 667 y 990 m/s.

Ensayos Geofísicos 2018

En el año 2018, OMINLA realizó 08 perfiles geofísicos MASW (“multichannel analysis of surface waves”), correspondiente a la Fase 1, en la cimentación y la conformación del dique principal. Se realizaron 04 perfiles en el dique principal con la finalidad de evaluar las condiciones físicas del material de relleno y 04 perfiles en el pie del talud para evaluar las condiciones de cimentación.

Dique Principal

- Perfil 1: 0.00 a 11.3 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con Vs entre 209 y 353 m/s. 11.2 a 30.0 m gravas limosas o arcillosas compacto con fragmentos de roca dura, con Vs entre 353 y 452 m/s.
- Perfil 2: 0.00 a 8.9 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con Vs entre 206 y 362 m/s. 8.9 a 36.4 m gravas limosas o arcillosas compacto con fragmentos de roca dura, con Vs entre 362 y 477 m/s.
- Perfil 3: 0.00 a 8.8 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con Vs entre 209 y 353 m/s. 8.8 a 30.2 m gravas limosas o arcillosas compacto con fragmentos de roca dura, con Vs entre 353 y 407 m/s.
- Perfil 4: 0.00 a 13.5 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con Vs entre 236 y 377 m/s. 13.5 a 33.3 m gravas limosas o arcillosas compacto con fragmentos de roca dura, con Vs entre 377 y 465 m/s.

Los resultados de los ensayos geofísicos MASW indican que el material de relleno está conformado por gravas limosas o arcillosas con un rango de valores Vs de 206 a 353 m/s los 8 primeros metros, indicando una condición semicompacta a compacta y Vs 353 a 465 a mayor profundidad indicando una condición compacta.

Cimentación

- Perfil 5: 0.00 a 3.7 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con Vs entre 239 y 393 m/s. 3.7 a 7.0 m fragmentos de roca dura, con Vs entre 393 y

469 m/s. 7.0 a 11.0 m roca muy fracturada (RQD menor a 50), con Vs entre 469 y 451 m/s. 11.0 a 33.3 m gravas limosas o arcillosas con fragmentos de roca dura, con Vs entre 369 y 451 m/s.

- Perfil 6: 0.00 a 4.4 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con Vs entre 254 y 353 m/s. 4.4 a 7.4 fragmentos de roca dura, con Vs entre 393 y 471 m/s. 7.4 a 30.4 m, roca dura muy fracturada (RQD menor a 50) con Vs de 471 m/s.
- Perfil 7: 0.00 a 3.1 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto con Vs entre 317 y 362 m/s. 3.1 a 5.8 m fragmentos de roca dura, con Vs entre 362 y 410 m/s.
- 5.8 a 30.3 m roca dura fracturada (RQD entre 30 y 80), con Vs entre 590 y 776 m/s.
- Perfil 8: 0.00 a 1.9 m gravas limosas o arcillosas semicompacto a compacto, con Vs entre 340 y 359 m/s. 1.9 a 4.4 m fragmentos de roca dura, con Vs entre 359 y 537 m/s. 4.4 a 30.3 m roca dura fracturada (RQD entre 30 y 80), con Vs entre 537 y 776 m/s.

Los resultados de los ensayos geofísicos MASW indican que la cimentación está conformada por gravas limosas o arcillosas con un rango de valores Vs de 259 a 353 m/s los primeros 2-3 metros, indicando una condición semicompacta a compacta y Vs 359 a 765 a mayor profundidad indicando presencia de roca dura a muy dura, fracturada (RQD 30 a 80).

Ensayos Geofísicos 2007

En el año 2007, Arce Geofísicos realizó 05 perfiles geofísicos de refracción sísmica sobre el terreno de cimentación del dique principal de depósito de relaves Porvenir. Los resultados de los ensayos fueron:

Sobrecarga: La cubierta exterior, constituida por sedimentos no consolidados con velocidades P en el rango de 400-1400 m/s. Coloreada con azul. Es material

removible con escarificadores.

Horizonte intermedio: Bajo la sobrecarga han sido encontrados materiales con velocidades entre 1400m/s y 3000 m/s. Se trata de roca alterada/fracturada/meteorizada o de morrena. Está coloreado con verde. Los lugares con menor velocidad (celeste, 1400- 1600 m/s) son los más alterados o, en caso de morrenas, se trata de las más jóvenes. Las velocidades de onda P indican que las masas con color celeste y verde claro (hasta 2200 m/s) también pueden ser removidas con escarificadores. Las coloreadas con verde oscuro son compactas (o morrenas más antiguas), sin llegar a condiciones mecánicas de roca firme.

Basamento: En todas las secciones aparece un horizonte elástico de alta velocidad relativa, con más de 3400 m/s, que puede ser considerado como roca firme, con reservas en los lugares con menor velocidad (3000 á 3400 m/s, amarillo/anaranjado). Este basamento está coloreado con rojo (3400 m/s á 4200 m/s) a rosado/violeta (>4200 m/s). El color amarillo representa roca alterada en transición a compacta. La máxima penetración alcanzada fue de unos 40-60 metros en los sectores donde hay buen acoplamiento de los puntos de impacto con los horizontes subyacentes.

4.1.6. Perforaciones diamantinas

En 2017, CML realizó 3 perforaciones a rotopercusión para la instalación de los piezómetros PZ-1, PZ-2 y PZ-3. La estratigrafía de las perforaciones fue realizada por personal de mina de CML.

Tabla 4. Profundidad Total de las Perforaciones

Perforación	Profundidad (m)
PZ-1	20.0
PZ-2	35.0
PZ-3	35.0

Tabla 5. Resumen de Interfase Relleno-Suelo-Roca

Perforación	Relleno	Suelo	Roca
PZ-1	0.00-7.20. Grava limosa con arenas	7.20-9.60. Fragmentos de areniscas con presencia de arcillas	9.60-20.0. Roca ígnea dura a muy dura fracturamiento variable. RQD 20-85.
PZ-2	0.00-21.50. Grava limosa con arenas	21.50-30.0. Arcilla color rojo ocre con fragmentos de skarn.	30.0-35.0. Roca ígnea dura a muy dura poco fracturada. RQD 60-75.
PZ-3	0.00-22.80. Grava limosa con arenas	22.80-25.10. Fragmentos de roca diorita	25.10-35.0. Roca ígnea dura a muy dura fracturamiento variable. RQD 15-80.

4.1.7. Registros de Perforaciones

Perforación PZ-1:

0.00 - 7.20 m Relleno, grava limosa con arenas, color marrón, en estado húmedo, relleno con fragmentos de areniscas. Las piedras son fragmentos de rocas ígneas volcánicas de andesitas y pórfidos intrusivos de diorita, mostrando alteración propilítica con escasos óxidos de hierro, arcillas recubriendo fragmentos, carbonatos y mínimos sulfuros.

7.20 - 8:50 m Suelo conformado por fragmentos de areniscas con presencia de arcillas color rojo ocre.

8:50 - 9:60 m Suelo arcilloso de color rojo ocre con presencia aislada de fragmentos de roca margácea de color rojo ocre.

9.60 - 10.50 m Roca alterada, con nódulos de epidotas de moderado a fuerte fracturamiento, relleno de arcilla en fracturas.

10.50 - 15.10 m Roca ígnea intrusiva, color marrón indio, moteado con blanco y verde claro, de textura granular media moderadamente fracturado, con nódulos de epidotas, presencia de venillas de calcita. RQD 85.

10.50 - 15.10 m Roca ígnea intrusiva, color marrón indio, moteado con blanco y verde claro, de textura granular media moderadamente fracturado, con nódulos de epídotas, presencia de venillas de calcita. RQD 20-55.

15.10 - 16.90 m Roca ígnea intrusiva, color marrón indio, moteado con blanco y verde claro, de textura granular media moderado a fuerte fracturamiento, con nódulos de epídotas, presencia de venillas de calcita. RQD 20-40.

16.90 - 19.00 m Roca intrusiva de color gris verdoso oscuro, de textura granular media, fracturada a ligeramente fracturado, con nódulos de epídotas, presencia de venillas de calcita. RQD 40-80. 19.00 - 20.00 m

Contacto entre roca intrusiva (Formación Carlos Francisco) y sedimentaria (Formación Casapalca). RQD 80

Perforación PZ-2:

0.00 - 21.50 m Relleno identificado como grava limosa con arenas, color marrón, en estado húmedo, con relleno de fragmentos de skarn. Las piedras son fragmentos de rocas ígneas volcánicas de andesitas y pórfidos intrusivos de diorita, mostrando alteración propilítica con escasos óxidos de hierro, arcillas recubriendo fragmentos, carbonatos y mínimos sulfuros.

21.50 - 22.80 m Arcilla color rojo ocre con fragmentos de skarn. 22.80 - 27.50 m Fragmentos de skarn.

27.50 - 30.00 m Arcilla de color rojo ocre con presencia aislada de fragmentos de roca marga de color rojo ocre.

30.00 - 35.00 m Roca. Skarn de color gris verde claro, de textura granular fino, ligero a moderado fracturamiento, con presencia de alteraciones de epídota, venillas de calcitas rellenas en fracturas. RQD 60-75.

Perforación PZ-3:

0.00 - 22.80 m Relleno identificado como grava limosa con arenas, color marrón, en estado húmedo, relleno con fragmentos de areniscas. Las piedras son fragmentos de rocas ígneas volcánicas de andesitas y pórfidos intrusivos de diorita,

mostrando alteración propilítica con escasos óxidos de hierro, arcillas recubriendo fragmentos, carbonatos y mínimos sulfuros.

22.80 - 25.10 m Fragmentos de roca diorita silicificada de color gris verde oscuro de textura granular media a fina.

25.10 - 32.20 m Roca brechada silicificadas con fracturas rellenas de arcilla roja. RQD 40-80.

32.20 - 35.00 m Roca brechada silicificada con presencia de alteración de epidota y cloritas, con fracturas rellenas de arcilla roja, de moderado fracturamiento. RQD 15.

4.1.8. Descripción Petrográfica

Una muestra de testigo PZ-1 (19.60-20.00 m.), fue estudiada en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería para su descripción petrográfico microscópico, arrojando los siguientes resultados:

NATURALEZA DE LA ROCA: Ígnea.

COLOR: Marrón indio, moteado con blanco y verde claro. GRADO DE METEORIZACIÓN: Leve a moderada.

TEXTURA: Piroclástica.

ESTRUCTURA Y FRACTURA: Estructura masiva. Compacta, sus fracturas muestran superficies rugosas

MINERALES ESENCIALES: Principalmente cuarzo, plagioclasas, epidota.

MINERALES ACCESORIOS: Calcita.

MINERALES SECUNDARIOS: Hematita y limonitas, como impregnaciones.

REACCIÓN AL ÁCIDO CLORHÍDRICO: Positivo, en delgadas venillas de calcita.

CLASIFICACIÓN MACROSCÓPICA: TOBA DE LAPILLI.

OBSERVACIONES: Roca piroclástica, compacta; muestra estructura orientada. Soporta moderados a fuertes golpes al martillo de geólogo, estimándose una resistencia a la compresión simple, de entre 80 a 90 MPa.

4.1.9. Excavaciones

Para el presente informe en el año 2021 la empresa Fasegui realizó 08 excavaciones utilizando una retroexcavadora, 04 calicatas ubicadas en la cresta del dique principal denominadas C-3, C-4 C-5 y C-6. De las calicatas ubicadas en la cresta se extrajeron muestras del material de relleno compactado.

En el terreno de cimentación se realizaron las calicatas C-7, C-8, C-9 y C- 10, con una profundidad de hasta de 5 metros para evaluar las condiciones de estabilidad de la cimentación.

En los anexos se presentan las calicatas realizadas en 2021, 2018 y 2007.

Excavaciones realizadas en 2018

Con la finalidad de evaluar las condiciones de cimentación se realizaron 10 calicatas excavadas con una máquina retro-excavadora.

Las condiciones de cimentación se caracterizan por presentar en los flancos y laderas de las ambas márgenes una cobertura delgada de suelo de origen fluvio-glacial conformados por suelos granulares semicompacto a compacto, clasificados como gravas arcillosas con arenas y gravas limpias o arcillosas, en estado semicompacto a compacto. Luego se tiene un afloramiento de rocas ígneas y volcánicas de fracturamiento variable.

Excavaciones realizadas en 2007

En 2007, para el proyecto del depósito El Porvenir se realizaron 06 excavaciones a cielo abierto o calicatas denominadas C-1 a C-4 y 02 trincheras denominadas TC-1 y TC-2. Las excavaciones se ubicaron en el área de cimentación del dique principal y en el área del vaso

4.1.10. Ensayos de Laboratorio de Rocas

En 2018 en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú se realizaron 04 ensayos de resistencia índice a la carga puntual (ASTM D-5731), las cuales comprendieron 19 pruebas de resistencia realizadas, en submuestras preparadas de cada testigo previamente identificados.

En la Tabla se presentan los resultados de los ensayos y la clasificación de la roca. De acuerdo a la Norma ASTM D-5731 se ha obtenido la resistencia a la compresión simple (σ_c), descartándose los valores menores a 20% respecto a la resistencia promedio.

Tabla 6. Resistencia a la Compresión Simple y Calidad de Roca

Muestra	Profundidad (m)	Sub-muestra	$Is_{(50)}$ (MPa)	24 $Is_{(50)}$ (MPa)	σ_c (MPa)	Calidad
PZ-2	32.60-33.50	A	4.45	106.8	-	
		B	10.03	240.7	240.7	Muy dura
		C	6.18	148.3	148.3	Muy dura
		D	5.15	123.6	-	
		E	8.58	205.9	205.9	Muy dura
				Prom. 165.06		
PZ-2	34.30-35.0	A	6.67	160.1	160.1	Muy dura
		B	9.17	220.1	220.1	Muy dura
		C	6.61	158.6	158.6	Muy dura
		D	9.19	220.6	220.6	Muy dura
		E	8.05	193.2	193.2	Muy dura
				Prom. 190.5		
PZ-1	17.50-18.00	A	3.06	73.4		Dura
		B	1.13	27.1	-	
		C	1.79	43.0	-	
		D	4.80	115.2		Muy dura
		E	2.08	49.9	-	
				Prom. 61.7		
PZ-1	13.40-14.40	A	2.85	68.4	68.4	Dura
		B	3.40	81.6	81.6	Dura
		C	2.63	63.1	63.1	Dura
		D	3.26	78.2	78.2	Dura
				Prom. 72.8		

Los resultados de los ensayos de carga puntual, indican que la roca de cimentación es de calidad dura a muy dura

4.1.11. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos

Para el presente informe técnico el Laboratorio Geotécnico de OMINLA realizó los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos. Se realizaron los siguientes ensayos en materiales de relleno del dique principal (muestras C-4, C-5 y C-6) y suelos de cimentación (muestras C-7, C-8 y C-9):

- 06 Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422-90

- 06 Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico - ASTM D 4318-93
- 06 Contenido de Humedad - ASTM D 2216-92
- 02 Triaxial Consolidado Drenado - ASTM D 7181
- 02 Compactación Proctor Modificado - ASTM D 1557
- 01 Permeabilidad en Pared Flexible – ASTM D 5084-90

En la Tabla se presenta el resumen de los resultados de los ensayos realizados

Tabla 7. Resultados de Ensayos de Laboratorio Estándar – 2022

Muestra	C-4	C-6	C-5	C-7	C-8	C-9
Caracterización:						
Grava (%)	61.2	65.0	64.5	55.1	63.5	41.6
Arena (%)	30.1	27.1	28.7	28.0	19.7	31.1
Finos (%)	8.7	7.9	6.8	16.9	16.7	27.3
LL (%)	24.5	25	23.7	22.4	26.5	28.1
LP (%)	18.5	18.6	21.8	20	18.7	22.6
IP (%)	6	6.4	1.8	2.4	7.8	5.5
w (%)	8.8	6.1	8.9	8.2	10.6	12.1
Cu	68.0	46.8	36.2	-	-	-
Cc	4.7	3.8	2.9	-	-	-
SUCS	GP-GC-GM	GP-GC-GM	GW-GM	GM	GC	GM
Descripción	Grava mal gradada con arcillas limosas y arenas	Grava mal gradada con arcillas limosas y arenas	Grava bien gradada con limos y arenas	Grava limosa con arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava limosa con arenas

Tabla 8. Resultados de Ensayos de Laboratorio Especiales – 2022

Muestra	C-4	C-6	C-5	C-7	C-8	C-9
Ensayo Proctor Modificado						
MDS, gr/cm³	2.22					2.123
OCH, %	8.90					10.95
Resistencia cortante Drenada						
Cohesión, kg/cm²	0.18					0.16
Fricción, °	38.5					35.8
Permeabilidad de Pared Flexible						
k, cm/seg						7.38x10⁻⁰⁵
Observación	Material de préstamo, dique			Cimentación, pie de talud		

Se observa que en las muestras de suelos de cimentación ubicado en la huella del Etapa 3 presentan las siguientes características:

Gravas: 41.6 a 63.5%

Arenas: 19.7 a 31.1%

Finos: 16.7 a 27.3%

IP: 2.4 a 7.8

S.U.C.S.: gravas limosas (GM) y gravas arcillosas (GC)

Los resultados de los ensayos de compresión triaxial arrojaron un valor de ángulo de fricción de 35.8° un valor de cohesión de 16 kPa. La permeabilidad tuvo un valor medio de 7.38 10⁻⁵ cm/seg.

Las muestras de material de cantera que conforma el dique presentan las siguientes características:

Gravas: 61.2 a 65.0%

Arenas: 27.1 a 30.1%

Finos: 6.8 a 8.7%

IP: 1.8 a 6.4

S.U.C.S.: gravas mal gradadas con limos, arcillas y arenas (GP-GM-GC) y

gravas bien gradadas con limos y arenas (GW-GM)

Los resultados de los ensayos de compresión triaxial sobre muestras compactadas al 90% de la Máxima Densidad Seca arrojaron un valor de ángulo de fricción de 38.5o un valor de cohesión de 18 kPa. Ensayos realizados en el año 2018

En el Laboratorio Geotécnico de OMINLA se realizaron los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos. Se realizaron los siguientes ensayos en materiales de relleno del dique principal (muestras C-1 y C-10) y suelos de cimentación (C-2 a C-9):

- 10 Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422-90
- 10 Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico - ASTM D 4318-93
- 10 Contenido de Humedad - ASTM D 2216-92
- 02 Triaxial Consolidado Drenado - ASTM D 7181
- 01 Compactación Proctor Standard - ASTM D 498-91

Tabla 9. Resultados de Ensayos de Laboratorio – 2018

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-10
Prof.-	0.0 - 3.0	0.4 - 5.0	0.0 - 4.9	0.3 - 5.0	0.4 - 5.0	0.0 - 2.2	0.4 - 2.2	0.3 - 2.5	1.5 - 3.0
Grava (%)	70.7	46.8	59.2	52.3	46.1	49.8	48.3	41.3	67.6
Arena (%)	22.7	24.3	22.9	23.4	26.0	23.6	25.9	29.1	20.4
Fino (%)	6.6	28.9	17.9	24.3	27.9	26.6	25.8	29.6	12.0
LL (%)	N.P	22.5	19.5	21.7	20.6	27.7	21.2	30.4	N.P
LP (%)	N.P	10.8	11.6	9.5	13.1	19.6	12.9	15.4	N.P
IP (%)	N.P	11.7	7.9	12.1	7.5	8.1	8.3	15	N.P
w (%)	4.8	7.6	8.6	10.5	9.1	13.6	9.1	22.0	13.1
Cu	31.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Cc	3.9	-	-	-	-	-	-	-	-
SUCS	GP-GM	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GC	GM
	Grava mal gradada con limos y arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava arcillosa con arenas	Grava arcillosa con arenas
MDS	2.24								
OCH	5.7								
fri (°)	36.0				35.0				
c (kg/cm2)	0.1				0.1				

Ensayos realizados en el año 2007

En 2007, los ensayos de laboratorio de mecánica de suelos fueron realizados

en el Laboratorio Geotécnico del CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los ensayos se realizaron sobre muestras de los materiales de cantera y muestras de suelo que conforman la estratigrafía de la cimentación. Los ensayos realizados fueron los siguientes:

- Análisis Granulométrico por Tamizado - ASTM D 422-90
- Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico - ASTM D 4318-93
- Contenido de Humedad - ASTM D 2216-92
- Triaxial Consolidado Drenado
- Compactación Proctor Standard - ASTM D 498-91
- Permeabilidad de Pared Flexible en Celda Triaxial - ASTM D 5084-90

En la Tabla se presenta el resumen de los resultados de los ensayos realizados en 2007.

Tabla 10. Resultados de Ensayos de Laboratorio – 2007

	C-1	C-2	C-3	C-4	Cantera Nº2	TC-2
	M-1	M-1	M-1	M-1	-	M-1
Prof.-	0.3 - 1.5	0.2 - 0.8	0.5 - 1.7	0.6 - 1.7	-	0.0 - 2.0
<u>Caracterización Física:</u>						
Grava (%)	47.3	49.6	68.0	45.1	46.6	61.8
Arena (%)	25.9	37.1	19.8	28.5	45.8	21.5
Fino (%)	26.9	13.3	12.1	26.4	7.6	16.6
LL (%)	30	39	35	31	17	24
LP (%)	20	28	22	20	NP	13
IP (%)	10	11	13	11	NP	11
w (%)	1.3	1.5	1.8	1.9	1.0	1.1
Cu	-	-	-	-	38.6	-
Cc	-	-	-	-	1.8	-
SUCS	GC	GM	GC	GC	GW- GM	GC
	Grava arcillo s a con arena	Grav a limos a con arena	Grava arcillo s a con arena	Grava arcillo s a con arena	Grava bien gradad a con limo y aren a	Grava arcillo s a con arena
<u>Proctor Modificado:</u>						
MDS					2.271	
OCH					8	
<u>Consolidado Drenado:</u>						
fri (°)			30.1		43.3	
c (kg/cm2)			0.31		0.37	
<u>Permeabilidad:</u>						
Gradiente hidráulico					5	

Presión de celda (kg/cm ²)					3.94	
Kt20°C (cm/seg)					3.5 E-04	

4.1.12. Parámetros de Resistencia Cortante

Los parámetros de resistencia cortante utilizados en el modelamiento geotécnico de la sección crítica de la presa de relaves se presentan en el Cuadro

Para el caso de los materiales utilizados en la construcción del dique de contención, conformados gravas arcillosas compactadas y los suelos superficiales de cimentación conformado por gravas arcillosas y limosas, los parámetros corresponden a los resultados del programa de ensayos de compresión triaxial realizados en el presente y anteriores programas de ensayos.

Tabla 11. Parámetros de Resistencia Cortante

Material	Cohesión, c (kPa)	Angulo de Fricción, ϕ (°)
Material de préstamo compactado Fase 3	10	38
Material de préstamo compactado Fase 1 y 2	10	36
Gravas arcillosas o limosas	10	35
Relave Fresco	10	0
Cimentación Rocosa (impenetrable)	-	-

4.1.13. Análisis de Estabilidad

Los análisis de estabilidad han considerado los resultados de los ensayos de mecánica de suelos, la ubicación del nivel freático y la información topográfica actualizada. Se determinó la sección geotécnica más desfavorable denominada 3- 3' para los análisis de estabilidad de taludes. Los análisis de estabilidad se realizaron utilizando el programa Slope licenciada por OMINLA, y el método riguroso de Spencer, 1966. Para el análisis pseudo-estático se consideró un coeficiente sísmico de 0.18. Los valores de Factor de Seguridad mínimo se presentan en el Cuadro

Tabla 12. Factores de Seguridad Admisibles

Condición	FS mínimo
Estático	1.5
Seudo-estático	1.0

Los análisis de estabilidad se realizaron considerando la geometría del talud de diseño de la Fase 3 Etapa 3, 4, 5 y 6 a la elevación final 4765 m.s.n.m. Los resultados de los análisis de estabilidad se presentan en el Cuadro

Tabla 13. Factor de Seguridad – Fase 3

Etapas	Cota Máxima (m.s.n.m.)	Estático	Seudo-Estático
3	4750	1.67	1.15
4	4755	1.71	1.17
5	4760	1.77	1.20
6	4765	1.74	1.18

Los resultados de los análisis de estabilidad indican que los taludes de diseño de la Fase 3 Etapas 3 a 6 del depósito de relaves El Porvenir son estables bajo cargas estáticas y sísmicas.

4.1.14. Instrumentación y Monitoreo Geotécnico

Se presenta la instrumentación geotécnica Fase 3 del depósito de relaves El Porvenir.

Actualmente se tienen instalados 3 piezómetros abiertos tipo Casagrande, los cuales deberán ser monitoreados, con una medición mensual o cuando se produzca un evento de precipitación extraordinaria. Estos piezómetros quedarán inoperativos durante la construcción de la Fase 3.

Para la Fase 3 se deberán instalar 07 piezómetros en el dique principal de acuerdo a lo indicado

También se deberán construir 07 hitos de control topográfico en la cresta y taludes del dique de contención. El control topográfico deberá realizarse con una frecuencia anual o cuando ocurra un sismo fuerte.

Asimismo, deberá realizarse una inspección anual por un especialista

geotécnico, para el control del adecuado funcionamiento del sistema de drenaje, inspección de taludes del dique de contención y taludes naturales, que puedan poner en riesgo la estabilidad del depósito de relaves

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

A partir de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio realizados, se obtuvo una base de datos confiable sobre las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman tanto el cuerpo del dique como los suelos de cimentación. Los ensayos triaxiales consolidados no drenados revelaron que los materiales del dique presentan parámetros de resistencia adecuados, con una cohesión promedio de 18 kPa y un ángulo de fricción interna de 38.5° . Para los suelos de cimentación, los valores promedio fueron de 16 kPa de cohesión y 35.8° de ángulo de fricción, indicando buena resistencia al corte.

Los análisis granulométricos mostraron que los materiales del dique corresponden a gravas bien graduadas con una fracción de finos inferior al 10%, clasificados como GW-GM según la USCS. La densidad seca máxima obtenida en el ensayo Proctor estándar fue de 2.05 g/cm^3 , y el contenido óptimo de humedad fue de 9.8%. En cuanto a la permeabilidad, los ensayos de laboratorio arrojaron valores promedio de $7.38 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$, lo cual es aceptable para estructuras de contención de relaves.

Se realizaron análisis de estabilidad utilizando el software GeoStudio Slope/W. Para cada etapa del recrecimiento (3, 4, 5 y 6), se modelaron condiciones estáticas y pseudoestáticas. Los factores de seguridad calculados en condiciones estáticas superan el valor mínimo recomendado de 1.5, y en condiciones pseudoestáticas (considerando un coeficiente sísmico horizontal de 0.38g), superan el valor mínimo de 1.0. Estos resultados indican que el diseño propuesto cumple con los estándares de seguridad establecidos por las normativas peruanas y los lineamientos internacionales.

Los ensayos de laboratorio mostraron que los materiales del dique presentan un

porcentaje de gravas de hasta 65%, arenas entre 27% y 30%, y finos de 6.8% a 8.7%, clasificados como GW-GM y GC-GM. Los parámetros de resistencia al corteson adecuados: cohesión entre 16 y 18 kPa, y ángulo de fricción entre 35.8° y 38.5°. La permeabilidad es de 7.38×10^{-5} cm/s, dentro de los límites permisibles. Las rocas subyacentes mostraron resistencias a la compresión de hasta 240 MPa. El análisis de estabilidad del dique recrecido en las etapas 3 a 6, modelado con GeoStudio, reveló factores de seguridad estáticos mayores a 1.5 y pseudo-estáticos superiores a 1.0, cumpliendo con estándares nacionales e internacionales

4.3. Prueba de hipótesis

Con la finalidad de realizar la Prueba de hipótesis general formulada se ha empleado la prueba de correlación Pearson, la cual, es una prueba paramétrica adecuada para esta investigación debido a que son variables cuantitativas, teniendo como hipótesis general “La ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves incide significativamente en el incremento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.””

Hipótesis general

- H₀** La ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves no incide significativamente en el recrecimiento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.
- H₁** La ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves incide en el recrecimiento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

Tabla 14. Prueba de correlación entre la ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves y la capacidad de almacenamiento

		Ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves	Capacidad de almacenamiento
Ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves	Correlación de Pearson	1	0,366**
	Sig (bi-lateral)		0,000
	N	42	
Capacidad de almacenamiento	Correlación de Pearson	0,366**	1
	Sig (bi-lateral)	0,000	
	N	42	42

***La correlación es significativa en el nivel 0.01 (bi-lateral)*

En la Tabla, se muestra la significancia bi-lateral menor de 0.05, por lo tanto, se evita la H_0 , determinando que la ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves incide significativamente en el recrecimiento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. por otro lado, se obtiene una correlación positiva entre ambas variables debido a que el valor $r > 0$ ($r=0,366$).

Hipótesis específicas

Prueba de la Hipótesis 1 (H_1): Datos del estudio:

- Cohesión: 16–18 kPa
- Ángulo de fricción: 35.8°–38.5°
- Factor de seguridad estático: ≥ 1.5
- Factor de seguridad pseudo-estático: ≥ 1.0

Interpretación:

Los valores obtenidos superan los valores mínimos establecidos por normas internacionales ($FS \geq 1.5$ en estático, $FS \geq 1.0$ en condiciones sísmicas). Esto confirma que el diseño técnico del recrecimiento es adecuado y seguro.

Hipótesis H₁ confirmada

Prueba de la Hipótesis 2 (H₂):

Datos del estudio:

- Volumen adicional proyectado: 17.31 millones de m³
- Cota final del recremento: 4765 m s.n.m.
- Huella existente aprovechada: sin expansión territorial

Interpretación:

El volumen adicional generado supera los 15 millones de m³ previstos, sin requerir ampliación de área. Esto demuestra que el recremento es eficaz para aumentar la capacidad operativa.

Hipótesis H₂ confirmada.

Prueba de la Hipótesis 3 (H₃):

Datos del estudio:

- Ensayos realizados: triaxial, permeabilidad, granulometría, MASW
- Instrumentación geotécnica: piezómetros
- Resultados de campo validados mediante software geotécnico

Interpretación:

Se utilizaron herramientas e instrumentos de control adecuados que permitieron validar parámetros del diseño y garantizar el cumplimiento técnico del recremento.

Hipótesis H₃ confirmada.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en la presente investigación son coherentes con experiencias previas nacionales e internacionales. Por ejemplo, el caso de la presa de relaves La Esperanza en Junín o el proyecto de recremento de la presa Las Tórtolas en Chile, muestran que el recremento progresivo con materiales adecuadamente seleccionados y compactados es una técnica eficiente y segura para

prolongar la vida útil de los depósitos sin necesidad de ocupar nuevas áreas. La aplicación del método MASW para caracterizar la rigidez del subsuelo ha demostrado ser una herramienta eficaz, complementaria a los métodos tradicionales de perforación y muestreo. Asimismo, la modelación con software especializado como GeoStudio proporciona información confiable sobre los factores de seguridad en distintos escenarios de carga y condiciones sísmicas.

Cabe destacar que la implementación de piezómetros y el monitoreo continuo permiten ajustar el diseño en función del comportamiento real del dique, lo cual constituye una ventaja significativa frente a métodos empíricos utilizados en décadas anteriores. Todo ello refuerza la necesidad de adoptar enfoques integrales y multidisciplinarios para el diseño y recrecimiento de presas de relaves.

En suma, los resultados del estudio no solo validan la hipótesis planteada, sino que evidencian el impacto positivo de aplicar ingeniería especializada en la gestión de depósitos de residuos mineros. Esto permite a las empresas optimizar recursos, cumplir con las normativas ambientales y reducir los riesgos asociados a fallas estructurales

Discusión específica y detallada de resultados para el presente trabajo

Los resultados obtenidos en esta investigación confirman que el recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir es técnica y estructuralmente viable.

El análisis de estabilidad, fundamentado en parámetros geotécnicos como cohesión (16–18 kPa) y ángulo de fricción (35.8°–38.5°), validó factores de seguridad superiores a los mínimos establecidos por normas internacionales (FS estático ≥ 1.5 , FS pseudo-estático ≥ 1.0).

Estos resultados coinciden con estudios similares realizados en presas de relaves a nivel nacional e internacional.

Asimismo, el volumen adicional generado por el recrecimiento alcanza los 17.31 millones de m³, lo que representa una solución efectiva para la continuidad operativa de la unidad minera sin recurrir a la expansión territorial. Este

resultado confirma la hipótesis que proyectaba un incremento significativo (mayor a 15 millones de m³) de capacidad útil.

Por otro lado, el sistema de control de calidad implementado, que incluyó perforaciones diamantinas, ensayos geofísicos MASW, instalación de piezómetros y análisis de laboratorio, permitió monitorear y validar la ejecución técnica del recrecimiento. La integración de estos resultados en software especializado como Slope/W proporcionó una validación ingenieril confiable.

En suma, los resultados del estudio no solo respaldan la hipótesis general planteada, sino que también refuerzan la importancia de un enfoque técnico-integrador en la gestión de presas de relaves, especialmente en contextos de operación prolongada y exigencias ambientales.

Tabla 15. Resumen de Resultados

Indicador	Resultado Obtenido	Valor Referencial / Norma	Interpretación
Cohesión del terreno	16–18 kPa	≥ 15 kPa (mínimo recomendado)	Adecuado
Ángulo de fricción	35.8°–38.5°	≥ 30°	Muy favorable
FS Estático	≥ 1.5	≥ 1.5	Cumple
FS Seudo-estático	≥ 1.0	≥ 1.0	Cumple
Volumen adicional de almacenamiento	17.31 millones m ³	> 15 millones m ³	Supera lo esperado
Número de		≥ 3	Adecuado
piezómetros instalados	7 (nuevos)	recomendados	monitoreo
Ensayos			Suficiente
geofísicos MASW	3 perfiles	≥ 2 perfiles	cobertura
Instrumentación		Obligatorio en	
y monitoreo	Ejecutado	proyectos de recrecimiento	Cumple

CONCLUSIONES

1. Existe una correlación positiva y significativa entre las variables ingeniera de recrecimiento de la presa de relaves y la capacidad de almacenamiento.
2. El recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir hasta la cota 4765m.s.n.m. incrementa la capacidad de almacenamiento en 17.31 millones de m³, contribuyendo a prolongar la vida útil del depósito.
3. El análisis de estabilidad muestra que el dique cumple con los factores de seguridad establecidos (1.5 en condiciones estáticas y 1.0 en seudoestáticas), incluso bajo condiciones sísmicas.
4. Los ensayos geotécnicos confirman que tanto el material de relleno como los suelos de cimentación presentan características físicas y mecánicas adecuadas.
5. La instrumentación y el monitoreo permiten controlar el comportamiento estructural del dique durante su recrecimiento y operación.
6. El proyecto de recrecimiento representa una alternativa técnica y económicamente viable, sin afectar el entorno ambiental ni requerir nuevos espacios para disposición de relaves.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el monitoreo piezométrico y topográfico para evaluar el comportamiento del dique durante todas las etapas del recremento.
2. Implementar un programa de mantenimiento periódico del sistema de drenaje y control de infiltraciones para garantizar la estabilidad a largo plazo.
3. Capacitar al personal técnico encargado del control de calidad durante la construcción para asegurar la correcta colocación y compactación de materiales.
4. Incorporar tecnologías modernas de vigilancia geotécnica, como inclinómetros o sensores automáticos, para una supervisión en tiempo real.
5. Realizar auditorías técnicas anuales que verifiquen el cumplimiento de los parámetros de diseño y condiciones de operación de la presa recrementada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkan, B., Vera, D., Ahmad, B., & Harrison, R. (2017). A method to assess assembly complexity of industrial products in early design phase. *IEEE Access*, 6, 989–999. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2777406>
- Aznar Acosta, J. (2010). *La unidad de los minerales y su obtención*. Consejería de Educación y Universidades.
- Cabrejos Salinas, J. A. (2011). *Estudio de prefactibilidad para la recuperación de agua a partir de relaves de gran minería de cobre mediante la tecnología de relaves espesados* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería].
- Cabrejos, J. A. (2011). Relaves espesados: aspectos técnicos, económicos y ambientales. *Congreso Relaves Perú*.
- Chaur Bernal, J. (2016). *Diseño e implementación de proyectos industriales*. Alfaomega.
- Chaur Bernal, J. (2016). Estudio sobre el proceso de toma de decisiones durante la fase conceptual del diseño de producto. *Iconofacto*, 12(19), 237–253. <https://doi.org/10.18566/iconofact.v12.n19.a10>
- Chávez García, E. I. (2021). *Ingeniería de detalle del canal de coronación de operación del depósito de relaves de Atacocha Cota 4155 MSNM*.
- Contreras, C. E. (2022). *Ampliación de la presa de relaves Pallancata en la fase 3, para incrementar su capacidad de almacenamiento en la Empresa Minera Ares SAC, Ayacucho – 2020*.
- Contreras, H. (2022). *Ingeniería geotécnica aplicada a depósitos de relaves*. Instituto de Geotecnia Aplicada.
- East, D. (2020). Revisión de estándares internacionales en presas de relaves. *Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*.
- Galera, J. M., de la Fuente, F., García, J., Calleja, M., & Pozo, V. (2021). Diseño y construcción de un tranque de relaves sobre una antigua instalación en la mina La Parrilla. *Mine Water and the Environment*, 40, 63–73.

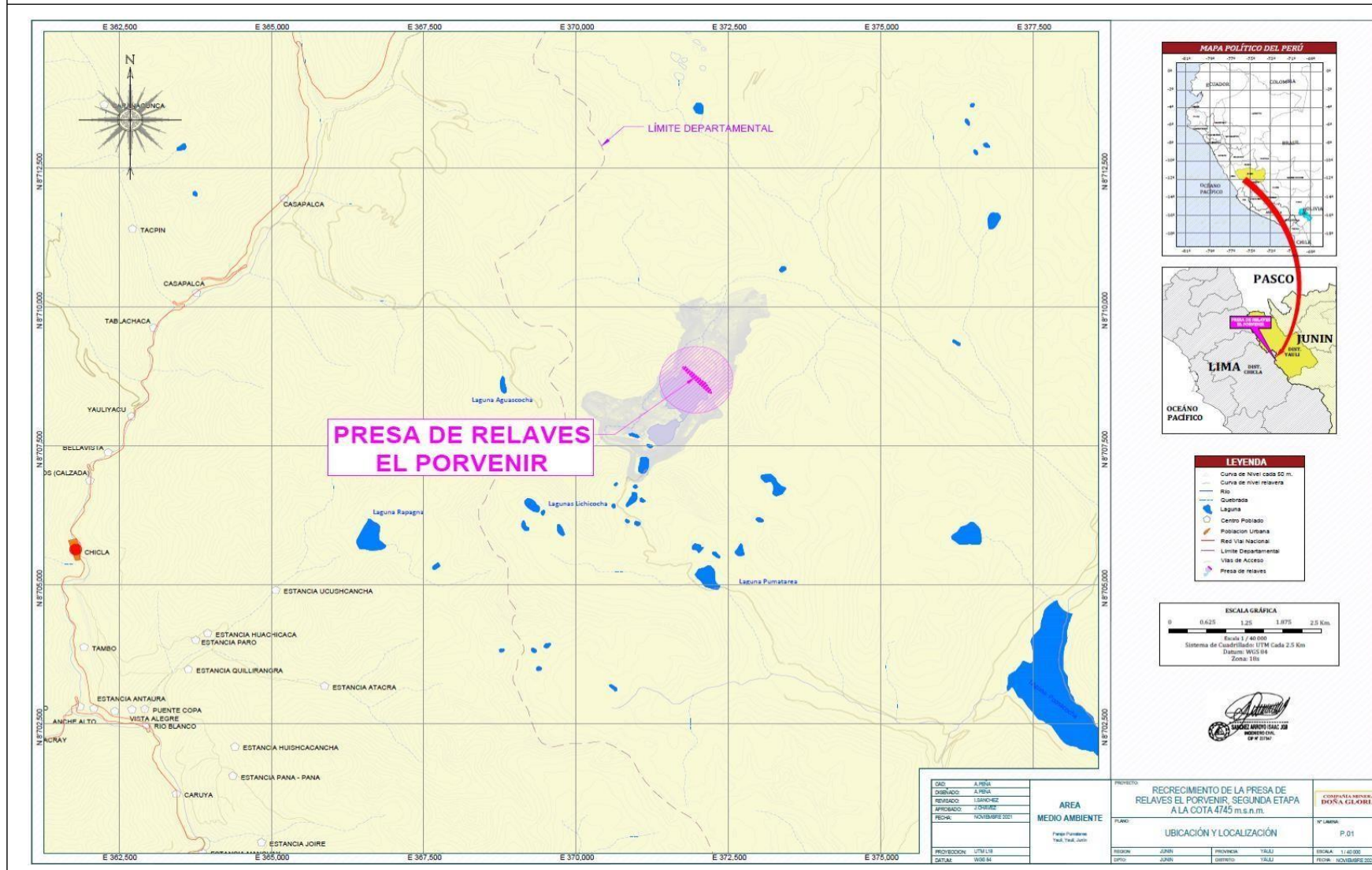
- Gómez-Senent Martínez, E. (2015). *Ingeniería de detalle en proyectos industriales: Fundamentos y aplicaciones*. Editorial Cinterfor.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Industrial Global Union. (2021). *Tailings dams: The dangers and the global response*.
<https://www.industrialunion.org>
- JanJua, A. B., Khalil, M. S., & Akbar, S. (2015). Customization of detailed engineering: A cost-effective approach in steel structure fabrication. *International Journal of Engineering and Technology*, 7(1), 45–52.
- Kossoff, D., Dubbin, W. E., Alfredsson, M., Edwards, S. J., Macklin, M. G., & Hudson-Edwards, K. A. (2014). Mine tailings dams: Characteristics, failures, environmental impacts, and remediation. *Applied Geochemistry*, 51, 229–245. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.09.010>
- McLeod, H. (2003). Tailings dam design: A comparison between water retention and tailings storage facilities. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(3), 537– 550.
- McLeod, H., & Murray, L. (2003, June). Tailings dam versus a water dam, what is the design difference? *ICOLD Symposium on Major Challenges in Tailings Dams*.
- Ortiz, L. E. M., Sánchez, L. M. C., Ferrer, N. J. L., & Cartay, R. (2020). Desarrollo y crecimiento económico: Análisis teórico desde un enfoque cuantitativo. *Revista de Ciencias Sociales*, 26(1), 233–253.
- Pérez Hernández, P. J. (2016). *Materias primas y la minería*. España.
- Piciullo, L., Storrøsten, E. B., Liu, Z., Nadim, F., & Lacasse, S. (2022). A new look at tailings dam failure statistics. *Engineering Geology*, 303, 106657.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2022.106657>
- PMI – Project Management Institute. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®)* (6.ª ed.). Project Management Institute.
- Rodríguez, M. R., Gamboa, Y. M., Amaro, N. M., & López, S. T. (2019). ISO 21500 y PMBOK: Estándares esenciales para la gestión de proyectos. *Tecnología Vital*, 2(6).

- Rodríguez, M., & Mendivelso, F. (2018). Diseño de investigación de corte transversal. *Revista médica Sanitas*, 21(3), 141–146.
- Senent, E., Sánchez, M., & González, M. (2000). *Cuadernos de Ingeniería de Proyectos II: Del diseño de detalle a la realización*. Universidad Politécnica de Valencia.
- SERNAGEOMIN. (2018). *Guía para la evaluación de depósitos de relaves mineros*. Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile. <https://www.sernageomin.cl>
- Suárez, M. (1998). *Estabilidad de taludes en obras de ingeniería*. Editorial Limusa.
- Thygesen, H. (2017). Tailings management in mining: New trends and technologies. *Mining Journal Intelligence*.

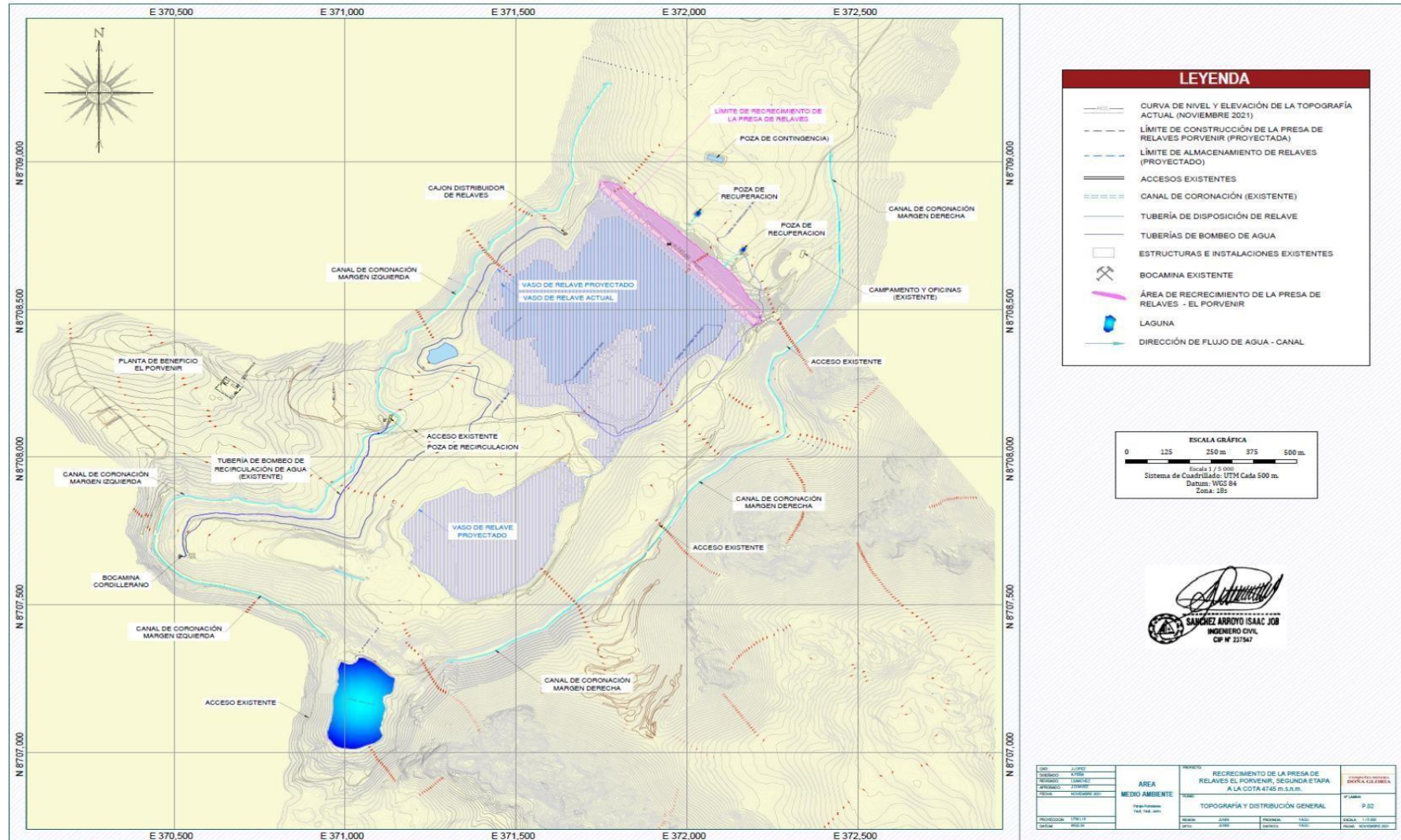
ANEXOS

INTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

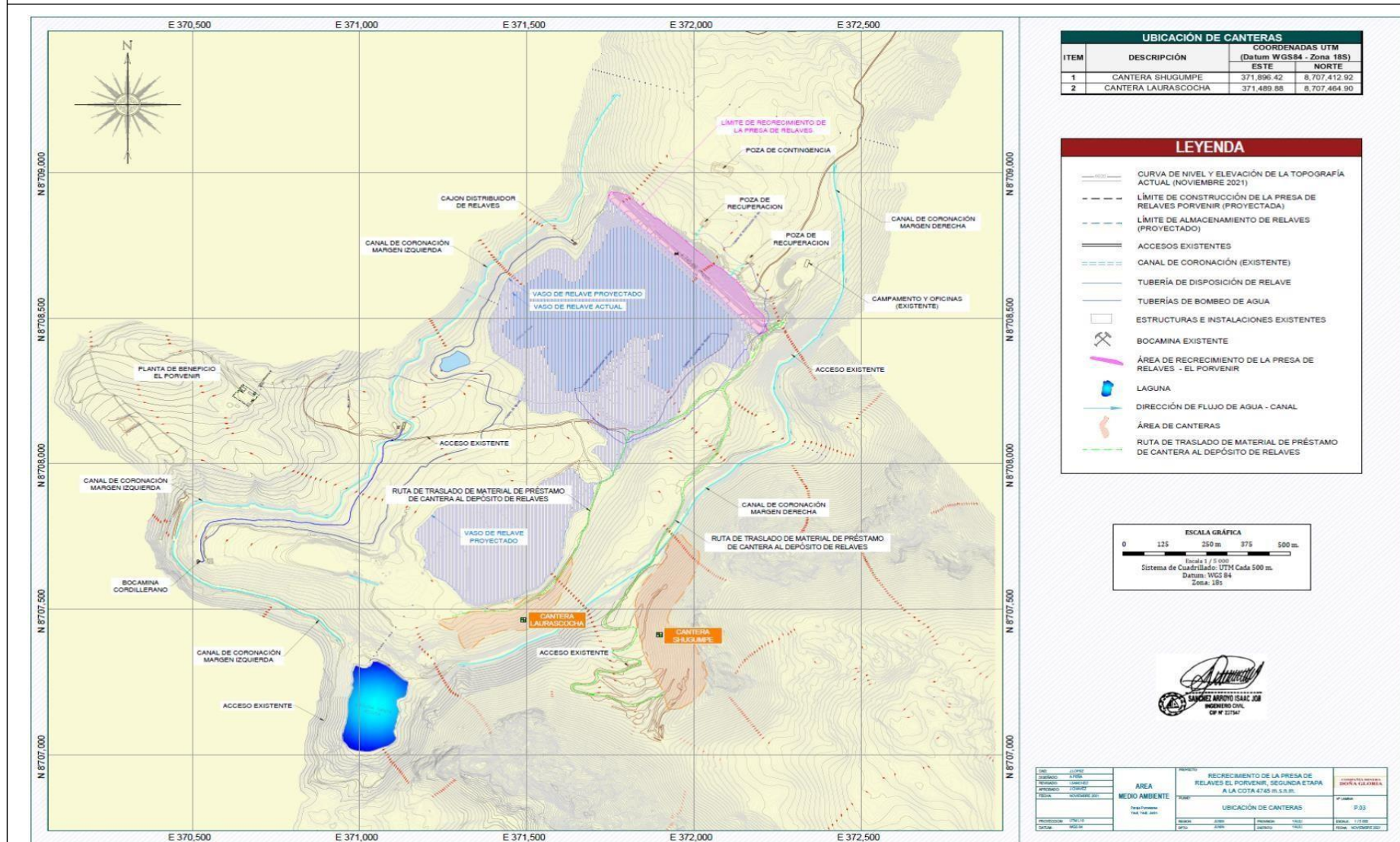
Anexo 1. Ubicación y localización de la presa de relaves el porvenir.



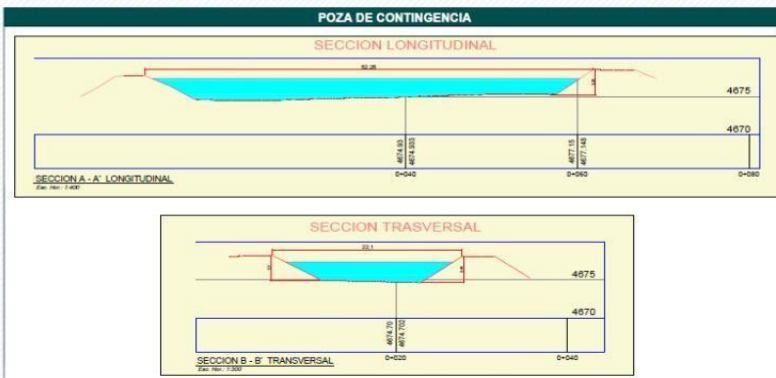
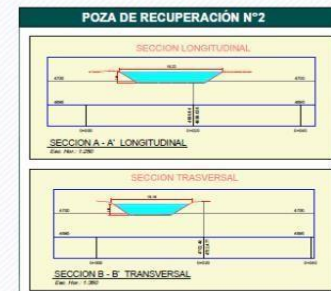
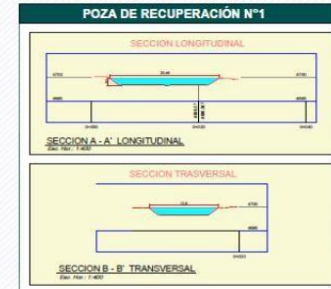
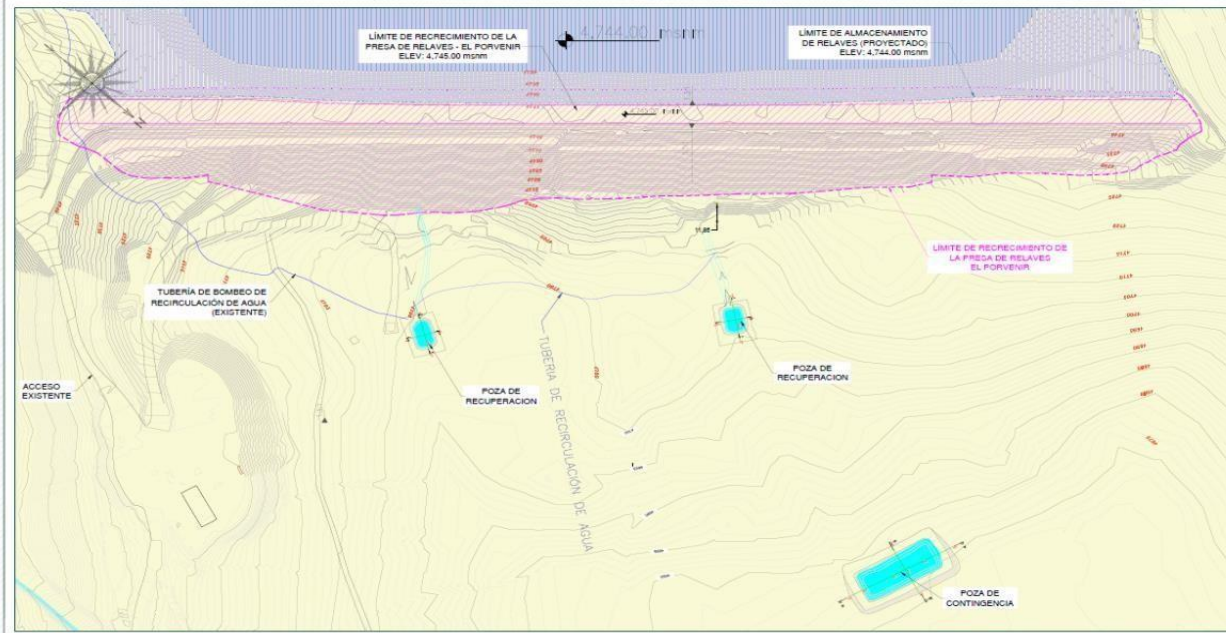
Anexo 2. topografía y distribución general



Anexo 3. Ubicación de canteras



Anexo 1. Pozas de contingencia y recuperación



Sanchez Arroyo Isaac Job

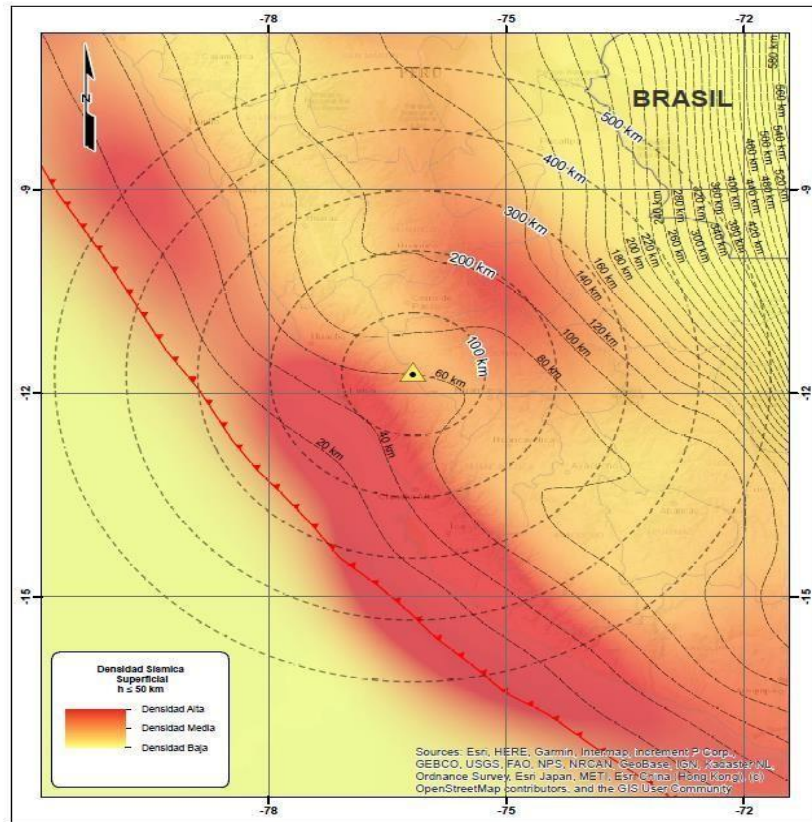
SANCHEZ ARROYO ISAAC JOB
INGENIERO CIVIL
CIP N° 217547

LEYENDA

— 4.700 —	CURVA DE NIVEL Y ELEVACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES
---	LÍMITE DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRESA DE RELAVES
---	LÍMITE DE ALMACENAMIENTO DE RELAVES (PROYECTADO)
---	ACCESOS EXISTENTES
---	CANAL DE CORONACIÓN
---	TUBERIAS DE RECIRCULACIÓN

CAD: 11/01/2017 ELABORADO: A. J. J. J. REVISADO: 11/01/2017 APROBADO: 11/01/2017 FECHA: 11/01/2017	AREA: MEDIO AMBIENTE	PROYECTO: RECUPERACIÓN DE LA PRESA DE RELAVES EL PORVENIR, SEGUNDA ETAPA A LA COTA ETAB. N. S. S. P. TÍTULO: POZAS DE CONTINGENCIA Y RECUPERACIÓN P. 29	CONTROL DE CALIDAD: 11/01/2017 P. 29
PROYECTISTA: 11/01/2017 DISEÑO: 11/01/2017	REVISOR: 11/01/2017 APROBADO: 11/01/2017	DISEÑO: 11/01/2017 APROBADO: 11/01/2017	DISEÑO: 11/01/2017 APROBADO: 11/01/2017

Anexo 1. actualización del estudio de Peligro Sísmico.

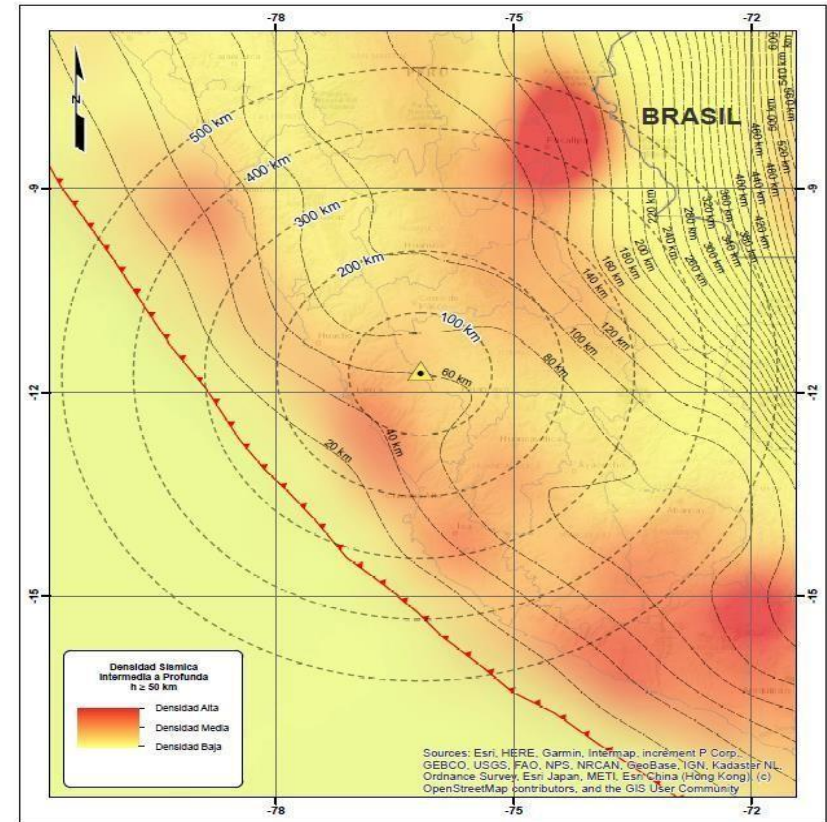


Mapa de Densidad para Sismos Superficiales ($h \leq 50$ km) Escala: 1/ 6 000 000

----- Distancias a la Zona de estudio ——— Placa de Nazca Borde Superior USGS (2011)

▲ Zona de Estudio

NOTA:
Sistema de Coordenadas Proyectadas. Datum: WGS 84, Zona: 18S.



Mapa de Densidad para Sismos Intermedios y Profundos ($h > 50$ km) Escala: 1/ 6 000 000

CAD: JLCB	AREA MEDIO AMBIENTE Carretera Central Km.115 Yauli, Yauli, Junín	PROYECTO: RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES EL PORVENIR, SEGUNDA ETAPA A LA COTA 4745 m.s.n.m.	COORDINADORA GENERAL: ROSA OLIVERA SUAREZ
DISEÑADO: JLCB		PLANO: MAPA DE DENSIDADES SÍSMICAS	N° LÁMINA: P-05
REVISADO: JLCB		REGION: JUNÍN	ESCALA: INDICADA
APROBADO: RLN		PROVINCIA: YAUCA DE EL DIABLO	FECHA: Noviembre 2021
FECHA: Noviembre 2021		DPTO: JUNÍN	DISTRITO: YAULI
PROYECCION: UTM 18S			
DATUM: WGS 84			

Anexo 2. Informe geofísico

RESULTADOS DEL ESTUDIO

Plano

Están indicados las líneas geofísicas y los puntos de traslape cada 60 metros.

Lámina 1: Secciones Sísmicas

Modelos Elásticos, resultantes de la interpretación de los levantamientos de Refracción Sísmica, a lo largo de 4260 metros, en cinco perfiles en la zona de la presa y tres en la zona de cantera. Las velocidades se dan en metros por segundo. Las escalas son de 1:1000, horizontales y verticales. Las secciones están presentadas de manera geofísica estricta, como reconstrucción de Tomografía Icónica de Trayectorias de Onda con utilización de Volúmenes Fresnel (Haz de Rayos Fresnel), sin asignar símbolos litológicos, en tanto que los geólogos del proyecto tienen mejores criterios para ello. El basamento elástico de alta velocidad (*bedrock*) está coloreado en rojo/rosado/violeta (más de 3400 m/s) y el procedimiento tomográfico automáticamente ha delimitado la profundidad de interpretación una vez que se alcanzó la velocidad alta, porque no es factible la refracción por debajo de un horizonte tal. Los cambios rápidos de color (celeste y amarillo) representan cambios radicales en la litología, mientras que los cambios graduales (verde claro a oscuro, rojo a rosado) representan variaciones progresivas. *Las secciones sísmicas no son propiamente secciones litológicas, sino más bien representaciones (imágenes) de cuadros de variaciones elásticas.* Por la necesidad de que los horizontes elásticos sean siempre más veloces (compactos) a profundidad, condición indispensable para que ocurra la refracción de ondas, toda "capa" de baja velocidad que pudiera existir bajo una de alta velocidad impediría la refracción a superficie e introduciría un error de interpretación insalvable en operaciones primarias como las de este estudio. Sin embargo, la tomografía icónica de trayectorias permite "manejar" ciertas inversiones de velocidad cuando se trata de volúmenes discretos incluidos en las secciones, como puede ocurrir en el caso de bloques dentro de aluviones o de cavernas y fracturas dentro del basamento.

Han sido diferenciados los siguientes tipos elásticos:

Sobrecarga: La cubierta exterior, constituida por sedimentos no consolidados con velocidades P en el rango de 400-1400 m/s. Coloreada con azul. Es material removible con escarificadores.

Horizonte intermedio: Bajo la sobrecarga han sido encontrados materiales con velocidades entre 1400m/s y 3000 m/s. Se trata de roca alterada/fracturada/meteorizada o de morrena. Está coloreado con verde. Los lugares con menor velocidad (celeste, 1400-1600 m/s) son los más alterados o, en caso de morrenas, se trata de las más jóvenes. Las velocidades de onda P indican que las masas con color celeste y verde claro (hasta 2200 m/s) también pueden ser removidas con escarificadores. Las coloreadas con verde oscuro son compactas (o morrenas más antiguas), sin llegar a condiciones mecánicas de roca firme.

Basamento: En todas las secciones aparece un horizonte elástico de alta velocidad relativa, con más de 3400 m/s, que puede ser considerado como roca firme, con reservas en los lugares con menor velocidad (3000 a 3400 m/s, amarillo/anaranjado). Este basamento está coloreado con rojo (3400 m/s a 4200 m/s) a rosado/violeta (>4200 m/s). El color amarillo representa roca alterada en transición a compacta.

La máxima penetración alcanzada fue de unos 40-60 metros en los sectores donde hay buen acoplamiento de los puntos de impacto con los horizontes subyacentes. En lugares de menor acoplamiento elástico, la menor penetración fue menor. En la mayor proporción de los perfiles la longitud investigada ha tenido penetración efectiva de unos 40 metros.

El perfil B no tuvo buen acoplamiento acústico entre las distancias 0 y 300, por lo que la información sísmica debe ser complementada con los datos de los perfiles D y E.

Zona del dique

Debilidad elástica, por alteración, fracturas o fallas, en:
A(600), D(50), E(450-500), E(520-600)

Cantera

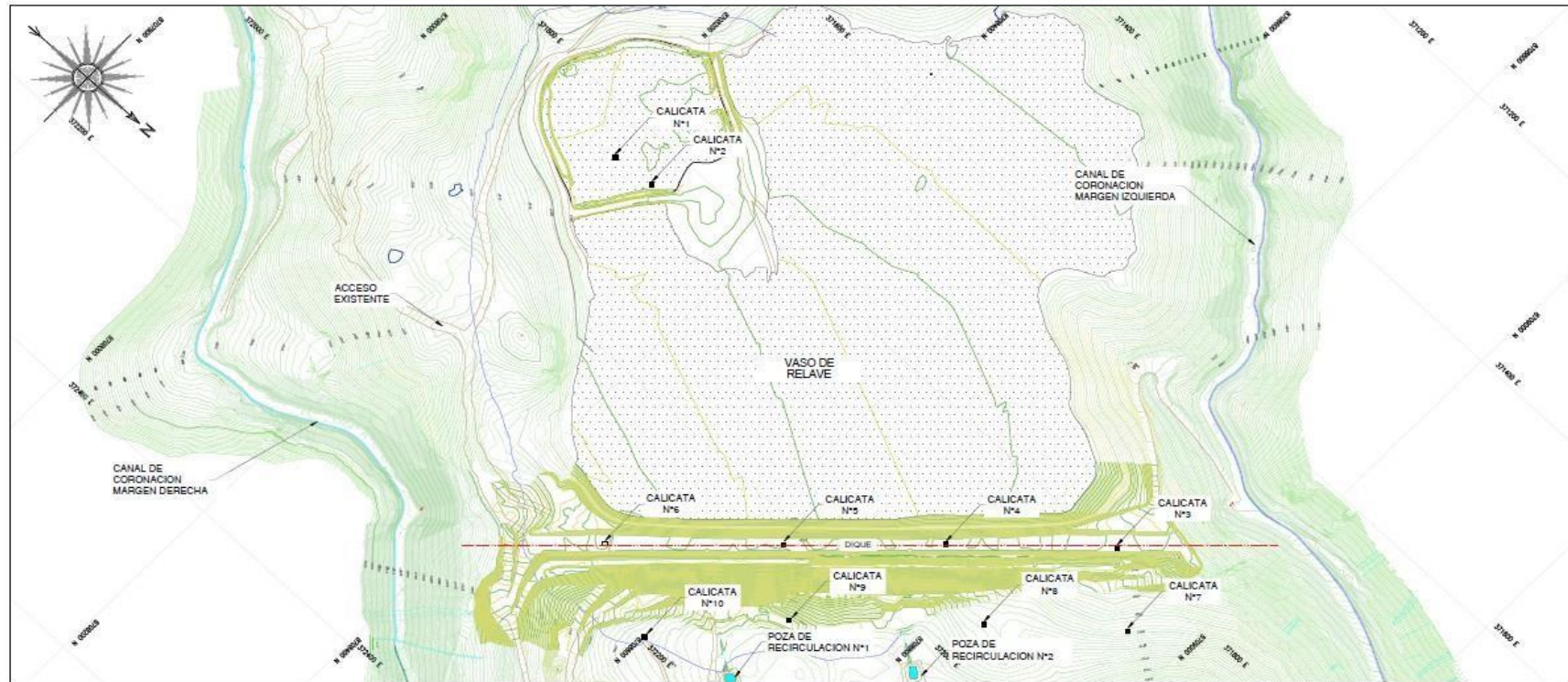
- Potencia promedio del horizonte con material suelto: 15 metros. Dentro del área cubierta con los perfiles sísmicos, hay, aproximadamente 1 millón de metros cúbicos.
- Potencia promedio del complejo de horizontes suelto y ligeramente compacto: 25m. Dentro del área cubierta con los perfiles sísmicos hay algo así como 1.6 millones de metros cúbicos.
- Debilidad elástica por alteración, fracturas o fallas, en: L(50-100), L(350-400).

Lima, 4 enero 2007

José R. Arce Alleva

José E. Arce Helberg

Anexo 3. Ubicación de calicatas



UBICACION DE CALICATAS: PLANTA
Escala: 1:87,381.500



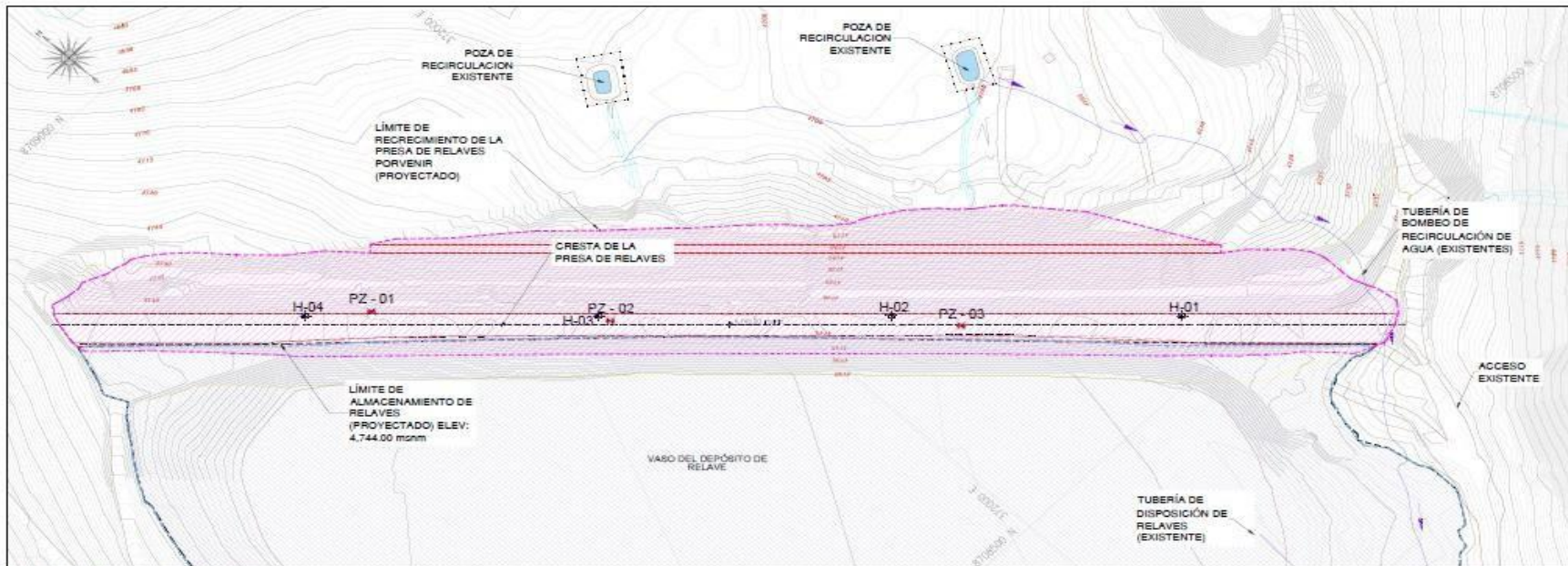
UBICACIÓN DE CALICATAS			
PUNTO	COORDENADAS UTM (Datum WGS84 - Zona 18S)		ELEVACIÓN (msnm)
	ESTE	NORTE	
P1	371.845.033	8.708.231.396	4.729.998
P2	371.840.454	8.708.277.584	4.729.847
P3	371.795.209	8.708.878.132	4.743.847
P4	371.910.628	8.708.753.523	4.743.938
P5	372.022.970	8.708.638.000	4.743.880
P6	372.146.256	8.708.509.958	4.743.901
P7	371.850.836	8.708.947.410	4.712.938
P8	371.945.462	8.708.839.835	4.709.980
P9	372.076.997	8.708.697.587	4.701.633
P10	372.190.159	8.708.606.872	4.707.444



SAENZ ARROYO ISAAC JOE
INGENIERO CIVIL
CIP N° 227547

DATO: 01/01/2021 ELABORADO: 01/01/2021 APROBADO: 01/01/2021 REVISADO: 01/01/2021	AREA MEDIO AMBIENTE Proyecto: Recreimiento de la Presa de Relaves El Porvenir, Segunda Etapa a la Cota 4745 m.s.n.m.	PROYECTO RECREIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES EL PORVENIR, SEGUNDA ETAPA A LA COTA 4745 m.s.n.m. PLANO UBICACIÓN DE CALICATAS ESTADO 01/01/2021 FECHA 01/01/2021	FECHA 01/01/2021 FECHA 01/01/2021 FECHA 01/01/2021
---	--	--	--

Anexo 4. Instrumentación y Monitoreo Geotécnico



INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA: PLANTA

LEYENDA	
	CRESTA DE LA PRESA DE RELAVES (PROYECTADO)
	ALMACENAMIENTO DE RELAVES (PROYECTADO)
	DISPOSICIÓN DE RELAVES (PROYECTADO)
	RECIRCULACIÓN DE AGUA (PROYECTADO)
	ACCESO EXISTENTE
	CRESTA DE LA PRESA DE RELAVES (EXISTENTE)
	ALMACENAMIENTO DE RELAVES (EXISTENTE)
	DISPOSICIÓN DE RELAVES (EXISTENTE)
	RECIRCULACIÓN DE AGUA (EXISTENTE)
	ACCESO EXISTENTE

UBICACIÓN DE HITOS DE CONTROL TOPOGRÁFICO		
PUNTO	COORDENADAS UTM (Datum WGS84 - Zona 18S)	
	ESTE	NORTE
H-01	372,137.40	8,708,528.23
H-02	372,037.10	8,708,631.49
H-03	371,936.01	8,708,735.51
H-04	371,834.82	8,708,839.66

UBICACIÓN DE PIEZÓMETROS		
PUNTO	COORDENADAS UTM (Datum WGS84 - Zona 18S)	
	ESTE	NORTE
PZ-01	371,859.21	8,708,817.95
PZ-02	371,937.95	8,708,729.49
PZ-03	372,057.05	8,708,602.76



Isaac Job
SANCHEZ ARROYO ISAAC JOB
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 227540

FECHA: 2024-10-24	PROYECTO: RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES EL PORVENIR, SEGUNDA ETAPA A LA COTA 4745 msnm	HOJA: 1 DE 1
AREA: MEDIO AMBIENTE	FECHA: 2024-10-24	PROYECTO: RECRECIMIENTO DE LA PRESA DE RELAVES EL PORVENIR, SEGUNDA ETAPA A LA COTA 4745 msnm
FECHA: 2024-10-24	FECHA: 2024-10-24	FECHA: 2024-10-24
FECHA: 2024-10-24	FECHA: 2024-10-24	FECHA: 2024-10-24

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Ingeniería del Recrecimiento de la Presa de Relaves para Incrementar la Capacidad de Almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	TIPO Y NIVEL
Problema General ¿De qué manera la ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves incide en el incremento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.? Problema Específicos a. ¿Cuáles son las especificaciones técnicas necesarias para el recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir que garanticen su estabilidad geotécnica y estructural en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.? b. ¿Qué volumen adicional de almacenamiento se obtiene con el recrecimiento hasta la cota 4765 m.s.n.m. en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.? c. ¿Qué sistema de control de calidad es aplicable para asegurar la ejecución adecuada del recrecimiento de la presa de relaves en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.?	Objetivo General Determinar cómo incide la ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves en el incremento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. Objetivos Específicos a. Determinar las especificaciones técnicas del diseño geotécnico y estructural del recrecimiento de la presa de relaves El Porvenir en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. b. Calcular el volumen de almacenamiento adicional generado por el recrecimiento hasta la cota 4765 m s.n.m. en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. c. Proponer un sistema de control de calidad para garantizar la correcta ejecución del recrecimiento de la presa de relaves en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C.	Hipótesis general La ingeniería del recrecimiento de la presa de relaves incide significativamente en el incremento de la capacidad de almacenamiento en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. Hipótesis específicas a.El recrecimiento de la presa de relaves basado en criterios técnicos mejora los parámetros de estabilidad, cumpliendo con factores de seguridad aceptables ($FS \geq 1.5$ estático y $FS \geq 1.0$ pseudo-estático) en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. b.El recrecimiento de la presa de relaves permite incrementar significativamente la capacidad de almacenamiento del depósito en más de 15 millones de m³ en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C. c. La implementación de un sistema de control de calidad basado en ensayos de laboratorio, geofísica y monitoreo piezométrico permite verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas del diseño en la Compañía Minera Doña Gloria S.A.C	Tipo de Investigación La investigación tiene con un enfoque cuantitativo; por el tipo de investigación que se realiza posee una característica descriptiva, por su temporalidad se denomina como investigación transversal. La presente investigación es de tipo aplicada, ya que busca resolver un problema práctico mediante el uso de conocimientos científicos Nivel de Investigación La investigación es descriptiva, porque describen los hechos tal como son observados in situ. Método de investigación Esta parte del trabajo de investigación es el resultado de la aplicación sistemática y lógica de los conceptos y fundamentos presentados en el marco teórico, ya que representa un marco metodológico. Diseño de investigación Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista (2014): “El diseño transversal recolecta datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.” (Metodología de la investigación, McGraw-Hill, 6ta edición).