

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023

Presentado por:

Eusebio Oscco Quispe

Jhon Denis Atahua Villegas

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

Diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023

Presentado por Eusebio Oscoco Quispe y Jhon Denis Atahua Villegas, para optar el título de: Ingeniero de Minas

Sustentado y aprobado el 4 de setiembre de 2024 ante el jurado evaluador:

Presidente:


Dr. Nelson Palemón Meza Peña

Primer Miembro:


Dr. Franklin Aguirre Huillcas

Segundo Miembro:


Ing. Hilario Carrasco Kolque

Asesor:


Mtro. José Adolfo Cárdenas Catalán



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 139-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada **Diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023**, presentado por el Bach. Eusebio Oscco Quispe, Para optar el Título de **Ingeniero Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (17%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 26 de agosto del 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
DE APURIMAC
Dr. Lintol Contreras Salas
DIRECTOR(E) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.
Archivo
REG. N° 576



Agradecimiento

Agradezco a la “Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac” Institución donde me formé profesionalmente en la Escuela de Ingeniería de Minas en la Facultad de Ingeniería, y cumplir con meta de ser profesional.

También el agradecimiento a toda plana de docentes de la Escuela Ingeniería de Minas que me formaron con sus enseñanzas y consejos para introducirme en el fascinante mundo minero.

A la empresa AMSAC por haberme dado la oportunidad de ejercer mi carrera Profesional y desarrollar mis conocimientos adquiridos durante mi preparatoria.

Eusebio Oscoco Quispe



Dedicatoria

A mi madre Reyna Quispe Benites, por explicarme las reglas de educación: reglas de respeto, reglas de unión y comunicación, reglas de prosperidad, reglas de seguridad; a mi papa Juan Oscoco Soras por ser un maestro comprensivo y preparado, por ser un líder congruente y admirable, un proveedor de recursos económicos e intelectuales, un protector que pone escudos para que otros no me dañen, un amigo a quien pueda confiar. A mis hermanos: Alejandrina, Alex, Fidel y Edith, por ser mis alentadores cómplices de que mi sueño se haga realidad, no puedo decir gracias cuando hay tantas personas a quienes obviamente esta tesis es una forma de dedicarles a mis segundos padres que fueron modelos de conducta poderosas, Margarita Soras Huamán Y Pablo Saavedra Oros, las personas más directamente responsables de que este trabajo se haya vuelto realidad.

Eusebio Oscoco Quispe

Le dedico a mis seres queridos, a mis padres por su amor, apoyo y confianza, a mis hermanos por su apoyo y confianza y a mis amigos más cercanos por todo el amor y cariño incondicional que me brindaron, por el trabajo sacrificado que se debe realizar para poder llegar a las metas propuestas en la vida profesional y personal, logrando que los días transcurridos y por transcurrir estime más a todos los seres queridos que siempre estuvieron conmigo. A los profesionales y técnicos con los que compartí conocimientos, experiencias y disciplina trabajando en equipo, obteniendo el propósito de la empresa generando un ambiente laboral estable en las diferentes áreas que pertenecen a la empresa.

A mi casa de estudio superior por darme conocimientos solidos ante situaciones de análisis y ejecución en el campo de trabajo, la cual me sirvió para desenvolverme en el campo de trabajo ante presiones.

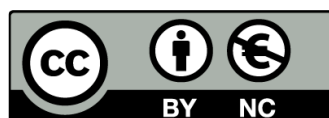
Jhon Denis Atahua Villegas



Diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023

Línea de Investigación: Geología, geotecnia y medio ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPÍTULO I	5
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del problema	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos	7
1.3 Justificación de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
2.1 Objetivos de la investigación	8
2.1.1 Objetivo general	8
2.1.2 Objetivos específicos	8
2.2 Hipótesis de la investigación	8
2.2.1 Hipótesis general	8
2.2.2 Hipótesis específicas	8
2.3 Operacionalización de variables	9
CAPÍTULO III	10
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
3.1 Antecedentes	10
3.2 Marco teórico	14
3.2.1 Relaves mineros	14
3.2.2 Manejo de relaves mineros	14
3.2.3 Depósito de relaves mineros	15
3.2.4 Criterios de diseño de depósito de relaves	15
3.2.5 Cálculo de volumen de depósito proyectado	15
3.2.6 Residuos mineros	16



3.2.7	Caracterización de residuos mineros	17
3.2.8	Pasivos ambientes	18
3.2.9	Impacto ambiental en minería	19
3.2.10	Geotecnia y condiciones geotécnicas para el diseño de depósitos de relaves	20
3.2.11	Cal como material para estabilizar	20
3.2.12	Actividades detalladas de cierre de minas	21
3.2.13	Ensayos de campo y laboratorio para el diseño de depósitos de relaves	23
3.2.14	Estabilidad de taludes	24
3.2.15	Equilibrio límite	24
3.2.16	Factor de seguridad	24
3.2.17	Método de Spencer	25
3.2.18	Elementos de un talud o ladera	25
3.2.19	Movimientos de tierras	26
3.2.20	Sistemas hidráulicos, impermeabilidad y cobertura de depósitos	27
3.2.21	Programa computacional SLIDE V.6.0	28
3.2.22	Construcción de depósitos para relaves mineros	29
3.2.23	Requisitos de construcción de depósitos para relaves	29
3.2.24	Proceso de construcción de depósitos para relaves mineros	31
3.3	Marco conceptual	32
CAPÍTULO IV		36
METODOLOGÍA		36
4.1	Tipo y nivel de investigación	36
4.2	Diseño de investigación	36
4.3	Población y muestra	36
4.4	Procedimiento	37
4.5	Técnicas e instrumentos	37
4.6	Análisis estadístico	38
CAPÍTULO V		39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
5.1	Análisis de resultados	39
5.1.1	Caracterización de los residuos mineros	39
5.1.2	Resultados de topografía de los pasivos ambientales	41
5.1.3	Investigaciones geotécnicas directas mediante excavación de calicatas	42
5.1.4	Evaluación de condiciones geotécnicas	43
5.1.5	Ensayos de densidad de campo	46

5.1.6	Ensayos de permeabilidad	47
5.1.7	Investigaciones geotécnicas indirectas (geofísica sísmica)	48
5.1.8	Cálculo de la estabilidad de taludes para el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023	50
5.1.9	Evaluación de las condiciones geotécnicas de los suelos y rocas	50
5.1.10	Definición de parámetros	52
5.1.11	Metodología de los análisis de estabilidad	53
5.1.12	Resultados obtenidos del análisis de estabilidad en condición de depósito	55
5.1.13	Movimiento de tierras	65
5.1.14	Sistema hidráulico del depósito	69
5.1.15	Sistema de impermeabilización del depósito	72
5.1.16	Actividades de cierre del depósito de relaves 796-A	76
5.1.17	Actividades de cierre del depósito de relaves 796-B	79
5.1.18	Actividades de cierre del depósito de relaves 798	84
5.2	Discusión	88
CAPÍTULO VI		90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		90
6.1	Conclusiones	90
6.2	Recomendaciones	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		92
ANEXOS		97

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1— Operacionalización de variables	9
Tabla 2 — Tipo de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023.....	39
Tabla 3 — Dimensiones y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023.	40
Tabla 4 — Coordenadas UTM de los residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798 de la UM Caridad – Huarochirí, 2023.	42
Tabla 5 — Resultados del análisis de estabilidad de taludes.....	46
Tabla 6 — Ensayo de densidad natural	47
Tabla 7 — Ensayo de permeabilidad Lefranc	48
Tabla 8 — Resumen de ensayos de refracción sísmica	49
Tabla 9 — Resumen de propiedades de materiales para el depósito	53
Tabla 10 — Resultados del análisis de estabilidad de taludes proyectados	55
Tabla 11 — Resultados del análisis de mezcla óptimo para tratamiento de relaves.....	63
Tabla 12 — Resultados del mezcla óptimo para tratamiento de relaves	64
Tabla 13 — Movimiento de tierras - preparación del terreno para el depósito	67
Tabla 14 — Movimiento de tierras – relleno con relave tratado	68
Tabla 15 — Movimiento de tierras depósito de relaves 796-A	77
Tabla 16 — Movimiento de tierras depósito de relaves 796-B	79
Tabla 17 — Movimiento de tierras depósito de relaves 798	85
Tabla 18 — Matriz de consistencia	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Nomenclatura de taludes y laderas.....	26
Figura 2 — Relaves mineros 796-A, 796-B, 798	36
Figura 3 — Dimensiones de depósito de relaves	56
Figura 4 — Análisis de estabilidad global estático en falla circular	57
Figura 5 — Análisis de estabilidad global pseudo – estático en falla circular	58
Figura 6 — Análisis de estabilidad global estático, falla en bloque.....	59
Figura 7 — Análisis de estabilidad global, pseudo – estático, falla en bloque	60
Figura 8 — Análisis de estabilidad en dique, estático, falla circular.....	61
Figura 9 — Análisis de estabilidad en dique, pseudo – estático, falla circular	62
Figura 10 — Vista en planta de depósito desmonte compactado y relave tratado.	65
Figura 11 — Preparación del terreno del depósito.	66
Figura 12 — Conformación del dique de arranque del depósito.....	66
Figura 13 — Conformación del depósito con material excedente.	67
Figura 14 — Conformación del depósito con relave tratado.....	68
Figura 15 — Distribución de volúmenes en el depósito proyectado.....	68
Figura 16 — Sistema de subdrenaje de agua de no contacto.	69
Figura 17 — Diseño del subdrenaje de agua de no contacto.	69
Figura 18 — Sistema de subdrenaje de agua remanente	70
Figura 19 — Diseño de subdrenaje de agua remanente	70
Figura 20 — Sistema de drenaje superficial del depósito.	71
Figura 21 — Diseño de drenaje superficial del depósito.....	71
Figura 22 — Sistema de impermeabilización en la base del depósito proyectado.....	72
Figura 23 — Capas de impermeabilización en la base del depósito proyectado	72
Figura 24— Sistema de impermeabilización en la cobertura del depósito	73
Figura 25 — Capas de impermeabilización en la cobertura del depósito	73
Figura 26 — Sistema de cobertura en el depósito.	74
Figura 27 — Sistema de anclado y diseño de capas del sistema de cobertura en el depósito..	75
Figura 28 — Hito de control topográfico.	75

Figura 29 — Depósito de relaves 796-A	76
Figura 30 — Sistemas de drenaje aguas arriba, aguas abajo	78
Figura 31 — Cobertura del depósito de relaves 796-A.	79
Figura 32 — División de áreas del depósito de relaves 796-B	79
Figura 33 — Alcantarilla para el trasvase de aguas.....	82
Figura 34 — Derivación del cauce	83
Figura 35 — Cobertura del depósito de relaves 796-B	84
Figura 36 — Subdivisión del depósito de relaves 798.	85
Figura 37 — Drenaje perimetral aguas arriba, aguas abajo	87
Figura 38 — Cobertura del depósito de relaves 798.	88
Figura 39 — Figura de ubicación del depósito de relaves 796 - B	99
Figura 40 — Figura de ubicación del depósito de relaves 796 - A	100
Figura 41 — Figura de ubicación del depósito de relaves 798	101
Figura 42 — Características de los relaves mineros 796-A, 796-B, 798 (fichas PAM).....	107
Figura 43 — Plano topográfico de la relavera 796 - A.....	108
Figura 44 — Sección transversal de la relavera 796 - A	109
Figura 45 — Plano topográfico de la relavera 796 - B.....	110
Figura 46 — Sección transversal de la relavera 796 - B	111
Figura 47 — Plano topográfico de la relavera 798.....	112
Figura 48 — Sección transversal de la relavera 798	113
Figura 49 — Registro a detalle de las excavaciones de calicatas.....	115
Figura 50 — Caracterización geotécnica de los pasivos	117
Figura 51 — Resultados obtenidos – ensayo MASW.	119

INTRODUCCIÓN

La investigación titulada “Diseño del depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023”, donde la minería es una industria importante que contribuye significativamente al crecimiento económico de muchos países. Sin embargo, también tiene impactos ambientales negativos, como la contaminación. Una de las principales fuentes de contaminación en la minería es la generación de relaves mineros. Los relaves mineros son los materiales de desecho que quedan después de la extracción de minerales. Por lo general, se almacenan en un área designada llamada instalación de almacenamiento de relaves, al respecto el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2020), señala que los depósitos de relaves mineros es una estructura o instalación construida y diseñada con la finalidad de almacenar relaves mineros procedentes de plantas y unidades mineras, asimismo, implica obras complementarias que sirven o son utilizadas como áreas de almacenamiento generalmente de relaves solidos que facilita la recuperación del agua que fue transportada.

Por tanto, la gestión de los relaves mineros es crucial para el desarrollo sostenible de la industria minera, dado que es importante diseñar y construir instalaciones de almacenamiento de relaves que puedan contener de manera segura los materiales de desecho y evitar que contaminen el medio ambiente circundante, por lo que es importante la construcción de depósitos de relaves mineros, comprendiendo que la construcción implica la ejecución de actividades y procesos que buscan garantizar la seguridad, la estabilidad y la gestión adecuada de los residuos generados durante las operaciones mineras (Rodríguez, 2022). El depósito para la disposición final de relaves mineros, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí Lima al 2023 es un componente crítico del plan de manejo de relaves mineros.

Cuando una mina llega al final de su vida operativa, debe cerrarse de manera que se minimice su impacto en el medio ambiente. La investigación es parte de un proceso de cierre de minas de la Unidad Minera Caridad, con la finalidad de almacenar todos los relaves mineros de los 3 depósitos generados de la explotación minera Caridad. Esta investigación parte de un estudio de ingenierías basada en los trabajos complementarios del cierre de mina, teniendo un tipo de



investigación de tipo aplicada, de diseño no experimental, trabajando específicamente con los relaves mineros generados por la explotación minera.

Además, la gestión eficaz de los relaves mineros es fundamental para evitar daños ambientales proteger la salud y la seguridad de las comunidades cercanas. Es esencial comprender qué son los relaves mineros, los impactos ambientales potenciales y la importancia de cumplir con las leyes y regulaciones ambientales relacionadas con el manejo de los relaves mineros. Las estrategias para una gestión eficaz de los relaves mineros incluyen la reducción al mínimo de la generación de relaves, el tratamiento y la disposición de los relaves de forma que se minimicen los impactos ambientales y el control y la gestión de las instalaciones de relaves mineros para evitar daños ambientales, donde la implementación de estas estrategias puede asegurar que las actividades mineras se realicen de manera sostenible y responsable.

En concordancia con la estructura estipulada por la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, se presenta la investigación con los siguientes capítulos estructurados:

Capítulo I: Se presenta el planteamiento del problema, los enunciados, la justificación y la ubicación geográfica del lugar de investigación.

Capítulo II: Se presenta los objetivos e hipótesis de investigación. Además, de la operacionalización de variables.

Capítulo III: Se desarrolla el marco teórico referencial, con los antecedentes de la investigación a nivel internacional y nacional. Además de las bases teóricas y el marco conceptual.

Capítulo IV: Se detalla la metodología de investigación, demostrando el tipo y nivel de investigación. Además, el tamaño de la muestra, el procedimiento, las técnicas de recolección de datos y finalmente el análisis estadístico.

Capítulo V: Se presenta los resultados y discusión según los objetivos planteados en la investigación.

Capítulo VI: Se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

Finalmente, las referencias bibliográficas y los anexos de investigación.



RESUMEN

La investigación parte de la problemática de evidenciar grandes pasivos ambientales generados por la explotación de la Unidad Minera Caridad, y dichos relaves mineros se encuentran en la intemperie, es por lo cual plantea como objetivo general: “Diseñar el depósito para la disposición final de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023”. Metodológicamente la investigación es de tipo aplicada, de un diseño no experimental, cuya muestra de estudio de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la Unidad Minera Caridad. El proceso de recolección de datos se realizó mediante la observación y en el análisis de los expedientes técnicos del consorcio minero Junín, los instrumentos utilizados fueron, cuadernos de campo y otros materiales técnicos. El análisis de datos se realizó en Microsoft Excel 365 y el diseño en programa SLIDE, demostrando en los resultados que los residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798 son de tipo relave con tamaño de partícula fina, húmeda y sin cobertura, con un total de 2 686,00 m³, 12 722,00 m³ y 50 657,00 m³ de volumen respectivamente. En conclusión, se diseñó el depósito con una capacidad de 374 127,21 m³ de almacenamiento basado en la estabilidad de taludes y factor de seguridad, en los cuales se hizo los cálculos correspondientes sobre movimiento de tierras y la capacidad de almacenamiento de relaves mineros 796-A, 796-B y 798. Además, se diseñó los sistemas hidráulicos, impermeabilidad y cobertura para una eficiente disposición final de los relaves mineros generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023

Palabras clave: *diseño, relaves mineros, disposición final, cierre de minas.*



ABSTRACT

The research stems from the problem of highlighting significant environmental liabilities generated by the exploitation of the Caridad Mining Unit, where these mining tailings are exposed to the elements. Therefore, the general objective is to "Design the deposit for the final disposal of mining tailings 796-A, 796-B, and 798 generated by the exploitation of the Caridad Mining Unit – Huarochirí, 2023." Methodologically, the research is applied with a non-experimental design, using as the study sample the mining tailings 796-A, 796-B, and 798 generated by the exploitation of the Caridad Mining Unit. Data collection was carried out through observation and analysis of the technical files from the Junín consortium, utilizing instruments such as field notebooks and other technical materials. Data analysis was conducted in Microsoft Excel 365, and the design was created using the SLIDE program, demonstrating in the results that the mining waste generated by the exploitation of 796-A, 796-B, and 798 is of the tailings type with fine particle size, wet, and without cover, with a total volume of 2 686,00 m³, 12 722,00 m³, and 50 657,00 m³, respectively. In conclusion, the deposit was designed with a capacity of 374 127,21 m³ of storage based on the stability of slopes and safety factors, for which the corresponding calculations regarding earth movement and the storage capacity of mining tailings 796-A, 796-B, and 798 were carried out. Additionally, hydraulic systems, impermeability, and cover were designed for the efficient final disposal of the mining tailings generated by the exploitation of the Caridad Mining Unit – Huarochirí, 2023.

Keywords: *design, tailings, tailings impoundment, mine closure.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

El Perú es conocido con tener reservas de minerales metálicos y no metálicos muy importantes a nivel internacional, esto a su vez refleja en la producción y exportación de concentrado de minerales como: plata, cobre, zinc, oro y otros. Sin embargo, también deja consecuencias que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad, asociados a los pasivos ambientales mineros (PAMs), que por concepto se definen como aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de relaves producidos por las operaciones mineras, abandonadas o inactivos a julio del 2004; las mismas que setiembre de 2023 sumaron 6 128 pasivos ambientales mineros de diferentes operaciones mineras; esto según al inventario aprobado por el ministerio de Energía y Minas. (Ley 28271, 2004 pág. art. 2) Pese a lo cual, uno de los problemas que la actividad minera genera cambios permanentes en las condiciones superficiales y sub- superficiales del terreno y los cursos de agua asociados a los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs).

Los PAMs son resultado de un mal cierre de minas o abandono total, por lo cual, no tienen un manejo ambiental apropiado y certificado por la autoridad competente. Los principales problemas para la remediación de los pasivos son las carencias que existe en identificar a los responsables de las minas abandonadas y a la necesidad de recursos para su remediación, considerando que cuando no es posible identificar a un responsable o no aceptan asumir su responsabilidad por que la norma se implementa después de la fecha que fue publicada, el estado peruano se hace responsable. Este problema necesita que exista procesos para remediar los efectos de los PAMs, se realizan las reparaciones respectivas y los controles de los daños. El Perú cuenta con un marco normativo específico sobre los PAMs Ley N° 28271 “Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera” y D.S. N° 059 – 2005-EM; Reglamento de pasivos ambientales de la

actividad minera y sus modificatorias vigentes, con este importante avance en el fortalecimiento del manejo de los PAMs, a un no se ha logrado un cambio significativo. La Unidad Minera Caridad es una de la minas antiguas de lo cual no se ha podido identificar los responsables de dicha actividad minera debido a que tuvo sus operaciones subterráneas en los años 1974 al 1995, donde únicamente se dedicaron a realizar sus operaciones de explotación y procesamiento de minerales sin contar con un plan de cierre de mina debido a la carencia de las normas ambientales establecidos por el estado peruano, uno de sus pasivos ambientales son los 3 depósitos de relaves abandonados y codificados con relave 796-A, relave 796-B y relave 798, depositados en el suelo orgánico, producto de sus operaciones por tanto a través de Minen y con encargo ha AMSAC (Activos Mineros S.A.C.) tienen como objetivo depositar los relaves mineros en un depósito nuevo que cumpla con las normas y estándares ambientales peruanas.

La unidad minera Caridad es parte de la provincia de Huarochirí, en lo cual comprende actividades referidas a obras provisionales, preliminares, de habilitación de accesos, de movimiento de tierras, y de actividades para la estabilidad del PAMs en el tiempo, cuenta con un total de 29 bocaminas, 4 chimeneas, 3 piques, 3 tajeos comunicados y 2 tajos, en lo cual se realiza el cierre de las instalaciones para el manejo de residuos que constan de 38 desmontes de mina y 3 depósitos de relaves, este último es parte de las bocaminas en estudio. Cabe indicar que la unidad minera caridad cuenta con grandes pasivos ambientales en lo cual año tras año se va trabajando para este plan de cierre definitivo, dentro de este proceso se tiene el diseño y construcción del depósito para la disposición final de relaves, por medio de la administración de una empresa tercera para realizar los procesos de cierre de mina, es por lo cual la presente investigación toma importancia de poder describir y analizar los procesos de diseño y construcción de dicho depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Como diseñar un depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí - Lima, 2023?



1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es el volumen y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí - Lima, 2023?
- ¿Como es la estabilidad de taludes para el diseño del depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí - Lima, 2023?
- ¿Cuáles son las actividades de cierre de residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798 de la UM Caridad Huarochirí - Lima, 2023?

1.3 Justificación de la investigación

La investigación se justifica dado que dará solución en la remediación de los depósitos de relaves mineros generados durante la explotación de la mina Caridad ubicándolos en un nuevo depósito de relave minero llamado depósito Tasacocha donde serán almacenados y tratados debidamente cumpliendo con los lineamientos establecidos en la Ley 28271, Ley que regula los pasivos ambientales mineros de la actividad minera, y su reglamento aprobado por D.S.N° 059-2005-EM y sus modificaciones vigentes.

Activos Mineros S.A.C se encargará de remediar los 91 pasivos ambientales identificados en la unidad minera Caridad con la finalidad que el ambiente donde se desarrolló la operación recupere las condiciones ambientales y de esa manera, se mitigará los impactos negativos y una mejora en el entorno. Bajo ese contexto la investigación que se realizará propone, que el cierre de depósitos de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 lo cual buscará estabilizar el entorno, minimizando y cumpliendo la legislación ambiental.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Determinar el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar el volumen y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.
- Calcular la estabilidad de taludes para el diseño del depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.
- Determinar las actividades de cierre de residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798, de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

El diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798 será óptimo, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

2.2.2 Hipótesis específicas

- El volumen y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 será un indicador clave en el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.



- La estabilidad de taludes es óptima para el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.
- Las actividades de cierre de residuos mineros será la remoción total, perfilado del terreno y cobertura de los relaves 796-A, 796-B y 798 mineros generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1— Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Índices
Variable independiente Almacenamiento de relaves mineros	Volumen y Caracterización de relaves 796 – A 796 – B 798	Cantidad de relave minero	Volumen (m ³)
Variable Dependiente Diseño de depósito	Parámetros	Topografía	
		Dimensiones y capacidad	Longitud (m) y volumen (m ³)
		Distribución de volúmenes	Volumen (m ³)
	Sistemas	De hidráulico	Volumen (m ³)
		De impermeabilización	Volumen filtrado (m ³)
		De cobertura	Metros cuadrados (m ²)
		De subdrenaje de agua remanente	Volumen (m ³)
		Esquema de manejo de aguas superficiales	Espejo en (m ²) Altura de espejo (m)

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

- a) Díaz y otros (2020), realizó un estudio titulado “Identificación de alternativas de almacenamiento de relaves generados en la Minería Aurífera en Colombia” cuyo objetivo fue “Identificar estrategias que mejoran el almacenamiento de relaves mineros en las empresas auríferas a gran escala desde la evaluación de experiencias de trabajos previos en Colombia y otros Países”, estudio elaborado desde la metodología de tipo descriptiva ya que sistematizó diversos estudios en Colombia y otros países acerca de depósitos y manejo de relaves mineros, llegando a resultados de que existen diversas alternativas emergentes para el manejo de relaves en la minería teniendo beneficios importantes; en la medida en que las empresas implementen este tipo de tecnologías podrán garantizar un manejo óptimo de los relaves y el cumplimiento efectivo de las medidas ambientales asociadas a los programas en manejo de desechos industriales líquidos y sólidos contempladas en sus planes de manejo ambiental.
- b) Espín, (2017), realizaron un artículo de investigación denominado “Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco” cuyo objetivo fue “Identificar técnicas y sistemas de manejo, tratamiento y disposición final de relaves generados durante la vida útil del proyecto Minero Río Blanco” estudio de tipo mixto, donde se cuantificaron reservas y recursos mineros existentes y se cualificaron la generación de relaves, llegando a resultados de que mediante la evaluación se determinó las principales técnicas de manejo, gestión y alternativas de tratamiento se deben ejecutarse en la operación del depósito de relaves mineros, en cambio la ejecución de las alternativas de disposición final se



ejecuta en el proceso de operación o a su vez al final de la vida útil del proyecto minero, entre las técnicas de manejo in situ durante la operación permite transportar, almacenar el relave minero facilitando las alternativas de tratamiento estabilizando las altas concentraciones de metales pesados presentes en el relave (agua y sedimento) y por último las opciones de disposición final se desarrollan de manera correcta durante la operación o una vez al final de la vida útil del proyecto minero, concluyendo que existe diversos sistemas de manejo, tratamiento y disposición final de relaves mineros.

3.1.2 A nivel nacional

- a) Quispe (2021), realizó una investigación titulada “Análisis y diseño de estabilidad del depósito de relave 1 – 2 en una Unidad Minera, Huancavelica 2021” cuyo objetivo fue “Proponer el diseño de estabilidad del depósito de relave 1 – 2 de una unidad minera de Huancavelica” estudio elaborado desde la metodología de tipo explicativa – descriptiva, transeccional donde aplicó el análisis de modelo matemático correspondiente, llegando a resultados de que el depósito de relaves 1 demostraron inestabilidad en la condición pseudo estática confirmando lo visto en campo donde se evidencia desplazamientos de masas de material de relave en el talud aguas abajo, por lo que se buscó estabilizar taludes realizando cortes con talud 2H: 1 V con muros en el pie. En cuanto, al depósito de relaves, los resultados del análisis de estabilidad evidencian un talud estable tanto en condiciones estáticas, no obstante, en condiciones de exposición sísmica resulta inestable con un determinante de seguridad por debajo a 1, concluyendo que se aseguró la estabilidad para la etapa de cierre de minas, impidiendo la generación de aguas ácidas.
- b) Maco y otros (2022), realizó un estudio denominado “Diseño de un reservorio de almacenamiento de relaves mineros y su influencia en la contaminación ambiental del Rio Rímac – Matucana – Lima 2022”, cuyo objetivo fue “Identificar el impacto ambiental del diseño de reservorios de almacenamiento de relaves mineros para prevenir la contaminación ambiental de las aguas del rio Rímac” estudio desarrollado desde la metodología de tipo aplicativo, experimental, explicativo, transversal, correlacional, donde se analizó el suelo

y agua, además se aplicó cuestionarios a 20 personas, llegando a resultados de que es importante y necesario implementar sistemas de observación que aporten al control de espacios perjudicados, tiene gran importancia, ya que con los análisis podemos determinar la calidad de agua, suelo y poder definir la responsabilidad del pasivo ambiental que viene originando contaminación en la zona minera. Si el Relave minero resulta ser responsable de la contaminación se le informará, acerca de la magnitud del daño, las causas y consecuencias, a las autoridades correspondientes. Un problema de contaminación implica que puede generar impactos negativos hacia la población de Matucana y la ciudad de Lima, concluyendo que la construcción del reservorio evidencia una capacidad de aislar los contaminantes que genera el relave minero, mejorando así la calidad de vida, salud, suelo y vegetación, dándole equilibrio al ecosistema del lugar.

- c) Collascos y otros (2021), realizó una investigación titulada “Diseño geotécnico para la ampliación del depósito de relave de una empresa minera en el distrito de Acarí, 2021” cuyo objetivo fue “Demostrar la posibilidad de desarrollar el diseño geotécnico para la ampliación del depósito de relave de una empresa minera en el distrito de Acarí, 2021”, estudio elaborado desde la metodología de tipo lógico positivista, descriptiva, aplicada, retrospectiva y transversal donde se evaluara el depósito de relave de la empresa minera Cúprica S.A.C.; llegando a resultados se identificó que las características que presenta el depósito de relave de la empresa minera son las siguientes: un área de 2 580 m², un largo de 60 m, 43 m de ancho, 5 m de profundidad o altura, el material que constituye la corona tiene una densidad máxima de 2,016 g/cm³, un coeficiente de permeabilidad de 4,46E-03 cm/s, una cohesión de 0 kg/cm², ángulo de fricción de 32,8° y el material a profundidad tiene una densidad máxima de 1,969 g/cm³, un coeficiente de permeabilidad de 3,89E-03 cm/s, una cohesión de 0 kg/cm² y un ángulo de fricción de 31,5°, concluyendo que de que existe posibilidad de desarrollar el diseño geotécnico para la ampliación del depósito de relave gracias a las simulaciones efectuadas mediante el software Slide.



- d) Bances y otros (2019), realizó un estudio titulado “Nivel de conocimiento sobre las especificaciones técnicas en la construcción de depósitos de relaves en los trabajadores de la mina condestable, Mala – Lima, año 2019” cuyo objetivo fue “Demostrar el grado de conocimientos acerca de las especificaciones técnicas en la construcción de depósitos de relaves en los trabajadores de la mina Condestable” elaborado desde la metodología de tipo básica – teórica, de diseño no experimental, donde aplicó el cuestionario a 46 trabajadores, llegando a resultados de que los trabajadores tienen conocimiento de nivel moderado acerca de las especificaciones técnicas de la construcción de depósitos de relaves, en su indicador de conocer las normas legales el 64,7 % es moderado, el 60,9 % tienen conocimiento alto sobre los trabajos preliminares y nivel de conocimiento acerca de movimientos de tierra es alto con 54,3 %, concluyendo que el grado de conocimiento acerca de las especificaciones técnicas de la construcción de depósitos de relaves en los trabajadores es moderado.
- e) Machacuay (2018), realizó un estudio titulado “Métodos de crecimiento para la viabilidad en la construcción del depósito de relaves Chacchuille IV de Cía. Minera Caraveli S.A.C.” cuyo objetivo fue “Demostrar la incidencia en los métodos de crecimiento de depósito de relaves para la viabilidad en la construcción del depósito de relaves Chacchuille IV”, elaborado desde la metodología de tipo aplicada, cuasi experimental, explicativo donde la muestra fue el nuevo depósito de relaves Chacchuille IV de Cía. Minera Caraveli S.A.C., arribando a resultados de que del factor de seguridad obtenida para el método aguas abajo son mayores a los mínimos recomendados y adoptados como criterios de diseño; ocurre lo contrario para el método línea centra, concluyendo que existe incidencia de los métodos de crecimiento de depósitos de relaves en la viabilidad para la construcción de depósitos de relaves Chacchuille IV.
- f) Aguirre (2017), realizó una investigación denominado “Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N°5 de la concesión de beneficios Belén de Minera Titán del Perú S.R.L.” cuyo objetivo fue “Demostrar la incidencia de la estabilidad física en el depósito de relaves N° 5 de la empresa



Minera Titán”, estudio elaborado desde la metodología de tipo descriptivo, correlacional, arribando a resultados de que el análisis de estabilidad física del depósito de relaves N° 5 indican que para las condiciones proyectadas tomando en cuenta los cambios realizados en la disposición de relaves así como la construcción de la berma de contención, el depósito de relaves N° 5 obtiene valores favorables de los factores de seguridad para la sección analizada, certificando una operación segura, concluyendo que la estabilidad física incide en el depósito de relaves.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Relaves mineros

Comprende materiales y productos que son desechados sin beneficio alguno a nivel económico en las operaciones mineras al momento de su producción, por lo que comúnmente son almacenados de forma más económica para cumplir como una obligación porque el marco normativo lo exige (Valdez, y otros, 2020). Asimismo, Xiaolong, et al. (2021), agregan que los relaves mineros son materiales rechazados catalogados como aquellos que no sirven para la producción, por lo que son almacenados en un área específico, cuyas instalaciones tienen la finalidad de brindar un almacenamiento estable, seguro y económico de relaves que presentan riesgos significantes para la salud e impactos ambientales y sociales que tienen aceptación bajo en el proceso de operación y posterior cierre.

Por tanto, los relaves mineros, también conocidos como colas o residuos de minería, son los materiales que quedan como subproducto después de que se ha procesado el mineral extraído de una operación minera para obtener los metales o minerales deseados. Estos materiales suelen contener una mezcla de partículas finas de roca, minerales, agua y productos químicos utilizados en el proceso de extracción y beneficio del mineral.

3.2.2 Manejo de relaves mineros

La gestión adecuada de los relaves mineros implica estrategias para minimizar los riesgos ambientales y para asegurar la estabilidad de los depósitos. Esto puede incluir prácticas de ingeniería para construir represas de relaves seguras, la implementación de tecnologías de manejo y tratamiento de aguas, y la adopción de medidas de control de polvo y partículas.



3.2.3 Depósito de relaves mineros

Estructura diseñada y construida para almacenar relaves provenientes de una planta concentradora, incluyendo sus obras auxiliares. Su función principal es la de servir como depósito, generalmente definitivo de los materiales sólidos proveniente de los relaves, permitiendo así la recuperación de la mayor parte del agua. (MEM, 2020)

Según el Servicio Nacional de Geología y Minería citado por Ledesma (2018), considera la siguiente tipología:

- Depósitos superficiales: comprende áreas o instalaciones de tipo tanque que son instalados con pantallas de arena de relave, embalses de relaves comprendido con pantalla de materiales de empréstitos, que implica depósitos de relaves pesados, de pasta u filtrados.
- Depósitos subterráneos: comprende depósitos que se localizan en unidades mineras subterráneas tanto operativas como abandonados, además en depósitos excavaciones abiertas.

3.2.4 Criterios de diseño de depósito de relaves

El estudio consiste en diseñar un depósito para la disposición de relaves que sea estable en condiciones estáticas y pseudo estáticas, el diseño debe asegurar además una estabilidad hidrológica, estos requerimientos se deben cumplir tanto a corto plazo como a largo plazo.

Los criterios de diseño se han basado en los estudios de ingeniería básica ejecutados en el estudio: topografía, geología, hidrología, hidrogeología, geotecnia y peligro sísmico. (Huaña, 2015 pág. 62)

3.2.5 Cálculo de volumen de depósito proyectado

Para calcular el volumen de un depósito proyectado, se emplean ecuaciones geométricas basados en la forma de depósitos, y se consideran los siguientes:

Forma rectangular o prismática: Si el depósito tiene una forma rectangular o prismática, el volumen se calcula con la siguiente ecuación:

$$Volumen = L * W * H$$

Donde.

L: longitud (m)

W: ancho (m)



H: altura (m)

- Forma cónica o piramidal: Si el depósito tiene una forma cónica o piramidal, el volumen es:

$$Volumen = \frac{\pi * r^2 * H}{3}$$

Donde:

r: radio de la base (m)

H: altura (m)

- Forma cilíndrica: Si el depósito tiene una forma cilíndrica, el volumen es:

$$Volumen = (\pi * r^2 * H)$$

Donde:

r: radio de la base (m)

H: altura (m)

- Forma irregular: Si el depósito tiene una forma irregular, se puede dividirlo en secciones más simples, calcular el volumen de cada sección por separado y luego sumar estos volúmenes individuales para obtener el volumen total.

3.2.6 Residuos mineros

Los residuos mineros implican materiales contaminantes, donde su caracterización física se encuentra incidida por determinantes como su origen, es decir, dependen de tipo de minerales y recursos que se extraen de la mina, además del proceso de fusión. A través de pruebas de laboratorio se realizan estimaciones de las propiedades de estos materiales, generalmente se determinan por siguientes determinantes: composición de agua natural, la densidad relativa de sólidos, la distribución granulométrica, los límites de consistencia y cuando es probable tener un volumen dañado o saturado. Todos estos factores dependen del tipo de muestra que fue tomada, ya sea alterada o no alterada Bernal y otros (2021).

Por otro lado, González (2021), menciona que existen diversos residuos mineros según la fase en la que se encuentra la minería, como es en el proceso de extracción donde se encuentran terreros, tepetates que son materias de especies minerales extraídas pero no tomados en cuenta a nivel económico, asimismo en el fase de beneficios se consideran los jales que comprenden los apilamientos de rocas

molidas de interés como el zinc, plomo, plata y otros que fueron extraídos de las rocas que contienen.

3.2.7 Caracterización de residuos mineros

Para realizar evaluaciones y estudios sobre las dificultades respecto a seguridad y estabilidad de depósitos de residuos mineros es importante realizar la caracterización, que constituye un elemento fundamental para el diseño constructivo y de cierre de los depósitos, garantizando seguridad ambiental y estabilidad. Al respecto, Huamán – Paredes, et al. (2020), menciona que la caracterización de residuos Mineros fue objeto de estudio por diferentes autores, quienes concuerdan que la caracterización es un aspecto importante para la construcción y cierre de depósitos, siendo importante realizar evaluación de aspectos como propiedades mecánicas, físicas, hidromecánicas e hidrogeológicas de residuos mineros que dependen de diferentes determinantes como es:

- El tipo y naturaleza del yacimiento mineral que ha sido depósito mineral o está siendo explotado actualmente.
- La operación minera en discusión, ahora se está explotando, la escala de la operación minera en discusión.
- Las características del proceso metalúrgico utilizado.

La técnica utilizada para RMMS (relave minero - metalúrgico sólido) vertido y las condiciones climáticas del área local donde se depositan.

Al respecto, Rodríguez y otros (2006), considera que es importante realizar los siguientes estudios:

- Propiedades físicas: los residuos minerales se encuentran compuestas por una serie de discontinuidad de partículas, por lo que comprende un sistema donde se diferencia de tres fases como estado sólido, líquido y gaseoso. Al respecto, Bernal y otros (2021) menciona que el conocimiento de las propiedades físicas y las expresiones matemáticas para su determinación es básico en los diferentes estudios relacionados con el almacenamiento, tratamiento y gestión de los residuos minero-metalúrgicos y el medio ambiente en general.
- Propiedades mecánicas: los residuos minerales también comprenden procesos de consolidación, que comprende la sedimentación que experimenta los residuos vertidos por decantación en las balsas de residuos, después procede

con la expulsión de agua de los poros a consecuencia de la acción del peso de las nuevas capas de residuos vertidas y también por acción de fases de secado y humedecimiento que presenta el material, dichos procesos juega un rol importante a las condiciones climáticas.

- Hidrogeologías: es la caracterización de residuos minerales, es importante la hidrogeología, dado que permite comprender cómo los contaminantes pueden moverse en el subsuelo y afectar las aguas subterráneas y superficiales. Esto permite tomar medidas adecuadas para minimizar los impactos ambientales y proteger la calidad del agua y el entorno en general.
- Hidromecánicas: la caracterización hidromecánica de residuos mineros es crucial para tomar decisiones informadas sobre el manejo, disposición y mitigación de riesgos asociados a estos materiales. La comprensión de cómo interactúan con el agua y cómo pueden cambiar sus propiedades mecánicas y químicas es esencial para prevenir impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

3.2.8 Pasivos ambientales

Hace referencia a “aquellos efluentes, emisiones, contaminantes del suelo, aire, agua, residuos remanentes, restos de botaderos y las instalaciones producto del desarrollo de la actividad minera y que son catalogados como riesgos, es decir contaminantes que representan un peligro en la salud e integridad de la población, de los ecosistema y propiedades del entorno” (Meneses, 2020). A ello, Eslava (2021), agrega que “El pasivo no solo implica a contaminación, sino que implica las prácticas y actividades del hombre de manera negativa en el ambiente y al no considerar estos aspectos conlleva a la contaminación sin retribución en el Estado” (p. 5).

Por otro lado, Chappuis (2019), menciona que “Los pasivos ambientales se diferencian de acuerdo al tipo de componente, es decir, de acuerdo con las actividades mineras como son chimeneas, bocaminas, residuos mineros como relaves y desmontes, infraestructuras como oficinas, campamentos y talleres entre otros residuos químicos”.

Por tanto, pasivos ambientales se refieren a las obligaciones o responsabilidades que una empresa, entidad gubernamental u otra organización tiene con respecto a

daños ambientales pasados o presentes que han sido causados por sus actividades. Estos daños ambientales pueden incluir contaminación del suelo, del agua o del aire, degradación del ecosistema, acumulación de desechos tóxicos, entre otros, que pueden surgir y diversas fuentes, como la producción industrial, la minería, la explotación de recursos naturales, la generación de residuos, entre otros. Estas actividades pueden tener efectos negativos a largo plazo en el medio ambiente y la salud humana, lo que puede resultar en costos significativos para remediar los daños y restaurar el entorno por lo que su manejo es importante.

3.2.9 Impacto ambiental en minería

Para centrarnos en el impacto ambiental en minería es importante categorizar qué es impacto ambiental, comprendiendo que el impacto alude a las modificaciones y alteraciones que se generan producto de la intervención de actividades humanas en el entorno, centrándonos en el ambiente alude a las alteraciones que se originan por las acciones humanas y comúnmente se manifiesta en tres aspectos, tal como Soriano y otros (2015), señala lo siguiente:

- Cambios de algunos de los determinantes ambientales o de una serie de sistemas ambientales.
- Cambios en el valor del determinante modificado o de una serie de sistemas ambientales
- La comprensión o significado ambiental de esas alteraciones, en aspecto como la salud y bienestar de las personas.

Con relación a la actividad minera, el impacto ambiental comprende alteraciones y modificaciones en el medio natural, es decir, que “La actividad minera produce modificaciones en el ambiente natural, unas casi imperceptibles por los órganos de los sentidos y otras que representan impactos claros en las personas y el medio en el que éstos se desarrollan” (Beraun, 2018).

Sin embargo, existen diversas normas que tienen la finalidad de afrontar y reducir los impactos que generan las actividades mineras que implican reglamentos con relación a la composición sólidos y líquidos vertidos, a las emisiones de polvo, ruidos, remediación del ambiente, etc., que muchas veces se incumplen por el costo mayor que implica, pero esta debe ser asumidos por las empresas mineras.

3.2.10 Geotecnia y condiciones geotécnicas para el diseño de depósitos de relaves

Los estudios geotécnicos son fundamentales en cualquier proyecto a realizar en construcción. Para toda obra minera y se considera el reconocimiento del subsuelo y la relación con respecto la obra proyectada civil (Vilca, 2019), Las investigaciones geotécnicas de estudio, ha consistido en la excavación de calicatas y trincheras, ensayos geofísicos, así como la realización de ensayos de campo y permeabilidad in situ por el método Lefranc.

Paralelamente se realizó el muestreo representativo de suelos y rocas para ser ensayados en el laboratorio de geotecnia.

Por consiguiente, las condiciones geotécnicas para el diseño de depósito de relave son las siguientes:

- Evaluar las condiciones geológicas – geotécnicas de la zona de PAMs que conforman el estudio, con la finalidad de obtener los parámetros geotécnicos necesarios para el desarrollo de la ingeniería.
- Evaluar la estabilidad de taludes en condiciones estáticas y pseudo estáticas en las plataformas de cierre y diseño de depósito. Se estimarán los mínimos factores de seguridad contra el deslizamiento global utilizando métodos de equilibrio límite.

3.2.11 Cal como material para estabilizar

La cal hidratada o hidróxido de calcio se produce cuando la cal viva ha reaccionado con agua. En ese estado, la cal hidratada reacciona con el material arcilloso para transformarlo permanentemente en una matriz cementante. “La cal más utilizada para el tratamiento de suelos es la cal alta en calcio, que contiene un máximo de 5 % de óxido o hidróxido de magnesio. Sin embargo, en algunas ocasiones se utiliza cal dolomítica. La cal dolomítica contiene de 35 % a 46 % de óxido o hidróxido de magnesio. Con la cal dolomítica se puede lograr la estabilización, aunque la fracción de magnesio reacciona más lentamente que la fracción de calcio.” (National Lime Association, 2004)

El uso de la cal para estabilizar suelos produce una disminución en el límite líquido y un aumento en el límite plástico, lo que reduce el índice de plasticidad, lo que da una mayor trabajabilidad del suelo. Por otro lado, las reacciones químicas entre la cal y el suelo disminuyen la humedad. Además, la adición de cal aumenta el contenido óptimo de humedad, pero disminuye la densidad seca

máxima y, finalmente, el aumento inmediato de la resistencia da como resultado una plataforma estable. Croft (1967) indicó que la adición de cal reduce significativamente el potencial de hinchamiento, el límite de líquido, el índice de plasticidad y la densidad seca máxima del suelo, aumenta el contenido óptimo de humedad, límite de contracción y por ende la resistencia.

La adición óptima de cal necesaria para el mejoramiento del suelo está entre 1 % y 3 % en peso, si se adiciona mayor cantidad, esto no trae muchos cambios en el límite plástico, pero sí en la resistencia Bell (1996). Sin embargo, otros estudios informaron el uso de cal entre 2 % y 8 % en la estabilización del suelo (Basma, 1991).

3.2.12 Actividades detalladas de cierre de minas

El cierre de una mina es un proceso crítico que busca minimizar los impactos ambientales y sociales negativos asociados con la operación minera. Las actividades de cierre de minas pueden variar según la ubicación geográfica, el tipo de mineral extraído y las regulaciones locales. Al respecto, Moreno (2023) considera las siguientes actividades que comúnmente el cierre de minas involucra:

- **Planificación del cierre:** Se desarrolla un plan detallado que describe las actividades específicas, plazos y recursos necesarios para el cierre de la mina. Esto incluye consideraciones de seguridad, ambientales, sociales y económicas.
- **Desmantelamiento de infraestructura:** Se retiran y desmontan las instalaciones y estructuras utilizadas en la operación minera, como edificios, maquinaria, equipos y líneas de transmisión.
- **Estabilización de taludes y áreas de trabajo:** Los taludes y áreas excavadas durante la operación minera son estabilizados para prevenir deslizamientos de tierra y otros riesgos geotécnicos. Esto puede involucrar la reconfiguración de taludes, la revegetación y el uso de técnicas de ingeniería para asegurar la estabilidad a largo plazo.
- **Manejo de residuos y lixiviados:** Se manejan los residuos mineros, relaves y otros materiales para minimizar los riesgos de contaminación. Esto puede incluir el tratamiento de los residuos para reducir su toxicidad y la implementación de medidas para prevenir la generación y migración de lixiviados.



- **Rehabilitación ambiental:** Se llevan a cabo acciones para restaurar el paisaje y el hábitat natural en las áreas afectadas por la minería. Esto puede implicar la revegetación con especies nativas, la reintroducción de la fauna local y la restauración de cuerpos de agua.
- **Cierre de depósitos de relaves:** Los depósitos de relaves se cierran de manera segura y se establecen medidas para prevenir el colapso o el desbordamiento de estos. Esto puede involucrar la construcción de revestimientos y sistemas de drenaje.
- **Tratamiento de aguas:** Se implementan sistemas de tratamiento de aguas para reducir la carga de contaminantes antes de que las aguas sean liberadas al medio ambiente. Esto es especialmente importante si se han generado lixiviados o aguas ácidas de mina durante la operación.
- **Monitoreo a largo plazo:** Se establece un programa de monitoreo continuo para evaluar la calidad del agua, los niveles de contaminantes y la estabilidad de las áreas rehabilitadas. Esto permite detectar problemas potenciales y tomar medidas correctivas si es necesario.
- **Compromiso con la comunidad:** Se trabaja con las comunidades locales para garantizar una transición segura y sostenible después del cierre de la mina. Esto puede incluir programas de capacitación laboral, inversiones en desarrollo comunitario y actividades de participación pública.
- **Cierre financiero:** Se establecen garantías financieras o fondos de rehabilitación para asegurar que haya recursos disponibles para las actividades de cierre y rehabilitación, incluso si la empresa minera ya no está operando.

Por otro lado, Rodríguez y otros (2020), agrega que “El cierre de la mina comprende la implementación de planes de mantenimiento y monitoreo planificados de la primera fase, así como la ejecución de evaluaciones correspondientes que demuestren los resultados y criterios con relación a los propósitos planteados en el documento del plan de cierre” (p. 27), entre las actividades que implica están los siguientes:

- Eliminación y demolición de la infraestructura.
- Acondicionar áreas de explotación restante.
- Supervisar y medir el rendimiento de actividades de cierre asociándonos con criterios y estándares definidos.



- Tratamiento de residuos mineros como son relaves y desmontes.
- Tratamiento de efluentes.
- Evaluación y monitoreo ambiental.
- Informar sobre el cierre a autoridades y comunidades.

3.2.13 Ensayos de campo y laboratorio para el diseño de depósitos de relaves

Ensayo de campo

Durante la investigación geotécnica, los ensayos de campo consistieron en los ensayos de la densidad natural, con el propósito de evaluar la densidad del terreno, y también se realizaron ensayo de permeabilidad de tipo Lefranc de carga variable.

- **Ensayo de densidad de campo:** ensayos de densidad in situ se realiza por el método de cono de arena y el método de anillo, con el propósito de determinar la densidad natural y el contenido de humedad en el suelo compactado en campo y comprobar el grado de compactación a partir del ensayo realizado.
- **Ensayo de permeabilidad:** se realiza con el fin de evaluar las propiedades hidráulicas del suelo se realizaron ensayos de permeabilidad in situ del tipo Lefranc de carga variable (ASTM 4631) para determinar el valor de la conductividad hidráulica del tipo de suelo ensayado.

Ensayos de laboratorio

Se hace muestras representativas de suelos y rocas de las calicatas y trincheras de la zona de estudio, se realizan a cabo ensayos de la mecánica de suelos y rocas para estimar los parámetros geotécnicos a emplearse en el diseño de depósito para la disposición final de relaves.

- Ensayos de mecánica de suelos: consiste en los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos característicos encontrados en el área de estudio, estos ensayos se han realizado siguiendo los procedimientos indicados en las normas peruanas y las normas americanas, tal como las normas de ASTM.

Se han determinado las características físicas y mecánicas de los suelos mediante los ensayos de laboratorio.

- Análisis granulométrico por tamizado ASTM D-422
- Límites de consistencia ASTM D-4318



- Clasificación de SUCS ASTM D-2487
- Contenido de humedad ASTM D-2216
- Corte directo ASTM D-3080
- Ensayo triaxial ASTM D-2850
- Peso específico de sólidos ASTM D-854
- Proctor modificado ASTM D-1557
- Ensayo de densidad máxima y mínima ASTM D-4254 y ASTM D-4253.

3.2.14 Estabilidad de taludes

La estabilidad de taludes, desde el punto de vista determinístico existe dos métodos para abordar el análisis de estabilidad de un talud: equilibrio límite y análisis de tensiones.

3.2.15 Equilibrio límite

El método consiste en determinar el equilibrio de una masa activa de suelo, la cual puede ser delimitada por una superficie de ruptura circular, plana o poligonal. El método asume que la ruptura se da a lo largo de un plano, en el cual todos los elementos de esa superficie alcanzan simultáneamente el factor de seguridad $FS=1$. Al momento de la ruptura, la resistencia al corte a lo largo de la superficie está movilizad; mientras que el terreno se encuentra en equilibrio estático. Actualmente, este método es bastante utilizado debido a su sencillez y porque los factores de seguridad obtenidos son similares al real. (Gerscovisch, 2013)

3.2.16 Factor de seguridad

Se define el factor de seguridad (FS) como la división entre las condiciones reales que presenta un talud y las condiciones que podrían ocasionar la falla. Se representa con la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\int \tau_r * ds}{\int \tau * ds}$$

Donde

τ_r : es la resistencia al corte en la superficie de deslizamiento

τ : es la resistencia la corte movilizad en la superficie de deslizamiento

ds : es el diferencial de longitud a lo largo de la superficie de deslizamiento



Por otro lado, el FS también puede ser definido como el cociente de la cohesión del terreno o el ángulo de rozamiento del talud actual y cohesión o ángulo de fricción del talud requerido para mantener el talud estable. Asimismo, puede definirse como el cociente de los momentos resistentes al deslizamiento y los momentos que inducen al deslizamiento.

En el caso de un FS menor a 1 se afirma que el movimiento a lo largo de la superficie de deslizamiento es posible. A partir de $FS=1$, es posible determinar el máximo ángulo de inclinación que un talud podría tener para permanecer estable. Mientras que para taludes definitivos debería emplearse un $FS=1.5$. (Hoek, 2000)

3.2.17 Método de Spencer

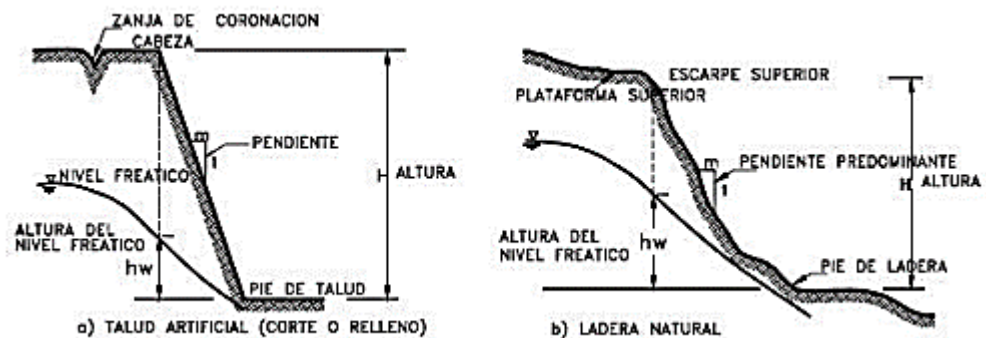
Spencer es un método que satisface totalmente el equilibrio tanto de esfuerzos y momentos. El procedimiento de Spencer (1967) se basa en la suposición de las fuerzas entre dovelas, considera que son paralelas unas con las otras, o sea, que tienen el mismo ángulo de inclinación. La inclinación específica de estas fuerzas entre partículas, es desconocida y se calcula como una de las incógnitas en la solución de las ecuaciones de equilibrio. Spencer inicialmente propuso su método para superficies circulares pero este procedimiento se puede extender fácilmente a superficies no circulares. Spencer planteo dos ecuaciones una de equilibrio de momentos y otra de equilibrio de fuerzas, las cuales se resuelven para calcular los ángulos de inclinación factores de seguridad F y los de las fuerzas entre dovelas θ . Para resolver las ecuaciones F y θ , se utiliza un sistema de ensayo y error donde se asumen los valores de estos factores (en forma repetitiva) hasta que se alcanza un nivel aceptable de error. Una vez obtenidos los valores de F y θ se calculan las demás fuerzas sobre las dovelas individuales. El método de Spencer se considera muy preciso y aplicable para casi todo tipo de geometría de talud y perfiles de suelo y es tal vez, el procedimiento de equilibrio más completo y más sencillo para el cálculo del factor de seguridad. (Suárez, 2022)

3.2.18 Elementos de un talud o ladera

Suárez (1998), indica que el talud está conformado de un conjunto de masa de tierra que no es plana, si no que posee pendiente o diferencia de altura



significativa, técnicamente se define con ladera cuando su formación fue de un proceso natural y talud cuanto se forma artificialmente.



FUENTE: Suárez Díaz, Jaime. Deslizamiento y Estabilidad de Taludes, 1998.

Figura 1 — Nomenclatura de taludes y laderas

En talud o ladera se definen los siguientes elementos:

- **Altura:** es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
- **Pie:** corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
- **Cabeza o escarpe:** se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
- **Altura de nivel friático:** distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.
- **Pendiente:** es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación $m/1$, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical. Ejemplo: Pendiente: 45 o, 100 %, o 1H:1V.

3.2.19 Movimientos de tierras

Se llaman movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar la topografía natural o aportar materiales útiles en obras públicas, minería o industria (Tiktin, 1997 pág. 11)

Las operaciones del movimiento de tierras en el caso más general son:

- Excavación o arranque
- Carga

- Acarreo
- Descarga
- Extendido
- Humectación o desecación
- Compactación
- Servicios auxiliares (refinos, sancos, etc.)

3.2.20 Sistemas hidráulicos, impermeabilidad y cobertura de depósitos

Hidráulicos

Como parte fundamental de la estabilidad de un depósito de relaves, es necesario realizar el adecuado manejo de aguas, proyectando para ello las obras hidráulicas necesarios para lograr la estabilidad hidrológica, separando las aguas de contacto y no contacto, y tiene la finalidad de desarrollar el procedimiento de diseño de las obras hidráulicas que corresponden el sistema drenaje y subdrenaje de un depósito.

Impermeabilización

Consiste en la utilización materiales diseñadas para el control de filtraciones por su impermeabilidad que le permita actuar como barrera al paso de los fluidos y gases. Por ende, se utilizará geotextil no tejido, que tendrá dos tipos de gramaje de 270 g/m² (geotextil para la protección de geomembrana de HDPE 1,5 mm), debe cumplir la norma ASTM D-526 y deben estar compuestas de fibra polipropileno, agujado y estabilizado frente a los rayos UV.

Cumplirán las siguientes funciones: separación (anticontaminante), drenaje (fluido que pasa a través, sin ninguna dificultad, filtro (abertura de poros controlada), refuerzo (redistribuye las cargas) y principalmente protección de la geomembrana (colchón protector), debe tener excelentes propiedades mecánicas tales como: resistencia a la tensión y punzonamiento.

Geomembrana HDPE 1,5 mm material de polietileno de alta densidad que brindan resistencia a los efectos de los rayos UV o al ataque de químicos fuertes, está diseñada para ser expuesta a las condiciones del ambiente, son ideales para el control de filtraciones por su impermeabilidad que le permite actuar como barrera al paso de los fluidos y gases; se usa frecuentemente en la ingeniería ambiental, geotecnia e hidráulica.

Principales aplicaciones:

- Revestimiento de canales
- Barreras impermeables (horizontales y verticales)
- Pad de lixiviación
- Depósito de relaves
- Reservorios
- Presas y lagunas artificiales

Cobertura de depósitos

El diseño de las coberturas responde a las características y propiedades de los suelos y del piso altitudinal, considerando los requisitos geoquímicos los cuales son importantes para desdeñar la cobertura a utilizar. (Consortio Minero Junín, 2017)

3.2.21 Programa computacional SLIDE V.6.0

En la actualidad existen una infinidad de herramienta computacionales para el análisis de estabilidad de taludes, para este trabajo se elegio el software SLIDE versión 6.0 distribuido por la empresa Rocscience.

El programa calcula los factores de seguridad para distintas geometrías, dibujadas por el propio usuario o importadas desde algún programa de dibujo, se pueden analizar tanto suelos como rocas, por ello, el software incluye los criterios de ruptura: Mohr-Coulomb; Hoek y Brown (1980); Hoek y Brown generalizado (1995); Barton y Brandis. Por otro lado, incorpora las funciones de anisotropía y otras variaciones como condiciones de sobrecarga, estructuras de contención, suelo grampeado y geotextiles.

Por otro lado, se puede seleccionar entre diversos métodos de análisis, tales como: Fellenius, Bishop simplificado, Janbu generalizado y corregido, Spencer, Morgentern-Price, entre otros. Además, se pueden realizar análisis estadísticos de sensibilidad y probabilísticos. Slide tiene 2 subprogramas: Slide Compute y el Slide Interpret. El primero se utiliza para calcular el factor de seguridad una vez que se ingresaron todos los datos de entrada. Mientras que el segundo permite identificar la superficie de falla crítica y el centro de giro Mendoza (2016 pág. 24)

3.2.22 Construcción de depósitos para relaves mineros

La construcción de depósitos de relaves mineros es considerado como el cuarto lineamiento estratégico que establece el Ministerio de Energía y Minas, que comprende la construcción de estructuras e infraestructuras que deben ser diseñadas y ejecutadas considerando los criterios y normas técnicas al respecto antes del inicio de actividades descargue o depósito de relaves, esto implica actividades como el retirar las vegetaciones, definiciones del suelo orgánico, además de la construcción de presas, tuberías para transporte de relaves rutas de acceso e infraestructuras relacionados para el manejo de aguas (MINEM, 2020). Por otro lado, Bances y otros (2019), agrega que la construcción de depósitos se ejecuta una vez que se tenga la aprobación del instrumento ambiental, es decir la licencia ambiental o la aprobación del plan de manejo ambiental y el documento técnico minero donde se validen los diseños de las obras a construir, relacionadas con la presa o depósito de relaves (colas).

3.2.23 Requisitos de construcción de depósitos para relaves

En el Art. 36 que Aprueban el reglamento del Título Décimo Quinto del Texto Único Ordenado de la Ley General de Minería, sobre el medio ambiente D.S. N° 016 -93 - EM, se estipula que las depósitos de relaves deben ser construidos en tierras o áreas como canchas localizadas cerca de las plantas de beneficio, dado que mientras más cerca permitirá el reciclaje de agua y de tal manera reducir la descargas de efluentes fuera de zonas de almacenamiento, dichas áreas deben considerar los criterios siguientes:

- a) No ocupar cauces de flujo de agua permanente, como arroyos, riachuelos o ríos.
- b) No deberán estar ubicadas en cuencas sujetas a aluviones, huaycos o torrenteras.
- c) Ubicarse preferentemente sobre terrenos de mínima permeabilidad y alta estabilidad.
- d) Evitar ocupar áreas situadas aguas arriba de poblaciones o campamentos.
- e) Evitar estar ubicadas en las orillas de cuerpos lacustres o marinos.
- f) Los previstos en el Artículo 22 de la Ley.

Asimismo, en la misma normativa en su Art. 37 se estipula que para la evaluación y ejecución de proyectos como los depósitos de relaves, estas deben cumplir con criterios establecidos por las normativas ya que deben garantizar la estabilidad estructural del depósito u otras obras de complementación como son ladera adyacentes al depósito, la presa de sostén, asegurando la estabilidad física de los elementos naturales integrantes y circundantes, para prevenir la ocurrencia de cualquier falla o interacción desestabilizadora, como consecuencia de fenómenos naturales tales como: actividad volcánica, sísmica, inundaciones e incendios. Asimismo, resalta que todas las evaluaciones realizadas deben ser desarrolladas por profesionales especializados que deben cumplir con planos y documentos correspondientes.

Otro punto, que se resalta en esta normativa es que la construcción de depósitos de relaves se podrá utilizar las quebradas o cuencas naturales siempre que, mediante los estudios de ingeniería pertinentes, se demuestre que se han tomado las previsiones necesarias para evitar la contaminación de los cursos de agua que fluyen permanente o eventualmente y para garantizar la estabilidad de todos los elementos que constituyen el depósito.

Considerando, el D.S. N° 020 – 2012, en donde se establece que, para el otorgamiento, modificación y oposición de concesión de beneficios, resalta que se debe cumplir con tres etapas:

- a) Etapa 1: Evaluación de solicitud y autorización para publicación de los carteles donde se establece las coordenadas en donde se ejecutará el proyecto, para ello se debe seguir pasos siguientes:
 - Completar el formulario electrónico vía extranet.
 - Memoria descriptiva de la planta y sus instalaciones principales y complementarias.
 - Documento que acredite que el solicitante es propietario.
 - Aprobación de estudios de aprovechamiento hídrico expedido por la autoridad Nacional del Agua.
 - Opiniones favorables del sector competente.
 - Documento de acreditación.
- b) Etapa 2: Autorización de construcción

- Autorización de ejecución de obras con fines de aprovechamiento hídrico expedida por la autoridad Nacional del Agua.
 - Resolución de aprobación del estudio ambiental.
- c) Etapa 3: Funcionamiento sección de verificación, otorgamiento del título y autorización
- Licencia del uso de aguas para el uso minero expedida por la autoridad Nacional del Agua.
 - Autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas expedida por la Autoridad Nacional del Agua.

3.2.24 Proceso de construcción de depósitos para relaves mineros

De acuerdo Rodríguez (2022), la construcción de un “Depósito de relaves comprende actividades y proceso para construir las instalaciones, es decir actividades iniciales anteriores al arranque de la concentradora, donde los impactos ambientales durante este tiempo pueden incluir calidad del aire (polvo) y calidad del agua (derrames de sedimentos), pero éstos son de una naturaleza común a todos los demás aspectos del desarrollo inicial de una mina”. Por tanto, el proceso de construcción de depósitos para relaves mineros implica una serie de etapas planificadas y ejecutadas con cuidado para asegurar la seguridad, la estabilidad y la gestión adecuada de los residuos generados durante las operaciones mineras. Por lo tanto, se consideran los siguientes puntos:

- Planificación y diseño: este proceso implica la identificación de un área que cumpla con los criterios geológicos, topográficos e hidrogeológicos para reducir riesgos de filtraciones y fallas, asimismo implica estudios ambientales y técnicos para conocer las propiedades del terreno, la disponibilidad hídricos y los posibles efectos medio ambientales y diseño del depósito que implique aspectos como la geometría, área de drenaje, disposición de relaves, entre otros elementos.
- Preparación de sitios: comprende la remoción de vegetación para limpiar el espacio donde se realiza la construcción del depósito y movimiento de tierras donde se nivelan y preparan superficies del área.
- Construcción de infraestructura: implica procesos de presas de relaves como el dique o muro de contención y además de los sistemas de drenaje que

permitan controlar el flujo de agua y alrededor del depósito reduciendo riesgos de infiltración y erosión.

- Depósito de relaves: comprende el inicio de depósito de los relaves en capas, compactándolos para reducir el contenido de agua y promover la estabilidad.
- Revestimiento y cobertura: comprende agregar capas impermeables (geomembranas, arcillas compactadas) para evitar la filtración de agua hacia el suelo subyacente y además de colocar una capa de material inerte (como tierra) sobre los relaves para reducir la exposición, prevenir la erosión y facilitar la revegetación.
- Monitoreo y mantenimiento: implica establecer sistemas de monitoreo para la supervisión de estabilidad del depósito, la calidad de agua entre otros criterios y parámetros ambientales.

3.3 Marco conceptual

- a) **Unidad Minera.** Comprende a la empresa minera que tiene una instalación o espacio en donde ejecuta actividades mineras, como la extracción, procesamiento y producción de minerales o recursos minerales. Asimismo, las unidades mineras pueden variar en tamaño y alcance, desde pequeñas operaciones de minería artesanal hasta grandes complejos mineros industriales (Cerón, 2019).
- b) **Relave.** En el ámbito minero, corresponde a la mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos en forma de pulpa, que como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación. Este residuo, es transportado mediante canales o cañerías hasta lugares específicamente habilitados o tranques, donde al agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos (arenas y limos). (MEM, 2020)
- c) **Tipos de relave.** Según definición de (MEM, 2020), existen tres tipos de relave:
- **Relave en pasta:** material de relave que presenta una situación intermedia entre el relave espesado y el relave filtrado, correspondiendo a una mezcla de sólidos y agua entre 10 % y 25 % de agua con contenido de partículas finas, menores de 20 μ , en una concentración en peso superior al 15 %, muy similar la pulpa de alta densidad.

Su colocación en el depósito de relaves se efectúa en forma similar al relave filtrado, sin necesidad de compactación, poseyendo consistencia coloidal.

- **Relaves espesados:** Material de relaves en los previo a ser dispuestos, son sometidos a un proceso de sedimentación mediante espesadores, eliminando una parte importante del agua que contienen.
- **Relaves filtrados:** Material de relaves donde, antes de ser dispuestos, son sometidos a un proceso de filtración, mediante equipos espesadores de filtro, donde se asegura que la humedad sea menor a un 10 %.

d) **Estabilidad de talud.** Comprende la capacidad que tienen los pendientes y taludes para conservar su integridad estructural y tener resistencia en el colapso, por tanto, es un aspecto clave en la ingeniería geotécnica (Quispe, 2021).

e) **Geomecánica.** Alude al estudio de las características mecánicas y el comportamiento de las rocas y suelos como una forma de responder a las fuerzas y cargas utilizadas en ello, por tanto, implica el estudio de la mecánica de los materiales geológicos y su interacción con las actividades humanas y el medio ambiente (Rodríguez, y otros, 2020).

f) **Topografía.** Es un aspecto esencial de la geodesia y la cartografía, y desempeña un papel fundamental en una variedad de campos como la ingeniería, por tanto, es catalogado como la representación, medición y descripción a detalle de las superficie terrestre y características artificiales y naturales (Aguirre, 2017).

g) **Aspectos ambientales.** Comprende a las condiciones e interacciones del entorno natural que pueden ser intervenidas e interferencias de impactos de actividades humanas, por lo que implica componentes físicos, químicos, biológicos y sociales del ambiente que pueden sufrir cambios debido a la acción del ser humano (Beraun, 2018).

h) **Contaminación ambiental.** Comprende la introducción de agentes y sustancias en el entorno ambiental que pueden tener impactos negativos en la salud humana, la biodiversidad y los ecosistemas, por tanto, la contaminación puede manifestarse en

diferentes formas, como contaminación del aire, del agua, del suelo y del ruido, y es causada principalmente por las actividades humanas. (Ledesma, 2018)

- i) **Movimiento de tierras.** Es también conocido como terraplenado, que implica el proceso de transferencia y redistribución en mayor volumen de rocas, tierras y otros materiales con la finalidad de preparar un terreno para la construcción de infraestructuras como carreteras, edificios, presas, canales, plataformas industriales y más.
- j) **Sistema.** Alude a una serie de componentes organizados e interconectados que actúan de manera conjunta entre sí para obtener un propósito u objetivos específicos, por tanto, implica una serie de acciones y actividades que se emplean en diferentes campos.
- k) **Diseño.** Por definición, diseño se conoce el arte de proyectar el aspecto, la función y la producción por medio de signos gráficos, sea que se trate de un objeto bidimensional como: carteles, logos, animaciones y tridimensionalmente edificios, maquinarias entre otros.
- l) **Depósito de relave.** Es una estructura diseñada y construida para almacenar relaves provenientes de una planta concentradora, incluyendo sus obras auxiliares, su función principal es la de servir como depósito, generalmente definitivo de los materiales salidos provenientes de los relaves, permitiendo la recuperación de la mayor parte del agua que transporta dichos sólidos. (MEM, 2020).
- m) **Disposición final de relaves.** Es la correcta gestión ambiental de la empresa en la disposición final de relaves mineros que permitirá almacenar adecuadamente los relaves provenientes de los procesos metalúrgicos, aplicando tecnologías económicamente racionales, económicamente viable, para proteger la integridad física de las personas, el ambiente y el aspecto sociocultural circundante. Espín (2017 pág. 9)
- n) **Parámetro.** Se refiere la capacidad que posee un objeto para satisfacer necesidades implícitas o explícitas según un parámetro, un cumplimiento de requisitos de calidad.



- o) Capacidad de almacenamiento.** Capacidad de almacenamiento, refiere a almacenar una cantidad limitada a un determinado espacio de almacenamiento total o temporalmente.
- p) Hidráulico.** Es una rama de la ciencia que estudia el comportamiento y desplazamiento de los fluidos.
- q) Impermeabilidad.** Son superficies que tienen la propiedad de no dejarse atravesar por ella por los fluidos.
- r) Subdrenaje.** Consiste en la red de tuberías con agujeros o ranuras instaladas en las zanjan con el objetico de recolectar el agua subterránea encargándose de retirar a sitios seguros, minimizando su efecto negativo en las estructuras construidas.
- s) Aguas superficiales.** Son las aguas estancadas o corrientes en la superficie terrestre tales como, ríos, manantiales, lagunas pantanos y otros.



CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

Por la profundidad y según alcance de la investigación es de tipo y nivel aplicativo, porque permite solucionar problemas, controlar situaciones y la aplicación de los conocimientos adquiridos.

4.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue no experimental, donde no se alteran las variables independientes para observar cambios en las dependientes.

4.3 Población y muestra

Es una investigación no probabilística, basado en la toma de decisiones ingenieriles llamado por conveniencia por lo cual fueron los PAMs 796 – A, 796 – B y 798 que se muestra en la figura 2.



FUENTE: Google Earth, 2023

Figura 2 — Relaves mineros 796-A, 796-B, 798

4.4 Procedimiento

El proceso de recolección de datos se realizó de acuerdo a los objetivos planteados en la presente investigación, siendo la primera de determinar el volumen y características de los relaves de residuos mineros generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima y evaluar las actividades de cierre, dónde se analizó todos los aspectos ambientales, la cantidad de relaves mineros que se generan por la explotación minera y su tratamiento respectivo, a esto se unió lo que es la topografía del terreno a construir el depósito proyectado y de la misma manera la vida útil que tendrá dicho depósito.

Seguidamente se realizó el diseño de depósito para la disposición final de relaves mineros 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad, teniendo todos los elementos posibles a considerarse en dicho diseño y de la misma manera tener un nuevo procedimiento para su nueva construcción.

4.5 Técnicas e instrumentos

Las técnicas utilizadas para el proceso de recolección de datos fueron la observación que es un método que se utiliza para recoger información sobre un fenómeno, un individuo o un grupo de personas, mediante el uso del sentido de la vista y otros sentidos complementarios. La observación puede tener diferentes objetivos, tipos, características y métodos, dependiendo del campo de estudio y la finalidad de la investigación.

Los instrumentos que se utilizaron son los cuadernos de campo, los registros de operaciones de los componentes 796-A, 796-B y 798, los registros documentales de la Unidad Minera Caridad y el levantamiento topográfico realizado por dicha unidad minera.

Los cuadernos de campo se pueden usar para diferentes fines, como registrar observaciones de experimentos y proyectos. Los cuadernos de campo pueden tener diferentes formatos y contenidos, dependiendo del objetivo y el contexto de su uso. Algunos datos que se pueden registrar en un cuaderno de campo son: el espacio o lugar, la fecha, el tiempo, las actividades realizadas, los nombres y datos de las personas involucradas, las evidencias obtenidas (fotos, videos, audios, etc.), la descripción y el análisis de las evidencias, los comentarios y la retroalimentación.

Los registros documentales son documentos que presentan resultados obtenidos o proporcionan evidencia de actividades realizadas. Los registros documentales son importantes para la investigación, ya que permiten documentar el estado del arte de un

tema, organizar la información en categorías o ejes, y hacer análisis críticos y comparativos de las fuentes.

4.6 Análisis estadístico

En el campo de la ingeniería, la estadística es menos utilizada para las pruebas de hipótesis puesto que el método de investigación es analítico inductivo, es por lo cual se utilizó la estadística descriptiva para la presentación de los resultados y el diagrama de las construcciones se realizó por programas de diseño.



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Caracterización de los residuos mineros

Dentro de los pasivos ambientales 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la unidad minera Caridad, se encuentra catalogado como los residuos mineros los cuales se encuentran en la categoría de relaves y desmontes de minas y los 3 contienen escorias como lodos de neutralización y la pila de lixiviación se encuentra en el suelo orgánico. Mayores detalles se muestra en la siguiente tabla 2.

Tabla 2 — Tipo de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023.

Tipo de residuos minero	796-A	796-B	798
Material de desbroce	Relaves	Relaves	Relaves
Desmante de mina	Residuos de mina	Residuos de mina	Residuos de mina
Escorias	Lodos de neutralización	Lodos de neutralización	Lodos de neutralización
Pila de lixiviación	Suelo orgánico	Suelo orgánico	Suelo orgánico

Dentro de la caracterización de los residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798 de la UM Caridad, se caracteriza las dimensiones que se encuentra a los pasivos ambientales, en los cuales el relave minero 796-A, tiene un total de área superficial de 3 367 m², lo cual trae un volumen estimado de 2 686 m³, el cálculo de volúmenes estimados de los depósitos se hizo en base al levantamiento topográfico, mediante el modelo civil 3D y cortes transversales, el tamaño de partículas es fino y se encuentra húmedo en un tipo de contención a presa sin ninguna cobertura.

Los residuos mineros de 796-B, tiene un área superficial de 21 202 m² lo cual trae un volumen estimado de 12 722 m³, el cálculo de volúmenes estimados de los

depósitos se hizo en base al levantamiento topográfico, mediante el modelo civil 3D y cortes transversales, dicho residuo se caracteriza por un tamaño de partículas fino, en condición húmeda, tipo de contención auto contenido sin ninguna cobertura.

De igual forma se muestra los residuos mineros de 798, con un área superficial de 21 159 m² lo cual estima a 50 657 m³, el cálculo de volúmenes estimados de los depósitos se hizo en base al levantamiento topográfico, mediante el modelo civil 3D y cortes transversales, dicho residuos se caracteriza por tener tamaño de partículas fino, en condición húmeda, tipo de contención auto contenido sin ninguna cobertura.

Tabla 3 — Dimensiones y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023.

Tamaño y característica	796-A	796-B	798
Área superficial (m ²)	3 367,00	21 202,00	21 159,00
Volumen estimado (m ³)	2 686,0	12 722,00	50 657,00
Tamaño de partículas	Fino	Fino	Fino
Humedad	Húmedo	Húmedo	Húmedo
Tipo de contención	Presa	Autocontenido	Autocontenido
Cobertura	Ninguna	Ninguna	Ninguna

En las fichas de diseño de relaves mostrados en el anexo 5 de la investigación, se caracteriza a mayor detalle los residuos sólidos, el depósito 796-A: de acuerdo con los análisis granulométricos, éstos están conformados principalmente por sedimentos finos producto del procesamiento de minerales en la planta metalúrgica generando de esta manera los relaves de minería, con alto grado de oxidación producido por los minerales presentes (pirita FeS₂, calcopirita CuFeS₂, galena PbS, esfalerita ZnS, magnetita FeFe₂O₄, marcasita FeS₂) y otros elementos del procesamiento. Generalmente el relave está constituido principalmente de diseminaciones de sulfuro de hierro, plomo, zinc, cobre y se observa que el relave presenta granulometría fina a muy fina.

Por otro lado, la caracterización del depósito 796-B, de acuerdo con los análisis granulométricos, éstos están conformados principalmente por sedimentos finos producto del procesamiento de minerales en la planta metalúrgica generando de

esta manera los relaves de minería, con alto grado de oxidación producido por los minerales presentes (pirita FeS_2 , calcopirita CuFeS_2 , galena PbS , esfalerita ZnS , magnetita Fe_3O_4 , marcasita FeS_2) y otros elementos del procesamiento. Además, el relave está constituido principalmente de diseminaciones de sulfuro de hierro, plomo, zinc, cobre. Se observa que el relave presenta granulometría fina a muy fina.

La accesibilidad para llegar a dichos depósitos se puede hacer en vehículo con un recorrido corto, donde el potencial de colapso o la estabilidad de taludes sea de corto a largo plazo, son empinados mayores y elevados mayores a 5 metros, Estos depósitos se encuentran totalmente expuestos sin ningún tipo de señalización y un alto riesgo de causar daños. Uno de los principales problemas es la evidencia de hundimientos a condiciones peligrosas lo cual trae un potencial de daño físico relacionado con el residuo a un nivel moderado donde los elementos físicos o estabilidad pueden causar daño a los transeúntes. Por otro lado, la presencia de escombros es de menor a moderada en diferentes partes de todo el depósito.

Una evaluación basado en la vida silvestre y la conservación del ambiente, se puede evaluar que la accesibilidad y escape para la fauna silvestre es fácil, de igual manera la atracción de la fauna silvestre es moderada debido a los alimentos que contiene y también el hábitat de cada una de las especies es por lo cual se observan animales silvestres en el sitio, también es relevante mencionar que el sitio y los alrededores se encuentran cubiertos con vegetación consistente con el clima, lo más preocupante es el drenaje o filtración hacia los cuerpos de agua donde tiene un potencial de contaminar los cuerpos de agua durante las temporadas de lluvia De igual forma en el depósito 796-B se muestra la descarga de aguas contaminadas hacia cuerpos de agua y lo mismo sucede en el componente 798 donde se muestra un potencial de contaminar los cuerpos de agua en cualquier momento esto trae la importancia de poder sellar dichos residuos mineros.

5.1.2 Resultados de topografía de los pasivos ambientales

Los resultados de la topografía de los pasivos ambientales se muestran en la tabla 7 los cuales muestran las coordenadas de los residuos mineros generados por las explotaciones, esto trajo a realizar todo el levantamiento topográfico con líneas de nivel los cuales se encuentran en el anexo 4 de la investigación.



El levantamiento topográfico se hizo en el perfil longitudinal y transversal realizando las curvas menores a cada 0,20 m y las curvas mayores a 1,00 m. Cabe recalcar, en el diseño topográfico se realizó también las progresivas y la altitud presentada en metros y las coordenadas corresponden al sistema de proyección UTM elaboradas en base al datum WGS 84 correspondientes a la zona 18 del hemisferio sur.

Los planos levantados en la topografía presentan una escala de 1/250 m y la otra escala gráfica 1/15000 m teniendo una leyenda estricta de las curvas mayores y las curvas menores del mismo modo la ubicación los accesos, lagunas, quebradas y crestas de relieve.

Tabla 4 — Coordenadas UTM de los residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798 de la UM Caridad – Huarochirí, 2023.

Coordenadas UTM	796-A	796-B	798
Descripción	R-796(1A)	R-796(1B)	R-798
Norte	8 719 953,0	8 720 046,0	8 719 751,0
Este	354 482,0	354 263,0	354 612,0
Zona	18	18	18
Cota (msnm)	4 486,742	4 455,508	4 501,85
Datum	UTM WGS 84	UTM WGS 84	UTM WGS 84
FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.			

5.1.3 Investigaciones geotécnicas directas mediante excavación de calicatas

Se realizaron 20 calicatas en el campo de las relaveras, donde cada una de las calicatas y trincheras se llevó a cabo una detallada descripción de los tipos de suelos encontrados. Asimismo, se tomaron muestras disturbadas, las cuales fueron identificadas y almacenadas en bolsas plásticas con la finalidad de efectuar ensayos posteriores de caracterización física y mecánica en el laboratorio geotécnico mencionado.

Todas las calicatas y trincheras fueron excavadas manualmente. En el anexo 6 se presenta la relación de las calicatas y trincheras excavadas. Esto se resume a una interpretación de que se recogieron 2 muestras por cada calicata excavada, lo cual ayudó a poder analizar las observaciones de acuerdo con la profundidad de ellos donde en el componente 796 - A se evidencia material de relave hasta 1,60 m y se



realizó la profundidad hasta 3 m donde se encontró suelo natural esto tuvo una ubicación de la plataforma de relaves en lo cual en los anexos se muestran las coordenadas de dicha calicata. En el componente 796 - B se muestra generalmente suelo natural y alguna de las calicatas alcanza hasta 0,20 metros el material de relave los cuales se encuentran ubicados en la plataforma y de la misma manera en el componente 798 se muestra materiales de relave hasta en un 0,40 m en promedio y ya en el 0,50 m empieza a salir suelo natural. Esto ayuda a poder realizar el cálculo del volumen en metros cúbicos para poder realizar el diseño proyectado para un encellado o encubrimiento adecuado.

5.1.4 Evaluación de condiciones geotécnicas

- **Depósito de relaves 796-A**

Superficialmente presenta una capa de material de relave grueso conformado por arena limosa mal gradada (SM), húmeda, color gris, con presencia de limo de baja plasticidad. El espesor máximo de este material es de 0,40 m (C01A-1), el cual disminuye progresivamente hasta desaparecer conforme se aproxima al talud NW del depósito.

Posteriormente se encuentra el depósito de relave fino, conformado por arcilla limosa de baja plasticidad (CL-ML, CL), muy blando, húmedo, su color varía de gris a negruzco. Debido a la presencia de filtraciones de agua, el relave ha sido erosionado formando desniveles de hasta 3 m de profundidad. El espesor máximo de este material se presenta en la parte central del talud, donde alcanza aproximadamente 5 m de espesor, el cual disminuye hacia los extremos del talud. Por debajo del material de relave se encuentra el terreno natural, conformado por material fluvio-glaciario consistente en grava arcillosa limosa (GC-GM) o grava arcillosa bien gradada (GW-GC), ligeramente húmeda, color marrón, con clastos angulares, chatos y alargados con un tamaño máximo de 3 pulgadas, finos de baja a media plasticidad. La roca base se encuentra aflorando en el pie del talud, corresponde a roca granodiorita de regular a buena calidad geomecánica. Los taludes representativos analizados, además de la inspección visual de la zona del depósito de relaves indica que este es estable.

- **Depósito de relaves 796-B**

Superficialmente presenta una capa de material de relave grueso conformado por arena limosa mal gradada (SM), húmeda, color gris, con presencia de limo de baja

plasticidad. El espesor máximo de este material es de 0,21 m (C01A-1), el cual disminuye progresivamente hasta desaparecer conforme se aproxima al talud NW del depósito.

Posteriormente se encuentra el depósito de relave fino, conformado por arcilla limosa de baja plasticidad (CL-ML, CL), muy blando, húmedo, su color varía de gris a negruzco. Debido a la presencia de filtraciones de agua, el relave ha sido erosionado formando desniveles de hasta 3 m de profundidad. El espesor máximo de este material se presenta en la parte central del talud, donde alcanza aproximadamente 5 m de espesor, el cual disminuye hacia los extremos del talud. Por debajo del material de relave se encuentra el terreno natural, conformado por material fluvio-glacial consistente en grava arcillosa limosa (GC-GM) o grava arcillosa bien gradada (GW-GC), ligeramente húmeda, color marrón, con clastos angulares, chatos y alargados con un tamaño máximo de 3 pulgadas, finos de baja a media plasticidad. La roca base se encuentra aflorando en el pie del talud, corresponde a roca granodiorita de regular a buena calidad geomecánica. Los taludes representativos analizados, además de la inspección visual de la zona del depósito de relaves indica que este es estable.

En la presente campaña de investigaciones geotécnicas, El estudio caracterizó las muestras de material de relave fino como: ML, CL o CL-ML. En este material se ejecutaron los ensayos de corte directo y triaxiales CU, los cuales indicaron un ángulo de fricción variable entre $26,34^{\circ}$ y $26,44^{\circ}$, y una cohesión variable entre 0,20 y 0,21 kg/cm². El peso específico del material se ha estimado en base a los resultados del ensayo de densidad de campo.

- **Depósito de relaves 798**

Superficialmente presenta una capa de material de relave grueso conformado por arena limosa mal gradada (SM), húmeda, color gris, con presencia de limo de baja plasticidad. El espesor máximo de este material es de 0,40 m. En la zona sur del depósito presenta un espesor mucho mayor, aproximadamente de 3 m.

Posteriormente se encuentra el depósito de relave fino, conformado por arcilla de baja plasticidad (CL), muy blando, húmedo, su color varía de gris a negruzco. Debido a la presencia de filtraciones de agua, el relave fino ha sido erosionado formando desniveles de hasta 5 m de profundidad, los cuales se presentan casi verticales debido a la cohesión del relave fino. El espesor máximo de este material

alcanza aproximadamente los 7 m, y se presenta saturado a pocos metros de profundidad.

Por debajo del material de relave se encuentra el terreno natural, conformado por material fluvioglaciario consistente en grava arcillosa (GC) o grava mal gradada (GP), ligeramente húmeda, color marrón, con clastos angulares, chatos y alargados con un tamaño máximo de 3 pulgadas, finos de baja a media plasticidad. La roca base se encuentra aproximadamente a 15 m de profundidad en el cuerpo del talud y aflorando en el talud aguas arriba, corresponde a roca granodiorita de regular a buena calidad geomecánica. Los taludes representativos analizados, además de la inspección visual de la zona del depósito de relaves indica que este es estable.

- **Depósito de desmante**

Superficialmente se presenta material de desmante conformado por grava limosa mal gradada (GM), húmeda, marrón, con presencia de clastos angulares, chatos y alargados con un tamaño máximo de 3 pulgadas. Presencia de limo de baja plasticidad y bolonería con un tamaño máximo de 7 pulgadas. El espesor del material de desmante es de 2 a 3 m. En el pie del talud se presenta el terreno natural conformado por grava arenosa bien gradada (GW), ligeramente húmeda, gris, densa, con clastos angulares, chatos, con tamaño máximo de 2 pulgadas. A mayor profundidad se encuentra la roca base (andesita) de regular a buena calidad geomecánica. El talud se presenta estable.

5.1.4.1 Análisis de estabilidad de taludes de los componentes

Se han analizado las secciones más críticas y representativas de los taludes que conforman cada uno de los depósitos de desmante y relave, de acuerdo con la evaluación topográfica, correspondientes al lugar más desfavorable, ya sea donde la altura sea mayor o donde haya pendiente más pronunciada.

Tabla 5 — Resultados del análisis de estabilidad de taludes

	Sección	Condición de Análisis	Factor de Seguridad Calculado	Factor de seguridad mínimo aceptable	Conclusión
796	A – A	Pseudo – estático	3,5	1,5	Estable
		Estático	1,9	1,0	Estable
	B – B	Pseudo – estático	4,4	1,5	Estable
		Estático	3,1	1,0	Estable
	C – C	Pseudo – estático	2,9	1,5	Estable
		Estático	1,8	1,0	Estable
798	A – A	Pseudo – estático	1,6	1,5	Estable
		Estático	1,2	1,0	Estable
	B – B	Pseudo – estático	1,5	1,5	Estable
		Estático	1,2	1,0	Estable
	C – C	Pseudo – estático	1,9	1,5	Estable
		Estático	1,4	1,0	Estable
	D – D	Pseudo – estático	2,2	1,5	Estable
		Estático	1,6	1,0	Estable
	E – E	Pseudo – estático	2,7	1,5	Estable
		Estático	1,9	1,0	Estable
FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.					

De acuerdo con los resultados presentados en la tabla 8, todos los taludes analizados son estables, tanto para condiciones estáticas como para condiciones pseudo - estáticas, pues los factores de seguridad son mayores que los mínimos permisibles.

5.1.5 Ensayos de densidad de campo

Los ensayos de campo realizados durante la investigación geotécnica consistieron en ensayos de densidad natural, los cuales fueron ubicados estratégicamente en cada una de las plataformas de perforación con el propósito de evaluar la densidad del terreno, y también se ejecutaron ensayos de permeabilidad del tipo Lefranc de carga variable.

Se programó ejecutar ensayos de densidad insitu en todos los pasivos, con el propósito de determinar la densidad natural y el contenido de humedad del suelo compactado en campo y comprobar el grado de compactación de campo a partir del ensayo realizado. En la tabla 6 se presenta un resumen de los ensayos realizados en cada plataforma.

Tabla 6 — Ensayo de densidad natural

Componente	Ensayo	SUCS	Densidad Natural (g/cm ³)	Densidad Seca (g/cm ³)	Contenido de humedad	Método
					(w %)	
796A	D01A-01	SM	1,6	1,43	11,34	Cono de arena
796A	D01A-02	CL	1,67	1,22	37,11	Cono de arena
796A	D01A-03	GC - GM	1,9	1,77	7,78	Reemplazo con agua
796A	D01A-04	GC	2,01	1,58	27,12	Reemplazo con agua
796A	D01A-05	CL - ML	1,59	1,29	23,34	Cono de arena
796A	D01A-06	SW - SM	1,66	1,42	16,67	Cono de arena
796B	D01B-01	GM	1,65	1,46	13,29	Cono de arena
796B	D01B-02	GM	1,59	1,23	29,09	Cono de arena
796B	D01B-03	GM	2,06	1,81	13,27	Reemplazo con agua
796B	D01B-04	GM	1,63	1,27	27,91	Cono de arena
796B	D01B-05	ML	1,63	1,31	24,61	Cono de arena
796B	D01B-06	ML	1,98	1,6	23,73	Reemplazo con agua
796B	D01B-07	ML	2	1,62	23,5	Reemplazo con agua
798	D02-01	SM	1,65	1,5	10,3	Cono de arena
798	D02-02	SM	1,66	1,53	8,07	Cono de arena
798	D02-03	SM	1,69	1,46	15,7	Cono de arena
798	D02-04	CL	1,66	1,27	29,97	Cono de arena
798	D02-05	SM	1,72	1,46	17,22	Cono de arena
798	D02-06	GW	1,89	1,75	8,14	Reemplazo con agua

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

5.1.6 Ensayos de permeabilidad

Con el fin de evaluar las propiedades hidráulicas del suelo se realizaron ensayos de permeabilidad in situ del tipo Lefranc de carga variable (ASTM 4631) para determinar el valor de la conductividad hidráulica del tipo de suelo ensayado.

La tabla 7 muestra los coeficientes de permeabilidad obtenidos en los ensayos de permeabilidad realizados en las diferentes plataformas.

Tabla 7 — Ensayo de permeabilidad Lefranc

Ensayo	Componente	Profundidad	SUSC	K (cm/s)
P01A-01	796-A	Superficie	GW - GC	1,08E-04
P01A-02	796-A	0.50 m	CL	5,29E-06
P01A-03	796-A	Superficie	ML	2,35E-05
P01A-04	796-A	Superficie	GM	1,27E-04
P01A-05	796-A	Superficie	CL	3,78E-06
P01A-06	796-A	Superficie	GP - GM	6,47E-03
P01B-01	796-B	Superficie	GM	1,45E-04
P01B-02	796-B	Superficie	GM	1,56E-04
P01B-03	796-B	Superficie	GM	6,77E-05
P01B-04	796-B	Superficie	GM	9,79E-05
P01B-05	796-B	Superficie	ML	1,48E-05
P01B-06	796-B	Superficie	ML	2,53E-05
P01B-07	796-B	Superficie	ML	2,39E-05
P02-01	798	Superficie	SM	1,11E-04
P02-02	798	Superficie	SM	6,76E-05
P02-03	798	Superficie	CL	7,13E-06
P02-04	798	Superficie	CL	8,04E-06
P02-05	798	Superficie	SM	1,00E-04
P02-06	798	Superficie	GW	1,18E-02
P02-07	798	Superficie	SC	5,56E-06
P02-08	798	Superficie	GM	1,19E-04
P02-09	798	Superficie	GM	1,15E-04
P02-10	798	Superficie	ML	1,42E-05
P02-11	798	Superficie	GM	1,26E-04
P02-12	798	Superficie	GW	1,44E-02
P02-13	798	Superficie	GM	9,83E-05
P02-14	798	Superficie	GM	1,02E-04
P02-15	798	Superficie	GW - GC	6,53E-05
FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.				

5.1.7 Investigaciones geotécnicas indirectas (geofísica sísmica)

- **Ensayo de refracción sísmica**

Con el fin de caracterizar el material de la cimentación y el cuerpo de los depósitos de relave y desmonte, se ejecutaron ensayos de refracción sísmica en cada una de los componentes. En la siguiente tabla 8 se presenta el resumen de los ensayos realizados.



Tabla 8 — Resumen de ensayos de refracción sísmica

ID	Línea Sísmica	Estrato	Vp	Profundidad	Descripción
				(m)	
796-A	R01A-1	1	200-485	1	Material suelto (Relave).
		2	485-1030	2,1	Roca muy fracturada.
		3	1030-2119	4	Roca fracturada.
		4	2119-2662	23	Roca poco fracturada (posiblemente granodiorita)
	R01A-2	1	288-553	1,6	Material suelto (Relave), siendo material arcilloso
		2	553-1082	1,1	Roca muy fracturada
		3	1082-2140	4	Roca fracturada
		4	2140-2668	23,3	Roca poco fracturada (posiblemente granodiorita)
796-B	R01B-1	1	240-523	1	Roca poco fracturada (posiblemente granodiorita)
		2	523-1090	4	Material suelto (Relave).
		3	1090-1514	25	Roca muy fracturada.
	R01B-2	1	202	1	Roca fracturada.
		2	202-546	2	Material suelto (Relave).
		3	546-1063	3	Roca muy fracturada.
		4	1063-1750	24	Roca poco fracturada (posiblemente granodiorita)
	R01B-3	1	228-580	1,5	Material suelto (Relave).
		2	580-933	1	Roca muy fracturada
		3	933-1813	27,5	Roca fracturada
	R01B-4	1	291-568	1	Material suelto (Relave).
		2	568-1123	3	Roca muy fracturada
		3	1123-1538	26	Roca fracturada
798	R02-1	1	148-543	2	Material suelto (Relave).
		2	543-1071	3	Roca muy fracturada
		3	1071-1333	25	Roca fracturada
	R02-2	1	158-489	2,5	Material suelto (Relave).
		2	489-1152	14,5	Roca muy fracturada
	R02-3	1	286-569	1	Material suelto (Relave).
		2	569-1133	3	Roca muy fracturada
		3	1133-1979	2	Roca fracturada
		4	1979-2825	24	Roca poco fracturada
	R02-4	1	139-637	2	Material suelto (Relave).
		2	637-1136	4	Roca muy fracturada
		3	1136-2133	8	Roca fracturada
		4	2133-2381	3	Roca poco fracturada
	R02-5	1	317-568	2	Material residual
		2	568-1068	1,5	Roca muy fracturada
		3	1068-2070	1	Roca fracturada
		4	2070-2570	25,5	Roca poco fracturada
	R02-6	1	290-551	1,5	Material residual
		2	551-1071	2	Roca muy fracturada
		3	1071-2112	4	Roca fracturada

		4	2112-2632	22,5	Roca poco fracturada
	R02-7	1	325-566	1	Material residual
		2	566-1048	2	Roca muy fracturada
		3	1048-2012	4	Roca fracturada
		4	2012-2493	23	Roca poco fracturada
	R02-8	1	377-557	1,5	Material residual
		2	557-1096	2	Roca muy fracturada
		3	1096-1993	26,5	Roca fracturada
	R02-9	1	409-585	1	Material residual
		2	585-1113	2	Roca muy fracturada
		3	1113-1991	14,5	Roca fracturada
	R02-10	1	305-493	1	Material residual
		2	493-1056	1,5	Roca muy fracturada
		3	1056-1995	14,5	Roca fracturada
FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.					

- **Ensayo Masw**

MASW se basa en la interpretación de ondas superficiales (específicamente, las ondas Rayleigh) a partir de un registro en arreglo multicanal. Estas ondas se generan mediante una fuente de energía impulsiva en puntos ubicados a distancias predeterminadas a lo largo de la superficie del suelo. El objetivo es obtener el perfil de velocidades de ondas de corte (Vs) para el punto central de esta línea. Con el fin de caracterizar el material de la cimentación y el cuerpo de los depósitos de relave y desmonte, se ejecutaron ensayos MASW en cada una de las componentes. En el ANEXO 8 se presenta el resumen de los ensayos realizados.

5.1.8 Cálculo de la estabilidad de taludes para el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023

Para evaluar la estabilidad de taludes del depósito, se han realizado los cálculos a través del método de equilibrio limite el cual ha sido aplicado a la sección más críticas del depósito, y los parámetros de resistencia han sido definidos según el estudio geotécnico de la ingeniería básica.

5.1.9 Evaluación de las condiciones geotécnicas de los suelos y rocas

Se justifica la obtención de los parámetros de resistencia de corte de los materiales, tales como: ángulo de fricción y la cohesión, que serán empleados en el análisis de estabilidad de las secciones consideradas. Se considera que las propiedades

geotécnicas de los materiales que conforman el cuerpo y la cimentación de los taludes son homogéneas e isotrópicas, y que la rotura del talud se produciría como resultados de fallas simultaneas y progresivas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Para la estimación de las propiedades de resistencia de los materiales, se ha tenido en consideración los resultados de los ensayos de laboratorio reportados por Consorcio Minero Junín, en los siguientes ítems se presenta la justificación de los parámetros asumidos para el análisis de estabilidad física de los taludes.

- **Material de desmante**

En las investigaciones geotécnicas, El Consorcio Junín caracterizó las muestras de material antrópico colocado en los depósitos de desmante como: GW -GC, GW, GC, GM, GP-GC y GC-GM. En este material se ejecutaron los ensayos de corte directo, los cuales indicaron un ángulo de fricción variable entre $30,19^\circ$ y $41,09^\circ$, y una cohesión variable entre 0,00 y 0,14 kg/cm². El peso específico del material se ha estimado en base a los resultados del ensayo de densidad de campo.

- **Material de relave fino**

En las investigaciones geotécnicas, El Consorcio caracterizó las muestras de material de relave fino como: ML, CL o CL-ML. En este material se ejecutaron los ensayos de corte directo y triaxiales CU, los cuales indicaron un ángulo de fricción variable entre $26,34^\circ$ y $26,44^\circ$, y una cohesión variable entre 0,20 y 0,21 kg/cm². El peso específico del material se ha estimado en base a los resultados del ensayo de densidad de campo.

- **Material de relave grueso**

En la presente campaña de investigaciones geotécnicas, El Consorcio caracterizó las muestras de material antrópico colocado en todas las plataformas de perforación como SM. En este material se ejecutaron los ensayos de corte directo y triaxiales CU, los cuales indicaron un ángulo de fricción de $28,69^\circ$ y una cohesión nula. El peso específico del material se ha estimado en base a los resultados del ensayo de densidad de campo.

- **Terreno natural (Grava Coluvial, Fluvio Glaciar)**

En la presente campaña de investigaciones geotécnicas, El Consorcio caracterizó las muestras de material coluvial y fluvio-glaciar que constituye el terreno natural (cimentación) de la mayoría de las componentes como: GP-GM y GM. En este material se ejecutaron los ensayos de corte directo, los cuales indicaron un ángulo de fricción variable entre $30,33^\circ$ y $35,29^\circ$, y una cohesión variable entre 0,00 y 0,15 kg/cm². El peso específico del material se ha estimado en base a los resultados del ensayo de densidad de campo.

- **Macizo rocoso fracturado**

En la presente campaña de investigaciones geotécnicas, El Consorcio caracterizó las muestras de roca fracturada que se encuentran por debajo de la grava que constituye el terreno natural de las componentes (en algunos casos aflorando), como andesita y granodiorita. Los parámetros de resistencia del macizo rocoso han sido obtenidos en base a su calidad geomecánica (Índice GSI), utilizando el proceso de la linealización de la envolvente de rotura no lineal para obtener los parámetros de resistencia del macizo rocoso de acuerdo con Hoek y Brown.

5.1.10 Definición de parámetros

Se ha examinado e interpretado cuidadosamente la información obtenida de campo, como los registros de evaluaciones geotécnicas, ensayos de densidad en campo y de permeabilidad. Este análisis se ha efectuado con la finalidad de establecer las propiedades de los diferentes tipos de materiales relevantes para el análisis de la estabilidad de los depósitos. Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman el modelo geotécnico fueron obtenidas a partir de los ensayos de campo, resultados de los ensayos de laboratorio y por correlaciones sustentadas en la literatura existente y experiencia de nuestros profesionales.

A continuación, se describen las consideraciones asumidas en la caracterización de cada material.

Para realizar la estabilidad fue necesario tenerlos lo siguiente:

- A. Valores de los ensayos complementarios para la remoción, traslado y conformación de los relaves en la nueva desmontera.
- B. Investigaciones geotécnicas geofísica sísmica
- C. Densidad de campo y permeabilidad



D. Valores asumidos por CMJ.

Tabla 9 — Resumen de propiedades de materiales para el depósito

N°	Estratos	Y	Parámetros		Ref.
		kN/m ³	c'(kPa)	Ø (°)	
1	Relave + desmonte + Cal	18	0.01	30	A
2	Desmonte	19,9	0	39	B
3	Dique	22	2	37	C
4	Roca	27	-	-	B
5	Interfase (geomembrana)	15	0	22	D
6	Suelo de Fundación	19	5	34	B
7	Cobertura	18	2	35	C

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

5.1.11 Metodología de los análisis de estabilidad

Los análisis de estabilidad fueron realizados utilizando el programa de cómputo SLIDE, versión 6,0. Este es un programa de análisis de estabilidad de taludes completamente integrado, que permite desarrollar la geometría del talud interactivamente y la definición de los tipos y propiedades de los materiales de manera muy amigable con el usuario.

El análisis para calcular el Factor de Seguridad (FS) se lleva a cabo bidimensionalmente usando el concepto de equilibrio límite, aproximando el problema a un estado de deformación plana. El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera simultánea (Janbu simplificado, Spencer y Morgenstern & Price); sin embargo, para el presente análisis se ha utilizado el Método de Spencer empleando dovelas para el cálculo de superficies de falla. El método de Spencer (1967) fue utilizado para buscar la superficie de falla más crítica, debido a que el método satisface el equilibrio de fuerzas y momentos. Además, el programa permite analizar posibles modos de falla por arrancamiento del refuerzo, falla por tensión del refuerzo y deslizamiento interno del muro. La superficie de falla crítica es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, y fue encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de esta evaluándose superficies de falla circulares.

Como hipótesis del análisis se considera que las propiedades de los materiales que conforman la estructura analizada son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Cada material tiene sus propiedades y características físicas y mecánicas.

El coeficiente sísmico horizontal utilizado para el proyecto fue de 0,15.

Criterio de análisis

Los criterios de diseño están basados en las recomendaciones de la guía ambiental para la estabilidad de taludes del depósito de residuos sólidos del MINEM y de las agencias United States Society of Dam (USSD), United States Bureau of Reclamation (USBR). En el análisis se consideraron los siguientes mínimos factores de seguridad:

Mínimo factor de seguridad estático a largo plazo igual a 1,2

Mínimo factor de seguridad Pseudo-estático igual a 1,0.

Cabe mencionar que un factor de seguridad pseudo-estático mayor a 1,0 no significa que el apilamiento no se moverá durante un sismo. Lo que probablemente ocurrirá es que se desarrollarán desplazamientos mínimos y no se producirán daños permanentes en las estructuras, asociados al sismo de diseño. En el caso de que el factor de seguridad pseudo-estático sea menor que 1,0 se deberá verificar los desplazamientos en función de un criterio más riguroso.

5.1.11.1 Condiciones analizadas

En el análisis de estabilidad física se efectuó considerando lo siguiente:

- El análisis de estabilidad física de taludes ha considerado las condiciones más críticas representadas por la sección de mayor pendiente del terreno y mayor altura.
- Los análisis de estabilidad física de los taludes en el depósito en condición estática y pseudo – estática se realizaron considerando un modelo geotécnico estratificado, constituido por material de: Mezcla Relave + Desmonte + Cal, dique, capa de interface (geomembrana), basamento rocoso y cobertura (material granular y coluvial).
- El análisis de estabilidad ha considerado la existencia de superficies de falla tipo circular y planar (bloque) para evaluar la estabilidad del talud de los depósitos, donde corresponda.

5.1.12 Resultados obtenidos del análisis de estabilidad en condición de depósito

En la siguiente tabla se presentan los resultados del análisis de estabilidad en condición proyectada del depósito.

Tabla 10 — Resultados del análisis de estabilidad de taludes proyectados

Descripción de talud	Tipo de	Condición	Factor de seguridad	
			Estático	Pseudo-estático
				(Cs=0,15)
Ancho de banquetta: 5,0 m Altura de interbanco: 8,0 m Altura Total: 33,0 m	Circular	Estabilidad global	1,62	1,13
Talud inter-banco: 2,5 H: 1V	Bloque	Estabilidad global	1,84	1,42
Talud global: 2,9 H: 1V	Circular	Estabilidad de Dique	1,57	1,13

DIMENSIONES DEL DEPÓSITO TACSACOA – Para la disposición final de relaves

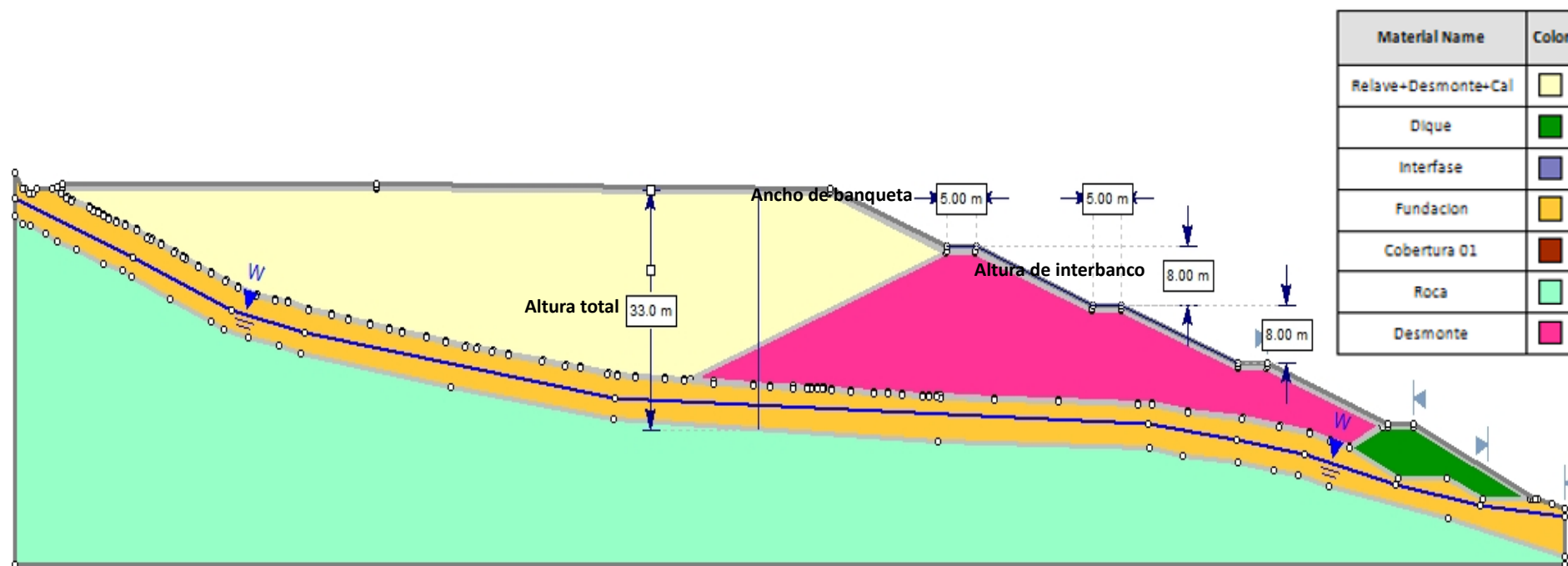


Figura 3 — Dimensiones de depósito de relaves

DEPÓSITO TACSACOA – Para la disposición final de relaves

Análisis de estabilidad estático

Sección A-A - Estabilidad global- falla circular

F.S. = 1.622

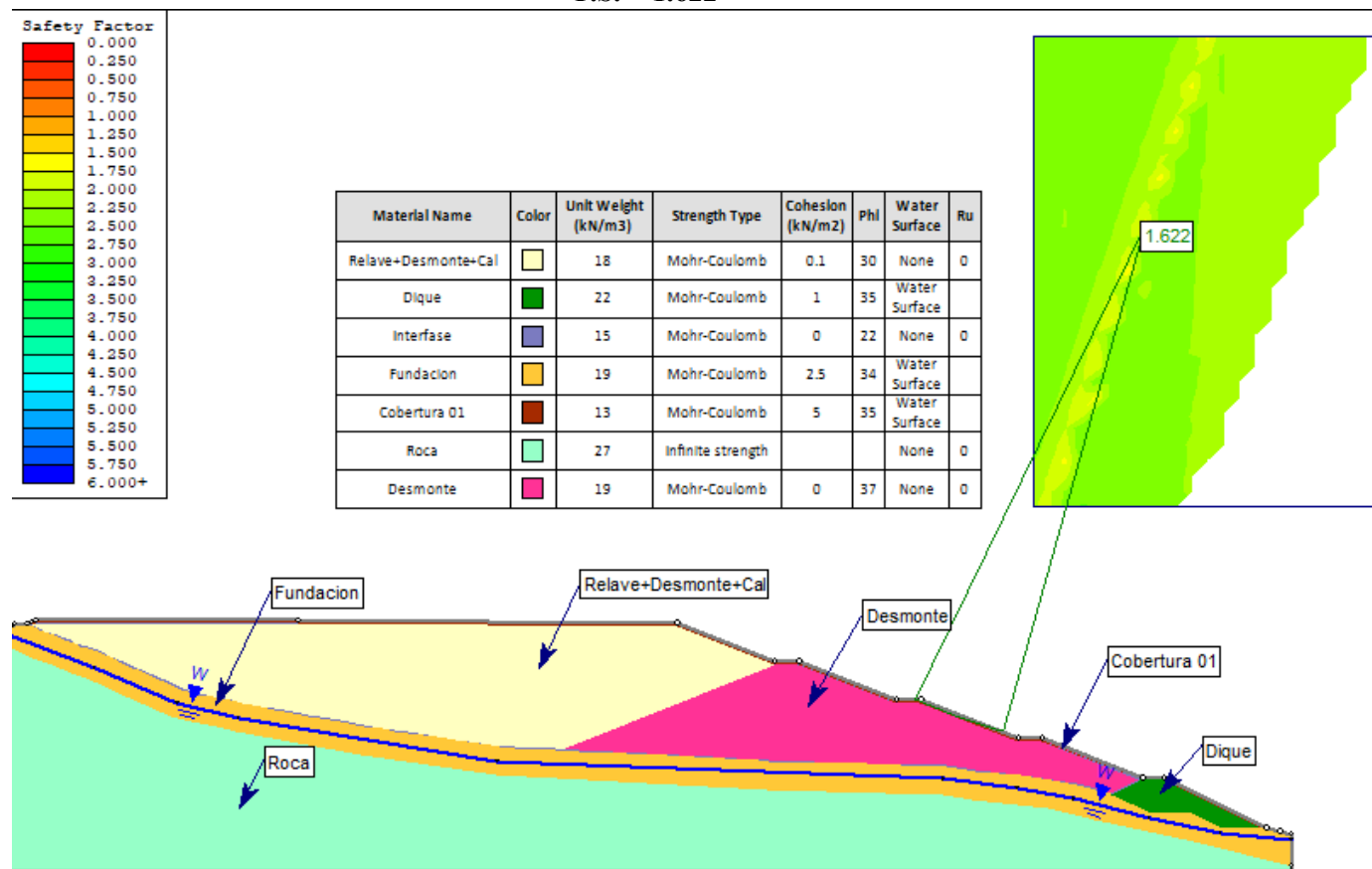


Figura 4 — Análisis de estabilidad global estático en falla circular

DEPÓSITO TACSACOA – para la disposición final de relaves

Análisis de estabilidad pseudo estático

Sección A-A - Estabilidad global- falla circular

F.S. = 1.130

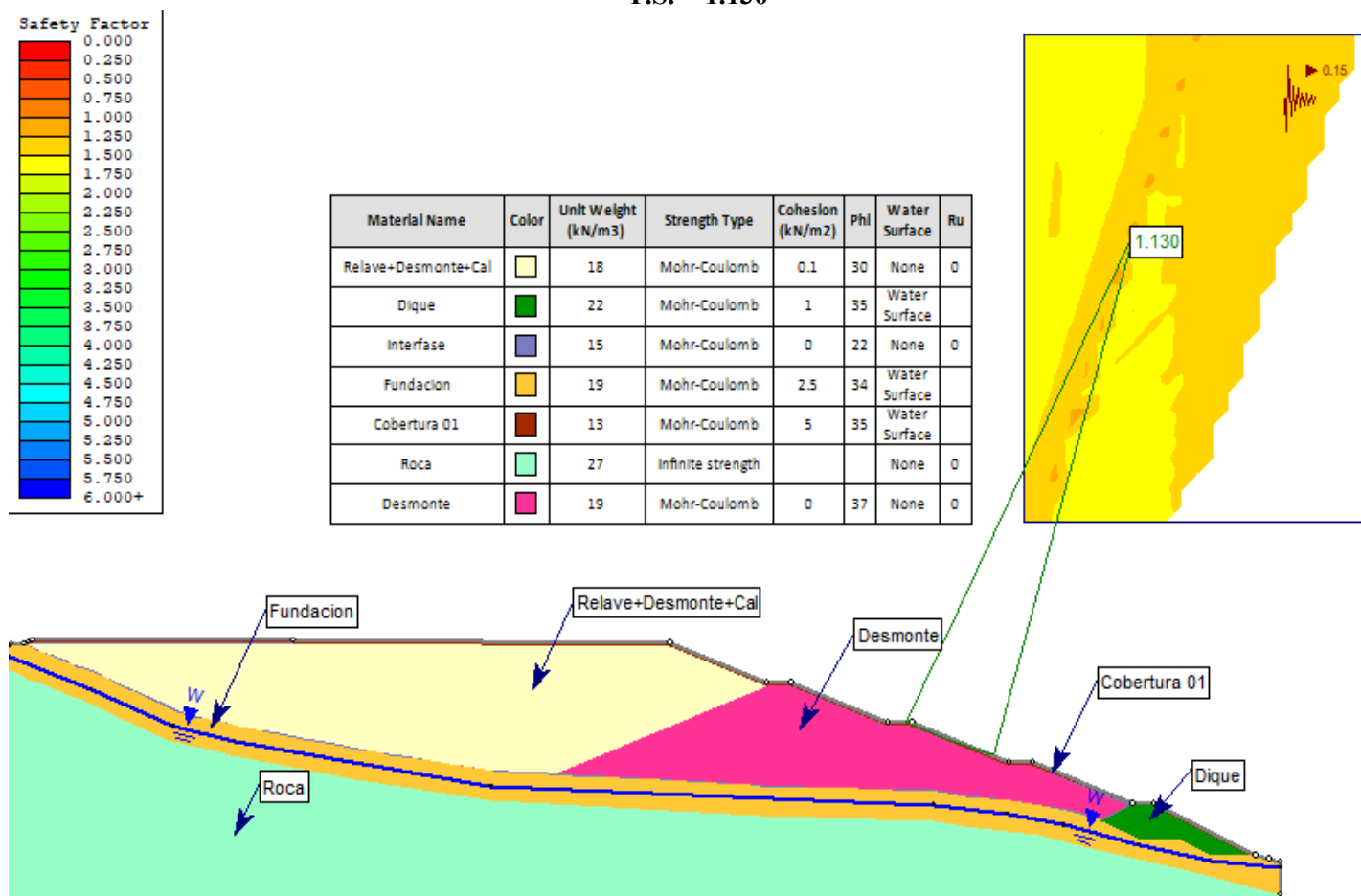


Figura 5 — Análisis de estabilidad global pseudo – estático en falla circular

DEPÓSITO TACSACOA – Para la disposición final de relaves

Análisis de estabilidad estático

Sección A-A - Estabilidad global - falla en bloque

F.S. = 1,847

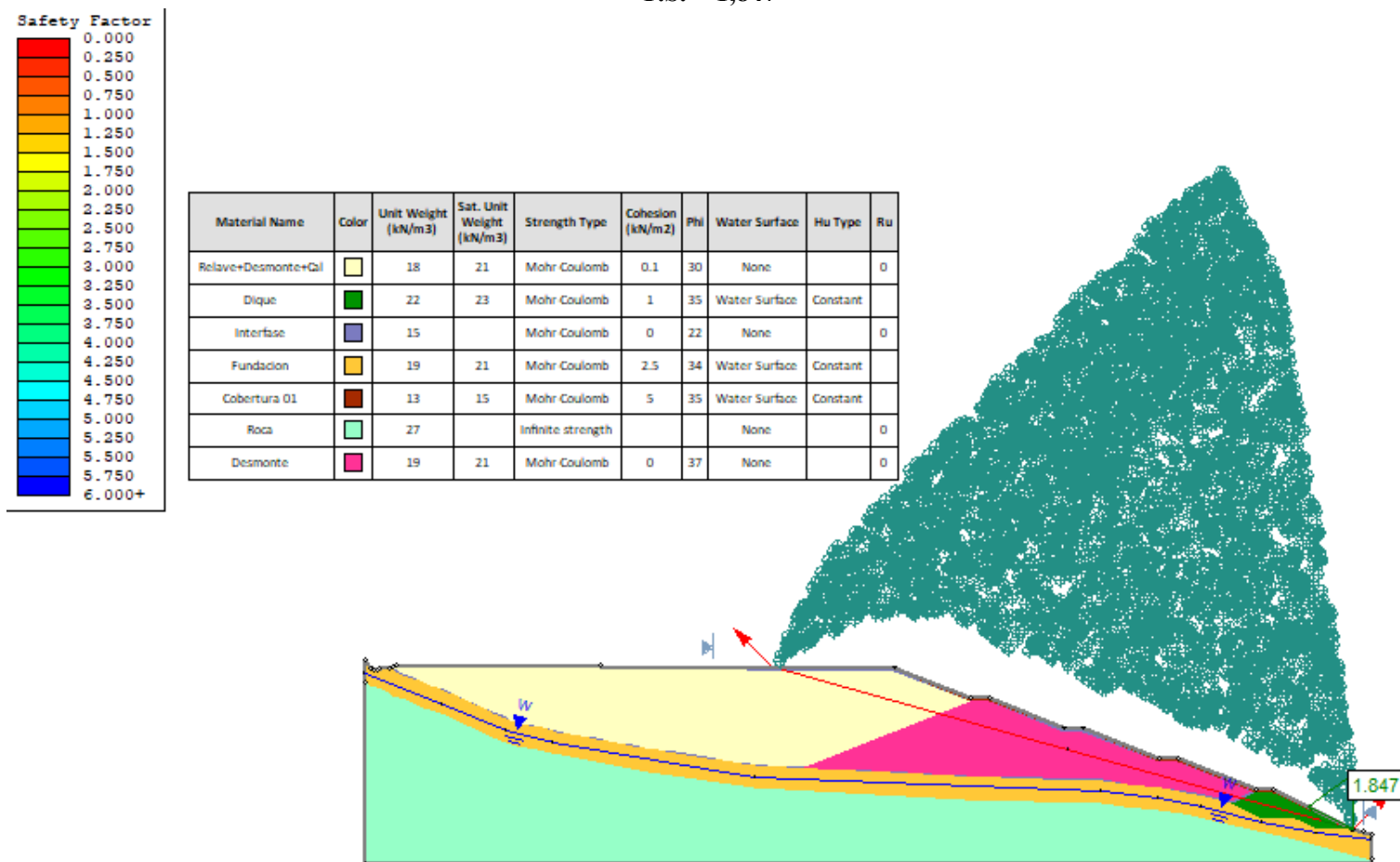


Figura 6 — Análisis de estabilidad global estático, falla en bloque

DEPÓSITO TACSACOA – Para la disposición final de relaves
Análisis de estabilidad pseudo-estático
Sección A-A - Estabilidad global - falla en bloque

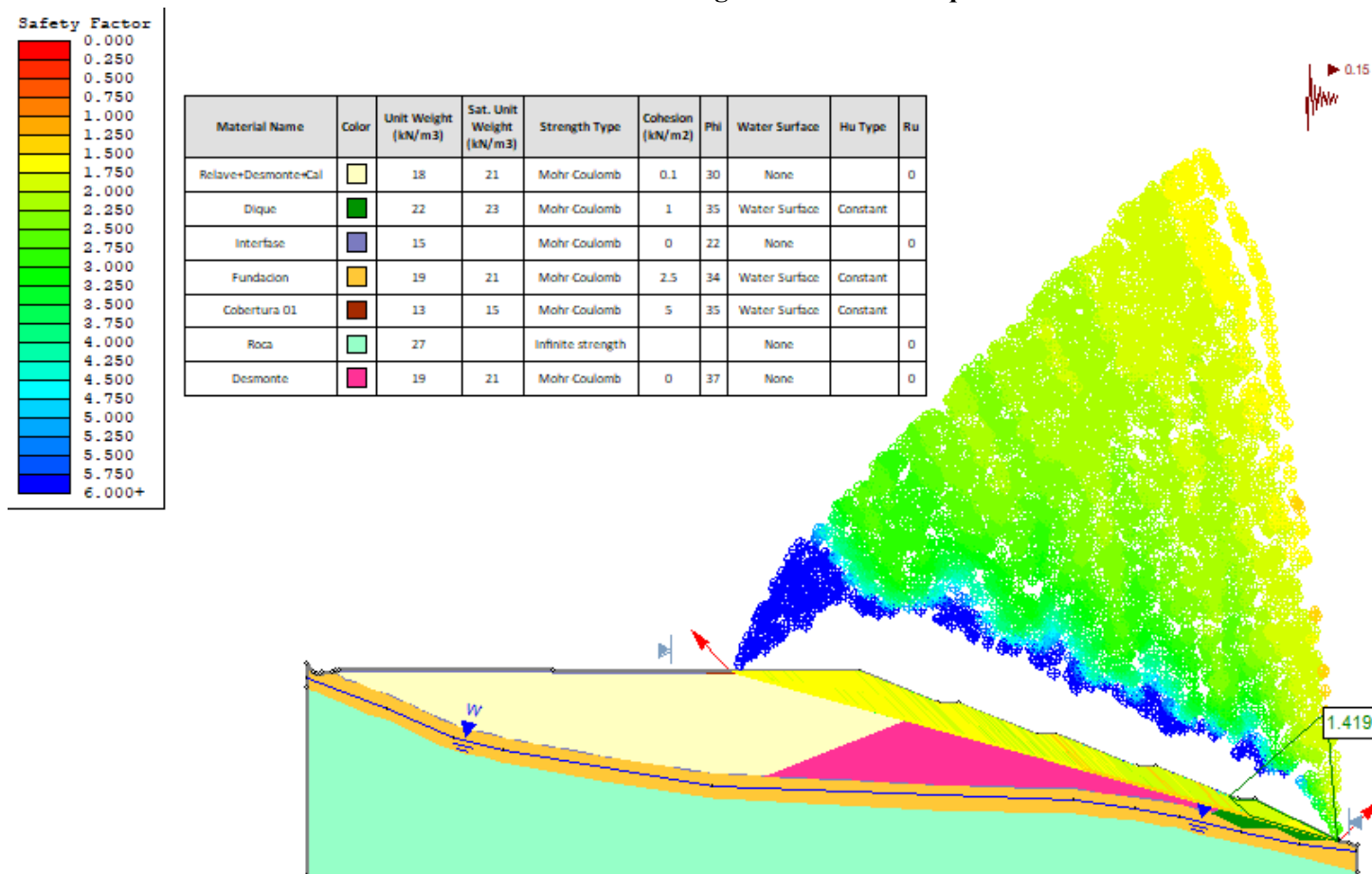


Figura 7 — Análisis de estabilidad global, pseudo – estático, falla en bloque

DEPÓSITO TACSACOA – Para la disposición final de relaves

Análisis de estabilidad estático

Sección A-A - Estabilidad del dique - falla circular

F.S. = 1,577

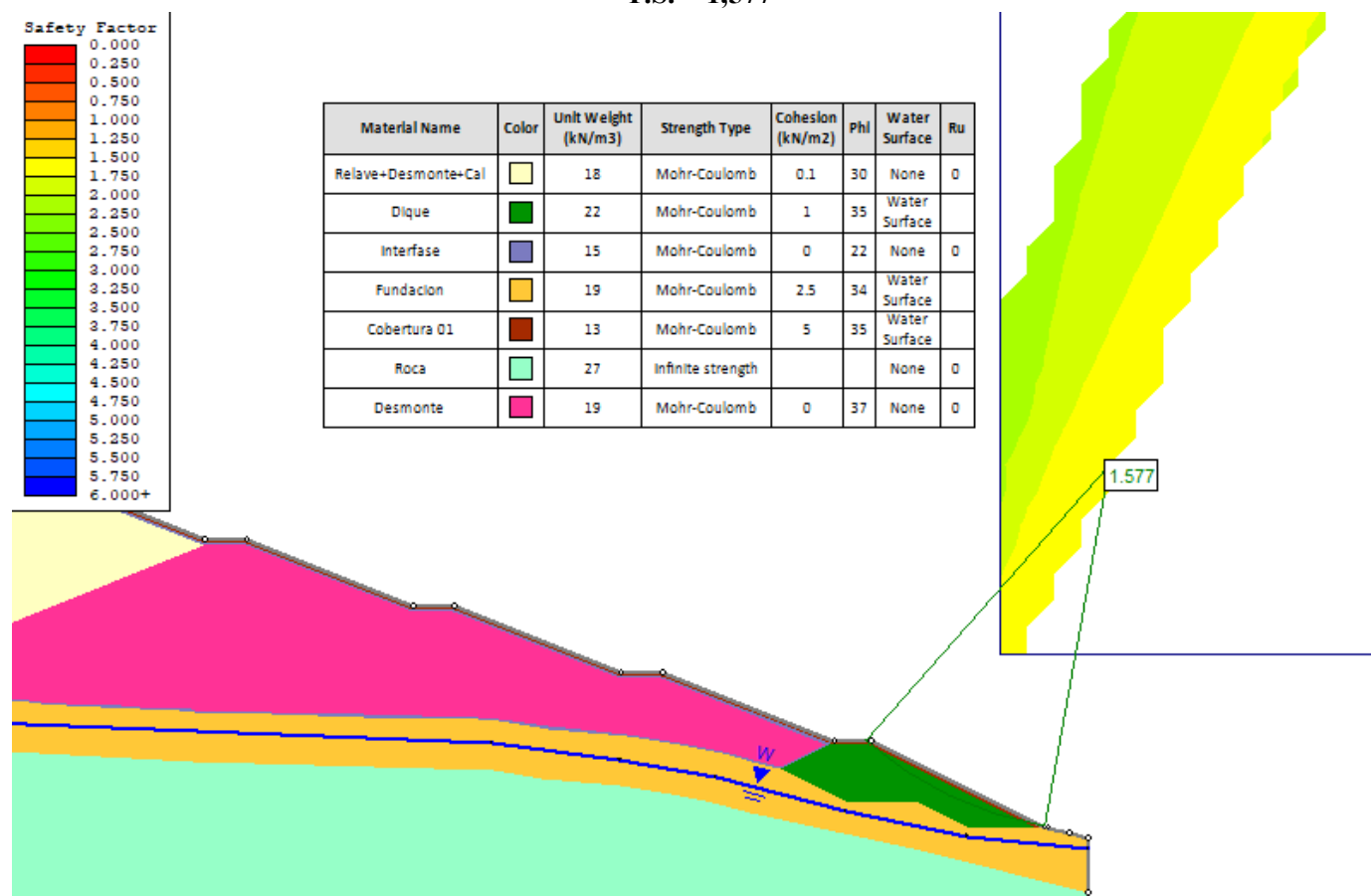


Figura 8 — Análisis de estabilidad en dique, estático, falla circular

DEPÓSITO TACSACOA – Para la disposición final de relaves

Análisis de estabilidad pseudo-estático

Sección A-A - Estabilidad del dique - falla circular

F.S. = 1,133

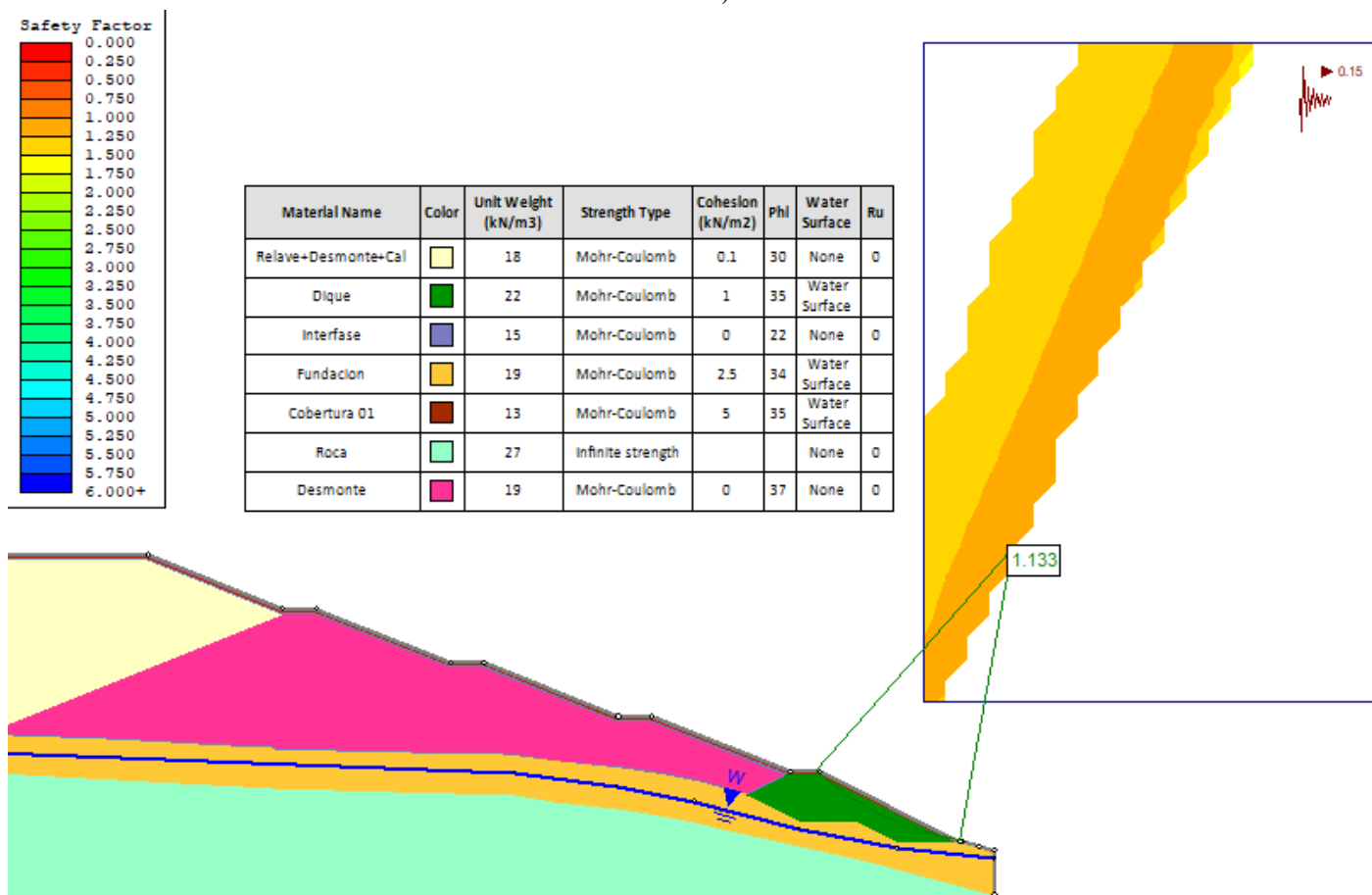


Figura 9 — Análisis de estabilidad en dique, pseudo – estático, falla circular

Estudios de tratamiento de relaves

Para este estudio se considera las propiedades del material fino, El procedimiento usado en laboratorio ha sido basado en las normas NTP 339.1291 o ASTM D43182 y el Manual de Laboratorio de BOWLES (1982).

LL: Limite liquido

LP: Limite plástico

IP: Índice de plasticidad

IL: Índice de liquides

IC: Índice de consistencia

W: Humedad natural

La mezcla óptima es la que es capaz de mantener una consistencia de muy firme a dura se tienen cinco mezclas con bajo uso de cal que cumplen esas condiciones, estas mezclas son:

Tabla 11 — Resultados del análisis de mezcla óptimo para tratamiento de relaves

Mezcla de material	W natural (%)	LL	LP	IP	IL	Comportamiento	IC	Consistencia
58 % D + 40 % R + 2 % Cal A.	19,55	32	20	12	-0,07	muy firme	1,07	muy firme
57 % D + 40 % R + 3 % Cal A.	19,19	36	24	11	-0,46	dura	1,46	dura
49 % D + 50 % R + 1 % Cal V.	23,55	39	24	15	-0,02	muy firme	1,02	muy firme
48 % D + 50 % R + 2 % Cal V.	23,35	44	28	16	-0,32	dura	1,32	dura
47 % D + 50 % R + 3 % Cal V.	22,96	47	28	18	-0,29	dura	1,29	dura

Es importante considerar la facilidad para encontrar la cal al momento de considerar su uso, la cal viva tiene el inconveniente de ser material peligroso por las reacciones al contacto con la piel o cualquier parte del cuerpo humano, por ese detalle es mejor usar la cal agrícola que además tiene menor costo.

La humedad de la mezcla debe estar idealmente cercana al 11% que es la humedad óptima de compactación, para asegurar una buena adherencia y por ende mayor resistencia al momento de compactar. Los resultados indican que la cohesión entre partículas no lo da el relave, por lo que esta misma mezcla se puede usar con otro tipo de relave.



De acuerdo a los resultados presentados en la tabla y considerando que la cal viva necesita un permiso especial para poder comprarla y tener protección especializada para su uso en obra, se recomienda el uso de la cal agrícola, ya que se obtienen buenos resultados. En la tabla 15 se presenta los valores del diseño elegido como óptimo a nivel técnico y de costo.

Tabla 12 — Resultados del mescla óptimo para tratamiento de relaves

Mezcla de material	W natural (%)	LL	LP	IP	IL	Comportamiento	IC	Consistencia
57 % D + 40 % R + 3 % Cal A.	19,19	36	24	11	-0,46	dura	1,46	dura

Siendo R: relave y D: desmonte están en función a sus pesos, por lo tanto, la relación en volumen para el relave y el desmonte será la siguiente.

$$1,00 V_r + 0,83 V_d + 126,2 W_c$$

Donde:

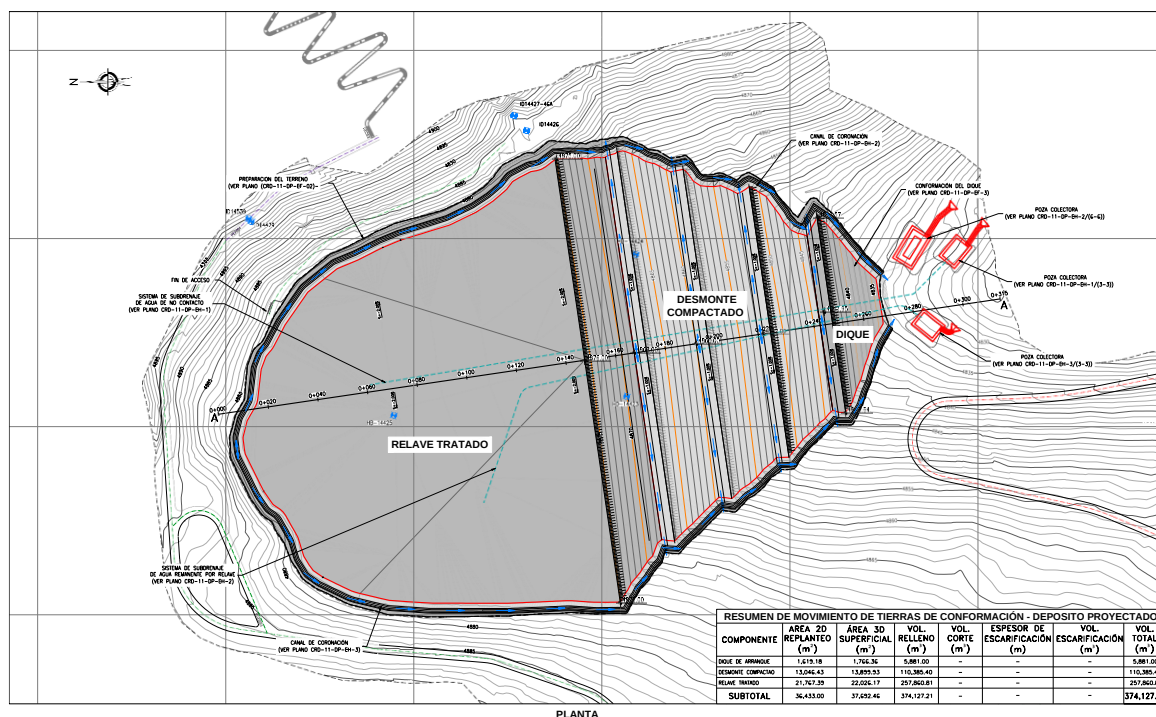
V_r : volumen de relve m³

V_d : Volumen de desmonte m³

W_c : peso de cal (Kg)

Se recomienda usar 3% de cal agrícola debido a que la consistencia se mantiene dura, que da mayor seguridad a la mezcla.

El depósito será estabilizado físicamente mediante trabajos de movimiento de tierras en el área de emplazamiento. La configuración de la estructura será mediante el método de bancos (taludes, banquetta y plataformado). Asimismo, considera obras hidráulicas (de subdrenaje y superficial), encapsulamiento impermeable y cobertura con material granular.

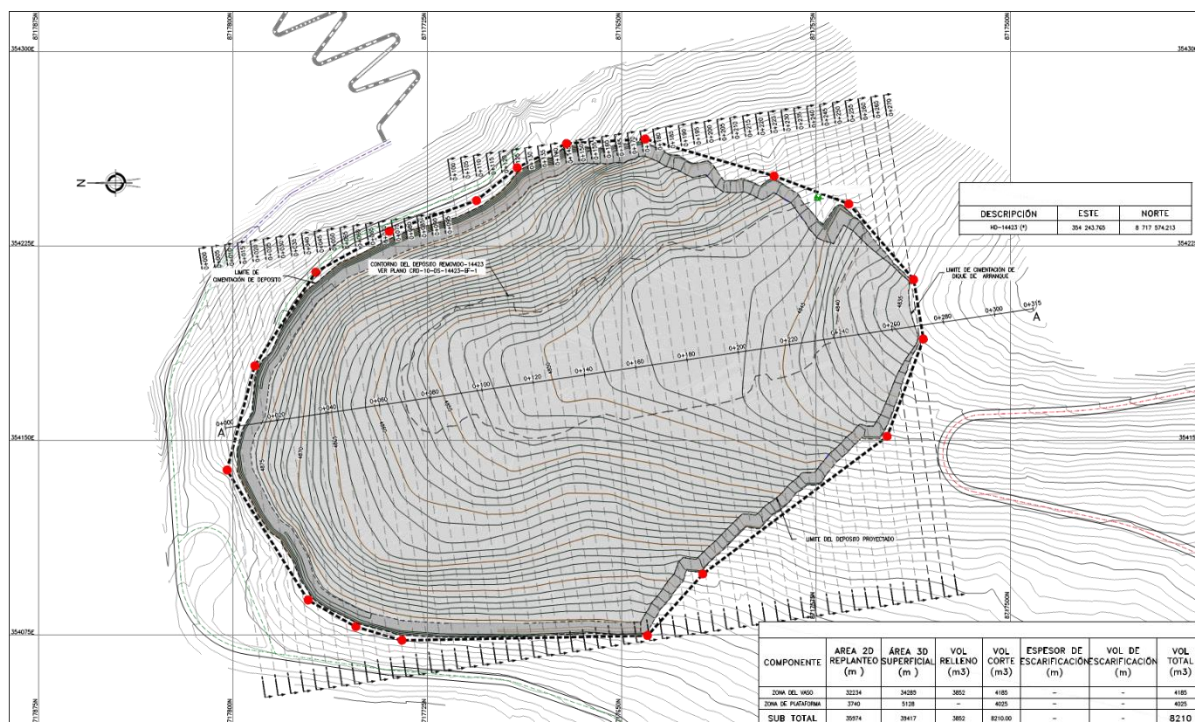


FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 10 — Vista en planta de depósito desmonte compactado y relave tratado.

5.1.13 Movimiento de tierras

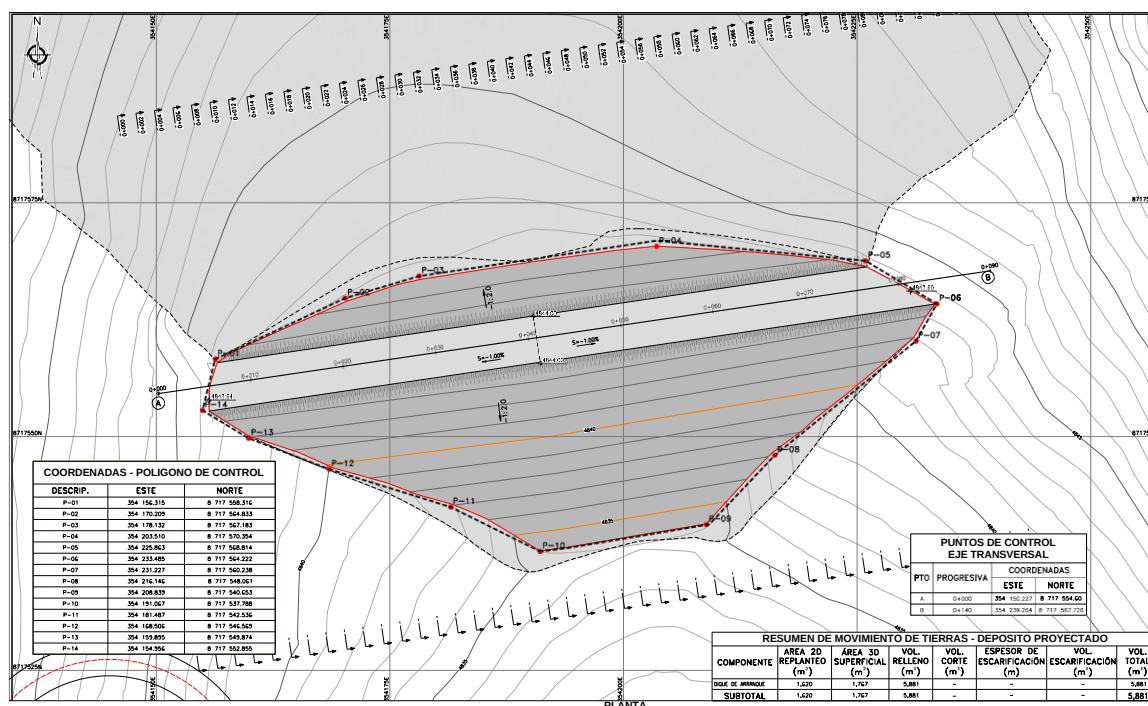
Las actividades de movimiento de tierras están comprendidas en cuatro aspectos. Primero, preparación del terreno, consiste en las actividades de nivelación y perfilado, suavizando el terreno, reduciendo angulosidades en su superficie para reducir el punzonamiento que pueda ejercer sobre la geomembrana que se instalará. Si como resultado de estas actividades tenemos un material excedente, este será transportado hacia el depósito temporal, el depósito para la disposición final de relaves se encuentra a 8 km de los depósitos de relave 796-A, 796-B y 798. Ver la siguiente figura 15.



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 11 — Preparación del terreno del depósito.

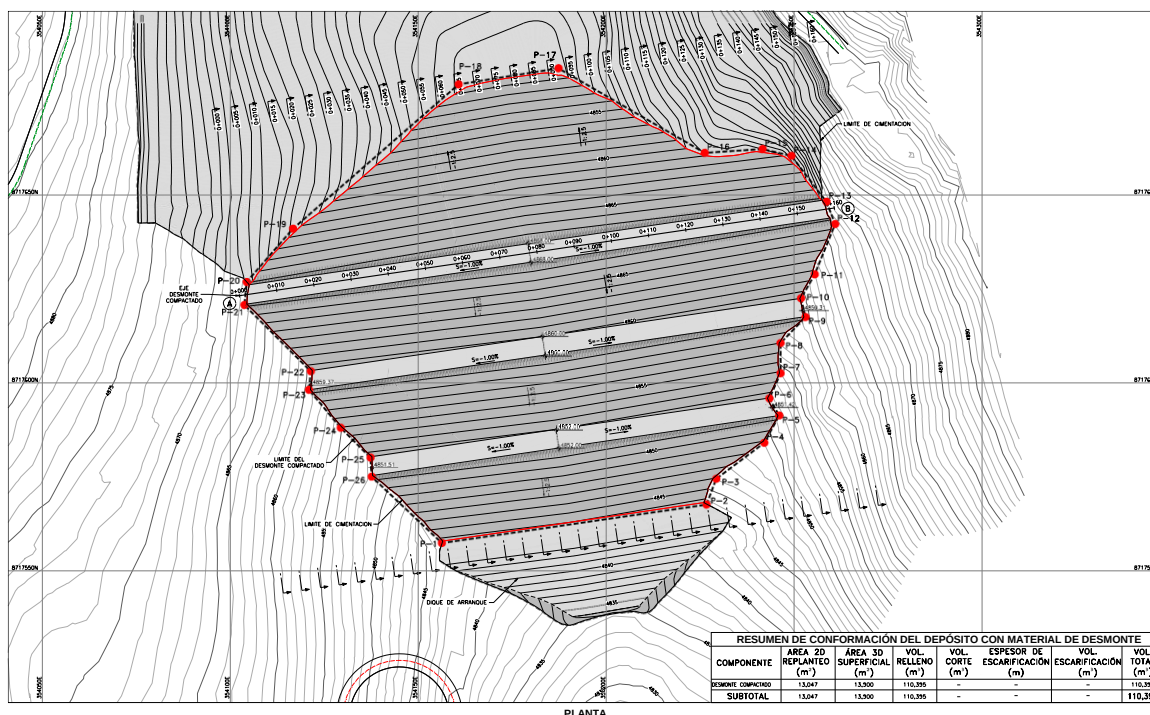
Segundo, preparación (perfilado y nivelación de la base del dique) y conformación del dique de arranque con material estructural de préstamo (material compactado), lo cual se muestra en la siguiente figura 12.



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 12 — Conformación del dique de arranque del depósito.

Tercero, conformación del depósito con material excedente, ya sea de desmonte, excedente de los accesos o escombros de demolición, este material se compactará al 80% de la densidad relativa. Ver la siguiente figura 13.



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

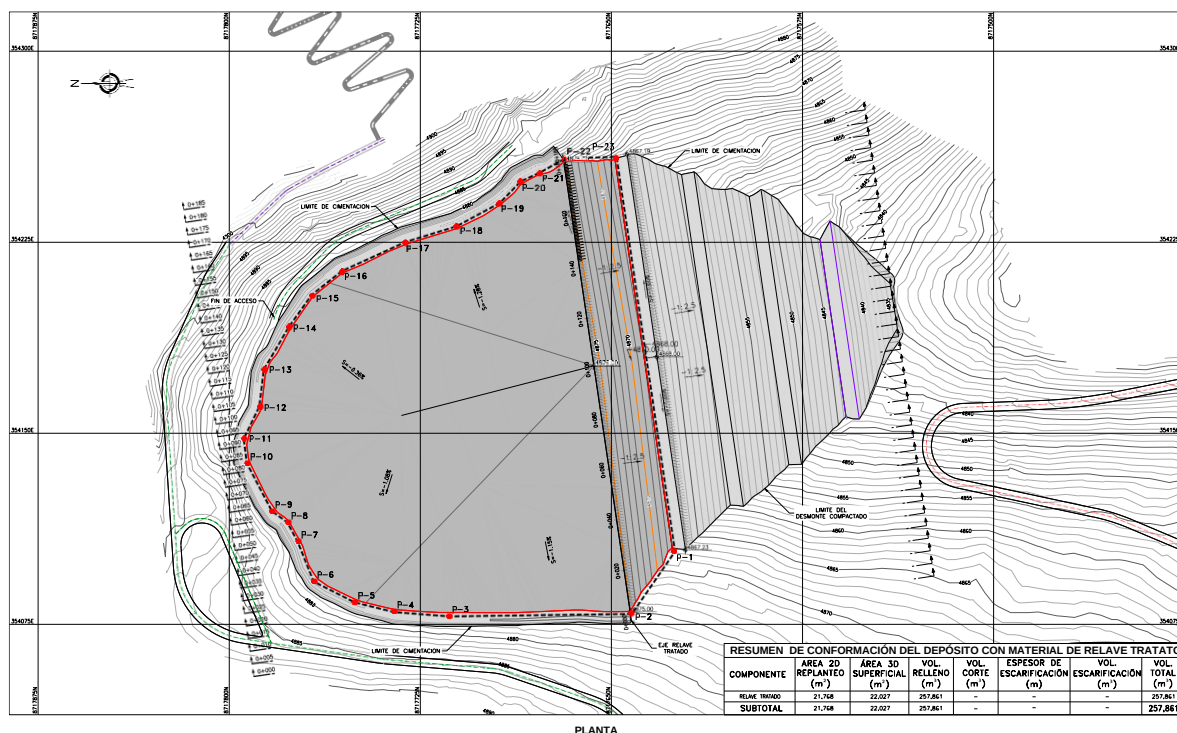
Figura 13 — Conformación del depósito con material excedente.

Tabla 13 — Movimiento de tierras - preparación del terreno para el depósito

Componente	Área 2D	Área 3D	Volumen relleno	Volumen total
	replanteo (m²)	Superficial (m²)		
Desmonte Compactado	13 046,43	13 899,93	110 385,40	110 385,40
SUBTOTAL	13 046,43	13 899,93	110 385,40	110 385,40

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Cuarto, conformación del depósito con material excedente, y con relave tratado con las siguiente mezcla optima 40 % relave + 57 % desmonte + 3 % cal A, este se compactará al 70% de la densidad relativa. Ver la siguiente figura 15.



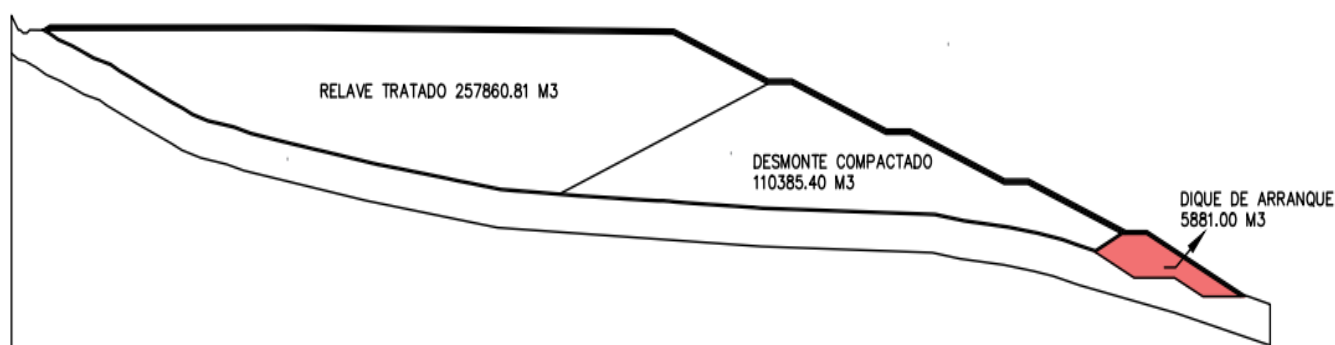
FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 14 — Conformación del depósito con relave tratado

Tabla 14 — Movimiento de tierras – relleno con relave tratado

Componente	Área 2D	Área 3D	Volumen relleno	Volumen total
	replanteo (m²)	Superficial (m²)	(m³)	(m³)
Desmote Compactado	21 767,39	22 026,17	257 860,81	257 860,81
SUBTOTAL	21 767,39	22 026,17	257 860,81	257 860,81

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 15 — Distribución de volúmenes en el depósito proyectado.

5.1.14 Sistema hidráulico del depósito

El depósito proyectado cuenta con tres sistemas de drenaje, el primero, sistema de subdrenaje de agua de no contacto, captará el agua subterránea que pase por debajo de depósito.

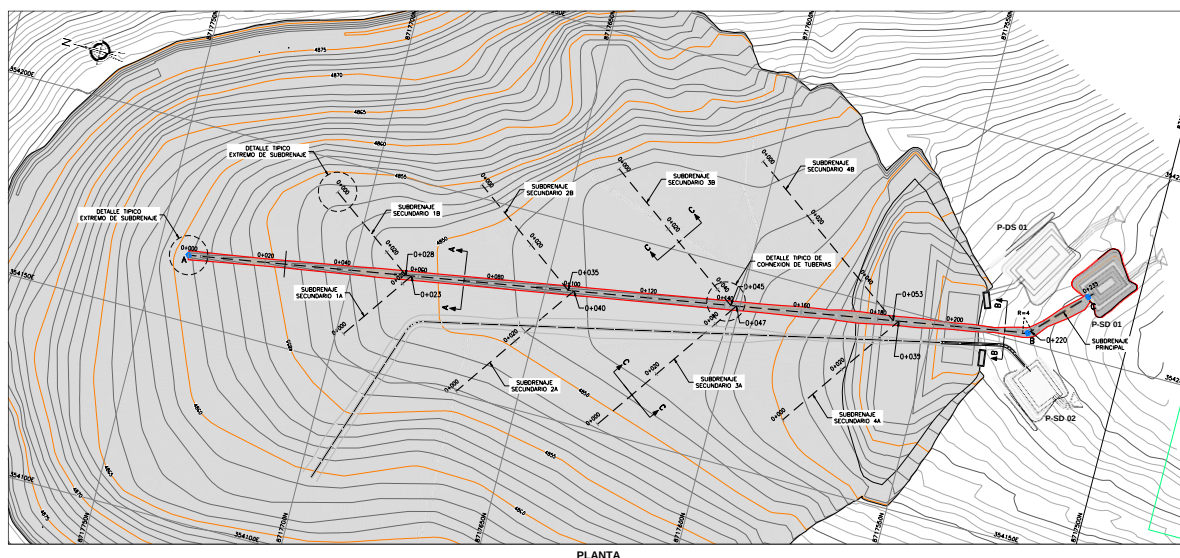


Figura 16 — Sistema de subdrenaje de agua de no contacto.

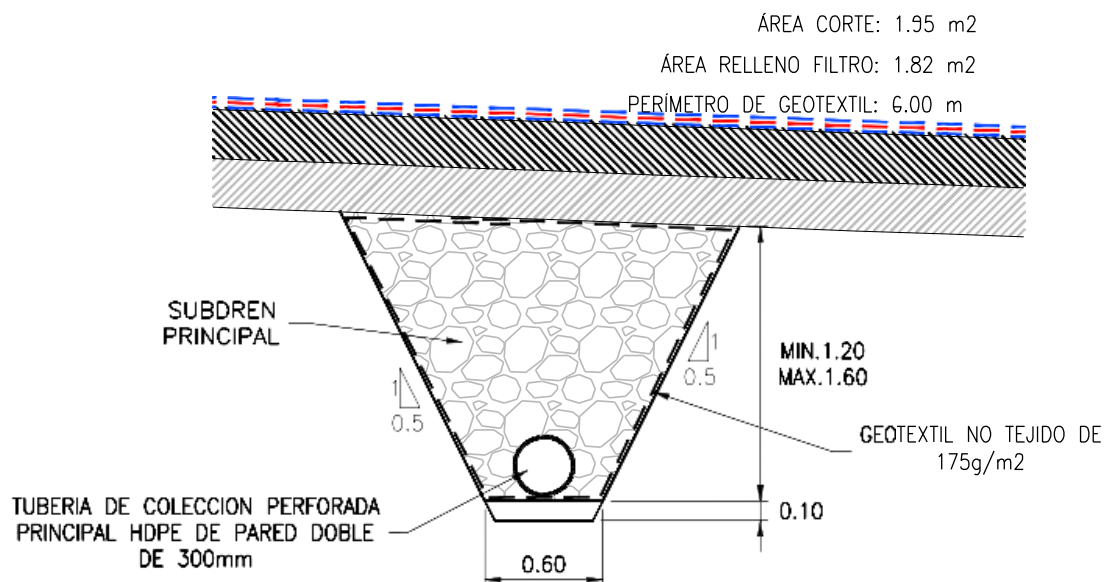


Figura 17 — Diseño del subdrenaje de agua de no contacto.

Segundo, un sistema de subdrenaje de agua remanente, que captará algún flujo de agua que se encuentre atrapado en el interior del depósito en especial en la zona del relave tratado.

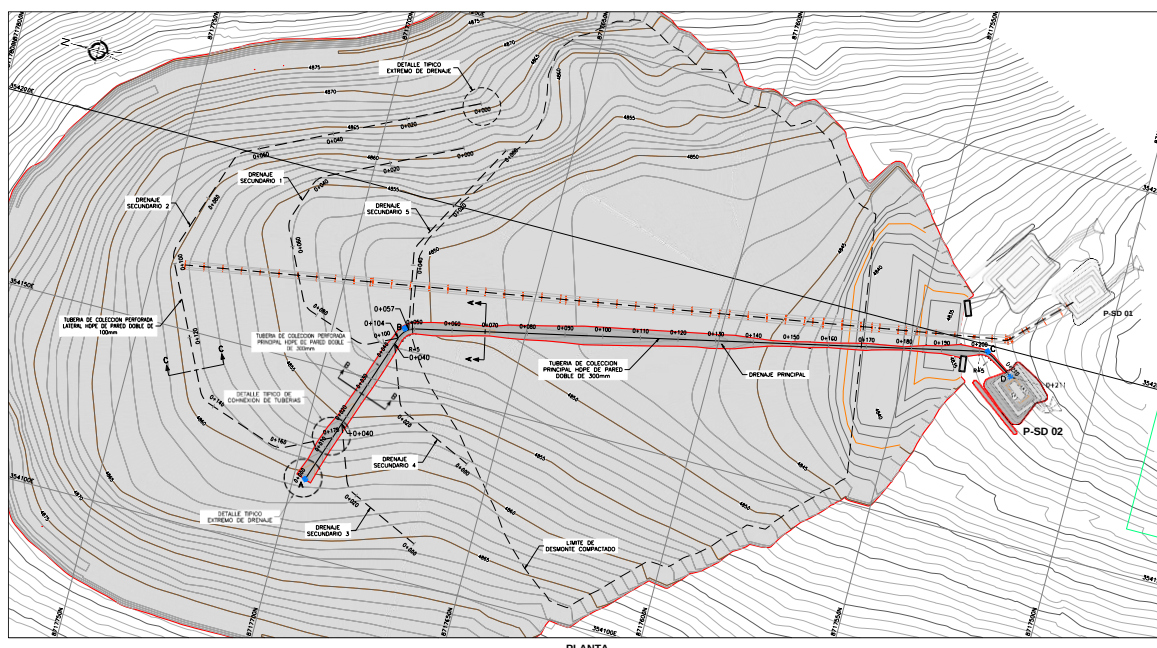


Figura 18 — Sistema de subdrenaje de agua remanente

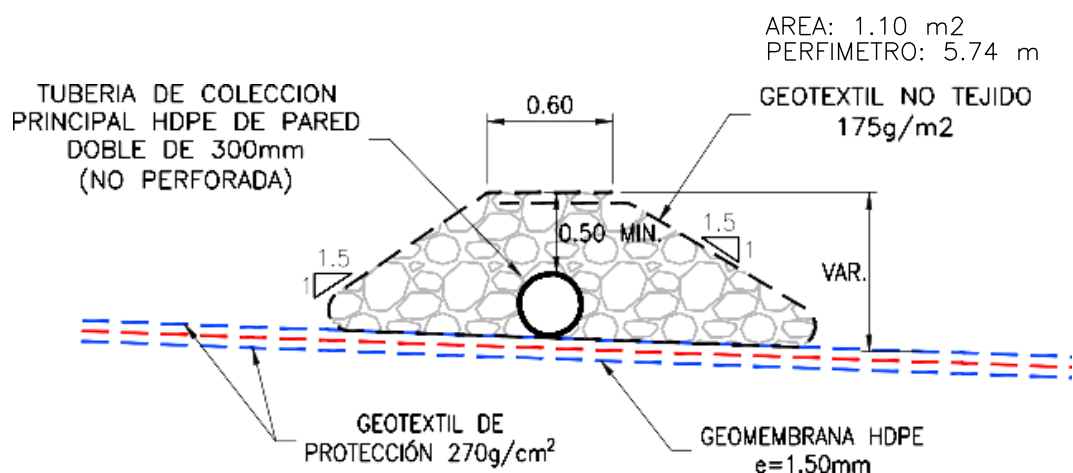


Figura 19 — Diseño de subdrenaje de agua remanente

Tercero, un sistema de drenaje superficial, este sistema está conformado por tres subsistemas. El primero, canal de coronación margen derecha; el segundo, canal de coronación margen izquierda; y el tercero, un subsistema de cunetas.

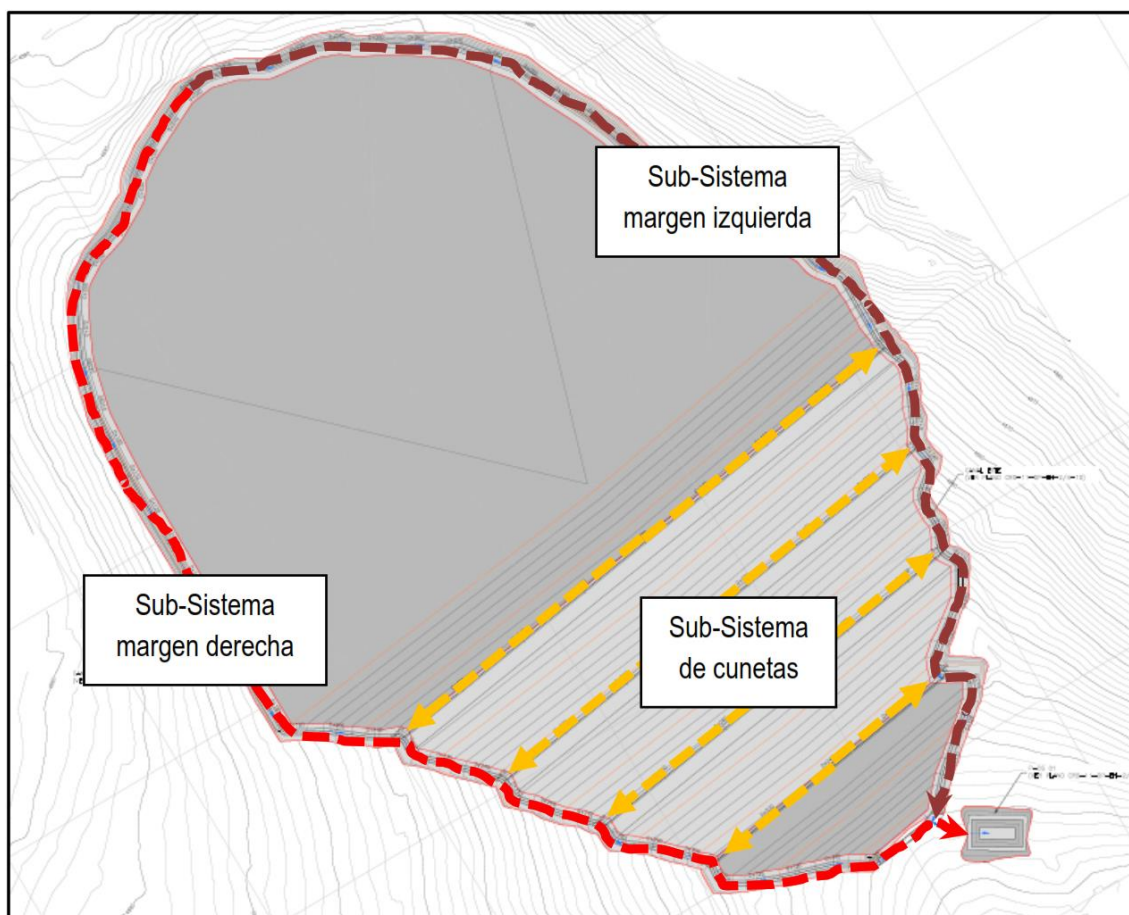


Figura 20 — Sistema de drenaje superficial del depósito.

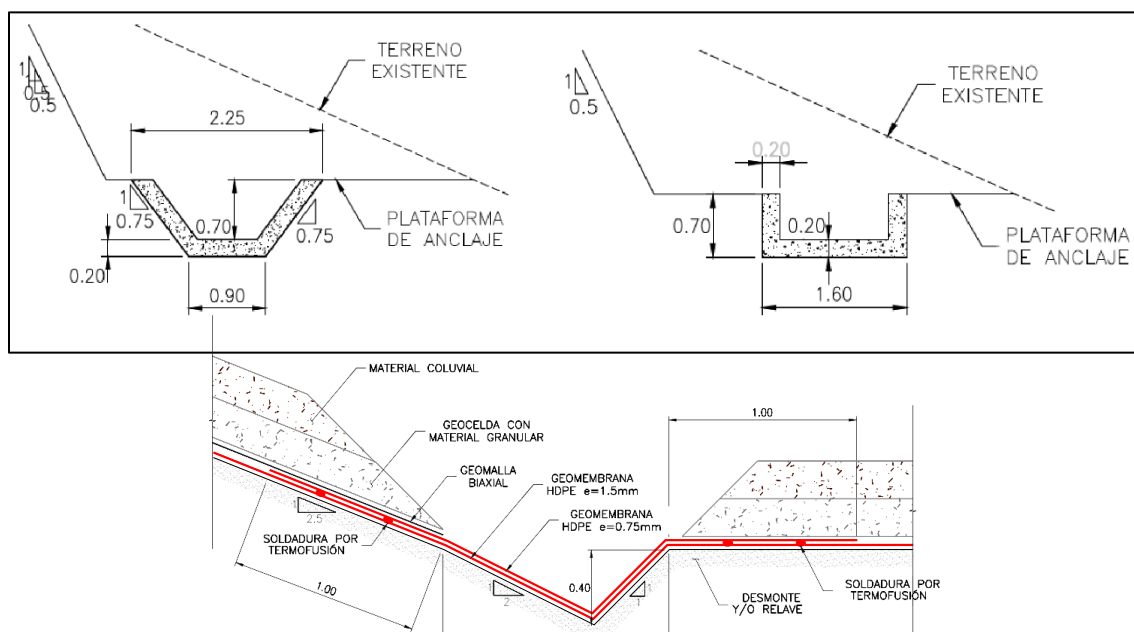


Figura 21 — Diseño de drenaje superficial del depósito

5.1.15 Sistema de impermeabilización del depósito

El depósito proyectado cuenta con dos sistemas de impermeabilización, uno en la base y otro en la superficie. De esta manera se garantiza el encapsulamiento de todo el material dispuesto. El sistema de impermeabilización de la base, se coberturará toda la base con geo sintéticos (geotextil de protección 270 g/m² + geomembrana HDPE doblemente texturada de 1.5 mm + otro geotextil de protección de 270 g/m²), se habilitarán zanjas de anclaje para asegurar la estabilidad de los geosintéticos.

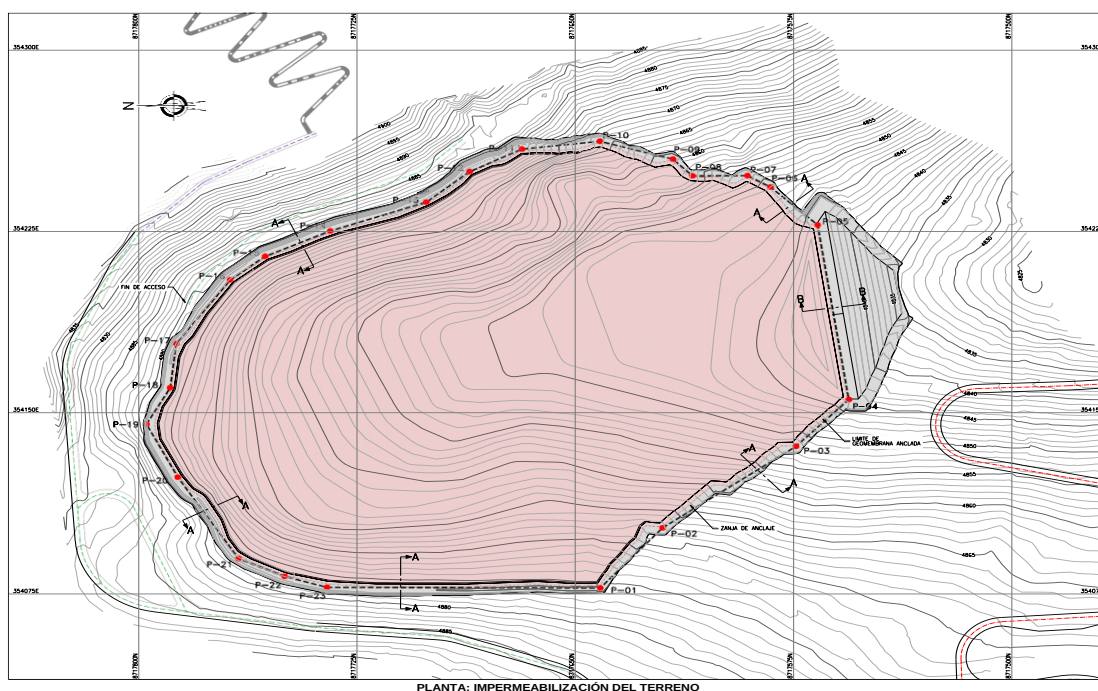


Figura 22 — Sistema de impermeabilización en la base del depósito proyectado

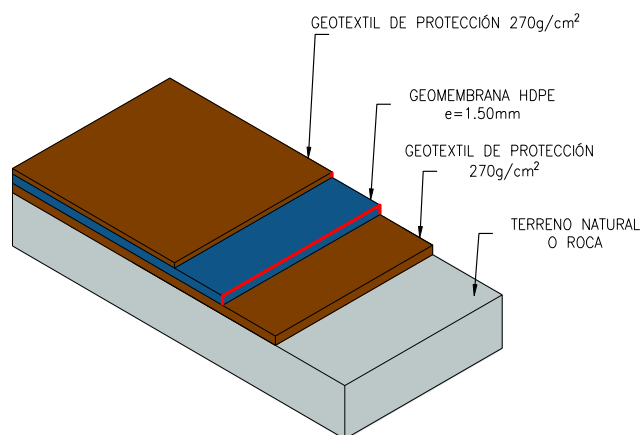


Figura 23 — Capas de impermeabilización en la base del depósito proyectado

[illegible]

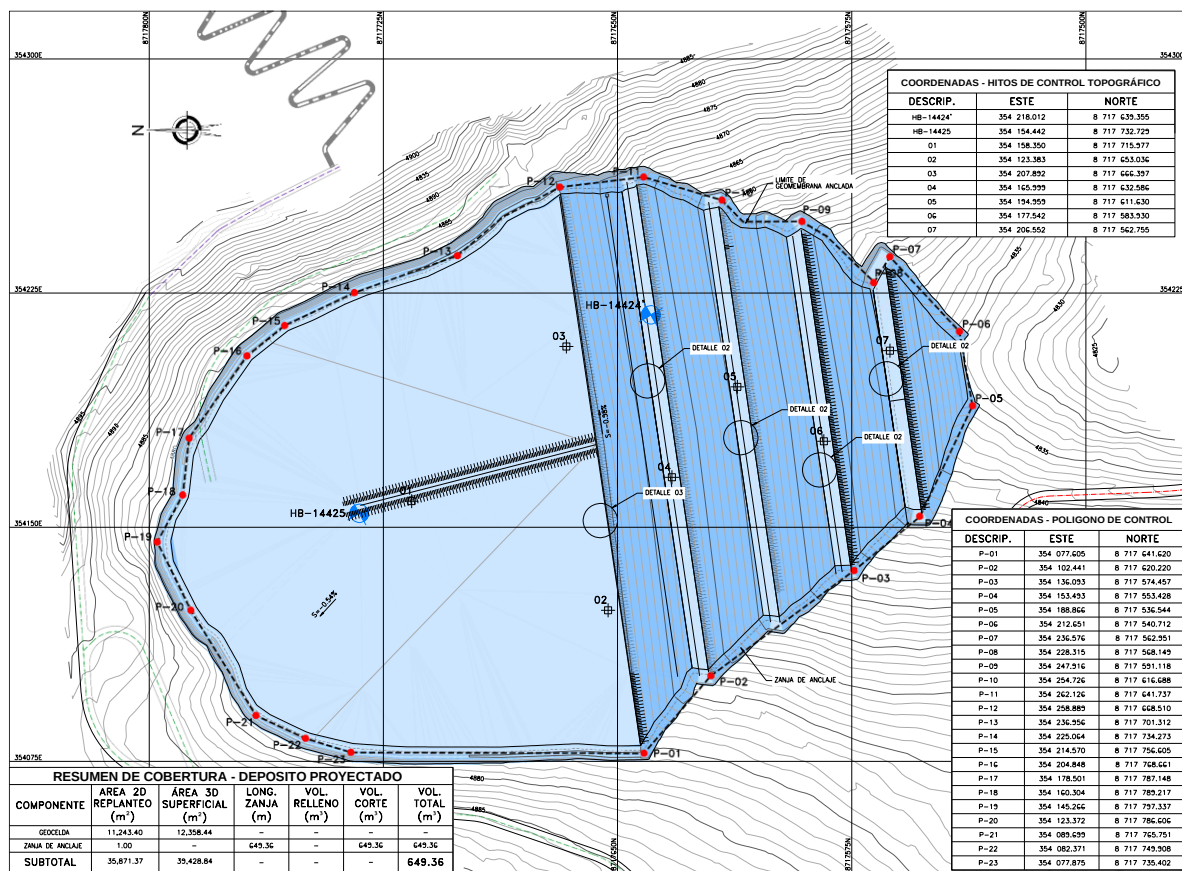
Diagrama de detalle de la zona de relave y/o desmonte de la estructura de impermeabilización. El diagrama muestra una sección transversal de la estructura con las siguientes capas y componentes:

- VER PLANO DE COBERTURA**: Indica la zona superior de la estructura.
- GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN 270g/cm²**: Se muestra una capa de geotextil que cubre la zona de relave y/o desmonte.
- GEOMEMBRANA HDPE e=1.50mm**: Se muestra una capa de geomembrana de alta densidad de polietileno (HDPE) con un espesor de 1.50mm.
- GEOTEXTIL DE PROTECCIÓN 270g/cm²**: Se muestra una segunda capa de geotextil que cubre la zona de relave y/o desmonte.
- RELAVE Y/O DESMONTES**: Indica la zona de relave y/o desmonte de la estructura.

Extraído de Consorcio Minero Junín.

5.1.15.1 Sistema de cobertura del depósito

El depósito proyectado cuenta con dos sistemas de coberturas, uno en plataformas banquetas y otro en taludes.



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 26 — Sistema de cobertura en el depósito.

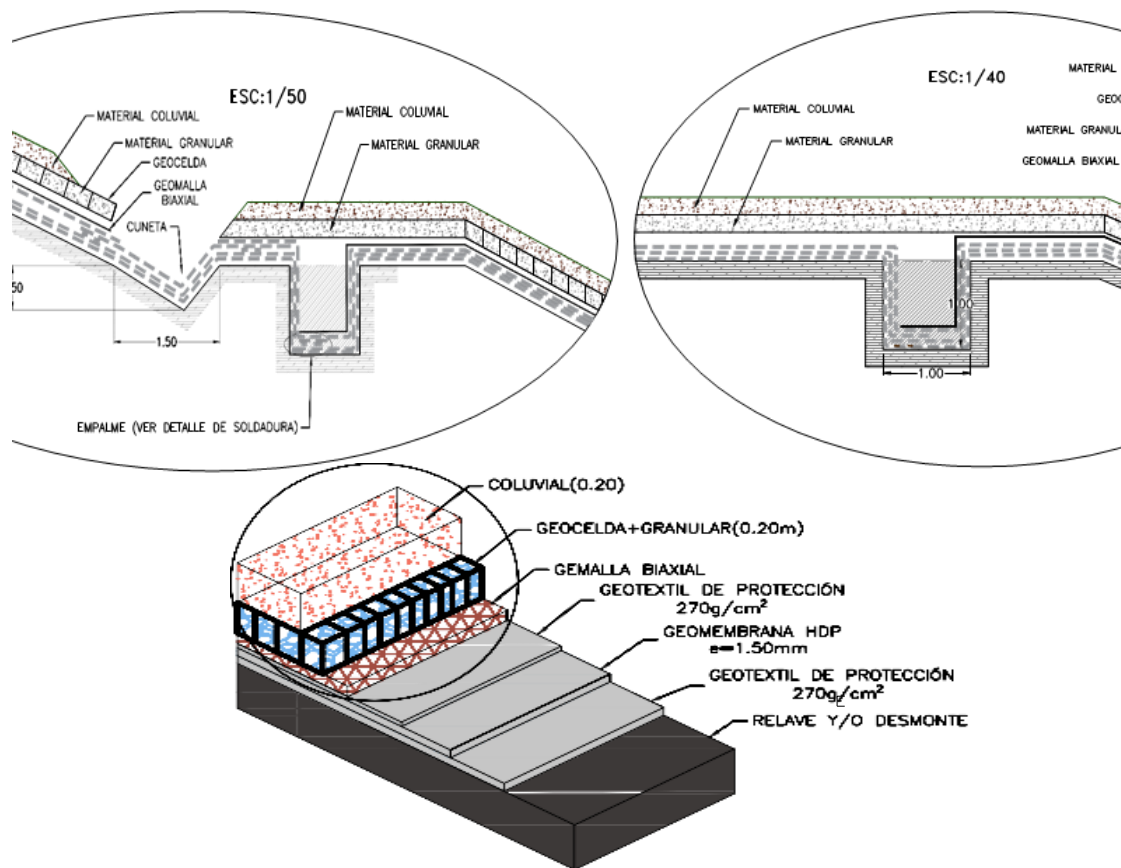


Figura 27 — Sistema de anclado y diseño de capas del sistema de cobertura en el depósito.
Extraído de Consorcio Minero Junín.

Además, se instalarán 07 hitos de control topográfico para tener un registro de desplazamientos en el depósito. Ver la siguiente figura para saber la ubicación de dichos puntos.

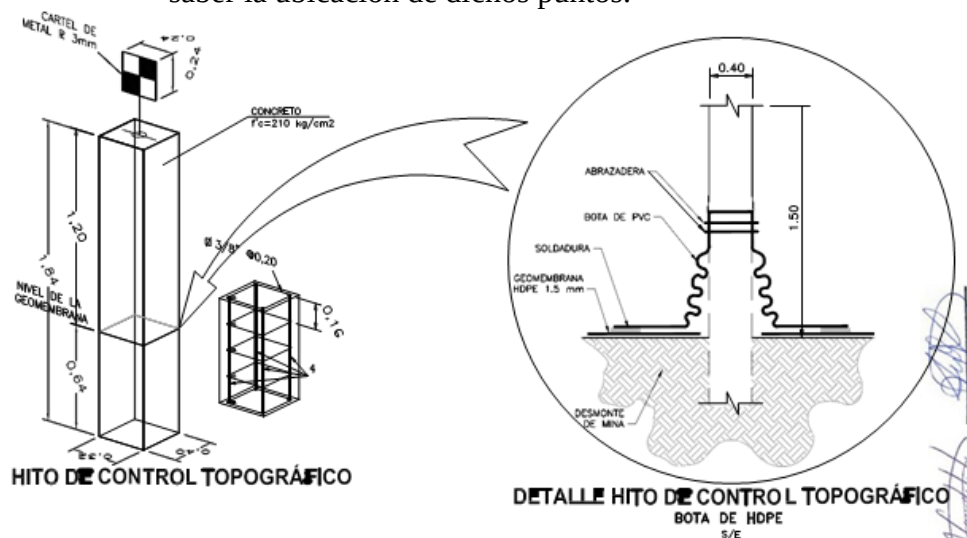
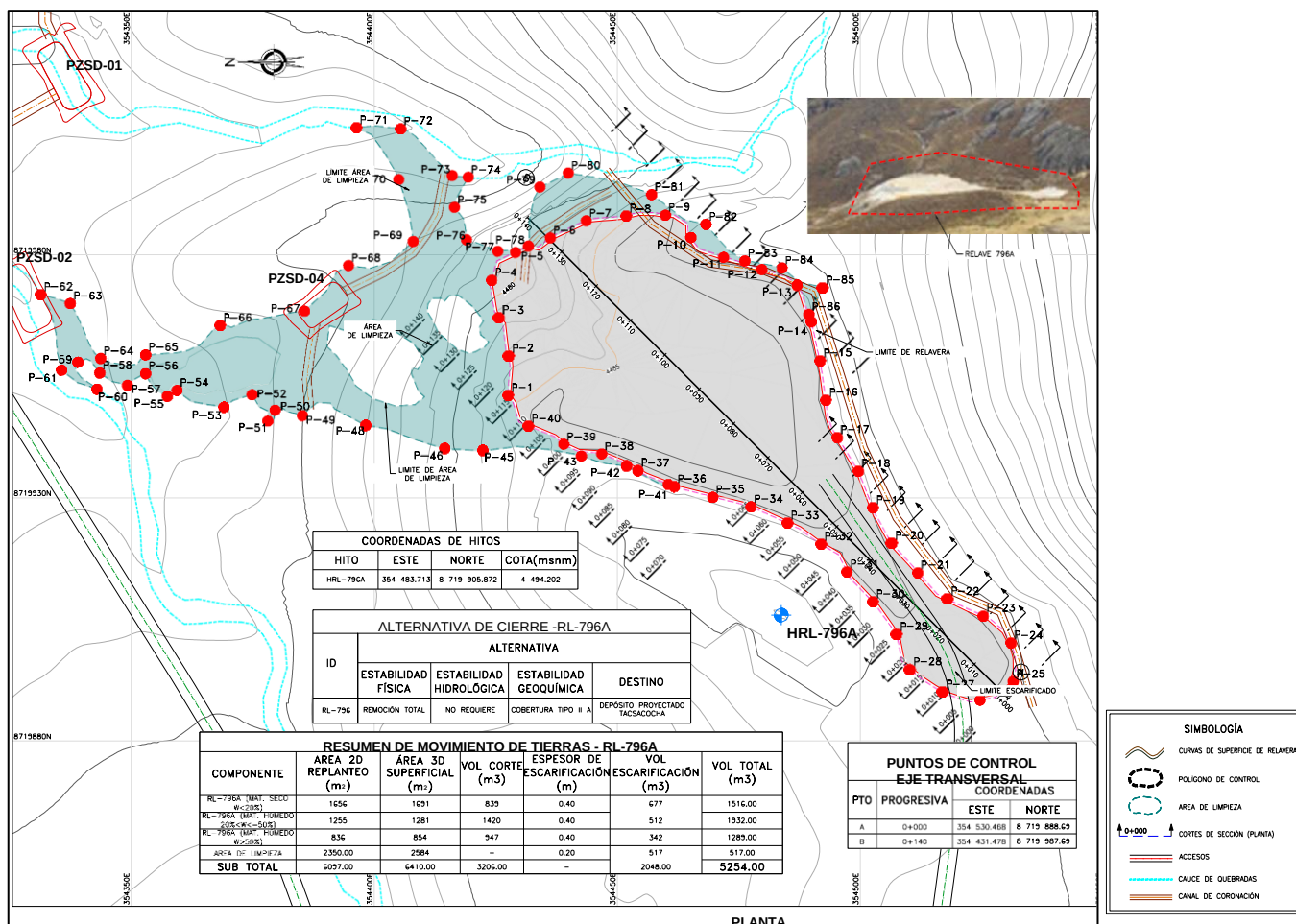


Figura 28 — Hito de control topográfico.

5.1.16 Actividades de cierre del depósito de relaves 796-A

Este depósito no será dividido por sectores



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 29 — Depósito de relaves 796-A

Se determinará el espesor de las superficies y capas de profundidad, que luego serán validados. Es necesario reevaluar el contenido de humedad de estas superficies y capas antes de continuar. Una vez que se haya reevaluado el contenido de humedad, siga el proceso de secado específico descrito en el ítem Proceso de secado. Antes de comenzar el proceso de secado, es recomendable asegurarse de que el acceso al componente esté abierto. Se recomienda realizar estas actividades durante los períodos secos, específicamente en los meses de mayo, junio, julio y agosto. Por la magnitud del volumen de este depósito y por el tiempo para realizar los trabajos de secado (en época de estiaje) se recomienda realizar dichas actividades en un solo año, por lo tanto, el primer año se debe concluir al 100 %.

Tabla 15 — Movimiento de tierras depósito de relaves 796-A

Componente	Área 2D (m ²)	Área 3D (m ²)	Volumen de corte (m ³)	Espesor de escarificado (m)	Volumen de (m ³)	Total (m ³)
796A (w < 20 %)	1 656,00	1 691,00	839,00	0,4	677	1 516,00
796A (20 % < w < 50 %)	1 255,00	1 280,00	1 420,00	0,4	512	1 932,00
	836,00	854,00	947,00	0,4		1 289,00
Área de limpieza	2 350,00	2 584,00	-	0,2	517	517,0
Subtotal	6 097,00	6 409,00	3 206,00		2 048,00	5 254,00

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

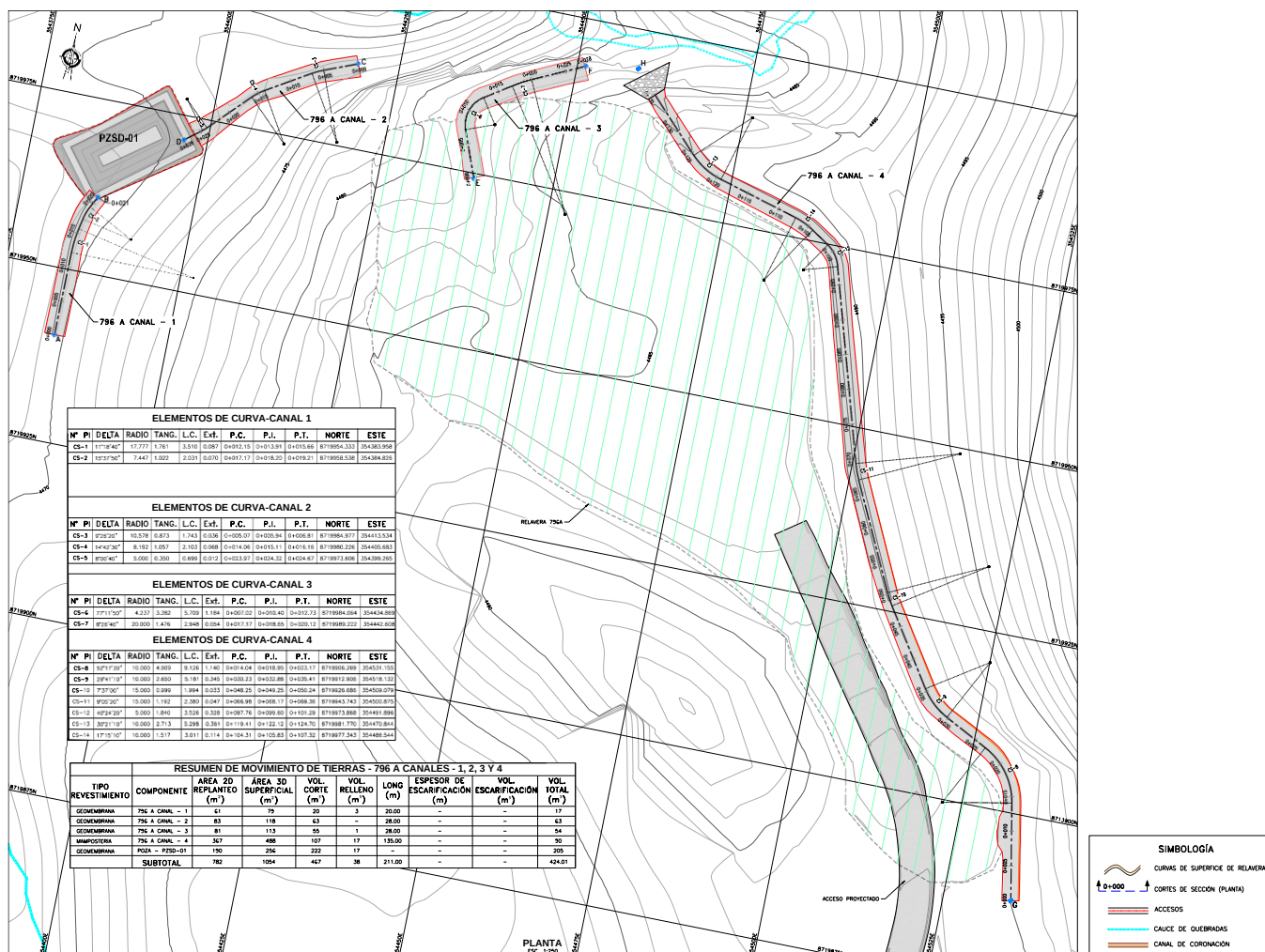
Recomendaciones del sector único

Los trabajos de movimiento de tierras para este sector consisten en cortar el material de relave en capas (verificando y clasificándolo según su contenido de humedad y seguir los procedimientos de secado establecidos), la disposición de este relave estará en función de su contenido de humedad, este corte se realizará hasta encontrar suelo natural o formación rocosa.

Una vez retirado todo el material de relave, se procede a escarificar el terreno subyacente en un espesor mínimo de 0,40 m y/o hasta no encontrar restos de relaves por extraer para finalmente disponerlo en el depósito proyectado.

Asimismo, existe un área de limpieza que consistirá remover una capa superficial de 0,20 m de espesor.

Previamente a las actividades de movimiento de tierras se implementará dos sistemas de drenaje perimetral; uno, aguas arriba, para evitar que las escorrentías en las quebradas contiguas ingresen al depósito y otro, aguas abajo, para controlar los sedimentos que se puedan generar por las actividades de movimiento de tierras.



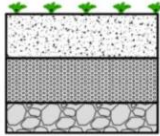
FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 30 — Sistemas de drenaje aguas arriba, aguas abajo.

Una vez retirado todo el material de relave, se procede a escarificar el terreno subyacente en un espesor mínimo de 0,40 m y/o hasta no encontrar restos de relaves por extraer para finalmente disponerlo en el depósito proyectado.

Una vez extraído el material escarificado del suelo de fundación del relave, se procede a perfilar el terreno con un talud que armonice con la topografía de la zona.

Finalmente, se cobertura toda el área impactada con una capa de roca caliza hasta un espesor de 0,10 m, luego otra capa de material granular de 0,10 m y finalmente con una capa de top soil en un espesor de 0,20 m.

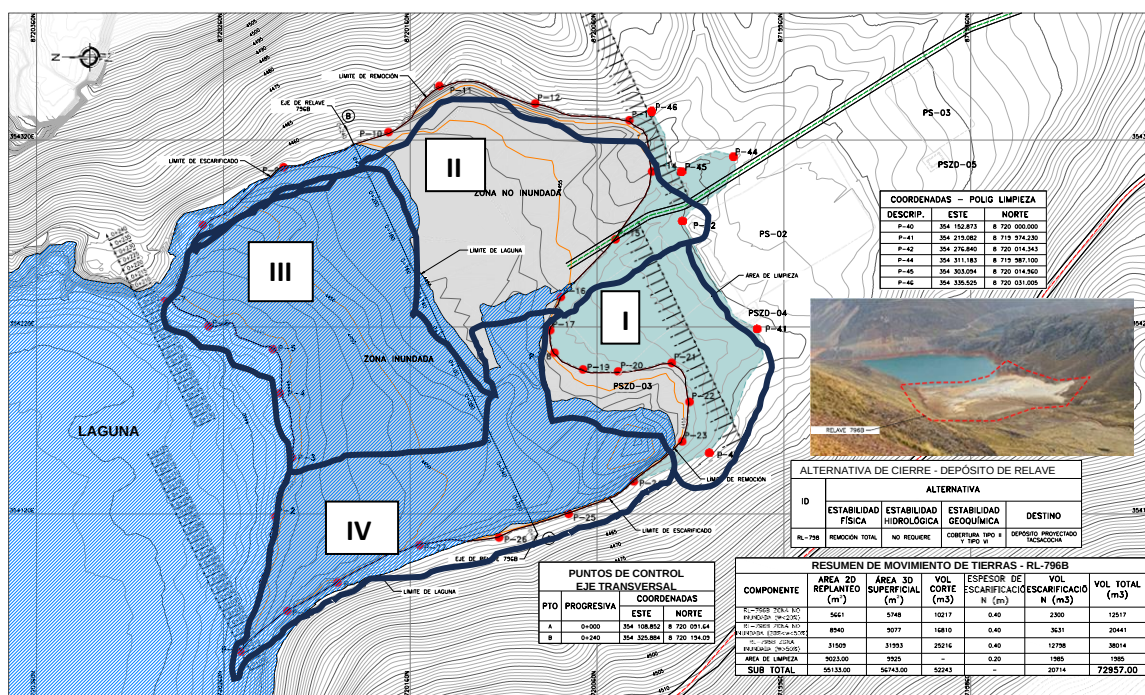
COBERTURA	COMPONENTES	SOMBREADO	ÁREA 3D (m ²)
TIPO II A	 - SEMBRADO (CALAMAGROSTIS) - MATERIAL DE TOPSOIL (e=0.20) - MATERIAL DE FILTRO DE DRENAJE Y GEOCELDA (e=0.20) - CALIZA (e=0.10)		6410

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 31 — Cobertura del depósito de relaves 796-A.

5.1.17 Actividades de cierre del depósito de relaves 796-B

El proceso de cierre del depósito de relaves 796-B Sub-divimos el área impactada en 04 sectores, siendo las siguientes:



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 32 — División de áreas del depósito de relaves 796-B

Tabla 16 — Movimiento de tierras depósito de relaves 796-B

Componente	Área 2D (m ²)	Área 3D (m ²)	Volumen de corte (m ³)	Espeor de escarificado (m)	Volumen de escarificado (m ³)	Total (m ³)
796B zona no inundada (w<20%)	5 661,00	5 748,00	10 217,00	0,4	2 300,00	12 517,00
796B zona no inundada (20%<w<50%)	8 940,00	9 077,00	16 810,00	0,4	3 631,00	20 441,00
	31 509,00	31 993,00	25 216,00	0,4		38 014,00
Área de limpieza	9 023,00	9 925,00	-	0,2	1 985,00	1 985,00
Subtotal	55 133,00	56 743,00	52 243,00		20 714,00	72 957,00

Deprimir el nivel de la laguna hasta la cota mínima de 4444 m.s.n.m. para acceder a los sectores III y IV. Previamente, aperturar los accesos respectivos hacia el componente. Las actividades deben realizarse en épocas de estiaje de preferencia en los meses de mayo, junio, julio y agosto.

Por la magnitud del volumen de este depósito y por el tiempo para realizar los trabajos de secado (en época de estiaje) se recomienda realizar dichas actividades en dos años, por lo tanto, el primer año avanzar el 40 % del volumen total de este depósito. El siguiente año se completa al 100 %. De acuerdo con las demandas del proyecto, se recomienda realizar las actividades de secado en la temporada seca (meses de abril a julio), Las actividades de extracción del depósito de relaves 796-B deberán ser coordinadas entre AMSAC y ENEL, sin embargo, se recomienda que se realice en temporada seca entre los meses de mayo a junio, el plazo de depresión de la laguna mínimo recomendado es de 1 mes, sin embargo, este plazo puede ser ampliado en coordinación entre AMSAC y ENEL.

Sectores I y II (Zona no sumergida)

Los sectores I y II se encuentran por encima del nivel de la laguna Canchis, 4450 m.s.n.m. Por tanto, se iniciarán los trabajos por estos sectores. Reevaluar los contenidos de humedad de las superficies y por capas de profundidad, el espesor de este será definido por el contratista y validado por el supervisor. Una vez reevaluado el contenido de humedad aplicar el tipo de secado según se detalla en el ítem de proceso de secado.

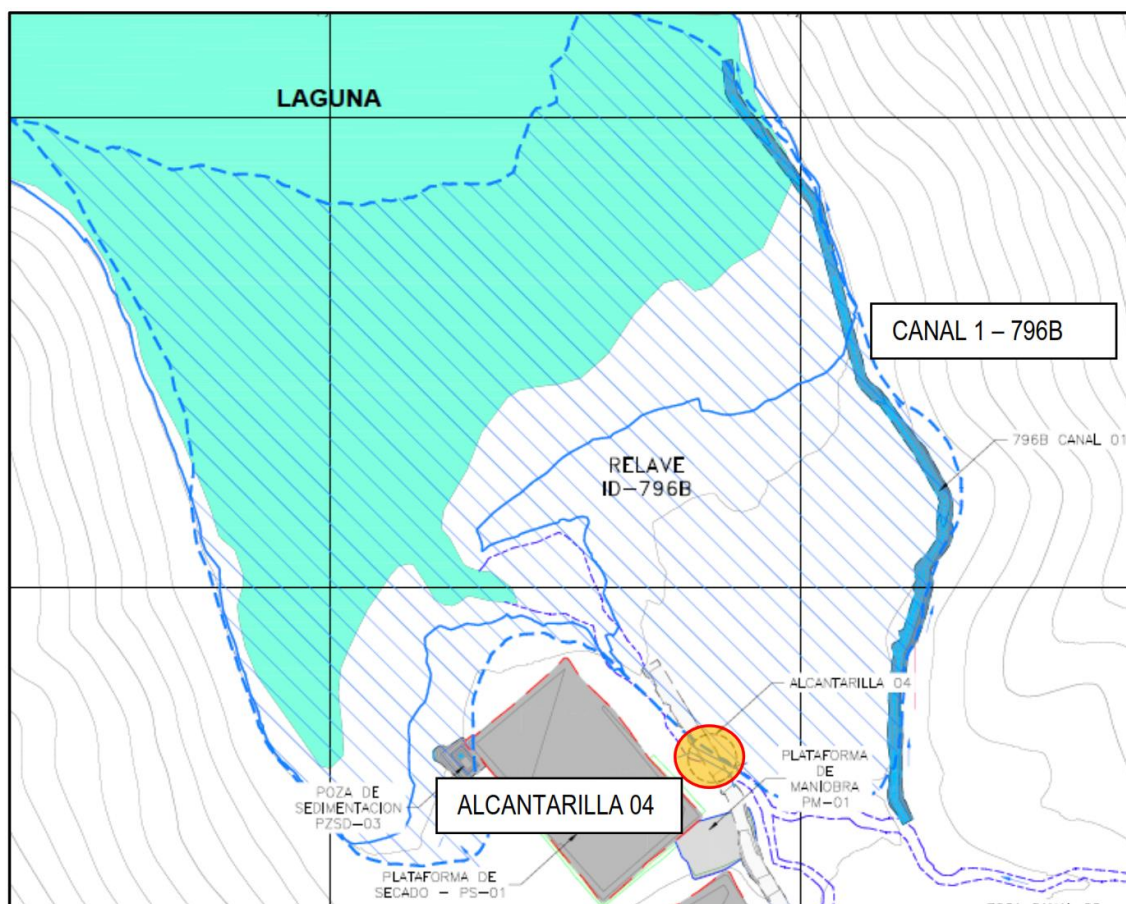
Los trabajos de movimiento de tierras se iniciarán por el sector I, y se realizarán tres actividades principalmente; la primera, limpieza general del área (realizando un corte superficial de 0,20 m de espesor) y transportarlo hacia el depósito proyectado. Segundo, cortar el material de relave en capas (verificando y clasificándolo según su contenido de humedad y seguir los procedimientos establecidos), la disposición de este relave estará en función de su contenido de humedad, este corte se realizará hasta encontrar suelo natural o formación rocosa, el nivel de excavación deberá contar con la aprobación de la supervisión, este material puede ser acumulado temporalmente en el sector II (mientras se selecciona y se establece su destino). Finalmente, tercero, se realizará el escarificado (corte superficial de 0,40 m de espesor) y será transportado hacia el depósito proyectado. Concluida estas tres actividades para el sector I se

conformará y habilitará la plataforma de secado 01 (PS-01) y con ello sus elementos auxiliares (poza de sedimentación y plataforma de maniobras).

En paralelo se implementarán las obras hidráulicas para direccionar las aguas de la quebrada, para ello se proyectan dos estructuras, una alcantarilla (alcantarilla 04) para trasvasar las aguas por el acceso y un canal de coronación en la margen derecha (796 Canal 01).

Una vez habilitada la plataforma de secado 01, se iniciará el proceso de secado respectivo para el relave del sector II. Los trabajos de movimiento de tierras para el sector II, corresponden a dos actividades principalmente; la primera, limpieza general del área (corte superficial de 0.20 m de espesor) y transportarlo hacia el depósito proyectado. Segundo, cortar el material de relave en capas (verificando y clasificándolo según su contenido de humedad y seguir los procedimientos establecidos), la disposición de este relave estará en función de su contenido de humedad, este corte se realizará hasta encontrar suelo natural o formación rocosa. Para iniciar los trabajos en los sectores III y IV, previamente se debe deprimir el nivel de la laguna Canchis hasta la cota 4444 m.s.n.m. (este proceso puede durar dos meses), con la finalidad de dejar expuesto el relave y provocar así una pérdida de humedad naturalmente en su superficie, y luego clasificar el relave siguiendo los procedimientos ya descritos en función a sus contenidos de humedad.



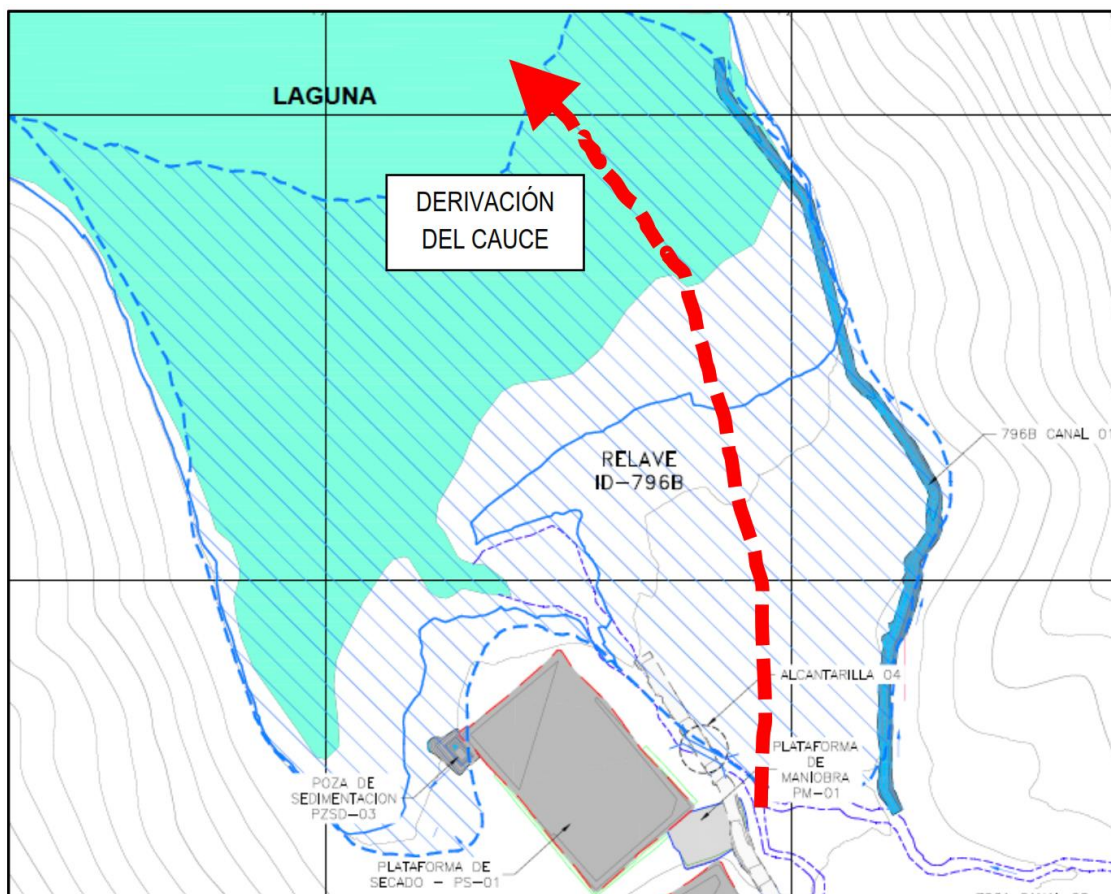


FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 33 — Alcantarilla para el trasvase de aguas.

SECTOR III (Zona sumergida)

En el sector III, reevaluar los contenidos de humedad de las superficies y por capas de profundidad, el espesor de este será definido por el contratista y validado por el supervisor. Una vez reevaluado el contenido de humedad aplicar el tipo de secado según se detalla en el ítem de proceso de secado.



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 34 — Derivación del cauce

Los trabajos de movimiento de tierras para el sector III consisten en cortar el material de relave en capas (verificando y clasificándolo según su contenido de humedad y seguir los procedimientos de secado establecidos), la disposición de este relave estará en función de su contenido de humedad, este corte se realizará hasta encontrar suelo natural o formación rocosa previa aprobación. Una vez retirado todo el material de relave, se procede a escarificar el terreno subyacente (tanto del sector II como del III) en un espesor de 0,40 m para finalmente disponerlo en el depósito proyectado. Una vez, finalizado los trabajos en el sector III, se implementará una derivación del cauce del río por dicho sector, anulando la alcantarilla y de esta manera que permita realizar los trabajos en el sector IV.

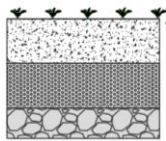
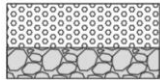
SECTOR IV (Zona sumergida)

Previamente debe deprimirse el nivel de la laguna hasta la cota mínima de 4444 m.s.n.m., solicitar los permisos necesarios a las entidades reguladoras. Los

trabajos de movimiento de tierras para el sector IV consisten en cortar el material de relave en capas (verificando y clasificándolo según su contenido de humedad y seguir los procedimientos de secado establecidos), la disposición de este relave estará en función de su contenido de humedad, este corte se realizará hasta encontrar suelo natural o formación rocosa.

Una vez retirado todo el material de relave, se procede a escarificar el terreno subyacente en un espesor mínimo de 0,40 m y/o hasta no encontrar restos de relaves por extraer para finalmente disponerlo en el depósito proyectado.

Una vez extraído el material escarificado del suelo de fundación del relave, se procede a perfilar el terreno con un talud que armonice con la topografía de la zona. Finalmente, se coberturará toda el área impactada diferenciando el área sumergida de la no sumergida.

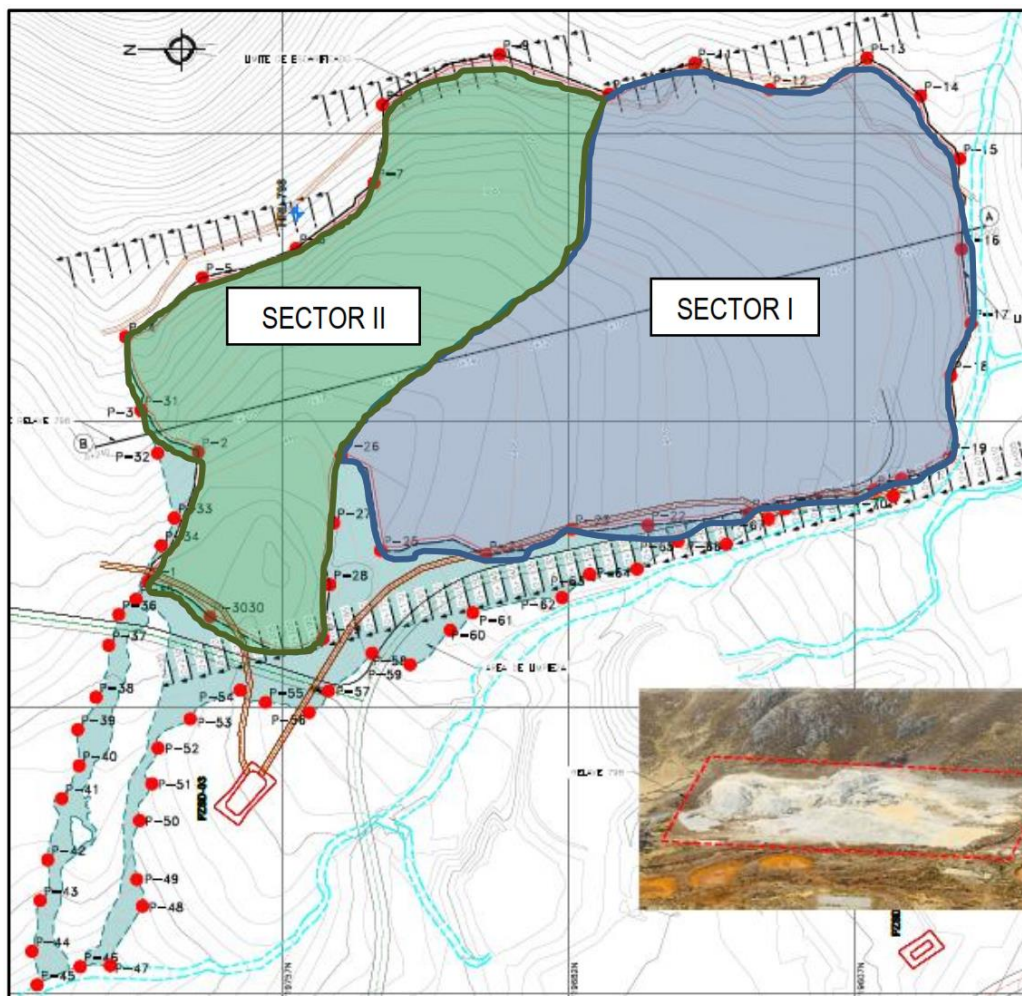
COBERTURA	COMPONENTES	SOMBREADO	ÁREA 3D (m ²)
TIPO II A ZONA NO INUNDADA	 –SEMBRADO (CALAMAGROSTIS) –MATERIAL DE TOPSOIL(e=0.20) –MATERIAL DE FILTRO DE DRENAJE DE 1”–4”(e=0.10) –ROCA CALIZA DE 2”–4”(e=0.10)		24750
TIPO VI ZONA INUNDADA	 –MATERIAL GRANULAR DE 2”–10”(e=0.40) –ROCA CALIZA DE 4”–8”(e=0.20m)		31993

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 35 — Cobertura del depósito de relaves 796-B

5.1.18 Actividades de cierre del depósito de relaves 798

El proceso de cierre del depósito de relaves 798 se subdividió en 2 sectores tal como se muestra en la figura 36.



FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 36 — Subdivisión del depósito de relaves 798

Tabla 17 — Movimiento de tierras depósito de relaves 798

Componente	Área 2D	Área 3D	Volumen de corte	Espesor de	Volumen de	Total
798 ($w < 20\%$)	15 950,00	16 369,00	21 321,00	0,4	6 548,00	27 869,00
798 ($20\% < w < 50\%$)	3 525,00	3 617,00	26 783,00	0,4	1 447,00	28 230,00
798 ($w > 50\%$)	2 534,00	2 411,00	17 856,00	0,4	965,00	18 821,00
Área de limpieza	4 217,00	4 639,00	-	0,2	928,00	928,00
Subtotal	26 226,00	27 036,00	65 960,00		9 888,00	75 848,00

Dentro de este depósito será importante reevaluar los contenidos de humedad de las superficies y por capas de profundidad, el espesor de este será definido por el contratista y validado por el supervisor. Una vez reevaluado el contenido de humedad aplicar el tipo de secado según se detalla en el ítem de proceso de secado. Previamente apertura los accesos respectivos hacia el componente.

Las actividades deben realizarse en épocas de estiaje de preferencia en los meses de mayo, junio, julio y agosto.

Por la magnitud del volumen de este depósito y por el tiempo para realizar los trabajos de secado (en época de estiaje) se recomienda realizar dichas actividades en dos años, por lo tanto, el primer año avanzar el 62 % del volumen total de este depósito. El siguiente año se completa al 100 %.

SECTORES I y II

Se proyecta dos frentes de trabajo, se recomienda empezar por el sector I (zona alta) y culminar por el sector II (zona baja). Los trabajos de movimiento de tierras para este sector consisten en cortar el material de relave en capas (verificando y clasificándolo según su contenido de humedad y seguir los procedimientos de secado establecidos), la disposición de este relave estará en función de su contenido de humedad, este corte se realizará hasta encontrar suelo natural o formación rocosa, previa aprobación.

Una vez retirado todo el material de relave, se procede a escarificar el terreno subyacente en un espesor mínimo de 0,40 m y/o hasta no encontrar restos de relaves por extraer para finalmente disponerlo en el depósito proyectado. Asimismo, existe un área de limpieza que consistirá remover una capa superficial de 0,20 m de espesor. Previamente a las actividades de movimiento de tierras se implementará dos sistemas de drenaje perimetral; uno, aguas arriba, para evitar que las escorrentías en las quebradas contiguas ingresen al depósito y otro, aguas abajo, para controlar los sedimentos que se puedan generar por las actividades de movimiento de tierras.

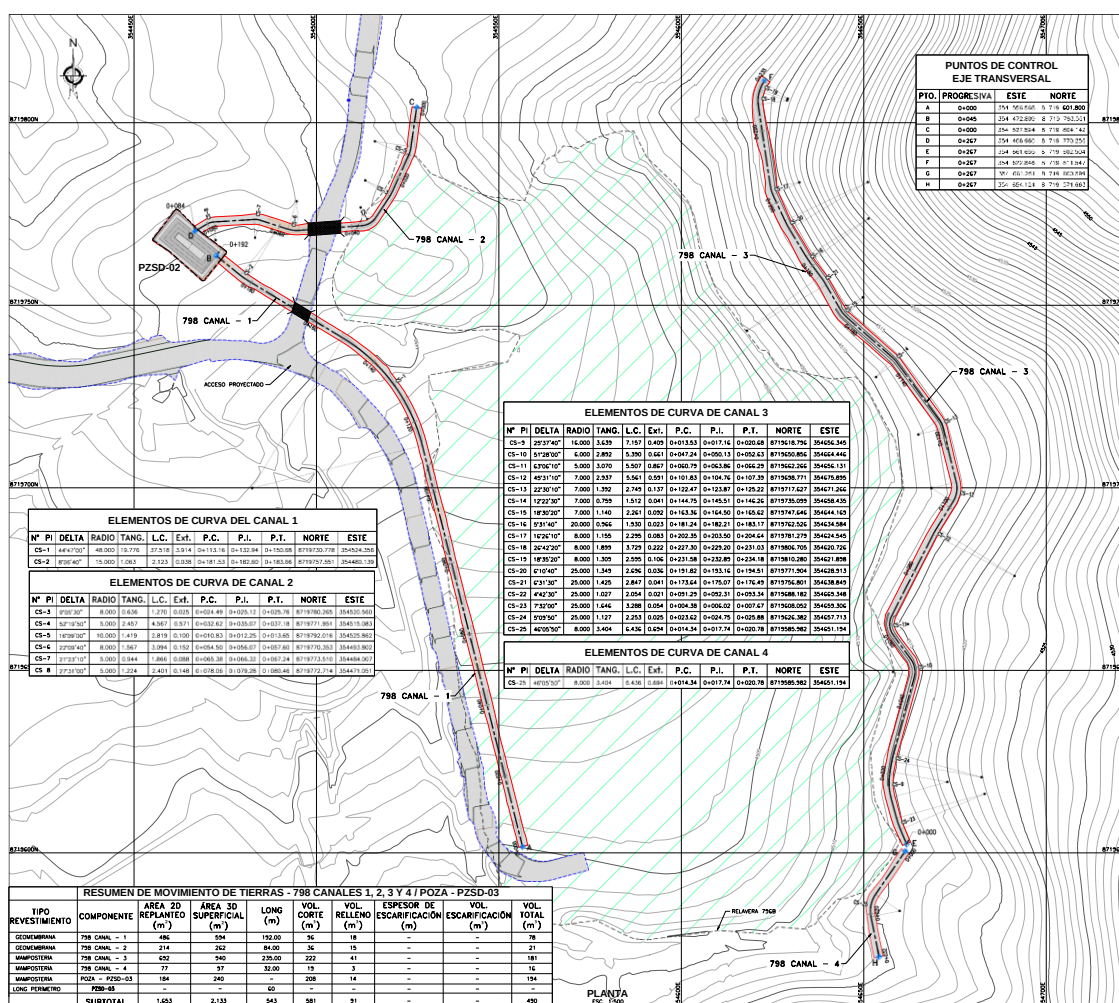
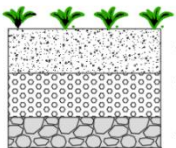


Figura 37 — Drenaje perimetral aguas arriba, aguas abajo

Una vez retirado todo el material de relave, se procede a escarificar el terreno subyacente en un espesor mínimo de 0,40 m y/o hasta no encontrar restos de relaves por extraer para finalmente disponerlos en el depósito proyectado. Una vez extraído el material escarificado del suelo de fundación del relave, se procede a perfilar el terreno con un talud que armonice con la topografía de la zona. Finalmente, se cobertura toda el área impactada con una capa de roca caliza hasta un espesor de 0,10 m, luego otra capa de material granular de 0,10 m y finalmente con una capa de top soil en un espesor de 0,20 m.

COBERTURA	COMPONENTES	SOMBREADO	ÁREA 3D (m ²)
TIPO II A	 – SEMBRADO (CALAMAGROSTIS) – MATERIAL DE TOPSOIL (e=0.20) – MATERIAL DE FILTRO DE DRENAJE DE 1"–4" (e=0.10) – ROCA CALIZA DE 2"–4" (e=0.10)	 COBERTURA	27,036

FUENTE: Consorcio Minero Junín. Informe Biológico, 2017.

Figura 38 — Cobertura del depósito de relaves 798.

5.2 Discusión

(Aguirre, 2017), en su proyecto de tesis publicada con el título “Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N°5 de la concesión de beneficio Belén de minería Titan del Perú S.R.L”, llega a una conclusión de que los factores de seguridad que se obtiene que en las secciones más vulnerables de deslizamiento son de 1.483 para condiciones estáticas y 1.076 para las condiciones pseudo estáticas, el cual considera un coeficiente sísmico de 0.17, utilizando los métodos de análisis de Janbu simplificado, el cual dichos valores son mayores al mínimo requerido por lo que la estabilidad física del dique del depósito de relaves está asegurada. En similar, en nuestro proyecto de tesis diseño de depósito para la disposición final de relaves, se utilizó similares métodos, simulaciones y ensayos para realizar el análisis de estabilidad física en los diferentes materiales que van a componer el depósito de relaves, pero nuestros resultados y el tipo de material a disponer son, factor de seguridad en condiciones estáticas 1.62, 1.84 y 1.57 y en condiciones pseudo estáticas 1.13, 1.42 y 1.13. Los resultados obtenidos nos dan la seguridad y confianza para poder disponer los relaves 796-A, 796-B y 798.

(Collasco, y otros, 2021), en su proyecto de tesis publicada con el título “Diseño geotécnico para la ampliación del depósito de relave de una empresa minera en el distrito de Acari, 2021” obtiene la conclusión que es posible realizar los diseños geotécnicos para la ampliación de depósito de relaves, simuladas con el software Slide, llegando a obtener factores de seguridad aceptados por la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente los cuales deberán ser mayores o iguales que 1,2. El proyecto de tesis diseño de depósito para la disposición final de relaves, se utilizó el mismo software Slide el implica en insertar datos correctos en función a la recolección de datos y ensayos realizados para simular en diferentes situaciones estáticas y pseudo estáticas, obteniendo factores de seguridad muy aceptables.

(Rodríguez, y otros, 2020), en el libro titulado “ Estudio técnico-legal sobre el alcance de la legislación peruana en el cierre de operaciones mineras”, describe y evaluar la gestión de cierre de minas en el Perú, conjuntamente con la legislación vigente sobre el tema, uno de los factores más importantes es determinar los riesgos residuales que afronta el estado en caso de abandono por parte del titular minero sin que haya realizado o cumplido las obligaciones ambientales, el cual nos sirvió como guía y referencia para poder realizar la gestión y estudio para el cierre de la UM Caridad el cual fue abandonado por el titular dejando demasiados pasivos ambientales el cual se remediara.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El diseño del depósito, basado en estudios geotécnicos y de suelos fue eficiente para la disposición final de relaves mineros 796-A, 796-B y 798, lo cual se hizo movimiento tierras, manejo de aguas subterráneas y el eficiente sellado de los residuos mineros generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

Los relaves mineros 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación, tienen un volumen total de 2 686 m³, 12 722 m³ y 50 657 m³ respectivamente, en los cuales sus características de 796 - A son tamaño de partícula fina, húmeda, tipo de contención presa y sin cobertura, 796 - B tamaño de partícula fina, húmeda, tipo de contención autocontenido y sin cobertura, por último 798 tamaño de partícula fina, húmeda, tipo de contención autocontenido y sin cobertura, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

Se hizo los cálculos correspondientes en la estabilidad de taludes para el diseño de depósito con una capacidad total de 374 127,21 m³ de almacenamiento, obteniendo los resultados, tipo de falla bloque en condición de estabilidad global con un factor de seguridad estático 1,84 y pseudo estático 1,42 y de la misma manera para tipo de falla circular en condición de estabilidad global obteniendo los resultados de factor de seguridad estático 1,62 y pseudo estático 1,13 con estos resultados es eficiente el almacenamiento de los residuos mineros generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

Las actividades de cierres 796-A comprende la remoción total del material que conforma dicho depósito, limpiando completamente la zona, perfilando del terreno y estabilizando geoquímicamente con una cobertura tipo II, en la cual se colocará una cobertura vegetal y un canal de coronación, este depósito contiene 2 886 m³ de relave, el material extraído será llevado al nuevo depósito, el 796-B comprende la remoción total, del material que



se encuentra en la orilla y sumergido dentro de la laguna, limpiando completamente zona y estabilizando geoquímicamente con una cobertura tipo V, en la cual se colocará una cobertura de caliza, se estima que este depósito contiene 12 722 m³ de relave, el material extraído será llevado al nuevo depósito, finalmente, el 798 comprende la remoción total del material que conforma dicho depósito, limpiando completamente zona, perfilando el terreno y estabilizando geoquímicamente con una cobertura tipo II, en la cual se colocará una cobertura vegetal y un canal de coronación, este depósito contiene 50 657 m³ de relave, el material extraído será llevado al nuevo depósito. Con estas actividades se hace el cierre de relaves mineros generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda considerar el plan de manejo de aguas residuales de las pozas de sedimentación de relaves mineros tratados 796-A, 796-B y 798 durante la construcción del depósito, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.

Realizar un buen encapsulado al momento de concluir el depósito de los relaves mineros 796-A, 796-B y 798 en su disposición final en el depósito para prevenir el drenaje de aguas acidas que pueden perjudicar la calidad del suelo y las microcuencas de la quebrada Tacsacocha.

Realizar la compactación al 90 % de densidad relativa al material tratado que conformara la construcción de nuevo depósito de relaves, para garantizar el factor de seguridad.

Programar los trabajos de secado y correcta dosificación de la cal agrícola de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 en la temporada de estiaje (abril-agosto), para su disposición final de relaves en el depósito, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIRRE, R. 2017. *Análisis de la estabilidad física del depósito de relaves N°5 de la concesión de beneficios Belén de Minera Titán del Perú S.R.L.* Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa : 2017.
- BANCES, L. Y LOZANO, G. 2019. *Nivel de conocimiento sobre las especificaciones técnicas en la construcción de depósitos de relaves en los trabajadores de la mina condestable, Mala – Lima, año 2019.* Universidad César Vallejo, Lima : 2019.
- BERAUN, Y. 2018. *Reducción del impacto ambiental mediante la técnica de relleno hidráulico en tajos Compañía minera Chugar S.A.C. Pasco.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco : 2018.
- BERNAL, M. y BOTERO, E. 2021. *Caracterización física y mecánica de residuos mineros.* 2021, Revista Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica A.C., págs. 1 - 11.
- HUAMÁN-PAREDES, F., PALMA-FIGUEROA, G. Y FLORES, L. 2020. *Caracterización preliminar de residuos de minería aluvial en la región Madre de Dios - Perú.* 2, 2020, Revista Cubana de Química, Vol. 32, págs. 1 - 13.
- CERÓN, A. 2019. *Diseño de cierre de la concesión minera Santa María ubicada en la parroquia de Lloa, cantón Quito, provincia de Pichincha.* Universidad Central del Ecuador, Quito : 2019.
- CHAPPUIS, M. 2019. *Remediación y activación de pasivos ambientales mineros (PAM) en el Perú.* s.l. : Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2019.
- COLLACSO, H. Y MENDIETA, L. 2021. *Diseño geotécnico para la ampliación del depósito de relave de una empresa minera en el distrito de Acarí,* 2021. Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa : 2021.
- CONSORCIO MINERO JUNÍN. 2017. *Informe Biológico .* 2017.
- MENÉNDEZ, J. Y MUÑOZ, S. 2021. *Contaminantes del agua y suelo por los relaves mineros.* 1, 2021, Revista Paideia XXI, Vol. 11, págs. 141 - 154.
- SORIANO, L., RUÍZ, M. Y RUIZ, E. 2015. *Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero.* 2, 2015, Revista Industrial Data Diseño y Tecnología, Vol. 18, págs. 99 - 112.



D.S. N°020 - 2012 - EM. 2012. *Modificación del Reglamento de Procedimientos Mineros, aprobado por Decreto Supremo 018-92-EM, a fin de uniformizar criterios para la evaluación y otorgamiento de Autorización de Beneficio, Concesión de Beneficio e inicio de actividad de exploración y/o e. s.l. : El Peruano, 2012.*

D.S., N° 016 - 93 - EM. 1993. *Aprueban el Reglamento del Título Décimo Quinto del Texto Unico Ordenado de la Ley General de Minería, sobre el medio ambiente. 1993.*

DIAZ, D. Y QUINTERO, E. 2020. *Identificación de alternativas de almacenamiento de relaves generados en la Minería Aurífera en Colombia.* Universidad de Antioquia, Colombia : 2020.

XIAOLONG, Z., SHIYU, H. Y YINGLIANG, A. 2021. *Disposal of mine tailings via geopolymerization.* 2021. 284, 2021, Revista Journal of cleaner production, págs. 1 - 17.

GERSCOVISCH, Denise. 2013. *Estabilidad de taludes.* sao paulo : Oficina de textos, 2013. 978-85-7975-241-4.

GONZÁLEZ, D. 2021. *Caracterización de los residuos mineros (Jales) del depósito ubicado en San Pedri Gilmonene, Municipio de Guanajuato.* Universidad de Guanajuato, Guanajuato : 2021.

HERNANDEZ, Humberto y Mendoza, Christian Paulina. 2018. *Metodología de Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* [ed.] S.A. de C.V. Interamericana Editores. Primera Edición. Mexico : Mc Graw Hill Education, 2018. pág. 714. Libro antecesor de la 6ta Edición de Hernandez et.al..

HOEK, E. 2000. *Rock mass properties.* En E. Hoek, *Rock engineering.* 2000.

HUAÑA, Orlando. 2015. *Diseño de depósito de relaves filtrados.* Lima : Tesis de grado, 2015.

INDECI, 2022. 2022. *Contaminación por sustancia nocivas en el distrito de Huanza - Lima.* s.l. : Instituto Nacional de defensa Civil, 2022.

INEI. 2021. Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2021. *Instituto Nacional de Estadística e Informática.* [En línea] 2021. <https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3280963-peru-anuario-de-estadisticas-ambientales-2021>.

LEDESMA, W. 2018. *Propuesta de tratamiento de depósitos de relaves de Quilacocha - Pasco, para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco : 2018.



LEDESMA, W. 2018. *Propuesta de tratamiento de depósitos de relaves de Quilacocha - Pasco, para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco : 2018.

LEY 28271. 2004. *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*. s.l. : El Peruano, 2004.

MACHACUAY, H. 2018. *Métodos de crecimiento para la viabilidad en la construcción del depósito de relaves Chacchuille IV de Cía. Minera Caraveli S.A.C*. Universidad Peruana Los Andes, Lima : 2018.

MACO, K. Y URIBE, J. 2022. *Diseño de un reservorio de almacenamiento de relaves mineros y su influencia en la contaminación ambiental del Río Rímac – Matucana – Lima 2022*. Universidad Cesar Vallejo, Lima : 2022.

ESPÍN, D., JARRÍN, J. Y ESCOBAR, M. 2017. *Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco*. 4, 2017, Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa, Vol. II, págs. 1 - 12.

ESPÍN, Damián, JARRÍN, Jaime y ESCOBAR, Olga. 2017. *Manejo, gestión, tratamiento y disposición final*. 4, Ecuador : Revistas de Ciencia de Seguridad y Defensa, 2017, Vol. II.

MEM. 2020. Gob.pe. *Decreto Supremo N°020-2020-EM*. [En línea] 8 de agosto de 2020. [Citado el: 18 de julio de 2024.] <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/1089041-020-2020-em>.

LEY 28271. 2004 . *Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera*. LEY 28271. 2004.

MENDOZA LOAYZA, Joel Arturo. 2016. *Análisis de estabilidad de taludes de suelos de gran altura de mina Antapacay*. Pontificia Universidad Católica del Perú, lima : 2016.

MENESES, J. 2020. *Cierre de minas de carbón en el Perú y su influencia en la contaminación ambiental en Goyllarisquizca*. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima : 2020.

MINEM. 2020. *Estandarizar los procesos relacionados con presas de relaves*. s.l. : Asesorías Técnicas Geológicas ATG Ltda., 2020.

(D.S. N° 020-2020-EM). *Reglamento de procedimientos mineros (D.S. N° 020-2020-EM)*. s.l. : Ministerio de Energía y Minas, 2020.



MORALES, A. Y HANTKE, M. 2020. *Guía metodológica de cierre de minas*”, *Documentos de Proyectos*(LC/TS.2020/166). s.l. : Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

MORENO, J. 2023. *Mejora de la Normativa Minero Ambiental Actual del Cierre de Minas Peruano – Unidad Minera Florencia Tucari*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima : 2023.

NATIONAL LIME ASSOCIATION. 2004. *Manual de estabilización de suelo con cal, estabilización modificación con cal*. Bolitín, 326. 2004.

NEYRA, Lenin Hugo. 2021. *Diseño e implementación de un plan de manejo ambiental en el transporte de personal minero por D&J Remisse 21 S.A.C. - Sociedad Minera Cerro Verde*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno : 2021.

ESLAVA, R. 2021. *Pasivos ambientales y métodos de valoración económica*. 2, 2021, Revista Infométric@ Serie Ciencias Sociales y Humanas., Vol. 4, págs. 1 - 14.

QUISPE, L. 2021. *Análisis y diseño de estabilidad del depósito de relave 1 – 2 en una Unidad Minera, Huancavelica 2021*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca : 2021.

QUISPE, W. 2021. *Diseño e instalación de geomembrana para impermeabilización de depósito de relaves, Sina, Puno, 2021*. Universidad Cesar Vallejo, Lima : 2021.

RODRÍGUEZ, C. y JULCA, D. 2020. *Gestión del cierre de minas en el Perú: estudio técnico-legal sobre el alcance de la legislación peruana en el cierre de operaciones mineras*. s.l. : Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.

RODRÍGUEZ, M. 2022. *Caracterización del proceso de filtrado aplicado a la recuperación de agua en tranques de relaves en Chile*. Universidad Andrés Bello, Chile : 2022.

RODRÍGUEZ, R. y GARCÍA - CORTÉS, A. 2006. *Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente*. s.l. : Instituto Geológico y Minero de España MADRID, 2006.

ROMERO, AMANDA Luz. 2015. *Tratamiento de relaves minero contaminados con plantación de Gramíneas (Kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la región central del Perú*. 2015.

SALAZAR, Humberto. 2019. *Geología de los cuadrángulos de: Matucana y Huarochiri*. s.l. : Instituto Geológico minero y metalurgico, 2019.



SUÁREZ DIAZ Jaime. 1998. *Deslizamiento y Estabilidad de Taludes*. 1998.

SUÁREZ, J. 2022. *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. 2022.

TIKTIN, Juan. 1997. *Movimiento de tierras* . Madrid : s.n., 1997. 84-7493-204-1.

TORRES, B. 2022. *Desarrollo del informe técnico de análisis de estabilidad de depósito de relaves minero ubicado en el departamento de Puno*. Universidad Privada del Norte, Lima : 2022.

URIARTE, Alex Santiago, y otros. 2023. *Determinación del área inundable ante posible colapso del depósito de relaves del Pasivo Ambiental Minero Quiulacocha en el tramo del Río Ragra, distrito de Simón Bolívar–Pasco*. Lima : Ciencia latina internacional, 2023.

VALDEZ, J., AGUILAR, J. y SÁNCHEZ, L. 2020. *Design and implementation of an alternative process for the manufacture of bricks from gold mine tailings*. 2020. págs. 268 - 276. Vol. 28.



ANEXOS



ANEXO I MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 18 — Matriz de consistencia

Diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023						
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
1.2.1 Problema general ¿Como diseñar un depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023? Problemas específicos ¿Cuál es el volumen y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023? ¿Como es la estabilidad de taludes para el diseño del depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023? ¿Cuáles son las actividades de cierre de residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798 de la UM Caridad – Huarochirí, 2023?	Objetivo general Determinar el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023 Objetivos específicos Determinar el volumen y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023 Calcular la estabilidad de taludes para el diseño del depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023 Determinar las actividades de cierre de residuos mineros generados por la explotación 796-A, 796-B y 798 de la UM Caridad – Huarochirí, 2023	Hipótesis general El diseño del depósito para la disposición final de relaves será óptimo para el depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad Huarochirí – Lima, 2023 Hipótesis específicas El volumen y características de relaves mineros 796-A, 796-B y 798 será un indicador clave en el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023 La estabilidad de taludes es óptima para el diseño de depósito para la disposición final de relaves 796-A, 796-B y 798, generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023 Las actividades de cierre de residuos mineros será la remoción total, perfilado del terreno y cobertura de los relaves 796-A, 796-B y 798 mineros generados por la explotación de la UM Caridad – Huarochirí, 2023	Variable Independiente Almacenamiento de relaves mineros Variable Dependiente Diseño del depósito	Volumen y caracterización de los relaves 796 – A 796 – B 798 Parámetros Sistemas	Cantidad de relaves mineros Topografía Dimensiones y capacidad Distribución de volúmenes De hidráulico De impermeabilización De Cobertura De drenaje de aguas remanentes Esquema de manejo de aguas superficiales	Enfoque de investigación • cuantitativo Tipo de investigación • Aplicativo Nivel de investigación • Aplicativo Técnica • Muestreo • observación

ANEXO II UBICACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES 796 - B

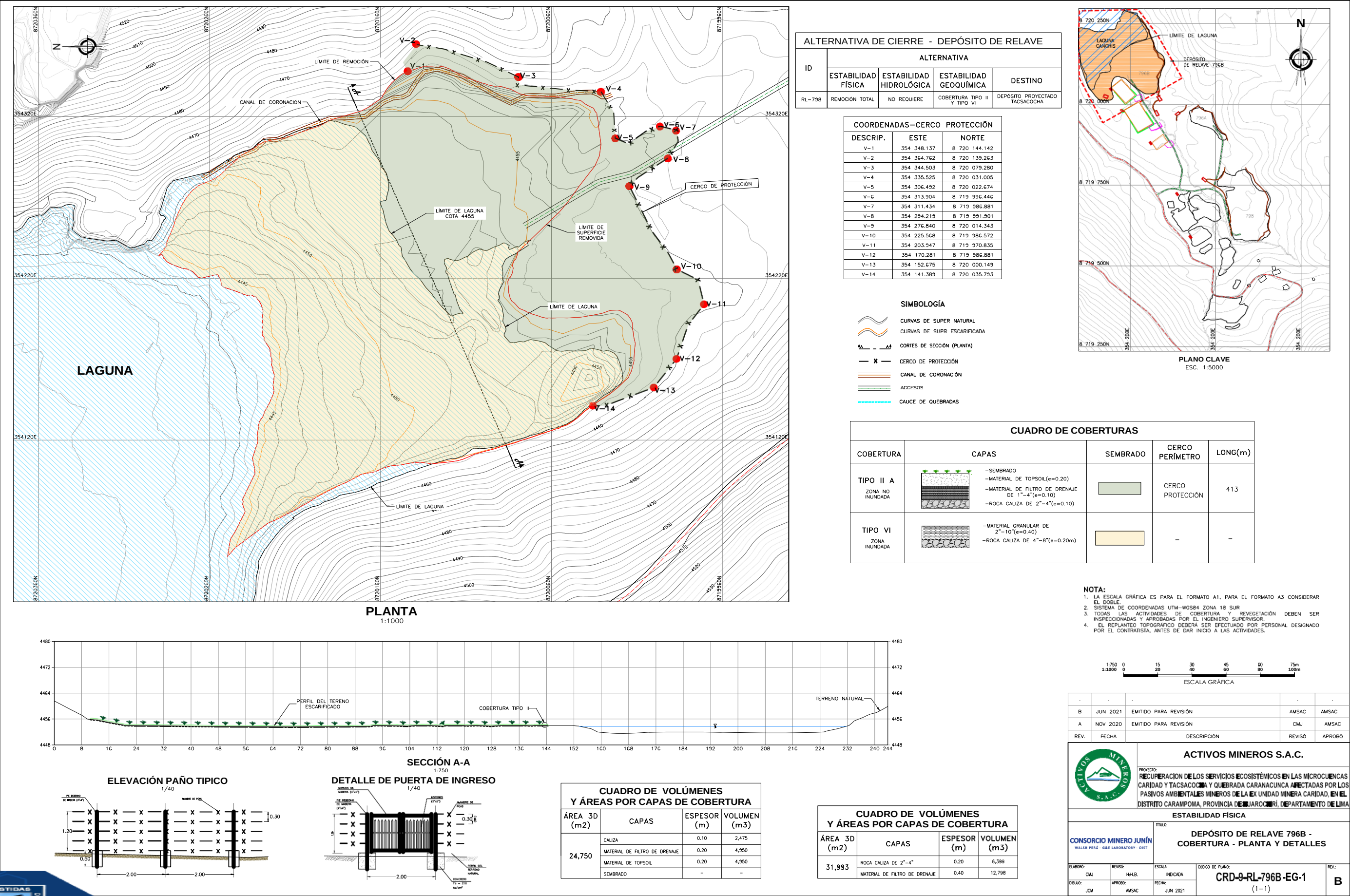


Figura 39 — Figura de ubicación del depósito de relaves 796 - B

ANEXO III FIGURA DE UBICACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVE 796 - A

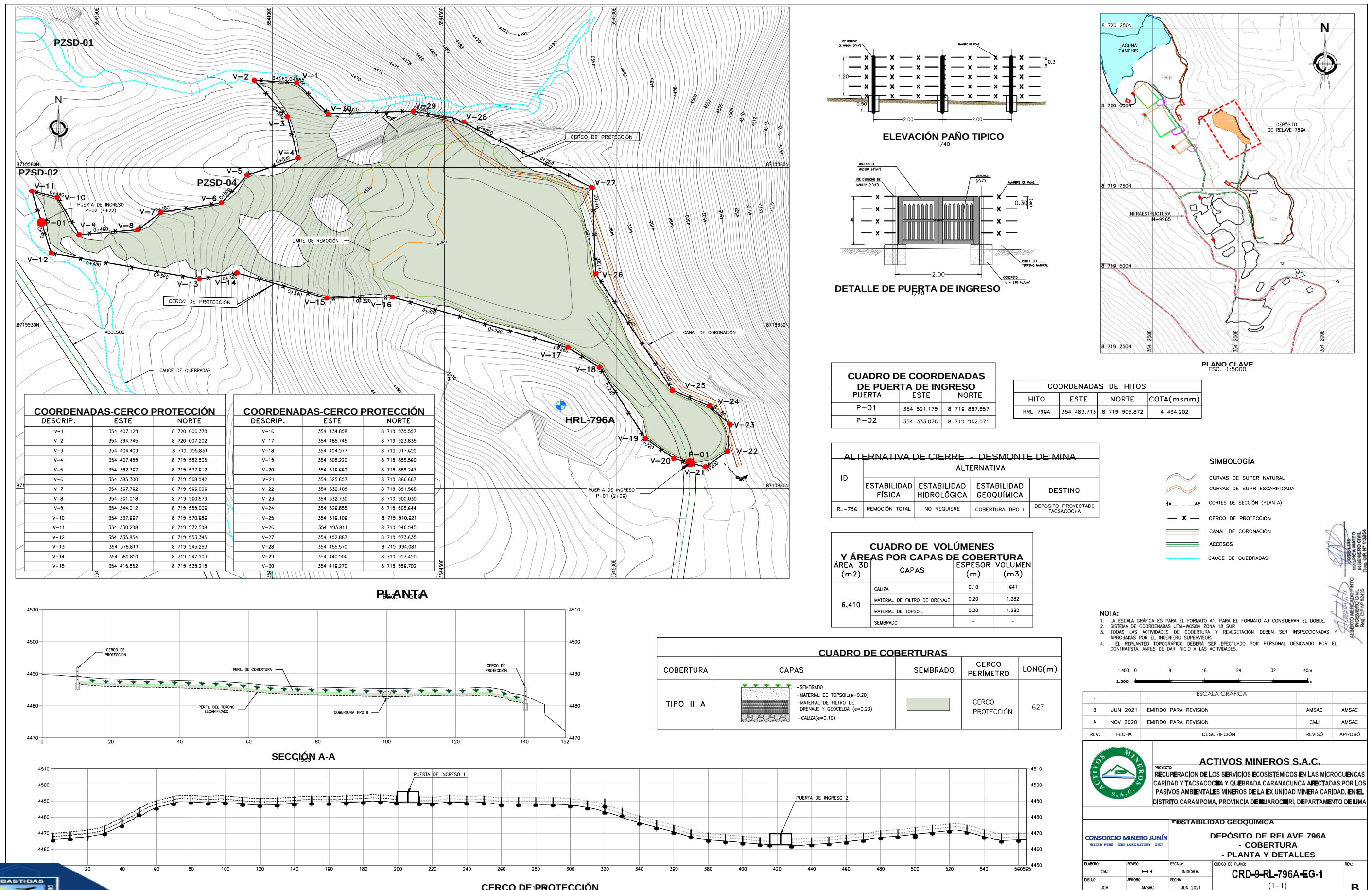


Figura 40 — Figura de ubicación del depósito de relaves 796 - A

ANEXO IV FIGURA DE UBICACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVE 798

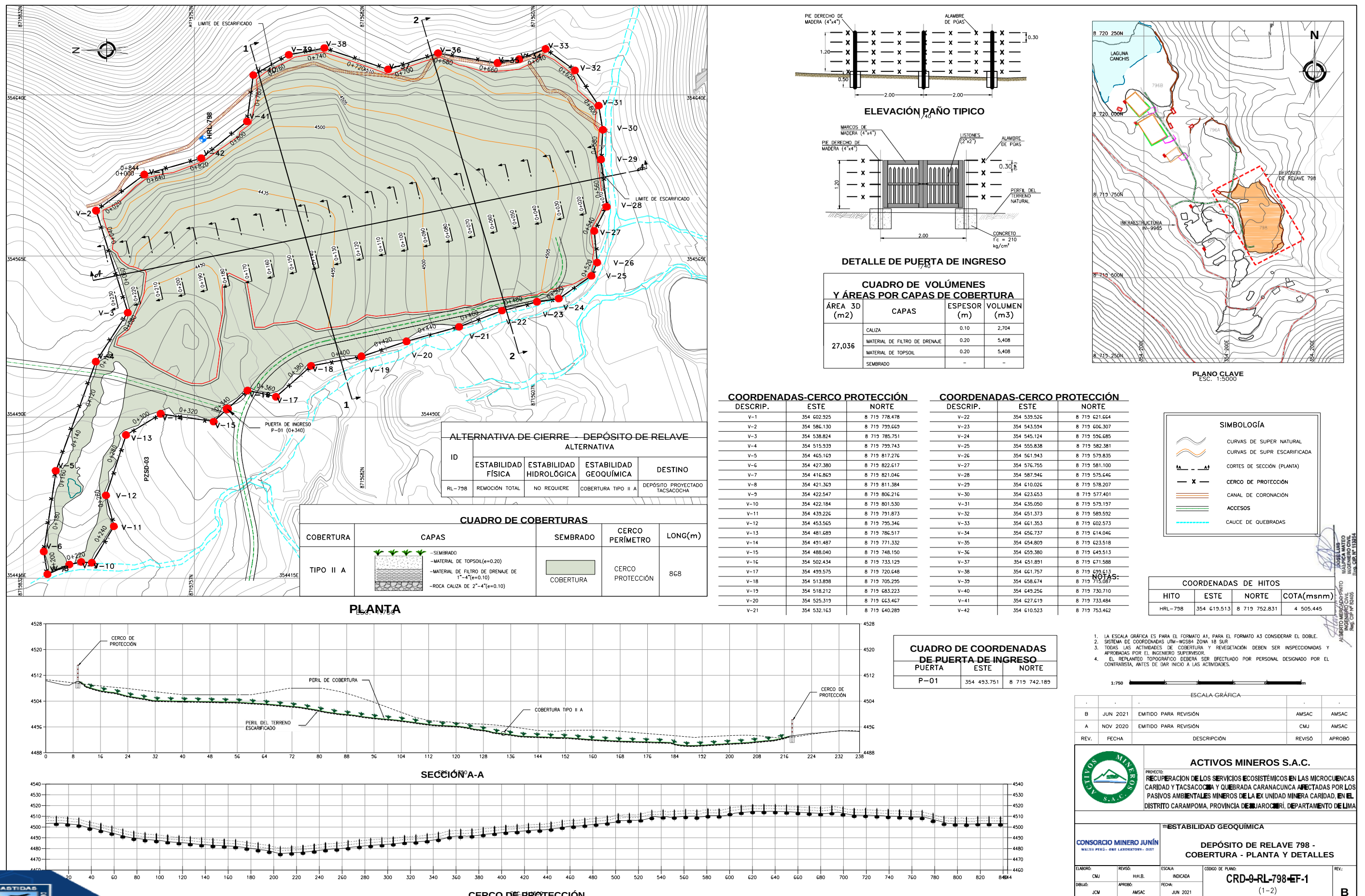


Figura 41 — Figura de ubicación del depósito de relaves 798

ANEXO V CARACTERÍSTICAS DE LOS RELAVES MINEROS 796-A, 796-B, 798 (FICHAS PAM)

PAM 001		RESIDUOS MINEROS		N° CAR-001-A	
EX UNIDAD MINERA CARIDAD		INSPECTOR BACH. EDER QUISPE H.		COMPONENTE 796	
Tipo de residuo minero	Material de desbroce	Desmante de mina	Escorias	Pila de lixiviación	
	Relaves	Residuos de carbón	Lodos de neutralización	Suelo orgánico	
	Otro (especificar):				
Ubicación del componente (coordenadas UTM)	Norte	Este	Zona	Datum	
	8719953.0	354482.0	18	UTM WGS 84	
Ubicación del componente (describir)					
Tamaño del componente	Area superficial (m2)	Altura (m.)	Volumen estimado (m3)		
	3367.00	2.5	2686.00		-----
Característica del residuo	Tamaño de partículas	Grueso	Medio	Fino	
	Humedad	Seco	Húmedo	Saturado	
	Tipo de contención	Autocontenido	Presa	Depresión	
	Cobertura	Natural	Diseñada	Ninguna	
	Otras características (describir): De acuerdo a los análisis granulométricos, éstos están conformados principalmente por sedimentos finos producto del procesamiento de minerales en la planta metalúrgica generando de esta manera los relaves de minería, con alto grado de oxidación producido por los minerales presentes (pirita FeS ₂ , calcopirita CuFeS ₂ , galena PbS, esfalerita ZnS, magnetita FeFe ₂ O ₄ , marcasita FeS ₂) y otros elementos del procesamiento.				
Suelos disturbados (describir)		El relave está constituido principalmente de diseminaciones de sulfuro de hierro, plomo, zinc, cobre. Se observa que el relave presenta granulometría fina a muy fina.			
Obras de rehabilitación (describir)		Moldeado de pendiente + cubierta de grava (30 cm) + cobertura de suelos con plantación (10 cm) + canal de captación + canal de conducción (canal de desvío para las aguas superficiales de aguas arriba).			
Seguridad Humana	Accesibilidad	0= Bote, helicóptero, avión	1= Recorrido largo en vehículo o a pie en vía no demarcada	2= En vehículo seguido de distancia corta a pie(<500m)	3= Adyacente a áreas pobladas, corta distancia en vehículo o corta distancia a pie.
	Potencial de colapso(Estabilidad de taludes a corto y largo plazo)	0= Ninguno	1=No hay taludes empinados	2= Taludes empinados (<5m)	3= Taludes empinados elevados(>5m)
	Condiciones de cierre	0= Cobertura en buenas condiciones o no requerida	1= Cobertura un poco deteriorada o mal diseñada/construida	2= Cobertura seriamente dañada o residuo parcialmente expuesto	3= Residuo totalmente expuesto
	Presencia de señales y cercos para limitar acceso	0= Sitio adecuadamente protegido con cerco y señales	1= Sitio señalado con bajo riesgo de causar daños	2= Sitio no señalado, riesgo de causar daños bajo o moderado	3= Sitio no señalado y alto riesgo de causar daños
	Potencial de hundimiento	0= Ninguno	1= Evidencia de hundimientos menores	2= Evidencia de hundimientos moderados	3= Evidencia de hundimiento condiciones peligrosas
	Potencial de daño físico relacionado con el residuo (considerar corto y largo plazo)	0= Ninguno (físicamente estable e inaccesible)	1= Bajo potencial, requir e interacción humana intencional	2= Potencial moderado, elementos físicos o estabilidad pueden causar daño a transeúntes	3= Alto potencial, elementos físicos o estabilidad con alto riesgo de causar daño a transeúntes
	Presencia de escombros, rocas, materiales, etc. En la pila	0= Ninguno	1= Presencia menor de escombros o elementos naturales estables	2= Presencia de elementos naturales y no naturales que representan riesgo para los	3= Notable presencia de elementos naturales y no naturales que representan un riesgo significativo
	Otros riesgos para la seguridad (condición de roca superficial y naturaleza del terreno)				

PAM 001		RESIDUOS MINEROS			Nº	CAR-001-A
EX UNIDAD MINERA CARIDAD		INSPECTOR BACH. EDER QUISPE H.			COMPONENTE 796	
Salud humana y ambiente físico	Evidencia de erosión hídrica o eólica	0=Ninguna	1=Mínima	2=Moderada	3=Severa	
	Evidencia de inundaciones, descargas, drenajes o derrames previos (relacionada a la actividad minera)	0=No hay evidencia y las condiciones sugieren que es improbable	1=Evidencia de eventos mínimos	2=Evidencia de eventos mínimos o moderados	3=Evidencia de eventos moderados o severos	
	Potencial de drenaje ácido (según inspección visual)	0=Ninguno	1=Manchas de precipitados	2=Pequeño flujo de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	3=Grandes cantidades de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	
	Evidencia de sustancias tóxicas (cianuro, arsénico, azufre)	0=Ninguna	1=Mínima inferida de acuerdo a actividades pasadas y confinadas al sitio	2=Mínima o moderada (e.g. contendores de reactivos abandonados en	3=Moderada o severa, no confinada y fluyendo hacia receptores externos	
	Otros riesgos a la salud humana y ambiental (describir)					
Vida silvestre y conservación	Accesibilidad y escape para la fauna silvestre	0= No hay acceso (área cercada o sellada)	1=Accesible pero fácil de escapar	2=Accesible y difícil de escapar	3=Fácil acceso sin posibilidades de escapar	
	Atracción de fauna silvestre	0=Ninguna atracción aparente	1=Atracción menor debido a vegetación/hábitat	2=Atracción moderada debido a alimentos y hábitat	3=Muy atractivo debido a alimentos y hábitat	
	Signos de vida silvestre	0=Ningún signo. Presencia improbable debido a hábitat pobre	1= Ningún signo pero hábitat potencial para animales menores (e.g. roedores)	2=Signos evidentes de presencia de animales silvestres (e.g., huellas, excrementos, etc)	3=Se observan animales silvestres en el sitio	
	Vegetación en el sitio y alrededores	0=Sitio y alrededores cubiertos con vegetación consistente con el clima	1=Cobertura vegetal limitada al sitio o la periferia	2=Evidencia de vegetación afectada en el sitio o periferia	3=Ninguna vegetación (aparentemente por fitotoxicidad)	
	Proximidad a áreas protegidas	0=>10 km de un área protegida	1=<10 km de un área protegida	2=<1 km de un área protegida	3= Dentro de un área protegida	
	Sensibilidad del área (uso tradicional del suelo, corredor de fauna)	0=Ningún uso sensible del suelo	1=<10 km de un área sensible	2=<1 km de un área sensible	3=Dentro de un área sensible	
	Drenaje o filtración hacia cuerpos de agua	0= Ninguna	1=Potencial de contaminar cuerpos de agua durante temporada de lluvias	2=Potencial de contaminar cuerpos de agua en cualquier momento	3=Descarga de aguas contaminadas hacia cuerpos de agua	
	Otras preocupaciones ambientales (describir)					
Actividad de Cierre		Moldeado de pendiente + cubierta de grava (30 cm) + cobertura de suelos con plantación (10 cm)				
Mediciones de campo		pH	Conductividad (µS/cm)	Caudal (l/s)		
						
Fotos y diagramas (use hojas adicionales si es necesario)						
Comentarios		Se observó que este relave minero contiene gran cantidad de residuos oxidados producto de la actividad minera desarrollada en esta zona.				

PAM 001		RESIDUOS MINEROS			Nº	CAR-001-B
EX UNIDAD MINERA CARIDAD		INSPECTOR BACH. EDER QUISPE H.			COMPONENTE	796
Tipo de residuo minero		Material de desbroce	Desmonte de mina	Escorias	Pila de lixiviación	
		Relaves	Residuos de carbón	Lodos de neutralización	Suelo orgánico	
		Otro (especificar):				
Ubicación del componente (coordenadas UTM)		Norte	Este	Zona	Datum	
		8720046.0	354263.0	18	UTM WGS 84	
Ubicación del componente (describir)		Este relave minero se encuentra a 580 m del campamento minero principal en la dirección NNW y a 300 m de la trocha carrozable principal. Se encuentra adyacente a la laguna Canchis.				
Tamaño del componente		Area superficial (m2)	Altura (m.)	Volumen estimado (m3)		
		16310.00	1.5	8481.00	-----	
Característica del residuo		Tamaño de partículas	Grueso	Medio	Fino	
		Humedad	Seco	Húmedo	Saturado	
		Tipo de contención	Autocontenido	Presa	Depresión	
		Cobertura	Natural	Diseñada	Ninguna	
		Otras características (describir): De acuerdo a los análisis granulométricos, éstos están conformados principalmente por sedimentos finos producto del procesamiento de minerales en la planta metalúrgica generando de esta manera los relaves de minería, con alto grado de oxidación producido por los minerales presentes (pirita FeS ₂ , calcopirita CuFeS ₂ , galena PbS, esfalerita ZnS, magnetita FeFe ₂ O ₄ , marcassita FeS ₂) y otros elementos del procesamiento.				
Suelos disturbados (describir)		El relave está constituido principalmente de diseminaciones de sulfuro de hierro, plomo, zinc, cobre. Se observa que el relave presenta granulometría fina a muy fina.				
Obras de rehabilitación (describir)		Moldeado de pendiente + cubierta de grava (30 cm) + cobertura de suelos con plantación (10 cm) + canal de captación + canal de conducción (canal de desvío para las aguas superficiales de aguas arriba).				
Seguridad Humana	Accesibilidad	0= Bote, helicóptero, avión	1= Recorrido largo en vehículo o a pie en vía no demarcada	2= En vehículo seguido de distancia corta a pie(<500m)	3= Adyacente a áreas pobladas, corta distancia en vehículo o corta distancia a pie.	
	Potencial de colapso(Estabilidad de taludes a corto y largo plazo)	0= Ninguno	1=No hay taludes empinados	2= Taludes empinados (<5m)	3= Taludes empinados elevados(>5m)	
	Condiciones de cierre	0= Cobertura en buenas condiciones o no requerida	1= Cobertura un poco deteriorada o mal diseñada/construida	2= Cobertura seriamente dañada o residuo parcialmente expuesto	3= Residuo totalmente expuesto	
	Presencia de señales y cercos para limitar acceso	0= Sitio adecuadamente protegido con cerco y señales	1= Sitio señalizado con bajo riesgo de causar daños	2= Sitio no señalizado, riesgo de causar daños bajo o moderado	3= Sitio no señalizado y alto riesgo de causar daños	
	Potencial de hundimiento	0= Ninguno	1= Evidencia de hundimientos menores	2= Evidencia de hundimientos moderados	3= Evidencia de hundimiento condiciones peligrosas	
	Potencial de daño físico relacionado con el residuo (considerar corto y largo plazo)	0= Ninguno (físicamente estable e inaccesible)	1= Bajo potencial, requiere interacción humana intencional	2= Potencial moderado, elementos físicos o estabilidad pueden causar daño a transeúntes	3= Alto potencial, elementos físicos o estabilidad con alto riesgo de causar daño a transeúntes	
	Presencia de escombros, rocas, materiales, etc. En la pila	0= Ninguno	1= Presencia menor de escombros o elementos naturales estables	2= Presencia de elementos naturales y no naturales que representan riesgo para los	3= Notable presencia de elementos naturales y no naturales que representan un riesgo significativo	
	Otros riesgos para la seguridad (condición de roca superficial y naturaleza del terreno)					

PAM 001		RESIDUOS MINEROS		Nº CAR-001-B	
EX UNIDAD MINERA CARIDAD		INSPECTOR BACH. EDER QUISPE H.		COMPONENTE 796	
Salud humana y ambiente físico	Evidencia de erosión hídrica o eólica	0=Ninguna	1=Mínima	2=Moderada	3=Severa
	Evidencia de inundaciones, descargas, drenajes o derrames previos (relacionada a la actividad minera)	0=No hay evidencia y las condiciones sugieren que es improbable	1=Evidencia de eventos mínimos	2=Evidencia de eventos mínimos o moderados	3=Evidencia de eventos moderados o severos
	Potencial de drenaje ácido (según inspección visual)	0=Ninguno	1=Manchas de precipitados	2=Pequeño flujo de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	3=Grandes cantidades de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir
	Evidencia de sustancias tóxicas (cianuro, arsénico, azufre)	0=Ninguna	1=Mínima inferida de acuerdo a actividades pasadas y confinadas al sitio	2=Mínima o moderada (e.g. contenedores de reactivos abandonados en	3=Moderada o severa, no confinada y fluyendo hacia receptores externos
	Otros riesgos a la salud humana y ambiental (describir)				
Vida silvestre y conservación	Accesibilidad y escape para la fauna silvestre	0= No hay acceso (área cercada o sellada)	1=Accesible pero fácil de escapar	2=Accesible y difícil de escapar	3=Fácil acceso sin posibilidades de escapar
	Atracción de fauna silvestre	0=Ninguna atracción aparente	1=Atracción menor debido a vegetación/hábitat	2=Atracción moderada debido a alimentos y hábitat	3=Muy atractivo debido a alimentos y hábitat
	Signos de vida silvestre	0=Ningún signo. Presencia improbable debido a hábitat pobre	1= Ningún signo pero hábitat potencial para animales menores (e.g. roedores)	2=Signos evidentes de presencia de animales silvestres (e.g., huellas, excrementos, etc)	3=Se observan animales silvestres en el sitio
	Vegetación en el sitio y alrededores	0=Sitio y alrededores cubiertos con vegetación consistente con el clima	1=Cobertura vegetal limitada al sitio o la periferia	2=Evidencia de vegetación afectada en el sitio o periferia	3=Ninguna vegetación (aparentemente por fitotoxidad)
	Proximidad a áreas protegidas	0=>10 km de un área protegida	1=<10 km de un área protegida	2=<1 km de un área protegida	3= Dentro de un área protegida
	Sensibilidad del área (uso tradicional del suelo, corredor de fauna)	0=Ningún uso sensible del suelo	1=<10 km de un área sensible	2=<1 km de un área sensible	3=Dentro de un área sensible
	Drenaje o filtración hacia cuerpos de agua	0= Ninguna	1=Potencial de contaminar cuerpos de agua durante temporada de lluvias	2= Potencial de contaminar cuerpos de agua en cualquier momento	3=Descarga de aguas contaminadas hacia cuerpos de agua
	Otras preocupaciones ambientales (describir)				
Actividad de Cierre		Moldeado de pendiente + cubierta de grava (30 cm) + cobertura de suelos con plantación (10 cm)			
Mediciones de campo		pH	Conductividad (µS/cm)	Caudal (l/s)	
Fotos y diagramas (use hojas adicionales si es necesario)		  			
Comentarios		Se observó que este relave minero contiene gran cantidad de residuos oxidados producto de la actividad minera desarrollada en esta zona.			

PAM 002		RESIDUOS MINEROS		Nº CAR-002	
EX UNIDAD MINERA CARIDAD		INSPECTOR BACH. EDER QUISPE H.		COMPONENTE 798	
Tipo de residuo minero	Material de desbroce	Desmante de mina	Escorias	Pila de lixiviación	
	Relaves	Residuos de carbón	Lodos de neutralización	Suelo orgánico	
	Otro (especificar):				
Ubicación del componente (coordenadas UTM)	Norte	Este	Zona	Datum	
	8719751.0	354612.0	18	UTM WGS 84	
Ubicación del componente (describir)	Este relave se encuentra a 198 m del campamento minero principal en la dirección NE y a 200 m de la trocha carrozable principal.				
Tamaño del componente	Area superficial (m2)	Altura (m.)	Volumen estimado (m3)		
	21159.00	3.8	50657.00	-----	
Característica del residuo	Tamaño de partículas	Grueso	Medio	Fino	
	Humedad	Seco	Húmedo	Saturado	
	Tipo de contención	Autocontenido	Presa	Depresión	
	Cobertura	Natural	Diseñada	Ninguna	
	Otras características (describir): De acuerdo a los análisis granulométricos, éstos están conformados principalmente por sedimentos finos producto del procesamiento de minerales en la planta metalúrgica generando de esta manera los relaves de minería, con alto grado de oxidación producido por los minerales presentes (pirita FeS ₂ , calcopirita CuFeS ₂ , galena PbS, esfalerita ZnS, magnetita FeFe ₂ O ₄ , marcasita FeS ₂) y otros elementos del procesamiento.				
Suelos disturbados (describir)	El relave está constituido principalmente de diseminaciones de sulfuro de hierro, plomo, zinc, cobre. Se observa que el relave presenta granulometría fina a muy fina.				
Obras de rehabilitación (describir)	Moldeado de pendiente + cubierta de grava (30 cm) + cobertura de suelos con plantación (10 cm) + canal de captación + canal de conducción (canal de desvío para las aguas superficiales de aguas arriba).				
Seguridad Humana	Accesibilidad	0= Bote, helicóptero, avión	1= Recorrido largo en vehículo o a pie en vía no demarcada	2= En vehículo seguido de distancia corta a pie(<500m)	3= Adyacente a áreas pobladas, corta distancia en vehículo o corta distancia a pie.
	Potencial de colapso(Estabilidad de taludes a corto y largo plazo)	0= Ninguno	1=No hay taludes empinados	2= Taludes empinados (<5m)	3= Taludes empinados elevados(>5m)
	Condiciones de cierre	0= Cobertura en buenas condiciones o no requerida	1= Cobertura un poco deteriorada o mal diseñada/construida	2= Cobertura seriamente dañada o residuo parcialmente expuesto	3= Residuo totalmente expuesto
	Presencia de señales y cercos para limitar acceso	0= Sitio adecuadamente protegido con cerco y señales	1= Sitio señalizado con bajo riesgo de causar daños	2= Sitio no señalizado, riesgo de causar daños bajo o moderado	3= Sitio no señalizado y alto riesgo de causar daños
	Potencial de hundimiento	0= Ninguno	1= Evidencia de hundimientos menores	2= Evidencia de hundimientos moderados	3= Evidencia de hundimiento condiciones peligrosas
	Potencial de daño físico relacionado con el residuo (considerar corto y largo plazo)	0= Ninguno (físicamente estable e inaccesible)	1= Bajo potencial, requir einteracción humana intencional	2= Potencial moderado, elementos físicos o estabilidad pueden causar daño a transeúntes	3= Alto potencial, elementos físicos o estabilidad con alto riesgo de causar daño a transeúntes
	Presencia de escombros, rocas, materiales, etc. En la pila	0= Ninguno	1= Presencia menor de escombros o elementos naturales estables	2= Presencia de elementos naturales y no naturales que representan riesgo para los	3= Notable presencia de elementos naturales y no naturales que representan un riesgo significativo
	Otros riesgos para la seguridad (condición de roca superficial y naturaleza del terreno)				

PAM 002		RESIDUOS MINEROS			Nº	CAR-002
EX UNIDAD MINERA CARIDAD		INSPECTOR BACH. EDER QUISPE H.			COMPONENTE	798
Salud humana y ambiente físico	Evidencia de erosión hídrica o eólica	0=Ninguna	1=Mínima	2=Moderada	3=Severa	
	Evidencia de inundaciones, descargas, drenajes o derrames previos (relacionada a la actividad minera)	0=No hay evidencia y las condiciones sugieren que es improbable	1=Evidencia de eventos mínimos	2=Evidencia de eventos mínimos o moderados	3=Evidencia de eventos moderados o severos	
	Potencial de drenaje ácido (según inspección visual)	0=Ninguno	1=Manchas de precipitados	2=Pequeño flujo de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	3=Grandes cantidades de drenaje ácido fluyendo o que podría fluir	
	Evidencia de sustancias tóxicas (cianuro, arsénico, azufre)	0=Ninguna	1=Mínima inferida de acuerdo a actividades pasadas y confinadas al sitio	2=Mínima o moderada (e.g. contenedores de reactivos abandonados en	3=Moderada o severa, no confinada y fluyendo hacia receptores externos	
	Otros riesgos a la salud humana y ambiental (describir)					
Vida silvestre y conservación	Accesibilidad y escape para la fauna silvestre	0= No hay acceso (área cercada o sellada)	1=Accesible pero fácil de escapar	2=Accesible y difícil de escapar	3=Fácil acceso sin posibilidades de escapar	
	Atracción de fauna silvestre	0=Ninguna atracción aparente	1=Atracción menor debido a vegetación/hábitat	2=Atracción moderada debido a alimentos y hábitat	3=Muy atractivo debido a alimentos y hábitat	
	Signos de vida silvestre	0=Ningún signo. Presencia improbable debido a hábitat pobre	1= Ningún signo pero hábitat potencial para animales menores (e.g. roedores)	2=Signos evidentes de presencia de animales silvestres (e.g., huellas, excrementos, etc)	3=Se observan animales silvestres en el sitio	
	Vegetación en el sitio y alrededores	0=Sitio y alrededores cubiertos con vegetación consistente con el clima	1=Cobertura vegetal limitada al sitio o la periferia	2=Evidencia de vegetación afectada en el sitio o periferia	3=Ninguna vegetación (aparentemente por fitotoxicidad)	
	Proximidad a áreas protegidas	0=>10 km de un área protegida	1=<10 km de un área protegida	2=<1 km de un área protegida	3= Dentro de un área protegida	
	Sensibilidad del área (uso tradicional del suelo, corredor de fauna)	0=Ningún uso sensible del suelo	1=<10 km de un área sensible	2=<1 km de un área sensible	3=Dentro de un área sensible	
	Drenaje o filtración hacia cuerpos de agua	0= Ninguna	1=Potencial de contaminar cuerpos de agua durante temporada de lluvias	2= Potencial de contaminar cuerpos de agua en cualquier momento	3=Descarga de aguas contaminadas hacia cuerpos de agua	
	Otras preocupaciones ambientales (describir)					
Actividad de Cierre		Moldeado de pendiente + cubierta de grava (30 cm) + cobertura de suelos con plantación (10 cm)				
Mediciones de campo		pH	Conductividad (µS/cm)	Caudal (l/s)		
Fotos y diagramas (use hojas adicionales si es necesario)		  				
Comentarios		Se observó que este relave de mina contiene gran cantidad de residuos oxidados producto de la actividad minera desarrollada en esta zona.				

Figura 42 — Características de los relaves mineros 796-A, 796-B, 798 (fichas PAM)

ANEXO VI PLANO TOPOGRÁFICO DE LA RELAVERA 796-A

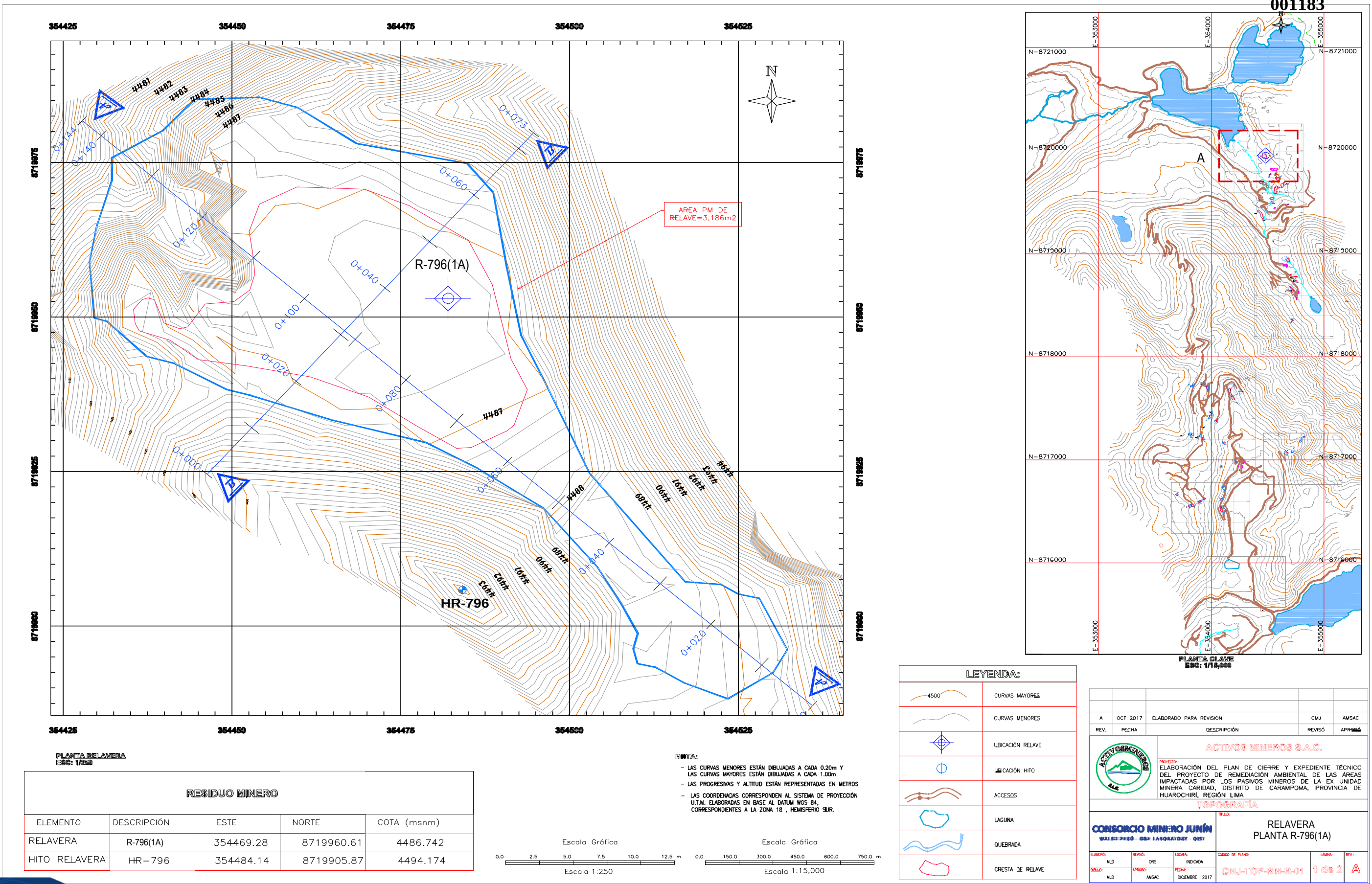


Figura 43 — Plano topográfico de la relavera 796 - A



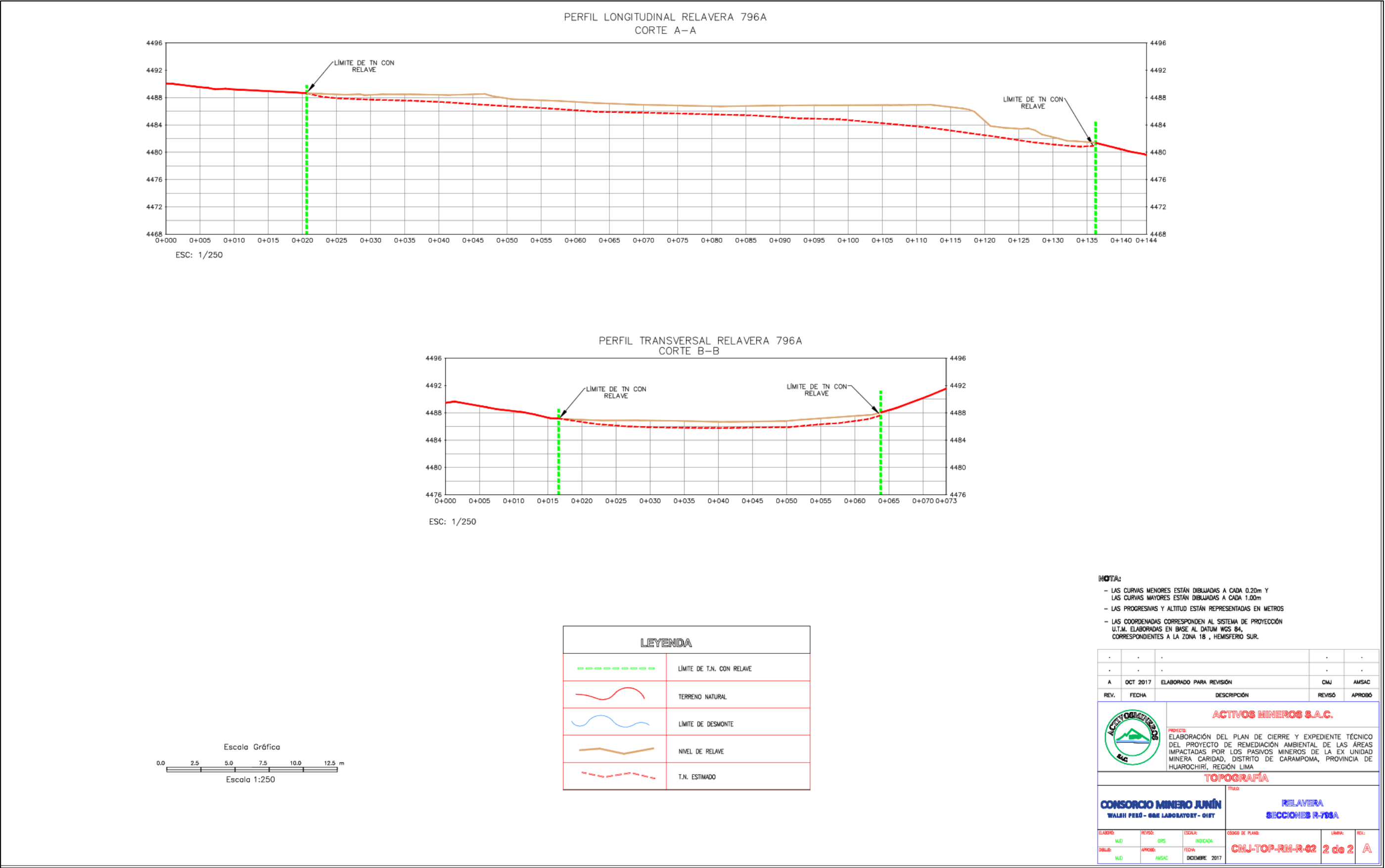


Figura 44 — Sección transversal de la relavera 796 - A

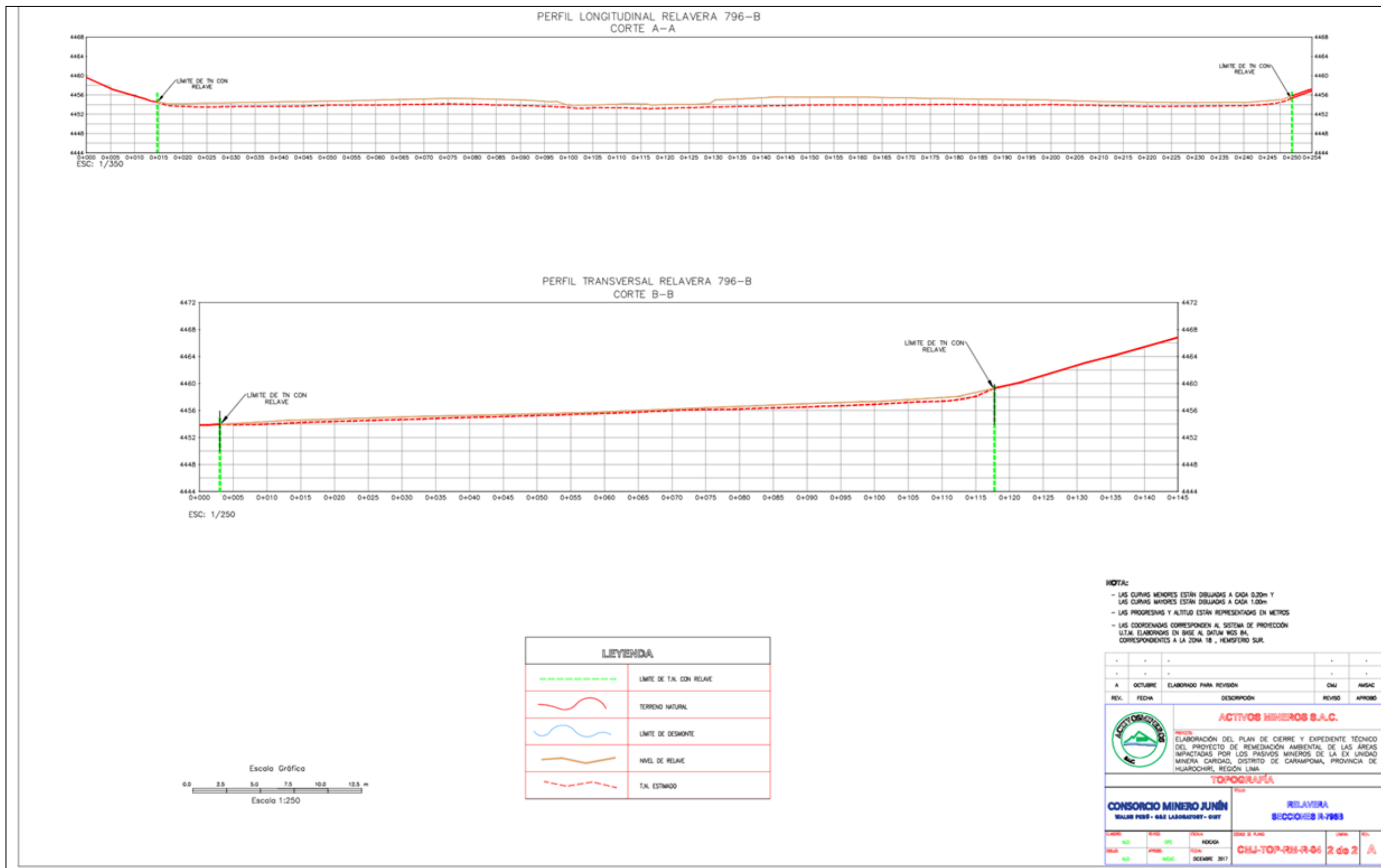


Figura 46 — Sección transversal de la relavera 796 - B

ANEXO VIII PLANO TOPOGRÁFICO DE LA RELAVERA 798

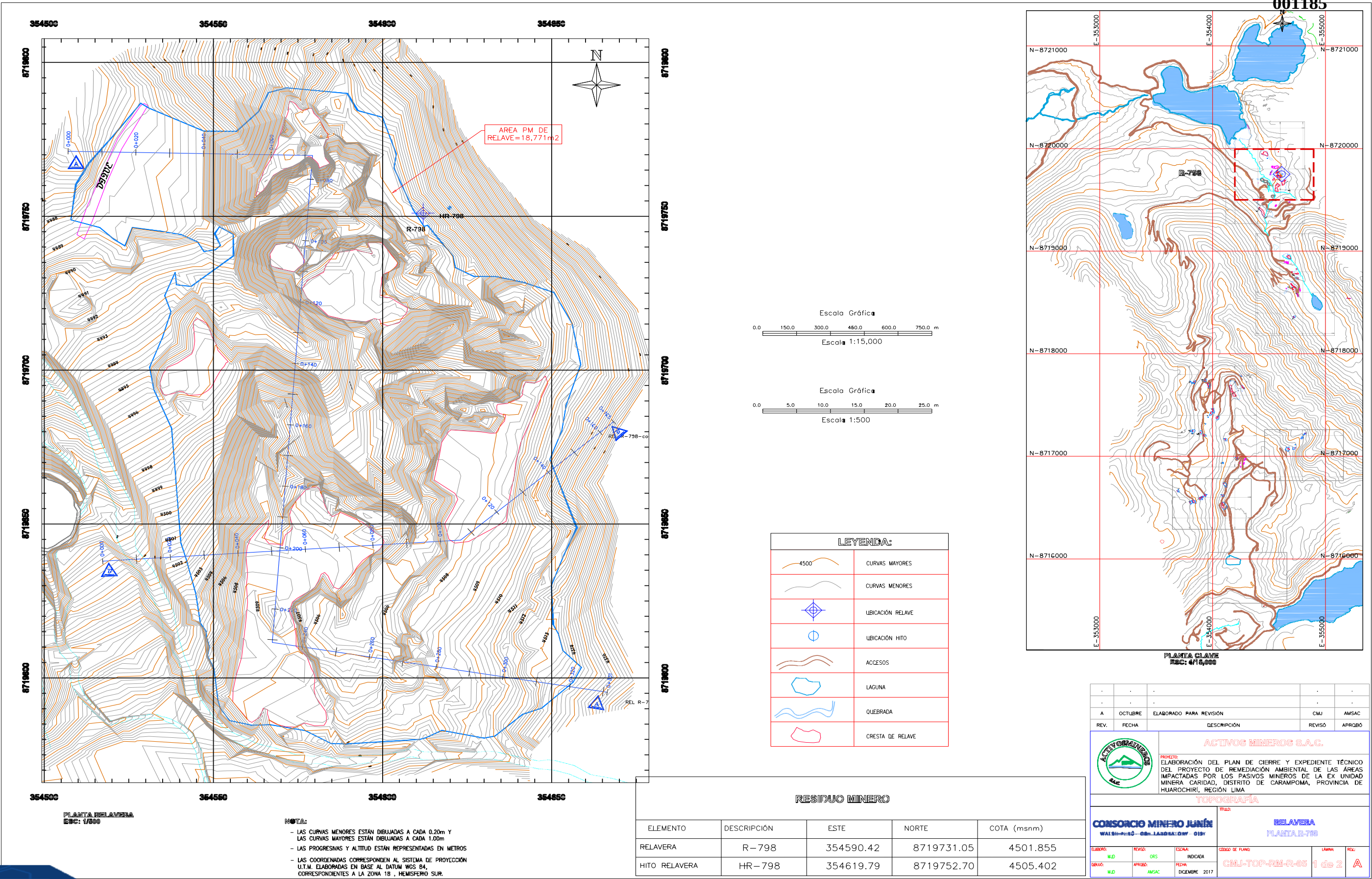


Figura 47 — Plano topográfico de la relavera 798





Figura 48 — Sección transversal de la relavera 798



ANEXO IX REGISTRO A DETALLE DE LAS EXCAVACIONES DE CALICATAS

COMPONENTE	CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		Observaciones	UBICACIÓN	ESTE (m)	NORTE (m)
796	C01A-01	M1	0.00	0.40	Material de relave	PLATAFORMA DE RELAVE	354 519	8 719 903
		-	0.40	0.90	Suelo natural			
		M2	0.90	3.00	Suelo natural			
	C01A-02	M1	0.00	0.50	Material de relave	PLATAFORMA DE RELAVE	354 465	8 719 955
		M2	0.50	1.60	Material de relave			
	C01A-03	M1	0.00	0.30	Material de relave	PLATAFORMA DE RELAVE	354 461	8 719 984
		M2	0.30	0.80	Suelo natural			
		-	0.80	1.30	Suelo natural			
	C01A-04	M1	0.00	0.40	Suelo natural	BASE NATURAL	354 442	8 719 959
		M2	0.40	0.80	Suelo natural			
	C01A-05	M1	0.00	0.30	Material de relave	PIE DE TALUD DE PLATAFORMA	354 443	8 719 966
	C01A-06	M1	0.00	0.30	Material de relave	BASE NATURAL	354 429	8 719 968
		M2	0.30	0.90	Suelo natural			
	TR01A-01	-	0.00	3.00	Material de relave	TALUD DE PLATAFORMA	354 442	8 719 959
	C01B-01	M1	0.00	3.00	Suelo natural	PLATAFORMA DE RELAVE	354 203	8 720 022
	C01B-02	M1	0.00	2.70	Suelo natural	PLATAFORMA DE RELAVE	354 228	8 720 056
	C01B-03	M1	0.00	3.00	Suelo natural	PLATAFORMA	354 237	8 720 012
796 B								

COMPONENTE	CÓDIGO DE CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)		Observaciones	UBICACIÓN	ESTE (m)	NORTE (m)
	C01B-04	M1	0.00	2.70	Suelo natural	PLATAFORMA DE RELAVE	354 273	8 720 107
	C01B-05	M1	0.00	0.20	Material de relave	PLATAFORMA DE RELAVE	354 313	8 720 129
		M2	0.20	3.00	Suelo natural			
	C01B-06	M1	0.00	0.20	Material de relave	PLATAFORMA	354 310	8 720 059
		M2	0.20	3.00	Suelo natural			
	C01B-07	M1	0.00	0.20	Material de relave	PLATAFORMA	354 341	8 720 107
		M2	0.20	3.00	Suelo natural			
	C02-01	M1	0.00	0.40	Material de relave	PLATAFORMA	354 564	8 719 598
		M2	0.40	3.00	Suelo natural			
	C02-02	M1	0.00	0.40	Material de relave	PLATAFORMA	354 576	8 719 644
		M2	0.40	3.00	Suelo natural			
	C02-03	M1	0.00	0.30	Material de relave	PIE DE TALUD DE PLATAFORMA	354 607	8 719 730
		M2	0.30	0.50	Suelo natural			
798	C02-04	M1	0.00	0.30	Material de relave	PLATAFORMA	354 593	8 719 727
		M2	0.30	3.00	Material de relave			
	C02-05	M1	0.00	0.30	Material de relave	PLATAFORMA	354 591	8 719 781
		M2	0.30	3.00	Material de relave			
	C02-06	-	0.00	0.30	Material de desmonte	BASE NATURAL	354 541	8 719 642
		-	0.00	0.30	Material de desmonte			

Figura 49 — Registro a detalle de las excavaciones de calicatas

ANEXO X CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS PASIVOS

Caracterización geotécnica de los pasivos

N°	ID Código	Dimensiones promedio			Área superficial (m ²)	Volumen (m ³)	Talud	Excavaciones			Resultados de ensayos estándar		Corte Directo		Ensayos DPL	
		Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)				Calicata/ Trinchera	Muestra	Profundidad (m)	C.H. (%)		c (kg/cm ²)	φ (°)	Ensayo	Profundidad (m)
1-A	796A	125.9	29.1	2.5	3186.0	126.3	1.2	C01A-01	M1	0.00 - 0.40	11.3%	SM			DPL1A - 01 DPL1A - 02 DPL1A - 03 DPL1A - 04	2.8 3.8 1.0 1.5
									M2	0.90 - 3.00	15.1%	GW - GC				
								C01A-02	M1	0.00 - 0.50	25.6%	CL - ML	0.21	26.44		
									M2	0.50 - 1.60	37.1%	CL				
								C01A-03	M1	0.00 - 0.30	5.2%	ML				
									M2	0.30 - 0.80	7.8%	GC - GM				
								C01A-04	M1	0.00 - 0.40	27.1%	GC				
									M2	0.40 - 0.80	22.0%	GM	0.16	34.90		
								C01A-05	M1	0.00 - 0.30	23.3%	CL - ML	0.20	26.34		
									M1	0.00 - 0.30	16.7%	SW - SM	0.15	30.33		
								C01A-06	M2	0.30 - 0.90	13.9%	GP - GM				
									-							
1-B	796B	230.4	64.7	1.5	16310	232.9	31.5	C01B-01	M1	0.00 - 3.00	13.3%	GM	0.18	34.60	DPL1B - 01	1.1
								C01B-02	M1	0.00 - 2.70	29.1%	GM			DPL1B - 02	1.8
								C01B-03	M1	0.00 - 3.00	13.3%	GM	0.22	34.96	DPL1B - 03	0.3
								C01B-04	M1	0.00 - 2.70	27.9%	GM			DPL1B - 04	0.9
															DPL1B - 05	8.0

Elaboración del Plan de Cierre y Expediente Técnico del Proyecto de Remediación Ambiental de las áreas impactadas por los Pasivos Mineros de la Ex Unidad Minera Caridad, distrito Carampoma, provincia Huarochiri, región Lima 2.5-77

N°	ID Código	Dimensiones promedio			Área superficial (m ²)	Volumen (m ³)	Talud	Excavaciones			Resultados de ensayos estándar			Corte Directo		Ensayos DPL	
		Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)				Calicata/ Trinchera	Muestra	Profundidad (m)	C.H. (%)		Clasificación SUCS	c (kg/cm ²)	φ (°)	Ensayo	Profundidad (m)
2	798	219.2	112.3	3.8	18771	215.5	1.6	C01B-05	M1	0.00 - 0.20	24.6%	ML	Limo arenoso de baja plasticidad				
									M2	0.20 - 3.00	26.3%	GM	Grava limosa con arena				
								C01B-06	M1	0.00 - 0.20	23.7%	ML	Limo arenoso de baja plasticidad				
									M2	0.20 - 3.00	13.9%	GM	Grava limosa con arena				
								C01B-07	M1	0.00 - 0.20	23.5%	ML	Limo arenoso de baja plasticidad				
									M2	0.20 - 3.00	13.8%	GM	Grava limosa con arena				
								C02-01	M1	0.00 - 0.40	4.7%	SM	Arena limosa	0.12	32.12		
									M2	0.40 - 3.00	10.3%	SM	Arena limosa				
								C02-02	M1	0.00 - 0.40	11.5%	SM	Arena limosa	0.10	32.15		
									M2	0.40 - 3.00	8.1%	SM	Arena limosa	0.12	32.38		
								C02-03	M1	0.00 - 0.30	15.7%	SM	Arena limosa	0.11	32.05	DPL02 - 01	4.1
									M2	0.30 - 0.50	25.3%	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad			DPL02 - 02	7.4
								C02-04	M1	0.00 - 0.30	30.0%	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad			DPL02 - 03	2.3
									M2	0.30 - 3.00	45.1%	CL	Arcilla arenosa de baja plasticidad			DPL02 - 04	6.5
								C02-05	M1	0.00 - 0.30	17.2%	SM	Arena limosa			DPL02 - 05	1.4
									M2	0.30 - 3.00	16.6%	ML	Limo arenoso de baja plasticidad			DPL02 - 06	2.8
								C02-06	M1	0.30 - 3.00	8.1%	GW	Grava bien gradada con arena	0.00	37.87		
									M1	0.30 - 3.00	8.2%	GP	Grava pobremente gradada con arena			DPL02 - 07	3.1

Figura 50 — Caracterización geotécnica de los pasivos

Elaboración del Plan de Cierre y Expediente Técnico del Proyecto de Remediación Ambiental de las áreas impactadas por los Pasivos Mineros de la Ex Unidad Minera Caridad, distrito Carampoma, provincia Huarochiri, región Lima 2.5-78

ANEXO XI RESULTADOS OBTENIDOS – ENSAYO MASW.

Ensayo MASW	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Descripción
MASW - R01A-1	01	343-410	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	410-745	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	745-949	10 - 15	Roca
	04	949-1689	15 - 30	Roca muy dura
MASW - R01A-2	01	175-230	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	230-442	5 - 10	Suelo rígido a muy denso
	03	442-511	10 - 15	Suelo rígido
	04	511-789	15 - 30	Suelo rígido
MASW - R01B-1	01	188-214	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	214-251	5 - 10	Suelo rígido a muy denso
	03	251-266	10 - 15	Suelo rígido
	04	266-312	15 - 30	Suelo rígido
MASW - R01B-2	01	191-210	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	210-212	5 - 10	Suelo rígido a muy denso
	03	212-234	10 - 15	Suelo rígido a muy denso
	04	234-331	15 - 30	Suelo rígido a muy denso
MASW - R01B-3	01	231-285	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	285-354	5 - 10	Suelo rígido a muy denso
	03	354-355	10 - 15	Suelo rígido a muy denso
	04	355-439	15 - 30	Suelo rígido a muy denso
MASW - R01B-4	01	266-266	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	266-269	5 - 10	Suelo rígido a muy denso
	03	269-270	10 - 15	Suelo rígido a muy denso
	04	270-317	15 - 30	Suelo rígido a muy denso
MASW - R02-1	01	137-214	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	214-312	5 - 10	Suelo rígido
	03	312-360	10 - 15	Suelo rígido
	04	360-461	15 - 30	Suelo muy denso o roca blanda
MASW - R02-2	01	146-227	0 - 5	Suelo rígido a muy denso
	02	227-344	5 - 10	Suelo rígido
	03	344-439	10 - 15	Suelo muy denso o roca blanda

Ensayo MASW	Estratos	Vs (m/s)	Profundidad (m)	Descripción
	04	439-526	15 - 30	Suelo muy denso o roca blanda
MASW - R02-3	01	426-486	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	486-930	5 - 10	Roca
	03	930-1142	10 - 15	Roca
	04	1142-1879	15 - 30	Roca
MASW - R02-4	01	576-653	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	653-1317	5 - 10	Roca
	03	1317-1501	10 - 15	Roca
	04	1501-1942	15 - 30	Roca muy dura
MASW - R02-5	01	420-497	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	497-654	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	654-749	10 - 15	Suelo muy denso o roca blanda
	04	749-1381	15 - 30	Roca
MASW - R02-6 (1)	01	441-455	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	455-515	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	515-592	10 - 15	Suelo muy denso o roca blanda
	04	592-1021	15 - 30	Roca
MASW - R02-6 (2)	01	426-468	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	468-695	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	695-899	10 - 15	Roca
	04	899-1354	15 - 30	Roca
MASW - R02-7	01	430-438	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	438-560	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	560-713	10 - 15	Suelo muy denso o roca blanda
	04	713-1366	15 - 30	Roca
MASW - R02-8	01	347-382	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	382-538	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	538-631	10 - 15	Suelo muy denso o roca blanda
	04	631-1093	15 - 30	
MASW - R02-9	01	395-413	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	413-456	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	456-514	10 - 15	Suelo muy denso o roca blanda
	04	514-681	15 - 30	Suelo muy denso o roca blanda
MASW - R02-10	01	465-492	0 - 5	Suelo muy denso o roca blanda
	02	492-518	5 - 10	Suelo muy denso o roca blanda
	03	518-572	10 - 15	Suelo muy denso o roca blanda
	04	572-806	15 - 30	Roca

Figura 51 — Resultados obtenidos – ensayo MASW.