



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

“Diseño de explotación en el libre aprovechamiento de áridos Mina Peña

Blanca, GADP San Juan, Gualaceo - Azuay”

Trabajo de graduación previo a la obtención del grado académico de:

INGENIERO EN MINAS

Autores:

RAÚL ANDRÉS CHUÑIR ORELLANA

EDISSON MIGUEL NAULA FAJARDO

Director:

ING. LEONARDO ANÍBAL NÚÑEZ RODAS

CUENCA, ECUADOR

2026

Raúl Andrés Chuñir Orellana

Edisson Miguel Naula Fajardo

Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Agosto, 2026

**“Diseño de explotación en el libre aprovechamiento de áridos Mina Peña Blanca, GADP
San Juan, Gualaceo - Azuay”**

DEDICATORIA

A mi esposa Fernanda y a mi hijo Thiago, pilares fundamentales en mi vida, su presencia y amor han sido una fuente constante de inspiración y fortaleza para culminar esta etapa. Dedico este trabajo a mis padres, Raúl Chuñir y Susana Orellana, por su apoyo incondicional y por acompañarme desde el inicio de este camino académico. A mis hermanas, Monserrat y María Paz, por su confianza en mí y por motivarme a no abandonar esta meta.

Y, finalmente, a mí mismo, por la perseverancia, el esfuerzo y la determinación de no rendirme ante los desafíos.

Raúl Andrés Chuñir Orellana

A Dios principalmente puesto que él nos da la bendición día a día para poder seguir en nuestro camino, a mi padre y a mi madre que han sido los pilares para las formaciones académicas que estoy logrando.

A mis hijos Elías y Benjamín que ahora entiendo que el futuro de ellos depende de mí y que no habrá día que no batalle ante cualquier adversidad para poder verlos felices.

A mis hermanos que cuando la vida se me ha puesto difícil en ellos poder encontrar la mano extendida para no resbalar.

Edisson Miguel Naula Fajardo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar una de las metas más importantes de mi vida y por brindarme la fortaleza y motivación necesaria para superar cada dificultad. Expreso mi profundo agradecimiento a mi esposa Fernanda y a mi hijo Thiago, por su amor incondicional, paciencia y apoyo constante; a mis padres Raúl Chuñir y Susana Orellana y por último pero no menos importantes a mis hermanas Monserrat y María Paz, por su respaldo y palabras de aliento; a mi amigo Miguel Naula, quien me acompañó desde el inicio de esta etapa universitaria; a Pablo Barba, por sus sabias palabras en momentos complejos; a los ingenieros Leonardo Núñez, Patricio Feijoo y Eduardo Luna, por su guía y acompañamiento en la etapa final del proyecto. Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a este logro y creyeron en mí a lo largo de este camino.

Raúl Andrés Chuñir Orellana

Primero que todo gracias a Dios, también me lo agradezco a mi porque no me he rendido ni he dado por perdido todos estos años de universidad, por haber mantenido la fe y la esperanza. A mis padres por brindarme siempre el apoyo, a seguir el camino de la rectitud, a mis queridos hermanos que nunca me han dejado caer. Le agradezco también a mi amigo y compañero Raúl, que hemos pasado tanto altos y bajos momentos, comprometiéndonos algún día a terminar juntos esta etapa de la vida y aquí estamos, cumpliendo un sueño juntos.

Edisson Miguel Naula Fajardo

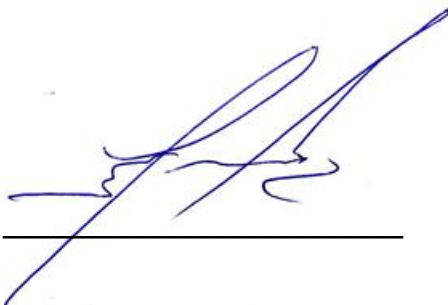
RESUMEN

El presente trabajo evaluó la condición geotécnica y operativa del libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”, administrada por el GAD Parroquial de San Juan - Gualaceo, con el fin de proponer un diseño de explotación técnicamente viable. Para ello, se llevaron a cabo campañas de campo que incluyeron visitas técnicas, recolección de muestras del macizo rocoso, levantamiento topográfico y un registro fotográfico detallado.

Los resultados obtenidos evidenciaron que las condiciones de explotación no cumplían con los parámetros técnicos mínimos requeridos para una operación segura y eficiente. En función de estos hallazgos, se desarrolló una propuesta de rediseño del plan de explotación, considerando factores de seguridad, estabilidad de taludes y sostenibilidad operativa.

El diseño planteado en este estudio permite optimizar la extracción del recurso, garantizando condiciones adecuadas de seguridad y estabilidad, lo que contribuye al aprovechamiento del yacimiento y al cumplimiento de las normativas técnicas.

Palabras clave: Condición geotécnica, macizo rocoso, levantamiento topográfico, estabilidad de taludes, libre aprovechamiento.



Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Director del trabajo de titulación

ABSTRACT

The present study evaluated the geotechnical and operational conditions of the free-use mining site “Mina Peña Blanca”, managed by the parish GAD of San Juan – Gualaceo, with the aim of proposing a technically viable mining design. To achieve this, field campaigns were conducted, including technical site visits, rock mass sampling, topographic surveying, and detailed photographic documentation.

The results obtained showed that the existing mining conditions did not meet the minimum technical parameters required to ensure safe and efficient operation. Based on these findings, a proposal for redesigning the mining plan was developed, considering safety factors, slope stability, and operational sustainability.

The design proposed in this study allows the optimization of resource extraction while ensuring adequate safety and stability conditions, thereby contributing to the proper utilization of the deposit and compliance with technical regulations

Keywords: Geotechnical condition, rock mass, topographic survey, slope stability, mining for government use.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Thesis Director

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE ANEXOS	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
ANTECEDENTES	2
1.1 Situación actual	2
1.2 Ubicación geográfica.....	3
1.3 Acceso al área de estudio.....	3
1.4 Marco legal	3
1.5 Geología regional	5
1.6 Geología local	6
1.7 Clima	7
1.8 Materiales que se obtienen de un libre aprovechamiento.....	7
CAPÍTULO 2	9
2 MARCO TEÓRICO.....	9

2.1	Minería a cielo abierto.....	9
2.2	Tipos de minería a cielo abierto.....	9
2.3	Explotación de canteras.....	10
2.4	Diseño de explotación	11
2.5	Banqueo descendiente	13
2.6	Áridos y pétreos	14
2.6.1	Áridos	14
2.6.2	Pétreos	16
2.6.3	Lastre	16
2.7	Estabilidad de taludes.....	16
2.8	Software para modelamiento	17
2.8.1	Recmin	17
2.8.2	AutoCAD	17
2.9	Maquinaria utilizada en el libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”	18
2.9.1	Excavadora	18
2.9.2	Volquete	19
2.9.3	Excavadora CAT 320	19
CAPÍTULO 3		21
3	ANÁLISIS GEOMECÁNICO	21
3.1	Determinación del contenido de humedad natural.....	21
3.2	Determinación de la gravedad específica	22
3.3	Análisis Granulométrico.....	24
3.4	Limite líquido.....	27

3.5	Limite plástico	28
3.5.1	<i>Procedimiento</i>	29
3.5.2	<i>Ensayo límite plástico</i>	29
3.5.3	<i>Ensayo de compactación</i>	30
CAPÍTULO 4		33
4	DISEÑO DE EXPLOTACIÓN	33
4.1	Levantamiento topográfico.....	33
4.2	Resistencia a la compresión simple.....	33
4.3	Factor de seguridad (FS)	34
4.4	Profundidad de la cantera	36
4.5	Coeficiente de Protodyakonov	36
4.6	Ángulo de talud de los bancos	36
4.7	Altura de banco	37
4.8	Número de Bancos	37
4.9	Berma de seguridad (BS).....	38
4.10	Ancho de la vía	38
4.11	Espacio de maniobras para la excavadora	39
4.12	Ancho del prisma de deslizamiento	39
4.13	Ancho de la plataforma de trabajo	40
4.14	Ángulo del talud del borde de la cantera en trabajo.....	40
4.15	Ángulo de liquidación	41
4.16	Ancho de las bermas de liquidación.....	41
4.17	Diseño de explotación viable	42

4.18	Volúmenes totales	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		54
	Conclusiones	54
	Recomendaciones	56
Bibliografía.....		58
ANEXOS		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Coordenadas de la ubicación del proyecto	3
Tabla 2	Materiales que se obtienen de un libre aprovechamiento	8
Tabla 3	Clasificación de Áridos según su tamaño	15
Tabla 4	Criterio de Aceptación; Estabilidad de Taludes	17
Tabla 5	Especificaciones CAT 320 – Cucharón 1m ³	18
Tabla 6	Especificaciones técnicas — Camión Volquete Hino 700 (12–14 m ³)	19
Tabla 7	Contenido de humedad natural del suelo según ASTM D2216-10	22
Tabla 8	Datos para obtener la gravedad específica	24
Tabla 9	Resultados del análisis granulométrico por tamizado	25
Tabla 10	Composición de la muestra	27
Tabla 11	Resultados del cálculo del límite líquido	27
Tabla 12	Resultado obtenido del cálculo del límite plástico	29
Tabla 13	Resumen de las propiedades del material	30
Tabla 14	Especificaciones de la muestra y materiales.	30
Tabla 15	Resultados de la densidad	31
Tabla 16	Resultados humedad	31
Tabla 17	Resultados densidad vs humedad	32
Tabla 18	Resultados de la compresión simple	34
Tabla 19	Características de la roca según el grado de talud de borde	35
Tabla 20	Resultados de la compresión simple	37
Tabla 21	Parámetros para el diseño de cierre de cantera	42
Tabla 22	Volumen Total	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cantera de lastre.....	11
Figura 2 Elementos de una cantera	13
Figura 3 Banqueo descendente	14
Figura 4 Áridos	15
Figura 5 Software Minero RECMIN.....	17
Figura 6 AutoCAD.....	18
Figura 7 Curva granulométrica.....	26
Figura 8 Curva de flujo para la determinación de límite líquido.....	28
Figura 9 Curva densidad seca vs humedad.....	32
Figura 10 Topografía inicial, libre aprovechamiento “Peña Blanca”	33
Figura 11 Medidas del talud	42
Figura 12 Topografía y área de interés.....	43
Figura 13 Calculo de explotación	44
Figura 14 Cálculo de volumen Fase 1.....	45
Figura 15 Taludes Fase 1.....	45
Figura 16 Volumen Fase 1	46
Figura 17 Cálculo de volumen Fase 2.....	46
Figura 18 Taludes Fase 1 y 2.....	47
Figura 19 Volumen Fase 2	47
Figura 20 Taludes Fase 1, 2 y 3.....	48
Figura 21 Cálculo de volumen Fase 3.....	48
Figura 22 Volumen Fase 3	49

Figura 23 Cálculo de volumen Fase 4.....	49
Figura 24 Taludes Fases 1, 2, 3 y 4.....	50
Figura 25 Volumen Fase 4	50
Figura 26 Cálculo de volumen Fase 5.....	51
Figura 27 Pit final	51
Figura 28 Volumen Fase 5	51

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Registro Fotográfico	62
Anexo 2: Tabla de Análisis de compresión uniaxial.....	64
Anexo 3: Zona intervenida	65
Anexo 4: Ortofoto mina peña blanca	66
Anexo 5: Plano de ubicación de perfil	67
Anexo 6: Planos de perfiles	68

INTRODUCCIÓN

La actividad minera, tanto metálica como no metálica, representa una de las bases del desarrollo económico, tecnológico y de infraestructura de las sociedades actuales, debido a que proporciona los recursos minerales necesarios para múltiples actividades productivas. En este contexto, la minería no metálica adquiere una importancia estratégica al abastecer de materias primas esenciales a la industria, tales como caliza, arcillas, arena, grava y otros agregados pétreos. Estos materiales constituyen la base para la elaboración de productos destinados a la edificación de viviendas, carreteras, puentes y diversas obras de infraestructura, contribuyendo de manera directa al crecimiento urbano y al desarrollo sostenible de los territorios.

En el Ecuador, el aprovechamiento de los recursos minerales está regulado por un marco jurídico que establece el régimen de concesiones mineras. En este contexto, los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) pueden ser titulares de concesiones para la explotación de minerales no metálicos destinados exclusivamente a la ejecución de obras públicas y proyectos de beneficio comunitario, conforme a la normativa vigente.

Bajo este marco, el GAD Parroquial de San Juan, del cantón Gualaceo, gestionó la prórroga de la concesión de la cantera "Mina Peña Blanca", donde la explotación se ha desarrollado históricamente sin una adecuada planificación técnica. En respuesta a esta problemática, el presente trabajo tuvo como objetivo realizar el rediseño técnico del modelo de explotación de la cantera, incorporando criterios geotécnicos, topográficos y operativos que permitan optimizar la extracción del recurso de forma segura, eficiente y conforme a la normativa minera vigente.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Situación actual

El Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de la parroquia San Juan, perteneciente al cantón Gualaceo, provincia del Azuay, ante el requerimiento de proveer material pétreo para mejoramiento vial para la zona de San Juan y sus alrededores; ha gestionado la adjudicación y cuenta con el área minera de libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”, misma que hace varios años ha abastecido la demanda de material para el mejoramiento de vías de segundo y tercer orden de la zona.

Posterior a varias visitas al libre aprovechamiento, se pudo verificar que en los últimos años se ha realizado la extracción de material pétreo sin ningún tipo de criterio técnico, lo cual ha deteriorado la geología de la zona, dejando con ello graves consecuencias.

Como producto de esto, la situación actual del macizo rocoso es desfavorable y representa un potencial riesgo para la comunidad aledaña al lugar.

Debido a este manejo carente de tecnicidad, el libre aprovechamiento se encuentra en estado de abandono, generando problemas como: desabastecimiento de material, pérdida de recursos para el GAD, entre otros.

1.2 Ubicación geográfica

El libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”, se encuentra ubicado en la parroquia San Juan, cantón Gualaceo, a 57.8 km de la ciudad de Cuenca, cuenta con 4 hectáreas mineras; dentro de las siguientes coordenadas que delimitan su ubicación:

Tabla 1 Coordenadas de la ubicación del proyecto

Coordenadas de la ubicación DATUMPSAD56		
Punto	X	Y
1	742000	9671800
2	742000	9672000
3	742200	9672000
4	742200	9671800

Fuente: *Elaboración propia.*

1.3 Acceso al área de estudio

Para acceder a al área de estudio hay que tomar la vía de primer orden Cuenca – Gualaceo, después de localizarse en el cantón Gualaceo, se toma la vía Gualaceo – San Juan, hasta llegar al GAD Municipal de San Juan, una vez aquí se recorre una vía de segundo orden durante aproximadamente 1.3 km hasta llegar a la zona de estudio.

1.4 Marco legal

De acuerdo con la Ley de Minería, el artículo 144 (2023) establece que:

El Estado directamente o a través de sus contratistas podrá aprovechar libremente los materiales de construcción para obras públicas en áreas no concesionadas o concesionadas.

Considerando la finalidad social o pública del libre aprovechamiento, estos serán autorizados por el Ministerio Sectorial. La vigencia y los volúmenes de explotación se regirán y se extenderán única y exclusivamente por los requerimientos técnicos de producción y el tiempo que dure la ejecución de la obra pública.

Dicho material podrá emplearse, única y exclusivamente, en beneficio de la obra pública para la que se requirió el libre aprovechamiento. El uso para otros fines constituirá explotación ilegal que se someterá a lo determinado para este efecto en la presente ley.

El contratista del Estado no podrá incluir en sus costos los valores correspondientes a los materiales de construcción aprovechados libremente. En caso de comprobarse la explotación del libre aprovechamiento para otros fines será sancionado con una multa equivalente a 200 remuneraciones básicas unificadas y en caso de reincidencia con la terminación del contrato para dicha obra pública.

La autorización de libres aprovechamientos está sujeta al cumplimiento de todas las disposiciones de la presente ley, especialmente las de carácter ambiental. Los contratistas que exploten los libres aprovechamientos están obligados al cumplimiento del Plan de Manejo Ambiental.” (p. 55.)

Este artículo regula el uso exclusivo de materiales en beneficio de obras públicas y prohíbe su uso para otros fines, lo que en caso de incumplimiento se consideraría explotación ilegal.

Conforme a lo establecido en la Ley de Minería, la concesión “Mina Peña Blanca” cuenta con una solicitud de prórroga aprobada. Esta extensión no ha sido gestionada debido

a las condiciones actuales del macizo rocoso, las cuales han imposibilitado la ejecución de operaciones de extracción.

1.5 Geología regional

Formación Paute. - La Formación Paute constituye una de las unidades más antiguas del basamento geológico del sur del Ecuador, compuesta por formaciones metamorfizadas como Yunguilla, Piñón y otras no determinadas, en una secuencia de esquistos verdes, filitas negras y meta-volcánicos (Consortio PDOT Paute, 2020).

Formación Yunguilla. - La Formación Yunguilla se caracteriza litológicamente por la predominancia de argilitas negras, que se encuentran meteorizadas o transformadas en arcillas de tonos cafés, oscuras o negras. La silificación es frecuente a diferentes niveles, con depósitos de caliza y concreciones carbonatadas a lo largo de la secuencia. También se observan areniscas y capas guijarrosas fosilíferas, así como lavas andesíticas en diversas localidades (Consortio PDOT Paute, 2020).

Formación Biblián. - La Formación Biblián descansa en discordancia sobre la Formación Yunguilla, presentando un depósito basal compuesto por guijarros medianamente gruesos, frecuentemente con material proveniente de la Formación Yunguilla (Consortio PDOT Paute, 2020).

Formación Loyola. - La Formación Loyola presenta un contacto gradual con la Formación Biblián en el centro de la cuenca, mientras que en el flanco oriental un conglomerado basal la sobrepone y descansa directamente sobre la Formación Yunguilla. Sus depósitos superiores de aproximadamente 250 metros de espesor están compuestos casi exclusivamente por lutitas de varios colores, yeso abundante y calizas cristalinas (Consortio PDOT Paute, 2020).

Formación Azogues. - La Formación Azogues corresponde a una sucesión neógena dentro de la cuenca de Cuenca, compuesta por conglomerados, areniscas tobáceas y lutitas que progresivamente interfieren con las Formaciones Loyola y Biblián. El conjunto representa depósitos aluviales y deltaicos con claros rasgos de engrosamiento ascendente (Consortio PDOT Paute, 2020).

Formación Tarqui. - La Formación Tarqui está conformada por depósitos piroclásticos y flujos de lavas de composición volcánica ácida riolítica y traquítica que han sufrido alteración hidrotermal en amplias zonas (Consortio PDOT Paute, 2020).

Volcánicos de Llacao. - Consisten predominantemente en aglomerados en una matriz de vidrio blanco desvitrificado, pero también se encontraron tobas blancas estratificadas (Consortio PDOT Paute, 2020).

1.6 Geología local

La parroquia San Juan se encuentra asentada sobre la formación Tarqui, presentando una litología de andesitas y esquistos que corresponde al periodo Jurásico, y estas se vinculan con la formación Volcánicos Pisayambo, la cual tiene una estructura litología de andesitas a riolitas y piroclastos, que tiene una relación al periodo Mioceno-Plioceno.

- Unidad Alao Paute: la formación está localizada en el centro de la parroquia y extiende al norte, la cual tiene cobertura de 1992 hectáreas, lo que constituye un cinturón de rocas verdes con una foliación de buzamiento muy fuerte.
- Volcánicos Pisayambo: Esta formación recubre la parte sureste y oeste de la Parroquia con 1589,02 hectáreas. Este depósito de roca volcánica tiene un predominio de andesitas a riolitas, piroclastos; que datan del periodo Mioceno-Plioceno (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial San Juan del Cid, 2023).

1.7 Clima

El clima es templado húmedo, típico de las regiones montañosas andinas. La temperatura media anual se ubica en un rango aproximado de 12 °C a 20 °C, con fluctuaciones moderadas entre las temporadas más frías y cálidas del año, sin registrar valores extremos de calor debido a su altitud (Espinoza & Ulloa, 2024).

Además, la precipitación en la zona se distribuye a lo largo del año sin una estación seca bien definida, lo que genera un régimen pluviométrico regular que influye en los aspectos ambientales y de uso del suelo del cantón (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Gualaceo, 2024).

1.8 Materiales que se obtienen de un libre aprovechamiento

Es importante señalar que actualmente el libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca” no realiza ninguna actividad extractiva. El sitio se encuentra abandonado debido al manejo antitécnico que recibió durante su operación. La extracción se efectuaba con una retroexcavadora en varios frentes de trabajo, determinados únicamente por el alcance de la maquinaria, lo que ocasionó la ausencia de taludes definidos, condiciones inseguras para laborar y preocupación entre los habitantes que viven cerca del área de influencia.

Los agregados empleados en obras de mejoramiento vial deben cumplir requisitos técnicos específicos, especialmente en lo referente a parámetros de compactación, resistencia y granulometría, con el fin de garantizar un adecuado comportamiento estructural de la vía. En este contexto, los materiales provenientes de un libre aprovechamiento pueden ser utilizados siempre que cumplan con dichas especificaciones. A continuación, se presenta una descripción general de los materiales que comúnmente se

obtienen en este tipo de explotación, junto con su aplicación en obras viales y principales características técnicas.

Tabla 2 Materiales que se obtienen de un libre aprovechamiento

Material	Descripción	Uso vial principal	Características técnicas
Arena (árido fino)	Agregado fino <4.75 mm proveniente de ríos o canteras.	Mezclas, rellenos, subbases y hormigón.	Granulometría controlada, baja plasticidad, sin materia orgánica.
Grava	Agregado grueso natural de 4.75–75 mm.	Subbase y base granular.	CBR $\geq$ 20–25%, granulometría bien gradada, desgaste Los Ángeles <50%.
Ripio	Mezcla natural de arena + grava común en depósitos aluviales.	Mejoramiento de vías rurales y capas de rodadura sin pavimento.	Compactación $\geq$ 95% Proctor Mod., distribución granulométrica estable.
Gravilla	Árido grueso pequeño (6–19 mm).	Carpetas en frío, bases y rellenos.	Resistencia moderada, granulometría uniforme, baja absorción.

Fuente: (Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, 2016).

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Minería a cielo abierto

Una de las formas de explotación minera que tiene mayor facilidad de trabajo es la de cielo abierto, debido a que se puede usar maquinaria más pesada y potentes, lo que disminuye de forma considerable los riesgos al personal minero. Sin embargo, este tipo de explotación tiene una desventaja crucial, la cual es que su explotación incide de forma negativa en el entorno natural, si no se utiliza mecanismo que eviten su degradación. Porque una de las causas que tiene este tipo de extracción de recursos, es que el terreno tiene que removerse para obtener el material y se transporta con máquinas adecuadas para la zona (retroexcavadoras y volquetes). No obstante, es importante destacar que la afección del medio ocurre cuando el terreno es muy duro, y necesario utilizar explosivos para ablandar el terreno.

En este contexto, los libres aprovechamientos destinados a la extracción de áridos para mejoramiento vial corresponden a explotaciones a cielo abierto, donde el material útil se encuentra generalmente a poca profundidad y con escasa cobertura vegetal.

2.2 Tipos de minería a cielo abierto

Canteras: son explotaciones a cielo abierto destinadas principalmente a la extracción de materiales de construcción como áridos, calizas y rocas ornamentales. Se desarrollan generalmente a pequeña o mediana escala y mediante bancos escalonados, cuya geometría depende de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso. El material extraído suele requerir procesos de trituración y clasificación para su uso en obras civiles. (López, 2022)

Descubiertas: este método se aplica en yacimientos horizontales o de poca profundidad, donde el mineral se extrae en franjas sucesivas tras remover el material estéril.

Es común en la explotación de carbón y minerales industriales, permitiendo el relleno progresivo del área intervenida. (López, 2022)

Cortas: son explotaciones de gran escala empleadas principalmente en minería metálica. Se desarrollan mediante bancos escalonados en forma de anfiteatro, utilizando perforación y voladura. Su diseño requiere análisis geotécnicos para garantizar la estabilidad de los taludes. (López, 2022)

Aluviones: depósitos fluviales compuestos por arenas y gravas que contienen minerales valiosos como oro. La extracción puede realizarse mediante métodos hidráulicos o mecánicos, requiriendo control ambiental por su interacción con cuerpos de agua. (López, 2022)

2.3 Explotación de canteras

Según Herrera y Ortiz (2006) una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales o áridos. Sin embargo, estas estructuras de explotación son de tamaño reducido.

Existen diferentes tipos de explotación y métodos, los cuales son:

- Existen los yacimientos de áridos la cuales están conformadas por materiales de Zahorras, rellenos, escolleras, asfaltos, hormigones, entre otras, al igual hay que incluir a las graveras.
- Yacimientos de roca ornamentales este tipo de material se extrae para la construcción, la cual esta conformadas por rocas metamórficas (Pizarras y mármoles) y rocas ígneas como los granitos, gabros, granodiorita entre otras de alta resistencia.

- Yacimientos de roca y minerales industriales como calizas, arcillas, (cementos, ladrilleras, cerámicas y vidrio, etc.)

Figura 1 Cantera de lastre.



Fuente: (Herrera & Ortiz, 2006)

- Canteras en terrenos horizontales: para estas canteras las labores inician en la trinchera, hasta lograr la profundidad deseada del primer nivel, esta actividad continua va a permitir el ensanchamiento del orificio.
- Canteras en laderas: este tipo de explotación depende de la dirección que toma la excavación.
- Super canteras: Este tipo de excavación necesita grandes inversiones de capital, por la rentabilidad que produce.

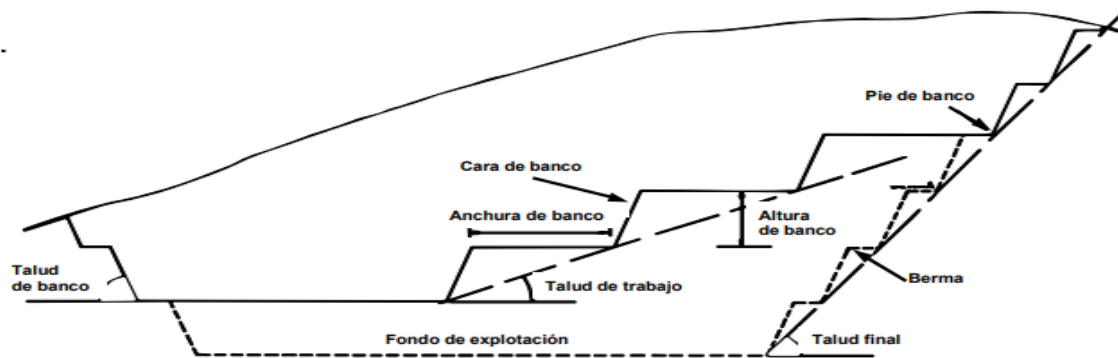
2.4 Diseño de explotación

Según Herrera y Ortiz (2006), para la explotación de canteras se tiene que realizar un procedimiento que cumpla una serie de criterios de diseño, planificación y forma de explotación, en la cual se priorice la productividad, la rentabilidad económica y el cuidado a la condiciones internas y externas de seguridad. Al igual tiene que cumplir con los

parámetros geométricos que conformen el diseño estructural de la cantera. Sin embargo, Herrera y Ortiz lo clasifican en:

- Banco: estructura que se forma en escalón, la cual comprende dos niveles que constituyen el bloque de explotación y el bloque de bagazo, este tipo de excavación trabaja un polígono geométrico preestablecido y medido.
- Talud: es la inclinación que presenta una estructura entre el plano horizontal y el vertical, la cual genera un gradiente entre la masa tierra o ladera, cabe destacar que el talud se origina de forma natural la cual es la diferencia entre llanura y el comienzo de la montaña que se genera por erosión, meteorización o movimientos tectónicos, pero también está el talud de artificial, la cual se genera por mediciones estructurales que analizan la caída, pendiente e inclinación de la estructura o se generan a través de terraplenes.
- Altura del talud: es la distancia que se describe desde la vertical, hasta el pie del talud
- Ancho de la berma: este elemento es el plano axial que funciona como elemento de retención o acumulación de material que puede caer de niveles superiores.
- Ángulo del talud: es la inclinación angular que se forma de el plano axial o ángulo de berma con respecto al banco.

Figura 2 Elementos de una cantera



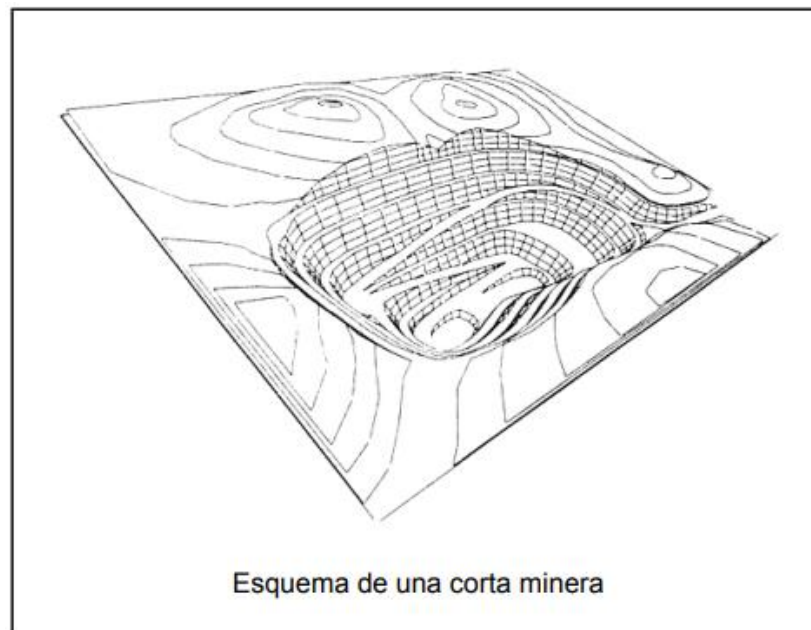
Fuente: (Herrera & Ortiz, 2006)

2.5 Banqueo descendente

En minería existen distintos métodos de explotación uno de ellos es la explotación a cielo abierto, del cual se deriva un submétodo (canteras) en donde la extracción del material se puede dar mediante una explotación por banco descendente, este consiste en conformar bancos y taludes empezando desde la parte superior y descendiendo de forma continua.

Este método de explotación, generalmente aplicado en un libre aprovechamiento, presenta una vida útil limitada, determinada principalmente por el volumen de material disponible y la demanda del proyecto vial asociado. Una vez concluida la fase de explotación y si no se ejecutan medidas adecuadas de cierre y rehabilitación, el área intervenida puede generar diversos impactos ambientales (Herrera & Ortiz, 2006).

Figura 3 Banqueo descendente



Fuente: (Herrera & Ortiz, 2006)

2.6 Áridos y pétreos

2.6.1 Áridos

Los materiales áridos son el producto del desgaste y deterioro de las rocas, su principal característica es la estabilidad química, resistencia y tamaño.

De acuerdo con Herrera y Ortiz (2006), se señala que “Estos materiales toman gran importancia al contribuir en la calidad de vida y el desarrollo socioeconómico de cada país, gracias a la variedad de usos a los cuales están destinados; sin embargo, para que estos materiales se los considere como áridos de construcción deben cumplir a las siguientes características”:

- Deben presentar una formación natural o artificial
- Ser inertes y con características sólidas
- Presentar una estructura granulométrica definida a nivel visual y mecánica.

- Que tengan la facilidad de mezclarse con aglomerantes o elementos bituminosos para la generación de subproductos

Clasificación de los áridos según su origen y naturaleza

- Áridos naturales
- Áridos artificiales
- Áridos reciclados
- Áridos ligeros
- Asimilados a áridos

Tabla 3 Clasificación de Áridos según su tamaño

Nombre	Tamaño en mm
Escollera	≥200
Cantos gruesos	100-200
Cantos medios	20-100
Grava	02 -200
Arena	0,02-2
Limo	0,002-0,02
Arcilla	≤0,002

Fuente: (Herrera & Ortiz, 2006)

Figura 4 Áridos



Fuente: (Horiglass, 2024)

2.6.2 Pétreos

Los materiales pedregosos son la desintegración del producto rocosos original, su origen es magmáticos, y tiene una resistencia alta la meteorización y erosión.

2.6.3 Lastre

Dentro de los materiales de construcción, también se emplea el término “lastre” para designar a aquellos materiales resquebrajados que se encuentran meteorizados en la superficie, siendo los mismos, una combinación de materiales granulares constituidos por grava y arena de mala calidad para hormigones y asfaltos (Asobanca, 2022)

Este tipo de material, por la combinación de sus materiales de diferente granulometría es usado para el lastrado de vías debido al reacomodamiento que adoptan las partículas al momento de conformar la vía. Este también es usado como material de relleno en obra civil.

2.7 Estabilidad de taludes

La estabilidad de taludes constituye una rama de la ingeniería geotécnica cuyo objetivo es analizar y modelar matemáticamente las condiciones de estabilidad de los taludes naturales, así como evaluar la seguridad y funcionalidad de los taludes artificiales diseñados para obras de ingeniería (Albarracin & Aucay, 2024).

Los elementos claves a considerar para el análisis de estabilidad de taludes son:

- Factor de seguridad: es la relación entre la resistencia al corte disponible del macizo rocoso y la resistencia al corte requerido para mantener el equilibrio del talud. (Bishop, 1955).
- Criterio de aceptabilidad: este elemento mide el rango, en el que se puede someter una falla (bajas, moderadas y altas), tomando en consideración las posibilidades de tener un error porcentual.

Tabla 4 Criterio de Aceptación; Estabilidad de Taludes

Criterios de aceptación		
Consecuencia de la falla	Factor de seguridad mínimo	Probabilidad de Falla
Bajas	1,2-1,3	15-20%
Moderadas	1,3	10%
Altas	1,3-1,5	5%

Fuente: (Bishop, 1955)

- Rotura o fallamiento: Son roturas que se generan en el talud las cuales como consecuencia producen deslizamiento.
- Superficie de falla: Es la superficie en donde se pueden generar posibles fallas o roturas.

2.8 Software para modelamiento

2.8.1 Recmin

El módulo de dibujo de RecMin es un Sistema de Información Geográfica 3D puro, trabaja con información georreferenciada logrando incorporar ficheros ráster o vectoriales GIS y con edición fácil e intuitiva en 3D, lo que lo hace un sistema competitivo en el mercado (Argispro, 2024)

Figura 5 Software Minero RECMIN



Fuente: (Argispro, 2024)

2.8.2 AutoCAD

El software AutoCAD permite crear y manipular modelos geométricos complejos, generar dibujos detallados, realizar diseños bidimensionales y tridimensionales, crear

superficies y objetos de malla permitiendo visualizar la creación desde todos los ángulos, optimizando el trabajo manual (Autodesk, 2024).

Figura 6 AutoCAD



Fuente: (Autodesk, 2024)

2.9 Maquinaria utilizada en el libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”

2.9.1 Excavadora

El GAD Parroquial de San Juan., cuenta con una excavadora CAT320, con capacidad de cucharón de 1m³, la cual ha sido utilizada en trabajos previos. Por ello para la ejecución de este proyecto se aprovechará la maquinaria disponible.

Tabla 5 Especificaciones CAT 320 – Cucharon 1m3

Especificaciones CAT 320 – Cucharón 1 m³	
Característica	Valor
Capacidad del cucharón	1 m³ (General Duty)
Profundidad máx. de excavación vertical	5 190 mm
Peso operativo	≈ 22 000 kg
Potencia del motor	121 kW (162 HP)
Modelo de motor	Cat C4.4 ACERT
Fuerza de excavación del cucharón	≈ 104 kN
Fuerza de excavación del brazo	≈ 71 kN

Longitud del brazo	2.8 – 3.2 m (según configuración)
Ancho general	2.8 – 3.0 m
Altura máxima de descarga	5.9 – 6.5 m (según configuración)

Fuente: (Caterpillar Inc., 2025)

2.9.2 Volquete

El volquete que se recomienda para el frente de trabajo es un Hino 700 serie.

Tabla 6 Especificaciones técnicas — Camión Volquete Hino 700 (12–14 m³)

Especificaciones Técnicas — Camión Volquete Hino 700 (12–14 m³)	
Marca y Modelo	Hino 700 Serie (Volqueta 6×4)
Capacidad de Carga Aproximada	12–14 m³
Motor	Diesel, 6 cilindros en línea, 12.913 cc, turbo con intercooler
Potencia Máxima	≈410 hp a 1.800 rpm
Torque Máximo	≈1.903 Nm a 1.100 rpm
Norma de Emisiones	Euro 3
Configuración del Chasis	6×4
Peso en Vacío del Chasis	aprox. 8670 kg
Dimensiones Principales	Largo ~7625 mm, Ancho ~2490 mm
Transmisión y Frenos	Manual, pesada con frenos de aire

Fuente: (Hino Motors Philippines., s.f.)

2.9.3 Excavadora CAT 320

1. Capacidad adecuada al ciclo de carga: El balde de la CAT 320 (1–1.2 m³) permite llenar el volquete de 12–14 m³ en 10–12 ciclos, optimizando productividad.

2. Potencia y torque suficientes para transportar material pesado en terrenos difíciles.

3. Configuración 6×4 que aporta tracción y estabilidad.

4. Buen balance entre capacidad y maniobrabilidad.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS GEOMECÁNICO

3.1 Determinación del contenido de humedad natural

El contenido de humedad es una de las propiedades más importantes de los suelos, porque este representa la vinculación entre el agua, los poros del suelo y la masa de los sólidos de este. Este parámetro es primordial en la mecánica de los suelos, ya que esta incide de forma directa en las propiedades físicas del material.

La determinación del contenido de humedad se realizó siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D2216-10. En este método, la muestra de suelo se seca en un horno a una temperatura estándar de 110 ± 5 °C durante aproximadamente 24 horas, hasta alcanzar una masa constante, permitiendo así determinar la masa del agua contenida en la muestra.

Una vez obtenidos los datos experimentales, el contenido de humedad se calcula mediante la siguiente ecuación: (ASTM International, 2019)

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} \times 100$$

Donde:

W= Contenido de humedad de la muestra.

.m1= masa del recipiente en gramos.

.m2= masa del recipiente y del suelo húmedo (g).

.m3= masa del recipiente y del suelo seco (g) después de 24h al horno.

Basados en la ecuación 1 tenemos los siguientes resultados.

Con base en la ecuación anterior, se calcularon los valores de contenido de humedad para cada muestra analizada.

Tabla 7 Contenido de humedad natural del suelo según ASTM D2216-10

Humedad natural (ASTM D2216-10)						
N° tarro	N° golpes	Peso húmedo (g)	Peso seco (g)	Peso tarro (g)	% Humedad	% Promedio
		m2	m3	m1		
45	----	69.40	62.53	6.71	12.3	
15	----	82.43	74.09	4.56	12.0	12.2

Fuente: Elaboración propia

3.2 Determinación de la gravedad específica

Este elemento estudia la relación entre la densidad de las partículas sólidas que están en suspensión y la temperatura en la que se encuentra el agua destilada 4°C su simbología es (Gs). Este parámetro es ampliamente utilizado en mecánica de suelos para la determinación de propiedades físicas como la relación de vacíos, grado de saturación y peso unitario del suelo.

La determinación de este parámetro se realizó siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D854, la cual establece el método para determinar la gravedad específica de los sólidos del suelo mediante el uso de un matraz volumétrico o picnómetro.

La gravedad específica se calcula mediante la siguiente ecuación: (ASTM D854-14 , 2023)

$$G_s = \frac{m_s}{m_{fw} - m_{fsw} + m_s}$$

Donde:

. mfw = masa del matraz con agua hasta la marca de enrase.

. mfsw = masa del matraz con agua y suelo.

. ms = masa de los sólidos de suelo.

Procedimiento experimental

Para la determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo se siguieron los siguientes pasos:

- El material fue triturado y tamizado hasta obtener material pasante de la malla No. 200, con el fin de trabajar únicamente con la fracción fina del suelo.
- Se pesaron 70,05 g de suelo seco pasante de la malla No. 200.
- Se determinó la masa del matraz volumétrico con capacidad de 250 ml, lleno con agua destilada hasta la marca de enrase, obteniendo 346.68 g.
- Posteriormente, se introdujo la muestra de suelo en el matraz volumétrico con capacidad de 250 ml en el cual previamente se añadió agua destilada hasta alcanzar el volumen de enrase.
- La mezcla fue agitada durante aproximadamente 15 minutos con el fin de eliminar el aire atrapado entre las partículas del suelo.
- Luego, se realizó un baño María durante 15 minutos, con el objetivo de remover completamente las burbujas de aire presentes en la mezcla.
- Finalmente, se registró la masa del matraz con la mezcla de suelo y agua, obteniéndose un valor de 391,44 g.

Con los datos obtenidos se procede al cálculo de la gravedad específica de los sólidos del suelo (G_s).

Tabla 8 Datos para obtener la gravedad específica

Parámetro	Valor
Masa del suelo (ms)	70.05 g
Masa matraz + agua (mfw)	346.68g
Masa matraz + suelo + agua (mfsw)	391.44 g
Gravedad específica (Gs)	---

Fuente: Elaboración propia.

$$G_s = \frac{70,05}{(346,68 + 70,05) - 391,44} = 2,77$$

3.3 Análisis granulométrico

Según la ASTM D422 (2007), el análisis granulométrico de suelos permite determinar la distribución del tamaño de partículas mediante tamizado e hidrometría, la misma describe el procedimiento empleado, la cual ayuda a obtener los valores en porcentajes del suelo, ya que estos traspasan por varios tamices con diámetros diferentes, hay que destacar que la última malla de tamizado es de 74 mm (N° 200).

Los resultados obtenidos del análisis granulométrico mediante tamizado se presentan en la Tabla 9. En ella se muestran los valores correspondientes al peso retenido en cada tamiz, el peso retenido acumulado, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje acumulado que pasa, parámetros necesarios para la construcción de la curva granulométrica del suelo.

La muestra analizada presentó un peso total inicial de 500 g, el cual fue sometido a un proceso de lavado para remover la fracción fina adherida a las partículas, obteniéndose

un peso de 303 g después del lavado. La diferencia corresponde al material fino perdido durante el proceso de lavado y tamizado, equivalente a 197 g.

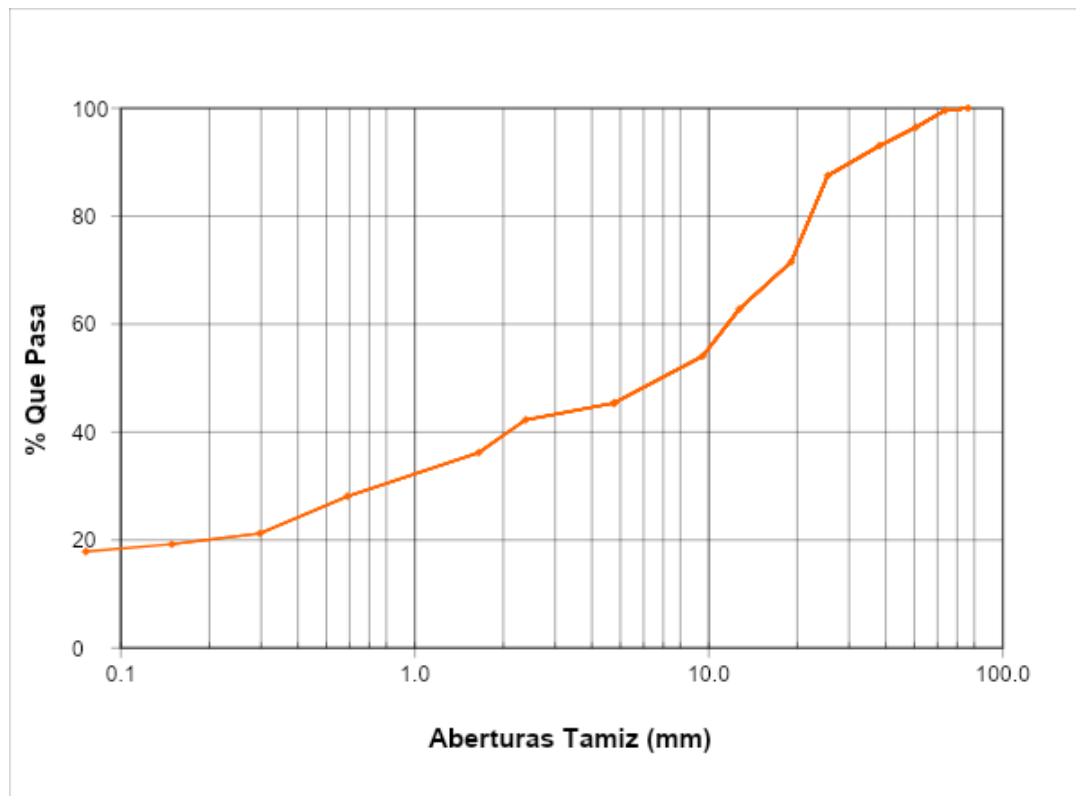
Los resultados obtenidos permiten posteriormente construir la curva granulométrica

Tabla 9 Resultados del análisis granulométrico por tamizado

Tamiz		Peso retenido parcial (g)	Peso retenido acumulado (g)	% retenido acumulado	% acumulado que pasa
No.	(mm)				
3"	76.2	0	0	0	100
2 1/2"	63.5	125	125	0.44	99.56
2"	50.8	878	1003	3.5	96.5
1 1/2"	38.1	987	1990	6.94	93.06
1"	25.4	1589	3579	12.49	87.51
3/4 "	19.05	4587	8166	28.49	71.51
1/2 "	12.7	2500	10666	37.21	62.79
3/8 "	9.525	2500	13166	45.93	54.07
Nº 4	4.76	2500	15666	54.65	45.35
<Nº 4	4.76	13000	13000	45.35	45.35
Nº 8	2.38	34	34	57.7338	42.2662
Nº 16	1.65	67	101	63.8107	36.1893
Nº 30	0.59	89	190	71.883	28.117
Nº 50	0.297	76	266	78.7762	21.2238
Nº 100	0.149	22	288	80.7716	19.2284
Nº 200	0.076	15	303	82.1321	17.8679
<Nº 200	< 0,076	197	197	17.8679	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			28666	Cuarteo	
Peso total antes del lavado					500
Peso total después del lavado					303
Peso perdido por lavado y tamizado					197

Fuente: (Elaboración propia)

Figura 7 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

La composición granulométrica del material se determinó a partir de los resultados del ensayo de análisis granulométrico realizado conforme a la norma ASTM D422.

Los porcentajes de grava, arena y finos se calcularon en función de los valores de material que pasa por los tamices N°4 (4.75 mm) y N°200 (0.075 mm), de acuerdo con los criterios del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

- Grava (%) = $100 - \% \text{ que pasa el tamiz N}^\circ 4$
- Arena (%) = $\% \text{ que pasa N}^\circ 4 - \% \text{ que pasa N}^\circ 200$
- Finos (%) = $\% \text{ que pasa el tamiz N}^\circ 200$

A partir de los resultados obtenidos se determinó la siguiente composición del material:

Tabla 10 Composición de la muestra

GRAVA	58 %
ARENA	27 %
FINOS	15 %

Fuente: Elaboración propia

3.4 Limite líquido

El límite líquido es el contenido de agua en porcentaje de un suelo en el límite arbitrariamente definido entre los estados semilíquido y plástico. El límite líquido se determina realizando ensayos en los cuales una porción del espécimen es esparcida en una copa de bronce dividida en dos por una herramienta y luego es dejada fluir debido a los impactos causados por caídas repetidas de la copa en un dispositivo mecánico estándar (ASTM International, 2017).

Tabla 11 Resultados del cálculo del límite líquido

Límite líquido (ASTM D4318)						Promedio (%)
N° tarro	N° GOLPES	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	HUMEDAD (%)	
84	40	31	24.37	3.15	31.3	34.9
71	31	21.5	17.3	5.17	34.6	
3	25	27.54	22.15	7.29	36.3	
3114	11	18.14	15.15	7.33	38.3	

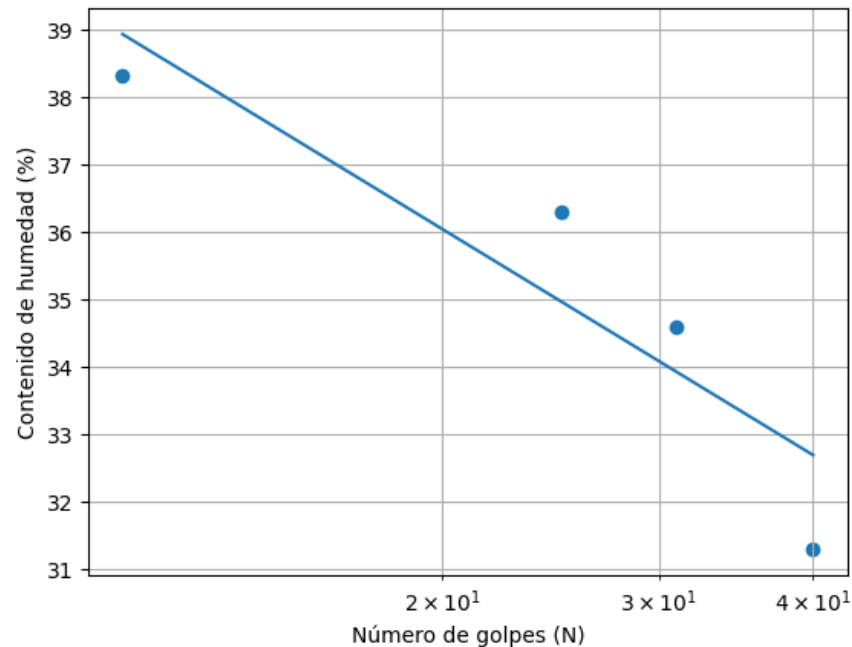
Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en el ensayo de límite líquido se construyó la curva de flujo, en la cual se relaciona el contenido de humedad con el logaritmo del número

de golpes. De acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM D4318, el límite líquido corresponde al contenido de humedad asociado a 25 golpes.

Mediante la interpolación de los datos experimentales se determinó un límite líquido aproximado de 35 %.

Figura 8 Curva de flujo para la determinación de límite líquido



Fuente: Elaboración propia

3.5 Límite plástico

El límite plástico es el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en el límite entre los estados plástico y semisólido.

El límite plástico se determina presionando la masa del suelo y formando con ella (rodándola) un hilo de 3.2 mm (1/8 de pulgada) de diámetro una pequeña porción de suelo plástico hasta que su contenido de agua sea reducido a un punto en el cual el hilo se quiebre y ya no pueda ser presionado y enrollado (ASTM International, 2017).

3.5.1 Procedimiento

- De la fracción que pase la malla No. 40 se toma 45 gramos de suelo el mismo que será mezclado con una espátula mientras se añade agua hasta que adopte una consistencia suave y uniforme.
- Colocar la masa de suelo elipsoidal sobre una placa de vidrio, (o una superficie lisa no absorbente), y moldear el suelo con una presión suficiente para formar con el mismo un rollo de 3.2 mm (1/8”), por 2 minutos.
- Hay que desatacar que si el cordón cilíndrico a los 3.2 mm de diámetro, no se observa fisuras o signos de desgranamiento, hay que almacenar el cordón y moldearlo con los dedos y repetir el proceso, para así ayudar al ensayo aun cuando el rollo del suelo tenga fisuras antes de llegar a los 3.2 mm de diámetro.
- En este paso se repite el proceso hasta reunir las porciones fisuradas de rollos de suelo de 6 gramos de masa mínima cada uno y después insertarlos en envases húmedos, por lo que se tiene que tomar 6 porciones de suelo de 2 gr para ejecutar el ensayo.

3.5.2 Ensayo límite plástico

Tabla 12 Resultado obtenido del cálculo del límite plástico

Límite plástico (ASTM D4318)						
N° tarro	N° GOLPES	PESO HÚMEDO (g)	PESO SECO (g)	PESO TARRO (g)	HUMEDAD (%)	PROMEDIO (%)
10	----	16.45	14.64	7.4	25	25.1
53	----	13.88	12.52	7.11	25.1	
9	----	14.05	12.08	4.22	25.1	

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentará una tabla resumen de las propiedades del material.

Tabla 13 Resumen de las propiedades del material

HUMEDAD NATURAL:	12.2	%
LÍMITE LÍQUIDO:	34.87	%
ÍNDICE PLÁSTICO:	9.79	

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Ensayo de compactación

Para ejecutar el ensayo de compactación se tiene que determinar la correlación entre la humedad y el peso por unidad en seco del suelo, con la finalidad de identificar la humedad óptima del material para así alcanzar su máxima densidad seca. Este ensayo se realizó conforme al método AASHTO T 180, el cual consiste en compactar el suelo en un molde de volumen conocido mediante la aplicación de energía controlada, distribuida en varias capas. El procedimiento consiste en colocar el suelo en el molde en cinco capas, aplicando 56 golpes por capa con un pisón que cae desde una altura estandarizada. Posteriormente, se determina el peso del suelo compactado para calcular su densidad.

Tabla 14 Especificaciones de la muestra y materiales.

MÉTODO DEL ENSAYO	MOLDE #	A	PESO	6621	g.
ASSTHO T-180	# DE CAPAS:	5	VOLUMEN	2.125	cm ³ .
CLASE A	# DE GOLPES:	56	DIÁMETRO	6	pulgadas

Fuente: Elaboración propia

- **Densidad:** A partir del peso del suelo compactado y el volumen del molde, se determinó la densidad húmeda de cada muestra. Posteriormente, utilizando el contenido de humedad, se calculó la densidad seca.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15 Resultados de la densidad

DENSIDAD				
MUESTRA N°	1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE (g)	10.321	11.039	11.379	10.833
DENSIDAD HÚMEDA (kg/m ³)	1.741	2.079	2.239	1.982
DENSIDAD SECA (kg/m ³)	1.580	1.854	1.958	1.700

Fuente: Elaboración propia.

- **Humedad** El contenido de humedad de cada muestra fue determinado de acuerdo con la norma ASTM D2216-10.

Los resultados se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16 Resultados humedad

% DE HUMEDAD				
MUESTRA N°	1	2	3	4
NUMERO DE TARRO	56	47	66	46
PESO HÚMEDO +TARRO	83,57	64,94	30,43	31,3
PESO SECO +TARRO	78,3	60,76	30,26	31,1
PESO TARRO	26,67	26,34	29,07	29,88
% DE HUMEDAD	10,2	12,1	14,4	16,6
PROMEDIO % HUMEDAD	10,2	12,14	14,36	16,58

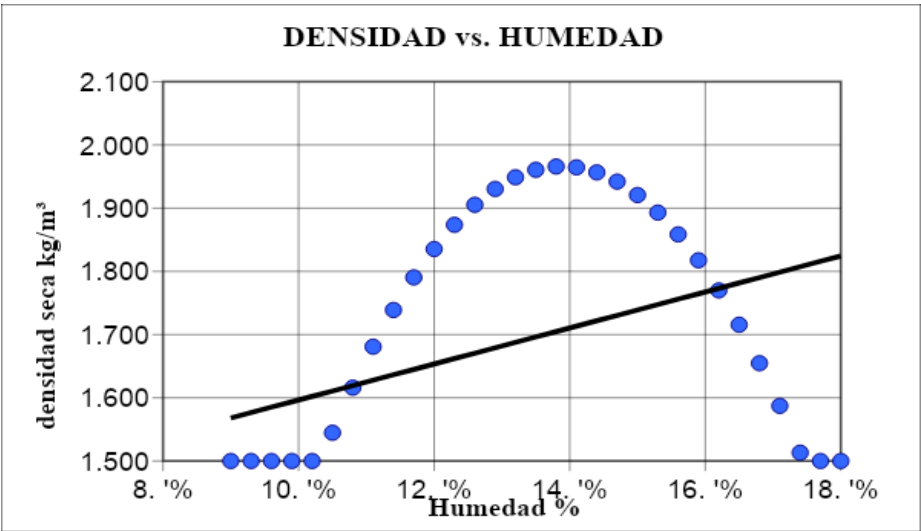
Fuente: Elaboración propia

A partir de los valores de densidad seca y contenido de humedad, se construye la curva de compactación, la cual permite determinar:

- Densidad seca máxima
- Humedad óptima

En el presente ensayo, se observa que la densidad seca máxima corresponde aproximadamente a 1.958 kg/m³, asociada a un contenido de humedad cercano al 14.4 %, lo que representa la humedad óptima del suelo.

Figura 9 Curva densidad seca vs humedad



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17 Resultados densidad vs humedad

MÁXIMA DENSIDAD:	1.958	kg/m³.
ÓPTIMA HUMEDAD:	14,36	%

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

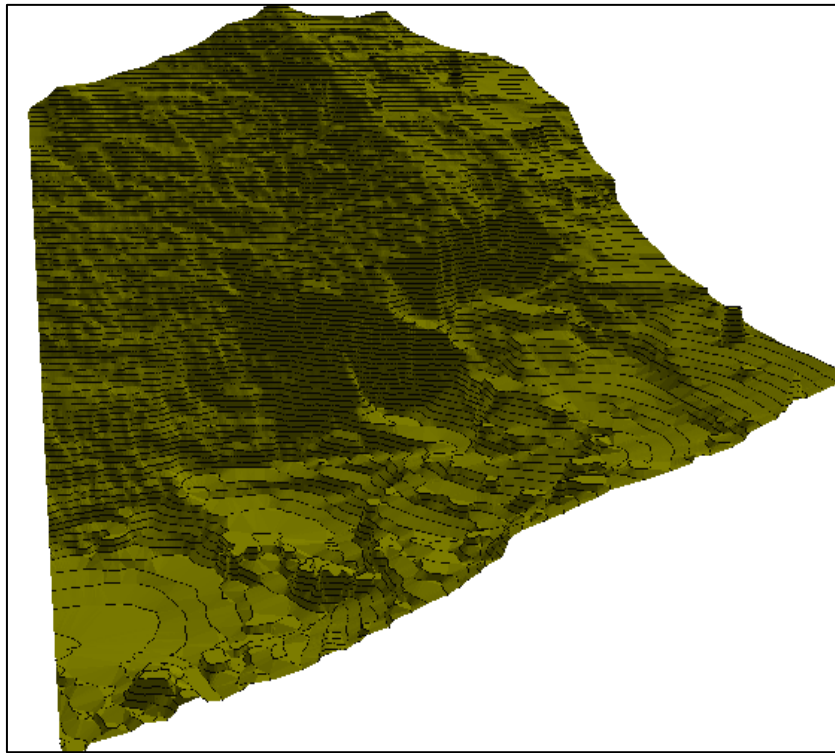
DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

4.1 Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico de la zona fue realizado por cuenta propia de los estudiantes que están encargados de la realización de este proyecto; la topografía está a escala 1:2500.

En base a dicha topografía se trabajó en el rediseño de explotación para el libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”

Figura 10 Topografía inicial, libre aprovechamiento “Peña Blanca”



Fuente: Elaboración propia

4.2 Resistencia a la compresión simple

Para obtener la tenacidad de la roca comprimida, se tiene que ejecutar un ensayo uniaxial o de compresión simple. Este ensayo permite clasificar a la roca por su resistencia

y determinar su deformabilidad (Hernández & Santamaria, 2015). El ensayo se aplicó a 5 muestras de material rocoso obtenidas in situ, a las que se les aplicó progresivamente fuerza axial hasta que se produjo su rotura.

Tabla 18 Resultados de la compresión simple

Muestra	Área (cm ²)	Carga máxima (Kgf)	Resistencia a la compresión simple (kgf/cm ² - MPa)
1	31,22	5.785	185,29 – 18,17
2	15	3.812	254,13 – 24,92
3	15,5	1.002	65 – 6,37
4	23,76	1.173	49,4 – 4,8
5	14,4	2.168	124,6 – 12,21
Promedio R.C.S			135,68 – 13,3

Fuente: Elaboración propia

4.3 Factor de seguridad (FS)

El elemento trabaja sobre la resistencia del material y las fuerzas que actúan actuantes sobre el mismo. Por tanto, si el FS es mayor que 1.0 se considera que se tiene una condición estable, si el FS es igual a 1.0 se contempla un estado de equilibrio límite o falla incipiente, por el contrario, si el FS es menor que 1.0 ya se presenta una inestabilidad y riesgo (Pérez, 2005)

En este caso el factor de seguridad es 1.73 por ende se lo considera estable, este valor se determinó en base a la siguiente ecuación.

$$\eta = \sqrt[n]{\frac{T+b}{a}}$$

En donde:

- n: Coeficiente de estabilidad del talud del bando

- N: índice de dependencia de la roca y grado de meteorización
- T: Tiempo de existencia de borde de la cantera
- a, b: coeficientes de dependencia de la calidad de la roca.

Cabe señalar que los resultados a, b y N se obtienen de la tabla (19) la cual establece que los datos se caracterizan por el macizo y los ángulos de trabajo.

Tabla 19 Características de la roca según el grado de talud de borde

Características de la Roca	Ángulo de talud del borde, grados								
	10°-30°			30°-60°			> 60°		
	a	B	N	A	B	N	a	b	N
Homogéneas, frágiles sin debilitamiento	1.2	0.9	6	1.17	0.92	5,2	1.15	0.95	4.8
Continuas, poco fracturadas con cohesión, poco frágil	1.15	0.88	5.5	1.08	0.87	4.8	1.1	0.86	4.6
Continuas, fracturadas con ligazón estructural, frágil moderada	1.05	0.8	5.5	1.03	0.82	4.6	1.05	0.8	4.2
Heterogéneas de estructura blocosa con distribución muy irregular de las tensiones en el macizo	1.05	0.8	4.5	1.02	0.75	4.3	1.0	0.7	4.0

Fuente: (Sosa, 1980)

Datos:

$$\eta = \sqrt[4.3]{\frac{10 + 0.75}{1.02}}$$

$$\eta = 1.73$$

El factor de seguridad resultante fue de 1.73

4.4 Profundidad de la cantera

Para el cálculo de la profundidad máxima de la cantera, se toma como referencia los parámetros geotécnicos, topográficos y económicos del área a trabajar. Donde la investigación ha definido a la profundidad de la cantera en base a la relación que presenta las cotas, es decir analiza a la cota máxima menos la cota mínima.

Datos:

$$Hc = Cota\ superior - Cota\ Inferior$$

$$Hc = 2528 - 2463$$

$$Hc = 65\ m$$

La profundidad de la cantera fue de 65 m.

4.5 Coeficiente de Protodyakonov

Protodyakonov clasifica a las rocas con base a su resistencia a la compresión (f). Para el caso de estudio. (Hernández & Santamaria, 2015)

$$f = \frac{\text{Resistencia a la compresión simple}}{100}$$

$$f = \frac{13.30}{10}$$

$$f = 1.33\ MPa$$

4.6 Ángulo de talud de los bancos

Es el ángulo que forma el talud del banco con el pie del banco, se lo determina en función de la calidad del macizo rocoso.

Donde:

ϕ : Ángulo del talud.

f: Coeficiente de Protodyakonov.

$$\begin{aligned}\phi &= \arctg(f) \\ \phi &= \arctg(1.33) \\ \phi &= 59.76 = 60^\circ\end{aligned}$$

4.7 Altura de banco

La altura de banco se encuentra limitada por la maquinaria; al no estar en operaciones en el lugar, se recomienda utilizar una excavadora modelo CAT320, misma que cuenta con una altura de brazo de 5 m. Por lo que hemos optado por realizar bancos de 5 m de altura.

Tabla 20 Resultados de la compresión simple

Excavadora	
Marca	Caterpillar
Modelo	320C
Capacidad de cucharon	1 m3
Tipo de Combustible	Diésel
Profundidad máxima de excavación vertical	5190 mm



Fuente: (Caterpillar Inc., 2025)

4.8 Número de Bancos

El número de bancos se calcula a partir de la siguiente ecuación, en donde influye la altura del banco (Hb) y la profundidad de la cantera (Pf).

$$Nb = \frac{Pf}{Hb}$$

$$Nb = \frac{65}{5}$$

$$Nb = 13 \text{ Bancos}$$

El total de bancos es de 13.

4.9 Berma de seguridad (BS)

Este elemento es la dimensión superficial a nivel axial que se mide desde el ápice hasta la cresta del talud y la vía. El cálculo y diseño de esta variable se realiza bajo la probabilidad existente de vibraciones que se producen por la maquinaria, lo cual puede derivar al colapso o deslizamiento del macizo rocoso (Pérez, 2005).

Al igual hay que señalar que la berma se vincula con la altura del banco (Hb) y se computa por la siguiente ecuación.

$$B = 0.2Hb + 4.5$$

$$B = 0.2(5) + 4.5$$

$$B = 5.5 \text{ m}$$

La berma de seguridad tiene un ancho de 5.5m

4.10 Ancho de la vía

Esta se calcula por el ancho que presenta la maquinaria que tiene mayor dimensión en el proyecto, este cálculo es necesario porque las maquinarias, tiene que tener una movilidad absoluta y sin escollos.

$$T = a * (0.5 + 1.5 * n)$$

Donde:

T: Ancho de la vía (m).

a: Ancho del vehículo de mayor dimensión (Volqueta = 2.5 m).

n: Número de carriles= 1

$$T = 2.5 * (0.5 + 1.5 * 1)$$

$$T = 5 \text{ m}$$

Para este caso el ancho de la vía tiene que ser menor al de la berma de seguridad, porque hay que considerar las características geotécnicas, seguridad y demás elementos que puedan influir en su trabajo por lo que se recomienda trabajar con un espesor de 7 m.

4.11 Espacio de maniobras para la excavadora

Se calcula por la dimensión que presenta el ancho de la excavadora

$$C = 1.5 * Ae$$

Donde:

C: Espacio de maniobra de la excavadora (m)

Ae: Ancho de la excavadora CAT320 = 3 m

$$C = 1.5 * 3$$

$$C = 4.5 \text{ m}$$

El valor obtenido es de 4.5 m, lo que bueno para maniobrar el equipo.

4.12 Ancho del prisma de deslizamiento

Se calcula mediante:

Donde Hb (altura del banco); ϕ (ángulo de talud de bancos)

$$Pd = \frac{Hb}{\tan(\phi)}$$

$$Pd = \frac{5}{\tan(53^\circ)}$$

$$Pd = 3.8 \text{ m}$$

4.13 Ancho de la plataforma de trabajo

Las dimensiones correctas de la plataforma de trabajo tienen que seguir el área de trabajo como la logística. Por tal motivo la plataforma tiene que cumplir con las dimensiones para que esta cumpla con la movilidad pertinente.

Para este procedimiento se emplea la siguiente ecuación:

$$Bpt = A + C + T + B + Pd$$

Donde:

B: Berma de seguridad (m).

T: Ancho de la vía (m).

C: Espacio de maniobra de la excavadora (m).

A: Ancho de la pila de material (3m).

$$Bpt = 3 + 4.7 + 7 + 5.5 + 3.8$$

$$Bpt = 24 \text{ m}$$

4.14 Ángulo del talud del borde de la cantera en trabajo

Este dato se calcula con la siguiente formula:

$$\theta = \arctg = \frac{Hb}{Hb * \cot(\phi) + Bpt}$$

Donde:

ϕ : Ángulo del borde de la cantera en trabajo.

Hb: Altura del banco

α : Ángulo de talud del banco

Bpt: Ancho de la plataforma de trabajo

$$\theta = \arctg = \frac{5}{5 * \cot(53) + 22}$$

$$\theta = 26^{\circ}$$

4.15 Ángulo de liquidación

El ángulo de liquidación se calcula con la siguiente fórmula.

Donde:

αf = ángulo de liquidación

ϕ = ángulo de trabajo

k_s (trabajo) = 1.1 - 1.2

k_s (Final) = 1.7 – 2

$$\alpha f = \frac{\Phi}{K_s}$$

$$\alpha f = \frac{60}{1.7}$$

$$\alpha f = 35.29^{\circ}$$

El ángulo de liquidación resultante fue de 35.29°

4.16 Ancho de las bermas de liquidación

$$Bl = \frac{1}{3} * (Hb)$$

$$Bl = \frac{1}{3} * (5)$$

$$Bl = 1.66m \approx 2m.$$

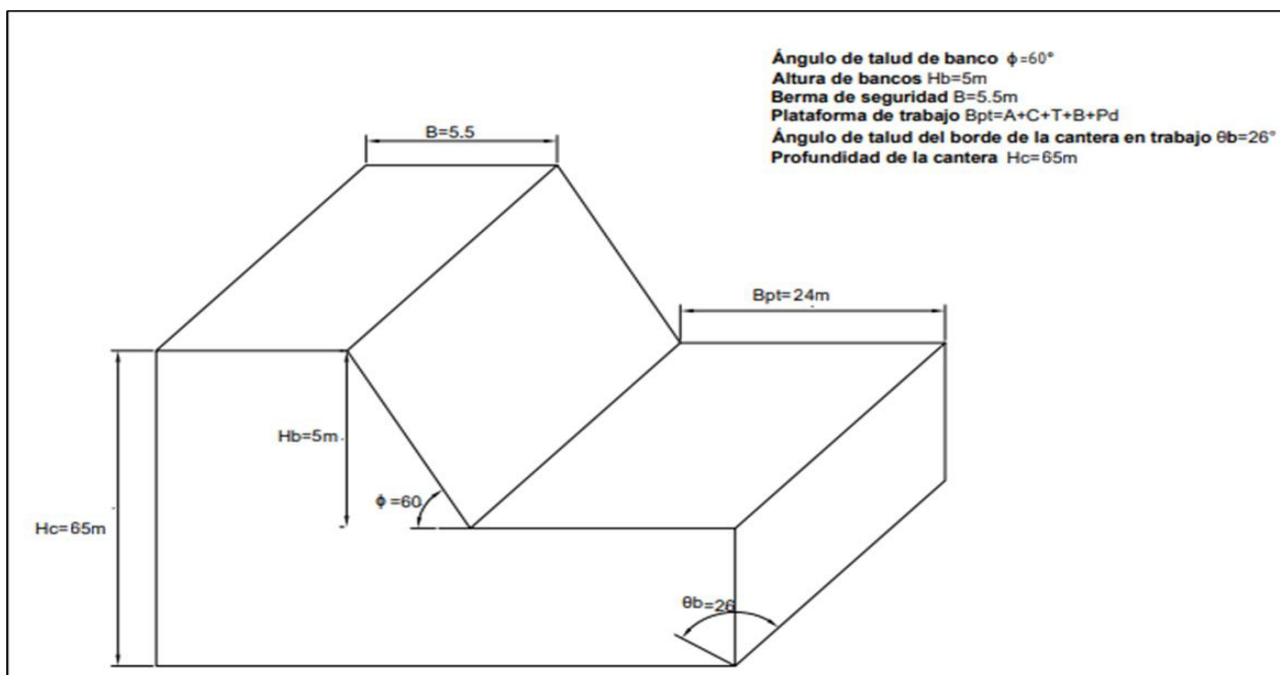
Para el ancho de las bermas de liquidación se obtuvo un resultado de 2m.

Tabla 21 Parámetros para el diseño de cierre de cantera

RESULTADOS DE LOS PARAMETROS PARA EL DISEÑO DE LA CANTERA		
Estabilidad de taludes	η	1.73
Profundidad de la cantera	H_c	65 m
Ángulo de talud de los bancos	ϕ	60°
Altura de banco	H_b	5 m
Número de bacos	N_b	13
Berma de seguridad	B	5.5 m
Ancho de la vía	T	7 m
Espacio de maniobra para la excavadora	C	4.5 m
Ancho del prisma de deslizamiento	P_d	3.8 m
Ancho de la plataforma de trabajo	B_{pt}	24 m
Ángulo del talud del borde de la cantera en trabajo	θ	26°
Ángulo de liquidación	α_f	35.29°
Ancho bermas de liquidación	B_l	2 m

Fuente: Elaboración propia

Figura 11 Medidas del Talud



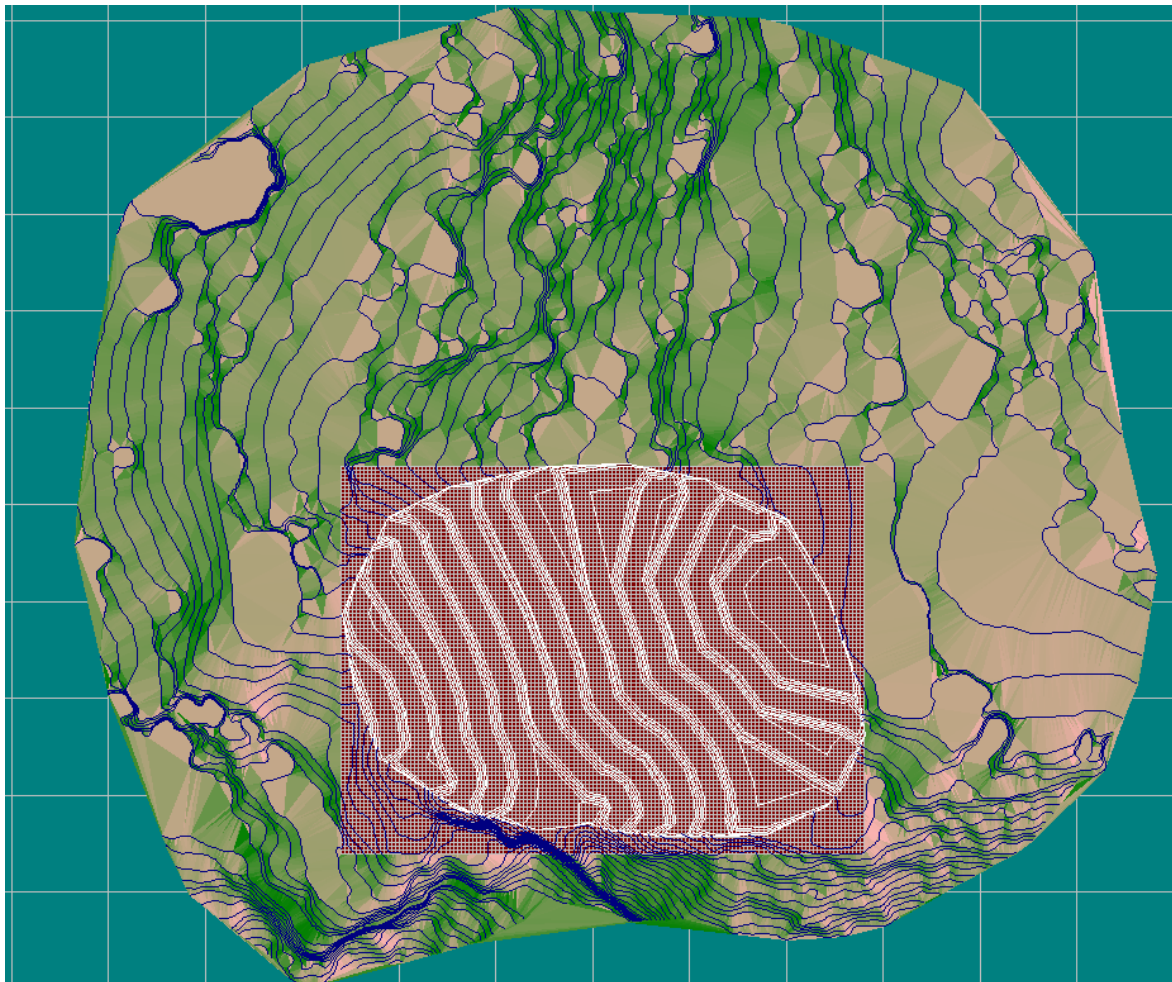
Fuente: Elaboración propia

4.17 Diseño de explotación viable

A continuación, se presenta el diseño de explotación tomando en cuenta todos los parámetros calculados, mismos que indican una solución viable para el área de interés.

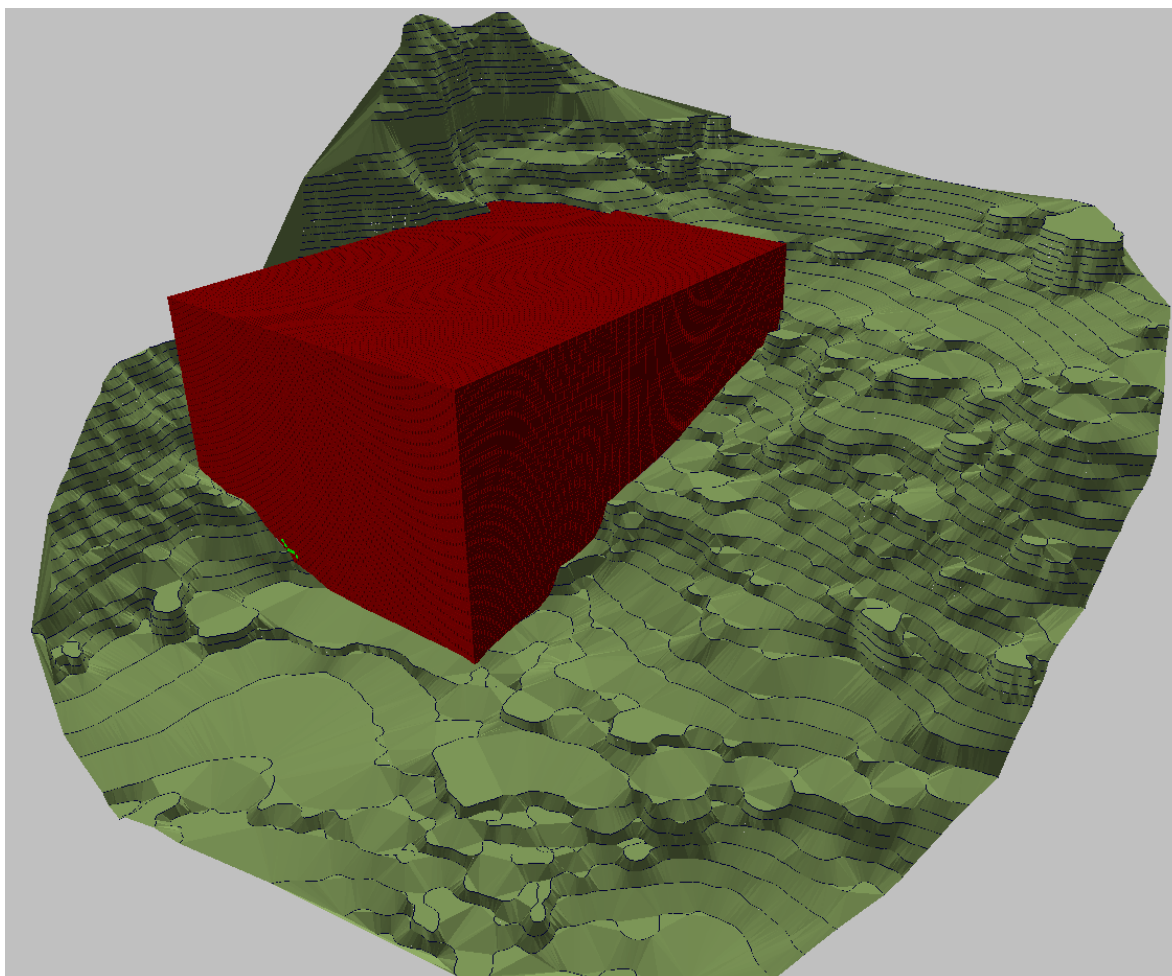
Utilizando el método de bloques hemos obtenido el volumen de explotación final dando un total de 40.344 m^3 . Mismos que serán explotados en 5 fases.

Figura 12 Topografía y área de interés



Fuente: *Elaboración propia.*

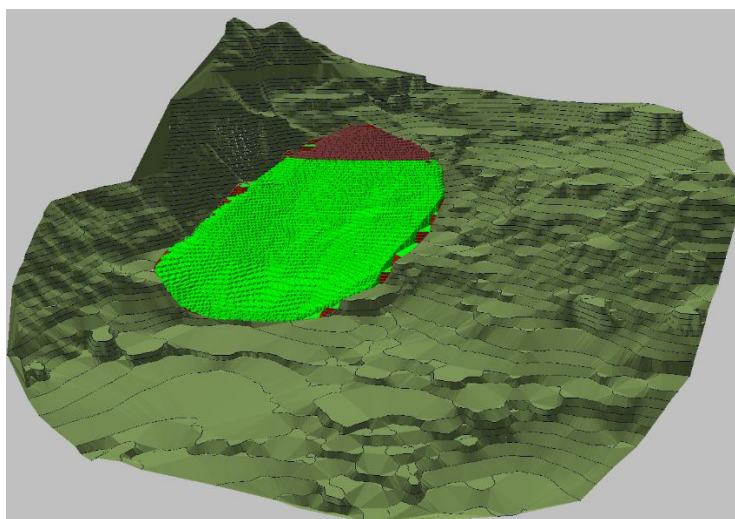
Figura 13 Calculo de explotación



Fuente: *Elaboración propia.*

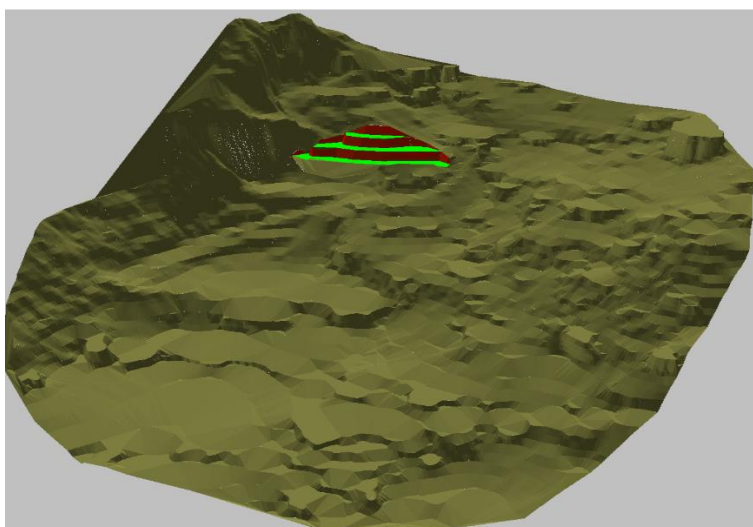
Fase #1. En la etapa inicial del diseño, se determinaron 3 taludes de 5 m de alto, empezando desde la cota 2528 hasta la cota 2513. El volumen explotado en esta fase es de 3515.0 m³.

Figura 14 Cálculo de Volumen Fase 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15 Taludes Fase 1



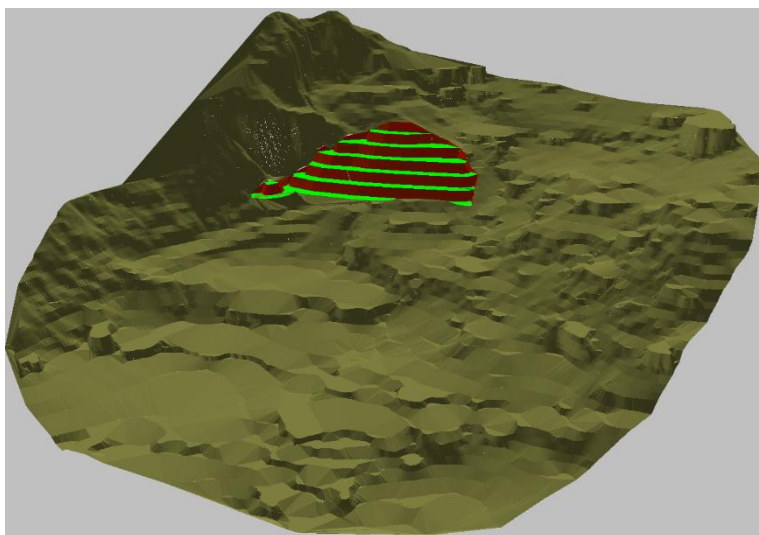
Fuente: Elaboración propia.

Figura 16 Volumen Fase 1

Nº de bloques :	3.515
Volumen :	3.515.0
Peso :	.0

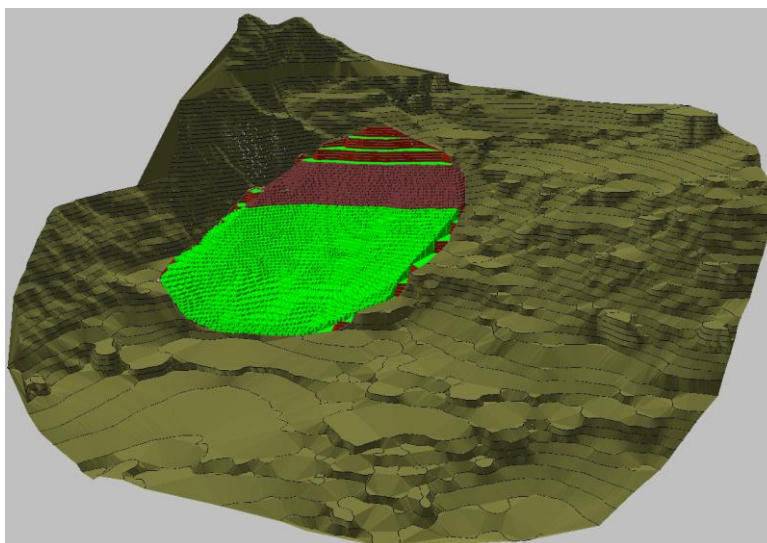
Fuente: Elaboración propia.

Fase #2. En la segunda fase del diseño, se definieron 3 taludes de 5 metros de altura, que se extienden desde la cota 2513 hasta la cota 2498. El volumen extraído durante esta fase fue de 7306.0 m³.

Figura 17 Cálculo de Volumen Fase 2

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18 Taludes Fase 1 y 2



Fuente: Elaboración propia

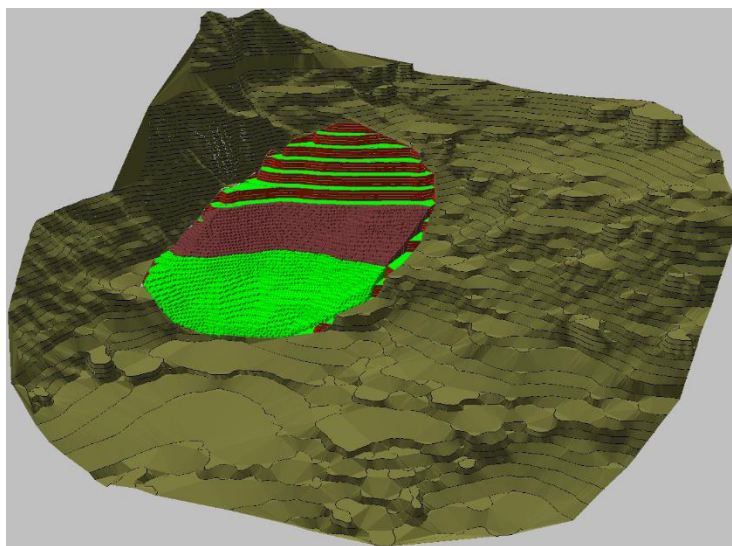
Figura 19 Volumen Fase 2

Nº de bloques :	7,306
Volumen :	7,306.0
Peso :	.0

Fuente: Elaboración propia

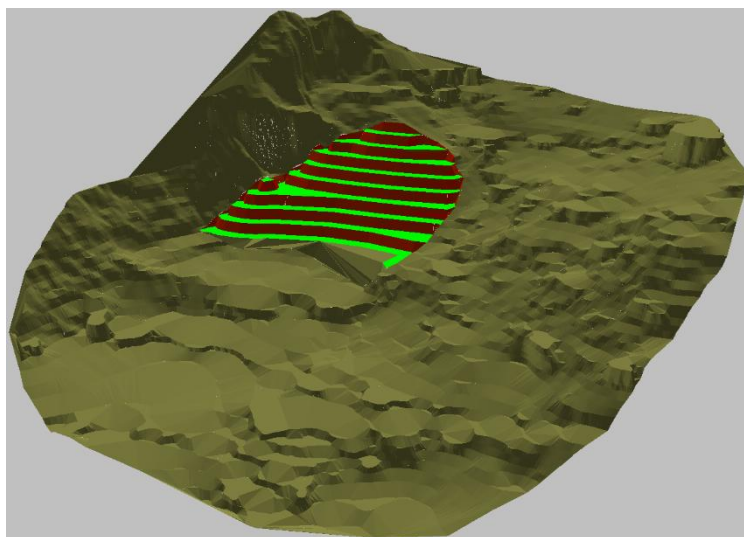
Fase #3. En la tercera fase del diseño, se definieron 3 taludes de 5 metros de altura, que se extiende desde la cota 2498 hasta la cota 2483. El volumen extraído durante esta fase fue de 11477.0 m³.

Figura 20 Taludes Fase 1, 2 y 3



Fuente: Elaboración propia

Figura 21 Cálculo de volumen Fase 3



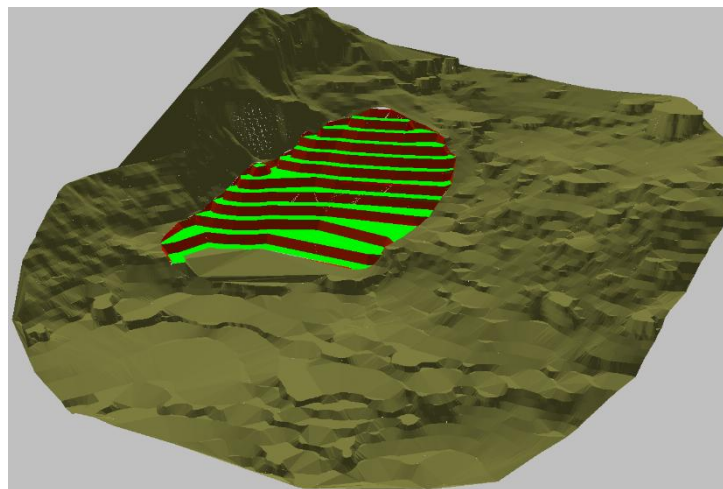
Fuente: Elaboración propia

Figura 22 Volumen Fase 3

Nº de bloques :	11,477
Volumen :	11,477.0
Peso :	.0

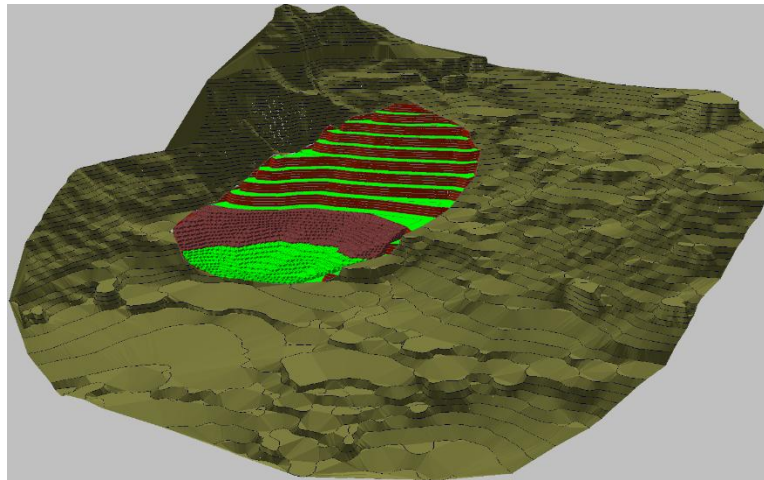
Fuente: Elaboración propia

Fase #4. En la segunda fase del diseño, se definieron 2 taludes de 5 metros de altura, que se extiende desde la cota 2483 hasta la cota 2473. El volumen extraído durante esta fase será de 7855.0 m³.

Figura 23 Cálculo de Volumen Fase 4

Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Taludes Fases 1, 2, 3 y 4



Fuente: Elaboración propia

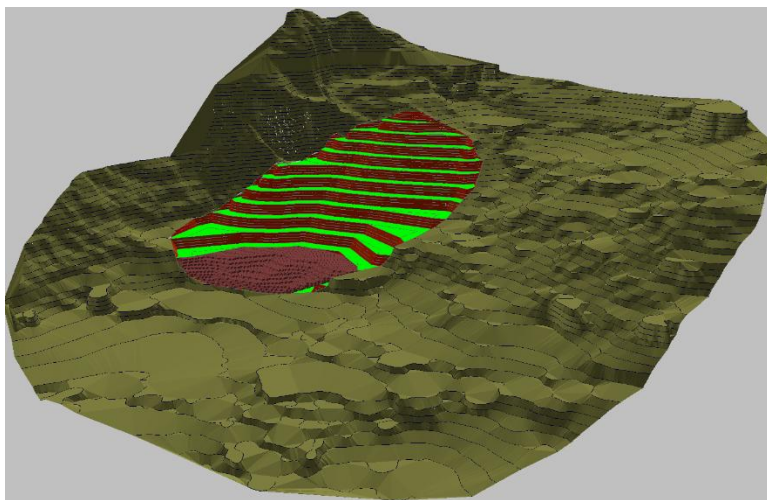
Figura 25 Volumen Fase 4

Nº de bloques :	7,855
Volumen :	7,855.0
Peso :	.0

Fuente: Elaboración propia

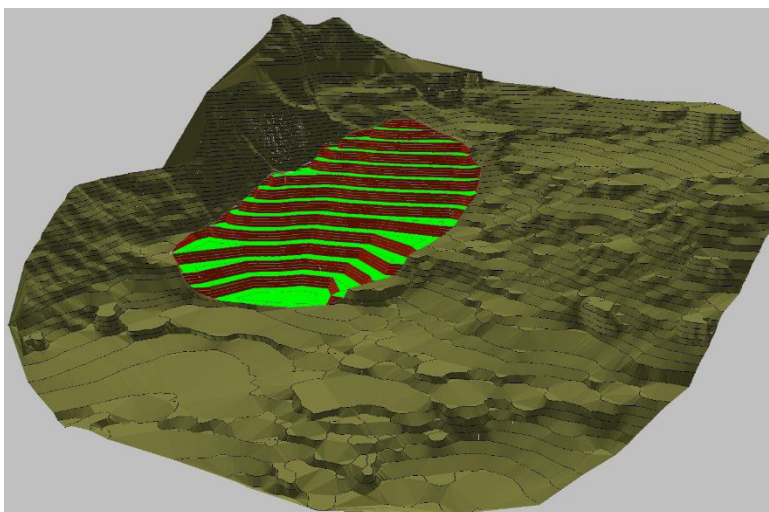
Fase #5. En la quinta y última fase del diseño, se determinaron 2 taludes de 5 metros de altura, desde la cota 2473 hasta la cota 2463. Durante esta fase, se extraerán de 10191.0 m³ de material, realizando así a la recuperación del terreno y a la estabilidad del área.

Figura 26 Cálculo de Volumen Fase 5



Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Pit final



Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Volumen Fase 5

Nº de bloques :	10,191
Volumen :	10,191.0
Peso :	.0

Fuente: Elaboración propia.

4.18 Volúmenes totales

Tabla 22 Volumen Total

Primera Fase	3515.0 m ³
Segunda Fase	7306.0 m ³
Tercera Fase	11477.0 m ³
Cuarta Fase	7855.0 m ³
Quinta Fase	10191.0 m ³
VOLUMEN TOTAL	40344.0m ³

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS

Luego de presentar el diseño de explotación para el libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”, y tomando como base el análisis del estado inicial del macizo rocoso, se determinó que el diseño planteado cumple con requerimientos técnicos. La propuesta considera la estabilidad del macizo y busca garantizar que las labores de extracción se desarrollen de manera segura, con taludes y bermas que permitan un avance ordenado y controlado de la operación.

Durante la realización del proyecto se evaluaron diferentes parámetros como la calidad del macizo, las condiciones del terreno, etc. A partir de estos datos fue posible definir taludes adecuados y establecer medidas que ayuden a reducir riesgos durante la explotación.

Finalmente, el diseño integra criterios técnicos, tales como ángulos de talud compatibles con las características del macizo rocoso, la incorporación de bermas de

seguridad para control de caída de material y acceso operativo, así como una secuencia de explotación que permita un avance progresivo y controlado del frente de trabajo. El planteamiento contempla la minimización del área intervenida, la conformación final de taludes estables y la posibilidad de rehabilitación posterior del sitio. En conjunto, estos aspectos técnicos permiten concluir que la propuesta de explotación es operativamente segura, geotécnicamente estable y ambientalmente viable para el libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A partir de las visitas técnicas realizadas al libre aprovechamiento “Mina Peña Blanca”, se determinó que el yacimiento presenta un estado crítico caracterizado por abandono operativo y evidencias de intervenciones previas ejecutadas sin criterios técnicos adecuados. Estas acciones han generado inestabilidad en el macizo rocoso y la interrupción de la continuidad operativa por parte del GAD Parroquial.

El levantamiento topográfico permitió delimitar con precisión el volumen explotable del yacimiento, estimándose un total de 40.344 m³ de reservas probables. Este volumen constituye una base sólida para planificar un aprovechamiento técnico, ordenado y sostenible del recurso, orientado a satisfacer las necesidades de obras públicas del GAD Parroquial de San Juan.

La caracterización física y mecánica del material evidenció un comportamiento granular mixto, compuesto por 58% grava, 27% arena y 15% finos, lo cual confirma su idoneidad para aplicaciones en obras viales, especialmente en subbases, bases granulares y rellenos compactados.

El análisis de estabilidad de taludes arrojó un factor de seguridad de 1.73, valor que supera el mínimo recomendado para explotaciones a cielo abierto ($FS \geq 1.5$). Este resultado valida la estabilidad del diseño propuesto y garantiza condiciones seguras tanto para el macizo rocoso como para las operaciones mineras proyectadas.

El diseño de explotación se estableció a partir de los parámetros geotécnicos obtenidos en el estudio, definiendo bancos de 5 m de altura, bermas de 5,5 m, un ancho de vía de 7 m, una plataforma de trabajo optimizada y taludes acordes con las condiciones de

estabilidad del macizo. La aplicación de estos parámetros permite mejorar la distribución y aprovechamiento del área de explotación, garantizando condiciones adecuadas de seguridad, estabilidad y eficiencia durante las operaciones mineras.

El plan de explotación se estructuró en cinco fases progresivas, comprendiendo un total de 13 bancos y una profundidad de 65 m, lo que facilita el control de la excavación, reduce riesgos operacionales y favorece el sostenimiento natural del talud durante la vida útil del proyecto.

Finalmente, en función de los volúmenes estimados y la maquinaria propuesta (excavadora CAT 320 y volquetes Hino 700 de 12–14 m³), se proyecta una producción continua y estable durante aproximadamente cuatro años, garantizando el abastecimiento eficiente de material para obras viales. En este contexto, se concluye que el proyecto es técnicamente viable, siempre que se mantengan las condiciones de diseño, seguridad y manejo establecidas, asegurando además una recuperación final acorde con criterios de estabilidad y sostenibilidad ambiental.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un levantamiento topográfico de mayor precisión mediante el uso de estación total o tecnología LIDAR, con el fin de optimizar la representación geométrica del macizo rocoso y actualizar los modelos digitales de terreno.

Evaluar la implementación de diseños de explotación alternativos, como el banqueo ascendente en sectores específicos o la explotación mediante frentes múltiples, en función de posibles variaciones en las condiciones geotécnicas o la incorporación de nueva maquinaria.

Implementar un sistema integral de señalización y control interno dentro del área de explotación, que incluya rutas de circulación, zonas de seguridad, ubicación de maquinaria, puntos de reunión y normativa operativa, con el objetivo de minimizar riesgos y mejorar las condiciones de seguridad.

Realizar ensayos de laboratorio complementarios, tales como resistencia triaxial, durabilidad, abrasión y análisis petrográfico, para profundizar en el conocimiento del comportamiento del material y optimizar su uso en distintas aplicaciones ingenieriles.

Priorizar el uso del material extraído en obras viales, tales como subbases, mejoramiento de vías de tercer orden, rellenos estructurales y estabilización de plataformas, aprovechando sus propiedades granulométricas y mecánicas.

Planificar las operaciones extractivas en un total de 177 semanas de trabajo, considerando jornadas de 5 días laborables y 8 horas diarias, distribuidas de la siguiente manera: 16 semanas para la Fase 1, 32 semanas para la Fase 2, 50 semanas para la Fase 3, 34 semanas para la Fase 4 y 45 semanas para la Fase 5. Esta planificación permitirá un avance controlado, evitando sobreexplotación e inestabilidad del macizo.

Evaluar la incorporación de maquinaria adicional o de mayor capacidad, como cargadores frontales o volquetes de mayor volumen, especialmente en fases avanzadas, con el fin de optimizar la producción y mejorar la eficiencia operativa.

Implementar un plan progresivo de recuperación y cierre por fases, que contemple el control de escorrentías, la revegetación con especies nativas y la estabilización superficial del terreno, garantizando así la sostenibilidad ambiental del proyecto y el cumplimiento de la normativa minera vigente.

BIBLIOGRAFÍA

- Albarracin, D., & Aucay, A. (2024). *Análisis de la suceptibilidad a deslizamientos mediante técnicas geomáticas del cantón Santa Isabel, Provincia del Azuay*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana :
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28063/1/UPS-CT011457.pdf>
- Argispro. (2024). Obtenido de ArcGIS Pro: software SIG para visualización, edición y análisis de datos 2D y 3D: <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- Asobanca. (2022). *Guía de minas y cnateras de material pétreo*. Obtenido de Asobanca:
<https://asobanca.org.ec/wp-content/uploads/2022/12/12.-Guia-Minas-y-Canteras-de-material-petreo.pdf>
- ASTM D854-14 . (2023). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer (Withdrawn 2023)*. Obtenido de <https://store.astm.org/d0854-14.html>
- ASTM International. (2007). *Método de ensayo estándar para el análisis del tamaño de partícula de los suelos*. ASTM International. Obtenido de <https://store.astm.org/d0422-63r07.html>
- ASTM International. (2017). *ASTM D4318-17e1: Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils*. Obtenido de <https://store.astm.org/d4318-17e01.html>

ASTM International. (2017). *Métodos de ensayo estándar para el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos*. ASTM International. Obtenido de <https://store.astm.org/d4318-17e01.html>

ASTM International. (2019). *Métodos de ensayo estándar para la determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo y la roca por masa*. Obtenido de <https://store.astm.org/d2216-19.html>

Autodesk. (2024). *Autodesk AutoCAD: Dibujo 2D y 3D más rápido e inteligente*. Obtenido de AutoCAD overview: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>

Bishop, A. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*, 1(1), 7-17. Obtenido de <https://www.emerald.com/jgeot/article-abstract/5/1/7/400030/The-use-of-the-Slip-Circle-in-the-Stability?redirectedFrom=fulltext>

Caterpillar Inc. (2025). Obtenido de Cat Equipment: <https://www.cat.com/>

Consortio PDOT Paute. (2020). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Paute Diagnóstico*. Obtenido de Consorcio PDOT Paute: <https://www.paute.gob.ec/wp-content/uploads/2025/04/PDOT-PAUTE-2020-DIAGNOSTICO-PROPUESTA-Y-MODELO.pdf>

Ecuador, Asamblea Nacional . (2023). *Ley de Minería*. Obtenido de Suplemento del Registro Oficial 461: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/LEY-DE-MINERIA.pdf>

Espinoza, B., & Ulloa, A. (2024). *Propuesta técnica para el cierre y abandono del área de libre aprovechamiento Mina Pela Blanca, San Juan, Gualaceo-Azuay*. Obtenido de Universidad del Azuay:

<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13943/1/19466.pdf>

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Gualaceo. (2024). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial y actualización del plan de uso y gestión de suelo del cantón Gualaceo, Provincia del Azuay*. Obtenido de Alcaldia Gualaceo:

https://gualaceo.gob.ec/wpfd_file/anexo-02-actualizacion-pdot-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-y-actualizacion-de-uso-del-suelo-2/

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial San Juan del Cid. (2023). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Juan del Cid*. Obtenido de <https://gadparroquialsanjuan.gob.ec/azuay/wp-content/uploads/2025/03/PDOT-IMPRESION-2024-2027.pdf>

Hernández, L., & Santamaria, J. (2015). *Ingeniería geológica en terrenos volcanicos*. Madrid: Colegio Oficial de Geólogos.

Herrera, J., & Ortiz, F. (2006). *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/10675/1/20111122_METODOS_MINERIA_A_CIELO_ABIERTO_2.pdf

Hino Motors Philippines. (s.f.). Obtenido de Hino 700 Series – Heavy-Duty Trucks.: <https://hino.com.ph/700-series>

Horiglass. (2024). Obtenido de Aridos para la construcción:

<https://www.hormiglass.cl/aridos-para-la-construccion/?srsltid=AfmBOoo3ieXKecJyZW0ABR0kbNG3hPLAhRTUDqUqceOIu-0yt2BEszOd>

López, C. (2022). *Manual de minería a cielo abierto*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <https://www.distribuidoraceli.com/manual-de-mineria-a-cielo-abierto>

Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2016). *Normas para estudios y construcción de obras viales*. Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador.

Pérez, e. (2005). *Estabilidad de taludes*. Obtenido de https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250339/2015/Tema5--Taludes.pdf

Sosa, E. (1980). *Criterios geomecánicos para el diseño de taludes en roca*. Instituto de Investigaciones Geológicas y Mineras.

ANEXOS

Anexo 1: Registro Fotográfico

Foto 1: Vista lateral del libre aprovechamiento.



Foto 2: Recolección de muestras y estado actual de la cantera.

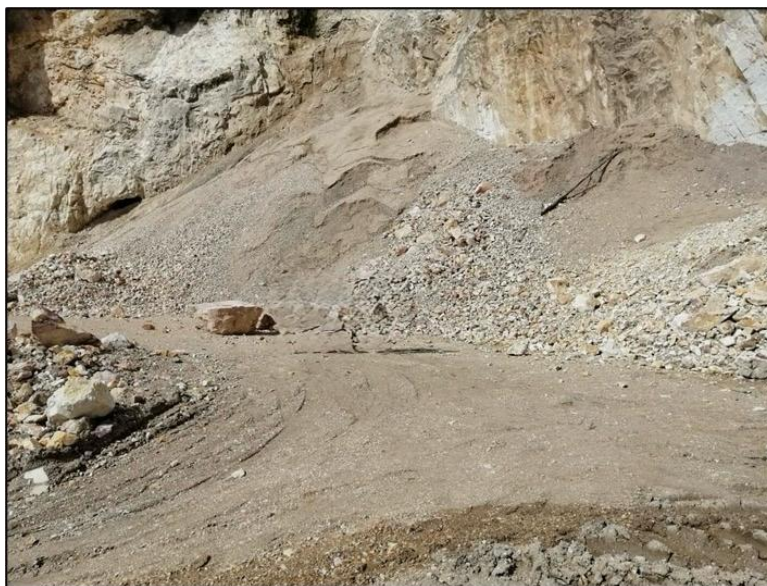


Foto 3: Muestras del material para ensayo de resistencia uniaxial de laboratorio



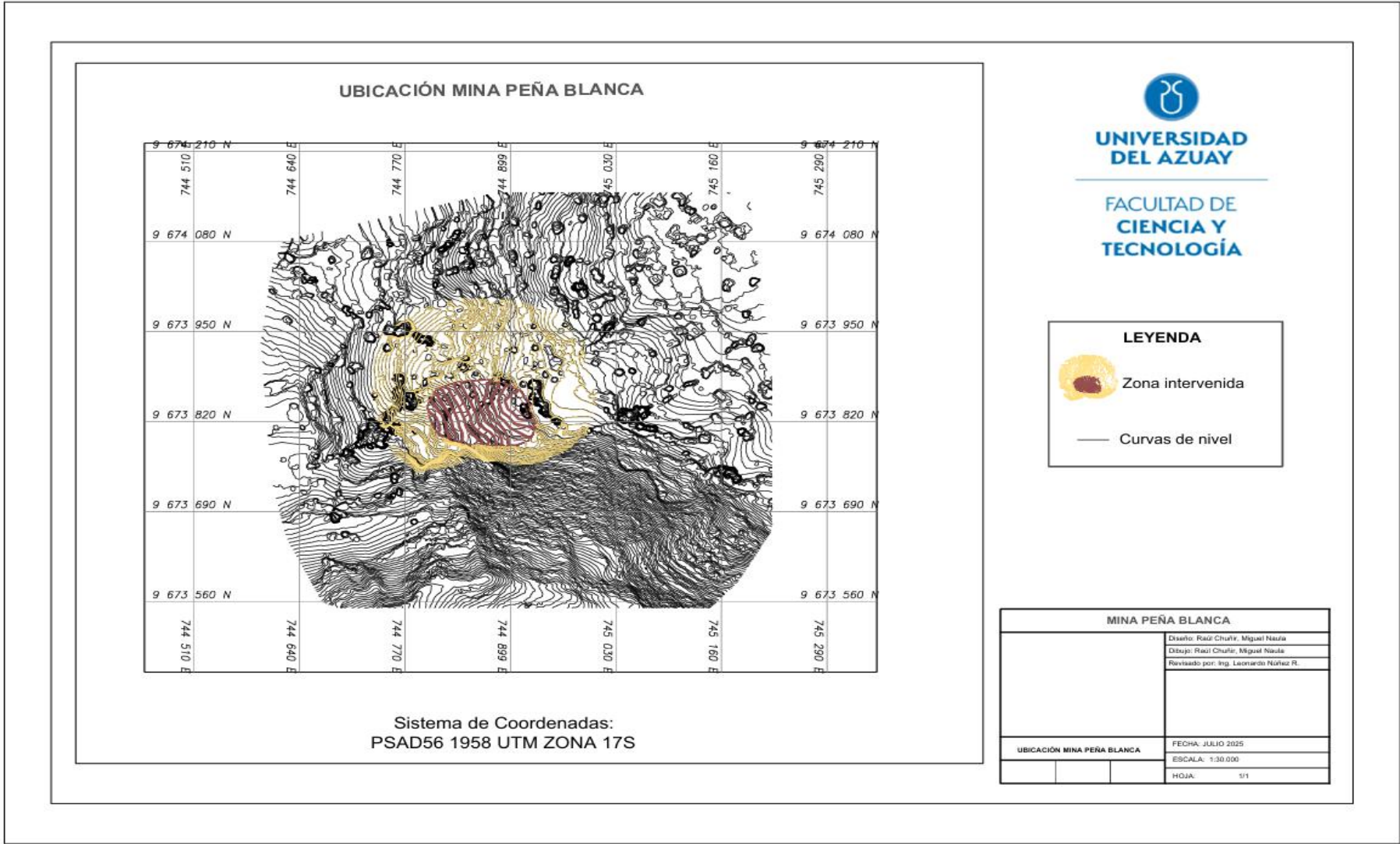
Foto 4: Resistencia uniaxial de laboratorio



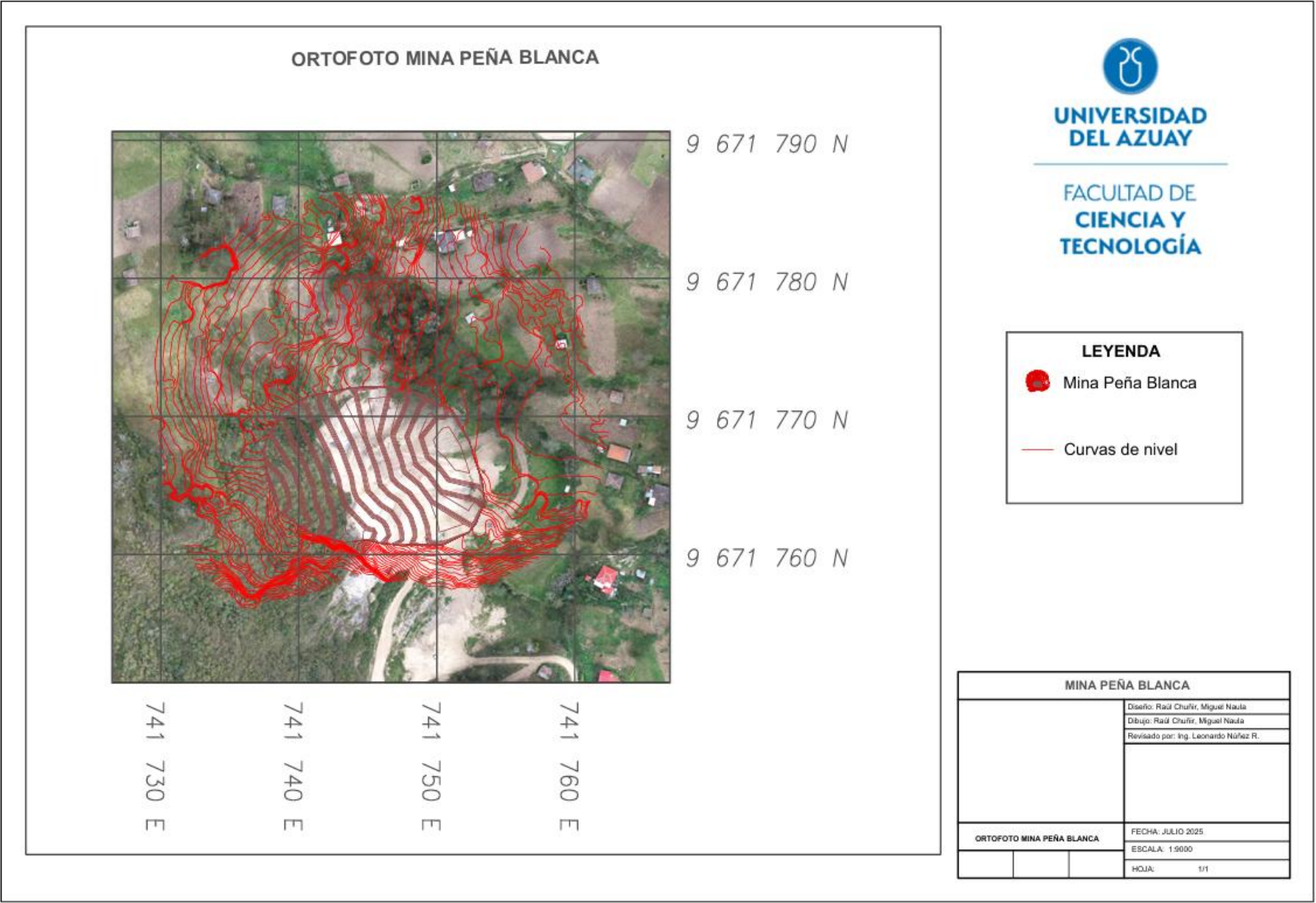
Anexo 2: Tabla de Análisis de compresión uniaxial.

Muestra	Área (cm ²)	Carga máxima (K g gf)	Resistencia a la compresión simple (kgf/cm ² - MPa)
1	31,22	5.785	185,29 – 18,17
2	15	3.812	254,13 – 24,92
3	15,5	1.002	65 – 6,37
4	23,76	1.173	49,4 – 4,8
5	14,4	2.168	124,6 – 12,21
Promedio R.C.U			135,68 – 13,3

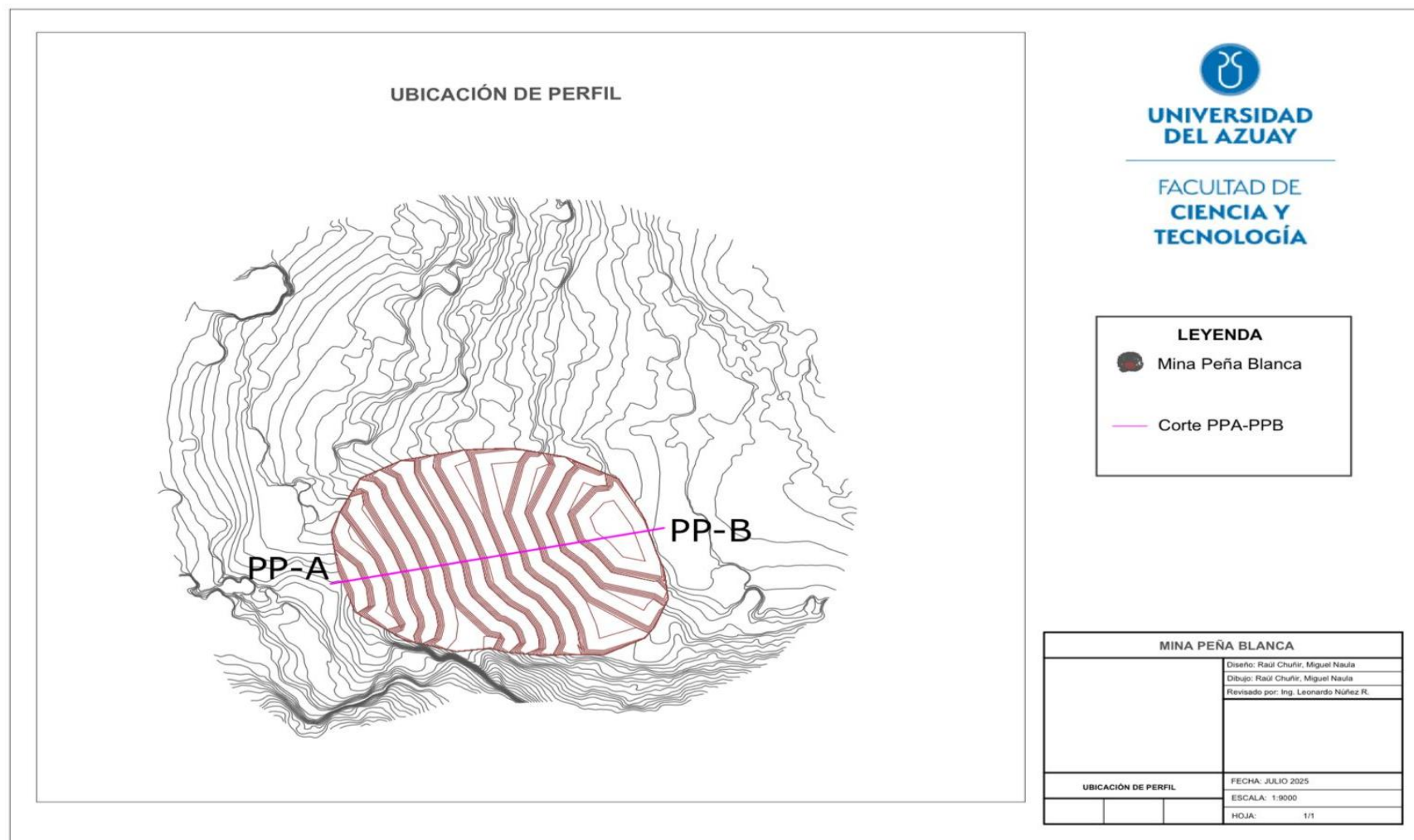
Anexo 3: Zona intervenida



Anexo 4: Ortofoto mina peña blanca

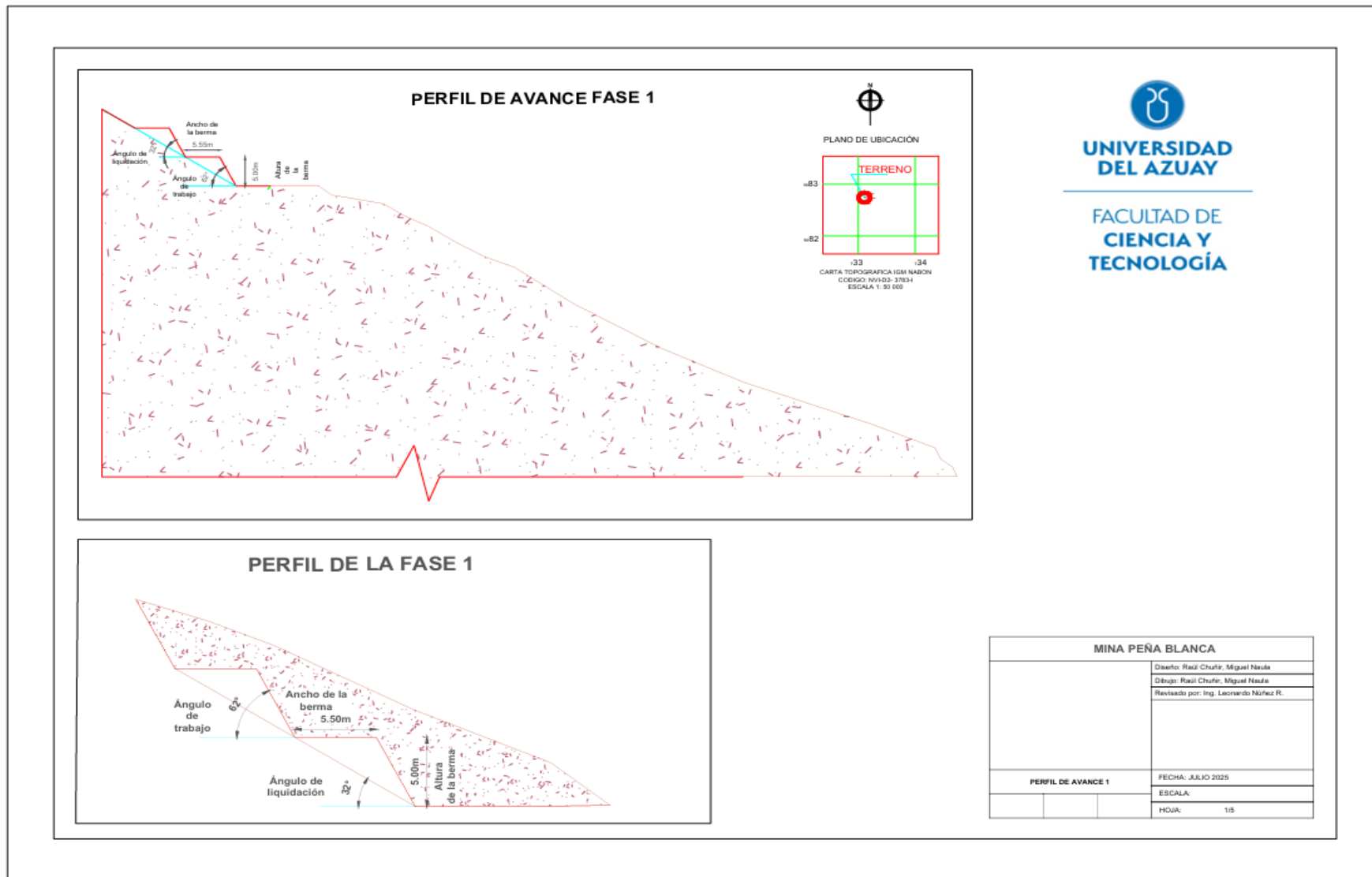


Anexo 5: Plano de ubicación de perfil

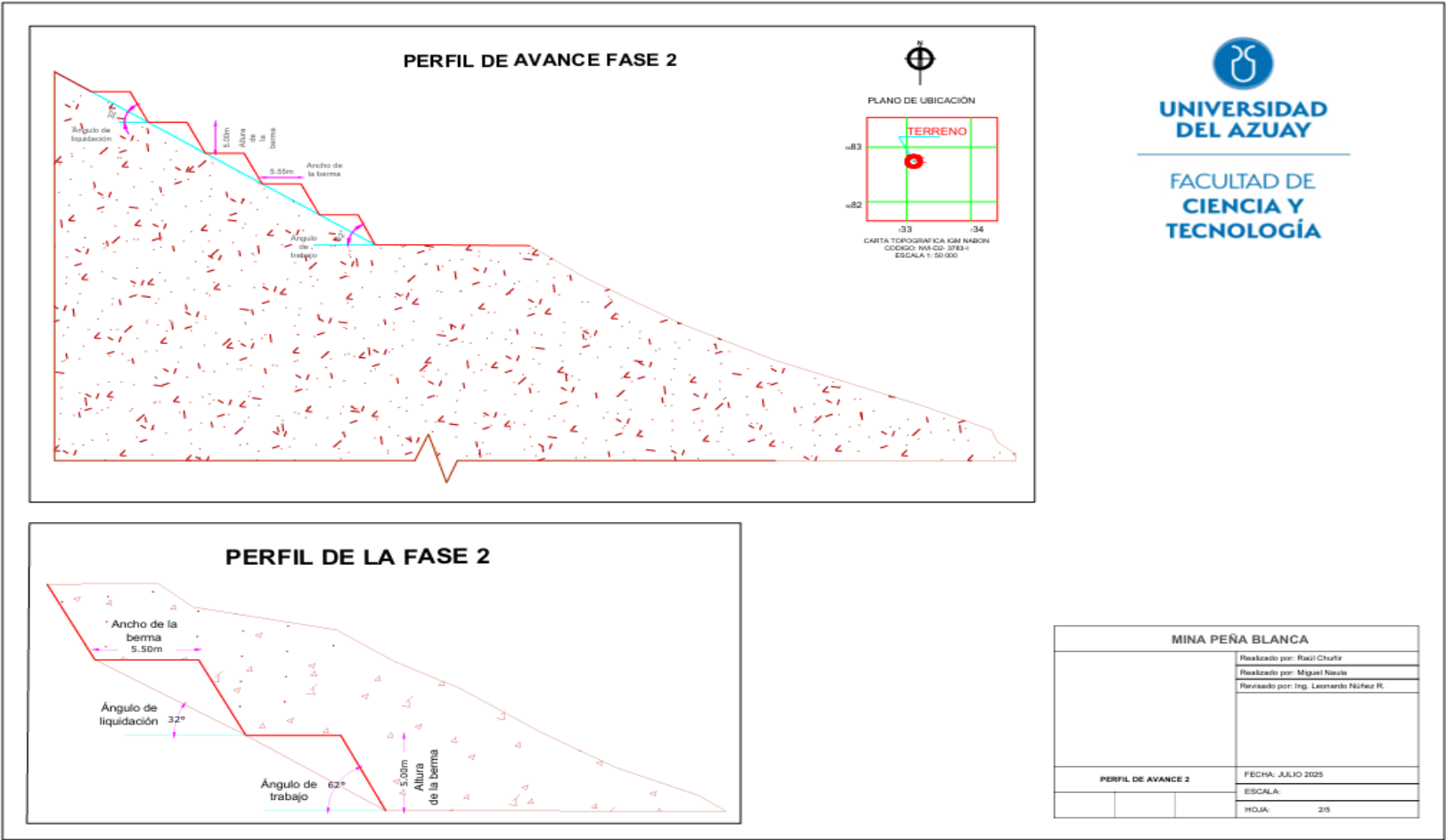


Anexo 6: Planos de perfiles

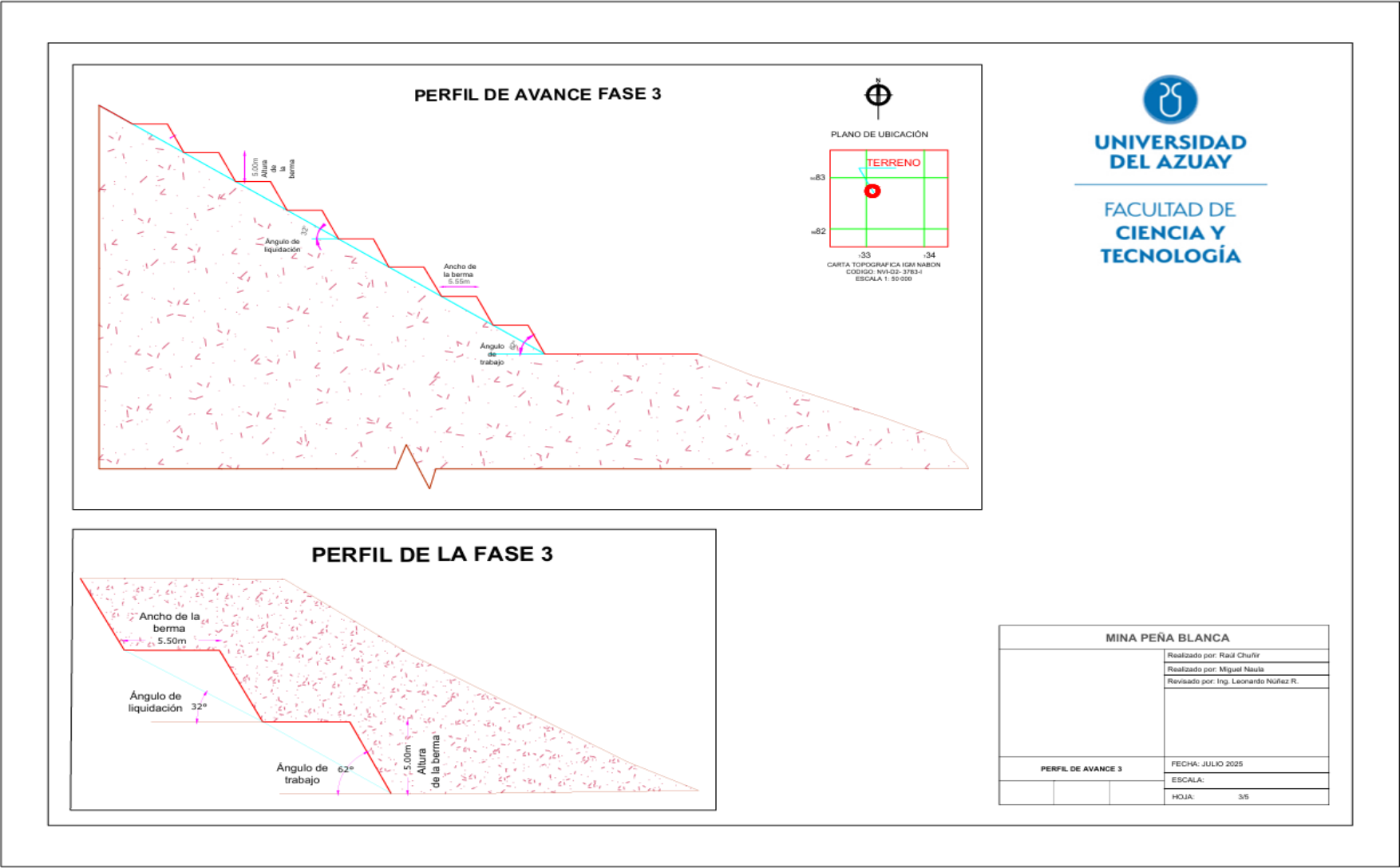
Plano de perfil fase 1



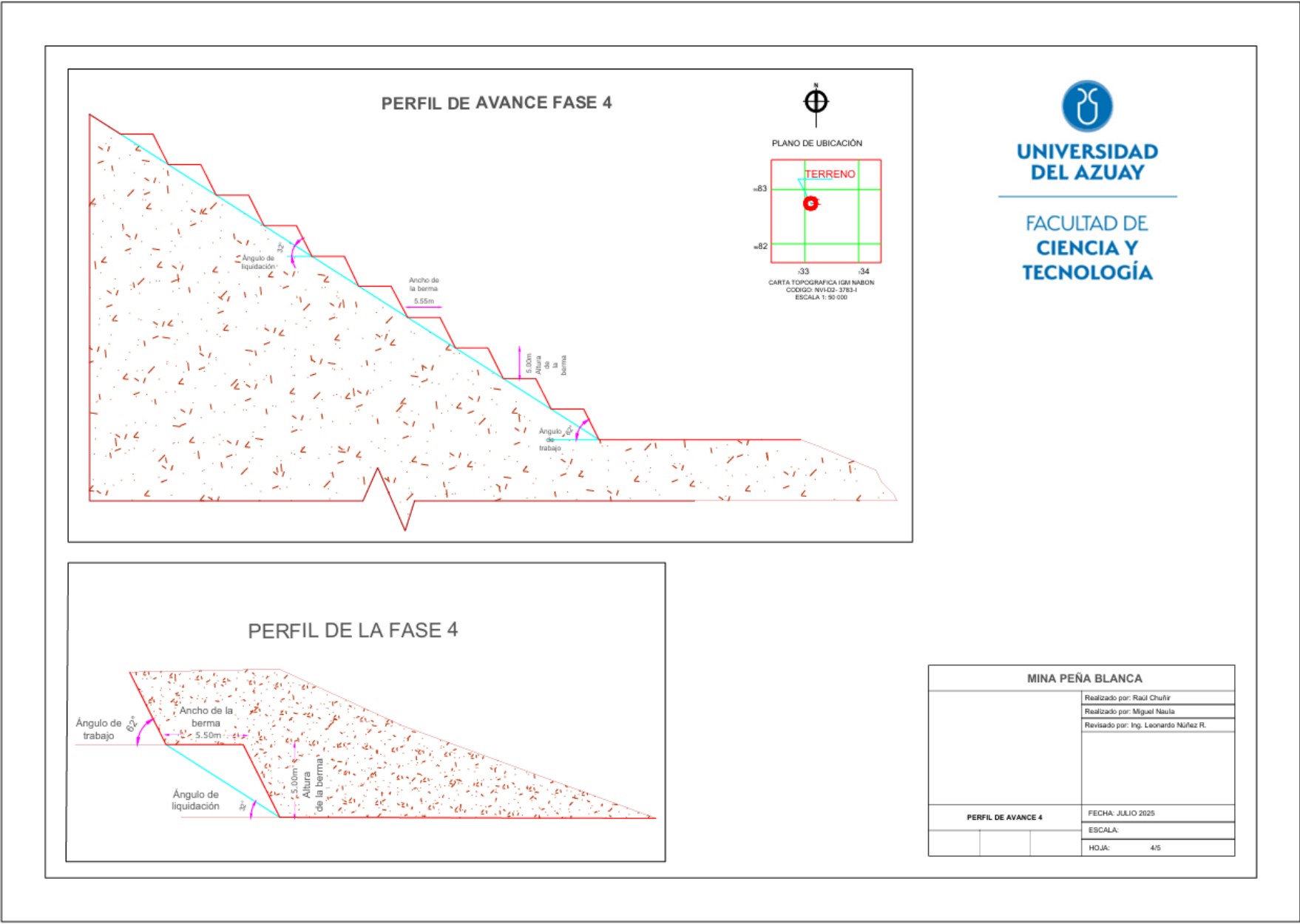
Plano de perfil fase 2



Plano de perfil fase 3



Plano de perfil fase 4



Plano de perfil fase 5

