



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS

**“Propuesta de diseño de explotación a cielo abierto en la
mina de sílice Dominick, Limón Indanza – Morona
Santiago”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERÍA EN MINAS

Autores:

GLENDIA KRUSKAYA CARRERA ESPEJO

ANDRÉS MARCELO CHIMBORAZO MEJÍA

Director:

LEONARDO ANÍBAL NÚÑEZ RODAS

CUENCA – ECUADOR

2022

DEDICATORIA

A mis padres Franklin y Julia, por el ejemplo de trabajo, fortaleza, valentía en cada etapa de mi formación como ser humano, en especial a mi madre por su apoyo incondicional para cumplir mis objetivos.

A mi hermana Patricia, por sus consejos, su cariño y su paciencia, por siempre estar para mí; a mis sobrinos Sarahi y Aarón por su alegría y su compañía a pesar de la distancia.

A mi hijo Abdiel porque su amor, paciencia y apoyo ha sido fundamental en cada paso de mi vida.

Glenda Kruskaya Carrera Espejo

Dedico esta tesis a mis padres Marcelo y Lourdes por haberme formado como la persona que ahora soy, quienes con amor, sabiduría, paciencia y sacrificio me guiaron por el camino correcto convirtiéndose en los pilares más importantes de mi vida.

A mi hermana Paula por el apoyo que me ha brindaron durante todo el transcurso de mi carrera Universitaria.

A mis abuelos Francisco y Mercedes, por la confianza que me han brindado, por su apoyo incondicional, por a diario preocuparse por mi bienestar y siempre extender su mano para darme seguridad y motivación.

Por ser mi motivación día a día, mi cariño y agradecimiento son infinitos; sin ustedes nada de esto sería posible.

Andrés Marcelo Chimborazo Mejía

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarnos todas las oportunidades para alcanzar nuestra formación académica y permitirnos tener la sabiduría necesaria para culminar con éxito el trabajo de pregrado.

A nuestros principales instructores y guías en este trayecto, los miembros de nuestro tribunal Ing. Eduardo Luna e Ing. Patricio Feijoo, y de manera especial al Ing. Leonardo Núñez, director de tesis, gracias por su apoyo, colaboración y amistad durante la realización de este trabajo.

A la mina Dominick por permitirnos la realización de nuestro trabajo de tesis, en especial al señor William Punín por brindarnos la información necesaria referente a su mina.

Glenda Carrera – Andrés Chimborazo

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
MARCO TEÓRICO	3
1.1. Mina “Dominick”	3
1.2. Descripción de la zona de estudio	4
1.2.1. Ubicación geográfica	4
1.2.2. Vías de acceso	5
1.2.3. Topografía general	5
1.2.4. Geología local.....	5
1.2.5. Geomorfología	7
1.2.6. Hidrografía	8
1.2.7. Flora	8
1.2.8. Clima	10
1.2.9. Fauna.....	10
1.3. Marco teórico.....	11
1.3.1. Minerales	11
1.3.2. Yacimiento mineral	11
1.3.3. Levantamiento topográfico.....	12
1.3.4. Levantamiento topográfico con dron	12
1.3.5. Levantamiento topográfico con estación total.....	13
1.3.6. Levantamiento topográfico con GPS	13
1.3.7. Modelado digital de terreno	13
1.3.8. Evaluación de yacimientos o estimación de reservas.....	14

1.3.9. Procesos de exploración mediante sondeos.....	18
1.4. Minería a cielo abierto	26
1.5. Explotación de canteras	27
1.6. Minerales no metálicos (sílice)	29
CAPÍTULO 2.....	30
METODOLOGÍA DE LA EXPLOTACIÓN ACTUAL	30
2.1. Delimitación de la zona de interés.....	30
2.2. Levantamiento topográfico de detalle.....	32
2.3. Cálculo de volúmenes	33
2.4. Descripción de la metodología de explotación.....	36
2.5. Proceso de producción	36
2.6. Maquinaria.....	37
2.7. Equipos y señalética de seguridad	41
CAPÍTULO 3.....	44
PROPUESTA DE DISEÑO ÓPTIMO DE EXPLOTACIÓN.....	44
3.1 Análisis de datos técnicos	44
3.1.1. Determinación de los principales parámetros para el diseño de explotación	44
3.2 Principales parámetros Minero - Técnicos de la cantera.....	48
3.3 Presentación del diseño final.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
Conclusiones	63
Recomendaciones.....	64
referencias bibliográficas.....	65
ANEXOS	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación de la concesión minera Dominick.	4
Figura 1.2 Geología de Limón Indanza.....	6
Figura 1.3 Geología a detalle.	7
Figura 1.4 Geología a detalle.	8
Figura 1.5 Principales coberturas.....	10
Figura 1.6 Modelo de bloques.....	15
Figura 1.7 Modelo de triángulos.	16
Figura 1.8 Modelo de polígonos	17
Figura 1.9 Modelo de isolíneas.	17
Figura 1.10 Sistema americano.....	21
Figura 1.11 Sistema de terrazas.	22
Figura 1.12 Minería de contorno.....	23
Figura 1.13 Canteras.	24
Figura 1.14 Graveras.....	25
Figura 1.15 Minería hidráulica.....	26
Figura 2.1 Afloramiento de la zona de interés.	30
Figura 2.2 Fuente de agua.	31
Figura 2.3 Vías.....	31
Figura 2.4 Características de la arena de cuarzo.	32
Figura 2.5 Levantamiento topográfico de detalle.	33
Figura 3.1 Diseño de parámetros.	48
Figura 3.2 Método de bancos descendentes 1 ^{ra} fase RecMin.	50
Figura 3.3 Método de bancos descendentes 1 ^{ra} fase Software minero: Tesis UDA. ..	50
Figura 3.4 Método de bancos descendentes 2 ^{da} fase RecMin.	51
Figura 3.5 Método de bancos descendentes 2 ^{da} fase Software minero: Tesis UDA. ..	52
Figura 3.6 Método de bancos descendentes 3 ^{ra} fase RecMin.	53
Figura 3.7 Método de bancos descendentes 3 ^{ra} fase Software minero: Tesis UDA. ..	53
Figura 3.8 Método de niveles horizontales 1 ^{ra} fase RecMin.....	55

Figura 3.9 Método de niveles horizontales 1 ^{ra} fase Software minero: Tesis UDA....	56
Figura 3.10 Método de niveles horizontales 2 ^{da} fase RecMin.	57
Figura 3.11 Método de niveles horizontales 2 ^{da} fase Software minero: Tesis UDA.	57
Figura 3.12 Método de niveles horizontales 3 ^{ra} fase RecMin.....	58
Figura 3.13 Método de niveles horizontales 3 ^{ra} fase Software minero: Tesis UDA..	59
Figura 3.14 Situación actual de la mina	60
Figura 3.15 Diseño óptimo en 3D	61
Figura 3.16 Diseño óptimo – Vista Lateral	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Actividades y servicios de Mina Dominick.	3
Tabla 1.2 Vías de acceso a Limón Indanza.	5
Tabla 1.3 Superficie y porcentaje de coberturas.	9
Tabla 1.4 Clasificación de los Minerales.	11
Tabla 2.1 Ubicación en coordenadas UTM puntos.	30
Tabla 2.2 Tiempo de ciclo para maniobras de carga y descarga.	34
Tabla 2.3 Capacidad de producción de la excavadora hidráulica.	35
Tabla 2.4 Número de equipos de carguío.	35
Tabla 2.5 Excavadora Hidráulica - Komatsu PC200-8.	38
Tabla 2.6 Retroexcavadora Caterpillar 426F2.	39
Tabla 2.7 Volquete JAC HFC-4181.	41
Tabla 2.8 Equipo de protección personal.	42
Tabla 3.1. Parámetros técnicos de la cantera.	48
Tabla 3.2 Volúmenes de explotación total por bancos descendentes.	54
Tabla 3.3 Volúmenes de explotación total por niveles horizontales.	59

ÍNDICE DE ANEXOS


Anexo 1. Mina Dominick.....	67
Anexo 2. Reconocimiento del área de explotación.....	68
Anexo 3. Planimetría de la Mina Dominick.....	69
Anexo 4. Angulo de talud por tipo de roca según coeficiente de Protodyakonov.	70

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO EN
LA MINA DE SÍLICE DOMINICK, LIMÓN INDANZA – MORONA
SANTIAGO”**

RESUMEN


El presente proyecto tuvo como objetivo realizar una propuesta de diseño de explotación para la mina Dominick, ubicada en la parroquia Gral. Leónidas Plaza, cantón Limón Indanza. Para ello fue necesario realizar un análisis de las características y condiciones del área en donde se realizará la explotación con el objetivo de establecer los principales parámetros minero-técnicos. De esta manera, se proponen dos opciones diferentes de diseño con la finalidad de escoger el óptimo. El diseño seleccionado fue el que presentó las mejores características técnicas, de seguridad y que mejor se adapte a las características y requerimientos de la mina. Para realizar una correcta evaluación y visualización de las alternativas de diseño se utilizó los softwares mineros: RecMin y software minero para dispositivos móviles.

Palabras clave: Diseño, propuesta, explotación, RecMin, software.



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Director del Trabajo de Titulación



Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Coordinador de Escuela



Glenda Kruskaya Carrera Espejo

Autor



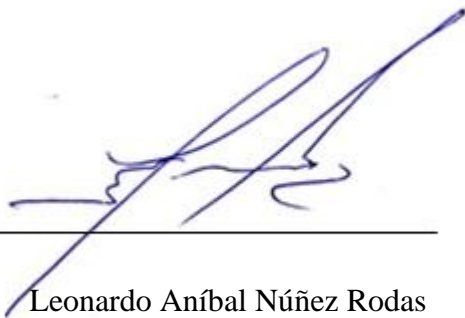
Andrés Marcelo Chimborazo Mejía

Autor

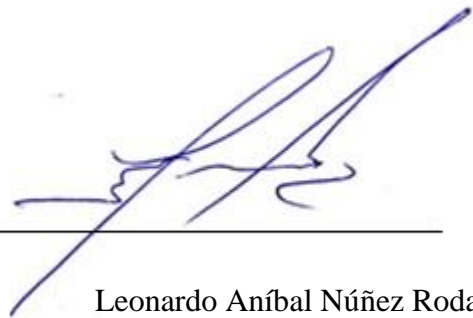
**OPEN SKY DESIGN AND CULTIVATION PLAN FOR SILICE DOMINICK
MINE, LIMÓN INDAZA - MORONA SANTIAGO**

ABSTRACT

The objective of the current project was to fulfill a proposal for the creation of the Dominick mine, located in the community of Gral. Leónidas Plaza, district Limón Indanza. For this project, it was necessary to complete an analysis of the conditions and characteristics of the area to better establish the miner's technical parameters. To achieve the best results, it was necessary to consider two different possibilities for the design plan. The selected design was the one that presented the best technical characteristics of safety and was the one that would best adapt to the mine's characteristics and requirements. The software's used to help compare design plans and to choose the best option based on characteristics and visualization were RecMin and miner software for mobile devices.



Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Director of the Degree Project



Leonardo Aníbal Núñez Rodas
Coordinator of the School



Glenda Kruskaya Carrera Espejo
Author



Andrés Marcelo Chimborazo Mejía
Author

Translated by



Glenda Kruskaya Carrera Espejo

Andrés Marcelo Chimborazo Mejía

Trabajo de Titulación

Ing. Leonardo Aníbal Núñez Rodas

Junio, 2022

PROPUESTA DE DISEÑO DE EXPLOTACIÓN A CIELO ABIERTO EN LA MINA DE SILICE DOMINICK, LIMÓN INDANZA – MORONA SANTIAGO

INTRODUCCIÓN

Mina Dominick es una empresa constituida en el cantón Limón Indanza de la provincia de Morona Santiago. Las principales actividades que realiza esta empresa son la extracción, procesamiento, fabricación y distribución de productos de sílice útiles para distintas aplicaciones de tipo industrial.

Una deficiente tecnificación por parte de las empresas mineras en el Ecuador provoca pérdidas económicas considerables, es por ello que desarrollar una tecnificación dejando de lado la improvisación es una manera de garantizar la optimización de los procesos. Es por ello, que el presente trabajo de titulación plantea desarrollar un diseño de explotación adecuado para la extracción de sílice y posteriormente comparar el beneficio de este diseño con el sistema actual de explotación utilizado por parte de la empresa.

La Mina Dominick no cuenta con la información suficiente para realizar un adecuado sistema de explotación de sílice, es por esta razón que se realizará un estudio previo para determinar la situación actual de la mina y con los resultados obtenidos se propondrá un diseño de explotación óptimo que permita normalizar los volúmenes de explotación.

La presente investigación, está fundamentada bajo el criterio de “Una minería realizada con planificación previa, estudios de variables y un sistemático proceso de

análisis tendrá mejores resultados que una minería realizada de manera imprevista”, es por ello por lo que, se plantea un nuevo diseño de explotación que reemplace al que actualmente se ejecuta en Mina Dominick.

La investigación se soportará en argumentos teóricos y empíricos los cuales, a través del estudio, se conceptualizarán e interpretarán para identificar los parámetros más relevantes referentes al nuevo diseño de explotación.

Se plantea apoyarse en recursos digitales por medio de un software que permita conocer los volúmenes a extraer y plantear una mejora al diseño en base a: investigación científica, muestreo en campo, análisis de recursos, estudios topográficos, de suelos, etc., que permitan obtener la propuesta que mejor se adapte a las necesidades dando como resultado una explotación tecnificada y óptima.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Mina “Dominick”

Respecto a mina Dominick, es necesario mencionar que es una empresa constituida y con domicilio social en Limón Indanza, instituida y fundada por William Alfredo Punín Vega, su razón social es la extracción, procesamiento, fabricación y distribución de productos síliceos para aplicaciones industriales. Mina Dominick cuenta con un equipo de colaboradores con muchos años de experiencia en la industria y amplia trayectoria en los campos de la minería, ingeniería civil, industria, educación y medio ambiente a nivel nacional. (Mina Dominick, 2018).

La visión de mina Dominick es: “Ser una empresa minera eficiente durante todo el proceso de extracción de sílice logrando marcar tendencia en el mercado nacional que garantice un beneficio económico tanto del cliente como del proveedor y favorezca el desarrollo de la comunidad” (Mina Dominick, 2018).

La misión de mina Dominick consiste en: “Desarrollar una minería responsable, creando modelos que logren bajar los costos de producción, con compromiso social y ambiental, logrando así generar rentabilidad para la empresa y la sociedad de influencia con la actividad” (Mina Dominick, 2018).

El tipo de actividad a la que se dedica mina Dominick es la extracción y proceso de lavado y secado de Sílice malla #20, #16, #10, #8, a granel o enfundado, seco o húmedo de acuerdo con la necesidad del cliente (Mina Dominick, 2018). En la tabla 1.1 se pueden observar dichas actividades.

Tabla 1. 1 Actividades y servicios de Mina Dominick.

N o	Sílice	# Malla	Distribución
1	Lavado-seco	20, 16, 10, 8	Granel
2	Lavado-seco	20, 16, 10, 8	Enfundado
3	Lavado	4	Filtros de Agua
4	Sin tratar	S/N	Uso Múltiple

Fuente: (Mina Dominick, 2018)

1.2. Descripción de la zona de estudio

1.2.1. Ubicación geográfica

El cantón Limón Indanza, se encuentra ubicado en la zona sur de la provincia de Morona Santiago. El cantón Limón Indanza tiene una extensión territorial de 1821 km²; se encuentra compuesto por una parroquia urbana denominada General Leónidas Plaza Gutiérrez que es la cabecera cantonal y cinco parroquias rurales: Yunganza, Santa Susana de Chiviaza, Indanza, San Antonio y San Miguel de Conchay. (GAD Municipal Limón Indanza, 2015).

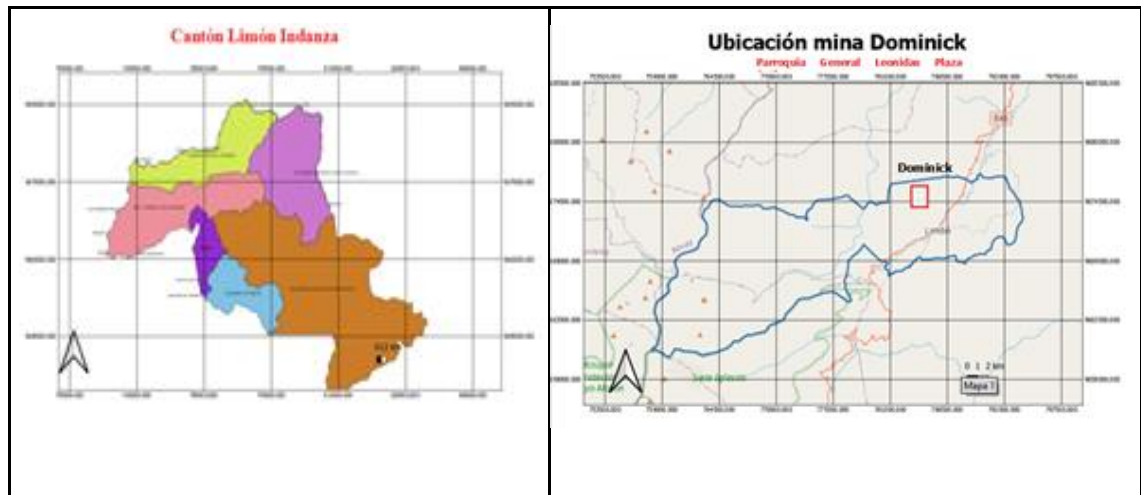


Figura 1.1 Ubicación de la concesión minera Dominick.

Fuente: SENPLADES, (GAD Municipal Limón Indanza, 2015)

El cantón se encuentra conformado por terrenos de gran diversidad morfoestructural, con relieves abruptos altamente colinados hacia la zona oeste y centro sur de la vertiente andina de la Cordillera Oriental. Hacia la zona este se encuentran vastos espacios semicolinados, ondulados y hasta planos entre las riberas de la cuenca del río Zamora (GAD Municipal Limón Indanza, 2015).

En cuanto a mina Dominick está ubicada en el cantón Limón Indanza, localizada en la parroquia Gral. Leónidas Plaza, específicamente en el kilómetro 10 vía al pescado, posee una extensión aproximada de 6 ha.

1.2.2. Vías de acceso

En la Tabla 1.2 se muestran las vías de acceso hacia el cantón Limón Indanza, desde distintos cantones de provincias del Azuay. Las cuales concluyen en el mismo punto, exactamente a 10 km de la mina, la misma tiene conexión hacia el sitio El pescado, único acceso a la mina.

Tabla 1. 2 Vías de acceso a Limón Indanza.

Vía de Acceso	Descripción
Limón Indanza – Gualaceo	Vía que comunica con la provincia del Azuay. Por medio de ésta, el cantón se comunica con las ciudades de la zona noroeste del país.
Limón Indanza – Méndez – Guarumales – Cuenca	Vía que conecta al cantón con algunas ciudades del Azuay como Sevilla de Oro, El Pan Paute, Guarumales.

Fuente: (GAD Municipal Limón Indanza, 2015)

1.2.3. Topografía general

El cantón Limón Indanza, ubicado en la provincia de Morona Santiago, ubicado entre las coordenadas geográficas 78°9' y 78°57' de longitud oeste: 2°48' y 3°17'

En cuanto a su orografía, posee una topografía irregular, su altura máxima es de 2102 metros sobre el nivel del mar y la mínima es de 600 metros. La cordillera del Cóndor que constituye el límite político internacional con el Perú es el principal accidente orográfico (Instituto Geográfico Militar, 2012).

El territorio de Limón Indanza cubre 18,4 km x 27,9 km, lo mismo que representa una superficie total de 511,7 km² (Instituto Geográfico Militar, 2012).

1.2.4. Geología local

La totalidad de la superficie del área de la concesión se halla cubierta por areniscas cuarzosas de la formación Hollín, datada como Cretácico inferior. Se presenta como un conjunto homogéneo de arenisca silíceo dispuesto en capas de diferente potencia cuyo rumbo preferencial es norte sur, pero con grandes desviaciones de origen

tectónico que llega hasta 45 grados en los dos cuadrantes, con buzamiento suave que fluctúa entre 10 y 35 grados en diferente sentido.

En lo que corresponde a la textura interna de los estratos de indica que presentan diferente granulometría dentro del tamaño de arena y que varía entre gruesa y fina, la presencia de estratificación cruzada es común en los estratos sin que se defina una preferencia granulométrica para esta estructura, por otra parte, la característica de friable es común a toda la secuencia.

En los sectores bajos de la concesión se observan depósitos de arenisca silíceá retrabajada formando lentejones aluviales de gran tamaño y de mucha importancia económica; en las zonas donde la abundancia de agua ha atacado a la roca intrusiva se observan lentes pequeños de arcillas plásticas blancas.

La litología observada en los pozos exploratorios está constituida totalmente por arenas silíceas, tan solo en la superficie se encuentra suelo orgánico formado por una mezcla de hojarasca y arenisca de cuarzo, la potencia de la capa orgánica oscila entre los 30 centímetros, y el metro de espesor. (Ampuero Jaime, 2018).

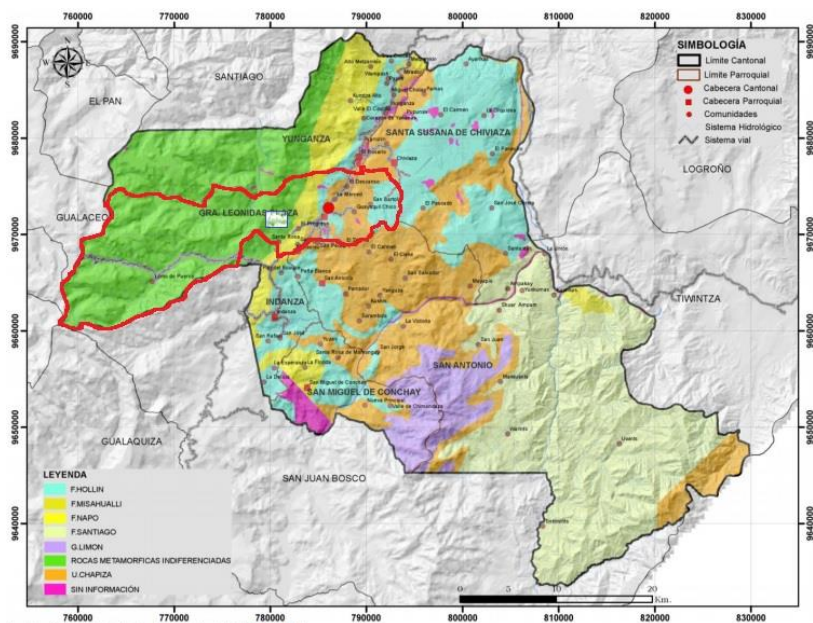


Figura 1.2 Geología de Limón Indanza.

Fuente: Geomorfología: Zonificación Ecológica Económica. ECORAE. IGM.

1.2.5. Geomorfología

La región Amazónica “Oriental sub andina” presenta un relieve irregular considerando que se halla en una cuenca limitada por la cordillera del Cutucú hacia el este y por la cordillera Real al oeste; la concesión minera se localiza dentro de esta cuenca que ha sido afectada por un intenso tectonismo que ha modificado la relación estructural morfológica de la región, por lo tanto se observa dentro de la concesión las formas dominantes son las redondeadas correspondientes a las rocas ígneas que forman estructuras en media naranja con pendiente entre 30 y 45 %, en esta zona discurren valles en V, estrechos, profundos y con el cauce lleno de rocas relictas.

Los sectores donde afloran rocas de la formación Hollín, cuando no existe tectonismo presenta una morfología aplanada cuya topografía sigue la pendiente del buzamiento de las rocas, aquí es donde se observa pendientes entre 0 y el 20%. Analizando de manera global el conjunto morfológico de la concesión corresponde o se presenta como una sola unidad morfológica formada por elevaciones de pendientes entre 10 y 45 %.

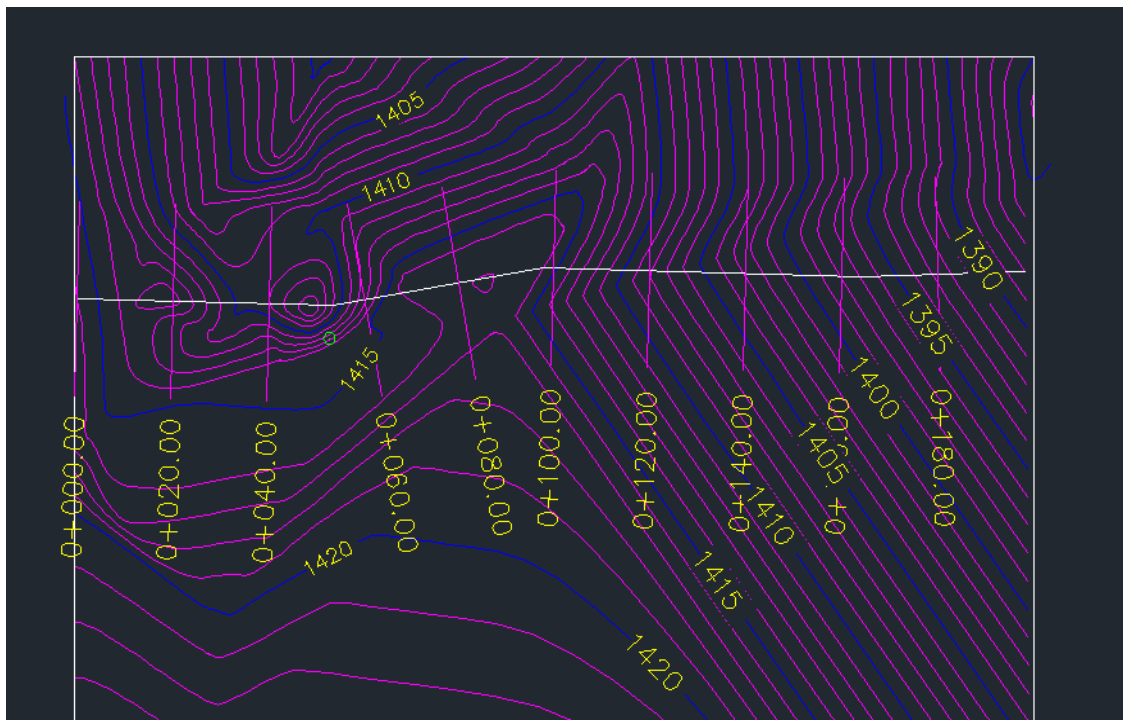


Figura 1.3 Geología a detalle.

Fuente: Elaboración propia.

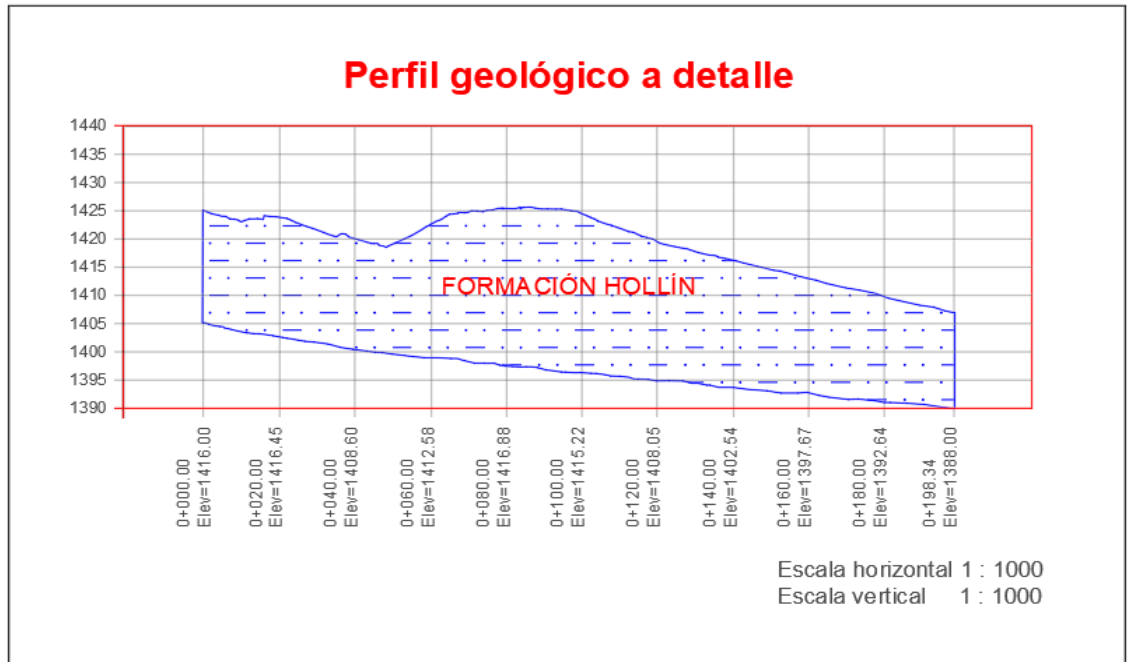


Figura 1.4 Perfil geológico a detalle.

Fuente: Elaboración propia.

1.2.6. Hidrografía

Respecto a su hidrografía, el río Zamora cruza de oeste a este, mismo que representa el principal eje hidrográfico, además, existen otros cursos de agua que van en dirección norte, este, sur y oeste (GAD Municipal Limón Indanza, 2015).

En cuanto a la cartografía del mapa de cuencas hidrográficas elaborada en el proyecto de generación de información básica y temática para planes de desarrollo provinciales del año 2002 por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Limón Indanza se encuentra dentro de las cuencas hidrográficas del río Santiago, en las subcuencas de los ríos Upano, Zamora y Coangos. Entre los ríos más destacados que atraviesan el cantón están: el Namangoza, Yunganza, Zamora, Indanza, Coangos y Cumtza (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2015).

1.2.7. Flora

En cuanto a las coberturas vegetales, territorialmente el cantón Limón Indanza posee un aproximado de 180.581 ha, en donde las coberturas principales se distribuyen de la siguiente forma: el bosque nativo ocupan la mayor área del cantón, con el 75,68%, seguido de pastizal con el 17,29% (juntos suman el 92,97% del total territorial del cantón), los otros componentes tan sólo representan el 7,03%, estos son: vegetación

arbustiva, páramo, cuerpos de agua, erial, área poblada, plantación forestal, vegetación herbácea, cultivo e infraestructura antrópica (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2015).

En la Tabla 1.3 se muestran las superficies y porcentajes de las diferentes coberturas, y en la Figura 1.5 se puede observar la gráfica de dichas superficies.

Tabla 1. 3 Superficie y porcentaje de coberturas.

Cobertura	Superficie aproximada (ha)	Porcentaje (%)
Bosque nativo	136 656	75,68
Pastizal	31 229	17,29
Vegetación arbustiva	5 260	2,91
Páramo	5 181	2,87
Cuerpo de agua	953	0,53
Erial	813	0,45
Área poblada	199	0,11
Plantación forestal	189	0,10
Vegetación herbácea	51	0,03
Cultivo	28	0,02
Infraestructura Antrópica	23	0,01
Total	180 581	100

Fuente: (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2015)

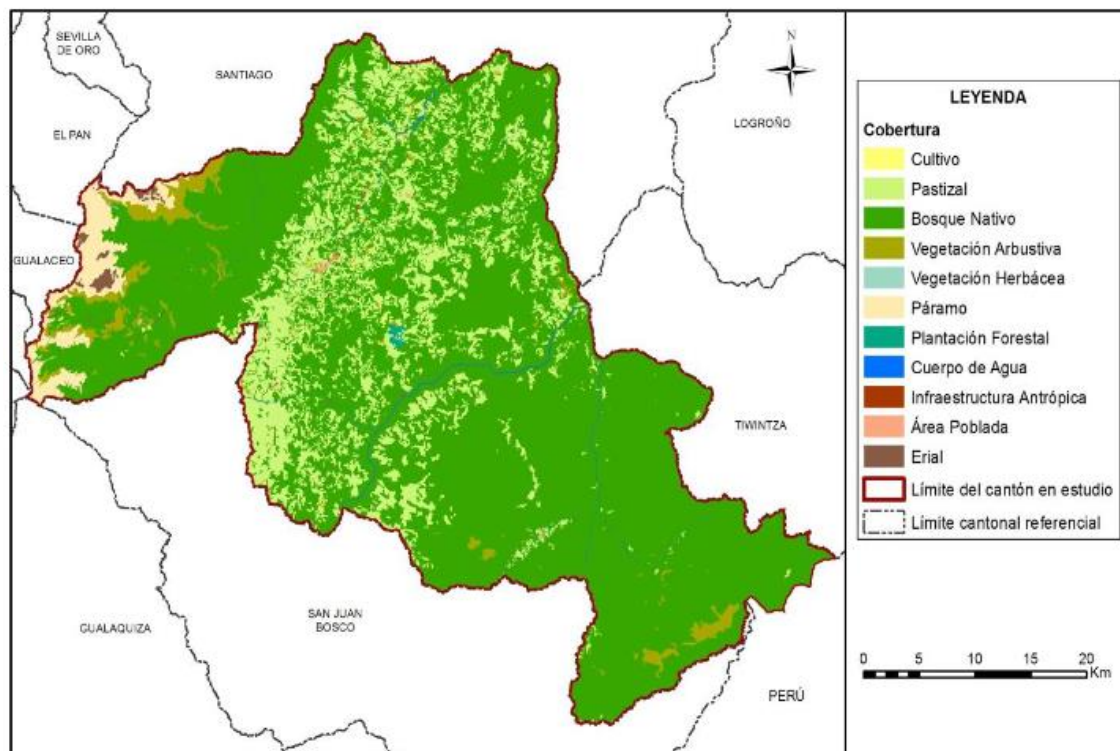


Figura 1.5 Principales coberturas.

Fuente: (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca, 2015)

1.2.8. Clima

La determinación de tres diferentes climas en el cantón Limón Indanza es gracias a su localización y las características topográficas (GAD Municipal Limón Indanza, 2015).

- **Clima de páramo.** Corresponde a las partes altas de la vertiente andina y Cordillera Oriental, con precipitaciones que van entre los 1000 mm. a 1500 mm. y con temperaturas entre los 14° y 17°C.
- **Templado permanente húmedo.** Tipo de clima presente en las partes medias de la vertiente andina y Cordillera del Cóndor, con precipitaciones que oscilan entre los 1500 mm. y 3000 mm. Y temperaturas sobre los 20 °C.
- **Tropical lluvioso.** Zona climática presente en las partes bajas de las cordilleras y en los valles, con temperaturas desde los 23 °C en adelante y precipitaciones medias anuales que fluctúan entre 2000 mm y 3000 mm.

1.2.9. Fauna

Respecto a la fauna existe en la provincia de Morona Santiago, (Benavides, 2018) menciona que, entre algunas de las especies que se pueden observar en cuanto a su

fauna están: Guanta, perezoso, armadillo gigante, puma, cuchucho, danta, oso de anteojos, entre otros.

1.3. Marco teórico

1.3.1. Minerales

De acuerdo con la Universidad Arturo Prat (2014) los minerales son sustancias químicas inorgánicas de origen natural que poseen propiedades físicas y químicas. La gran mayoría de minerales están constituidos por una combinación de dos o más elementos químicos. Sin embargo, hay algunos constituidos por un solo elemento que en su mayoría son sólidos y cristalinos con algunas excepciones.

De esta manera la clasificación de los mineral depende de la composición química y de la estructura interna, como resultado se obtiene una variada clasificación, las cuales a su vez se dividen en familias (según clasificación química), que a su vez se subdividen en grupos (clasificación cristalográfica y estructural), los cuales se pueden clasificar por su especie (misma estructura pero distinta composición química) para finalmente se subdividirse en variedades (composición química no usuales).

En la siguiente tabla se evidencian 2 grupos de interés, los minerales metálicos y los minerales no metálicos.

Tabla 1. 4 Clasificación de los Minerales.

Elementos nativos	Sulfuros	Sulfosales
Óxidos	Haluros	Carbonatos
Nitratos	Boratos	Fosfatos
Sulfatos	Wolframatos	Silicatos

Fuente: (Universidad Arturo Prat, 2014)

1.3.2. Yacimiento mineral

Según el Servicio Geológico Minero (2017) un yacimiento mineral es una concentración anómala de una determinada sustancia mineral que puede ser

aprovechada para obtener un beneficio económico. Se dice concentración porque los minerales de la corteza terrestre por lo general están en proporciones muy pequeñas, casi siempre medibles en partes por millón (gramos por tonelada). Para que sea considerado como un yacimiento mineral debe estar presente en la roca en una proporción muy superior a la de cualquier otro mineral.

Además, los yacimientos se clasifican en tres grandes categorías que son (Servicio Geológico Minero, 2017):

- **Combustibles o energéticas.** Formado por combustibles fósiles: carbón, petróleo, gas e hidrocarburos naturales.
- **No metálicas o industriales.** Constituido por las rocas y minerales que poseen una utilidad industrial. Entre ellos se encuentran: áridos, rocas ornamentales, minerales refractarios, abrasivos, absorbentes, lubricantes, entre otros.
- **Metálicas.** Incluye todos los minerales de los que se extraen metales.

1.3.3. Levantamiento topográfico

Se entiende por levantamiento topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objetivo de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, obteniendo una representación gráfica del terreno (Pachas, 2009).

1.3.4. Levantamiento topográfico con dron

Las imágenes que han sido captadas por la cámara del dron son procesadas mediante programas y herramientas específicas. Así se obtienen nubes de millones de puntos que son un fiel reflejo de la realidad, estas imágenes se pueden georreferenciar, escalar, extraer coordenadas, distancias, volúmenes, perfiles. Finalmente, a partir de estos datos se pueden realizar modelos 3D y ortofotos.

A diferencia de los equipos tradicionales, los drones recorren mucho más rápido los terrenos a estudiar con gran precisión y facilita la elaboración de levantamientos topográficos en zonas de difícil acceso. Otro aspecto positivo de la implementación del dron es que permite crear representaciones en 3D con imágenes de alta calidad, precisión y rapidez en los resultados (Global Mediterránea Geomática, 2018).

1.3.5. Levantamiento topográfico con estación total

De acuerdo con lo establecido por (Pachas, 2009) una de las ventajas más significativas de este método es la toma y registro automático de datos, de esta manera se eliminan muchos errores de lectura como la anotación, transcripción y cálculo. En la mayoría de las ocasiones los datos son guardados en formato ASCII permitiendo que puedan ser leídos por diferentes programas topográficos y de diseño.

1.3.6. Levantamiento topográfico con GPS

GPS corresponde a la abreviatura de global positioning system (Sistema de posicionamiento global). El GPS se define como un sistema de posicionamiento por satélites uniformemente espaciados alrededor de su órbita. Los mismos proporcionan información de puntos que están situados en la superficie terrestre mediante la transmisión-recepción de señales electromagnéticas.

En general, en la aplicación de la metodología GPS se diferencian tres elementos: los satélites, el sistema de control terrestre y los receptores de usuario que recogen las señales enviadas por los satélites que determinan las coordenadas del punto sobre el que se encuentran.

Una vez determinado el punto que se desea medir para realizar un levantamiento topográfico con GPS, se debe colocar en el trípode y llevar a cabo el estacionamiento. A continuación, colocar la antena GPS. Después de estacionar y colocar la antena, encender esta última y la libreta electrónica. Una vez en este punto, configurar la libreta electrónica siguiendo los pasos indicados en la guía para uso de correcciones del sensor óptico utilizado (Global Mediterránea Geomática, 2018)

1.3.7. Modelado digital de terreno

De acuerdo con (Felicísimo, 1994) las características principales de una representación digital de la superficie terrestre son los modelos digitales de terreno (MDT). Son esenciales para un gran número de aplicaciones en ciencias de la tierra, ambientales e ingenierías de diversos tipos.

Un modelo digital del terreno (MDT) es un conjunto estructurado de datos que define la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. También recibe la denominación de modelo digital de elevaciones. La unidad básica del MDT es un punto acotado, de un valor de altitud Z y los valores de las coordenadas X, Y. Su finalidad es obtener una representación del relieve basándose en dos tipos de modelos

que son vectorial y ráster. El modelo vectorial está basado en entidades u objetos geométricos, definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices, los atributos del terreno se representan mediante puntos, líneas o polígonos con sus respectivos valores, entendiéndose como estructuras vectoriales a contornos (isohipsas) y TIN (red de triángulos irregulares adosados); el modelo ráster se basa en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie, que en el caso de imágenes son los píxeles (Cuesta, 2016).

(System Information Geographic, 2016) incluye las siguientes fases que no son necesariamente consecutivas en el tiempo:

- Generación del MDE manipulación del MDE para obtener otras capas del MDT (pendiente, orientación, curvatura, etc.)
- Visualización en dos dimensiones o mediante levantamientos 3D de todas las capas para localizar errores.
- Análisis del MDT (estadístico, morfométrico, etc.)

1.3.8. Evaluación de yacimientos o estimación de reservas

Para (Bustillo & López, 1997) la evaluación de reservas es el cálculo del volumen o cantidad de mineral útil, esto en el caso de no metálicos, como caliza, sílice, arcillas, talco, entre otros. En cuanto a los minerales metálicos se realiza el cálculo de la ley media, y en base a este cálculo se realiza un estudio de factibilidad económica.

Estos cálculos se realizan en toneladas métricas, kilogramos o en metros cúbicos. En la actualidad para realizar la estimación de reservas se cuenta con 2 métodos, el primero es el método clásico o geométrico y el segundo es el método geoestadístico.

1.3.8.1. Método clásico

Este método consiste en la construcción de figuras geométricas para delimitar el área de interés y proceder a realizar el cálculo de reservas. Existen distintas formas de realizar el cálculo de reservas mediante este método, las más conocidas son:

- Método del promedio aritmético o bloques análogos.
- Método de los bloques geológicos.
- Método de los triángulos.
- Método de los polígonos.
- Método de las isolíneas.

- Método de los perfiles.

1.3.8.2. Método del promedio aritmético o bloques análogos

Es el método más sencillo de realizar, como también su cálculo. De acuerdo con (Hernández, 2016) la secuencia de construcción es:

- Delimitación del área del cuerpo mineral, trazando el contorno interno y externo.
- Medición del área.
- Cálculo de la potencia media del mineral útil por promedio aritmético.
- Cálculo de la masa volumétrica por promedio aritmético o media ponderada.
- Cálculo de la ley media del mineral útil por promedio aritmético o media ponderada.
- Cálculo del volumen, tonelaje (reservas de mena) y reservas del componente útil.

1.3.8.3. Método de los bloques geológicos

En base a (Herrera, 2006) se concluye que en este método el yacimiento mineral se divide en bloques homogéneos, dependiendo de las características geológicas del lugar. Así se consigue que un sistema mineralizado irregular y complejo se convierta en un sistema de bloques poliédricos cada uno con la altura media de cada bloque correspondiente (Ver Figura 1.6).

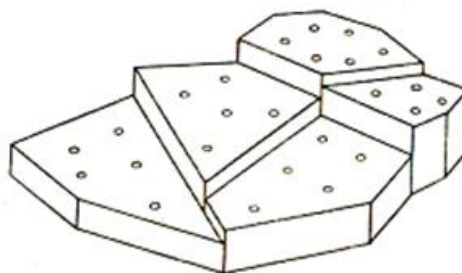


Figura 1.6 Modelo de bloques.

Fuente: (Hernández, 2016)

El cálculo de reservas con este método es bastante simple en su ejecución y en sus cálculos, además se puede aplicar a cualquier morfología que tenga el yacimiento, además de cualquier condición en la que se encuentre.

1.3.8.4. Método de los triángulos

Para (Bustillo & López, 1997) es necesario proyectar en un plano horizontal o vertical todos los lugares donde se interseca el cuerpo mineral, también es necesario, que la morfología sea lo más tabular posible. Este método generalmente es utilizado en la fase de exploración de yacimientos, pues evita errores de sobreestimación.

Este método consiste en unir los sondeos más cercanos, con la finalidad que se formen triángulos, unidos unos a otros (Ver Figura 1.7). Se calcula el área de cada triángulo. El espesor y la ley medios, que se calcula mediante el promedio de los 3 sondeos que forman la figura.

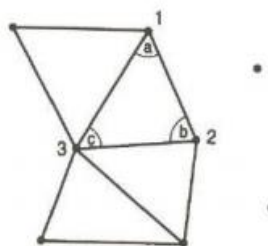


Figura 1.7 Modelo de triángulos.

Fuente: (Bustillo & López, 1997)

1.3.8.5. Método de los polígonos

Según (Bustillo & López, 1997) el método de los polígonos es utilizado para los depósitos horizontales y su horizontal cuyos sondeos se han realizado de forma irregular. El yacimiento es dibujado como un sistema de polígonos volumétricos, con altura o espesor correspondiente a la altura del sondeo realizado que se ubica en el centro de la figura 1.8.

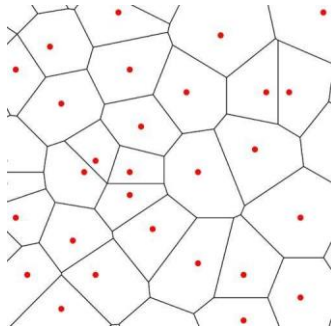


Figura 1.8 Modelo de polígonos

Fuente: (Bustillo & López, 1997)

1.3.8.6. Método de las isolíneas

De acuerdo con (Hernández, 2016) el método de isolíneas consiste en realizar líneas curvas cerradas, estas son trazadas en forma horizontal siguiendo los mismos valores de los sondeos, hasta llegar al punto donde se inició el trazado, la distancia entre isolíneas dependerá de la exactitud con la que se desee trabajar.

Para realizar el cálculo de las reservas, lo primero que se debe realizar es medir el área, mediante cualquier método clásico. Para calcular la ley se realiza un promedio entre la isolínea superior e inferior, y el espesor se obtiene de la profundidad del sondeo (Ver Figura 1.9).

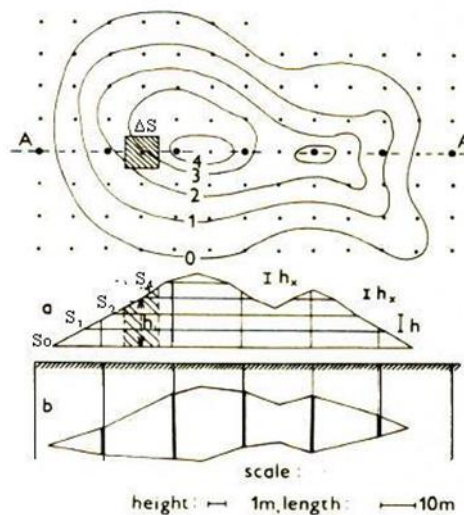


Figura 1.9 Modelo de isolíneas.

Fuente: (Hernández, 2016)

1.3.8.7. Método de los perfiles

Según (Valverde, 2016), es uno de los métodos más utilizados para el cálculo de reservas, generalmente es utilizado en cuerpos irregulares cuyos datos provienen de sondeos, ya que, facilitan la construcción de los cortes. Se deben seguir los siguientes pasos:

- Cálculo del área mineralizada de cada sección.
- Determinación de los volúmenes de los bloques.
- Obtención de las reservas por bloques.
- Determinación de las reservas totales.

1.3.8.8. Método geoestadístico

Consiste en el uso de técnicas de regresión, teniendo como premisa fundamental la realización de las estimaciones a partir de las características de variabilidad y correlación espacial de los datos originales. La geoestadística es resultado de la aplicación de la teoría de funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, fundamentalmente los relacionados con la actividad geólogo minera (UNAP, 2019).

1.3.9. Procesos de exploración mediante sondeos

1.3.9.1. Método minero

Se denomina método minero a un proceso iterativo tanto desde el punto de vista temporal como espacial, que permite llevar a cabo la explotación minera en un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas, procesos y máquinas que operan en forma ordenada, repetitiva y rutinaria (Herrera, 2006).

En la actualidad, el Servicio Geológico Minero (2017) indica que existen tres métodos los cuales son:

- Explotación por minería a cielo abierto.
- Explotación por minería.
- Explotación por sondeos.

1.3.9.2. Minería a cielo o tajo abiertos

La minería a cielo abierto consiste en extraer minerales metálicos y no metálicos de yacimientos minerales cuya profundidad es menor a 160 m. La minería a tajo abierto generalmente consiste en el movimiento de inmensos volúmenes de material que deben ser removidos. Además, menciona que un aspecto muy importante es la ratio, correspondiente a la relación estéril-mineral que condiciona la viabilidad económica de un proyecto y consecuentemente la máxima profundidad que se puede alcanzar mediante minería de superficie (Herrera, 2006).

1.3.9.3. Sistemas de explotación minera a cielo abierto

Según (Herrera, 2006) debido a las diversas características estructurales que posee cada yacimiento se pueden identificar algunas clases de materiales que ocasionarán una selección de sub-métodos clásicos de explotación a tajo abierto.

a) Método de cortas:

De acuerdo con (Herrera, 2006) el método de cortas consiste en una explotación a cielo abierto tridimensional de yacimientos por banqueo descendente, con secciones verticales de forma troncocónica de gran profundidad. Las profundidades que se alcanzan durante estas explotaciones son grandes en algunos casos llegando a superar los 300 metros. Resulta casi imposible rellenar los huecos creados por lo cual se deben construir depósitos para albergar este material alrededor de la mina.

El procedimiento que seguir para realizar una corta consiste en realizar bancos sucesivos para dar origen a un hueco que descubra el mineral, una vez removido el material estéril hacia los depósitos anteriormente creados. Para conseguir un tamaño de roca manipulable, se realizan barrenos en los cuales se coloca una carga explosiva y finalmente para transportar el material fragmentado se utiliza volquetes, vagones de ferrocarril o cintas.

b) Transferencia

La minería de transferencia es un método que internacionalmente es conocido como “Stripping” que básicamente significa destape o descubierta. Según la Minería Sostenible de (Galicia, 2019) esta técnica es considerada a nivel internacional como la ‘Mejor técnica disponible’ debido a que disminuye en gran medida el área afectada por la explotación, minimizando notablemente la formación de escombreras, ya que

la mayor parte del material estéril se utiliza para rellenar los huecos creados una vez agotado el mineral.

Este método de explotación consiste en realizar la excavación por partes o fases, a diferencia de la minería tradicional donde se lo hace en su totalidad, permitiendo rellenar los huecos después de cada fase. Esto genera que haya menos terreno en explotación y a su vez que el impacto sea menor.

Para ejecutar este método se realiza un hueco inicial donde el material estéril es acumulado al exterior del área de trabajo.

Una vez aprovechado el mineral de la primera excavación se realiza una nueva excavación. El material estéril es depositado en el primer hueco, transfiriéndose y rellenando sucesivamente. De esta manera el área de trabajo es desplazada progresivamente en la dirección que avanza el yacimiento de manera controlada.

De acuerdo con el (Servicio Geológico Minero, 2017) las ventajas que genera la minería de transferencia son:

- **Mínimo impacto ambiental.** Debido a la restauración continua que se realiza, el material estéril es recolectado en poco tiempo favoreciendo la recuperación del entorno.
- **Menor superficie afectada.** No es necesario construir escombreras pues el mismo hueco creado servirá como depósito posteriormente.
- **Ahorro de agua.** Al reducir la superficie expuesta al agua lluvia se disminuye la cantidad de agua a tratar.

Según (Herrera, 2006) el método de transferencia requiere condiciones que son más comunes en depósitos sedimentarios grandes con tectónica suaves como sucede con los carbones, fosfatos, bauxitas, arenas bituminosas y graveras. Las condiciones son:

- Buzamientos casi horizontales.
- Grandes reservas.
- Rocas blandas en la cobertura estéril.
- Pocas capas y potentes. Uno o dos niveles.
- Limitada profundidad de los yacimientos.

De acuerdo con (Hernández, 2016) los dos sistemas clásicos de la minería de transferencia son:

c) Sistema americano o descubiertas:

El método por descubiertas es de carácter discontinuo, el sistema de transferencia empleado es con dragaminas, este método es usado en yacimientos que cumplen las siguientes características:

- La capa deberá tener una potencia superior a 2 metros.
- El material estéril podrá ser removido con excavación o tras una pre-voladura suave.
- Las reservas deberán ser lo suficientes para justificar la inversión y vida útil de la maquinaria.

En explotaciones pequeñas en donde no se justifica las inversiones en maquinaria de gran tamaño se encontrará tractores de orugas, cargadoras frontales, entre otras.

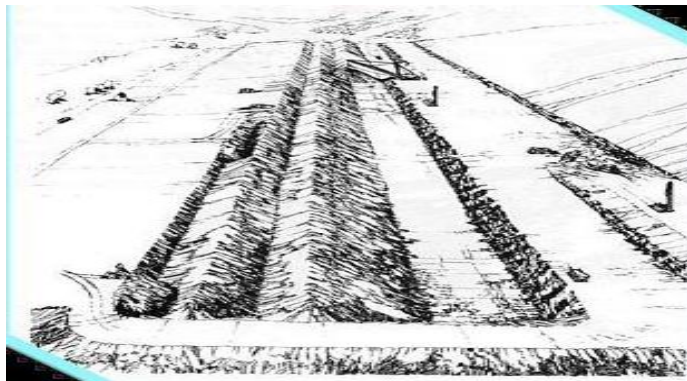


Figura 1.10 Sistema americano.

Fuente: (Herrera, 2006)

d) Sistema alemán o terrazas

El método por terrazas es de carácter continuo, usado generalmente en yacimientos de lignitos o yacimientos de minerales blandos, consiste en minería de banqueo con un avance unidireccional. En este sistema se pueden utilizar excavadoras de cangilones o excavadoras de rodetes, la última es la más usada debido a su enorme desarrollo y mejoras en el diseño.

- Además, establece que las condiciones requeridas para aplicar este sistema son:

- Capas u horizontes con buzamientos menores a 10 grados.
- Tectónicamente tranquilos y estratificados.
- Recubrimientos con poca resistencia y poca agresividad.

Las ventajas de incorporar este método son:

- Alta producción y excelente rendimiento horario.
- Bajo consumo de energía a diferencia de la maquinaria cíclica.
- Facilidad al cargar material para transportarlo.
- Su radio de descarga es enorme.

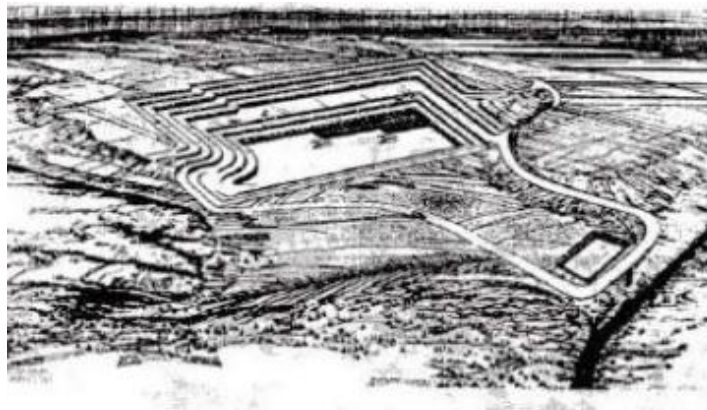


Figura 1.11 Sistema de terrazas.

Fuente: (Herrera, 2006)

e) Minería de contorno

Respecto a lo mencionado por (Herrera, 2006) se puede afirmar que este método es utilizado en yacimientos de carbón ya que cuentan con características particulares como capas tumbadas, reducida potencia y topografía desfavorable. Este método se ejecuta realizando una excavación del material estéril y del mineral en sentido transversal al afloramiento. El límite en cuanto a la profundidad depende del límite económico, dejando así un talud con banco único y avance en sentido longitudinal siguiendo el afloramiento.

Debido al enorme crecimiento de estas explotaciones y la poca profundidad de los huecos, es viable aplicar la transferencia del material estéril para recuperar los terrenos afectados. Se puede utilizar maquinaria convencional.

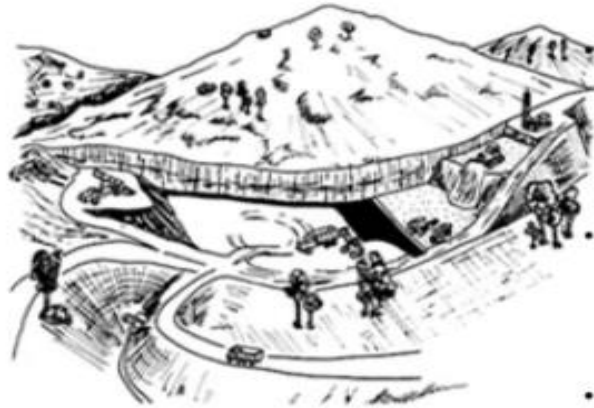


Figura 1.12 Minería de contorno.

Fuente: (Herrera, 2006)

f) Canteras

En base a lo mencionado por (Herrera, 2006) se puede decir que las explotaciones de canteras son parecidas a la explotación de minas a cielo abierto, prácticamente el equipo utilizado es el mismo. La característica que distingue es el material que se extrae, en las canteras se extraen minerales industriales y materiales de construcción. El material estéril es relativamente nulo puesto que casi todo el material que se extrae se transforma en algún producto. Esto ocasiona que al final de la explotación quede una gran excavación.

Los tipos de explotación de canteras que se distinguen son:

- Canteras de áridos: Escolleras, asfaltos, graveras, zahorras, etc.
- Canteras de roca ornamental: Pizarra, granito, mármol, etc.
- Cantera de rocas y minerales industriales: Cemento, ladrillera, cerámica y vidrio.
- Cantera de áridos: Según su proceso de obtención se clasifican en: naturales, artificiales, reciclados.

Canteras de rocas ornamentales: Son rocas naturales que han ido adquiriendo un mayor interés económico y comercial debido a varios factores como: Su vistosidad, aptitud para el pulido, belleza, características físico-mecánicas, etc.

Los tipos de rocas ornamentales son:

- Pizarras: Son minerales blandos, cuyo origen es sedimentario, evaporítico y en ocasiones metamórficas con resistencia menores a 40 MPa.
- Mármoles: Son minerales de origen metamórfico con resistencias entre 40 MPa a 100 MPa.
- Granitos: Conformados por granitos poco alterados, pórfidos, dioritas, es decir rocas de origen ígneo con una resistencia superior a 20 MPa.



Figura 1.13 Canteras.

Fuente: (Herrera, 2006)

g) Graveras

Para (Herrera, 2006) los depósitos están formados por materiales detríticos como gravas, arenas, etc. Esta técnica es utilizada para explotar materiales de construcción situadas en terrazas aluviales. La extracción es directa debido a que el material está suelto esto facilita en gran medida el trabajo necesario para su extracción. Solo es necesario la construcción de un banco con profundidad promedio de 20 metros utilizando equipos convencionales. En ocasiones el material de interés está en contacto con acuíferos infra yacentes de presentarse estas condiciones los equipos mineros utilizados son dragas, dragaminas o raspas.

Se distinguen tres tipos de graveras las cuales son:

- Graveras secas.
- Graveras con explotación bajo lámina de agua.
- Graveras con rebajamiento del nivel freático.



Figura 1.14 Graveras.

Fuente: SOTECMA.

h) Minería hidráulica o aluvial

Para (Herrera, 2006) la minería hidráulica es la explotación de yacimientos que están situados bajo el agua. Se emplea un sistema de arranque del mineral ubicado cerca de la planta de concentración, situada en una plataforma flotante.

Para que el depósito sea explotado con esta técnica es necesario que cumpla las siguientes características:

- Determinado tamaño y valor del depósito.
- El arranque y cargado del material debe ser de una forma directa y sencilla.
- Granulometría fina del material.
- Impermeabilidad del muro.
- Geometría adecuada del Bed-Rock.

Al emplear la minería hidráulica se puede conseguir costos muy bajos por extracción de metro cúbico debido a que se puede automatizar los procesos de arranque y transporte, de esta manera permite que se trabaje con leyes de mineral bajas, además facilita la separación de arenas y caolines de las arenas más gruesas únicamente realizando sedimentación.



Figura 1.15 Minería hidráulica.

Fuente: Mina Richards Bay Minerals.

i) Niveles horizontales

De acuerdo con lo mencionado por (Oro tierra Consulting Cia. Ltda., 2001) el método de niveles horizontales para la explotación es seleccionado tomando en cuenta las características topográficas, morfológicas y geológicas del yacimiento. En la ejecución de este método el mineral se arranca por franjas horizontales permitiendo efectuar el arranque del material útil con la calidad requerida y en correspondencia al plan establecido, empezando desde la parte superior del cuerpo y avanzando descendentemente. Parte del mineral se deja en las plataformas de explotación, donde sirve como plataforma de trabajo para la explotación del mineral.

Una vez que se explote la totalidad de material posible en un determinado nivel, se efectúa la apertura de una trinchera de corte que permita acceder hasta el nivel inmediatamente inferior; este trabajo se lo efectúa de ser posible desde la trinchera de acceso que atraviesa el área minera.

Conforme avance la explotación del material, el depósito se irá conformando por la sucesión de taludes y plataformas en receso y su respectiva superficie formada por la explotación del nivel I, hasta alcanzar la superficie final en el nivel X.

1.4. Minería a cielo abierto

Una "estrategia de minería" se denomina interacción iterativa tanto desde una perspectiva temporal como espacial, que permite sacar a la luz la minería de una tienda a través de un conjunto de marcos, procesos y máquinas que operan de una forma ordenada, repetitiva y rutinaria.

La minería a cielo abierto está representada por enormes volúmenes de materiales que deben moverse. La disposición del yacimiento y el recubrimiento e intercalaciones de material estéril determinan la relación estéril/mineral con que se debe extraer este último. Este límite, llamado habitualmente "proporción", puede ser profundamente factorizado empezando por un almacén y luego por el siguiente, la profundidad que es posible alcanzar por minería de superficie (Cuesta, 2016).

1.5. Explotación de canteras

La metodología que habitualmente se aplica en la investigación de yacimientos de roca ornamental es singular y se caracteriza por ser aplicada a todos los tipos de roca gracias a su versatilidad, incluso en el grado de detalle, apenas lo suficiente para ajustar los límites particulares de cada sustancia (Cuesta, 2016).

Como regla general, todo el ciclo, desde la agregación bibliográfica subyacente hasta el inicio de la cantera, se aísla en cinco etapas que se describen a continuación. Sin embargo, el contenido de cada una de estas cinco fases no es unívoco ni cerrado, siendo, al final, el propio yacimiento el que marca la pauta a seguir, el sitio real que marca la norma a seguir, particularmente en todo lo que se identifica con tamaños de trabajo, naturaleza de las evaluaciones, estrategias (Hernández, 2016).

Las fases seguidas son:

Fase 1: Recopilación de datos y referencias de libros. Reúne y desglosa todos los datos geográficos - mineros accesibles con respecto a la piedra y la región a examinar, como métodos de elaboración de mapas de actualidad, consideraciones de vecindario, teorías doctorales, información de canteras, etc. Esto permite realizar una primera selección de las zonas que tienen un interés real o potencial y una planificación realista de los estudios posteriores. De modo orientativo, suele trabajarse con cartografías a escalas entre 1:50.000 y 1:200.000.

Fase 2: Exploración de campo. En ella se visitan, muestrean e inventarían, con carácter preliminar, todos los indicios de interés seleccionados a partir de las fuentes bibliográficas. Se continúa la recuperación completa de datos e informaciones, esta vez contrastando en el campo y, posteriormente, ponderadas para realizar una nueva selección de zonas de interés que serán objeto de atención en la siguiente fase. Como ayudante, es habitual trabajar con métodos de creación de mapas a escalas entre 1: 50.000 y 1: 200.000.

Fase 3: Examen previo. Con mucha más sutileza respecto a la etapa pasada, de los espacios elegidos en esa etapa, todos los ángulos identificados con:

- Atributos de área
- Atributos geológicos de la piedra
- Características mecánicas de la roca y calidad
- Cambio potencial
- Viabilidad del doble trato en la minería
- Selección de espacios de interés para el siguiente período de exploración.

Fase 4: Examen detallado. En él, las regiones elegidas en la etapa anterior se examinan nuevamente para elegir los enfoques más positivos para la extracción mecánica de piedra. Se incide especialmente en determinar, tan exactamente como sea posible, aquellas características de la roca que le dan valor comercial y pueden condicionar su doble acción, por ejemplo, la visibilidad, el sombreado, el tamaño de grano, la homogeneidad, la presencia de modificaciones, además, las oxidaciones, la oposición mecánica, la rotura de la piedra y el macizo, foliaciones, etc.

Para ello, se analizan:

- Características de la tienda
- Sondeos con recuperación de testigo
- Apertura de un frente piloto para extracción de bloques
- Determinación de los atributos de la roca

Como ayudante, normalmente se trabaja con métodos de creación de mapas a escalas entre 1: 1.000 y 1: 10.000.

Fase 5: Proyecto de explotación y apertura de la cantera en los espacios que han llegado a esta etapa, ya que están pensados, en un nivel fundamental, adecuadamente investigados y cuentan con un adecuado grado de datos. Las investigaciones que se abrazan en esta etapa son las que, por fin, descubren la viabilidad monetaria especializada del doble trato de la piedra (Valverde, 2016).

1.6. Minerales no metálicos (sílice)

Sílice es el nombre que recibe un grupo de minerales compuestos de silicio y oxígeno, los dos elementos más abundantes de la corteza terrestre. A pesar de su simple fórmula química, SiO_2 la sílice existe en diferentes formas. Por lo general, la sílice se encuentra en estado cristalino, aunque también está en estado amorfo (no cristalino). La sílice cristalina es dura, químicamente inerte y su punto de fusión es elevado. La sílice cristalina se utiliza en muchas aplicaciones, pero nos centraremos únicamente en la industria extractiva (Felicísimo, 1994).

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA DE LA EXPLOTACIÓN ACTUAL

2.1. Delimitación de la zona de interés

Una vez analizadas las características presentes en las 6 ha que conforman la concesión minera “Dominick” se ha determinado una zona de interés, la misma que cuenta con una superficie de 2 ha y que está delimitada por las siguientes coordenadas:

Tabla 2.1 Ubicación en coordenadas UTM puntos.

	X	Y
P1.	791675	9672750
P2.	791675	9673200
P3.	792025	9673200
P4.	792025	9672750
Superficie: 2 ha		Mineral: sílice

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de esta superficie se dispone en una sola capa con una potencia promedio medida desde el nivel más bajo del frente de trabajo, aproximada a los 20 m, donde se observa la presencia del mineral de sílice (ver Figura 2.1).



Figura 2.1 Afloramiento de la zona de interés.

Fuente: Elaboración propia.

Resulta de suma importancia dar a conocer el interior de la superficie concesionada como se realiza a continuación:

Se tiene una pequeña fuente de agua en la parte alta del depósito y su caudal aumenta dependiendo la temporada de lluvia, fluye en dirección E-W, de la cual es captada mediante bomba para las actividades posteriores.

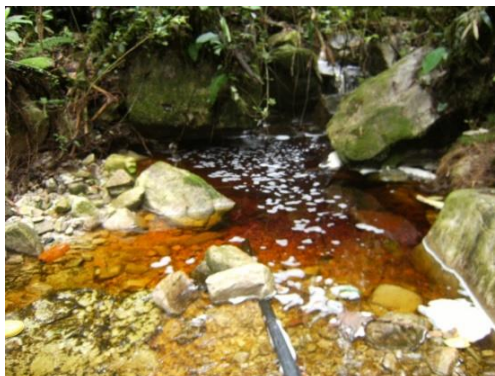


Figura 2.2 Fuente de agua.

Fuente: Elaboración propia

Para acceder a la zona de interés se puede observar una sola vía de tercer orden, y es utilizada durante todo el año. (Ver Figura 2.3).

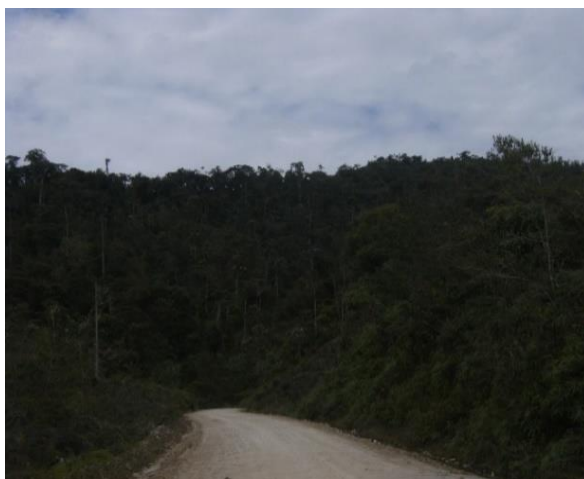


Figura 2.3 Vías.

Fuente: Elaboración propia.

Según la información presentada en el informe de producción de la mina Dominick la granulometría del yacimiento que se observa tiene una uniformidad buena, así como en sus características químicas (ver Figura 2.4).



Figura 2.4 Características de la arena de cuarzo.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Levantamiento topográfico de detalle

Como primer paso se procedió al reconocimiento del área minera y de la zona de interés para posteriormente realizar el plan de vuelo del dron. Una vez que se han realizado todos los preparativos previos, se comenzó con el proceso del levantamiento topográfico. Posteriormente, se procesó la información en el software Pix4Dmapper, para la obtención de las curvas de nivel de la zona a explotarse (UTM PSAD 56), como se puede observar en la figura 2.5, dichos datos obtenidos en este programa, se los exportaron a CivilCad 3D para su procesamiento final.

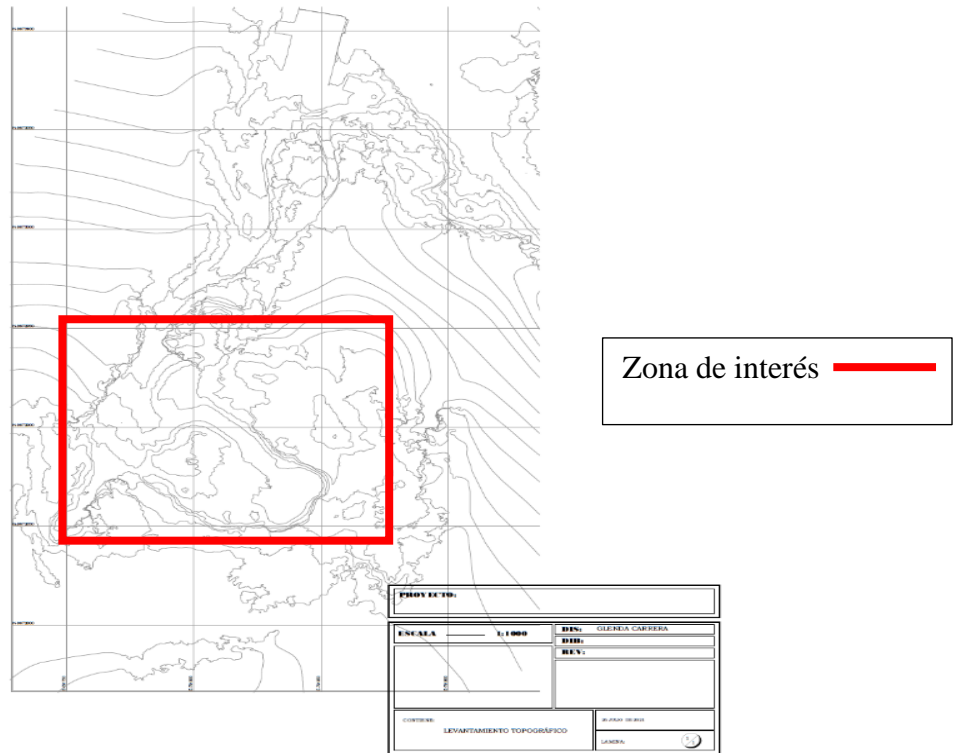


Figura 2.5 Levantamiento topográfico de detalle.

Fuente: Elaboración propia.

2.3. Cálculo de volúmenes

Para el proceso de cálculo de volumen se evalúa las reservas de sílice de la mina con el transporte de material en diferentes contenedores, en nuestro caso camiones, para seleccionar la maquinaria para las operaciones de arranque, carguío y transporte con un factor de acoplamiento equivalente a 1 entre el equipo de apilado y transporte, la utilización de un montón de factores explícitos para cada equipo y el material a transportar o cargar (Cuesta, 2016).

Una de las etapas más pertinentes para seguir la creación de reservas es la determinación correcta del hardware para las actividades de apilado y transporte, desde el frente hasta la región de stock o el punto de descarga. Es por eso que de acuerdo a las características de la maquinaria se ha establecido que las operaciones de arranque y carguío se desarrollen con el uso de una excavadora hidráulica, marca Komatsu, modelo PC200-8, y para la operación de transporte se utilicen camiones volquete marca JAC HFC-4181 de 9 m³ de capacidad, siguiendo un sistema de

explotación discontinuo sin ningún tipo de preparación de la zona de explotación en cuanto a perforación y voladura.

Para fomentar con éxito el ciclo de trabajo entre el montón y las unidades de transporte, debe haber un equilibrio seguro entre las mediciones y el límite de creación del hardware entre ellos. Una regla muy extendida a nivel laboral es que el número de cucharones de material que debe depositar el equipo de carga sobre la unidad de transporte debe estar comprendido entre 3 y 6 para lograr tiempos de ciclo y de producción más efectivos (Cuesta, 2016).

Para decidir la cantidad de retroexcavadoras hidráulicas necesarias para una producción diaria de 242,32 m³, se debe calcular el tiempo de ciclo por cada excavadora en función de las variables de tiempo que han sido tomadas dentro de la observación de campo, y que se detallan en la Tabla 2.2 Este valor se utiliza para el comienzo o la temporada de apilado de un cubo de material.

Tabla 2.2 Tiempo de ciclo para maniobras de carga y descarga.

Tiempo de ciclo	
Acción	Tiempo (s)
Levantar la pala	10
Vaciar la pala	3
Bajar la pala	4
Tiempo en cargar y posicionarse	13
Tiempo de ciclo "Tc"	30

Fuente: (Herrera, 2006)

Una variable más significativa para la determinación del hardware es decidir el límite de creación de cada grupo. Para la actividad de inicio y apilamiento, se ha determinado la medida de material que se puede sacar por arranque mecánico mediante un movimiento de tierras a presión, la cual produce 504 m³ al día como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Capacidad de producción de la excavadora hidráulica.

Producción diaria	
	$\text{Producción (m}^3 \text{/h)} = \frac{60 * Cc * E * f}{Tc}$
Factor de llenado "F"	75%
Capacidad de llenado real "Cc"	0,94 m ³
Eficiencia "E"	75%
Tiempo de ciclo "Tc"	0,5 min
Horas de trabajo	8 h/d
Capacidad de producción	504 m ³ /d
	63 m ³ /h

Fuente: (Herrera, 2006)

Con el límite de creación día a día antes mencionado de una excavadora en cuanto a actividad de apilado de material a las unidades de transporte, que se relaciona con el doble de la creación necesaria para la producción, se justifica el sobredimensionamiento del equipo debido a que efectuará la operación de arranque mecánico y carguío de material a las unidades de transporte (Tabla 2.4).

Tabla 2.4 Número de equipos de carguío.

Cantidad de excavadoras hidráulicas	
	$N = \frac{\text{Producción diaria}}{\text{Capacidad de producción}}$
Producción diaria	242,32 m ³ /d
Capacidad de producción	504 m ³ /d
No.	0,5 ≈ 1 Excavadora hidráulica.

Fuente: (Herrera, 2006)

2.4. Descripción de la metodología de explotación

Minas Dominick es una empresa constituida en el catón Limón Indanza de la provincia de Morona Santiago. Las principales actividades que realiza esta empresa son la extracción, procesamiento, fabricación y distribución de productos de sílice útiles para distintas aplicaciones de tipo industrial.

Una deficiente tecnificación por parte de las empresas mineras en el Ecuador provoca pérdidas económicas considerables, es por ello por lo que desarrollar una tecnificación dejando de lado la improvisación es una manera de garantizar la optimización de procesos. Es por ello que el presente trabajo de titulación plantea desarrollar un diseño de un sistema de explotación adecuado para la extracción de sílice y posteriormente comparar el beneficio de este diseño contra el sistema actual de explotación utilizado por parte de la empresa.

Minas Dominick no cuenta con la información suficiente para realizar un adecuado sistema de explotación de sílice, es por esta razón que se realizará un estudio previo para determinar la situación actual de la mina y con los resultados obtenidos se propondrá un diseño de explotación óptimo que nos permita normalizar los volúmenes de explotación.

2.5. Proceso de producción

Se describe la manera en la que se está realizando la extracción del mineral, la cual es ejecutada sin una planificación técnica previa que permita optimizar los beneficios económicos.

Secuencia de extracción: Se realiza el mantenimiento periódico de las vías de acceso existentes, además, de la vía de acceso principal. Se ejecutan las actividades de remoción de estéril a medida que se avanza en la explotación, el carguío y el transporte hasta la planta de tratamiento y tratamiento del mineral.

Arranque: En el arranque se ejecuta la operación de extracción del mineral y material estéril, del área de explotación. Esta etapa está condicionada a factores como el tipo y disposición del material, la topografía, etc., Para el desbroce de la capa vegetal, así como del material estéril se ocupa la retroexcavadora Caterpillar 426f2 para llevarlo hasta una zona predestinada para el almacenamiento de este material. El arranque del mineral se lo realiza mediante la excavadora Komatsu pc200-8.

Carguío y Transporte: El mineral que fue arrancado del frente de trabajo es cargado directamente a un volquete JAC HFC-4181 con una capacidad nominal de 40-48 toneladas mediante la pala hidráulica Komatsu PC 200-8. De ahí se transporta el mineral directamente al centro de almacenamiento hasta ser dispuesto por la planta de tratamiento.

Procesamiento: Acorde a la demanda el mineral es traído desde el centro de almacenamiento para ser procesado, es decir; triturado, lavado y secado de sílice hasta dejarlo del tamaño de malla #20, #16, #10, #8 el cual será demandado acorde a la necesidad del cliente.

Comercialización: Una vez que el mineral ha salido de la planta de tratamiento es clasificado de acuerdo con el tamaño es comercializado al granel o enfundado, seco o húmedo para posteriormente ser comercializado directamente por el productor con empresas industriales de la región.

2.6. Maquinaria

Tabla 2.5 Excavadora Hidráulica - Komatsu PC200-8

Excavadora hidráulica - Komatsu PC200-8	
Tren de rodaje	
Número de zapatas de un lado	45
Tamaño de la zapata	800 mm
Velocidad máxima de transporte	5.5 km/h
Fuerza de tracción del gancho	178 kN
Ancho de vía	2200 mm
Pala	
Volumen inicial de la pala	1 m ³
Volumen máximo de la pala	1.2 m ³
Motor	
Fabricante	Komatsu
Modelo	SAA6D107E-1
Potencia total	116 kW
Potencia efectiva	110 kW
Potencia medida en	2000 rpm.
Cilindrada	6.7 l.
Velocidad de giro	12.4 rpm.
Momento de fuerza de giro	67664.8 Nm
Dimensiones	
Ancho hasta el lado exterior de la cadena de oruga	3000 mm
Altura hasta la parte superior de la cabina	3040 mm
Despeje sobre el suelo	440 mm
Longitud de la cadena de la oruga a nivel del suelo	3275 mm
Tren de rodaje	
Ancho de vía	2200 mm
Tamaño de la zapata	800 mm
Dimensiones	
Despeje del contrapeso sobre el suelo	1085 mm
Ancho hasta el lado exterior de la cadena de oruga	3000 mm
Longitud de la cadena de la oruga a nivel del suelo	3275 mm
Despeje sobre el suelo	440 mm
Altura hasta la parte superior de la cabina	3040 mm
Radio de giro de la parte trasera de la plataforma	2750 mm
Característica de plumas/secciones	
Longitud para el transporte	5700 mm
Altura para el transporte	3190 mm
Altura máxima de carga	7000 mm

Alcance máximo a lo largo del nivel del suelo	9190 mm
Profundidad máxima de excavación	7100 mm
Alcance máximo a lo largo del nivel del suelo	9700 mm

Fuente: (KOMATSU, 2021)

Tabla 2.6 Retroexcavadora Caterpillar 426F2

Retroexcavadora Caterpillar 426F2	
Motor	
Potencia: neta	66 kW
Modelo	Cat 3054C Mechanical Turbo
Potencia nominal (estándar): 2.200 rpm: bruta: ISO 14396	68.5 kW
Potencia neta a 2.200 rpm: ISO 9249	66 kW
Potencia máxima neta: 2.000 rpm: SAE J1349	65 kW
Potencia máxima neta: 2.000 rpm: ISO 9249	65 kW
Potencia máxima neta: 2.000 rpm: EEC 80/1269	65 kW
Reserva de par: 1.200 rpm: neta	38%
Par máximo: 1.400 rpm	394 N·m
PESOS	
Peso en orden de trabajo: nominal	7990 kg
Peso en orden de trabajo: máximo	8760 kg
FRENOS	
Dimensiones de la máquina: GP: 1,05 M³	
Longitud total: en posición para carretera	5726 mm
Longitud total de transporte	5678 mm
Altura total de transporte	3757 mm
Ancho total: sin cucharón cargador	2346 mm
Altura: hasta la parte superior de la cabina o techo	2869 mm
Altura: parte superior del tubo de escape vertical	2716 mm
Eje trasero: línea de centro hasta parrilla delantera	2708 mm
Distancia entre ejes: AWD	2200 mm
Dimensiones y rendimiento del cucharón cargador: Uso general: 1,05 M3	
Capacidad	1.05 m ³

Ancho	2262 mm
Capacidad de levantamiento a altura máxima	3610 kg
Fuerza de desprendimiento de levantamiento	54.46 kN
Fuerza de desprendimiento de inclinación	53.92 kN
Carga límite de equilibrio: punto de desprendimiento	7012 kg
Altura máxima del pasador de articulación	3447 mm
Ángulo de descarga a altura máxima	46°
Altura de descarga a ángulo máximo	2733 mm
Alcance de descarga a ángulo máximo	900 mm
Inclinación hacia atrás máxima del cucharón a nivel del suelo	38°
Profundidad de excavación	88 mm
Ángulo máximo de nivelación	113°
Distancia de la parrilla a la cuchilla del cucharón, en posición de acarreo	1482 mm
Altura de operación máxima	4368 mm
Profundidad de excavación: SAE máxima	4119 mm
Profundidad de excavación, máxima del fabricante	4709 mm
Profundidad de excavación: fondo plano de 600 mm	4094 mm
Profundidad de excavación, fondo plano de 600 mm, del fabricante	4670 mm
Alcance desde el pivote de rotación a la línea a nivel del suelo	5609 mm
Altura de operación máxima	5719 mm
Altura de carga	4031 mm
Alcance de carga	1477 mm
Arco de rotación	180°
Rotación del cucharón	205°
Ancho total del estabilizador	2242 mm
Fuerza de excavación del cucharón	57.22 kN
Fuerza de excavación del brazo	35.29 kN

Fuente: (Caterpillar, 2021)

Tabla 2.7 Volquete JAC HFC-4181







Modelo	weichai power WP10.340 e32 euro III
Categoría	Camiones, volqueta
Número de cilindros	6 en línea - Turbo intercooler
Cilindrada	9726 cc.
Potencia máxima	340 HP / 2200 rpm
Sistema de enfriamiento	Radiador, ventilador y bomba de agua
Sistema de inyección	Eléctrica Bosch euro III. Filtro de combustible Racor
Tipo de combustible	Diesel
Capacidad de carga	9 m ³
Radio mínimo de giro	10 m
Capacidad de tanque	106 gal
Chasis	
Frenos	Freno a las válvulas WEVB
Radio mínimo de giro	9 m
Sistema eléctrico	2 baterías 24 V.
Suspensión delantera	Ballestas eje rígido, cap. Eje 7000 Kg.
Suspensión trasera	Ballestas eje rígido, cap. Eje 11.000Kg.
Cabina	Full equipo con litera / asiento de aire / 2 literas
Amortiguadores	Hidráulicos de doble acción, telescópicos

Fuente: (JAC MOTORS, 2021)

2.7. Equipos y señalética de seguridad

De acuerdo con el tipo de riesgo, al que cada trabajador se encuentre expuesto, existen diferentes tipos de equipos de protección personal que cumplen una función específica y se dividen de la siguiente manera (Tabla 2.8).

Tabla 2.8 Equipo de protección personal.

EPP	Descripción
	<p>Casco de seguridad: Equipo defensivo que se coloca en la parte superior del administrador de la máquina, transportadores y director de mina profesional, para asegurar la pieza superior de algo muy similar contra objetos que puedan caer. Este componente de seguridad es vital dado que asegura una de las piezas más importantes y fundamentales del cuerpo humano.</p>
	<p>Protección auditiva: Equipo de protección que se coloca en la cabeza y con seguridad directa en los oídos. Este componente de bienestar sirve para evitar el clamor y evitar impactos auditivos indeseables. Utilizado por el administrador de la excavadora hidráulica.</p>
	<p>Gafas de seguridad: Equipo de protección que se coloca en el rostro y con seguridad directa a los ojos. Este componente de bienestar sirve para asegurar contra cortes en los ojos o párpados, salpicaduras de sustancias, residuos, golpes y el sol. Es utilizado por todo el personal que trabaja.</p>
	<p>Calzado de seguridad: Herrajes de protección que se colocan en los pies para proteger a los trabajadores de diversos peligros, básicamente planeados para asegurar los dedos de los pies, así como contaminar con hidrocarburos, descargas eléctricas, caídas, golpes y atrapamientos. Es utilizado por todo el personal docente.</p>
	<p>Guantes de seguridad: Equipo de protección utilizado en las manos para asegurarlas contra cualquier peligro de cortes, raspaduras, consumos, penetraciones con artículos afilados, contacto directo de la piel con sintéticos destructivos y peligrosos. Utilizado por todo el personal cuando sea necesario.</p>
	<p>Protección respiratoria: Equipo de protección que se coloca en la cara y con seguridad directa en la boca para asegurar contra al menos una impureza explícita que existe en el ambiente de trabajo, principalmente polvo dentro de la instancia de cantera para materiales de desarrollo. Personal funcional desde el frente del doble trato.</p>

Fuente: (Herrera, 2006)

Equipo de protección que se coloca en la cara y con seguridad directa en la boca para asegurar contra al menos una impureza explícita que existe en el ambiente de trabajo, principalmente polvo dentro de la instancia de cantera para materiales de desarrollo. Personal funcional desde el frente del doble trato (Cuesta, 2016).

De acuerdo con el contenido del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo en el campo minero-Resolución 20 - Registro Oficial 247 de 16 de mayo de 2014, en su artículo 20 de rótulos de seguridad, establece que en todas las diligencias mineras debe existir el acompañamiento de carteles de bienestar según la normativa pública especializada vigente (Norma INEN 0349):

- Señales de advertencia: identifique las amenazas a las que está expuesto.
- Señalización obligatoria: Identificar las prácticas ideales y la utilización de equipo de protección personal (EPP).
- Señales de prohibición: Identificar prácticas indeseables y rechazarlas.
- Señalización de información: proporciona señales de actividad en caso de que ocurra una crisis y datos sobre regiones explícitas.

CAPÍTULO 3

PROPUESTA DE DISEÑO ÓPTIMO DE EXPLOTACIÓN

3.1 Análisis de datos técnicos

El área seleccionada para realizar la explotación cumple con los siguientes parámetros:

- Cantidad de material de sílice abundante para permitir el funcionamiento continuo de una planta de tratamiento.
- Levantamiento geológico: buzamiento de las capas en dirección a la pendiente.
- Características topográficas del terreno que nos permitirá y facilitará el trabajo por franjas horizontales durante el tiempo que se esté extrayendo el mineral.
- El área de explotación tiene secuencia con la apertura de la vía.
- El trazado de la vía y las características topográficas del terreno permitirá la explotación por un frente amplio, el cual facilitará el acceso al mismo
- Existe una zona que no tiene mineral la cual se puede utilizar como escombrera.
- Fácil acceso de vehículos.
- Análisis de los aspectos técnicos de la mina, debido a que estos inciden directamente en el costo de producción por tonelada de materia prima y están representadas en este caso por varias características como son: las formas, dimensiones y disposiciones en el espacio de los cuerpos mineralizados, el tipo, propiedades físico-mecánicas del mineral, la potencia de sobrecarga y la presencia de agua superficial o subterránea.

3.1.1. Determinación de los principales parámetros para el diseño de explotación

3.1.1.1. Profundidad de la cantera (H)

Para calcular la profundidad de explotación, en primer lugar, se debe determinar la cota superior (H_s) que será el límite superior de la cantera, y la cota base inferior (H_i). De esta manera se procede al cálculo de la profundidad (H) de la siguiente manera:

$$H = H_s - H_i \quad (1)$$

$$H = 1425 \text{ m} - 1405 \text{ m}$$

$$H = 20 \text{ m}$$

3.1.1.2. Altura del banco (hb)

La altura del banco debe garantizar la seguridad de los trabajos mineros, por ello esta altura no debe ser mayor a la altura máxima de excavación de la máquina. Tomando en cuenta que la máquina seleccionada para la extracción de sílice es la pala hidráulica Komatsu Pc200-8 se determinó que la altura de los bancos sea: 7 m para el primer nivel pues es el inicio de la explotación y presenta una irregularidad en su superficie y 6.5 m para los siguientes niveles ya que el alcance de la pala hidráulica es de 7.1 m.

3.1.1.3. Ángulo de talud del banco (\emptyset)

El ángulo de talud de los bancos generalmente se determina en base al tipo de material en el cual se va a trabajar, en este caso sílice, para este fin utilizamos tablas experimentales que proporcionan valores más aconsejables para este caso, y permitan desarrollar actividades extractivas con seguridad y estabilidad, para los obreros, personal técnico y la maquinaria utilizada para el arranque, carguío y transporte del material.

Para los bancos en receso se procurará una estabilidad de larga duración, la cual se obtendrá dándole el ángulo de talud del banco el correspondiente ángulo de talud natural de las rocas como se puede observar en el Anexo 4.

$$\text{Ángulo de talud para bancos en trabajo } (\emptyset t) = 65^\circ$$

$$\text{Ángulo de talud para bancos en receso } (\emptyset r) = 50^\circ$$

3.1.1.4. Número de bancos (Nb)

El número de bancos se calcula mediante la siguiente relación:

$$Nb = \frac{H}{hb} \quad (2)$$

$$Nb = \frac{20}{6.5}$$

$$Nb = 3.07 \approx 3$$

3.1.1.5. Ángulo de liquidación del borde de la cantera (α)

Para la determinación de este parámetro se debe considerar lo establecido en las tablas experimentales del Anexo 4, que para este tipo de material se recomienda un ángulo de liquidación comprendido entre el rango (31° - 44°). Aplicando el método gráfico se estableció que el ángulo de liquidación en esta ocasión será 39° .

3.1.1.6. Ancho de la plataforma de trabajo

Para el cálculo del ancho mínimo de la plataforma de trabajo se emplea la siguiente ecuación:

$$B_{pt} = A + C1 + Acv1 + b \quad (3)$$

En donde:

Distancia de seguridad (A) 2 m, ancho de la vía para la pala cargadora (C1) 9.7 m, ancho de la vía con un carril (A_{cv1}) y ancho del prisma de deslizamiento (b), Ancho del balde de carga (a) y ancho de la zona de resguardo (Y).

$$A_{cv1} = a + 2y \quad (4)$$

$$A_{cv1} = 2.50 \text{ m} + 2(0.25)$$

$$A_{cv1} = 3 \text{ m}.$$

Ancho del prisma de deslizamiento (b)

$$b = \frac{hb}{tg\alpha} \quad (5)$$

$$b = \frac{5}{tg65^\circ}$$

$$b = 2.3 \text{ m}$$

Por lo tanto:

$$B_{pt} = 2 \text{ m} + 9.7 \text{ m} + 3 \text{ m} + 2.3 \text{ m}$$

$$B_{pt} = 17 \text{ m}$$

3.1.1.7. Ángulo de talud del borde de trabajo (β)

El ángulo de talud del borde de trabajo debido a que se tienen dos alturas diferentes del banco en el primer nivel de 7 m y para los siguientes niveles de 6.5 m se lo calcula de la siguiente manera:

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{h}{(hb * \operatorname{ctg} \alpha) + Bpt} \quad (6)$$

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{7}{(7 * \operatorname{ctg} 65^\circ) + 17} ; \beta = \operatorname{arctg} \frac{6.5}{(6.5 * \operatorname{ctg} 65^\circ) + 17}$$

$$\beta = 12.33^\circ$$

$$\beta = 11^\circ$$

$$\beta \approx 12^\circ$$

3.1.1.8. Ancho de la trinchera de corte (Atc)

Al calcular el ancho de la trinchera de corte se debe utilizar la siguiente expresión:

$$Atc = Rv + \frac{lv}{2} + 2C \quad (7)$$

En donde:

Rv = Radio de giro del volquete = 10 m

Lv = Longitud del volquete = 6.1 m

C = Espacio entre el volquete y el borde del talud = 2 m

$$Atc = 9 \text{ m} + \frac{6.1 \text{ m}}{2} + 2(2 \text{ m})$$

$$Atc = 16.05 \text{ m}$$

3.2 Principales parámetros Minero - Técnicos de la cantera

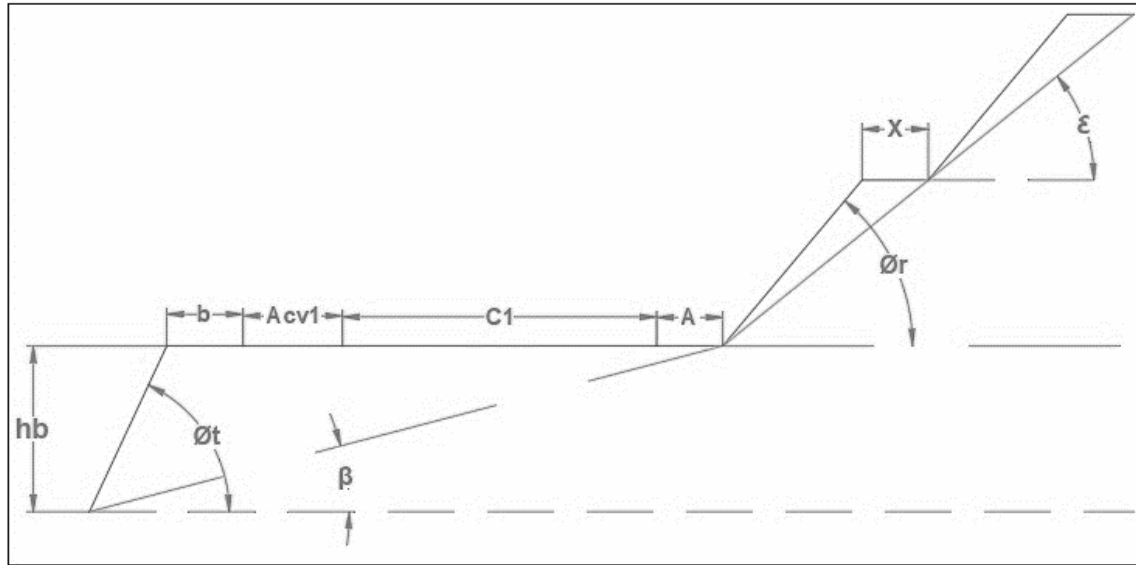


Figura 3.1 Diseño de parámetros.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.1. Parámetros técnicos de la cantera.

PARÁMETRO	SÍMBOLO	MAGNITUD
Profundidad de la cantera	H	20 m
Altura del banco	Hb	6.66 m
Ángulo de talud del banco en trabajo	\varnothing_t	65°
Ángulo de talud del banco en receso	\varnothing_r	50°
Ángulo de talud del borde de trabajo	β	12°
Ángulo de liquidación del borde de la cantera	ϵ	39°
Distancia de seguridad medida desde el talud	A	2
Ancho de la vía para la pala cargadora	C1	9.7 m
Ancho de la vía de un carril	Acv1	3 m
Ancho del prisma de deslizamiento	b	2.3 m
Ancho de la plataforma de receso	X	2 m

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1. Análisis de los parámetros de diseño

3.2.1.1. Método de bancos descendentes

Los bancos deberán ser diseñados con la finalidad de que permitan acomodar la maquinaria necesaria para realizar la explotación, además la altura de cada uno de estos bancos estará limitada por el alcance de la excavadora en este caso una Komatsu Pc200-8 con un alcance de 7.10m de profundidad. Para realizar la explotación de las

reservas de sílice en la mina Dominick por el método de bancos descendentes se procedió a dividir la explotación en 3 fases.

Fase 1

En la primera fase el establecimiento del primer banco y cada banco subsecuente es una operación crítica. La entrada inicial o apertura de banco, se trata de un prisma de roca en forma de cuña, el cual debe ser removido para establecer una nueva cara de banco. Se realiza la remoción de la capa vegetal de aproximadamente 0.60 m de altura. El ataque al mineral se realiza de techo a muro, como en cualquier otro método, la extracción del primer nivel se realiza en un banco con una altura de 7 m, el ángulo de trabajo de 65°. Para finalizar la explotación del primer nivel se construye un banco con un ángulo de receso de 50°.

El arranque del mineral se utilizará la excavadora hidráulica Komatsu Pc200-8 la cual se adapta perfectamente a la altura de la franja o nivel establecida anteriormente, pues su profundidad máxima de excavación es de 7.10 m, mientras que el transporte del material hasta la bodega será por medio del volquete JAC HFC-4181 el cual tiene una capacidad de carga de 9 m³.

La estimación del mineral a extraerse utilizando el software minero RecMin para este nivel es de 34776 m³, mientras que al realizar la estimación con el software minero de Arizaga y Narváez el volumen de mineral disponible es de 35784 m³. Con una variación entre los dos métodos del 2.81%.

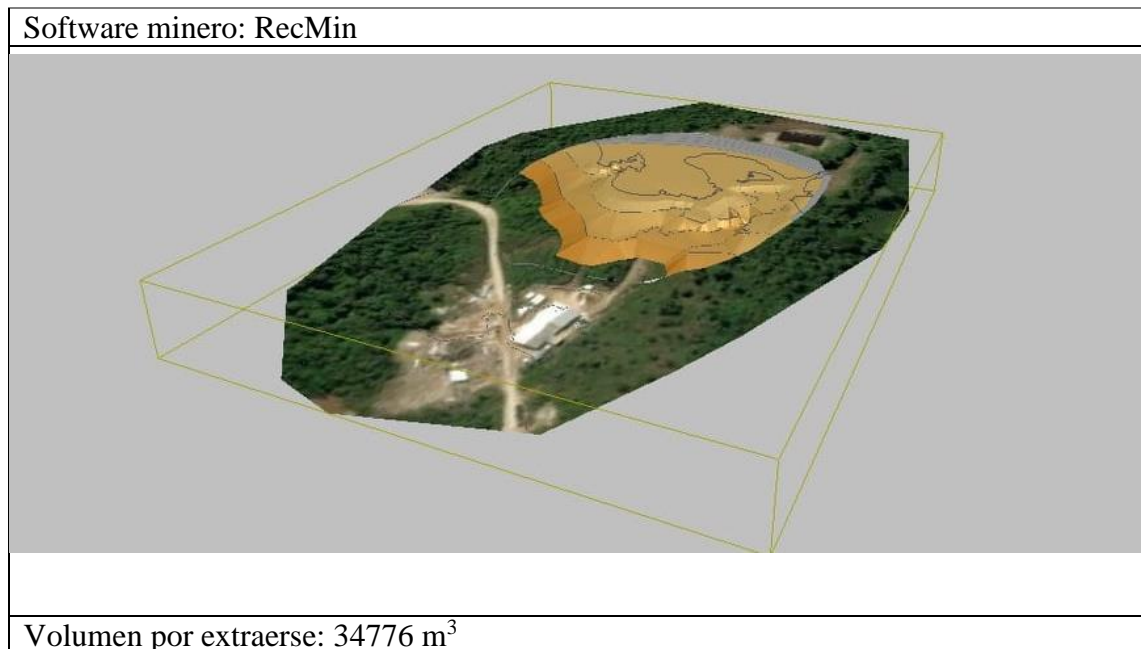


Figura 3.2 Método de bancos descendentes 1^{ra} fase RecMin.

Fuente: Elaboración propia.

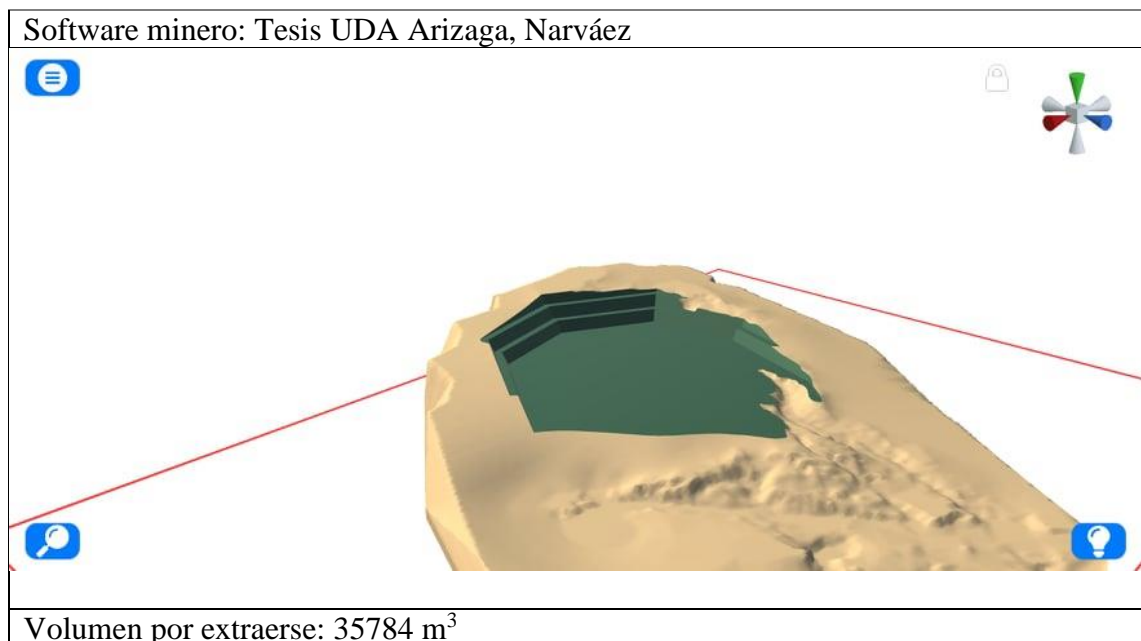


Figura 3.3 Método de bancos descendentes 1^{ra} fase Software minero: Tesis UDA.

Fuente: Elaboración propia.

Fase 2

Al realizar la explotación de la segunda fase se tendrá en cuenta que debe existir un desfase entre bancos a fin de disponer de unas plataformas de trabajo mínimas para que operen los equipos a su máximo rendimiento y en condiciones de seguridad en

este caso de 17 m siendo el resultado de la suma de: Ancho de la vía para la pala cargadora 9.7 m, distancia de seguridad medida desde el talud 2 m, ancho de la vía de un carril 3 m y ancho del prisma de deslizamiento 2.3 m. Un banco con una altura de 6.5 m con un ángulo de trabajo de 65°.

El arranque del mineral será realizado por la excavadora hidráulica Komatsu Pc200-8 mientras que el transporte del material hasta la bodega será por medio del volquete JAC HFC-4181.

La estimación del total de mineral a extraerse para la segunda fase utilizando el software minero RecMin para este nivel es de 124450 m³, mientras que al utilizarse el software minero de Arizaga y Narváez la estimación del mineral es de 122210.3 m³. Con una variación entre los dos métodos del 1.79%.

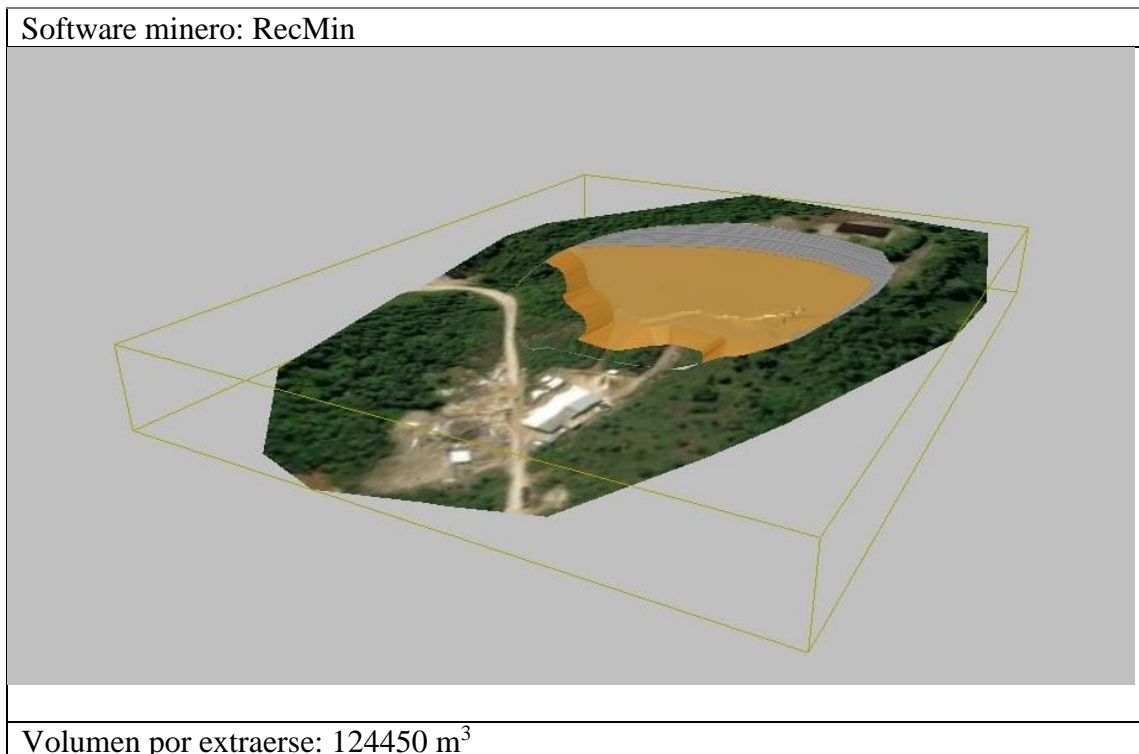


Figura 3.4 Método de bancos descendentes 2^{da} fase RecMin.

Fuente: Elaboración propia.

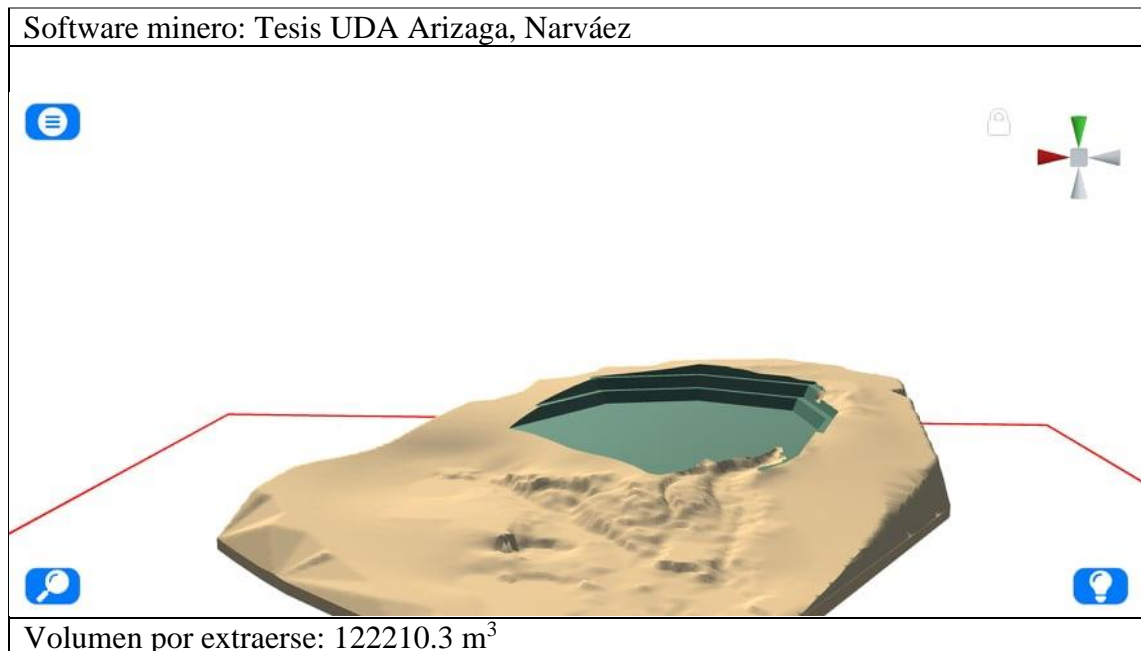


Figura 3.5 Método de bancos descendentes 2^{da} fase Software minero: Tesis UDA.

Fuente: Elaboración propia.

Fase 3

Finalmente, para la explotación de la tercera fase se construirá un banco de 6.5 m de altura y se conseguirá alcanzar la profundidad de la cantera establecida anteriormente de 20 m. El arranque del mineral será realizado por la excavadora hidráulica Komatsu Pc200-8 mientras que el transporte del material hasta la bodega será por medio del volquete JAC HFC-418.1

La estimación del total de mineral a extraerse para la tercera fase utilizando el software minero RecMin para este nivel es de 168100 m³, mientras que al utilizarse el software minero de Arizaga y Narváez la estimación del mineral es de 169623.78 m³. Con una variación entre los dos métodos del 0.89%.

Al finalizar la explotación se obtendrán 3 taludes con un ángulo de receso de 50° y un ángulo de liquidación del borde de la cantera de 39°.

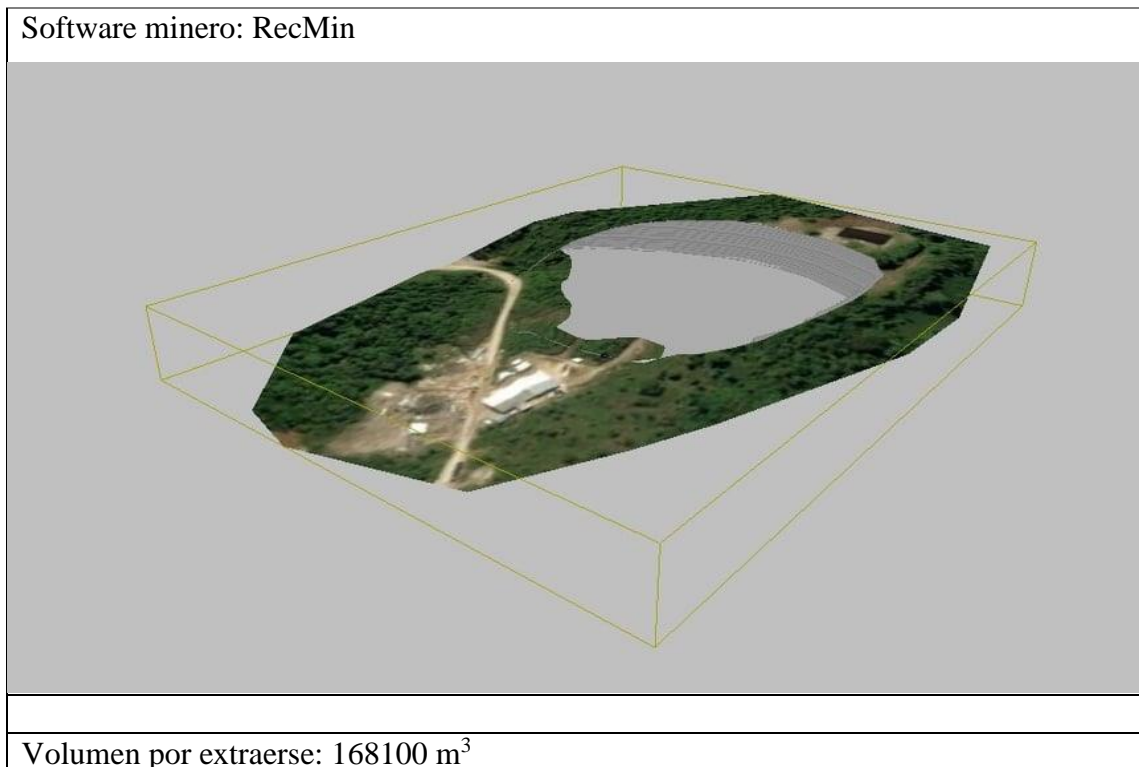


Figura 3.6 Método de bancos descendentes 3^{ra} fase RecMin.

Fuente: Elaboración propia.

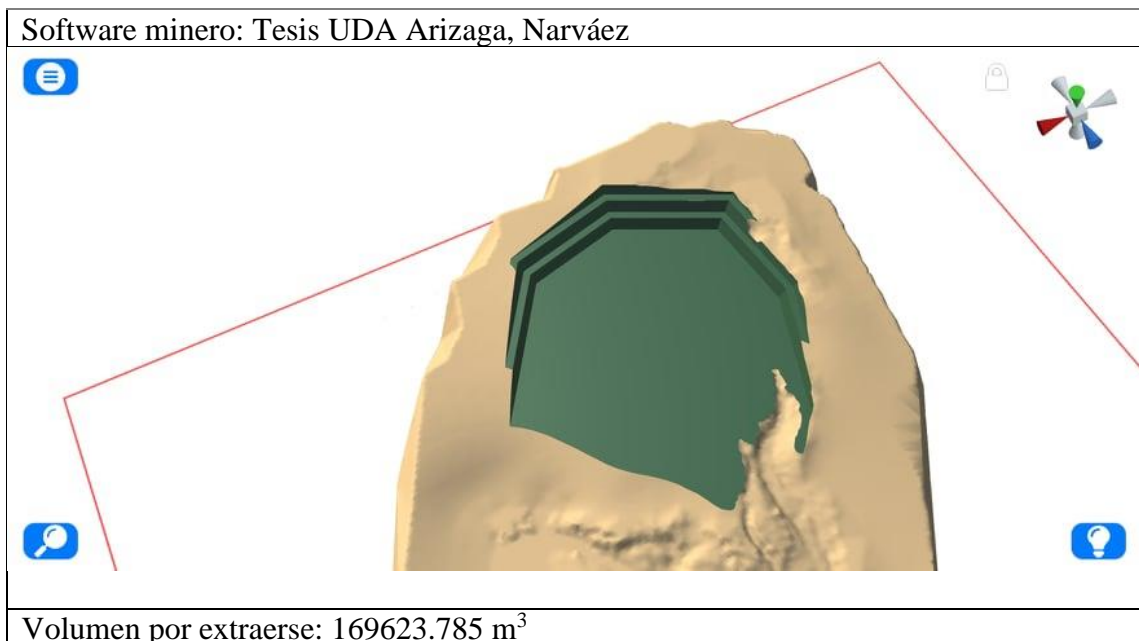


Figura 3.7 Método de bancos descendentes 3^{ra} fase Software minero: Tesis UDA.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2 Volúmenes de explotación total por bancos descendentes.

Bancos Descendentes	RecMin	Software Arizaga, Narváez	% Variación entre Softwares
Total 3 fases	327326 m ³	327618.085 m ³	0.09 %

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el modelamiento de los diseños, se utilizó el software minero RecMin y Software minero de Arizaga y Narváez para dispositivos móviles los cuales permiten una mejor apreciación de los diseños en cada una de sus fases y del diseño final.

En el primer diseño empleando el método de bancos descendentes, se puede observar 3 bancos, todos con un ángulo de 70° y bermas de seguridad de 3 m cada una. Se puede observar que el banco superior tiene una mayor altura que los demás, puesto que a la topografía del lugar hace que esta superficie sea irregular y tenga material estéril.

En el diseño final se extraerá un volumen total de 327618.08 m³.

3.2.1.2. Método de niveles horizontales

Los trabajos de explotación que se realizarán en el área minera Dominick permitirán efectuar el arranque del material útil con la calidad requerida y en correspondencia al plan establecido. El mineral será arrancado por franjas horizontales, las cuales serán preparadas para su extracción diaria empezando en la cota superior del depósito.

Para establecer la altura de las franjas en la explotación dependerá de la forma y superficie del depósito; por lo tanto, al tener forma y superficie irregular no es posible establecer una altura igual para las tres franjas para ello se ha establecido las siguientes medidas: 7 m para el nivel y 6.5 m para las dos siguientes.

Fase 1

El ancho de la plataforma de trabajo para todos los niveles fue establecido de acuerdo a los requerimientos de sílice que demanda la planta procesadora, las dimensiones de la pala hidráulica encargada del arranque y carguío y parámetros técnicos para brindar mayor seguridad al momento de ejecutar la extracción, que en el frente de explotación de la franja ocupará el doble de espacio del mismo, por lo tanto el ancho de la plataforma será de 17 m con una profundidad de excavación 7 m para este nivel,

equivalente a la profundidad de un banco considerado durante el diseño de explotación por el método de niveles horizontales.

Para realizar el desbroce de la capa vegetal que tiene un espesor aproximado de 0.6 m se deberá utilizar la Retroexcavadora Caterpillar 426F2, el arranque del mineral se utilizará la excavadora hidráulica Komatsu Pc200-8 la cual se adapta perfectamente a la altura de la franja o nivel establecida anteriormente, pues su profundidad máxima de excavación es de 7.10 m, mientras que el transporte del material hasta la bodega será por medio del volquete JAC HFC-4181 el cual tiene una capacidad de carga de 9 m³.

La franja del primer nivel tiene las siguientes características: un volumen aproximado a extraerse de 26025 m³ calculado a través de RecMin mientras que al calcular por software minero de Arizaga y Narváez obtenemos un volumen de 26079.42 m³, ancho de la franja 34.36 m, largo de franja 108.2 m. Con una variación entre el diseño realizado a través del software minero RecMin y del software minero de Arizaga y Narváez del 0.20%.

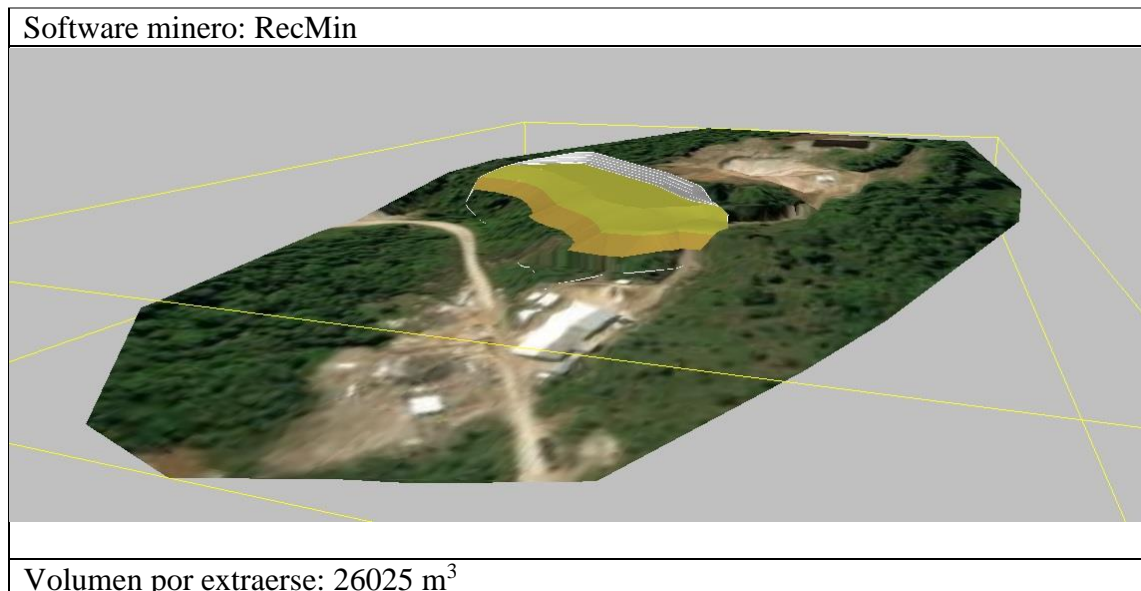


Figura 3.8 Método de niveles horizontales 1^{ra} fase RecMin.

Fuente: Elaboración propia.

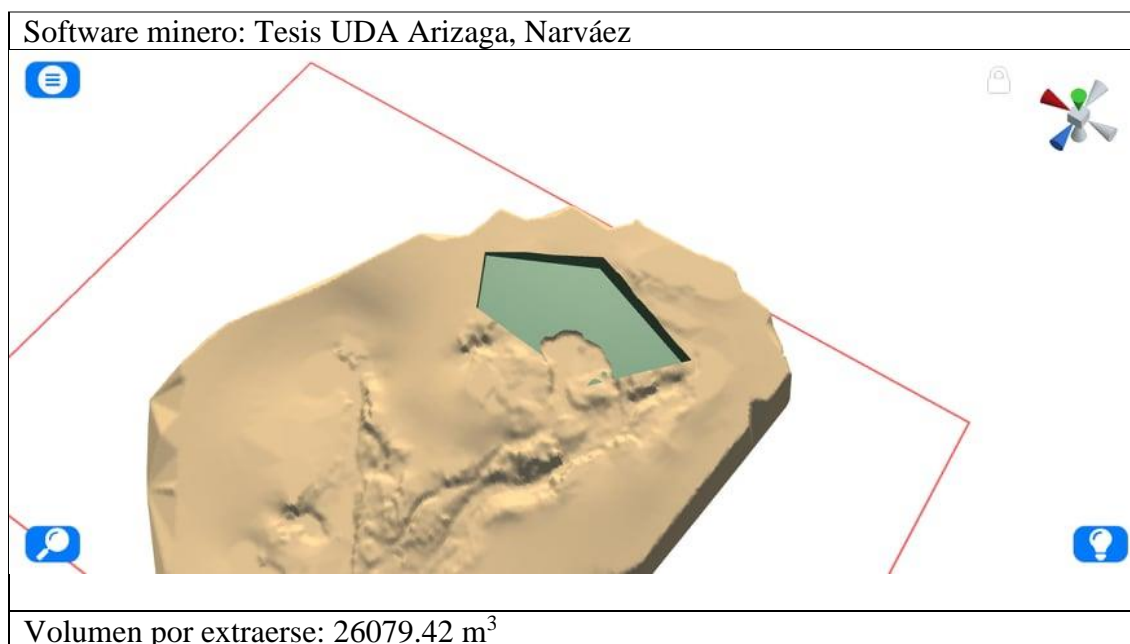


Figura 3.9 Método de niveles horizontales 1^{ra} fase Software minero: Tesis UDA.

Fuente: Elaboración propia.

Fase 2

Los trabajos se deberán realizar en este nivel inmediatamente al terminar la construcción del banco en receso del nivel superior brindando condiciones de trabajo seguras tanto para la maquinaria como para los obreros. El arranque del mineral será realizado por la excavadora hidráulica Komatsu Pc200-8 mientras que el transporte del material hasta la bodega será por medio del volquete JAC HFC-4181.

La franja del segundo nivel tiene las siguientes características: un volumen aproximado a extraerse de 36825 m³ calculado a través de RecMin mientras que al calcular por software minero de Arizaga y Narváez 36073.89 m³, ancho de la franja 47.52 m, largo de franja 119.21 m y una profundidad de 6.5m. Con una variación entre el diseño realizado a través del software minero RecMin y del software minero de Arizaga y Narváez del 2%.

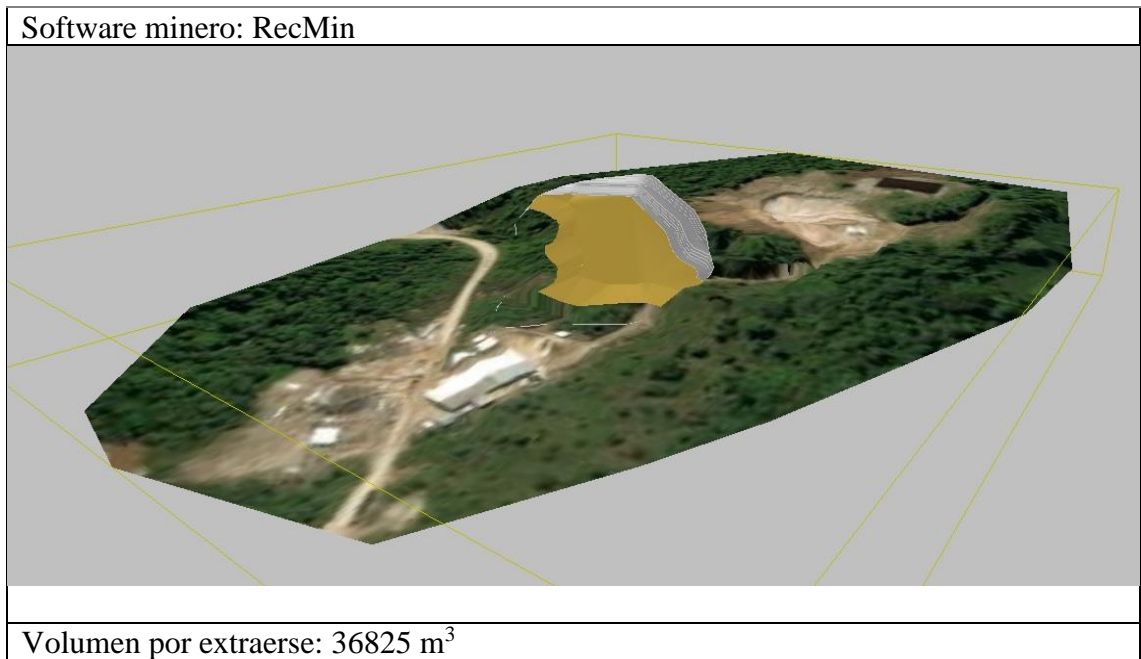


Figura 3.10 Método de niveles horizontales 2^{da} fase RecMin.

Fuente: Elaboración propia.

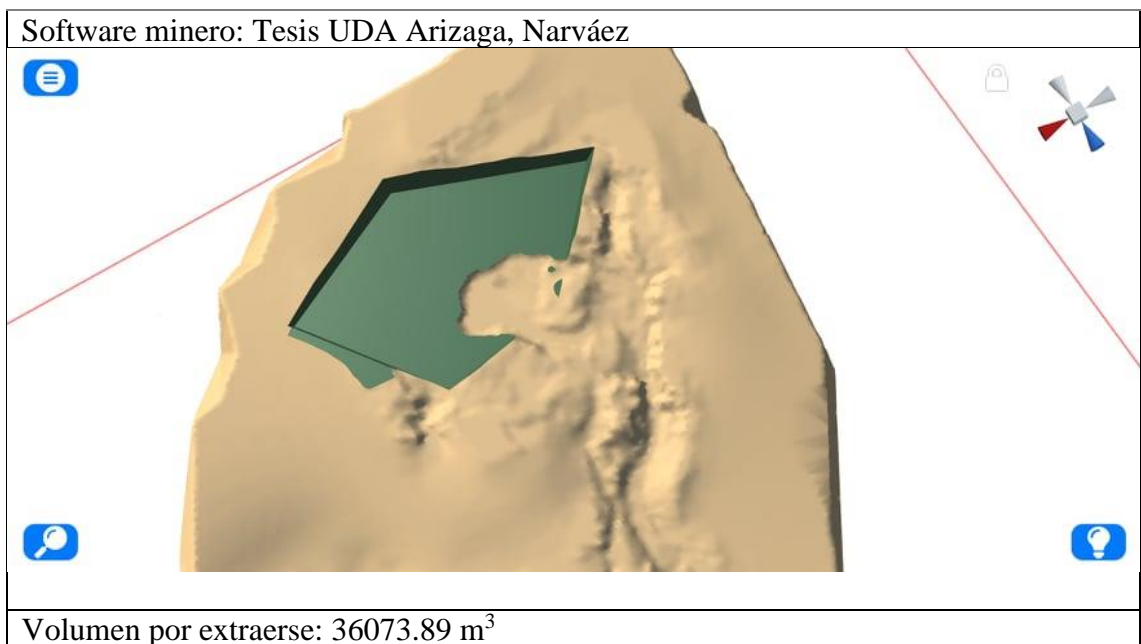


Figura 3.11 Método de niveles horizontales 2^{da} fase Software minero: Tesis UDA.

Fuente: Elaboración propia.

Fase 3

Finalmente se iniciará la explotación de la tercera y última franja de igual manera que en el nivel anterior solo deberá iniciar una vez se haya construido el banco de receso como medida de seguridad en la mina. El arranque del mineral será realizado por la excavadora hidráulica Komatsu Pc200-8 mientras que el transporte del material hasta la bodega será por medio del volquete JAC HFC-4181.

La franja del segundo nivel tiene las siguientes características: un volumen aproximado a extraerse de 47800 m³ calculado a través de RecMin mientras que al calcular por software minero de Arizaga y Narváez 47633.22 m³, ancho de la franja 49.1 m, largo de franja 149.1 m y una profundidad de 6.5 m. Con una variación entre el diseño realizado a través del software minero RecMin y del software minero de Arizaga y Narváez del 0.34%.

Como resultado final de la explotación se obtendrán 3 taludes con un ángulo de receso de 50° y un ángulo de liquidación del borde de la cantera de 39°.

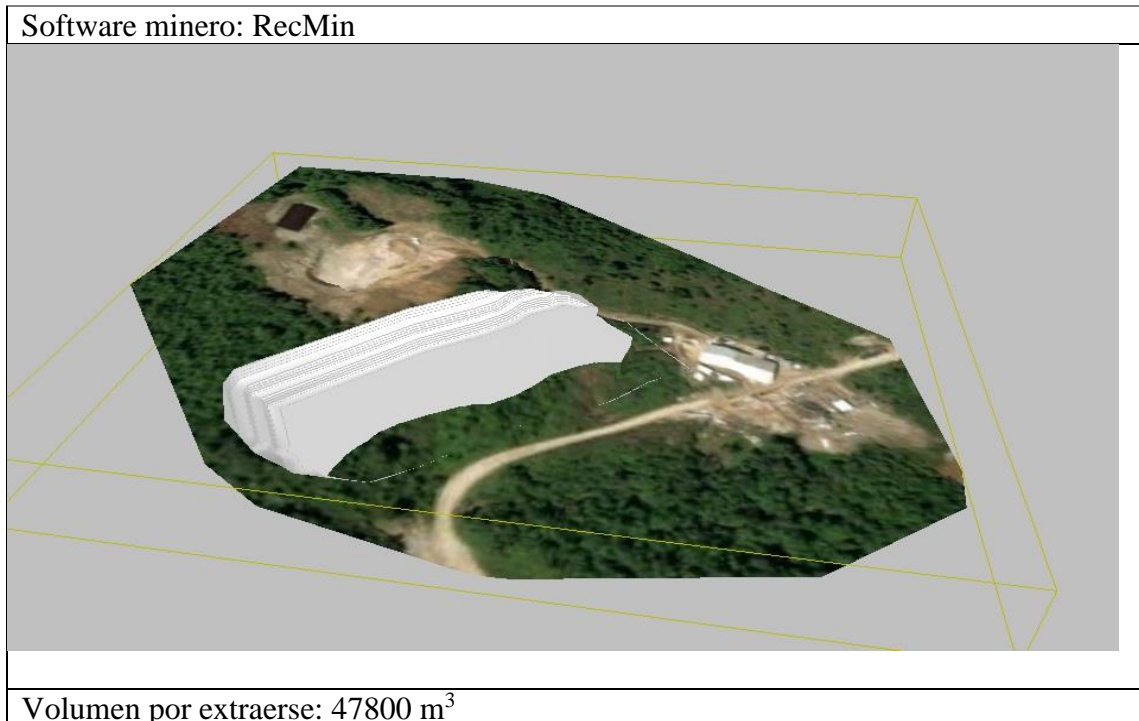


Figura 3.12 Método de niveles horizontales 3^{ra} fase RecMin.

Fuente: Elaboración propia

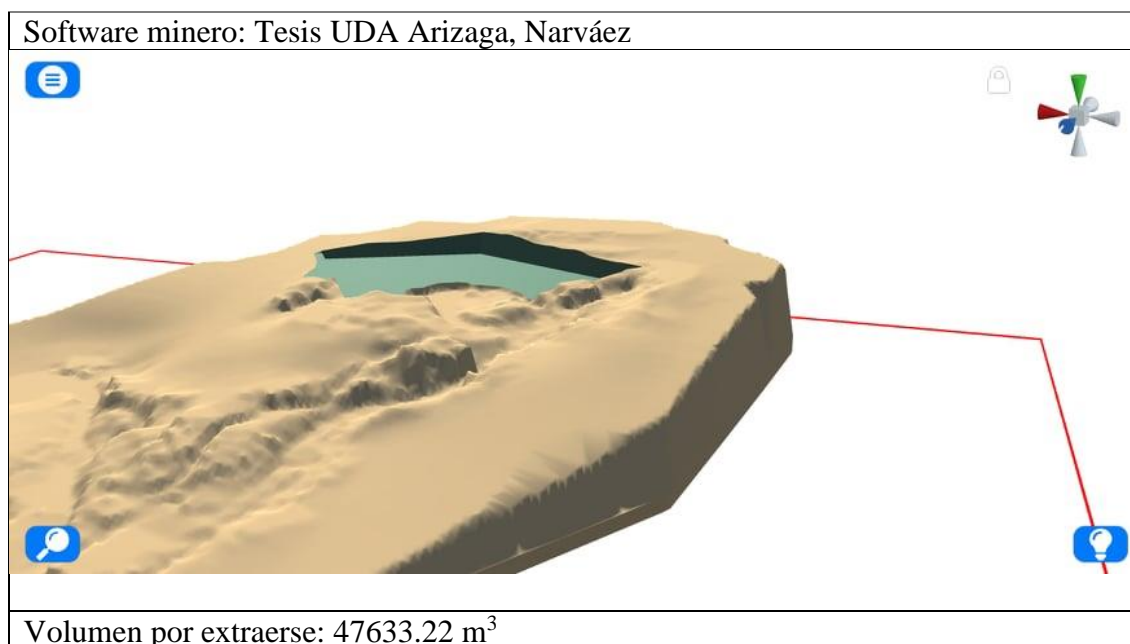


Figura 3.13 Método de niveles horizontales 3^{ra} fase Software minero: Tesis UDA.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Volúmenes de explotación total por niveles horizontales.

Niveles Horizontales	RecMin	Tesis UDA Arizaga, Narváez	% Variación entre Softwares
Total 3 fases	110650 m³	109786.53 m³	0.78%

Fuente: Elaboración propia.

Para el segundo diseño, de igual manera fueron utilizadas las aplicaciones móviles RecMin y Software minero para dispositivos móviles. Al utilizar el método de niveles horizontales se aprovecha mejor la topografía del terreno y la maquinaria de la cual dispone la mina.

El banco más próximo a la superficie tiene una altura de 7 m seguidos por dos bancos de 6.5 m todos ellos con un ángulo del banco de trabajo de 65° y un ángulo del banco en receso de 50°

En el diseño final se extraerá un volumen total de 110650 m³.

3.3 Presentación del diseño final

Teniendo en consideración el aspecto geológico, las características topográficas del depósito, el volumen de reserva, entre otros aspectos se puede concluir que el diseño

óptimo para la explotación de la mina Dominick, es el segundo, en el cual se emplea el método de niveles horizontales.

Dentro de la explotación de la mina se ha establecido un periodo de tiempo de 2 años a realizar de una forma técnicamente planificada, para el cual se presenta un análisis del sistema de explotación por el método de Niveles Horizontales, el mismo que consiste en el avance de un banco con una altura de 7 m para el primer nivel y 6.5 m para los siguientes niveles.

Una vez finalizada la explotación del primer nivel se procederá a la construcción de una trinchera de corte que permita acceder hasta el nivel inferior, iniciando este trabajo desde la trinchera de acceso que atraviesa el área minera.

Según avance la explotación de la sílice por el sistema de explotación antes seleccionado y en base a los parámetros de diseño establecidos previamente, el depósito se irá conformando por una sucesión de taludes y plataformas en receso y la respectiva superficie, producto de la explotación del nivel hasta alcanzar la superficie final en el tercer nivel.

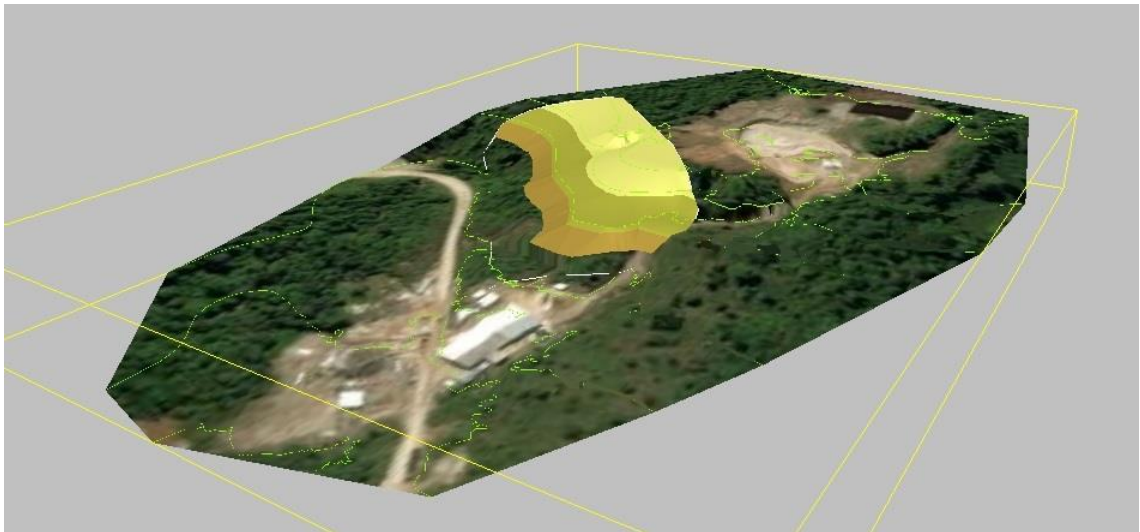


Figura 3.14 Situación actual de la mina

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.14 se puede observar la situación actual de la mina además de una proyección de tonalidades amarillas para identificar el área en donde se ejecutará el método de niveles horizontales.



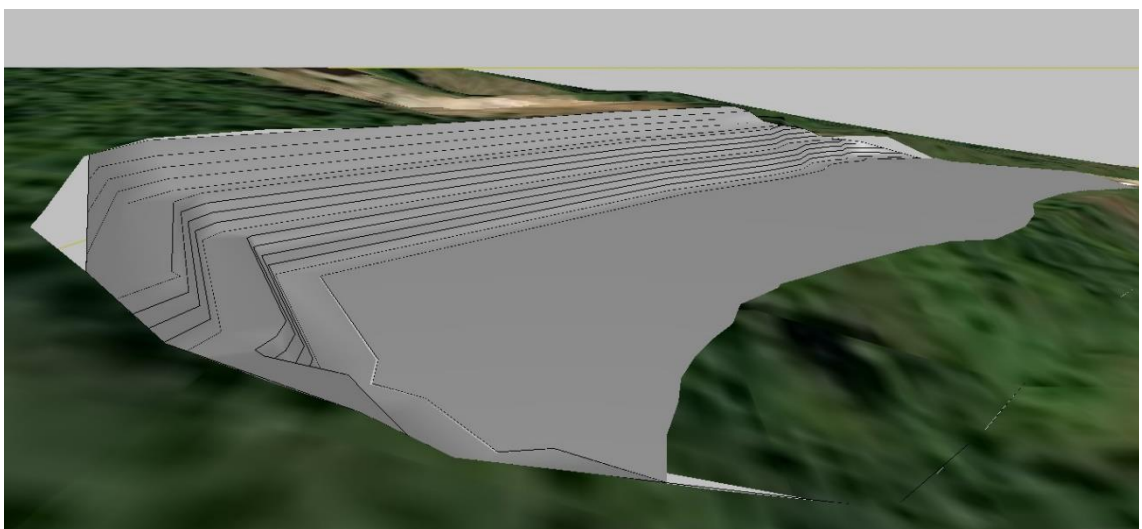
Figura 3.15 Diseño óptimo en 3D

Fuente: Elaboración propia

En la figura 3.15 se presenta el diseño óptimo en 3D que se realizó en base a las curvas de nivel iniciales obtenidas del levantamiento topográfico, la ortofoto del área minera y al software minero RecMin.

Figura 3.16 Diseño óptimo – Vista Lateral

Fuente: Elaboración propia



En la Figura 3.16, se puede observar la vista lateral del diseño óptimo una vez terminada la explotación con la finalidad de apreciar de mejor manera los bancos en

receso que se realizó para brindar mayor estabilidad al depósito. Este diseño fue realizado en base a las curvas de nivel obtenidas del levantamiento topográfico, la ortofoto del área minera y al software minero RecMin.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En el presente trabajo se diseñó un sistema de explotación para la extracción de sílice en la mina “Dominick” ubicada en el cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago. Para ello se analizó la situación actual de la mina, se observó la escasa tecnificación en el desarrollo de las actividades mineras lo que ha generado inseguridad a los trabajadores y en la ejecución de las labores de una manera ineficiente.
- Un aspecto importante para el diseño de explotación es el cálculo de parámetros de diseño para lo cual recurrimos a tablas experimentales, pues estas proporcionaron valores ya establecidos para determinados materiales permitiendo desarrollar las actividades mineras de forma segura y técnica.
- Se analizaron dos diseños de explotación, tanto por el método de bancos descendentes como por el método de niveles horizontales. Luego del análisis técnico respectivo se optó por el segundo diseño, pues es el que mejor se adapta a la mina y aprovecha de una manera más eficiente las condiciones y características de extracción del material. A pesar de que los dos diseños brindaban condiciones de trabajo apropiadas, al segundo diseño se le atribuyen más características que hacen que sea el mejor para este proyecto.
- Las características que determinan que el segundo diseño sea el óptimo, además de las señaladas con anterioridad, son entre otros sus ángulos de trabajo que varían según la potencia del depósito que presenta el terreno. En este caso el ángulo del talud en receso es de 50° y el ángulo de liquidación del borde de la cantera es de 39° .
- La producción que se obtendrá en la mina Dominick está acorde a las necesidades que demanda la planta.
- Se planifica explotar la cantera en tres fases: La fase 1 donde se prevé explotar 26025 m^3 , la fase 2 se explotará 36825 m^3 y la fase 3 en la cual se extraerán 47800 m^3 .
- El método de niveles o franjas horizontales, a diferencia de otros métodos, es adecuado para ejecutarlo en depósitos pequeños y no limita la escala de operación.

Recomendaciones

- Para el diseño es importante tener en cuenta las características geomecánicas de los materiales, que son la base para establecer las alternativas para la nueva conformación del terreno.
- En el segundo diseño se debe cumplir todos los parámetros técnico-operativos, que contempla el presente proyecto, a fin de garantizar eficiencia productiva y sostenibilidad de la operación minera.
- Se debe realizar una evaluación del proyecto con el objetivo de establecer medidas de corrección o mejoramiento continuo.
- Para obtener un resultado más cercano a la realidad, es necesario utilizar el software minero que mejor se maneje, pues así se aprovecha de mejor manera el tiempo y si es necesario se pueden realizar cambios sin presentar complicaciones en el diseño.
- Debido a que el diseño de la mina fue realizado teniendo en cuenta la maquinaria ya adquirida se deberá realizar mantenimientos preventivos para evitar averías mayores y paralizaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavides, D. (2018). *Amazonía del Ecuador*. Universidad ECOTEC.
- Bristow, C., & Hoffstetter, R. (1997). *Léxico Estratigráfico del Ecuador*.
- Bustillo, M., & López, C. (1997). *Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras*. Madrid.
- Caterpillar. (2021). *CAT, productos*. Obtenido de Caterpillar: https://www.cat.com/es_MX/products/new/equipment/backhoe-loaders/side-shift/1000031542.html
- Cuesta, R. (2016). Los Modelos Digitales del Terreno y su uso en Cartografía Temática. *División Geográfica*.
- Felicísimo, Á. (1994). Modelos Digitales del Terreno. Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales. *Pentalfa*.
- GAD Municipal Limón Indanza. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN LIMÓN INDANZA*. Limón Indanza: GAD Municipal Limón Indanza.
- Global Mediterránea Geomática. (15 de junio de 2018). *Global Mediterránea Geomática*. Obtenido de Drones y topografía la combinación perfecta: <https://www.globalmediterranea.es/drones-topografia-la-combinacion-perfecta/>
- Hernández, R. (2016). *Métodos clásicos de Estimación de reservas*.
- Herrera, J. (2006). *MÉTODOS DE MINERÍA A CIELO ABIERTO*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Instituto Geográfico Militar. (2012). *Carta Topográfica de Limón Indanza*. Instituto Geográfico Militar.
- JAC MOTORS. (16 de octubre de 2021). *JAC ECUADOR LISTINGS NEWS*. Obtenido de JAC MOTORS: <https://www.jacecuador.com/listings/hfc-4181-volqueta/>
- KOMATSU. (14 de octubre de 2021). *KOTAMTSU productos, pala hidráulica*. Obtenido de KOMATSU DITECA: <https://www.komatsulatioamerica.com/ecuador/productos/pc2000-8/>

- Minas Dominik. (2018). *Minas Dominik*. Recuperado el 17 de junio de 2021, de <https://www.minasdominic.com/nosotros.html>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2015). *CANTÓN LIMÓN INDANZA/BLOQUE 2.3. LEVANTAMIENTO DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA ESCALA 1:25.000, LOTE 2*.
- Norma INEN 0349. (2007). *Norma INEN 0349*.
- Oro tierra Consulting Cía. Ltda. (2001). *ESTUDIO DE EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL AREA MINERA PASTAVI 2*. Cuenca: Leonardo Núñez.
- Pachas, R. (2009). EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: USO DEL GPS Y ESTACIÓN TOTAL. *ACADEMIA*, 29-45.
- Servicio Geológico Minero. (22 de marzo de 2017). *Servicio Geológico Minero*. Obtenido de Yacimientos minerales: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Yacimientos-minerales.html
- Sistema Nacional de Información. (2014). *Geomorfología: Zonificación Ecológica Económica. ECORAE*. Sistema Nacional de Información.
- System Information Geographic. (2016). *National Geographic*. Obtenido de System Information Geographic.
- UNAP. (marzo de 2019). *¿Qué es un mineral?* Obtenido de UNAP: https://www.unap.cl/prontus_unap/site/artic/20141029/pags/20141029155908.html
- Universidad Arturo Prat. (29 de octubre de 2014). *Museo Mineralógico*. Obtenido de *¿Que es un Mineral?:* https://www.unap.cl/prontus_unap/site/artic/20141029/pags/20141029155908.html
- Valverde, V. (2016). *Estimación de Reservas Minerales y Propuesta de Diseño Preliminar de Explotación del Bloque 2 del sector "X7" Mina LAS PARALELAS utilizando herramientas informáticas*. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

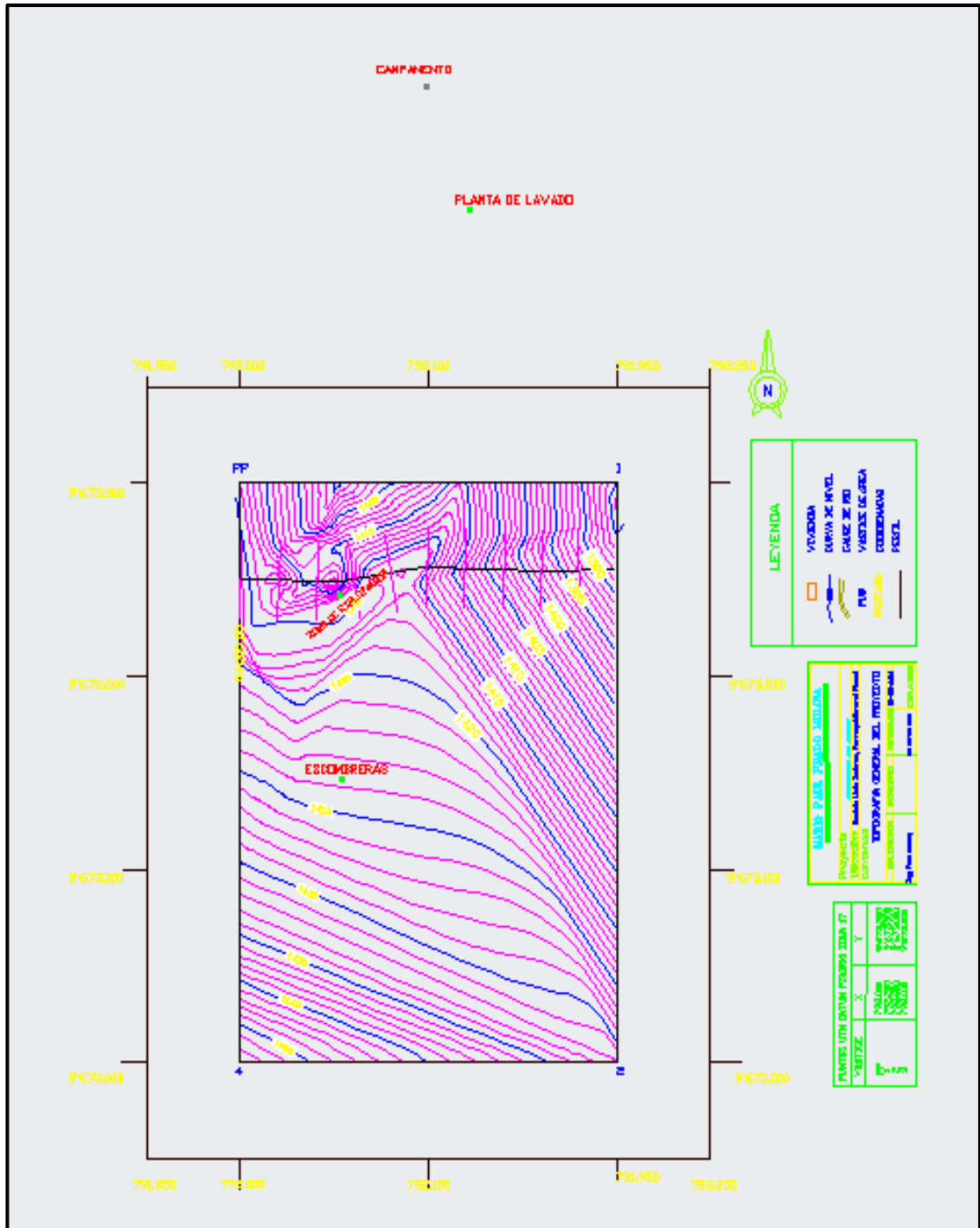
ANEXOS



Anexo 1. Mina Dominick.



Anexo 2. Reconocimiento del área de explotación



Anexo 3. Planimetría de la Mina Dominick.

Grupo de rocas	Características del macizo rocoso	Altura de un banco (m)	Angulo de talud de los bancos (grados)			
			En trabajo	En receso		
				Para un banco	Para 2-3 unidos	
Rocas Peñascosas $R_{cop} > 80 \text{ MPa}$ $f > 8$	Rocas altamente resistentes, sedimentarias metamórficas y rocas efusivas.	15 – 20	hasta 90	70 - 75	65 – 70	
	Rocas resistentes poco fracturadas y débilmente meteorizadas, sedimentarias, metamórficas y efusivas.	15 – 20	hasta 80	60 - 75	55 – 60	
	Rocas resistentes, fracturadas y débilmente meteorizadas, sedimentarias, metamórficas y efusivas	15 – 20	hasta 75	55 - 60	50 – 55	
Rocas poco resistentes, peñascosas y semipeñascosas $8 \leq R_{cop} < 80 \text{ MPa}$ $f > 8$	Rocas sedimentarias, metamórficas y efusivas de la zona meteorizada, calizas relativamente estables en los taludes, areniscas, alebrolitas y otras rocas sedimentarias con cemento silícico, conglomerados, gneis, porfiritas, granitos, tobas.	10 – 15	70 – 75	50 - 55	45 – 50	
Rocas poco resistentes, peñascosas y semipeñascosas $1 \leq f \leq 8$	Rocas sedimentarias, metamórficas y efusivas, altamente meteorizadas y todas las rocas intensamente meteorizadas en los taludes (argilitas, alebrolitas, esquistos).	10 – 15	60 – 70	35 – 45	35 – 40	
Rocas suaves y granuladas (pulverulentas) $R_{cop} = 8 \text{ MPa}$ $f < 1$	Rocas arcillosas así como también todas las rocas totalmente desintegradas (descompuestas).	10 – 15	50 – 60	40 – 45	35 – 40	
	Rocas arcillo – arenosas	10 – 15	40 – 50	35 – 45	30 – 40	
	Rocas gravo – arenosas	10 – 15	hasta 40	30 - 40	2– 35	

Anexo 4. Angulo de talud por tipo de roca según coeficiente de Protodyakonov.