



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y
ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Optimización del Sistema de explotación para el Área minera de libre
aprovechamiento "IML Las Lágrimas - Código 60000309", ubicada en la
parroquia Carigán, cantón Loja, provincia de Loja.

Previo a la obtención del título
de Ingeniero en Geología
Ambiental y Ordenamiento
Territorial.

AUTOR:

Luis Eduardo Guamán Inga

DIRECTOR:

Ing. Jimmy Stalin Paladines

Loja – Ecuador

2021

CERTIFICACIÓN

ING. JIMMY STALIN PALADINES, MgSc.

DOCENTE PRINCIPAL TITULAR DE LA CARRERA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, y revisado el presente proyecto de tesis denominado: **"OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN PARA EL ÁREA MINERA DE LIBRE APROVECHAMIENTO" IML LAS LÁGRIMAS – CÓDIGO 60000309**", UBICADA EN LA PARROQUIA CARIGÁN, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA"; realizado por el señor egresado: **LUIS EDUARDO GUAMÁN INGA** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, que en cumplimiento con la reglamentación y políticas de investigación, autorizo su presentación así como su posterior sustentación y defensa.

Loja, 10 de septiembre del 2021

Atentamente



Firmado electrónicamente por:

**JIMMY
STALIN**

Ing. Jimmy Stalin Paladines Mg. Sc.
DOCENTE FACULTAD ENERGÍA UNL
C.c. Archivo

AUTORIA

Yo **LUIS EDUARDO GUAMÁN INGA** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



Firmado electrónicamente por:
**LUIS EDUARDO
GUAMAN INGA**

Firma

C.I.: 1105817371

Fecha: 29 de octubre de 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN DEL TEXTO COMPLETO

Yo, LUIS EDUARDO GUAMÁN INGA, declaro ser el autor de la tesis titulada: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN PARA EL ÁREA MINERA DE LIBRE APROVECHAMIENTO " IML LAS LÁGRIMAS - CÓDIGO 60000309", UBICADA EN LA PARROQUIA CARIGÁN, CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA, como requisito para optar al grado de: INGENIERO EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintinueve días del mes de octubre de dos mil veintiuno.

Firma:



Firmado electrónicamente por:
**LUIS EDUARDO
GUAMAN INGA**

Autor: Luis Eduardo Guamán Inga

Cédula: 1105817371

Dirección: Ecuador, Loja, Loja (Barrio Época, Av. Paltas y Bruselas)

Correo Electrónico: leguamani@unl.edu.ec

Celular: 0983439128

Datos Complementarios

Director de Tesis: Ing. Jimmy Stalin Paladines, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Hernán Luis Castillo García, Mg. Sc.

Ing. Oscar Adrián Estrella Lima, Mg. Sc.

Ing. Carlos Danilo Ortega Vallejo, Mg. Sc.

DEDICATORIA

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme disfrutar de este tiempo de aprendizaje, perseverancia y de levantarme en medio de todo tropiezo, lo cual ha fortalecido mi vida espiritual y me ha enseñado a ser más fuerte en toda circunstancia, a tomar decisiones sabias.

De manera especial a mi amada esposa Nicole Granda que ha sido la fortaleza en el desarrollo de mis actividades profesionales, brindándome de su amor y comprensión, dándome aliento en todo momento.

A mi querido Padre Luis Antonio quien partió de este mudo tempranamente pero que puso en mí enseñanzas de vida que nunca se olvidarán y que me acompañarán siempre.

A mi amada madre Carmita y mis hermanas Nancy, Judith y Elizabeth, quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer para que siguiera adelante perseverante y cumpla con mis ideales.

A cada uno de mis hermanos políticos y sobrinos que han sido la razón de mis logros obtenidos.

A mis compañeros y amigos quienes sin esperar nada a cambio compartieron conocimiento, alegrías, tristezas y a todas aquellas personas que a lo largo de mi vida estuvieron apoyándome y lograron que ese sueño se haga realidad.

Luis Eduardo Guamán Inga

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, a mi familia y amigos por alentarme a lo largo de mi desarrollo profesional y por creer en mí.

A la Universidad Nacional de Loja, por abrirme sus puertas para adquirir el conocimiento y una buena formación académica, siendo este un paso más para el largo camino del aprendizaje que aguarda.

De igual manera a todos los docentes que conforman la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial por sus enseñanzas y fortalecer mis capacidades profesionales.

Al Municipio de Loja y su departamento de Minas y Canteras por permitirme el desarrollo de esta tesis y el apoyo en cada una de las actividades que fueron necesarias para cumplir los objetivos propuestos en el proyecto.

Al Ing. Jimmy Stalin Paladines por ser de gran apoyo y disponer de su tiempo, conjuntamente con su asesoramiento y sus observaciones, para finalizar con éxito el presente proyecto.

Luis Eduardo Guamán Inga

TABLA DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN	II
AUTORIA.....	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
TABLA DE CONTENIDOS.....	VII
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN.....	2
2.1. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
4.1. Topografía	7
4.1.1. División de la Topografía.....	7
4.1.2. Levantamiento.....	8
4.1.3. Levantamiento Topográfico	8
4.1.4. Representación gráfica del Relieve	10
4.1.5. Método para la determinación de las curvas de nivel	12
4.1.6. Instrumentos de Topografía	14

4.1.7.	Fases principales del trabajo en Topografía.....	18
4.2.	Geología.....	18
4.2.1.	Geología Regional.....	19
4.2.2.	Geología Local	19
4.2.3.	Afloramientos.....	19
4.2.4.	Rocas	22
4.2.5.	Clasificación General de las Rocas.	22
4.2.6.	Zonas de metamorfismo Regional.....	23
4.2.7.	Áridos y Pétreos	25
4.3.	Exploración Minera	26
4.3.1.	Métodos Indirectos	26
4.3.2.	Cálculo de Reservas	29
4.4.	Método Minero	33
4.4.1.	Clasificación del método minero.....	34
4.4.2.	Métodos de explotación de minería subterránea	34
4.4.3.	Método de explotación de minería a cielo abierto	35
4.4.4.	Parámetros Geométricos de la cantera	40
4.5.	Operaciones básicas de Extracción.....	43
4.5.1.	Destape y preparación	43
4.5.2.	Arranque.....	43

4.5.3.	Diseño de voladuras	44
4.5.4.	Estabilidad.....	48
4.5.5.	Carga	61
4.5.6.	Transporte.....	61
4.5.7.	Stokeado	61
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	62
5.1.	Materiales	62
5.2.	Métodos	63
5.3.	Metodología.....	63
5.3.1.	Metodología para el primer objetivo.....	64
5.3.2.	Metodología para el segundo objetivo	73
5.3.3.	Metodología para el tercer objetivo	76
5.3.4.	Metodología para el cuarto objetivo.....	80
6.	RESULTADOS.....	84
6.1.	Ubicación y acceso	84
6.1.1.	Ubicación geográfica.....	84
6.1.2.	Acceso	85
6.2.	Información general de la Concesión	85
6.3.	Topografía	86
6.4.	Geología.....	88

6.4.1. Geología Local	88
6.5. Calidad del material y Reservas	90
6.5.1. Ubicación de la Muestra.....	90
6.5.2. Protocolo de Muestreo	90
6.5.3. Justificación.....	92
6.5.4. Norma de calidad	92
6.5.5. Resultados de las muestras de laboratorio.....	93
6.5.6. Cálculo de reservas.....	94
6.6. Descripción de procesos y actividades de explotación en la concesión	96
6.6.1. Conservación de Hitos demarcatorios.....	97
6.6.2. Esquema de Explotación	97
6.6.3. Destape y preparación	98
6.6.4. Arranque.....	98
6.6.5. Carga	102
6.6.6. Cribado	103
6.6.7. Transporte.....	104
6.6.8. Área Intervenida con el Cielo Abierto	105
6.6.9. Seguridad Industrial y Seguridad Ocupacional.....	105
6.6.10. Tiempos de producción	109
6.6.11. Análisis del rendimiento de la maquinaria de extracción y carga	110

6.6.12.	Análisis del rendimiento de la maquinaria de transporte.....	115
6.7.	Optimización de las actividades de explotación.....	118
6.7.1.	Elección del sistema de explotación.....	118
6.7.2.	Definición del sistema de explotación	120
6.7.3.	Preparación y destape.....	121
6.7.4.	Optimización de la actividad de arranque y carga	122
6.7.5.	Optimización de la actividad de transporte	123
6.7.6.	Habilitación de la actividad de Cribado	127
6.7.7.	Optimización de la actividad de acopio	127
6.7.8.	Maquinaria y equipo necesario	129
6.7.9.	Diseño de bancos acorde a la maquinaria	131
6.8.	Producción actual vs producción óptima.....	138
6.9.	Análisis económico.....	139
6.9.1.	Análisis económico del sistema de explotación actual	140
6.9.2.	Análisis económico del sistema de explotación optimizado.....	142
6.10.	Inversión	144
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	145
8.	CONCLUSIONES	146
9.	RECOMENDACIONES	148
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

11. ANEXOS.....	152
ANEXO 1. Mapa topográfico (CD Nro. 2)	152
ANEXO 2. Mapa de la geología regional (CD Nro. 2)	153
ANEXO 3. Fichas geológicas (CD Nro. 2)	154
ANEXO 4. Mapa de la geología local (CD Nro. 2)	155
ANEXO 5. Estudios de laboratorio (CD Nro. 2).....	156
ANEXO 6. Perfiles para el cálculo de reservas (CD Nro. 2)	157
ANEXO 7. Fichas de registros de la concesión (CD Nro. 2)	158
ANEXO 8. Tiempos de producción (CD Nro. 2).....	159
ANEXO 9. Mapa de la propuesta del diseño de explotación (CD Nro.2).....	160

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de minerales en la corteza terrestre	22
Tabla 2 Zonas de metamorfismo Regional	23
Tabla 3 Relación de la geometría de la perforación	45
Tabla 4 Corrección por el tipo de Depósito	47
Tabla 5 Correcciones para Estructura Geológica.....	47
Tabla 6 Parámetros de la clasificación Geomecánica RMR básico	51
Tabla 7 Clasificación en base a la resistencia de la roca.....	52
Tabla 8 Descripción del espaciado.....	53
Tabla 9 Descripción de continuidad (ISMR, 1981)	55
Tabla 10 Descripción de la abertura (ISMR, 1981)	55
Tabla 11 Descripción de las filtraciones en discontinuidades (ISMR,1981)	58
Tabla 12 Listado de materiales de campo y oficina.....	62
Tabla 13 Cambios de estación de la A – G	66
Tabla 14 Afloramientos descritos en campo	70
Tabla 15 Factor de eficacia del cucharón.....	78
Tabla 16 Esponjamiento según el tipo de terreno	78
Tabla 17 Datos Generales	86
Tabla 18 Características del material explotado de acuerdo a la normativa	94
Tabla 19 Cálculo de volumen de material (m ³), por medio de 6 perfiles.....	95
Tabla 20 Calculo de reservas probadas, probables, posibles y totales	95
Tabla 21 Personal que labora en la concesión.....	96
Tabla 22 Descripción Maquinaria de Arranque	100

Tabla 23 Detalles de la maquinaria de transporte	104
Tabla 24 Promedio del tiempo de producción en minutos.....	110
Tabla 25 Datos para el cálculo del rendimiento teórico de la excavadora	111
Tabla 26 Datos para el cálculo de los ciclos efectivos	114
Tabla 27 Datos para el cálculo del rendimiento teórico de la maquinaria de transporte	116
Tabla 28 Rendimiento de la excavadora Doosan DX225LCA	122
Tabla 29 Datos para el cálculo del rendimiento teórico de la maquinaria optima de transporte	124
Tabla 30 Usos del material rocoso según su clasificación	127
Tabla 31 Datos para calcular el rendimiento de la Cargadora frontal Komatsu	128
Tabla 32 Maquinaria y equipo necesario para la optimización del sistema de explotación	130
Tabla 33 Clasificación mecánica de rocas de Protodiakonov	132
Tabla 34 Comparación de la producción actual y óptima.....	139
Tabla 35 Costos del actual sistema de explotación por día.....	141
Tabla 36 Costos del sistema de explotación optimizado por día	143

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Ubicación del Punto de Partida “A”; UTM/PSAD56: 697225/9565217/2016	64
Fotografía 2 Ubicación de la estación en el Punto de Partida “A”	65
Fotografía 3 Ubicación de la estación “B”, UTM/PSAD56: 697209/9565245/2018	65
Fotografía 4 Procesos que se ejecutan dentro de la concesión.....	76
Fotografía 5 Estado actual de la concesión	87
Fotografía 6 Geología local.....	89
Fotografía 7 Arranque de material para muestreo, con ayuda de la excavadora	91
Fotografía 8 Uso de una pala para recoger material.....	91
Fotografía 9 Muestra del material de la concesión para los análisis de laboratorio.....	92
Fotografía 10 Excavadora Doosan DX225LCA	99
Fotografía 11 Carga de material en la volqueta de 8m ³	103
Fotografía 12 Criba de construcción artesanal de la Concesión	104
Fotografía 13 Señalética presente al ingreso de la concesión	106
Fotografía 14 Señalética presente en la mina.....	106
Fotografía 15 Botiquín de primeros auxilios.....	108
Fotografía 16 Extintor	108
Fotografía 17 Infraestructura del área minera "IML Las Lágrimas".....	109

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Representación acotada del terreno	10
Figura 2 Ejemplo de plano acotado de una superficie levantada	11
Figura 3 Representación del concepto de curvas de nivel	12
Figura 4 Interpolación Analítica	13
Figura 5 Representación gráfica del Teorema de Thales	13
Figura 6 Cintas métricas.....	14
Figura 7 Corte esquemático de una brújula.....	15
Figura 8 Teodolito Sokkia con lectura directa de nonio	15
Figura 9 Estación total SOUTH series NTS-330R4.....	16
Figura 10 Diversidad de Trípodes con diferente tipo de material de fabricación	16
Figura 11 Diversidad de Prismas	17
Figura 12 Jalón de aluminio	17
Figura 13 Jerarquización de las observaciones de campo.....	21
Figura 14 Esquistosidad	24
Figura 15 Método de secciones transversales adyacentes.....	30
Figura 16 Diseño de Isolíneas para cálculo de reservas.....	31
Figura 17 Diseño de los triángulos para el yacimiento	32
Figura 18 Diseño de los polígonos para el yacimiento	33
Figura 19 Descubiertas de carbón	35
Figura 20 Método de terrazas.....	36
Figura 21 Explotación de cantera de áridos	37
Figura 22 Avance de cantera en terrenos horizontales.....	38

Figura 23 De izquierda a derecha se aprecia una cantera por avance frontal; Excavación descendente y abandono de talud final y Avance lateral	39
Figura 24 Parámetros o criterios de diseño de una mina a cielo abierto	40
Figura 25 Parámetros de voladuras en Banco	44
Figura 26 Parámetros Geométricos de las voladuras en bancos	45
Figura 27 Representación de las propiedades geométricas de las discontinuidades.....	54
Figura 28 Perfiles de rugosidad en el rango entre 1 y 10m.....	56
Figura 29 Ficha de zonificación	59
Figura 30 Ficha para toma de datos de la caracterización del macizo rocoso	60
Figura 31 Georreferenciación de los puntos de la topografía	67
Figura 32 Diseño de Curvas de Nivel a partir del TIN	67
Figura 33 Creación de un TIN a partir de las curvas de nivel.....	69
Figura 34 Pasos para generar curvas de nivel con equidistancia de 20m	69
Figura 35 Trazado de polilíneas para el diseño de los perfiles en Civil 3D.....	75
Figura 36Ubicación de la concesión minera	84
Figura 37 Actividades principales del sistema de explotación del área minera.....	97
Figura 38 Diagrama de procesos de operaciones mineras de la concesión.....	98
Figura 39 Parámetros geométricos del diseño del banco	101
Figura 40 Parámetros geométricos del banco	101
Figura 41 Vista Satelital del Área Intervenida con el cielo abierto	105
Figura 42 Mina de Palabora	118
Figura 43 Plataforma de trabajo del área de libre aprovechamiento "IML Las Lágrimas"	136
Figura 44 Parámetros del talud de trabajo y talud de liquidación.....	138

1. TÍTULO

Optimización del Sistema de explotación para el Área minera de libre aprovechamiento "IML Las Lágrimas - Código 60000309", ubicada en la parroquia Carigán, cantón Loja, provincia de Loja.

2. RESUMEN

El proyecto denominado, OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACION DEL ÁREA MINERA DE LIBRE APROVECHAMIENTO “IML LAS LÁGRIMAS – CÓDIGO 60000309”, UBICADA EN LA PARROQUIA CARIGÁN, PERTENECIENTE AL CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA. Se realizó un marco teórico que permitió profundizar sobre el tema, que conjuntamente con el trabajo de campo y gabinete se obtuvo la información topográfica y geológica, permitiendo definir las reservas con la que cuenta la misma.

Para conocer el estado actual de la concesión se realizó la descripción de los procesos y las actividades que se ejecutan actualmente, mediante registros de campo, tomando detalladamente la maquinaria y su funcionamiento. También se calculó el rendimiento de la maquinaria actual y la producción diaria de la misma, además de estudios de laboratorio que ayudaron a determinar la calidad de material que se encuentra en la minera, mismos que cumplen la normativa analizada.

Para definir el sistema de explotación óptimo se analizaron tres opciones, siendo elegido el sistema de “Excavación descendente y abandono del talud final en bancos”, debido a las características que presenta la concesión como son su geología, topografía, criterios de seguridad, entre otros.

Definido el sistema de explotación se procedió a describir los procesos necesarios para la extracción, buscando la optimización de estos, para lo cual se detalló la maquinaria necesaria en cada uno, su rendimiento y producción.

Finalmente se realizó el cálculo económico del sistema actual y del sistema optimizado, lo cual permitió determinar que los cambios en el sistema de explotación y sus actividades mejoran la rentabilidad, dando así, una viabilidad al sistema propuesto.

Palabras claves: Procesos, explotación, rendimiento, optimización, sistema, producción.

2.1. ABSTRACT

The project called, OPTIMIZATION OF THE EXPLOITATION SYSTEM OF THE MINING AREA OF FREE EXPLOITATION "IML LAS LÁGRIMAS - CODE 60000309", LOCATED IN THE CARIGÁN PARISH, BELONGING TO THE CANTON LOJA, PROVINCE OF LOJA. A theoretical framework was made that allowed to deepen on the subject, which together with the field and cabinet work was obtained topographic and geological information, allowing to define the reserves with which it has the same.

In order to know the current state of the concession, a description of the processes and activities that are currently being carried out was made, through field records, taking detailed information about the machinery and its operation. The performance of the current machinery and its daily production were also calculated, in addition to laboratory studies that helped determine the quality of the material found in the mine, which meet the standards analyzed.

To define the optimal exploitation system, three options were analyzed, being chosen the system of "Downward excavation and abandonment of the final slope in benches", due to the characteristics of the concession such as its geology, topography, safety criteria, among others.

Once the exploitation system was defined, we proceeded to describe the necessary processes for the extraction, looking for the optimization of these, for which we detailed the necessary machinery in each one, its performance and production.

Finally, the economic calculation of the current system and the optimized system was carried out, which allowed determining that the changes in the exploitation system and its activities improve profitability, thus giving viability to the proposed system.

Key Words: Process, exploitation, efficiency, optimization, system, production.

3. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Loja a pesar de no existir proyecto en explotación de minería metálica, hay una gran riqueza de áridos y pétreos que fortalecen las actividades de construcciones civiles. Así mismo en la ciudad existen los Libres aprovechamientos denominados así porque son áreas mineras que pueden ser explotadas por entidades gubernamentales para las Obras Públicas.

El área de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas”, actualmente ejecuta trabajos de extracción en materiales de construcción, para el lastrado de las vías del cantón por parte de su municipalidad.

La importancia de la optimización en su sistema de explotación se enfoca en análisis de las distintas operaciones que la concesión lleva a cabo para la extracción del material, con ello se prevé, identificar los problemas y darles solución para poder llegar a una producción optima.

Por ello esta investigación permite ampliar los conocimientos de la zona de estudio, para lograr definir una optimización en el sistema de explotación, analizando previamente: la topografía de la concesión, las características geológicas del material, reservas con las que cuenta, características de la maquinaria y su rendimiento, entre otros. Estas permitirán determinar si la infraestructura, maquinaria y equipos que se emplean, son los adecuados para los procesos de extracción del material.

Una vez determinados los puntos antes mencionados, se planteó una optimización que permite: mejorar las condiciones del trabajo, aumentar la productividad, disminuir costos y permitir una rentabilidad social del proyecto.

Como problemática del proyecto se destaca que debido a la falta de una explotación técnica en la cantera de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas” Código 60000309, se ejecutan actividades y procesos sin seguir un orden, lo que afecta directamente a la correcta extracción de material,

además de que la maquinaria de transporte de material se encuentra sin total abastecimiento, lo que genera pérdidas económicas a la concesión.

Como justificación esta investigación permite ampliar los conocimientos en el área técnica del personal presente en la zona de estudio, a través de un análisis de las actividades en su explotación, además de un alto valor socioeconómico debido a que permite el minimizar costos y aumentar producción.

Para el alcance de este proyecto, se planteó como objetivo general, optimizar el sistema de explotación para el Área minera de libre aprovechamiento " IML Las Lágrimas - Código 60000309", por lo cual, se trabajó con recopilación de información, levantamiento de datos en campo mediante fichas descriptivas y trabajos de gabinete, que permitieron establecer una reducción en los costos de producción de material.

Los objetivos que ayudarán a la determinación de las características del área minera y para la obtención de información para la propuesta se describen a continuación:

Objetivo general

- ✚ Optimizar el Sistema de explotación para el Área minera de libre aprovechamiento " IML Las Lágrimas - Código 60000309", ubicada en la parroquia Carigán, cantón Loja, provincia de Loja.

Objetivos Específicos

- ✚ Realizar el levantamiento topográfico y la descripción geológica de la Cantera de libre aprovechamiento " IML Las Lágrimas - Código 60000309".
- ✚ Calcular las reservas de la Cantera de libre aprovechamiento " IML Las Lágrimas - Código 60000309".

- ✚ Describir los procesos y actividades de explotación de los materiales de construcción en el área de libre aprovechamiento " IML Las Lágrimas - Código 60000309"
- ✚ Proponer procesos y actividades de explotación con la finalidad de mejorar la rentabilidad en la explotación de materiales de construcción acorde a las características del macizo rocoso.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Topografía

Es aquella que consiste en un conjunto de procedimientos que ayudan a posicionar un punto sobre la superficie terrestre, con la ayuda de medidas y usando los tres elementos del espacio como dos distancias y una elevación, o una distancia, dirección y una elevación. Para ello se emplean unidades de longitud. (Márquez, 1994)

4.1.1. División de la Topografía

La topografía está dividida en tres partes para la facilidad de su estudio (Márquez, 1994):

4.1.1.1. Topología

Es la encargada de estudiar leyes que rigen sobre las formas del terreno.

4.1.1.2. Planografía

Consiste en una representación gráfica de una porción de la superficie terrestre, misma que debe de cumplir con una forma general del contorno, detalles del interior como infraestructura, caminos o puentes y también debe incluir la superficie del terreno.

4.1.1.3. Topometría

Es aquella que conforman un conjunto de operaciones efectuadas sobre el terreno para determinación métrica de los elementos de un mapa. Esta misma está dividida en tres partes que son la planimetría que consiste en métodos e instrumentos para proyectar sobre una superficie plana; la altimetría usada para determinar las diferencias de alturas; y, la agrimensura como un conjunto de procesos empleados para medir y fraccionar los terrenos.

4.1.1.3.1. Planimetría

Es un conjunto de trabajos que se ejecutan en campo para tomar datos geométricos necesarios para representar una figura semejante a la del terreno, proyectada sobre un plano horizontal. (Márquez, 1994)

4.1.2. Levantamiento

El levantamiento se define como una operación técnica utilizada para medir directamente el terreno. Para su desarrollo se necesitan un conjunto de operaciones y medios puestos en práctica para determinar las posiciones de puntos del terreno y su representación en un plano.

Según (Márquez, 1994), según la extensión el levantamiento puede ser topográfico, que comprenden una pequeña porción de la superficie de la Tierra y corresponde a un círculo de máximo de 30Km de diámetro. También el levantamiento puede ser geodésico que abarcan grandes extensiones, tomando en consideración a la Tierra como una esfera.

4.1.3. Levantamiento Topográfico

Se caracterizan porque pueden desarrollarse en pequeñas porciones de la superficie terrestre y la consideran como si fuera plana. (Matera, 2002) dice que se dividen en:

4.1.3.1. Precisos

Se ejecutan por medio de la triangulación o poligonales de precisión y se emplean para fijar los límites entre naciones o estados, en el trazo de ciudades, etc.

4.1.3.2. Regulares

Se realizan por medio de poligonales, levantadas con tránsito y cinta, usadas para el levantamiento de linderos de propiedades, trazos de caminos, vías férreas, canales, ciudades pequeñas y en obras de saneamiento.

4.1.3.3. Expeditivos

Efectuados con aparatos portátiles, poco precisos, como brújula, sextante, podómetros, y cuando no se disponen de aparatos se los realiza a ojo por informes proporcionados por los habitantes de la región. Son útiles en reconocimientos del terreno o exploraciones militares.

4.1.3.4. Taquímetros

Según (Matera, 2002) , es el procedimiento topográfico que determina de forma simultánea las coordenadas Norte, Este y Cota de los puntos sobre la superficie del terreno.

(Márquez, 1994), menciona que en los métodos taquimétricos las distancias se miden por procedimientos indirectos, generalmente con tránsito y estadía, para ser empleados en trabajos previos a obras civiles.

A. Con Teodolito y Mira

Este método se basa en la determinación óptica de distancias en el paso de coordenadas polares a rectangulares y en el cálculo de nivelación taquimétrica.

B. Con Estación Total

(Matera, 2002) dice que una de las grandes ventajas de levantamientos con estación total es que la toma y registro de datos es automática, eliminando los errores de lectura, anotación, transcripción y cálculo, debido a la que la toma de datos es automática y los cálculos de coordenadas se realizan por medio de programas de computación incorporados en dichas estaciones.

4.1.4. Representación gráfica del Relieve

4.1.4.1. El plano acotado

Un punto en el espacio queda perfectamente definido por sus coordenadas P (N, E, Z). Para simplificar la representación se acostumbra a realizar una representación en un plano horizontal, donde se plotean, sobre un sistema de coordenadas rectangulares planas, las coordenadas Norte y Este de cada uno de los puntos, y la coordenada Z, la cual no se puede representar gráficamente en este sistema, pero se acota su valor al lado del punto.

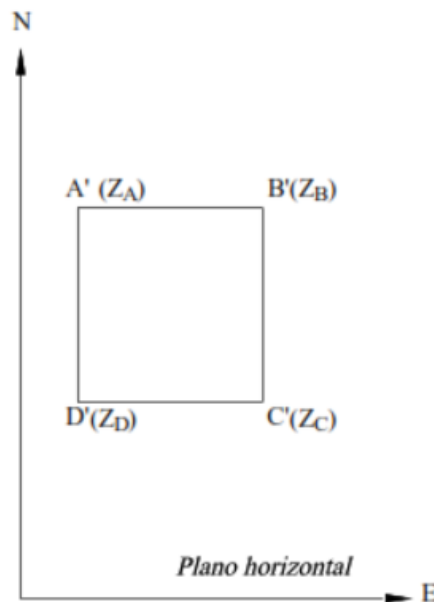


Figura 1 Representación acotada del terreno

Fuente: (Matera, 2002)

Un plano acotado no permite una visualización continua y rápida de las formas del relieve del terreno, es decir no se puede tener una visualización en tres dimensiones por lo que es necesario una representación del relieve.

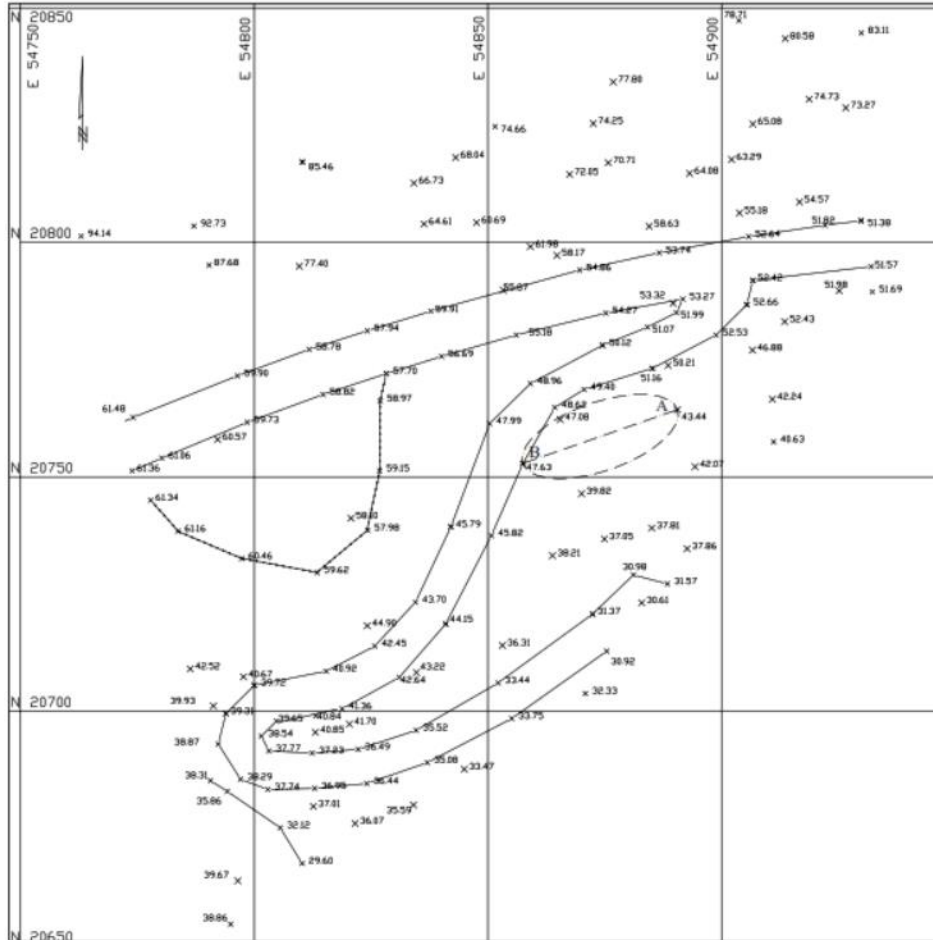


Figura 2 Ejemplo de plano acotado de una superficie levantada

Fuente: (Matera, 2002)

4.1.4.2. Las Curvas de Nivel

Una curva de nivel se puede definir como un trazo que representa la superficie del terreno sobre un plano horizontal. (Matera, 2002) la define como una línea continua que une puntos de igual cota o elevación.

Según (Matera, 2002), el método de las curvas de nivel es el más empleado para realizar representaciones gráficas del relieve que presenta la superficie del terreno, porque se determina de forma rápida y sencilla, la cota o elevación de cualquier punto del terreno, trazar perfiles, calcular pendientes, accidentes del terreno entre otros.

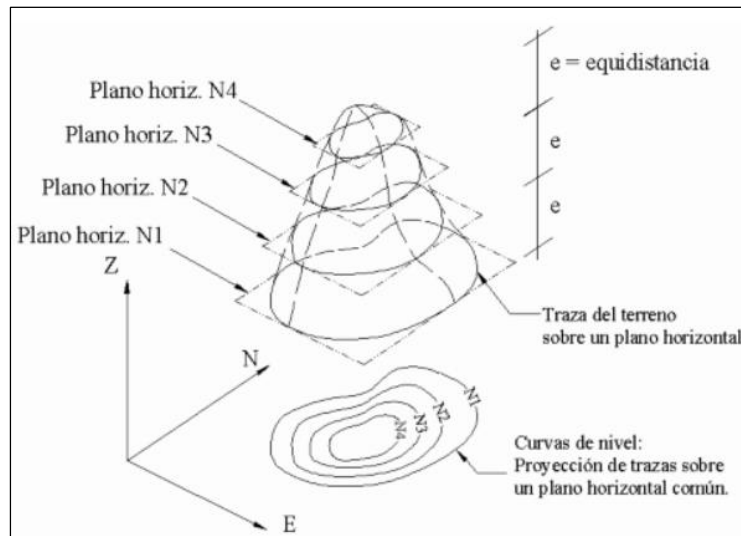


Figura 3 Representación del concepto de curvas de nivel

Fuente: (Matera, 2002)

4.1.4.3. Equidistancia

Se la define como el desnivel o la distancia vertical que puede existir entre curvas consecutivas. Esta depende de la escala y la precisión con la que se desea elaborar el mapa (Matera, 2002). Para su cálculo se utiliza:

$$e_n = D_{escala}/1000$$

4.1.5. Método para la determinación de las curvas de nivel

Como las curvas de nivel son líneas que unen puntos de cotas enteras de igual elevación, y en el trabajo de campo difícilmente se obtienen las cotas enteras, es necesario recurrir a un proceso de interpolación lineal para ubicar aquellos puntos que tengan igual elevación. (Matera, 2002) describe algunos métodos de interpolación como son:

4.1.5.1. Método Analítico

Es un método que se realiza por proporciones aritméticas, obteniéndose una interpolación matemáticamente exacta. Para ello se puede trabajar con la determinación del desnivel entre

los puntos, su distancia, las diferencias entre las cotas existentes entre los puntos analizados, después calcular la distancia horizontal entre el punto de menor cota y el de cota redonda a ser ubicado. Luego en el plano horizontal y a escala se hace coincidir el cero del escalímetro con el punto de menor cota y con ello se miden los valores calculados, así determina la ubicación en el ano de la cota entera buscada. Esto se repite para cada par de puntos adyacentes en el plano acotado y finalmente se unen los puntos de igual cota (Matera, 2002).

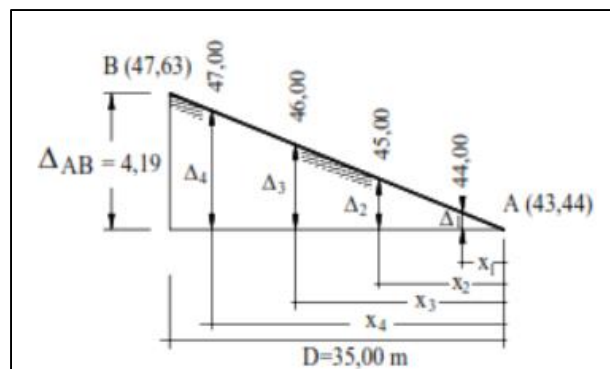


Figura 4 Interpolación Analítica

Fuente: (Matera, 2002)

4.1.5.2. Método Gráfico

(Matera, 2002) menciona que este método está basado en el teorema de Thales que dice: si varias rectas paralelas cortan dos líneas transversales, determinan en ellas segmentos correspondientes proporcionales

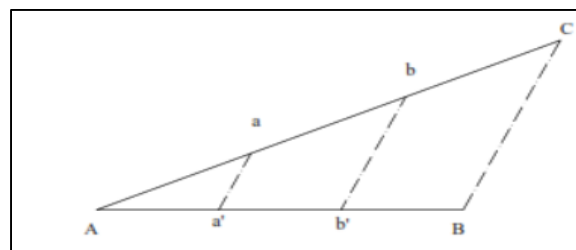


Figura 5 Representación gráfica del Teorema de Thales

Fuente: (Matera, 2002)

En la ilustración AB y AC son rectas transversales y aa'; bb' son rectas paralelas a CB, por lo que según Thales explica los segmentos proporcionales con la siguiente ecuación:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{Aa}{Aa'} = \frac{Ab}{Ab'} = \frac{ab}{a'b'}$$

4.1.6. Instrumentos de Topografía

Esencialmente el trabajo de la topografía consiste en medidas de ángulos y distancias. En algunas operaciones basta la utilización de escuadras para medir ángulos rectos y para las distancias se usan cintas metálicas, sin embargo, estas mediciones no tienen suficiente precisión. Por ello existe la necesidad de utilizar instrumentos que permitan realizar un trabajo óptimo.

4.1.6.1. Cinta métrica

Es un instrumento de medida que es flexible y graduada con una reproducción de números determinados varias veces.



Figura 6 Cintas métricas

Fuente: <http://topografiaorgg.blogspot.com/>

4.1.6.2. Brújula

(Matera, 2002), menciona que es un instrumento de mano utilizado en la determinación del norte magnético, direcciones y ángulos horizontales. Se aplica en varias ramas de la

ingeniería para reconocimientos preliminares como carreteras, levantamientos topográficos, mapas geológicos, entre otros.

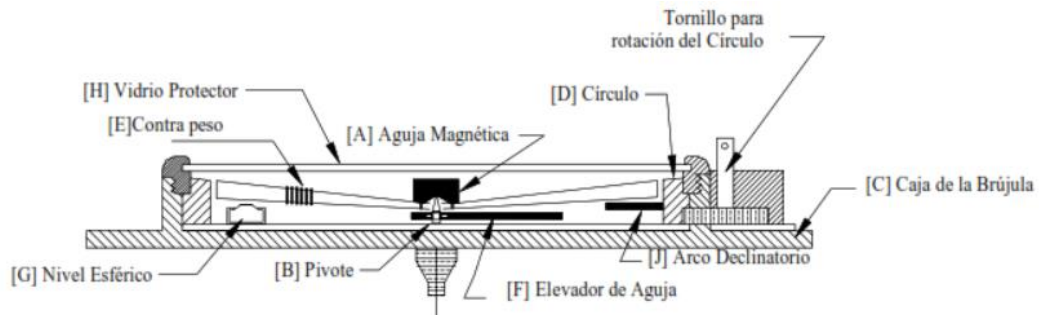


Figura 7 Corte esquemático de una brújula

Fuente: (Matera, 2002)

4.1.6.3. Teodolito

Es un instrumento usado para trabajos topográficos, con él se pueden medir de forma directa o indirecta ángulos horizontales, verticales, distancias y desniveles.

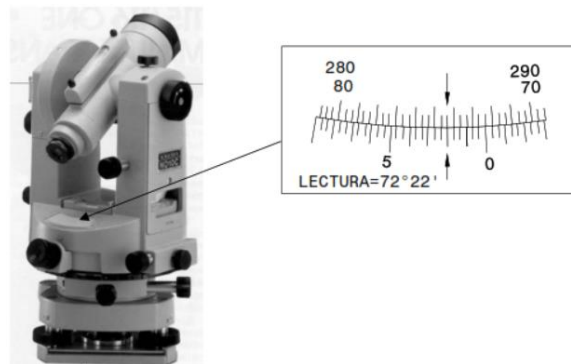


Figura 8 Teodolito Sokkia con lectura directa de nonio

Fuente: (Matera, 2002)

4.1.6.4. Estación Total

La estación total es un instrumento electrónico que incorpora microprocesadores y distanciómetros, es de gran ayuda en la actualidad y con ella se puede medir distancias verticales, horizontales, ángulos verticales y horizontales, internamente con el microprocesador programado se calculan coordenadas topográficas (norte-este y elevación) de los puntos almacenados.



Figura 9 Estación total SOUTH series NTS-330R4

Fuente: Catálogo de estaciones SOUTH

4.1.6.5. Trípodes

Son accesorios útiles para manejar con comodidad los instrumentos durante el desarrollo de trabajos, se sitúan a la altura del operador y su ventaja es que presentan una fijación al terreno.



Figura 10 Diversidad de Trípodes con diferente tipo de material de fabricación

Fuente: (Matera, 2002)

4.1.6.6. Prismas

Son espejos formando un triedro que reflejan señal emitida por el distanciómetro. Se montan sobre jalones y pueden llevar asociada una señal de puntería. (Matera, 2002)



Figura 11 Diversidad de Prismas

Fuente: (Matera, 2002)

4.1.6.7. Jalones

Es un accesorio usado para realizar mediciones con los instrumentos topográficos, es una vara larga y cilíndrica, que sirve para montar el prisma en su parte superior.



Figura 12 Jalón de aluminio

Fuente: al-top Topografía

4.1.7. Fases principales del trabajo en Topografía

Para el desarrollo del trabajo topográfico según (Koolhass, 2003), se ejecuta:

4.1.7.1. Trabajo de campo

Antes de realizarlo, se debe analizar el objetivo del trabajo, y en función de distintas consideraciones tomar una decisión, seleccionando el método de levantamiento, el instrumental más adecuado entre otros.

Al momento de realizar las mediciones y datos se los debe hacer en forma comprensible con ayuda de libretas de campo de forma rutinaria y estandarizada.

4.1.7.2. Trabajo de Gabinete

Se realizan cálculos con los datos que fueron registrados en la libreta de campo, la colectora digital externa o el micro procesamiento interno del instrumento. Incluye una representación gráfica y procesamiento de información con el uso de un CAD.

4.1.7.3. Trabajo de Replanteo

Comprende actividades para la colocación de señales como mojones o estacas, para marcar linderos, curvas de nivel. Este trabajo también tiene su componente de gabinete o cálculo y su parte de campo "in situ", que tampoco está exenta del cálculo algebraico numérico.

4.2. Geología

La geología es la ciencia de la Tierra, su composición, su estructura, los fenómenos que han ocurrido y ocurren en la actualidad, su evolución como planeta, su relación con los astros del Universo, así como la evolución de la vida mediante los documentos que de ella han quedado en las rocas. (Mantilla, 2005)

Según (Lutgens, 2005), es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. Dividida tradicionalmente en dos amplias áreas: la física y la histórica.

4.2.1. Geología Regional

La geología regional es el estudio geológico que se desarrolla a gran escala. En ella se abarca múltiples disciplinas geológicas, encaminadas en poder reconstruir la historia de una región.

El tamaño y los límites de cada región están definidos por límites geológicamente significativos y por la ocurrencia de procesos geológicos. Ejemplos de límites geológicamente significativos son el cambio de facies en depósitos sedimentarios cuando se discute un sistema de cuenca sedimentaria, o el empuje principal o límite de un orógeno.

4.2.2. Geología Local

La geología Local consiste en un estudio detallado de las distintas formaciones y sus tipos de rocas, que se pueden encontrar en un estudio de campo, donde se puede corroborar la información obtenida por medio de la geología regional, la cual se encuentra plasmada en mapas geológicos.

Esta se puede desarrollar con la descripción de afloramientos que se puedan encontrar en la zona de estudio.

4.2.3. Afloramientos

(Howell, 1960), hace referencia a que un afloramiento es la exposición visible de las rocas o los depósitos superficiales antiguos en la superficie de la Tierra, ya sea de forma natural o antrópica.

La mayor parte de afloramientos están cubiertos por el suelo y la vegetación, por ello no cubren la mayoría de superficies, lo que dificulta su visualización y examinación.

4.2.3.1. Descripción de Afloramientos

Según (Bach, Brusi, & Domingo, 1988), el grado de complejidad alcanzado en la interpretación de campo dependerá del nivel conceptual de partida del alumno, para ello se realiza una síntesis por etapas:

Etapa 1, antes de iniciar el estudio más concreto se deben de conocer los rasgos de la geología regional, unidad geológica, relieve en el que se encuentra inmerso, es decir conocer de las características morfológicas y litológicas que presenta como tal unidad.

Etapa 2, Por otro lado, si la localización de la parada lo permite, es decir, si tiene una buena visión panorámica se podrán ejercitar aspectos referentes a la orientación y localización geográfica, uso de la brújula, mapas a distintas escalas.

Etapa 3, El estudio del afloramiento se abordará, a través de su visión de conjunto, situados a una distancia apropiada que lo permita, a partir del planteamiento de hipótesis sobre la estructura y disposición de los materiales, estableciendo, por tanto, dentro del conjunto observado, unas unidades litomorfológicas. Un criterio inicial de partida pueden ser las variaciones de color, de textura, las principales alineaciones observables, que permitirán aislar conjuntos a investigar.

Etapa 4, Cada una de estas unidades, determinadas anteriormente, será objeto de un estudio de tallado. Deberemos, al observarlas de cerca, confirmar su rango de unidad establecida respecto de las unidades vecinas y confirmar el gran grupo genético de rocas a que pertenecen. Se precisará, además, su disposición geométrica: estratificación, diaclasado, buzamiento, existencia de pliegues, su estructura interna: laminación, esquistosidad, u otras características como el contenido en macrofósiles, cambios laterales

Etapa 5, El estudio a nivel de muestra de mano de cada unidad será detallado al determinar si una roca está formada por cristales o fragmentos detríticos.

Etapa 6, con los datos recogidos se elabora un modelo evolutivo con una secuenciación de los diferentes episodios correspondientes a una historia secuenciada.

Etapa 7, se proporciona una síntesis del conjunto de afloramientos y la elaboración de un modelo global.

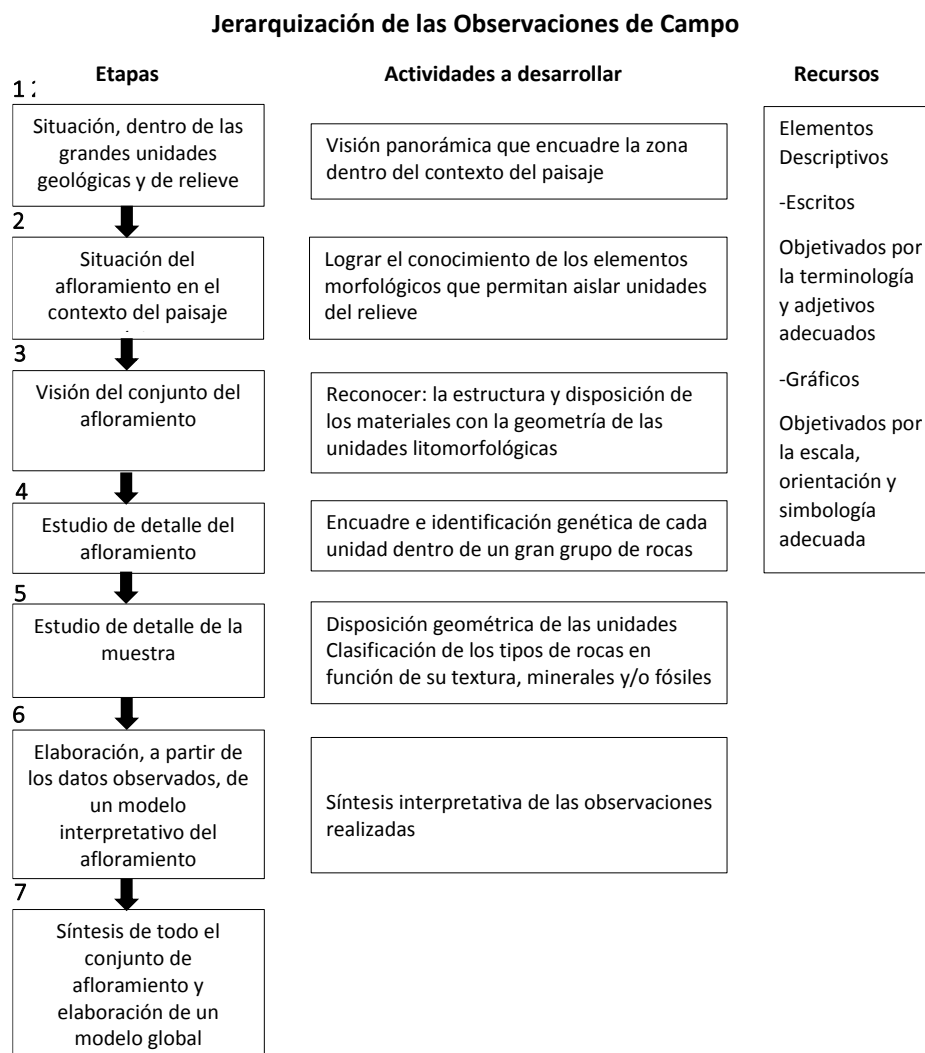


Figura 13 Jerarquización de las observaciones de campo

Fuente: (Bach, Brusi, & Domingo, 1988)

4.2.4. Rocas

Según (Schumann, 1988), en la geología se entiende que las rocas son una mezcla de minerales que han sido formados naturalmente. De cerca de unos dos mil minerales existentes solo unos pocos intervienen en la formación de rocas.

Tabla 1 Porcentaje de minerales en la corteza terrestre

Porcentaje de minerales en la corteza terrestre	
Feldespatos y feldespatoides	60%
Augita y hornblenda	16%
Cuarzo	12%
Mica	4%
Otros minerales	8%

Fuente: (Schumann, 1988)

4.2.5. Clasificación General de las Rocas.

Según (CSIC-UCM), las rocas pueden ser clasificadas en tres grandes grupos:

4.2.5.1. Rocas Ígneas.

Son rocas generadas por el enfriamiento de una masa líquida de composición silicatada que procede del interior de la Tierra. Esta masa fundida se encuentra a altas temperaturas. Cuando se enfría y solidifica durante su ascenso hacia la superficie de la Tierra, en zonas cercanas a la superficie (corteza terrestre) da lugar a las rocas plutónicas, mientras que cuando se enfría y solidifica en la superficie da lugar a las rocas volcánicas.

4.2.5.2. Rocas sedimentarias.

Rocas originadas por el transporte y deposición de materiales como consecuencia de la acción del viento, el agua, el hielo o depositadas químicamente a partir de un fluido acuoso. También se incluyen en esta definición la acumulación de materiales inorgánicos como caparazones

secretados por organismos. Las rocas sedimentarias se dividen a su vez en detríticas y no detríticas.

4.2.5.3. Rocas metamórficas.

Las rocas metamórficas se generan a partir de rocas preexistentes que, como consecuencia de sufrir un aumento importante de temperatura y de presión por procesos geológicos (enterramiento, intrusión de magmas, etc.), sufren reajustes. Este reajuste ocasiona cambios en sus minerales y composición química de forma que la roca original (sedimentaria, ígnea o metamórfica) se transforma en un nuevo tipo que llamamos roca metamórfica. El proceso metamórfico se realiza en estado sólido, es decir, las transformaciones se producen sin que la roca llegue a fundirse.

(Schumann, 1988), dice que se pueden considerar dos tipos de metamorfismo, aquel que se origina por ascensión del material magmático, conocido como metamorfismo de contacto, y el que tiene lugar por la presión de sedimentos rocosos suprayacentes denominados metamorfismo regional.

4.2.6. Zonas de metamorfismo Regional

Según la profundidad y la intensidad del metamorfismo se diferencian tres zonas.

Tabla 2 Zonas de metamorfismo Regional

Zonas según la profundidad	Profundidad en Km	Temperatura en °C	Presión en at.
Epizona	8 - 10	300	3000
Mesozona	18 – 20	500 – 600	5000
Catazona	30 – 35	700 - 800	8000

Fuente: (Schumann, 1988)

Los efectos del metamorfismo de contacto y regional, se ponen en manifiesto por el intercambio de materiales no alterados, los fósiles son destruidos totalmente debido a la presión que actúa.



Figura 14 Esquistosidad

Fuente: (Schumann, 1988)

En determinado sentido se origina una esquistosidad. La composición primaria de los minerales permanece la misma y los minerales de estructura hojosa se disponen perpendiculares a la dirección de la fuerza produciendo una alineación según la dirección determinada.

4.2.6.1. Caracteres para reconocer las rocas metamórficas

Los tipos de Rocas metamórficas son muy numerosas debido a que para cada roca magmática y roca sedimentaria existe una roca metamórfica. Aquellas originadas por rocas magmáticas se les llama ortorocas y pararocas a las de origen sedimentario.

(Schumann, 1988) enlista algunos caracteres para reconocer una roca metamórfica:

- Totalmente Cristalina
- Grandes cristales
- Brillo sedoso (abundante mica)
- Estructuras paralelas (esquistosidad)
- No hay cavidades, muy compactas
- Sin fósiles
- Formas suaves de erosión

4.2.7. Áridos y Pétreos

Los áridos son aquellos materiales resultantes de una disgregación o desgaste de las rocas, caracterizados por su estabilidad química, tamaño y su resistencia mecánica. (Reglamento Especial para la Explotación de Materiales Áridos y Pétreos Decreto Ejecutivo No. 1279, 2012)

Son considerados como pétreos, aquellos agregados minerales que tienen una gran consistencia y resistencia frente a los agentes de meteorización, son provenientes de macizos rocosos. (Reglamento Especial para la Explotación de Materiales Áridos y Pétreos Decreto Ejecutivo No. 1279, 2012)

4.2.7.1. Clasificación de los Áridos y Pétreos

La clasificación de materiales pétreos se da según distintos aspectos como su naturaleza, su origen y el tamaño. Mismos que son aplicables para construcciones civiles. (Blázquez & Beviá)

4.2.7.2. Según la Naturaleza

- Corresponden a rocas ígneas caracterizadas por su dureza, son compactas y muy resistentes
- Las rocas sedimentarias siendo las más abundantes, baratas y fácilmente pulibles
- Las rocas metamórficas ya que son lajosas, alteradas y muy pocas son utilizables.

4.2.7.3. Según su origen

- Áridos Naturales, se refiere aquellos que se encuentran machacados por medios naturales, no es necesario un proceso de selección, refinado y clasificación por tamaños.
- Áridos artificiales, son aquellos que se obtienen por disgregación o del macizo rocoso empleando voladura con explosivos. Estos necesitan un mayor tratamiento ya que pueden

llegar a necesitar de limpieza del material, machacado, clasificado y almacenado en acopios.

- Productos sintéticos industriales, está compuesto por materiales de diversa índole, como productos de desecho o subproductos de procesos industriales

4.2.7.4. Según su tamaño

- **Áridos Gruesos**, están conformados por gravas que tienen un diámetro promedio de 60mm y 5mm.
- **Áridos finos**, corresponden arenas que inferiores a los 5mm de diámetro.
- **Filler o rellenador**, considerado como polvillo fino que se obtiene como un producto residual del lavado de áridos que han sido machacados.

4.3. Exploración Minera

El aumento de la demanda de metales y un paulatino agotamiento de las reservas conocidas en el mundo ha ocasionado incrementos en las actividades de exploración minera encaminadas en descubrir nuevas fuentes de producción. (Terrones, 1955)

En la actualidad existen dos métodos para realizar la exploración o localización de un yacimiento mineral, que son los directos y los indirectos.

4.3.1. Métodos Indirectos

Son aquellos que recopilan información del subsuelo sin la necesidad de recuperar muestras para determinar posibles anomalías que presente un yacimiento, (S.A.C, 2019) dentro de ellos tenemos:

4.3.1.1. Fotogeología

Consiste en observar fotografías aéreas que se interpretan en gabinete y cuando se requiere verificar su información se acude a campo.

4.3.1.2. Geofísicos

Sirven para detectar anomalías que son originadas por los minerales que constituyen a los depósitos minerales, existe una gran variedad de técnicas e instrumentos que varían en costo y aplicabilidad, sus fines son descubrir o cartografiar unidades litológicas no aflorantes.

Según (CEDEX), los métodos geofísicos a su vez se pueden desarrollar en forma:

- **Eléctricos:** Los métodos eléctricos en se basan en la determinación de la resistividad de los materiales del terreno. Entre estos métodos destacan: Tomografía eléctrica, SEVs como sondeos eléctricos verticales y Calicatas eléctricas.
- **Electromagnéticos:** se basan en la generación de un campo electromagnético primario, variable en el tiempo, y que genera unas corrientes en los materiales conductores que a su vez generan un campo electromagnético secundario. La relación entre el campo primario y secundario es proporcional a la conductividad eléctrica del terreno.
- **Sísmica de refracción:** se basa en el hecho de que un impacto en superficie genera un tren de ondas elásticas que se propaga de forma esférica a través del material del subsuelo. Cuando existe una estructura estratificada donde las capas van aumentando su velocidad de transmisión con la profundidad se produce, según la ley de Shnell, una refracción de las ondas que pueden ser detectadas en superficie.

En definitiva, la geofísica dispone de toda una gama de herramientas distintas de gran utilidad, pero que hay que saber aplicar a cada caso concreto en función de dos parámetros:

su coste, que debe ser proporcional al valor del objeto de la exploración, y la viabilidad técnica, que debe considerarse a la luz del análisis preliminar de las características físicas de este mismo objeto.

4.3.1.3. Geoquímicos

Consiste en analizar muestras de roca, agua y sedimento proveniente de ríos, lagos e inclusive plantas que puedan concentrar elementos químicos relacionados con alguna mineralización.

4.3.1.4. Métodos Directos

(S.A.C, 2019) dice que son aquellos que permiten conocer las características propias del sitio mediante la observación directa de las rocas.

4.3.1.4.1. Geológico

Se plasman los datos observados en campo en la carta geológica, luego se acude al lugar del estudio para realizar un levantamiento estructural, identificar las diferentes litologías, visualizar si existen afloramientos con mineral de interés económico y recolectar muestras para su análisis, en caso de existir mineral de interés se procede a una exploración a detalle por medio de túneles, pozos, calicatas, trincheras.

4.3.1.4.2. Perforaciones

Se realiza con máquinas especiales que pueden perforar a diferentes diámetros, estas perforan con una broca al macizo y recuperan en su núcleo a la roca.

La combinación de los métodos directos e indirectos permiten identificar, ubicar y estimar las dimensiones del yacimiento mineral.

4.3.2. Cálculo de Reservas

Una vez determinada la naturaleza y distribución del material a explotar y las reservas pueden ser calculadas por diversos métodos, de estos se debe escoger según las características geométricas del área a explotar.

4.3.2.1. Métodos de Evaluación

Según Bustillo y López (1997) hay dos grupos grandes para realizar la estimación de las reservas de un depósito o yacimiento; los llamados métodos clásicos o geométricos y los denominados métodos geoestadísticos.

- **Métodos clásicos o geométricos.** - Se basa en la construcción de una o varias figuras geométricas en las que se va a estimar que cantidad de mineralización o material extraíble existente dentro de ellas.
- **Métodos geoestadísticos.** - Ofrecen una óptima evaluación de las reservas de un yacimiento, se basan en la estimación del valor de la variable en un punto o bloque a partir de un número determinado de valores conocidos que constituye el objetivo básico de todo proceso evaluador de las reservas de un yacimiento.

Al momento de realizar la cubicación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en la zona, se pueden usar los métodos geométricos, descritos a continuación según (Jimeno, 1994)

4.3.2.2. Método de los perfiles o secciones transversales Adyacentes

Se trazan secciones geológicas verticales en las que a intervalos regulares se representa la forma del depósito y el área que ocupa en cada sección y dentro del hueco proyectado. La reserva se calcula multiplicando el área de cada sección por la equidistancia entre ellas y

sumando a continuación los volúmenes obtenidos. Es el método más utilizado junto con el del modelo de bloques.

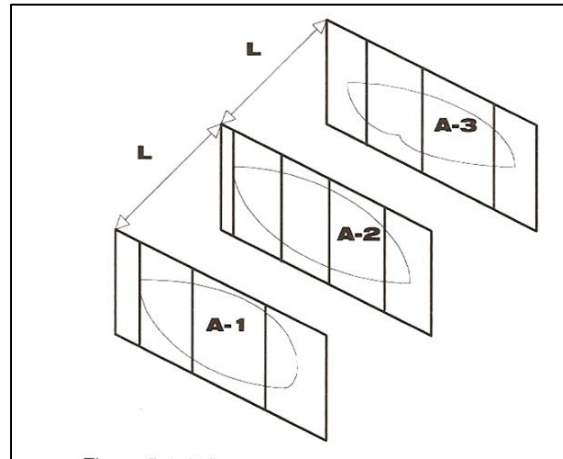


Figura 15 Método de secciones transversales adyacentes

Fuente: (Jimeno, 1994)

$$VT = \Sigma A1 \times L1$$

Donde:

VT= Volumen total de áridos y pétreos (m³)

A1= Área del depósito en la sección Si (m²)

L1= Espesor del bloque representado por la sección Si (m)

4.3.2.3. Método de las isolíneas

Se transforma el depósito en un cuerpo de volumen similar, apoyado sobre un plano horizontal y dividido por isolíneas (líneas a igual cota) que separan volúmenes parciales más sencillos que el cuerpo del macizo. El número de isolíneas a utilizar dependerá de la complejidad morfológica del macizo, las reservas se obtienen al sumar cada uno de los volúmenes parciales comprendidos entre las isolíneas.

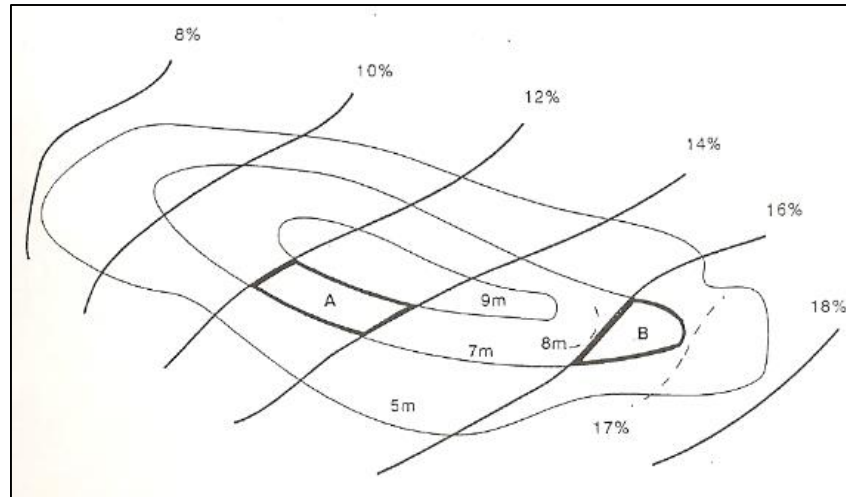


Figura 16 Diseño de Isótopas para cálculo de reservas

Fuente: (Jimeno, 1994)

4.3.2.4. Método de la triangulación

Se basa en unir los sondeos o datos puntuales mediante rectas, formando un mallado triangular. Cada triángulo es la base de un prisma imaginario con una potencia determinada. Los datos de calidad del prisma se obtienen como media aritmética o media ponderada para las potencias de cada uno de los tres sondeos del triángulo.

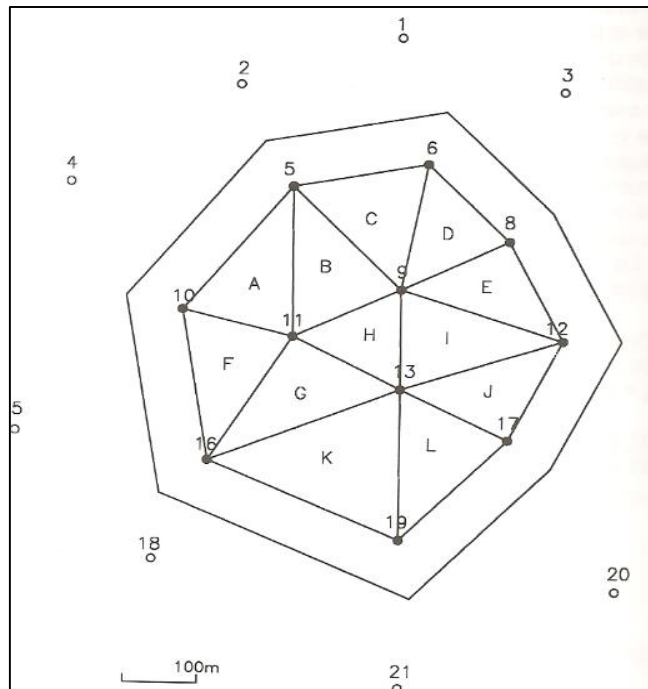


Figura 17 Diseño de los triángulos para el yacimiento

Fuente: (Jimeno, 1994)

4.3.2.5. Método de los polígonos

Se divide el yacimiento en polígonos determinados por las mediatrices de los segmentos que unen los sondeos. Dentro de cada polígono se supone constante la potencia dada por cada sondeo, por lo que el volumen de cada dato se calcula multiplicando el área del polígono por el espesor testificado en el sondeo.

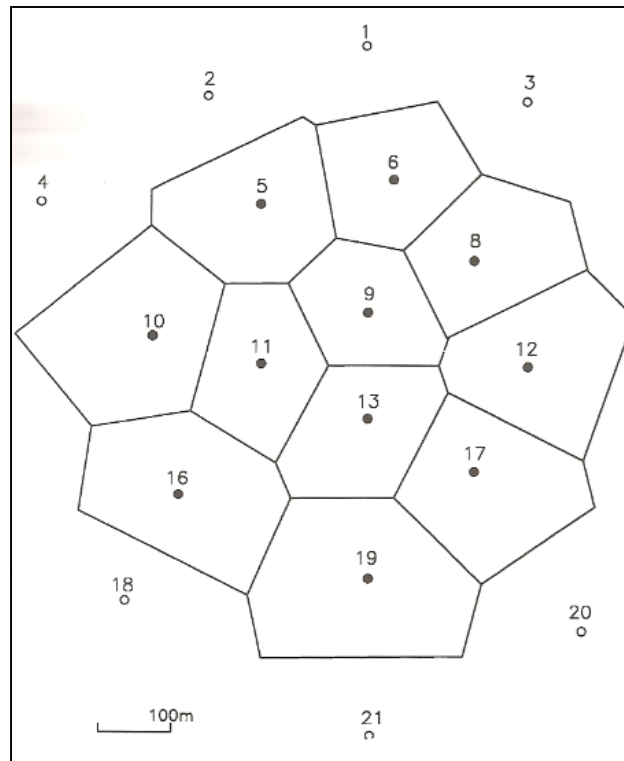


Figura 18 Diseño de los polígonos para el yacimiento

Fuente: (Jimeno, 1994)

4.3.2.6. Método del modelo de bloques

Tiene la ventaja de poder representar y calcular volúmenes de las variaciones de calidad del yacimiento, si bien para obtener esta efectividad, es necesario contar con un gran número de datos. Consiste en dividir el yacimiento en paralelepípedos, con una o dos dimensiones variables y la tercera constante (esta generalmente se hace coincidir con la altura de los bancos). Cada paralelepípedo está caracterizado

4.4. Método Minero

El diseño de una mina tiene múltiples facetas y objetivos entre los que cabe destacar la selección del método de explotación y el dimensionamiento geométrico de la mina, la determinación del ritmo anual de producción y la ley de corte la secuencia de extracción entre otros.

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 de un yacimiento por medio de un conjunto de sistemas procesos y máquinas que operan de una forma ordenada repetitiva y rutinaria.

4.4.1. Clasificación del método minero

En principio tan sólo existen actualmente 3 métodos en un sentido más amplio que son: el método de explotación de minería a cielo abierto, el método de explotación de minería de interior o mina subterránea y el método de explotación por sondeos. (Herbert, Métodos de Minería a Cielo Abierto, 2006).

Por las diferentes características estructurales y sus aplicaciones, se pueden varias clases de materiales que darán lugar a una primera selección de ellos submétodos clásicos de la minería a cielo abierto (MCA):

4.4.2. Métodos de explotación de minería subterránea

Hay una gran variedad de métodos mineros aplicables a minería subterránea, antes de inicio de la explotación es necesario llevar a cabo un amplio conjunto de labores previas. (España, 1991) se menciona algunos de los principales métodos utilizados son:

- **Cámaras y pilares:** consiste en un método que va dejando secciones de mineral como pilares para soportar el hueco creado.
- **Corte y relleno:** El material es arrancado por rebanadas horizontales en sentido ascendente desde la galería de fondo. El material una vez volado es extraído por medio de coladeros, efectuándose luego el relleno del hueco creado con el estéril.
- **Hundimiento por bloques:** se divide el yacimiento en grandes bloques de sección cuadrangular, de varios miles de metro cuadrados.

- **Tajos largos:** Utilizado en yacimientos estratificados, delgados, de espesores uniformes e inclinaciones preferentemente pequeñas.

4.4.3. Método de explotación de minería a cielo abierto

4.4.3.1. Cortas

En yacimientos masivos con capas inclinadas la explotación se lleva a cabo tridimensionalmente por banqueo descendente con secciones verticales en forma troncocónica. Estos métodos son tradicionalmente utilizados en minería metálica y se adaptan para yacimientos de carbón (Herrera, 2006).

4.4.3.2. Descubiertas

Estos métodos se aplican en yacimientos tumbados u horizontales con unos recubrimientos de estéril inferior a los 50m. Consiste en un avance unidireccional de un módulo con un solo banco desde el que se efectúa el arranque del estéril y vertido de éste al hueco de las fases anteriores. El mineral entonces es extraído desde el fondo de la explotación, que coincide con el muro del depósito.

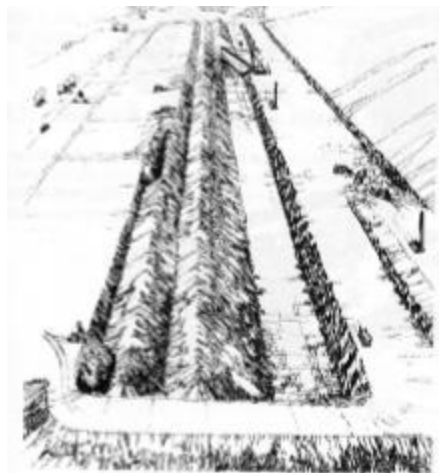


Figura 19 Descubiertas de carbón

Fuente: (Juan Herrera, 2007)

4.4.3.3. Terrazas

(Herbert, 2006), explica que estas se basan en una minería de banqueo unidireccional, aplicada en yacimientos horizontales, de uno o varios niveles mineralizados y con recubrimientos potentes, pero que permiten depositar el estéril en el hueco creado, transportándolo alrededor de la explotación.

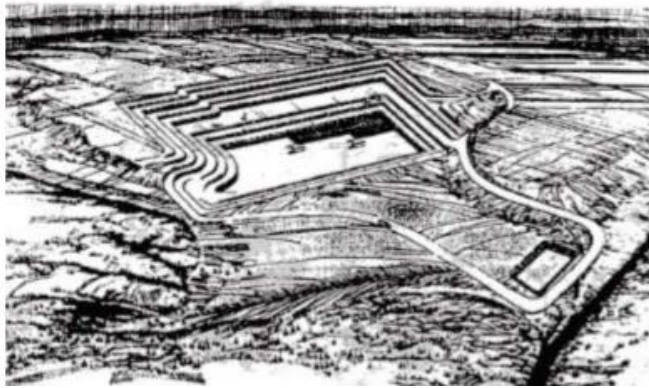


Figura 20 Método de terrazas

Fuente: (Herbert, 2006)

4.4.3.4. Graveras

Usada en materiales detríticos, como son las arenas y gravas, albergados en los depósitos de valle y terrazas de los ríos, son objeto de una explotación intensa debido a la alta demanda de dichos materiales en el sector de la construcción.

4.4.3.5. Canteras

Según (Herrera, 2006), el término cantera es genérico y se utiliza para hacer una referencia a las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituyen, con mucho, el sector más importante en cuanto a número ya que desde muy antiguo se han venido explotando para la extracción y abastecimiento de materias primas con uso final en la construcción y en obras de infraestructura.

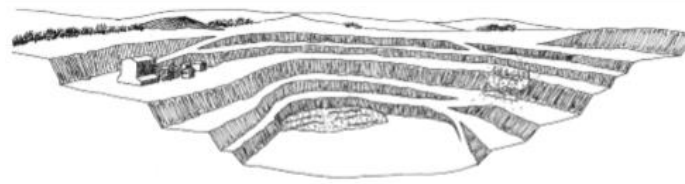


Figura 21 Explotación de cantera de áridos

Fuente: (Herbert, 2006)

Las canteras pueden dividirse en dos grupos:

- El primero donde se desea obtener un todo-uno fragmentado apto para alimentar a las plantas de tratamiento y obtener un producto destinado a la construcción en forma de áridos a la fabricación de cementos y productos industriales. Este tipo de explotación se dan canteras donde la extracción no es cuidadosa y se dan grandes alturas de banco.
- El segundo, dedicado a la explotación cuidadosa de grandes bloques paralelepípedos, que posteriormente se cortan y elaboran. Estas explotaciones se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques y la maquinaria especial con la que se obtienen planos de corte limpio.

4.4.3.5.1. Canteras en terrenos Horizontales

Las labores se inician en trinchera, hasta alcanzar la profundidad del primer nivel, ensanchándose a continuación el hueco creado y compaginado este avance lateral con la profundización.



Figura 22 Avance de cantera en terrenos horizontales

Fuente: (Herbert, 2006)

Como ventajas de este tipo de explotaciones figuran:

La posibilidad de trasladar las instalaciones de cantera al interior del hueco una vez alcanzadas las suficientes dimensiones, consiguiendo menor impacto y menor ocupación de terrenos.

Una mayor aceptación del proyecto por parte del entorno socio-económico, como consecuencia de un mejor control medioambiental del proyecto y mucho menor impacto visual.

Posibilidad de proyectar la pista general de transporte en una posición no inamovible en mucho tiempo.

Permiten la instalación de un sistema de cintas transportadoras.

Como inconvenientes, figuran: La necesidad de efectuar el transporte ascendente de materiales y, por tanto, contra pendiente y mayor coste de dimensionamiento de sistemas de drenaje y bombeo

4.4.3.5.2. Canteras en Ladera

Según la dirección en la que se realicen los trabajos de excavación, pueden distinguirse las siguientes alternativas:



Figura 23 De izquierda a derecha se aprecia una cantera por avance frontal; Excavación descendente y abandono de talud final y Avance lateral

Fuente: (Herbert, 2006)

4.4.3.5.3. Avance frontal y frente de altura creciente

Es la alternativa más frecuente por la facilidad de apertura de las canteras y a la mínima distancia de transporte inicia hasta la planta de tratamiento, el frente de trabajo está siempre activo salvo en una pequeña zona y sus trabajos son progresivamente más altos, por lo que es inviable proceder a la restauración de los taludes hasta que no finalice la explotación.

4.4.3.5.4. Avance Lateral y abandono del talud final

Se puede llevar a cabo cuando la cantera tiene un desarrollo transversal reducido profundizándose poco en la ladera, pero con avances lateral amplio, permite recuperar taludes finales una vez excavado el hueco inicial, así como efectuar rellenos parciales y permite mantener de forma constante la distancia de transporte siempre que la instalación se encuentra en el centro de la corrida de la cantera

4.4.3.5.5. Excavación descendente y abandono del talud final en bancos

Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor Cota, requieren una definición previa del talud final por ello consecuentemente un proyecto a largo plazo exigen constituir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio y obliga a una mayor distancia de transporte entre los primeros años de la cantera.

4.4.4. Parámetros Geométricos de la cantera

El diseño de explotación a cielo abierto se configura de acuerdo a los siguientes parámetros:

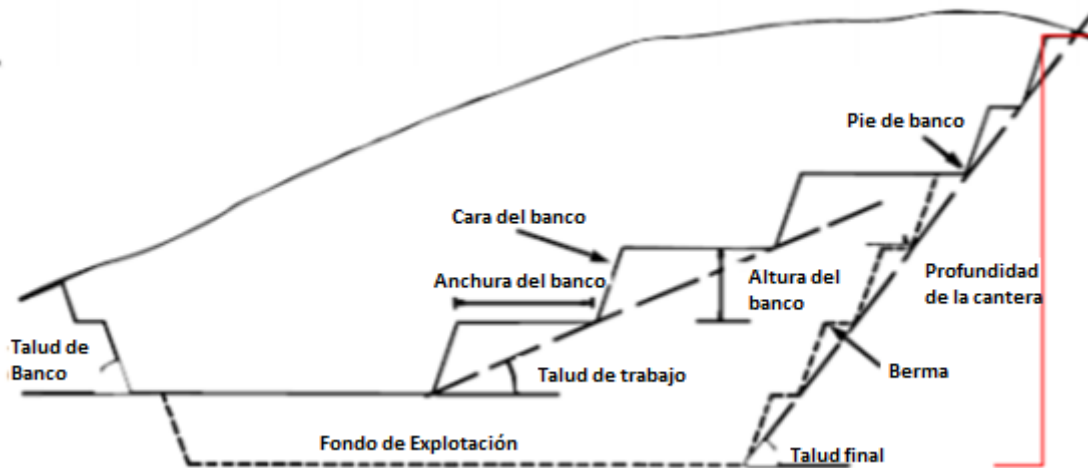


Figura 24 Parámetros o criterios de diseño de una mina a cielo abierto

Fuente: Canteras y Explotaciones para Áridos (Juan Herrera, 2007)

4.4.4.1. Profundidad de la cantera

Es la diferencia de nivel que existe entre la cota de la superficie y la del fondo de la cantera (Sosa, 1989)

$$H = H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}$$

Donde:

H_{máx} = Cota superior máxima del campo de la cantera

H_{mín} = Cota inferior mínima correspondiente al límite de reservas probables de la cantera en su primera etapa.

4.4.4.2. Altura de Bancos

Este parámetro se limita por las condiciones de seguridad durante la explotación y el ancho del amontonamiento de las rocas. Su valor no debe ser mayor que la altura de máxima excavación de la máquina. Sin embargo, en rocas resistentes y que no forman planchas, su valor puede superar el alcance vertical de la pala mecánica (Sosa, 1989)

$$Hb = 1.5 \times H_{\text{exc máx}} \text{ (Rocas resistentes)}$$

$$Hb = 0.9 \times H_{\text{exc máx}} \text{ (Rocas poco resistentes)}$$

Donde:

H_b = Altura de banco

H_{exc máx} = Máxima altura que alcanza el cucharón de la retroexcavadora

4.4.4.3. Prisma de deslizamiento o borde de seguridad (B)

Es la parte inestable del banco del borde superior del talud, limita en su parte superior con el techo del banco y en sus costados por el talud del banco y el plano de deslizamiento natural de las rocas (Sosa, 1989).

$$B = Hb \tan (\alpha e - \alpha 1)$$

Donde:

H_b: Altura del banco (m).

αe : Ángulo de talud del banco, valor máximo (90°) que alcanza

$\alpha 1$: Ángulo de talud del banco (°)

4.4.4.4. Bermas

Son espacios diseñados con el fin de proteger, al detener o almacenar material que se puede desprender de los bancos superiores y también como plataformas de acceso o separación entre bermas, así como su ancho, son función de las características geotécnicas del macizo de explotación.

Una de las maneras empíricas, para el cálculo del ancho de bermas, es a través de la aplicación de las siguientes expresiones (Giani y Call, 1992).

$$W = 0.2H + 2.0, \text{ para } H \leq 9.0\text{m}$$

$$W = 0.2H + 4.5, \text{ para } H > 9.0\text{m}$$

Donde: W = ancho de berma (en metros)

H = altura de banco (en metros)

4.4.4.5. Ángulo de talud de banco (α_1)

Durante la explotación este ángulo debe asegurar una estabilidad temporal, por lo cual puede tener un valor abrupto (hasta 80°) que facilita la excavación; mientras que los bancos en receso deben mantener una estabilidad de larga duración (Sosa, 1989)

$$F = \frac{R_{com}}{100}$$

$$\alpha_1 = \arctan(F)$$

Donde: Rcom= Resistencia a la Compresión

F= Coeficiente de resistencia de Protodiakonov

4.4.4.6. Plataforma de trabajo del banco

Constituye el piso del banco donde se encuentra la maquinaria de extracción y transporte (Sosa, 1989).

$$B_{pt} = A + C + T + B$$

Donde:

A=Ancho del amontonamiento.

B=Borde de seguridad o prisma de deslizamiento

T= Espacio que ocupa el volquete

C= Espacio de maniobra de la excavadora, que es 1.5 veces la longitud de la cargadora.

4.4.4.7. Anchura de pistas

La anchura de las pistas recomendada puede estimarse con la siguiente expresión (Juan Herrera, 2007):

$$A = a(0.5 + 1.5n)$$

Donde: **A**= Anchura total de la pista (m)

a= Anchura del vehículo (m)

n= número de carriles deseados

4.5. Operaciones básicas de Extracción

Dentro de las operaciones de extracción se tiene como objetivo primordial el obtener materiales áridos y pétreos, estas operaciones conllevan a

4.5.1. Destape y preparación

En esta etapa se retira la cubierta vegetal y todo lo que se encuentre en la parte superior para poner en contacto el material a explotar con la superficie.

4.5.2. Arranque

Es una etapa en la que se realiza la extracción del material a explotar mediante el uso de equipos excavadores si el terreno lo permite o con uso de explosivos si existe un macizo rocoso de alta calidad.

4.5.3. Diseño de voladuras

4.5.3.1. Parámetros de las voladuras en banco

Antes de introducir cada uno de los conceptos anteriores es necesario establecer las definiciones de aquellos conceptos que se van a emplear de aquí en adelante en el desarrollo del diseño de voladuras. De este modo, para una voladura a cielo abierto se pueden definir, entre otros conceptos, los siguientes (Bernaloa, Castilla, & Herrera, 2013):

- **Banco:** lugar donde se ubican los barrenos de voladura que viene definido por la planificación establecida, así como el método de explotación.
- **Altura de banco:** Distancia vertical entre dos bancos adyacentes.
- **Ángulo del frente:** ángulo del talud definido entre dos bancos adyacentes. Puede expresarse bien con respecto a la vertical, o bien respecto a la horizontal.
- **Piedra:** Distancia entre el barreno y la cara libre.
- **Espaciamiento:** Distancia entre dos barrenos adyacentes en la misma fila.

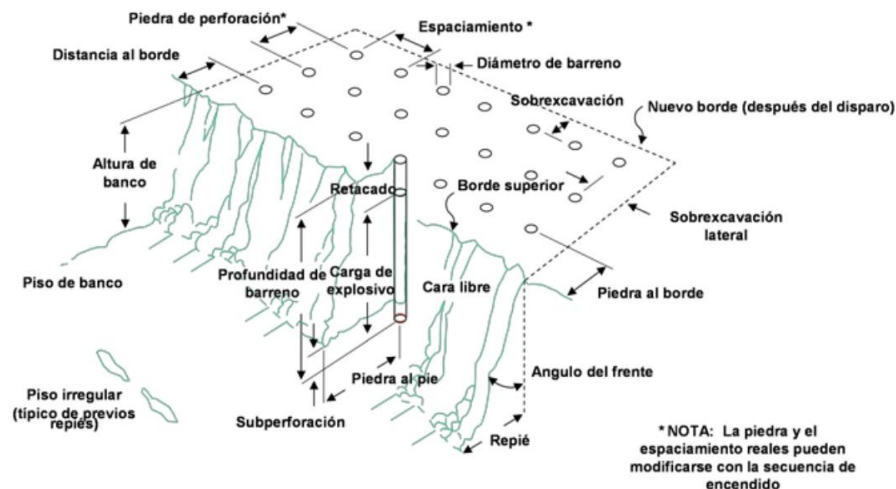


Figura 25 Parámetros de voladuras en Banco

Fuente: (Bernaloa, Castilla, & Herrera, 2013)

4.5.3.2. Malla de perforación y voladura

Para el diseño de la malla de perforación y voladura se deben considerar parámetros como diámetro de barreno, altura de banco, ancho de berma. Para ello se detalla la geometría de la perforación según la resistencia a la compresión simple que presente la roca. **Ver Tabla 3.**

Tabla 3 Relación de la geometría de la perforación con la resistencia a la compresión simple de la roca

VARIABLES DEL DISEÑO	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE (Mpa)		
	Blanda <70	Media 70-120	Dura 120-180
Burden (B)	39D	37D	35D
Espaciado – S	51D	47D	43D
Retacado – T	35D	34D	32D
Sobreperforación - J	10D	11D	12D

Fuente: Manual de Perforación y Voladura de Rocas, López Jimeno, Carlos y Emilio, 2003

4.5.3.3. Voladuras en Banco

Las voladuras en banco son aquellas que se realizan mediante la detonación de barrenos verticales o subverticales, utilizando como cara libre un frente paralelo a los mismos.

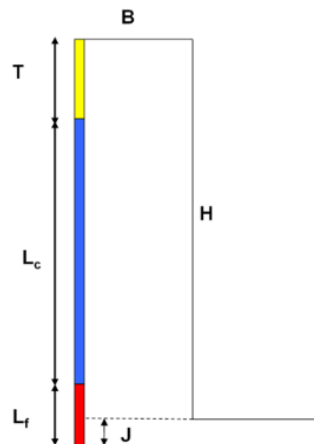


Figura 26 Parámetros Geométricos de las voladuras en bancos

Fuente: (Bernaloa, Castilla, & Herrera, 2013)

Donde:

B = Burden

J= Sobre perforación

H= Altura de Banco

L= Barreno de Longitud

S= Espaciamiento lateral entre barrenos

4.5.3.4. Burden

También llamado “bordo”, en dependencia del autor, está considerado como la distancia más corta entre el barreno de perforación y la cara libre del banco.

Según (Konya, 1987) , cuando se está trabajando en una nueva área de trabajo y se conoce características generales de la roca y el explosivo a utilizar, se puede utilizar la siguiente ecuación.

$$B = 0.012 * \left(\frac{2 * SG_e}{SG_r} + 1.5 \right) * D_e$$

B: Bordo (m)

Sge: Gravedad Especifica o Densidad del Explosivo (g/cm³)

SGr: Gravedad específica o Densidad de la Roca (g/cm³)

De: Diámetro del Explosivo (mm)

4.5.3.5. Corrección de Burden por factores geológicos

Dentro de la explosión, existen dos resistencias que deben ser vencidas la resistencia a la tensión de la matriz de la roca y la resistencia a la tensión de la masa rocosa (Konya, 1987), se hace uso de las siguientes tablas.

Tabla 4 Corrección por el tipo de Depósito

Orientación de Estratos	Kd
Estratos hacia el corte	1.18
Estratos hacia la cara	0.95
Otros depósitos	1.00

Fuente: (Konya, 1987)

Tabla 5 Correcciones para Estructura Geológica

Orientación de Estratos	Ks
Altamente fracturada. juntas frecuentes y débiles, capas con poco cementante	1.3
Capas delgadas bien cementadas con juntas estrechas	1.10
Roca intacta y masiva	0.95

Fuente: (Konya, 1987)

$$B = 0.012 * \left(\frac{2 * SG_e}{SG_r} + 1.5 \right) * D_e$$

$$B_{corr} = Kd * Kr * B$$

4.5.3.6. Taco

Es la parte superior del barreno que se coloca con el propósito de ejercer una confinación de los gases provocados en la explosión, se usa un material inerte, para calcular su dimensión se utiliza la ecuación:

$$T = 0.7 * B$$

4.5.3.7. La sobre perforación aconsejable

"J" será lógicamente función del grado de exactitud de las mediciones realizadas y de la dificultad que ofrezca la roca para su arranque. Sin embargo, es práctica común considerar (Bernaloa, Castilla, & Herrera, 2013)

$$J = 0.3 \cdot B$$

4.5.3.8. La longitud de barreno

Viene dada por la ecuación:

$$L = \frac{H + J}{\cos a}$$

Otro método es el denominado “regla de sesenta” en donde se utiliza la relación de rigidez superior a 2, según (Konya, 1987)

$$L = \frac{60 * D_e}{1000}$$

La longitud mínima del barreno se aproxima multiplicando el diámetro en mm por 60 y dividiendo entre 1000.

4.5.4. Estabilidad

La estabilidad comprende una serie de estudios desarrollados a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, esta se encuentra ligada a la geología y la geotecnia.

4.5.4.1. Mecánica de Rocas

Se ocupa del estudio teórico - práctico de las propiedades y comportamiento mecánico de los materiales rocosos, y de su respuesta ante la acción de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

La Mecánica de rocas inició como consecuencia de la utilización del medio geológico para obras superficiales, subterráneas y explotación de recursos mineros.

La finalidad de la mecánica de rocas es conocer y predecir el comportamiento de los materiales rocosos, ante la actuación de fuerzas internas y externas que se ejercen sobre ellos.

(Vallejo, 2002)

4.5.4.2. Matriz rocosa

Es el material rocoso exento de discontinuidades, o los bloques de “roca intacta” que quedan entre ellas. (Vallejo, 2002)

4.5.4.3. Discontinuidad

Es cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso. Generalmente la resistencia a la tracción de los planos de discontinuidad es muy baja o nula. (Vallejo, 2002)

4.5.4.4. Macizo Rocosos

Es el conjunto de los bloques de matriz rocosa y de las discontinuidades de diverso tipo que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótopos y heterogéneos. (Vallejo, 2002)

4.5.4.5. Geotecnia

(Cantabria) dice que la geotecnia es la rama de la Ingeniería que se ocupa del estudio de la interacción de las construcciones con el terreno. Se trata por tanto de una disciplina no sólo de la Ingeniería Civil, sino también de otras actividades, como la Arquitectura y la Ingeniería Minera, que guardan relación directa con el terreno

4.5.4.6. Clasificaciones Geomecánicas

Según (Vallejo, 2002), los macizos rocosos como medios discontinuos, presentan un comportamiento geomecánico complejo, que pueden ser estudiados en función a la

aplicación que se le dé. Las clasificaciones geomecánicas aportan mediante una observación directa de las características del macizo rocoso y la realización de ensayos.

4.5.4.7. Calidad del macizo rocoso por el método de Bieniawski (RMR)

La clasificación geomecánica de Bieniawski también llamada clasificación *Rock Mass Rating (RMR)* por sus siglas en inglés, fue desarrollada en 1973, consiste de una metodología que relaciona los índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso.

Tabla 6 Parámetros de la clasificación Geomecánica RMR básico

Valores del RMR (Bieniawski, 1979)							
PARÁMETROS	INTERVALO DE VALORES						
Resistencia de la roca intacta a compresión simple	> 250 Mpa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
Valoración	15	12	7	4	2	1	0
RQD	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
Valoración	20	17	13	8	3		
Separación entre juntas	> 2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	< 60 mm		
Valoración	20	15	10	8	5		
Condición de las juntas	Muy rugosas No continuas Cerradas Bordes sanos y duros	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes algo meteorizados	Algo rugosas Separación < 1mm Bordes muy meteorizados	Espejos de falla o Relleno < 5 mm o Separación 1-5 mm Continuas	Relleno blando > 5 mm o Separación >5 mm Continuas		
Valoración	30	25	20	10	0		
Flujo de agua en las juntas	Secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Fluyendo		
Valoración	15	10	7	4	0		
CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN RMR							
Clase	I	II	III	IV	V		
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala		
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	<20		

Fuente: <http://www.stmr.es/>

4.5.4.7.1. Resistencia a la Compresión Simple

Llamada resistencia uniaxial, es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta cilíndrica sin confinar. Se la obtiene mediante la siguiente expresión (Vallejo, 2002):

$$\sigma_c = \frac{F_c}{A}$$

Donde:

σ_c = Resistencia a la compresión (MPa)

F_c = Fuerza compresiva aplicada

A = Área de aplicación

Tabla 7 Clasificación en base a la resistencia de la roca

Resistencia a compresión simple (MPa)	Descripción
1-5	Muy Blanda
5-25	Blanda
25-50	Moderadamente dura
50-100	Dura
100-250	Muy Dura
> 250	Extremadamente dura

Fuente: Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)

4.5.4.7.2. Índice de calidad de la roca (RQD)

La calidad de la roca (RQD), se determina a partir del porcentaje de trozos de testigos mayores a 10cm recuperados en un sondeo.

Según (Palmstrom, 2005), muchas veces el RQD se lo puede estimar a partir de afloramientos, mediante las siguientes expresiones:

$$RQD = 110 - 2,5 Jv$$

Aplicable en bloques tabulares o prismáticos

$$RQD = 115 - 3,3 Jv$$

Se aplica para bloques poliédricos, romboédricos y equidimensionales.

Donde:

Jv = Índice volumétrico de juntas o número de juntas por metro cúbico

$$Jv = \frac{n^{\circ} \text{ de discontinuidades}}{\text{longitud medida}}$$

4.5.4.7.3. Espaciado de las discontinuidades

Es la distancia media entre los planos de discontinuidad, medida en la dirección perpendicular a dichos planos, siendo estos los que condicionan el tamaño de los bloques.

Tabla 8 Descripción del espaciado

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO
Extremadamente junto	< 20 mm
Muy junto	20-60 mm
Junto	60-200 mm
Moderadamente junto	200-600 mm
Separado	600-2.000 mm
Muy separado	2.000-6.000 mm
Extremadamente separado	> 6.000 mm

Fuente: Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)

4.5.4.7.4. Condición de las discontinuidades

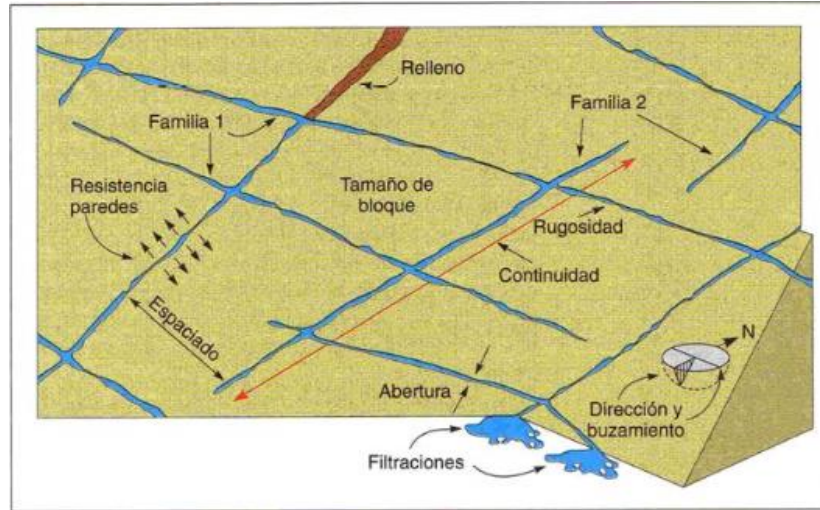


Figura 27 Representación de las propiedades geométricas de las discontinuidades (Hudson, 1989)

Fuente: Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)

➤ Orientación o Dirección de Buzamiento

La Orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo. En una discontinuidad la orientación está definida por su buzamiento y dirección de buzamiento.

➤ Longitud de las discontinuidades o Continuidad

La continuidad de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y su buzamiento. (Vallejo, 2002)

Tabla 9 Descripción de continuidad (ISMR, 1981)

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	< 1 m
Baja continuidad	1 – 3 m
Continuidad media	3 -10 m
Alta continuidad	10 -20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

Fuente: Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)

➤ **Abertura**

Es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad (Vallejo, 2002)

Tabla 10 Descripción de la abertura (ISMR, 1981)

ABERTURA	DESCRIPCIÓN
<0,1 mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,5 mm	Abierta
2,5-10 mm	Moderadamente ancha
> 10mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
> 1m	Cavernosa

Fuente: Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)

➤ **Rugosidad**

Este parámetro tiene como principal finalidad la evaluación de la resistencia al corte de los planos de una discontinuidad. Se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades

El método más sencillo es la comparación visual con el uso de los perfiles estándar de rugosidad.

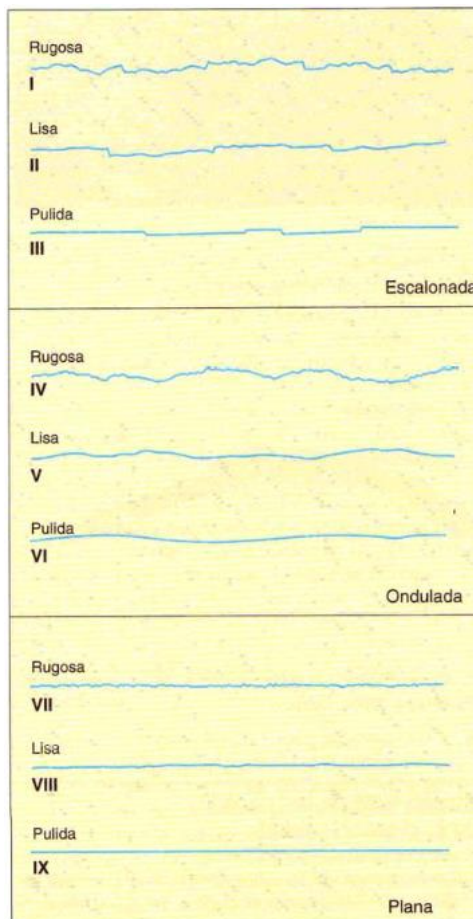


Figura 28 Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles está en el rango entre 1 y 10m (ISMR, 1981)

Fuente: Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)

➤ **Relleno**

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta la roca de las paredes. El relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad.

Las características principales del relleno que se describen en un afloramiento son: la naturaleza, espesor o anchura, resistencia al corte y permeabilidad. (Vallejo, 2002)

➤ **Alteración – Meteorización**

El grado de meteorización de la roca condiciona de forma definitiva sus propiedades mecánicas. Según avanza el proceso de meteorización aumentan la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia (Vallejo, 2002)

4.5.4.7.5. Flujo de agua en las discontinuidades - Filtraciones

El agua en el interior de un macizo rocoso procede generalmente del flujo que circula por las discontinuidades. Las observaciones respecto a la filtración en las discontinuidades pueden seguir la descripción de la siguiente tabla (Vallejo, 2002):

Tabla 11 Descripción de las filtraciones en discontinuidades (ISMR,1981)

Clase	Discontinuidades sin relleno	Discontinuidades con relleno
I	Junta muy plana y cerrada aparece seca y no parece posible que circule agua	Relleno muy consolidado y seco no es posible el flujo de agua Relleno húmedo, pero sin agua
II	Junta seca Sin evidencia de flujo de agua	libre Relleno mojado con goteo
III	Junta seca, pero con evidencia de haber circulado agua	ocasional Relleno que muestra señales de
IV	Junta húmeda, pero sin agua libre	lavado flujo de agua continuo estimar el caudal en l/min
V	Junta con rezume ocasionalmente goteo, pero sin flujo continuo	Rellena localmente labrado flujo considerable según canales preferentes estimar caudal y
VI	Junta con flujo continuo de agua estimar el caudal en l/min	presión Rellenos completamente lavados presiones de agua elevadas

Fuente: Ingeniería Geológica (Vallejo, 2002)

4.5.4.8. Descripción y zonificación del afloramiento

(Vallejo, 2002) dice que el primer paso en el estudio de un afloramiento de un macizo rocoso debe ser la identificación del mismo y su descripción general. Posteriormente se lleva a cabo la división en zonas o sectorización y la descripción de las mismas. Es muy útil realizar fotografías y dibujos esquemáticos del afloramiento, donde se pueden indicar las características básicas de cada zona. Por lo general, en un macizo rocoso pueden establecerse a simple vista, siempre que el afloramiento no sea muy amplio, distintas áreas con diferente aspecto o tipos de materiales rocosos, por ejemplo, zonas con distinta vegetación, elementos estructurales, grado de fracturación, grado de meteorización, etc.

Optimización del Sistema de explotación para el Área minera de libre aprovechamiento " IML Las Lágrimas - Código 60000309", ubicada en la parroquia Carigán, cantón Loja, provincia de Loja.

PROYECTO: _____		ESTACIÓN: _____		HOJA/PLANO: _____					
REALIZADO POR: _____		LOCALIZACIÓN: _____		FOTO: _____					
FECHA: _____									
LITOLOGÍA	NATURALEZA:			POTENCIA:	FORMACIÓN Y EDAD:				
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA:			MORFOLOGÍA:	ESPESOR:				
ESTRUCTURA	PLIEGUES		FALLAS		OTROS:				
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy brechificado >60		
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadam blanda (Uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blandas (Punta de martillo) 2	Media (1 golpe martillo) 3	Dura (+ 1 golpe martillo) 4	Muy dura (Varios golpes) 5	Extremadam Dura (Sólo raya con martillo) 6		
GRADOS DE METEORIZACION	I Inalterada (6)		II Ligeramente alterada (5)		III Moderadamente alterada (3)		IV Muy alterada (1)	V Compl meteorizada (0)	VI Suelo residual (0)
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua		Seco (sin señales de agua)		Húmedo		Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO:
MUESTRAS									OBSERVACIONES:
CROQUIS N° 1								OBSERVACIONES	

Figura 29 Ficha de zonificación

Fuente: (Vallejo, 2002)

4.5.5. Carga

El material que fue arrancado procede a ser cargado en equipos de transporte. Para ello se utilizan maquinas como excavadoras o retroexcavadoras.

4.5.6. Transporte

Continuando con el proceso de extracción, el transporte se ejerce a través de volquetes, dumper o bañeras dependiendo la cantidad de material extraído, también se suelen usar cintas transportadoras.

4.5.7. Stokeado

Contempla el almacenamiento de material según la forma y tamaño, en puntos donde no interfieran con el ciclo de operaciones y que faciliten su comercialización.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

Para el desarrollo y elaboración del proyecto de tesis se han considerado un conjunto de materiales tanto de uso en campo como en oficina, para ello se los ha clasificado a continuación.

Tabla 12 Listado de materiales de campo y oficina.

Materiales de Campo	Materiales de Oficina
<ul style="list-style-type: none">▪ GPS	<ul style="list-style-type: none">▪ Computadora portátil Dell
<ul style="list-style-type: none">▪ Brújula Brunton	<ul style="list-style-type: none">▪ Impresora
<ul style="list-style-type: none">▪ Martillo geológico	<ul style="list-style-type: none">▪ Software arcgis, civil cad y ofimática
<ul style="list-style-type: none">▪ Carta topográfica de Loja a escala 1:50000	<ul style="list-style-type: none">▪ Documentos bibliográficos
<ul style="list-style-type: none">▪ Carta geológica de Loja a escala 1:100000	<ul style="list-style-type: none">▪ Graduador
<ul style="list-style-type: none">▪ Estación Total	<ul style="list-style-type: none">▪ Escuadras
<ul style="list-style-type: none">▪ Prismas	
<ul style="list-style-type: none">▪ Cinta métrica, machete, estacas	
<ul style="list-style-type: none">▪ Cámara fotográfica	
<ul style="list-style-type: none">▪ Fichas de campo	
<ul style="list-style-type: none">▪ Marcadores, lápiz, pinturas	
<ul style="list-style-type: none">▪ Cronometro digital	
<ul style="list-style-type: none">▪ Libreta de Campo	

Elaborado por: El Autor, 2021

5.2. Métodos

Para desarrollar el presente estudio "**Optimización del Sistema de explotación para el Área minera de libre aprovechamiento " IML Las Lágrimas - Código 60000309"**", ubicada en la **parroquia Carigán, cantón Loja, provincia de Loja**, se utilizó un conjunto de métodos y técnicas como: Método Científico, Descriptivo, Deductivo, Analítico, de Campo, Experimental, Sintético, Técnica de Observación; mismos que fueron aplicados conforme al avance de los trabajos, llegando a cumplir con los objetivos planteados

5.3. Metodología

La concesión se encuentra legalmente registrada por su titular "Municipio de Loja" y como representante legal el Ing. Jorge Bailón. Para el desarrollo del proyecto se hizo la recolección de información bibliográfica como:

- ❖ Carta Topográfica de Loja Norte escala 1:50.000 de libre acceso en el Geoportal, año 1996
- ❖ Datos Generales de la Concesión del año 2020.
- ❖ Límites de la concesión del año 2020.
- ❖ Reconocimiento de áreas que limitan con la concesión mediante uso del catastro minero de ARCOM de libre acceso, año 2020.
- ❖ Informe de producción del Primer semestre del año 2020.
- ❖ Informe del Sistema de Explotación de Las Lágrimas del año 2016.
- ❖ Topografía del frente de explotación de la concesión del año 2020.
- ❖ Hoja Geológica de Loja a escala 1:100000 del año 2017, de libre acceso en la página del IIGE.
- ❖ Mapa Geológico de la Hoya de Loja a escala 1:25.000 del año 2004, de libre acceso en el portal web Studilyb.

5.3.1. Metodología para el primer objetivo

Para cumplir con el primer objetivo se hizo el levantamiento topográfico de la concesión a detalle, usando la estación total S3.

Inicialmente me ubiqué con mirada al norte, el día se encontraba con el cielo despejado y sin presencia de lluvias así que procedí a realizar cuatro distintas mediciones con dos GPS para visualizar una reducción en el margen de error hasta 3m y compararla, se obtuvo un dato igual y anoté la coordenada. Para su comprobación ubiqué en el mapa topográfico “Loja Norte” corroboré la ubicación y la cota de 2016 msnm.

Aquí se colocó el punto de partida o estación A, como principales referencias al norte a un metro de distancia se encuentra la cancha de la concesión “Jacqueline” y al sur, las oficinas de la misma, esta ubicación fue elegida por la visibilidad para el desarrollo del levantamiento, aquí se colocó una estaca y un clavo.



*Fotografía 1 Ubicación del Punto de Partida “A”; UTM/PSAD56:
697225/9565217/2016*

Elaborado Por: El Autor, 2021

Sobre ella se levantó el trípode a una altura de 1.25m y se ajustó la estación total al mismo, se procedió hacer el encerado del equipo y medir la altura de la estación, siendo 1.42m, esta medida sirvió para la corrección. Los jalones que se utilizaron fueron dos, con una altura de 1.90m.



Fotografía 2 Ubicación de la estación en el Punto de Partida "A"

Elaborado Por: El Autor,2021

Posteriormente se procedió a medir la estación B, como principal al norte se encuentra la vía de acceso al frente de explotación de la concesión "Jacqueline" para hacer la corrección del error, a una distancia de 20m, este se señaló con su respectiva estaca y clavo.



Fotografía 3 Ubicación de la estación "B", UTM/PSAD56: 697209/9565245/2018

Elaborado Por: El Autor,2021

El levantamiento se hizo por poligonal cerrada y el método de trisección, para cubrir toda el área fueron necesarios adicionalmente cinco cambios de estación, teniendo un total de siete estaciones de la A – G, señalizadas con su respectiva estaca y clavo. El sistema de coordenadas con las que se trabajó en campo fue con UTM/PSAD56/17SUR y posteriormente en oficina con el Software ArcGis 10.5.

Tabla 13 Cambios de estación de la A – G

Estación	X	Y	Z
	UTM/PSAD56	UTM/PSAD56	Metros
A	697225	9565217	2016
B	697209	9565245	2018
C	697098	9565326	2039
D	697145	9565278	2035
E	697185	9565335	2043
F	697221	9565398	2035
G	697300	9565408	2013

Elaborado por: El Autor, 2021

Una vez que se terminó el levantamiento en campo, en oficina se procedió a pasar la información de la estación total al computador, estos puntos se almacenaron en una hoja del software Excel 2016, después se los guardó como tipo “Libro de Excel 97-2003”.

Luego usando una computadora se abrió el software ArcGis 10.5 y cree un nuevo proyecto, después en la opción “Agregar Dato” seleccioné el archivo Excel 97-2003 que contiene los puntos y apareció una tabla en la ventana de contenidos.

Posteriormente le di clic derecho sobre la tabla que contiene los puntos, seleccioné la opción “mostrar datos x, y”, y se abrió un cuadro donde escogí las coordenadas Norte (X), Este (Y), Cota (Z) con el sistema PSAD56, al aceptar estos cambios aparecieron puntos temporales, que

luego se los exportaron como Datos para que se genere un Shapefile de los puntos. *Ver Figura 31.*

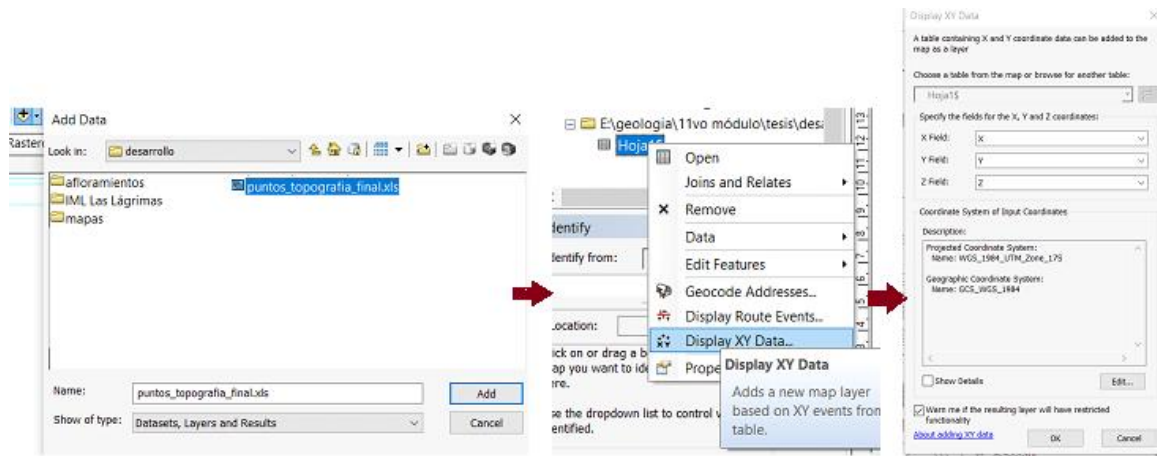


Figura 31 Georreferenciación de los puntos de la topografía

Elaborado Por: El Autor,2021

En las herramientas de ArcToolbox, se escogió “3D Analyst”, luego “Create TIN from Features”, Data Management, Create TIN y seleccioné el shapefile de puntos con su cota (Z), se aceptó y apareció un TIN. Finalmente, en las herramientas de ArcToolbox escogí la opción “Triangulated Surface” y se luego “Surface Contour”, el resultado son curvas de nivel en coordenadas PSAD56. **Ver Figura 32.**

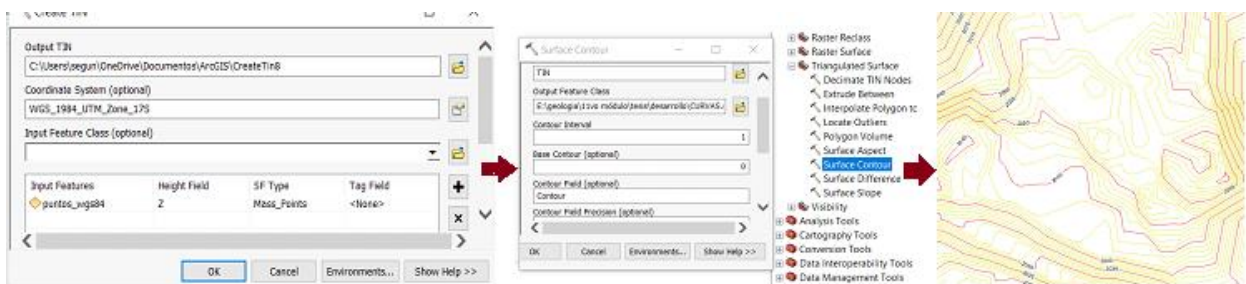


Figura 32 Diseño de Curvas de Nivel a partir del TIN

Elaborado Por: El Autor,2021

Como resultado se generó un mapa topográfico de la concesión de Libre aprovechamiento "ILM Lágrimas" a escala 1:1000, con curvas de nivel a una equidistancia de 1m, y todo esto por medio del software ArcGis versión 10.5 *Ver anexo 1.*

Seguidamente procedí hacer la descripción geológica del área de estudio, en gabinete analicé la carta geológica de Loja a escala 1:100.000, año 2017, serie J62-G; hoja 56, N VI-F de libre acceso en (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2020), al igual que el Mapa Geológico de la Hoya de Loja a escala 1:25.000 del año 2004, de libre acceso en (STUDYLIB, s.f.)

Mediante el software ArcGis 10.5, importé la carta geológica de Loja a escala 1:100.000, año 2017, debido a que es la más actual, se la georreferenció, ubicando los límites de la concesión según sus coordenadas ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., luego creé hapefile para digitalizar la Geología Regional, las curvas usadas fueron las de Loja Norte a escala 1:50000 de libre acceso en (Geoportal, 2017).

Se hizo un recorte de las curvas de nivel para delimitar la concesión, luego se creó un Tin con ellas, y con este generé curvas de nivel donde las principales están cada 100m y secundarias cada 20m. **Ver Figura 33.**

Después se crearon polígonos para representar las diferentes litologías y polilíneas para representar las estructuras como fallas, pliegues, discontinuidades. **Ver Figura 34.**

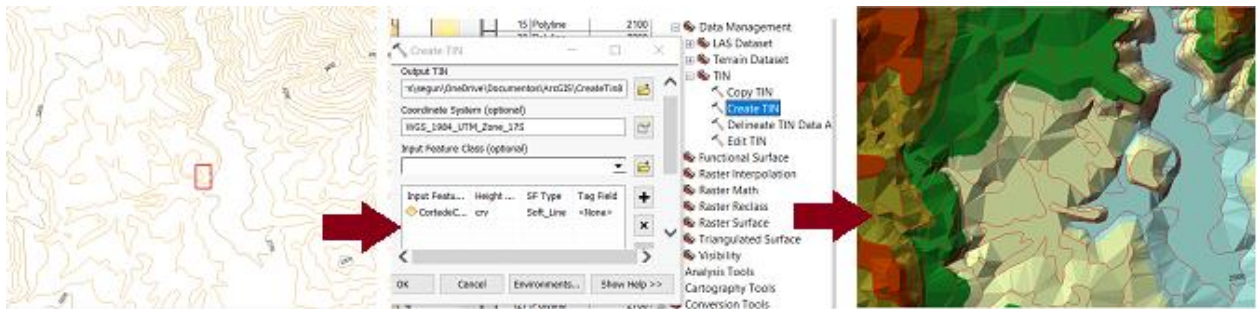


Figura 33 Creación de un TIN a partir de las curvas de nivel

Elaborado Por: El Autor,2021





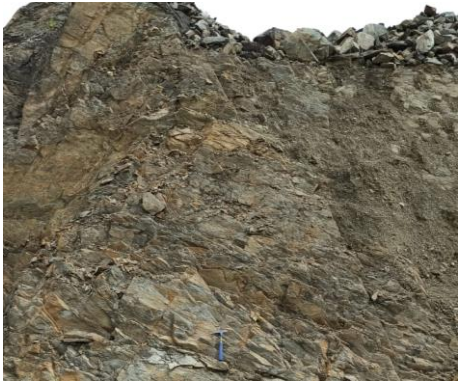
Figura 34 Pasos para generar curvas de nivel con equidistancia de 20m


Elaborado Por: El Autor,2021




Finalmente, como resultado se generó un mapa de la Geología Regional de la concesión de Libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas” a escala 1:25000, con curvas de nivel a una equidistancia de 20m, y todo esto por medio del software ArcGis versión 10.5 **VER ANEXO 2.**

En campo se procede a corroborar mediante descripción de 9 afloramientos visibles dentro del polígono.

Tabla 14 Afloramientos descritos en campo

Fotografía	Descripción	Coordenadas UTM/PSAD56
<p>Afloramiento 1</p> 	<p>Se puede visualizar un macizo rocoso, se aprecia una composición por esquistos, este presenta una gran cantidad de fracturas algunas rellenas con cuarcita, las que predominan en mayor parte tienen una dirección Norte-Sur, al momento se encuentra expuesto a la superficie lo cual está produciendo un intemperismo del mismo.</p>	<p>X=697284 Y=9565323 Z=2018</p>
<p>Afloramiento 2</p> 	<p>El afloramiento se expone en la superficie y es de tipo antrópico, se aprecia una composición por esquistos que presentan fracturas rellenas con cuarcita, las que predominan en mayor parte tienen una dirección Norte-Sur.</p>	<p>X=697233 Y=9565375 Z=2048</p>
<p>Afloramiento 3</p> 	<p>El afloramiento es de tipo antrópico, se aprecia una composición por esquistos con presencia de micas, afectado por la presencia de varias fracturas rellenas con cuarcita, las que predominan en mayor parte tienen una dirección Norte-Sur.</p>	<p>X=697219 Y=9565294 Z=2047</p>
<p>Afloramiento 4</p>	<p>El afloramiento es de tipo antrópico, se aprecia una composición por esquistos con presencia de micas, afectado por la presencia de varias fracturas rellenas con cuarcita, gneis y cuarcitas lo que da</p>	<p>X=697164 Y=9565272 Z=2028</p>

	<p>evidencia de la resistencia al arranque que presentan.</p>	
<p>Afloramiento 5</p> 	<p>El afloramiento es de tipo antrópico, se aprecia una composición por esquistos, afectado por la presencia de varias fracturas rellenas con cuarcita, en su parte superior se encuentran bloques amorfos.</p>	<p>X=697171 Y=9565316 Z=2045</p>
<p>Afloramiento 6</p> 	<p>El afloramiento es de tipo antrópico, se aprecia una composición por esquistos, rocas de gneis, cuarcitas, afectados por la presencia de varias fracturas rellenas con cuarcita, se ve la dirección Norte-Sur con una leve inclinación.</p>	<p>X=697110 Y=9565337 Z=2041</p>
<p>Afloramiento 7</p>	<p>El afloramiento es de tipo antrópico, se aprecia una composición por esquistos</p>	<p>X=697129 Y=9565380</p>

	<p>con presencia de micas, cuarcitas, afectado por la presencia de varias fracturas rellenas con cuarcita, se ve la dirección Norte-Sur con una leve inclinación.</p>	<p>Z=2064</p>
<p>Afloramiento 8</p> 	<p>El afloramiento es de tipo antrópico, se aprecia una composición de un pequeño bloque de esquistos que presenta gran cantidad de fisuras algunas con relleno de cuarcita.</p>	<p>X=697183 Y=9565363 Z=2051</p>
<p>Afloramiento 9</p> 	<p>El afloramiento es de tipo antrópico, se aprecia una composición por esquistos, gneis y cuarcitas, afectado por la presencia de varias fracturas rellenas con cuarcita, se ve la dirección Norte-Sur con una leve inclinación.</p>	<p>X=697226 Y=9565338 Z=2054</p>

Elaborado por: El Autor, 2021

Se realizó con las fichas la toma de coordenadas, la descripción de la litología, formación o unidad a la que pertenece y medidas estructurales con uso de la brújula Brunton en puntos que dieron facilidad. **Ver ANEXO 3.**

En gabinete se enlazó la descripción de la geología levantada en la concesión con la información del mapa geológico regional y según ello se determinó la geología del sector.

Después se necesitó del software ArcGis 10.5, en una hoja de trabajo importé las curvas de nivel de la topografía levantada en la concesión y creé shapefiles para graficar la geología.

Como resultado se generó un mapa de la geología local de la concesión de Libre aprovechamiento "ILM Lágrimas" a escala 1:1000, con uso de la topografía levantada. **Ver ANEXO 4.**

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

Para cumplir con el segundo objetivo se realizó la topografía cuya metodología se encuentra descrita a detalle en el punto **5.3.1**, para conocer el estado actual de la concesión y de su frente de explotación.

La geología regional se realizó por medio de información bibliográfica **ver página 68** y la geología local en campo con la descripción de 9 afloramientos. **Ver ANEXO 3.** En el punto **5.3.1, página 69** se encuentra su metodología y en la **Tabla 14** una breve descripción. Estas sirvieron para conocer el tipo de material con el que cuenta la concesión.

Luego en campo se realizó la toma de muestras para determinar la calidad del material, para ello:

Primero con GPS tomé las coordenadas UTM/PSAD56: X=697129 /9565380 /2064 de donde se sacaron las muestras, con ayuda de la excavadora para fragmentarlo y arrancarlo.

Una vez que el material se arrancó, lo almacené en costales, se necesitó una cantidad aproximada de 50Kg del punto de muestreo, con uso de un marcador permanente fue señalado cada costal con su código de PM1-01.

Después se transportó los costales hasta el laboratorio ESTSUELCON CIA. LTDA, de la ciudad de Loja. Los análisis que se realizaron fueron de abrasión, clasificación completa y CBR de acuerdo a la normativa para materiales de mejoramiento de la subrasante (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, 2002).

Después fueron proporcionados por el municipio ensayos de la Concesión aledaña "Sofía" de coordenadas UTM/PSAD56: 697325/ 9565318/ 2015, de diciembre 2017, que debido a la geología tanto regional como local y a los afloramientos, pertenece a una misma zona, por ello estos ensayos se consideraron como PM2-01.

Posteriormente se procedió a calcular las reservas, para ello se usó del software Civil 3D debido a que cuenta con mejores herramientas 3D que ArcGis 10.5.

Se abrió el software Civil 3D, en la computadora, se importaron las curvas de nivel de la topografía levantada y se trazaron polilíneas que coincidieron dentro de los afloramientos descritos en la **Tabla 14** en dirección Oeste – Este, y Norte -Sur.

En total se trazaron 6 perfiles topográficos desde P1 – P1' hasta P6 – P6' debido a que los afloramientos descritos en la segunda metodología y en la **Tabla 14** permitieron correlacionar el tipo de material, ello sirvió para calcular el área de cada sección, con una distancia de 50m.

Ver Figura 35.

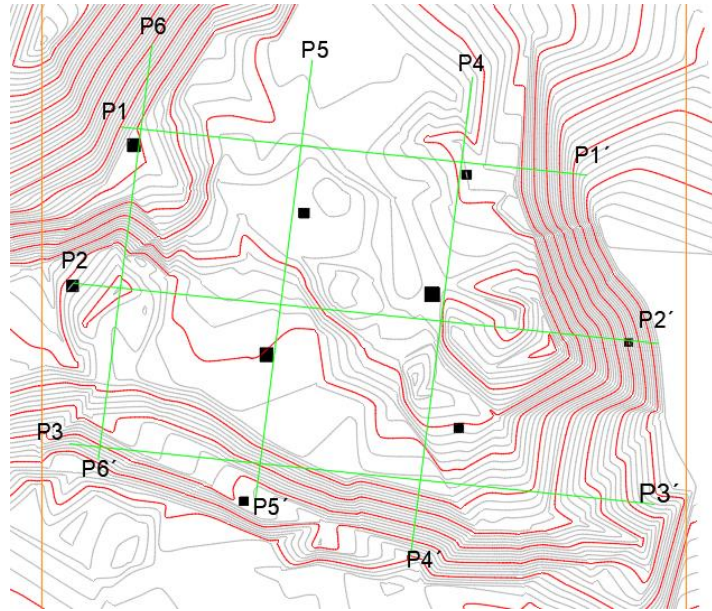


Figura 35 Trazado de polilíneas para el diseño de los perfiles en Civil 3D

Elaborado Por: El Autor, 2021

Con el uso del software Excel, se aplicó el método descrito en el punto **4.3.2.2.** a el área de cada sección se le suma la siguiente área y se divide para la mitad de la distancia, dando como resultado el volumen en m^3 , esto se realizó hasta tener el total de los 6 perfiles.

Mediante el análisis de la topografía, descripciones de campo y la geología local alrededor del polígono de explotación se pudo generar un mapa de perfiles topográficos a escala 1:2000 y el cálculo de las reservas probadas, probables, posibles y totales con las que cuenta el Área minera de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas – código 60000309”. **Ver ANEXO 5.**

5.3.3. Metodología para el tercer objetivo

Para cumplir con el objetivo, se realizaron visitas de campo donde se utilizaron fichas que sirvieron para la describir las actividades que cumple la concesión. **Ver Anexo 6.**

Primeramente, se realizó la toma de datos generales, que corresponden al nombre del área, código, ubicación, titular, representante legal, coordenadas, entre otros. **Ver Anexo 6, numeral**

1.

Posteriormente se efectuó el registro de información sobre el diseño de explotación, hitos demarcatorios, el tipo de roca que se explota, método de explotación aplicado, la estabilidad de taludes, área intervenida, transporte, carga, la producción entre otros. **Ver Anexo 6, numeral 2.**



a) Arranque



b) Carga



c) Transporte



d) Cribado

Fotografía 4 Procesos que se ejecutan dentro de la concesión

Elaborado Por: El Autor, 2021

Para describir el estado de la seguridad y salud que presenta la concesión se la hizo con una ficha dentro del **Anexo 6, numeral 3**. Donde se describió si se cuenta con un reglamento interno, los trabajadores, equipos de protección con los que se cuenta, señalética de seguridad, capacitaciones, entre otras más.

Posterior a esto se realizó una recolección de aspectos referentes al cumplimiento ambiental de la concesión, como es el caso de la licencia ambiental, informes de auditorías, manejo del agua, desechos, aire, rehabilitación de áreas explotadas, **Ver Anexo 6, numeral 4**.

Para calcular tiempo de producción, primeramente, con ayuda del cronómetro se hizo un muestreo del tiempo de producción los días 15 al 20 de marzo para obtener un promedio de ciclos diarios, registrados en una ficha. **Ver Anexo 7**. Con esto se realizó un cálculo de ciclos por hora, mediante la ecuación:

$$(1) \quad \text{Ciclos por hora} = \frac{60 \text{ minutos}}{\text{Tiempo de ciclo en minutos}}$$

Posteriormente se realizó el cálculo de rendimiento de la maquinaria de arranque y carga, mediante ecuaciones matemáticas que ayudaron a obtener el rendimiento de la maquinaria en metros cúbicos por hora.

$$(2) \quad \text{Rendimiento Teórico} = \frac{3600 * Qc * Fe * Ec * Ct}{Tcc} = m^3/h$$

Donde se realizó a su vez el cálculo de **Ec**, eficiencia del cucharón de la excavadora, según la **Tabla 15**.

Tabla 15 Factor de eficacia del cucharón

Tipo del terreno	Coefficiente
Arcilla arenosa o marga mojada	1.00 – 1.10
Arena y grava	0.90 – 1.00
Arcilla dura y compactada	0.80 – 0.90
Roca bien fragmentada por voladura	0.60 – 0.75
Roca mal fragmentada por voladura	0.40 - 0.50

Fuente: (CATERPILLAR, 2010)

Para el **Ct**, se calculó el coeficiente de transformación según el esponjamiento del material, el esponjamiento de la roca, debido a que no lo realizan en los laboratorios de la ciudad de Loja, se procedió a trabajar con la tabla de esponjamiento según el tipo de terreno de (FRANQUET & QUEROL, 2010). Ver **Tabla 16**.

Tabla 16 Esponjamiento según el tipo de terreno

Tipo de terreno	© Grado de esponjamiento
Terrenos sueltos sin cohesión (vegetal)	10%
Terrenos Flojos	20%
Terrenos compactos de tránsito	30%
Terrenos rocosos	40%
Escombros	Varía entre el 40% y 80%

Fuente: (FRANQUET & QUEROL, 2010)

El **Tcc**, tiempo de duración del ciclo en segundos, se tomó de los datos de tiempo que se hizo en campo, en el **Anexo 7**.

Para calcular el rendimiento real actual de la excavadora se multiplicó el rendimiento teórico por el tiempo efectivo de la operación en general, esto mediante la ecuación

$$(3) \quad Rr = Rt * Eg ; m^3/h$$

Los ciclos de carga por hora fueron calculados con la ecuación:

$$(4) \quad Cc = \frac{60 \text{ min}}{Tcc}$$

Posteriormente los ciclos efectivos fueron calculados por la ecuación:

$$(5) \quad Cc = Cc * E0 * Ec * Eg; \text{ ciclos efectivos/h}$$

Finalmente, las paladas necesarias para cargar un equipo de transporte se calcularon con la ecuación:

$$(6) \quad Np = \frac{Qv}{Qc * Ec}$$

De igual manera se aplicaron ecuaciones matemáticas para el cálculo del rendimiento de la maquinaria de transporte. Para ello el rendimiento teórico esta dado por la ecuación:

$$(7) \quad Rt = \frac{Qv * Fe * 60}{Tca * E} = m3/h$$

Posteriormente el calculó del rendimiento real usando la ecuación

$$(8) \quad Rr = Rt * Eg ; m3/h$$

Con ello la producción total promedio por jornada de trabajo se consiguió con la ecuación:

$$(9) \quad Pp = Rt * Nc * Jt ; m3/día$$

Como resultado se obtuvo un promedio de la cantidad de material extraído por día, mencionando que la concesión minera al ser pública no se enfoca en una rentabilidad económica sino más bien una rentabilidad social.

5.3.4. Metodología para el cuarto objetivo

Una vez descritas las actividades que cumple la concesión para la explotación minera, fue necesaria una evaluación de las mismas para poder proponer alternativas de optimización, considerando variables como: la topografía local, la geología, reservas, rendimiento de la maquinaria, entre otros.

Por medio de estas se pudo corregir, distribuir espacialmente las actividades y procesos. Es necesario el potenciar las cualidades de la maquinaria tomando en cuenta el rendimiento actual de la maquinaria, descrito en el tercer objetivo, para optimizar y aumentar la producción diaria.

En la infraestructura se recomendó la adecuación de las instalaciones, para dar un óptimo funcionamiento de estas.

Fue necesario el diseño de vías y sus dimensiones correctas, a partir de la maquinaria disponible en la concesión, considerando los frentes de explotación y la viabilidad de acuerdo a la topografía.

Posteriormente se detalló la maquinaria útil para el sistema de explotación optimizado detallando sus características de funcionamiento, teniendo la finalidad de lograr una mayor producción, para aumentar la rentabilidad social.

Se calculó un rendimiento óptimo de la maquinaria utilizada en el arranque y acarreo, proporcionando alternativas para una mayor capacidad de arranque y carga, posteriormente este valor de rendimiento teórico calculado mediante la ecuación (2). **Ver página 77.** Seguidamente fue calculado el rendimiento real óptimo mediante la ecuación (3). **Ver página 78**

Posteriormente para conocer el número de paladas necesarias para cargar el equipo de transporte mediante la expresión matemática (6). **Ver página 79.**

De igual forma se optimizó el tiempo fijo de carga usando la ecuación:

$$(10) \quad Tc = \frac{Np * Tcc}{60}; min$$

Los tiempos de maniobra fueron calculados mediante el análisis de la distancia máxima (Km), velocidad de ida cargado (Km/h) y velocidad de viaje de regreso vacío (Km/h), mediante las ecuaciones:

$$(11) \quad Tvi = \frac{Distancia (km)}{Velocidad (km/h)} * 60 ; min$$

$$(12) \quad Tvr = \frac{Distancia (km)}{Velocidad (km/h)} * 60 ; min$$

Finalmente se analizó el cálculo de la optimización en el tiempo de carga y acarreo, sumando el tiempo de carga, tiempo de viaje de ida cargado, tiempo de giro y posicionamiento y descarga, tiempo de regreso descargado, tiempo de posicionamiento en el punto de carguío y tiempo óptimo de producción. Con esto se calculó un numero de ciclos óptimos por hora mediante la ecuación:

$$(13) \quad \text{Ciclos Optimos por Hora} = \frac{60 \text{ minutos}}{\text{Tiempo óptimo de produccción}}$$

Se estableció un área de stock dentro de la concesión para ello fue necesario el cálculo del rendimiento teórico de la maquinaria de transporte se aplicó la ecuación (7). **Ver página 79.** Y el rendimiento real de la optimización de la maquinaria mediante la ecuación (8). **Ver página 79.**

Como resultado fue calculada la productividad óptima por jornada de trabajo, teniendo en cuenta el número de volquetes, producción promedio del equipo de transporte y la duración de la jornada de trabajo, usando la ecuación.

$$(14) \quad Pp = Rr * Nv * Jt ; m3/día$$

Posteriormente se realizó el cálculo de la maquinaria necesaria para el estoqueo del material, para ello se tomaron en cuenta su capacidad de cucharón, eficiencia de la maquinaria y el cucharón, coeficiente de esponjamiento, tiempo de ciclo de carga y eficiencia general de la operación.

El rendimiento teórico fue calculado mediante la ecuación (2). **Ver página 77.** También su rendimiento real calculado con la expresión (3). **Ver página 78.**

Subsiguientemente se realizó la descripción de la maquinaria, equipos y arreglo de infraestructura necesarios para la optimización, detallando sus costos.

Se hizo una comparación entre la producción actual y la óptima de esta concesión, demostrando la producción total promedio por jornada de trabajo.

También fueron descritas las características técnicas para el diseño de la explotación, que será en bancos descendentes unidireccional, descrito en (Municipio de Loja, 2020).

Posteriormente fueron detalladas las operaciones de producción del plan de minado, que se llevaran a cabo como son la preparación, el arranque, la carga, cribado y acopio, que serán ejecutadas con la optimización.

Seguidamente se aplicó un análisis económico para determinar el costo de producción actual y el que se tendrá con los cambios necesarios para lograr la optimización del sistema de

explotación, expresados en USD/m³. Para esto fue necesario el uso de una tabla que detalla el personal, maquinaria, insumo combustible, repuestos y mantenimiento con su costo al mes y día.

Finalmente se analizó el costo producción con la optimización y la inversión necesaria para cumplir con ello, definiendo el ahorro y la recuperación o el ahorro del dinero invertido según sea el caso.

6. RESULTADOS

6.1. Ubicación y acceso

6.1.1. Ubicación geográfica

La concesión minera de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas, Código 60000309”, está ubicada en la Región Sur del Ecuador, provincia de Loja, al noroeste del cantón Loja, parroquia Carigán. **Ver Figura 36.**

Posee un área de 6 hectáreas y limita al norte con el cementerio Municipal, al sur con la vía Antigua Cuenca-Loja; por el este con la concesión de materiales de construcción “Sofia, código 1101011” y al oeste con la concesión de materiales de construcción “Jacqueline, código 1101039”.



Figura 36 Ubicación de la concesión minera

Fuente: Infoplan 2015

6.1.2. Acceso

Para llegar a la concesión minera se la puede realizar de dos maneras, por vía terrestre y por vía aérea.

Partiendo de la ciudad de Quito, por vía terrestre se puede realizar por la carretera Panamericana, Troncal de la Sierra, E35 hasta la ciudad de Loja con una distancia de 681km y un tiempo promedio de 12 horas.

Desde la ciudad de Loja, en la estación de buses, frente al Terminal terrestre “Reina del Cisne” se puede tomar la línea que lleva hasta la entrada a Sauces Norte por la Av. 8 de diciembre, desde este punto hay unos 100m de distancia, por una vía de segundo orden.

Por vía aérea se parte desde el Aeropuerto Internacional de Quito “Mariscal Sucre” hasta el Aeropuerto de la ciudad de Catamayo, desde este punto se realiza vía terrestre hasta el terminal terrestre de Loja, existe una distancia de 30km y distintas cooperativas de transporte que cubren esta ruta.

Desde la ciudad de Guayaquil por vía aérea se parte desde el Aeropuerto Internacional “José Joaquín de Olmedo”, hasta el Aeropuerto de la ciudad de Catamayo luego un recorrido de 30km a Loja.

6.2. Información general de la Concesión

La información más importante del área minera se encuentra descrita en la **Tabla 17**, misma que detalla ubicación, fase de la concesión, los minerales que tiene de interés, titular y representante legal, coordenadas de los vértices de la concesión, entre otras.

Tabla 17 Datos Generales

Nombre de la concesión minera:	“IML LAS LÁGRIMAS”		
Código	60000309		
Ubicación Política	Parroquia: Carigán Cantón: Loja Provincia: Loja		
Fase	Explotación		
Tipo de Minería	Libre Aprovechamiento		
Mineral de interés	Esquistos (Cascajo)		
Titular Minero	Municipio de Loja		
Representante Legal	Jorge Arturo Bailón Abad		
Nombre del Asesor Técnico	Ing. Josué Ordoñez Monge		
Coordenadas UTM/ PSAD56 de la mina			
Vértice	Norte (Y)	Este (X)	Distancia(m)
P.P.	9565200	697100	PP-1 300,00
1	9565500	697100	1-2 200,00
2	9565500	697300	2-3 300,00
3	9565200	697300	3-PP 200,00
Superficie Concesión	6 hectáreas		
Personal	1 administrativo 7 operativos 1 obrero		

Elaborado por: El Autor, 2021

6.3. Topografía

El Área minera de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas – Código 60000309”, tiene una topografía irregular con un rango de altitud que van desde los 2000 m.s.n.m. hasta los 2120 m.s.n.m. **Ver Anexo 1.**

Esta zona se la clasifica como una zona montañosa y a medida que se dan los avances de la explotación, ha cambiado su topografía de forma irregular, en la parte noroeste se han dejado bancos con ángulos de 45° de inclinación, representado en el perfil A – A', mismo que tiene una cota superior de 2090m y una inferior de 2050m. **Ver Anexo 1.**

Actualmente a una cota de 2050m, existe una plataforma de trabajo y a partir de esta se realizan nuevos trabajos de extracción. **Ver Fotografía 5.**

El libre aprovechamiento comprende un área de 6 hectáreas, distribuidos en 300m de largo por 200m de ancho.

La concesión cuenta con un total de 150m de vía, por donde transita la maquinaria y esta se conecta a una vía de segundo orden.



Fotografía 5 Estado actual de la concesión

Elaborado por: El Autor, 2021

6.4. Geología

6.4.1. Geología Local

El Área minera de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas – Código 60000309”, a partir del mapa del (IIGE, 2017), se ha adaptado a una escala de 1:30.000 donde se aprecian distintas formaciones, depósitos y unidades, además de una serie de fallas geológicas clasificadas como inferidas según el IIGE, mismas que no se encuentran atravesando la concesión, todas estas además son evidenciadas en los perfiles A-B y C-D. **(Ver Anexo 2).**

La geología local del Área minera de libre aprovechamiento se elaboró partiendo de la información que detalla la geología regional del (IGE, 2017), y al trabajo desarrollado en campo utilizando tablas descriptivas **(Ver Anexo 3).**

Mediante la información de 9 afloramientos, se observó y corroboró la geología que presenta esta zona.

Primeramente, en el flanco este, el afloramiento 1, de cota 2018 está conformado por esquistos con gran cantidad de fracturas gran parte rellenas de cuarcita, a pesar de la gran cantidad de fracturación, se evidenció una dirección demarcatoria Norte-Sur. **(Ver Anexo 3)**

En la cota superior con los afloramientos 2, 3 y 9, se corrobora las rocas que conformar la zona, como es los esquistos con gran brillo debido a la presencia de micas, además de cuarcitas. **(Ver Anexo 3)**

En la parte central en los afloramientos 4,5 y 8, se evidencian rocas como esquistos micáceos fracturados y cuarcitas, específicamente en el número 4, se evidencian marcas del cucharón utilizado para el arranque, debido a la resistencia de la cuarcita. **(Ver Anexo 3)**

Al este de la concesión mediante los afloramientos 6 y 7, se corroboran rocas como esquistos micáceos, cuarcitas afectados por la presencia de varias fracturas rellenas de cuarcita. (**Ver Anexo 3**)

Las rocas como cuarcita y esquistos pertenecen a la formación Agoyán, y se evidencian en todo el recorrido por la concesión (**Ver Fotografía 6**), estas son aprovechadas por la concesión minera, para mejoramiento de vías, lo que le da una rentabilidad social, debido a que el Municipio de Loja no comercializa los productos.



Fotografía 6 Geología local, se visualiza a la izquierda cuarcita y a la derecha esquisto micáceo

Elaborado Por: El Autor,2021

Como resultado de acuerdo a la geología regional y mediante la descripción de los afloramientos, la concesión minera se encuentra dentro de la Unidad Agoyán, que constituyen rocas metamórficas como cuarcitas grisáceas, esquistos biotíticos y paragneis. (**Ver Anexo 4**).

6.5. Calidad del material y Reservas

El material extraído por la concesión debe de cumplir con especificaciones técnicas para su uso.

6.5.1. Ubicación de la Muestra

La ubicación de la zona de muestreo se encuentra dentro de la concesión, en las coordenadas UTM/PSAD56/17S: 697129/ 9565380/ 2064 msnm, y se denomina PM1; de esta muestra se dividieron para el ingreso a laboratorio en 4 costales codificados como: PM1-001; PM1-02; PM1-03 Y PM1-04.

Por parte del municipio se proporcionaron ensayos de la Concesión aledaña “Sofía”, realizados en las coordenadas UTM/PSAD56: 697325/9565318/2015, de diciembre 2017, que debido a la geología tanto regional como local y a los afloramientos, pertenece a una misma zona, por ello estos ensayos se consideraron como PM2.

6.5.2. Protocolo de Muestreo

Primeramente, se realizó la limpieza del material que se encontraba suelto, esto mediante la excavadora Doosan DX225LCA.

Posteriormente debido a que la zona está conformada por roca metamórfica perteneciente a la formación Agoyán, se necesitó de una cara libre, en las coordenadas descritas anteriormente.

Seguidamente con ayuda de la excavadora se raspó con el cucharón la roca, esto proporcionó la caída de material fresco. Ver *Fotografía 7*.



Fotografía 7 Arranque de material para muestreo, con ayuda de la excavadora

Elaborado por: El Autor, 2021

Con ayuda de una pala, manualmente se llenaron sacos del material fresco ver **Fotografía 8**, fueron necesarios de cuatro quintales, con un 25% de capacidad de llenado, cabe mencionar que cada costal fue colocado con su simbología desde PM1-01 hasta PM-04.



Fotografía 8 Uso de una pala para recoger material

Elaborado por: El Autor, 2021

El material se transportó en un vehículo particular hasta el laboratorio “ESTUELCON”, en la ciudad de Loja. Ver *Fotografía 9*.



Fotografía 9 Muestra del material de la concesión para los análisis de laboratorio

Elaborado por: El Autor, 2021

6.5.3. Justificación

La muestra realizada y posteriormente analizada en laboratorio, se tomó en la cota 2064 msnm, para conocer cómo se encuentra el material en esta cota.

Por otro lado, en la cota 2015 msnm por parte del Municipio se ha entregado otra muestra, con lo cual se pudo conocer el comportamiento del material.

6.5.4. Norma de calidad

El Área del libre aprovechamiento “Las Lágrimas” debido a que el material es usado para mejoramiento de las vías, en la ciudad de Loja y utilizado por el Municipio del Cantón, por lo tanto, este material debe cumplir las normas de calidad descritas por el ministerio de obras públicas y la Norma INEN 861.

Según (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, 2002) en su capítulo 400, sección 402 menciona que, el material para mejoramiento de la subrasante, deberá ser suelo granular, material rocoso o combinaciones de ambos, libre de material orgánico y escombros.

El material debe tener una granulometría tal que todas las partículas pasarán por un tamiz de cuatro pulgadas (100 mm.) con abertura cuadrada y no más de 20% pasará el tamiz N° 200 (0,075 mm), de acuerdo al ensayo AASHO-T.11.

La parte del material que pase el tamiz N° 40 (0.425 mm.) deberá tener un índice de plasticidad no mayor de nueve (9) y límite líquido hasta 35% siempre que el valor del CBR sea mayor al 20%, tal como se determina en el ensayo AASHO-T-91.

Y en caso de tener material de tamaño mayor al máximo especificado, deberá ser retirado antes de que se incorpore al material en la obra.

Según las Norma INEN 861, describe el procedimiento para calcular la abrasión de los áridos gruesos mediante la máquina los ángeles, este porcentaje no debe ser mayor al 50%.

6.5.5. Resultados de las muestras de laboratorio

Según los análisis de laboratorio obtenidos a partir de la muestra en campo y la información proporcionada por el municipio de Loja, la calidad de los materiales extraídos en la concesión minera "IML Las Lágrimas", está determinada por los ensayos de clasificación del material, índice de plasticidad, límite líquido, Cbr, y abrasión. (*Ver Anexo 5*). Estos se encuentran resumidos en la *Tabla 18*.

Tabla 18 Características del material explotado de acuerdo a la normativa

Ensayos	Muestra 1	Muestra 2	Norma que cumple
% de material que pasa el tamiz 4’’	100%	100%	MOP - 001-F 2002
% de material que pasa el tamiz #200	6.68%	6.5%	MOP - 001-F 2002
Índice de plasticidad	10	8	MOP - 001-F 2002
Límite líquido	27	29	MOP - 001-F 2002
CBR	>20%	-	MOP - 001-F 2002
Abrasión	42.22%	43.3%	INEN 860

Fuente: ESTSUELCON CIA. LTDA. (2021)

Como resultado, el material de la concesión cumple con los parámetros técnicos necesarios para ser utilizado en el mejoramiento de vías o la subrasante.

6.5.6. Cálculo de reservas

El cálculo de las reservas comprende una fase de vital importancia debido a que con ello se puede tener la estimación del material a extraer y los años de vida de la mina, para ello se ha realizado 6 perfiles, 3 en dirección norte – sur y 3 en dirección este-oeste, correlacionados con los afloramientos descritos, estos se graficaron sobre la base topográfica para determinar el volumen en metros cúbicos. (**Ver Anexo 6**).

Mediante estos se han obtenido las reservas probadas mismas que se aprecian a partir de los perfiles obtenidos, las reservas probables son el 25% de la cantidad que se obtuvo a partir de los perfiles y como reservas posibles son el 50% de las que se obtuvieron con los perfiles. De estos se han tenido los siguientes resultados.

Tabla 19 Cálculo de volumen de material (m3), por medio de 6 perfiles

SECCIONES HORIZONTALES						
PERFILES	DISTANCIA	MEDIA	AREA	SUMA	VOLUMEN	VOL. ACUM
			AREA			
P1-P1´		0	4205.638			
P2-P2´	50	25	5540.609	9746.247	243656.175	243656.175
P3-P3´	50	25	2445.704	7986.313	199657.825	443314
Total, secciones Horizontales						443314
SECCIONES VERTICALES						
PERFILES	DISTANCIA	MEDIA	AREA	SUMA	VOLUMEN	VOL. ACUM
			AREA			
P4-P4´		0	4163.398			
P5-P5´	50	25	2447.295	6610.693	165267.325	165267.325
P6-P6´	50	25	3233.993	5681.288	142032.2	307299.525
Total, secciones Verticales						307299.53
Suma de secciones (m3)				750613.525		
Promedio de Secciones (m3)				375306.76		

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla 20 Calculo de reservas probadas, probables, posibles y totales

Reservas	m3
Reservas Probadas	375306.76
Reservas Probables	93826.69
Reservas Posibles	187653.38
Reservas Totales	656786.83

Elaborado por: El Autor, 2021

6.6. Descripción de procesos y actividades de explotación en la concesión

La concesión minera aplica el método de explotación a cielo abierto, con un sistema de explotación de Bancos Descendentes, en donde el arranque se realiza de manera mecánica en el frente de explotación. Este diseño se ha venido ejecutando desde el inicio de la explotación y producción en la concesión “IML Las Lágrimas código 60000309”. (*Ver Anexo 7*).

La producción que se tiene es de aproximadamente 92 m³/día, este valor tiende a variar según como sea la demanda del cantón Loja, debido a que el municipio busca una rentabilidad Social, más no una económica porque estos materiales no son comercializados.

Se ejecutan actividades como Arranque, carga, transporte y una zona de cribado que se encuentra actualmente sin funcionamiento.

Actualmente la concesión no cuenta con una escombrera, debido a que el material es en su totalidad aprovechado como material de construcción.

a) Personal Requerido

El número de personal con el que cuenta el área de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas” es de: administrativo, operativo, obrero. *Ver Tabla 21*.

Tabla 21 Personal que labora en la concesión

Área de Trabajo	Nº Personas	Afiliados IEISS
Administrativo	1	1
Profesional Operativo	7	7
Obreros	1	1
Total	9	9

Elaborado por: El Autor, 2021

b) Horario de trabajo

El personal pertenece al Municipio De Loja y trabaja en la concesión realizando jornadas de ocho horas días para 1 administrativo, 5 operadores y 1 obrero, con un horario de 7:00 a las 15:00 de lunes a viernes. 2 personas laboran como operador desde las 15:00 a las 20H00 de lunes a viernes y el día sábado de 8:00 a 11:00

6.6.1. Conservación de Hitos demarcatorios

En el recorrido por la concesión y levantamiento de información de la concesión, no se encontraron hitos demarcatorios, en los vértices de la concesión.

6.6.2. Esquema de Explotación

El proceso que se ejecuta en el Libre Aprovechamiento IML Las Lágrimas se sintetiza en las siguientes operaciones:

- A. Extracción o arranque
- B. Carga
- C. Transporte (interno – externo)
- D. Cribado

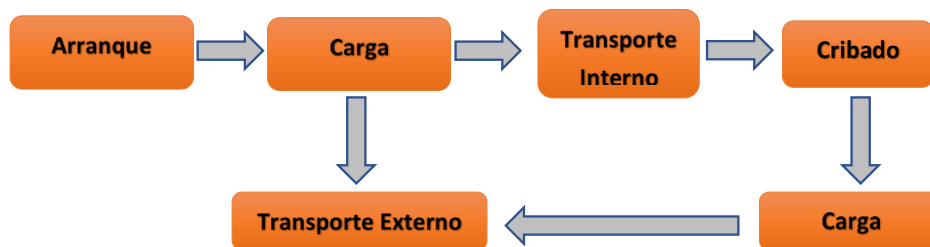
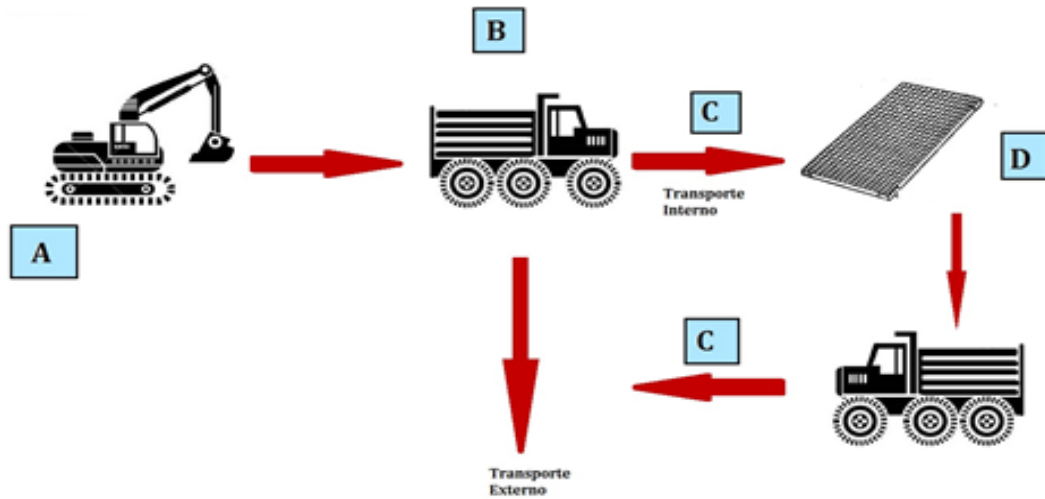


Figura 37 Actividades principales del sistema de explotación del área minera "IML Las Lágrimas código 60000309"

Fuente: El Autor, 2021

**DIAGRAMA DE PROCESOS DE OPERACIONES MINERAS DEL LIBRE APROVECHAMIENTO
IML LAS LAGRIMAS**



Id	Proceso	Descripción
A	Arranque	Se retira el material pétreo
B	Carga	Cargado de material a las volquetas
C	Transporte	Interno: Transporte del Material extraído a la criba
		Externo: Transporte a los frentes de trabajo municipales
D	Cribado	Clasificado del material

Figura 38 Diagrama de procesos de operaciones mineras de la concesión

Fuente: El Autor, 2021

6.6.3. Destape y preparación

Debido a que la zona se encuentra actualmente sin cobertura vegetal no es necesaria la intervención y uso de maquinaria para el destape.

6.6.4. Arranque

La extracción o arranque del material pétreo se realiza a cielo abierto y mediante bancos descendentes, los mismos han sido dimensionados de acuerdo a la disposición del yacimiento.

Para el arranque en el frente de explotación actual del área minera se utiliza maquinaria mecánica, en este caso con una excavadora, DOOSAN DX225LCA.



Fotografía 10 Excavadora Doosan DX225LCA

Elaborado Por: El Autor,2021

Una vez que esta se encuentra en el frente esta su cucharón y realiza movimientos de arriba hacia abajo, lo que permite el arranque y caída de material que se deja en el mismo lugar, este proceso se realiza cada momento que se necesita material.

Tabla 22 Descripción Maquinaria de Arranque

Maquinaria para uso de	Arranque y Carga
Especificaciones Técnicas	
Nombre	Doosan DX225LCA
Peso Operativo	21.5 Ton.
Modelo de Motor	DB58TIS
Capacidad del cucharón	1 m ³
Capacidad máxima del cucharón	1.28 m ³
Potencia de motor	110/1,900 kW/rpm
Velocidad de traslado	55 km/h
Max. Alcance de la excavación	9.9 m
Max. Profundidad excavación	6.62 m
Max. Altura de excavación	9.75 m
Longitud Total	9.485m
Ancho total	3 m
Altura total	3 m

Fuente: Catálogo de Daewoo Doosan DX225LCA, 2010

En el proceso de la extracción del material pétreo se está considerando los siguientes parámetros técnicos:

a) Diseño de Banco

La elección de las dimensiones de los parámetros geométricos que componen el diseño de los bancos está en relación con una serie de consideraciones prácticas.

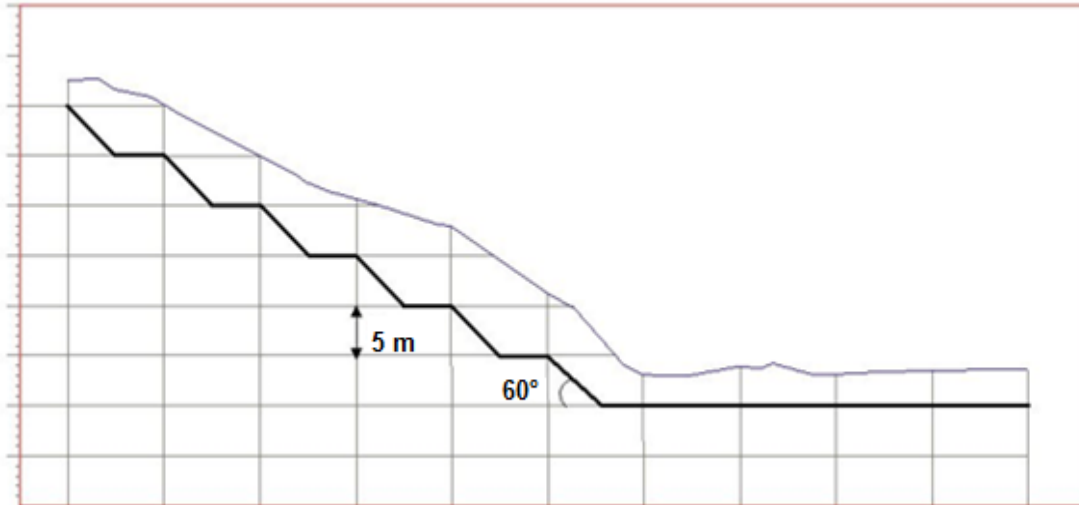


Figura 39 Parámetros geométricos del diseño del banco

Fuente: (Municipio de Loja, 2020)

b) Geometría del diseño

La división de los bancos dependerá del margen del frente de explotación, cada uno de 5 m de alto, la explotación de cada nivel es independiente.

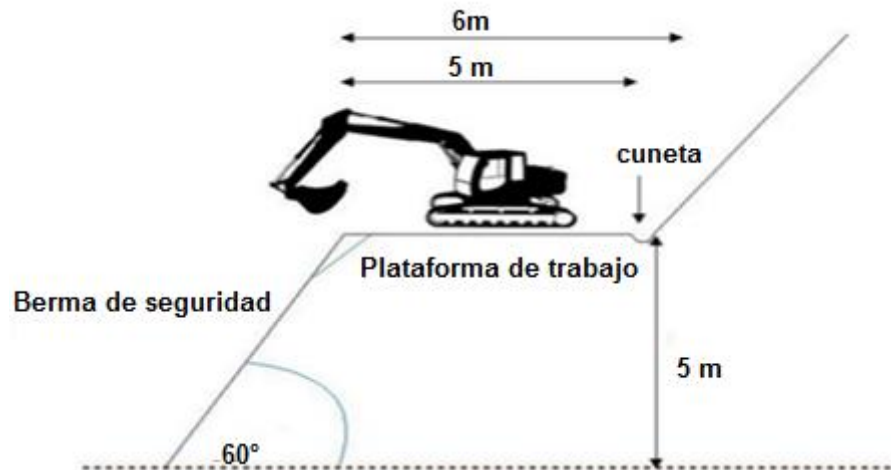


Figura 40 Parámetros geométricos del banco

Fuente: (Municipio de Loja, 2020)

c) Riesgo a desprendimiento

Debido a que la roca metamórfica específicamente en el frente de explotación se presenta compacta y estable (Índice RMR CLASE III – REGULAR), no existe el riesgo a desprendimientos, por lo cual se considera una altura del banco de 5m, para prevenir cualquier riesgo por desprendimiento. (Municipio de Loja, 2020)

d) Altura del banco

Se ha seleccionado una altura de banco de 5m.

e) Ancho del Banco

Se ha seleccionado un ancho de 6m, con su respectiva cuneta para el control de las aguas de escorrentía.

f) Angulo de la cara del banco

Es el ángulo de operación en el arranque, que se forma entre la línea de máxima pendiente del banco y un plano horizontal, se ha seleccionado un ángulo de la cara del banco de 35°, teniendo en cuenta que el talud del banco tendrá una inclinación máxima de 60° porque el material es estable (Índice RMR CLASE III – REGULAR).

6.6.5. Carga

El material producto de la extracción en el frente de avance, es cargado directamente a las volquetas mediante la misma excavadora de 1m³ de capacidad, el desarrollo de esta actividad se cuida que no existan actos inseguros como la presencia del conductor en el balde del volquete en el momento del proceso descrito.

Debido a que la criba fija está fuera de servicio, el material una vez cargado se transporta directamente a los frentes de trabajo, donde han sido requeridos, tampoco se cuenta con una zona propiamente para almacenamiento de este material.



Fotografía 11 Carga de material en la volqueta de 8m³

Elaborado por: El Autor, 2021

6.6.6. Cribado

El libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas” cuenta con una criba de construcción artesanal, misma que en tiempos anteriores a servido para el cribado del material cuando el proyecto lo amerita. **Ver *Fotografía 12*.**

El proceso que se realizaba es que el material producto de la extracción o arranque en el frente de explotación era transportado directamente a la criba, en un recorrido interno y a una distancia de 20 a 80m, el material cribado era acumulado en un área de stock, ubicada en un área adyacente a la criba.

Sin embargo, actualmente no se da uso de esta criba, ya que se encuentra con problemas en sus barras, así que actualmente luego del arranque en el frente de explotación se carga directamente a las volquetas para su transporte externo.



Fotografía 12 Criba de construcción artesanal de la Concesión

Elaborado por: El Autor, 2021

6.6.7. Transporte

Luego que la retroexcavadora finaliza el proceso de carga del material extraído, los volquetes cargados se trasladan directamente a los frentes de trabajo que son los proyectos viales, este es un transporte externo.

En caso de que se requiera material cribado, se realiza un transporte interno hacia la criba emplazada en el área minera, esto sin embargo no se cumple debido a que la criba esta fuera de uso. Actualmente el transporte se realiza con la siguiente lista de maquinaria

Tabla 23 Detalles de la maquinaria de transporte

Modelo volqueta	de	Marca	Matricula	Año	Capacidad (m³)	Registro Municipal
CWB459HDLB		Nissan	LMA061	2005	10	VQ-05
CWB459HDLB		Nissan	LMA0088	2008	10	VQ-06
FS1ELV		Hino	LMA0091	2007	10	VQ-07
CYZ 51L		Chevrolet	LMA1073	2011	10	VQ-08
FVR 23G		Chevrolet	LMA1074	2011	8	VQ-10

Fuente: (Municipio de Loja, 2020)

6.6.8. Área Intervenida con el Cielo Abierto

El área que ha sido explotada con el cielo abierto comprende una longitud de 135m y un ancho de 140m, con ello se tiene un área de 18.900 m² intervenidos.

A ello se tiene una profundidad promedio de 40m, que han sido trabajados para la extracción de material.



Figura 41 Vista Satelital del Área Intervenida con el cielo abierto

Fuente: Maxar Technologies (2021)

6.6.9. Seguridad Industrial y Seguridad Ocupacional

Dentro de la concesión no se encuentra un reglamento interno que haya sido aprobado, con ello tampoco está documentado e implantado. Sin embargo, acatan el reglamento interno Institucional del municipio, por ello el personal que labora en el área minera tiene un equipo de protección personal básico que han sido entregados por el municipio de Loja, cada persona cuenta con: casco, chaleco y zapatos industriales.

- **Señalética**

Se aprecia señalética en el acceso a la concesión, donde se visualiza el nombre de la misma, y otra que describe el equipo de protección necesario para el ingreso.



Fotografía 13 Señalética presente al ingreso de la concesión

Elaborado por: El Autor, 2021

En la mina solo se encuentra una señalética del área de stock.



Fotografía 14 Señalética presente en la mina

Elaborado por: El Autor, 2021

- **Capacitaciones**

El personal no cuenta con capacitaciones de uso de equipos de protección, uso de maquinaria, planes de emergencia e inducciones diarias.

- **Accidentes e incidentes**

La concesión no cuenta con un registro numérico de accidentes e incidentes, actualmente no se han producido accidentes en el personal.

Los incidentes que se han presentado son en la excavadora, sin embargo, cuando esta sufre de algún percance, se llama al equipo de mecánica del Municipio, esto produce una paralización en las actividades, pero no se sucede de forma continua.

- **Almacenamiento de Combustibles y polvorín**

En la concesión no se almacenan combustibles debido a esto es administrado por el departamento de mecánica.

Actualmente no se realiza ninguna actividad que involucre el uso de polvorín en el área minera, debido a que el arranque del material es de forma mecánica.

- **Planes de emergencia y salud ocupacional**

En el área no se cuenta con comités y personal responsable ante emergencias, no se han realizado simulacros preventivos de accidentes, tampoco cuenta con refugios.

El personal que labora no ha sido sometido a exámenes pre ocupacionales o exámenes médicos, dentro de la concesión no se cuenta con un personal médico.

Existe un botiquín con implementos de primeros auxilios, como: gasas, esparadrapo, mascarilla, alcohol, algodón, agua oxigenada, tijeras y guantes.



Fotografía 15 Botiquín de primeros auxilios

Elaborado por: El Autor, 2021

También se encuentra un extintor en caso de presentarse presencia de fuego en la concesión.



Fotografía 16 Extintor

Elaborado por: El Autor, 2021

- **Agua para consumo personal**

Actualmente el agua se compra en botellas para su uso personal, ya que la concesión capta agua entubada para el uso de los baños, sin embargo, esta no se tiene con recurrencia.

- **Infraestructura**

Se cuenta con una infraestructura en buen estado, edificada en materiales de hormigón y una cubierta de infraestructura. Posee un largo de 8.50m por un ancho de 3m, dando un total de 25.5m².

Esta se encuentra dividida en una oficina administrativa, un cuarto para guardianía en las noches y los baños.



Fotografía 17 Infraestructura del área minera "IML Las Lágrimas"

Elaborado por: El Autor, 2021

El acceso a la concesión es por medio de una vía de lastre que se encuentra en constante mantenimiento con material propio de la concesión.

6.6.10. Tiempos de producción

Los tiempos de producción tomados en campo desde el 15 al 20 de marzo de 2021 *ver Anexo 8*, se representan como un promedio ya que al ser un área de libre aprovechamiento no se extrae

material de forma continua, debido a que se prioriza una rentabilidad social y no económica, por ello se han promediado los valores de tiempo para proceder con los cálculos. **Ver Tabla 24.**

Tabla 24 Promedio del tiempo de producción en minutos

Cálculos generales	Sumatoria	Promedio
Números de ciclos	49	1
Giro y posicionamiento de la volqueta	34.80	0.71
Carga	226	4.61
Transporte de ida cargado y de regreso vacío	966	19.71
Tiempo total en minutos	1226	25.04

Elaborado por: El Autor, 2021

Como resultado se obtuvo un registro de 49 ciclos con un tiempo total de 1226 minutos en los que se ejecutaron, para ello fue necesario promediar este tiempo, teniendo como resultado final un tiempo de 25.04 minutos por cada ciclo de trabajo.

Para establecer el número de ciclos por hora es necesario aplicar la ecuación:

$$(1) \quad \text{Ciclos por hora} = \frac{60 \text{ minutos}}{\text{Tiempo de ciclo en minutos}}$$

$$\text{Ciclos por hora} = \frac{60 \text{ min}}{25.04 \text{ min}}$$

$$\text{Ciclos por hora} = 2.40$$

6.6.11. Análisis del rendimiento de la maquinaria de extracción y carga

Para el análisis de la excavadora utilizada en la extracción y carga, se obtiene por medio de la ecuación 2 de la página 77:

$$(2) \quad RT = \frac{3600 * Qc * Fe * Ec * Ct}{Tcc} = m^3/h$$

Donde:

RT: rendimiento teórico

Qc: Capacidad del cucharón de la excavadora en m³

Fe: Factor de eficiencia de la maquinaria, varía entre el 70% - 80%

Ec: Factor de eficiencia del cucharón, según el terreno, dado por la *Tabla 15 Factor de eficacia del cucharón*.

Ct: Coeficiente de transformación según el material a ser transportado, según la *Tabla 16 Esponjamiento según el tipo de terreno*.

Tcc: tiempo de duración del ciclo en segundos, tomando en cuenta la excavación, giro cargado, descarga y giro sin carga hasta el origen.

Este parámetro fue tomado en campo para tener mayor exactitud, como resultado se obtuvieron 28.17 segundos.

Tabla 25 Datos para el cálculo del rendimiento teórico de la excavadora

Símbolo	Descripción	Rango	Valor
Qc	Capacidad del cucharón de la excavadora	1m ³	1m ³
Fe	Factor de eficiencia	70% - 80%	0.75
Ec	Eficiencia del cucharón	80% - 90%	0.85
Ct	Coeficiente de esponjamiento	1.40	1.40
Tcc	Tiempo de ciclo de carga	28.17 s	28.17 s

Elaborado por: El Autor, 2021

- **Rendimiento Teórico**

$$(2) \quad RT = \frac{3600 * Qc * Fe * Ec * Ct}{Tcc} = m3/h$$

$$RT = \frac{3600 \text{ s} * 1m^3 * 0.75 * 0.85 * 1.40}{28.17 \text{ s}} = m3/h$$

$$RT = 114.06 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Como resultado del rendimiento teórico se obtienen 114.06 m³ por hora de trabajo que desarrolle la maquinaria, a partir de esto se realizará el cálculo del rendimiento real de la excavadora.

- **Rendimiento Real actual de la excavadora**

Debido a que los trabajos no se realizan durante todo un tiempo de 60 minutos, sino más bien tienen sus tiempos de pausas, se debe ajustar el rendimiento real a un tiempo de 45 minutos (0.75 horas).

$$(3) \quad Rr = Rt * Eg ; m3/h$$

$$Rr = 114.06 \frac{m3}{hora} * 0.75 \text{ h}$$

$$Rr = 85.54 \frac{m3}{h}$$

Con el ajuste al rendimiento, se obtiene que la excavadora Doosan DX225LCA, de 1m³ de capacidad de cucharón, puede dar 85.54 m³ por hora.

- **Los ciclos de carga por hora**

Los ciclos de carga corresponden al número de cucharones que puede realizar la excavadora cuando carga el material, está dado por la ecuación 4.

$$(4) \quad Cc = \frac{60 \text{ min}}{T_{cc}}; \text{ ciclos/h}$$

Donde:

Cc: Ciclos en 60 minutos hora

Tcc: tiempo de ciclo de cargado (28.17s = 0.47 min)

$$Cc = \frac{60 \text{ min}}{0.47}$$

$$Cc = \frac{60 \text{ min}}{0.47 \text{ min}}$$

$$Cc = 127.66$$

- **ciclos efectivos**

Para calcular los ciclos efectivos de la excavadora se aplica la ecuación 5, tomando en cuenta la eficiencia del operador, eficiencia del cucharón y la eficiencia de la operación en general:

$$(5) \quad Ce = Cc * Eo * Ec * Eg; \text{ ciclos efectivos/hora}$$

Tabla 26 Datos para el cálculo de los ciclos efectivos

Símbolo	Descripción	Rango	Valor
Cc	Ciclos de carga	127.66	127.66
Eo	Eficiencia del operador	80% - 90%	0.85
Ec	Eficiencia del cucharón	80% - 90%	0.85
Eg	Eficiencia de la operación en general	45 min	0.75

Elaborado por: El Autor, 2021

$$e = 127.66 * 0.85 * 0.85 * 0.75$$

$$Ce = 69.175$$

$$Ce = 69 \text{ Ciclos efectivos / hora}$$

Los ciclos efectivos que puede ejecutar la excavadora en las condiciones actuales por cada hora son 69, debido a que la producción está limitada a la capacidad de la maquinaria, y la eficiencia del operador.

- **Número de Paladas necesarias para cargar un equipo de transporte**

Debido a que la concesión cuenta con volquetas que tienen una capacidad de 10m³ y de 8m³, ver **Tabla 23**. El cálculo está dado para conocer el número de paladas dependiendo estas capacidades.

Para ello se aplicó la ecuación 6:

$$(6) \quad Np = \frac{Qv}{Qc * Ec}$$

$$Np = \frac{Qv}{Qc * Ec}$$

$$Np = \frac{10 \text{ m}^3}{1\text{m}^3 * 0.85\text{m}^3}$$

$$Np = \frac{8 \text{ m}^3}{1\text{m}^3 * 0.85\text{m}^3}$$

$$Np = 11.76$$

$$Np = 9.41$$

$$Np = 12$$

$$Np = 9$$

Como resultado, se necesitan de 12 paladas para cargar una volqueta de 10m³ y para una volqueta de 8m³ se necesitan 9 paladas.

6.6.12. Análisis del rendimiento de la maquinaria de transporte.

El rendimiento de la maquinaria de transporte está dado por la ecuación:

$$(7) \quad Rt = \frac{Qv * Fe * 60}{Tca * E} = m^3/h$$

Qv: Para determinar el rendimiento de la maquinaria de transporte en la concesión minera, es necesario el realizar los cálculos para las distintas capacidades de maquinaria de carga que se posee según la **Tabla 23**, existen volquetas de 10 y 8 m³.

Fe: El factor de eficiencia de la maquinaria se encuentra dentro de un rango de 80-90%

E: El coeficiente de esponjamiento del material se lo ha tomado bibliográficamente según la **Tabla 16**.

Tca: El tiempo de carga y acarreo, se midió en campo durante la semana del 15 al 20 de marzo de 2021, teniendo como resultado un tiempo promedio de 25.04 minutos. (**Ver Anexo 8**).

Todos estos datos se encuentran detallados en la **Tabla 27**:

Tabla 27 Datos para el cálculo del rendimiento teórico de la maquinaria de transporte

Símbolo	Descripción	Rango	Valor
Qv	Capacidad de las volquetas	8 y 10 m ³	8 y 10 m ³
Fe	Factor de eficiencia de la máquina	80% - 90%	0.85
E	Coefficiente de esponjamiento	1.40	1.40
Tca	Tiempo de ciclo de carga y acarreo	25.04 min	25.04 min
Eg	Eficiencia General de la operación	45min	0.75

Elaborado por: El Autor, 2021

$$(7) \quad R_t = \frac{Qv * Fe * 60}{Tca * E} = m3/hora$$

$$R_t = \frac{8m^3 * 0.85 * 60}{25.04 \text{ min} * 1.40} = m3/h$$

$$R_t = 11.64 \text{ m}^3/h$$

$$R_t = \frac{10m^3 * 0.85 * 60}{25.04 \text{ min} * 1.40} = m3/h$$

$$R_t = 14.55 \text{ m}^3/h$$

Como resultado se ha obtenido que para una volqueta de 8m³ hay un rendimiento teórico de 11.64m³/h y en el caso de la volqueta de 10m³ un rendimiento teórico de 14.55 m³/h

Posteriormente el calculó del rendimiento real usando la ecuación

$$(8) \quad R_r = R_t * E_g ; m3/h$$

$$R_r = \frac{11.64m3}{hora} * 0.75$$

$$R_r = 8.73 \text{ m}^3/h$$

$$R_r = \frac{14.55m3}{hora} * 0.75$$

$$R_r = 10.91 \text{ m}^3/h$$

El rendimiento real de la volqueta de 8m³ es de 8.73 m³/ h, y un mayor rendimiento es para la volqueta de mayor capacidad con un 10.91 m³/ h.

Con ello la producción total promedio por jornada de trabajo se consiguió con la ecuación:

$$(9) \quad Pp = Rr * Nv * Jt ; m3/día$$

$$Pp = 8.73 * 1 * 8 \text{ horas} ; m3/día$$

$$Pp = 10.91 * 4 * 8 ; m3/día$$

$$Pp = 69.83 \text{ m}^3/día$$

$$Pp = 349.16 \text{ m}^3/día$$

Como resultado se obtuvo una producción promedio para una volqueta de 8m³ un total de 69.83 m³/día y para las volquetas de 10m³ que se tienen cuatro unidades con .349.16 m³/día, teniendo un total de 418.99 m³/día.

Sin embargo, la concesión minera al ser pública no se enfoca en una rentabilidad económica sino más bien una rentabilidad social, por ello la explotación se da en menor cantidad, teniendo una producción promedio de 92m³/día según el informe (Municipio de Loja, 2020), a pesar de que mayor cantidad de material mejoraría las actividades de mejoramiento vial a nivel cantonal.

6.7. Optimización de las actividades de explotación

6.7.1. Elección del sistema de explotación

Debido a las diferentes características estructurales que puede presentar un yacimiento es necesario realizar un análisis del sistema de explotación que se puede ejecutar en el mismo, tomando en cuenta la geología, la topografía, ubicación del material a extraer se han tomado en cuenta tres sistemas de explotación más relevantes para minería a cielo abierto:

6.7.1.1. Sistema de explotación por cortas

Es aplicable para yacimientos masivos e incluso aplicable para yacimientos de capas inclinadas, esta explotación tridimensionalmente, con bancos descendentes, con secciones verticales en una forma troncocónica. Actualmente se aplica en su mayoría a minería metálica y yacimientos de carbón con algunas modificaciones. (Herrera, 2006)



Figura 42 Mina de Palabora

Fuente: (Herrera, 2006)

6.7.1.2. Sistema de explotación por terrazas

Está basado en un banqueo con avance unidireccional, es aplicado a yacimientos horizontales, de varios niveles ya sean mineralizados o de recubrimientos potentes, con la diferencia de que permite depositar el material estéril en el hueco que ha sido creado y se lo puede transportar alrededor de la explotación.

6.7.1.3. Sistema de explotación por canteras

Utilizadas en las explotaciones de rocas industriales, ornamentales y de materiales de construcción. Constituyen, con mucho, el sector más importante en cuanto a número ya que desde muy antiguo se han venido explotando para la extracción y abastecimiento de materias primas con uso final en la construcción y en obras de infraestructura. (Herrera, 2006)

6.7.1.4. Canteras en Ladera

Según (Herrera, 2006) la dirección en la que se realicen los trabajos de excavación, puede distinguirse las siguientes alternativas:

- **Avance fontal y frente de trabajo de altura creciente**

Es la alternativa más frecuente por la facilidad de apertura de las canteras y a la mínima distancia de transporte inicia hasta la planta de tratamiento, el frente de trabajo está siempre activo salvo en una pequeña zona y sus trabajos son progresivamente más altos, por lo que es inviable proceder a la restauración de los taludes hasta que no finalice la explotación.

- **Avance Lateral y abandono del talud final**

Se puede llevar a cabo cuando la cantera tiene un desarrollo transversal reducido profundizándose poco en la ladera, pero con avances lateral amplio, permite recuperar taludes finales una vez excavado el hueco inicial, así como efectuar rellenos parciales y

permite mantener de forma constante la distancia de transporte siempre que la instalación se encuentra en el centro de la corrida de la cantera

- **Excavación descendente y abandono del talud final en bancos**

Permite iniciar la restauración con antelación y desde los bancos superiores hasta los de menor Cota, requieren una definición previa del talud final por ello consecuentemente un proyecto a largo plazo exigen constituir toda la infraestructura viaria para acceder a los niveles superiores desde el principio y obliga a una mayor distancia de transporte entre los primeros años de la cantera.

6.7.2. Definición del sistema de explotación

Debido a que el área de libre aprovechamiento presenta diversas características, que permiten elegir el sistema de explotación cumpliendo requerimientos técnicos como:

- El área explotable presenta una profundidad que supera los 50m y que debido a la topografía que presenta como una pendiente, favorece a la creación de bancos descendentes para su explotación.
- Geológicamente el área de explotación está compuesta por rocas metamórficas poco resistentes, que permiten su extracción de forma mecánica.
- La vegetación del área explotable va de escasa a nula debido a la baja presencia de capa vegetal, mayoritariamente se encuentra la roca.

En función de los parámetros descritos, no se pueden aplicar el sistema por cortas debido a que necesita grandes hectáreas y que permita el descenso en bancos dejando una figura cónica y se ejecuta en yacimientos metálicos; con respecto al sistema de terrazas no puede ejecutarse ya que

este ocupa el material estéril en para rellenar espacios o se lo transporta alrededor del área explotada y en la concesión actual se utiliza todo el material posible.

Con respecto a el sistema de avance frontal y frente de trabajo de altura creciente, ya que este se ejecuta en la cota inferior a la cota más alta, no sería factible dado que esto abarcaría más área de la que dispone la concesión y se invadiría áreas mineras aledañas.

Tampoco es factible la aplicación del sistema de avance Lateral y abandono del talud final dado que este necesita gran longitud y poca profundidad en los bancos que se elaboran para la extracción lo cual no se puede ejecutar debido a la topografía de la concesión.

Por ello el sistema elegido para la extracción es el de excavación descendente y abandono en talud final en bancos, debido a que en este sistema las actividades se ejecutan desde la cota superior, descendiendo continuamente, existe la posibilidad de ir estabilizando el talud hasta llegar a la cota inferior, aprovechando así al máximo el material explotable.

6.7.3. Preparación y destape

6.7.3.1. Vías

El mantenimiento de una vía con dimensiones correctas será de vital importancia para aumentar el rendimiento, para esto se consideró la dimensión de la maquinaria presente en la concesión.

También es necesario la abertura y mantenimiento del tramo que lleva a la parte superior de la criba artesanal, para ejecutar la clasificación del material.

Este tramo ya estaba abierto pero debido a que la criba esta deshabilitada se ha deteriorado, por ello al habilitar esta vía, tendrá una longitud de 50m, cuyo ancho se determinará en apartado de la maquinaria.

6.7.4. Optimización de la actividad de arranque y carga

Es necesario de contar con maquinaria que de un rendimiento óptimo dentro de la concesión ya que actualmente la producción de la concesión es de 92 m³/día, la maquinaria de arranque y carga necesaria debe superar esta producción. *Ver Anexo 8.*

6.7.4.1. Rendimiento óptimo de la maquinaria de arranque y carga

A partir de los cálculos realizados en el punto **6.6.11**, referente al rendimiento actual de la maquinaria de arranque y carga se obtuvieron resultados como: un rendimiento real de 85.57 m³/h, lo cual es beneficioso para la extracción, al igual el tiempo de ciclo de carga se mantiene constante con un valor de 28.17 segundos, con esto se calcular 69 ciclos efectivos de carga que puede desarrollar la excavadora, esta puede llenar con 12 paladas a una volqueta de 10m³. A continuación, se presentan un resumen de los parámetros calculados y el resultado obtenido de la. *Ver Tabla 28.*

Tabla 28 Rendimiento de la excavadora Doosan DX225LCA

Rendimiento de la excavadora	
Parámetro	Resultado
Rendimiento Teórico (RT)	114.06 m ³ /h
Rendimiento Real (Rr)	85.57 m ³ /h
Tiempo de ciclo de carga	28.17s
Ciclos de carga por hora (Cc)	127.66
Ciclos efectivos (Ce)	69
Numero de paladas para volquete de 10m ³	12

Elaborado por: El Autor, 2021

Por lo tanto, para el rendimiento óptimo se considera la excavadora Doosan DX225LCA conjuntamente con el cucharón de 1 m³, ya que en los cálculos realizados en el punto **6.6.11**

y resumidos en la **Tabla 28**, esta excavadora cuenta con un buen rendimiento de $85.57 \text{ m}^3/\text{h}$ que supera a los 92 m^3 por día que actualmente extrae la concesión.

Cabe mencionar que para que este aumento se dé, es necesario de actividades complementarias como la inclusión de una volqueta que permita un trabajo continuo en el frente de trabajo, clasificación del material y zona de acopio.

6.7.5. Optimización de la actividad de transporte

Actualmente la concesión cuenta con cinco volquetas utilizadas para el transporte de material, mismas que están enlistadas en la **Tabla 23**, y mediante el cálculo de parámetros como rendimiento teórico, rendimiento real y producción por jornada de trabajo, realizados en el punto **6.6.12**, se obtuvo que esta maquinaria puede movilizar un volumen de $418.99 \text{ m}^3/\text{día}$, lo cual excede a la explotación que se lleva en la concesión que actualmente es de $92 \text{ m}^3/\text{día}$. Por ello se establece disminuir la cantidad de maquinaria de transporte.

6.7.5.1. Rendimiento óptimo de la maquinaria de transporte

El rendimiento de la maquinaria de transporte se calcula por medio de las ecuaciones 7 a la 9 descritas en la página 80.

Además, debido a que existen días en los cuales no se extrae material o la extracción es muy poca, para fines de cálculo se ha considerado el mismo tiempo de carga y acarreo, medido en la semana del 15 al 20 de marzo de 2021 que tiene un valor de 25.04 minutos, este valor representa el promedio de tiempo total, que se ha necesitó para la extracción del material.

Ver Anexo 8.

- **Rendimiento teórico**

$$(7) \quad R_t = \frac{Q_v * F_e * 60}{T_{ca} * E} = m^3/h$$

Todos estos datos se encuentran detallados en la **Tabla 29**:

Tabla 29 Datos para el cálculo del rendimiento teórico de la maquinaria optima de transporte

Símbolo	Descripción	Rango	Valor
Qv	Capacidad de la volqueta	10 m ³	10 m ³
Fe	Factor de eficiencia de la máquina	80% - 90%	0.85
E	Coefficiente de esponjamiento	1.40	1.40
Tca	Tiempo de ciclo de carga y acarreo	25.04 min	25.04 min
Eg	Eficiencia General de la operación	45min	0.75

Elaborado por: El Autor, 2021

$$(7) \quad R_t = \frac{Q_v * F_e * 60}{T_{ca} * E} = m^3/h$$

$$R_t = \frac{10m^3 * 0.85 * 60}{25.04 \text{ min} * 1.40} = m^3/h$$

$$R_t = 14.55 \text{ m}^3/h$$

Como resultado se ha obtenido que para una volqueta de 10m³ hay un rendimiento teórico de 22.81m³/h.

- **Rendimiento real**

$$(8) \quad R_r = R_t * E_g ; m^3/h$$

$$R_r = \frac{14.55m^3}{hora} * 0.75$$

$$R_r = 10.91 \text{ m}^3/h$$

El rendimiento real de la volqueta de 10m³ es de 10.91m³/h

- **Productividad óptima promedio por jornada de trabajo**

$$(9) \quad Pp1 = Rr * Nv * Jt ; m3/día$$

$$Pp1 = 10.91 * 1 * 8 \text{ horas} ; m3/día$$

$$Pp1 = 87.29 \text{ m3/día}$$

El promedio de material transportado por jornada de 8 horas es de 87.29 m³/día

Debido a que una sola volqueta no cubre la capacidad de 92 m³/día que actualmente se extrae en la concesión, es necesario realizar los cálculos con una volqueta adicional.

- **Rendimiento teórico de la volqueta adicional**

$$(7) \quad Rt = \frac{Qv * Fe * 60}{Tca * E} = m3/h$$

$$Rt = \frac{8m^3 * 0.85 * 60}{25.04 \text{ min} * 1.40} = m3/h$$

$$Rt = 11.64 \text{ m3/h}$$

Como resultado se ha obtenido que para una volqueta de 10m³ hay un rendimiento teórico de 22.81m³/h.

- **Rendimiento real**

$$(8) \quad Rr = Rt * Eg ; m3/h$$

$$Rr = \frac{11.64m3}{hora} * 0.75$$

$$Rr = 8.73 m3/hora$$

El rendimiento real de la volqueta de 8m³ es de 8.73m³/ h

- **Productividad óptima promedio por jornada de trabajo**

$$(9) \quad Pp2 = Rr * Nv * Jt ; m3/día$$

$$Pp2 = 8.73 * 1 * 8 horas ; m3/día$$

$$Pp2 = 69.84 m3/día$$

El promedio de material transportado por jornada de 8 horas es de 69.84 m³/día

- **Productividad óptima total**

$$PT = Pp1 + Pp2; m3/día$$

$$p2 = 87.29 + 69.84 ; m3/día$$

$$Pp2 = 157.13 m3/día$$

Como resultado se ha obtenido una producción óptima de 157.13 m³/día, con ayuda de una volqueta de 10m³ y una de 8m³, con las que cuenta la concesión según la **Tabla 23**, se consideraran las volquetas: Chevrolet CYZ 51L y Chevrolet FVR 23G, debido a que son de menor tiempo de uso ya que su adquisición es del año 2011, con respecto a las otras volquetas que tiene la concesión.

6.7.6. Habilitación de la actividad de Cribado

Para habilitar la actividad de cribado en la concesión es necesario de una varilla de 20mm de diámetro por 9m de largo, con ello se logrará clasificar el material por su tamaño, para darle usos de como mejoramiento de vías, rellenos de zanjas y estabilizaciones.

Para ello se ha realizado una clasificación de los usos del material que se extrae en la concesión y las dimensiones necesarias, todo esto baso en la norma del (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, 2002). *Ver Tabla 30.*

Tabla 30 Usos del material rocoso según su clasificación

Tipo de material	Uso	Dimensión	Norma
Material Rocosos	Lastre de vías	Menor o igual a 4"	MOP - 001-F 2002 / Sección 402
Material Rocosos	Rellenos de zanjas	Mayor a 4"	MOP - 001-F 2002 / Sección 305
Material Rocosos	Estabilización con material pétreo	Mayor a 4"	MOP - 001-F 2002 / Sección 402

Fuente: (MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, 2002)

6.7.7. Optimización de la actividad de acopio

Debido a que se habilitará la criba para obtener el material clasificado, es necesario que este sea movido a una zona de acopio y debido a que la excavadora Doosan DX225LCA estará encargada de la extracción y carga en el frente de explotación, es necesaria la implementación de otra maquina en la zona de acopio.

Para ello se realizarán cálculos utilizando las ecuaciones 2 y 3, determinando el rendimiento de una cargadora frontal.

Tabla 31 Datos para calcular el rendimiento de la Cargadora frontal Komatsu

Símbolo	Descripción	Rango	Valor
Qc	Capacidad del cucharón	2.5m ³	2.5m ³
Fe	Factor de eficiencia	70% - 80%	0.75
Ec	Eficiencia del cucharón	80% - 90%	0.85
Ct	Coefficiente de esponjamiento	1.40	1.40
Tcc	Tiempo de ciclo de carga	30 segundos	30 s
Eg	Eficiencia genera de la operación	45min	0.75

Elaborado por: El Autor, 2021

➤ **Rendimiento Teórico**

$$(2) \quad RT = \frac{3600 * Qc * Fe * Ec * Ct}{Tcc} = m3/hora$$

$$RT = \frac{3600 \text{ s} * 2.5 * 0.75 * 0.85 * 1.40}{30 \text{ s}} = m3/hora$$

$$RT = 267.75 \text{ m}^3/hora$$

➤ **Rendimiento real de la cargadora frontal**

Para obtener el rendimiento real de la cargadora es necesario realizar el cálculo con el tiempo general de la operación mismo que se encuentra en 45 minutos o 0.75 horas, con ello usando la ecuación tres podemos obtener lo siguiente:

$$(3) \quad Rr = Rt * Eg ; m3/h$$

$$Rr = 267.75 \frac{m3}{h} * 0.75$$

$$Rr = 200.81 \frac{m3}{h}$$

Como resultado, se obtiene que la cargadora frontal de 2.5 m³ de capacidad de cucharón, puede dar 200.81 m³ por hora.

Mediante los cálculos de rendimiento efectuados se puede determinar que la cargadora frontal supera al rendimiento de la excavadora Doosan DX225LCA debido a la capacidad del cucharón, sin embargo, se considera su uso ya que el municipio tiene en su propiedad la cargadora frontal en marca Komatsu modelo WA320-5, por ello se hace necesario su traslado de la mecánica municipal al área minera de libre aprovechamiento, para así evitar gastos de adquisición en nueva maquinaria.

6.7.8. Maquinaria y equipo necesario

A partir de los resultados obtenidos en el cálculo de la capacidad de la maquinaria, rendimiento.

Por ello se ha determinado que la maquinaria de arranque y carga puede seguir siendo usada en esta actividad la Doosan DX225LCA debido a su rendimiento de 85 m³/h que puede producir con un cucharón de 1m³.

En el cálculo de la producción promedio actual se obtiene resultados de 418.99 m³/día, lo que sobrepasa la producción real que es de 92 m³/día. Debido a esto se ha determinado una optimización contemplando reducir la maquinaria de transporte con la que cuenta la concesión, debido a que esta sobredimensiona la producción promedio actual, por ello de 5 volquetas ver **Tabla 23**, se seleccionan solo 2 volquetas para el transporte.

También es necesaria la habilitación de la criba artesanal con la adquisición de una varilla de acero con un espesor de 20mm por 9m de longitud, para dar una mejor clasificación al material extraído y darle diferentes usos como los ya descritos en la **Tabla 30**.

Con la habilitación de esta zona se ha implementado una cargadora frontal, calculada con un rendimiento que sobrepasa a la excavadora, sin embargo, se la considera ideal, debido a que es de propiedad del municipio y esto reduce los costos de adquisición.

A continuación, se presenta la maquinaria y equipo con su marca y modelo necesario para la optimización en el sistema de explotación Ver **Tabla 32**.

Tabla 32 Maquinaria y equipo necesario para la optimización del sistema de explotación

Maquinaria Necesaria				
Operación	Maquinaria	Marca	Modelo	Capacidad
Extracción y Carga	Excavadora	Doosan	DX225LCA	1 m ³
Acarreo	Volqueta	Chevrolet	FVR 23G	8 m ³
		Chevrolet	CYZ 51L	10 m ³
Acopio	Cargadora	Komatsu	WA320-5	2.5 m ³
Equipo				
Operación	Tipo	Marca	Modelo	Dimensión
Cribado	Varilla de acero	Adelca	-	20mm * 9m

Elaborador por: El Autor, 2021

6.7.9. Diseño de bancos acorde a la maquinaria

6.7.9.1. Profundidad de cantera

Según (Sosa, 1989) la profundidad está dada por la ecuación descrita a continuación. *Ver Anexo 9.*

$$H = H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}$$

Donde:

H_{máx} = Cota superior máxima del campo de la cantera

H_{mín} = Cota inferior mínima correspondiente al límite de reservas probables de la cantera en su primera etapa.

$$H = 2055\text{m} - 2005\text{m}$$

$$H = 50 \text{ m}$$

6.7.9.2. Altura de Bancos

La altura de los bancos en la cantera está en función de las características geomecánicas, así como de las características la maquinaria, el área de libre aprovechamiento trabajan con una altura de los bancos de 5 m por lo que en el presente en el proyecto se emplea la misma altura. *Ver Anexo 9.*

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

6.7.9.3. Ángulo de talud de banco (α_1)

Para calcular el ángulo del talud se utiliza la ecuación propuesta por (Sosa, 1989), donde utiliza el coeficiente de resistencia de Protodiakonov, por ello se selecciona la categoría de alta resistencia a los esquistos que se explotan en la concesión con un valor de 3. *Ver Tabla*

33.

$$F = \frac{R_{com}}{100}$$

$$\alpha = \arctan(F)$$

Donde: **Rcom**= Resistencia a la Compresión

F= Coeficiente de resistencia de Protodiakonov

Tabla 33 Clasificación mecánica de rocas de Protodiakonov

Categoría	Descripción	f
Excepcional	Cuarcita, basalto y rocas de resistencia excepcional	20
	Granito, areniscas silíceas y calizas muy competitivas	15 – 20
Alta resistencia	Calizas, granito algo alterado y areniscas	8 – 6
	Areniscas medias y pizarras	5
	Lutitas, areniscas flojas y conglomerados friables	4
	Lutita, esquistos y margas compactas	3
Resistencia baja	Calizas, lutitas blandas	2
	Lutitas fisuradas y rotas, gravas compactas y arcilla	1.5
Resistencia muy baja	Arcilla y grabas arcillosas	1
	Suelos vegetales, turbas y arena húmeda	0.6
	Arenas y gravas finas	0.5
	Limos y loess	0.3

Fuente: Protodiakonov (1962)

$$F = \frac{R_{com}}{100}$$

$$F = 3 \text{ (coeficiente para esquistos)}$$

$$\alpha = \arctan(F)$$

$$\alpha = \arctan(3)$$

$$\alpha = 71.56^\circ \approx 72^\circ$$

Como resultado se obtiene que es necesario un ángulo de 72° al redondear el valor obtenido.

6.7.9.4. Coeficiente de destape

Según (Sosa, 1989), el coeficiente de destape puede calcularse:

$$Km = \frac{V_{est}}{R_{ind}}$$

Km : Coeficiente de destape

V_{est} : Volumen de material estéril (m^3)

R_{ind} : Reservas de material útil de la cantera (m^3)

$$Km = \frac{32839.19}{656783.83}$$

$$Km = 0.05$$

El coeficiente de destape es de 0.05 para la explotación del material en la Cantera Las Lágrimas.

6.7.9.5. Plataforma de trabajo

La plataforma de trabajo está dada por las ecuaciones propuesta por (Sosa, 1989), con ellas se determina el espacio necesario para ejecutar los trabajos de explotación.

$$B_{pt} = B + Av + E + E_{separacion} + C$$

Donde:

B =Berma de seguridad o prisma de deslizamiento

Av = Ancho de la volqueta

E = Espacio de seguridad de la volqueta (1m)

$E_{separacion}$ = separación excavadora y berma de seguridad (1m)

C = Espacio de maniobra de la excavadora, que es 1.5 veces la longitud de la cargadora.

- **Bermas**

$$B = \frac{1}{3} Hb$$

Donde:

B = ancho de berma (en metros)

Hb = altura de banco (en metros)

$$B = \frac{1}{3} (5m)$$

$$B = 1.66 m \approx 2m$$

- **Ancho de volqueta**

Para ello se necesita la volqueta con mayor anchura que dispone la concesión.

$$Av = a(0.5 + 1.5 n)$$

Donde

a = Ancho de volqueta (2.50 m)

n = número de carriles (1)

$$Av = 2.5 m(0.5 + 1.5 (1))$$

$$Av = 5m$$

Se considera 1 carril para la plataforma de trabajo y para el acceso a la zona de cribado, sin embargo, en la vía de transporte se consideran 2 carriles para facilitar el traslado de material dentro y fuera de la concesión, por ello se procede a calcular la vía con dos carriles.

$$Av = 2.5 m(0.5 + 1.5 (2))$$

$$Av = 8.75m$$

Como resultado se considera una vía de 8.75m, para dos carriles, este dato es solamente para las actividades de traslado dentro y fuera de la concesión, por ello para el cálculo de la plataforma de trabajo solo se necesita de un carril que tiene una dimensión de 5m.

- **Espacio para maniobra de la excavadora**

$$C = 1.5 * (Ae)$$

Donde:

C= Espacio de maniobras

Ae= ancho de la excavadora

$$C = 1.5 * (3 m)$$

$$C = 4.5 m \approx 5 m$$

- **Calculo Final**

$$B_{pt} = B + Av + E + E_{separacion} + C$$

$$B_{pt} = 2 m + 5m + 1m + 1m + 5m$$

$$B_{pt} = 14m$$

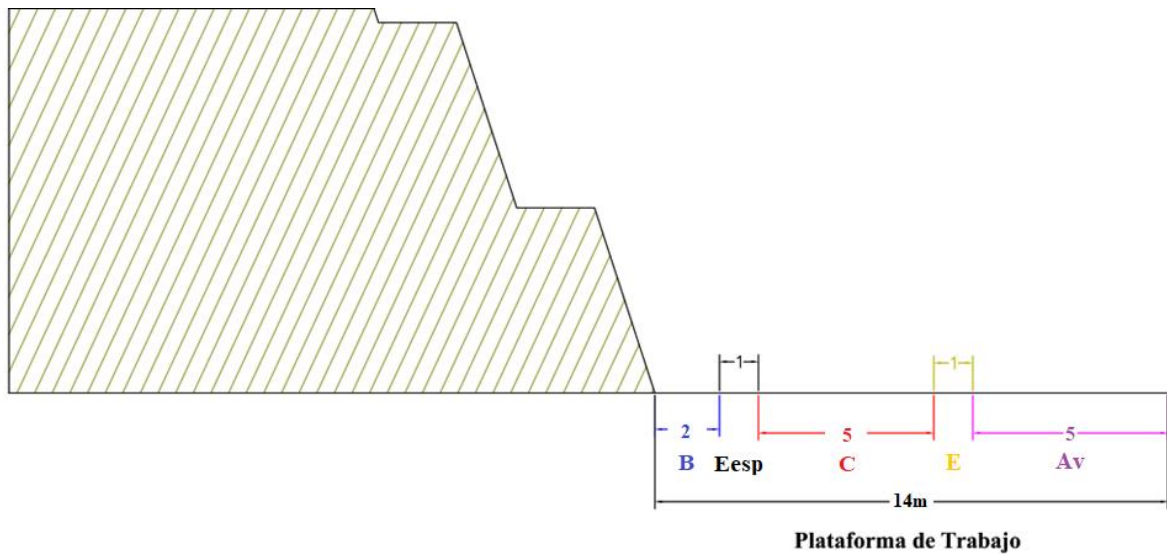


Figura 43 Plataforma de trabajo del área de libre aprovechamiento "IML Las Lágrimas"

Elaborado por: El Autor, 2021

Como resultado se considera una plataforma de trabajo de 14m, que servirán para tener una seguridad y efectividad en los trabajos de extracción, cabe mencionar que en esta plataforma se considera un solo carril para la volqueta, cuya dimensión es de 5m.

6.7.9.6. Ancho de berma para bancos de liquidación

Se calcula para evitar accidentes a medida que avanzan las operaciones mineras:

$$B = \frac{1}{3} Hb$$

$$B = \frac{1}{3} (5m)$$

$$B = 1.66 m \approx 2 m$$

La longitud será de 2m para las bermas de seguridad en los bancos de liquidación.

6.7.9.7. Ángulo de talud de liquidación

Se toma la fórmula

$$\alpha_1 = \frac{\alpha}{k_l} \quad k_l = (1.5 - 1.7)$$

α = ángulo del talud de trabajo

k_l = coeficiente de seguridad

Según Sosa se escoge el valor más bajo por las condiciones y para lograr mantener una mejor estabilidad en caso de que pueda varía el coeficiente a medida que avancen los trabajos.

$$\alpha_1 = \frac{70}{1.5}$$

$$\alpha_1 = 46.66^\circ$$

$$\alpha_1 = 47^\circ$$

Considerando los avances constantes de la explotación a partir del talud de trabajo, respetando las dimensiones, se llegará a un talud de liquidación, mismo en donde cesará la explotación dejando una berma de seguridad de 2m, con un ángulo de 47 grados, para mantener la estabilidad de los mismos. *Ver Figura 44.*

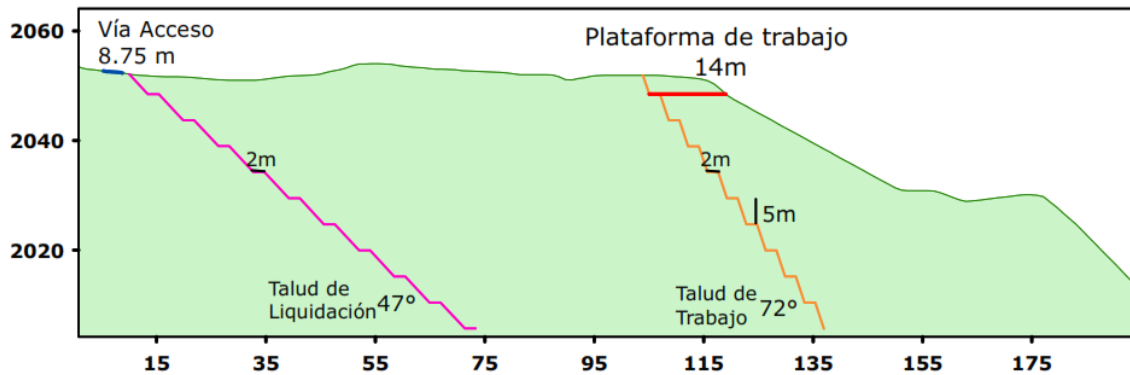


Figura 44 Parámetros del talud de trabajo y talud de liquidación

Elaborado por: El Autor; 2021

6.8. Producción actual vs producción óptima

Mediante los cálculos realizados se ha podido determinar un tiempo para los ciclos de producción, mismo que será en 25.04 minutos, debido a que representa el promedio de producción de la concesión en el levantamiento de información, ya que existen períodos donde no se extrae el material pétreo de la concesión y otros días, la extracción es muy poca, por ello para fines de cálculo se ha decidido trabajar con este tiempo.

Respecto al rendimiento real de la excavadora se mantiene tanto en el actual como en la óptima un valor de 85.57 m³/h, debido a que se conservará su cucharón de 1m³, lo que le permite llenar con 9 paladas la volqueta de 8m³ y 12 paladas la volqueta de 10m³.

En lo que se refiere al rendimiento de las volquetas en la producción actual se ha multiplicado los valores por 4 para las volquetas de 10m³ ya que estas son las que tiene actualmente la concesión y en la producción óptima solo se necesita de una unidad de 10m³ y otra unidad de 8m³.

Esta reducción de unidades permite pasar de una producción real de 92 m³/día, a los 157.13 m³/día m³/día.

Tabla 34 Comparación de la producción actual y óptima

Descripción	Actual	Óptima
Ciclos de producción	25.04	25.04
N° de ciclos por hora	2	2
Excavadora: extracción y carga del material	1m ³	1m ³
Rendimiento teórico de la excavadora	114.06 m ³ /h	114.06 m ³ /h
Rendimiento real	85.57 m ³ /h	85.57 m ³ /h
N° de paladas para cargar el volquete de 8m ³	9	9
N° de paladas para cargar el volquete de 10m ³	12	12
Rendimiento teórico del volquete 8m ³	11.64 m ³ /h	11.64 m ³ /h
Rendimiento teórico del volquete 10m ³	58.2 m ³ /h	14.55 m ³ /h
Rendimiento real del volquete 8m ³	8.73 m ³ /h	8.73 m ³ /h
Rendimiento total del volquete 10m ³	43.64 m ³ /h	10.91 m ³ /h
Acopio del material	-	2 m ³
Rendimiento teórico	-	214.2 m ³ /h
Rendimiento Real	-	160.65 m ³ /h
Producción promedio de la maquinaria	418.99 m ³ /día	157.13 m ³ /día
Producción Real por día	92 m³/día	157.13 m³/día

Elaborador por: El Autor, 2021

6.9. Análisis económico

El análisis económico de la concesión se lo realiza para calcular costos de la producción actual, para compararlos con los costos de producción de la optimización, con lo cual se puede viabilizar el poner en marcha la optimización del sistema de explotación.

Dado a que se trata de un área de libre aprovechamiento, al ser pública no se generar ingresos sino más bien egresos constantes tanto de personal, maquinaria y mantenimientos. Los costos se expresan en dólares por metro cubico (USD/m³), debido a que se trata de material de construcción.

Para analizar esos costos se han distribuido en costos del sistema actual de explotación y costos del sistema optimizados de explotación.

6.9.1. Análisis económico del sistema de explotación actual

Para realizar el cálculo económico del actual sistema de explotación que ejecuta la concesión minera fue necesario detallar el número de personal, maquinaria y equipos, insumos de combustibles y repuestos con sus respectivos costos, al tener su costo mensual se transformaron los datos para los días laborables de la concesión en este caso 22 días debido a que los fines de semana, días sábado, no se ejecutan períodos completos. Con ello se enlistó los valores con su cantidad y descripción en la *Tabla 35* .

Tabla 35 Costos del actual sistema de explotación por día

Personal				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total mes	Costo/día
1	Oficina	1	618.11	28.09
2	Operador Excavadora	2	1434.98	65.22
3	Ayudante	1	500	22.73
4	Operador volqueta	5	3587.46	163.07
Costo total Personal			6140.55	279.11
Maquinaria y equipos				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total mes	Costo/día
1	Excavadora	1	6161.98	280.09
2	Volqueta 8m3	1	3500	159.09
3	Volqueta 12m3	4	15860	720.91
Costo total Maquinaria y equipos			25521.98	1160.09
Insumos de combustibles				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total mes	Costo/día
1	Diesel	2500 galones	3250	147.73
2	Lubricantes y grasas	-	2000	90.91
3	Filtros de aceite	-	250	11.36
Costo total Insumos			5500	250
Insumos de repuestos/mantenimiento				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total	Costo/día
1	Uña de cucharón	1	225	10.23
2	Pasador de uña	1	26.15	1.19
3	Seguro de uña	1	18.10	0.82
Costo total repuestos			269.25	12.24
Costo Total al mes \$				37431.78
Costo Total Diario \$				1701.44
Metros cúbicos explotados por día				92 m ³
Costo por 1 m ³				18.49

Elaborado por: El Autor, 2021

El costo diario que tiene la concesión actualmente es de \$1701.44 y tiene una explotación de 92 m³/día, obteniendo como resultado un costo de producción de \$18.49 en cada m³.

6.9.2. Análisis económico del sistema de explotación optimizado

Para realizar el cálculo económico del sistema de explotación optimizado que ejecuta la concesión minera fue necesario disminuir maquinaria, ya que existe un sobredimensionamiento de la misma en la concesión, al realizar esto de igual manera se disminuye personal que ejecuta como operador, además de aumentar una cargadora frontal y habilitación de la criba artesanal. Con esto se enlistó los valores con su cantidad y descripción en la **Tabla 36**.

Tabla 36 Costos del sistema de explotación optimizado por día

Personal				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total mes	Costo/día
1	Oficina	1	618.11	28.09
2	Operador Excavadora	2	1434.98	65.22
3	Operador Cargadora	1	717	32.59
4	Operador volqueta	2	1434	65.18
Costo total Personal			4204.09	191.10
Maquinaria y equipos				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total mes	Costo/día
1	Excavadora	1	6161.98	280.09
2	Volqueta 8m ³	1	3500	159.09
3	Volqueta 12m ³	1	3872	176
4	Cargadora frontal 2m ³	1	3520	160
Costo total Maquinaria y equipos			17083.98	775
Insumos de combustibles				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total mes	Costo/día
1	Diesel	1600 galones	2112	96
2	Lubricantes y grasas	-	1400	63.63
3	Filtros de aceite	-	160	7.27
Costo total Insumos			3672	166.90
Insumos de repuestos/mantenimiento				
N°	Descripción	Cantidad	Costo Total	Costo/día
1	Repuestos	-	1000	45.45
2	Varilla de acero 20mm con instalación	1	150	6.81
Costo total repuestos			1000	52.26
Costo Total al mes \$				25978.16
Costo Total Diario \$				1180.83
Metros cúbicos explotados por día				157.13 m ³
Costo por 1 m ³				7.52

Elaborado por: El Autor, 2021

El costo diario que tiene la concesión actualmente es de \$1701.44, pero con la optimización que se reduce a \$1180.83, existiendo una diferencia de \$520.61, adicionalmente al aumentar

la producción de los 92 m³ que actualmente se explotan, con la optimización se pueden extraer 157.13 m³, reduciendo el costo de producción a \$7.52 por cada m³.

6.10. Inversión

La reducción de costos en \$9.89 dólares por metro cúbico, con un aumento de 157.13 m³ de producción, reducen los gastos de la concesión traducidos a \$520.61 dólares mensuales, ya que si se conserva la maquinaria actual se encontrará en una sobredimensión de misma, produciendo mayores pérdidas económicas.

El ahorro es suficiente para cubrir la habilitación de la zona de cribado y producir material clasificado según sean las necesidades del municipio del cantón, además de contar con una zona de acopio con una cargadora frontal propia de la concesión.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con el presente proyecto se pudo definir mediante la descripción de afloramientos que el área minera de libre aprovechamiento se encuentra dentro de la formación Agoyán, conformada por rocas metamórficas como esquistos biotíticos, cuarcitas y paragneis, corroborando con la información que se detalla en (IIGE, 2017).

La descripción y evaluación de los distintos procesos que se ejecutan en el sistema de explotación en el área minera de Libre aprovechamiento "IML Las Lágrimas", permitió tener una idea general y con ello se determinó la producción por jornada laboral por medio de las ecuaciones planteadas, con esta información se planteó una optimización que perfeccionó el rendimiento de la maquinaria, tomando en cuenta que, al tratarse de un libre aprovechamiento, se busca una rentabilidad social y no económica ya que esta concesión es pública.

En lo referente a las reservas que posee el área minera, existen distintos métodos para su explotación, sin embargo, se tomaron criterios como su topografía, geología, área y altura se definió como más adecuado el método de excavación descendente y abandono del talud final en bancos.

El método consiste en trabajos ejecutados desde la cota superior, con una extracción descendente por bancos respetando el ángulo de talud de trabajo y que, al llegar al final, permite la estabilización dejando un ángulo de talud final.

El rendimiento de la maquinaria en la propuesta de optimización varía con respecto al actual, debido a los cambios planteados en la maquinaria y la habilitación del área de cribado, dando una variación de 92 m³/día sin la optimización a los 157.13 m³/día con la optimización planteada dejando un costo de 7.52\$ por m³.

8. CONCLUSIONES

- Se determinó que el área minera de libre aprovechamiento “IML Las Lágrimas – código 60000309”, presenta una topografía irregular con un rango de altitud que van desde los 2000 msnm hasta los 2120 msnm, considerándose como una zona montañosa que a medida que avanzan los trabajos de explotación continúa su cambio topográfico.
- La concesión está conformada por rocas metamórficas de la formación Agoyán con mayor presencia esquistos micáceos y cuarcitas, conformando un depósito masivo con variedad de diaclasas.
- Las reservas de la concesión fueron calculadas mediante el método de los perfiles usando AutoCAD Civil 3D, apoyando en la información registrada en campo de la geología se determinó una sola estructura del mismo material, dando como resultado reservas probadas de 375306.76 m³; reservas probables 93826.69 m³; reservas posibles 187653.39 m³ y en conjunto representan 656786.83 m³ de reservas totales.
- Con las muestras tomadas en campo y analizadas en laboratorio se ha podido determinar que el material cumple con las normas dispuestas por el Ministerio de Transporte y Obras públicas referente al mejoramiento de la subrasante y de la norma INEN 860 referente a la abrasión del material.
- Mediante la descripción de las actividades que se llevan a cabo en la concesión, se determinó que no se han realizado cambios en estas actividades, ya que se desarrolla el arranque directamente del frente de explotación y carga mediante una excavadora, luego el transporte con volquetas fuera de la concesión a los frentes de trabajo, prescindiendo de la zona de estoqueo y del área para la clasificación del material.

- La optimización de los procesos de extracción consistió en organizar las actividades, mejorar la productividad pasando de 92 m³ a 157.13 m³; con ello se planeó la habilitación de la criba artesanal y la zona de estoqueo.
- Se consideró el poder disminuir la maquinaria de transporte debido que excede las necesidades de la concesión acorde a su explotación actual que es de 92 m³, por ello de cinco unidades se pasaron a dos unidades con capacidad de 10m³ y 8 m³, y debido a que se habilitó la criba fue necesario implementar una cargadora frontal, sin necesidad de comprar o alquilar, ya que el Municipio tiene adquirida una Komatsu WA320.
- Se logró reducir los costos ya que actualmente son de \$1701.44 dólares por día con una producción de 92 m³/día, dando un valor de \$18.49 dólares por cada metro cúbico y los costos proyectados con la optimización es de \$1180.83 dólares con una producción de 157.13 m³/día, lo que significa un aumento de 65.13 m³ al día con un costo de \$7.52 dólares por metro cúbico que se explote.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar levantamientos topográficos semestrales de los bancos de explotación, para mantener actualizada la topografía, así mismo poder revisar si las explotaciones cumplen con las dimensiones ya establecidas para los bancos.
- Cumplir con los mantenimientos de la maquinaria, mismos que deben ejecutarse mediante un listado de tareas que incluyan la lubricación, verificación eléctrica, limpieza de cabina, ajuste de pernos, sustitución de piezas propensas a desgaste, rotación de llantas, entre otros.
- Mantener el área de combustibles en la mecánica Municipal debido a que en la concesión no es seguro habilitar una de estas zonas por falta de infraestructura.
- Realizar un seguimiento de las actividades operativas que se desarrollen en la cantera, donde se garantice el cumplimiento del diseño planteado.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Juan Herrera. (2007). Diseño de explotaciones de Cantera. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Bach, J., Brusi, D., & Domingo, M. y. (1988). Propuesta de una metodología y jerarquización de las observaciones del trabajo de campo en geología. Henares:Revista de Geología, 2: 319-325.

Bernaloa, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). Perforacion y Voladura de Rocas en Minería. MADRID: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID.

Blázquez, L. B., & Beviá, J. (s.f.). Manual de Carreteras.

Cantabria, U. d. (s.f.). Introducción a la geotecnia. En U. d. Cantabria.

Castillo, J. (2018). Diseño de la Planeación Minera del Libre Aprovechamiento GPL Utuana perteneciente al GPL. Cuenca.

CATERPILLAR. (2010). Manual de rendimiento Caterpillar. Peoria: Caterpillar Inc.

CEDEX. (s.f.). Técnicas Geofísicas. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marico.

CEVALLOS, I. E. (2016). EIA Área Sofía. Loja.

España, I. T. (1991). Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión. Madrid: Graficas Topacio.

FRANQUET, J., & QUEROL, A. (2010). NIVELACIÓN DE TERRENOS POR REGRESIÓN TRIDIMENSIONAL. TORTOSA: UNED-Tortosa. C/ Cervantes, nº: 17, 43.500 TORTOSA.

Geoportal. (2017). Geoportal. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/>

Herrera, J. (2006). Métodos de Minería a Cielo Abierto. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Howell. (1960). Glossary of Geology and Related Sciences. Washington, DC: American Geological Institute.

IIGE. (2017). Hoja Geológica Loja. Obtenido de Instituto de Investigación Geológica y Energética: www.Geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/

Instituto de Investigación Geológica y Energética. (01 de 01 de 2020). Geoenergía. Obtenido de <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-geologicos/>

Jimeno, C. L. (1994). Áridos. Manual de prospección, explotación y aplicaciones.

Koolhass, M. (2003). Curso de Topografía. Facultad de Agronomía.

Márquez, F. G. (1994). Curso Básico de Topografía. Mexico: Árbol Editorial.

Matera, L. C. (2002). Topografía Plana. Merida: Universidad de los Andes - Facultad de Ingeniería.

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS. (2002). ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTE. Quito.

Municipio de Loja. (2020). Informe Semestral de Producción. Loja.

OCHOA, D. X. (2016). OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN DE MATERIALES ÁRIDOS Y PÉTREOS EN EL ÁREA "EL HUATO". Loja.

Palmstrom, A. (2005). Measurements of and Correlations between Block Size and.

PANCHI, C. A. (2016). DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EXISTENTES EN LA CANTERA "MINA 2". Quito.

Reglamento Especial para la Explotación de Materiales Áridos y Pétreos Decreto Ejecutivo No. 1279. (2012).

S.A.C, G. (05 de 09 de 2019). Ingeniería de minas. Obtenido de <https://ingenieriademinas.info/mineria/>

Schumann, W. (1988). Rocas y Minerales. Barcelona: Ediciones Omega.

Sofia, Á. M. (2016). Estudio de Impacto Ambiental del área minera "Sofia". Loja.

Sosa, G. (1989). Tecnología de la Explotación de Minerales Duros por el Método a Cielo Abierto. Quito - Ecuador.

STUDYLIB. (s.f.). Obtenido de <https://studylib.es/doc/8329397/mapa-geol%C3%B3gico-preliminar-de-la-hoya-de-loja---sig>

Terrones, A. (1955). Métodos modernos de exploración minera. Mexico.

Vallejo, L. G. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: PEARSON EDUCATION, S.A.

11. ANEXOS

ANEXO 1. Mapa topográfico (CD Nro. 2)

ANEXO 2. Mapa de la geología regional (CD Nro. 2)

ANEXO 3. Fichas geológicas (CD Nro. 2)

ANEXO 4. Mapa de la geología local (CD Nro. 2)

ANEXO 5. Estudios de laboratorio (CD Nro. 2)

ANEXO 6. Perfiles para el cálculo de reservas (CD Nro. 2)

ANEXO 7. Fichas de registros de la concesión (CD Nro. 2)

ANEXO 8. Tiempos de producción (CD Nro. 2)

ANEXO 9. Mapa de la propuesta del diseño de explotación (CD Nro.2)