



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
EXTENSION MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA DE GEOLOGÍA Y MINAS

EXPLOTACIÓN DE CALIZA A CIELO ABIERTO DE LA
CONCESIÓN MINERA “GRETHA PIEDAD”

TRABAJO DE TITULACIÓN

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO EN INGENIERA EN GEOLOGIA Y MINAS

AUTOR
RIVADENEIRA ORTEGA JÉSSICA JOHANA

MACAS- ECUADOR

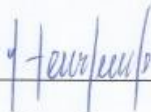
2015

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los abajo firmantes, miembros del Trabajo de Titulación del señorita **RIVADENEIRA ORTEGA JESSICA JOHANA**, estudiante de la carrera de Ingeniería Geología y Minas, Escuela de Agronomía, Facultad Recursos Naturales de la ESPOCH, Extensión Morona Santiago, una vez que hemos revisado y comprobado la culminación del trabajo de titulación **EXPLORACIÓN DE CALIZA A CIELO ABIERTO DE LA CONCESIÓN MINERA "GRETHA PIEDAD"**, se APRUEBA el Informe de Titulación, por lo que se encuentra apto para la Defensa Oral.

Es en cuanto podemos afirmar en honor a la verdad.

Atentamente,



Ing. Henry Remache.

DIRECTOR



Ing. Ivan Pino.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Diciembre, 2015

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Jéssica Johana Rivadeneira Ortega, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes y el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Macas, 8 de Diciembre del 2015

Jéssica Johana Rivadeneira Ortega

1400455364

DEDICATORIA

Dedico este presente trabajo a mi abnegada familia, por su paciencia y dedicación, en especial a mi madre Beatriz Ortega, que con mucho esfuerzo ha podido sobre llevarme por la senda del buen camino.

A mi nueva familia Christian y Darién que son mi motivo de esfuerzo y sacrificio.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la vida, salud, paciencia y la sabiduría para terminar mis proyectos emprendidos, colocando a personas idóneas en mi vida. A mi familia que me ha estado apoyando diariamente para culminar con mis metas propuestas.

A Christian que es mi gran apoyo en mis momentos de flaqueza, que me ha podido motivar a continuar hacia adelante.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO EXTENSION MACAS, a mis maestros que me han formado profesionalmente.

Al Ing. Henry Remache, Director y al Ing. Iván Pino Miembro del Tribunal, quienes con sus conocimientos me ayudaron en la realización de este trabajo de investigación.

Al Ing., Fernando Fierro con su gran sabiduría, paciencia y consejos que ha aportado para la culminación de este trabajo.

Un agradecimiento al Ing. Luis Idrovo e Ing. Jaime Cadme que fueron parte de motivación en el desarrollo de este trabajo.

A mis compañeros de estudios que fueron parte de mi vida cotidiana, compartiendo alegrías y tristezas en las aulas de estudio.

ABREVIATURAS Y SIGLAS

UCEM: Unión Cementera Nacional

PSAD 56: Datum Provisional Sudamericano 56

Has: Hectáreas

IGM: Instituto Geográfico Militar

INAMHI: Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional del Ecuador

Lat: Latitud

Long: Longitud

NN: No posee nombre

Max.: Máximo

Min: Mínimo

Msnm: Metros sobre el nivel del mar

MA: Miles de años

ml: Metros lineales

K/Ar: Datación potasio-argón

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE GRÁFICOS	viii
LISTA DE FOTOS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 Objetivo General.....	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 HIPOTESIS.....	3
1.4 UBICACIÓN	3
1.5 VIAS DE ACCESO	5
II. GENERALIDADES	6
2.1 CLIMA.....	6
2.2 VEGETACIÓN.....	6
2.3 POBLACIÓN Y ECONOMÍA DE LA REGIÓN	7
III. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE.....	8
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL	8
3.1.1 Geología.....	8
3.1.2 Geomorfología	9
3.1.3 Estratigrafía.....	10
3.1.4 Tectónica.....	18
3.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	19
3.2.1 Geología.....	19
3.2.2 Geomorfología	21
3.2.3 Hidrografía.....	22
3.2.4 Estratigrafía.....	23
3.2.5 Geología Estructural	24
3.3 TIPO DE YACIMIENTO	24
IV. EVALUACION DEL YACIMIENTO	26

4.1 TOPOGRAFIA	26
4.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN.....	30
4.3 COMPOSICION QUIMICA –TITULACION	33
4.4 PERFILES GEOLÓGICOS	33
4.5 POTENCIA DE SOBRECARGA	43
4.6 CÁLCULO DE RESERVAS	43
4.7 RELACIÓN SOBRE CARGA -MINERAL.....	44
V. DISEÑO DE EXPLOTACION.....	45
5.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE EXPLOTACIÓN	45
5.2 FACTORES GEOMÉTRICOS.....	45
5.3 FACTORES GEOMECAÑICOS	46
5.3.1 Peso Específico	46
5.3.2 Densidad	47
5.3.3 Porosidad.....	47
5.3.4 Esponjamiento.....	48
5.3.5 Resistencia a la Comprensión Simple.....	49
5.3.6 Angulo de Fricción Interna	49
5.3.7 Absorción de Agua	50
5.4 FACTORES OPERATIVOS	51
5.4.1 Método de Explotación.....	51
5.4.2 Profundidad límite de la cantera (H).....	52
5.4.3 Altura Del Banco	52
5.4.4 Número de bancos.....	55
5.4.5 Angulo de talud del banco (Ø).....	55
5.4.6 Ancho de plataformas de trabajo y receso	56
5.4.7 Escombreras.....	60
5.5 FACTORES MEDIO AMBIENTALES.....	62
5.6 DISEÑO DE VÍAS DE ACCESO	63
5.7 ANALISIS MINERO GEOMETRICO	65
5.8 PARÁMETROS DE TRABAJO	70
VI. DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA	74
6.1 PARÁMETROS DE PERFORACIÓN	74
6.1.1 Diámetro del barreno (d).....	74

6.1.2 Bordo (burden o piedra) (B)	76
6.1.3 Espaciamiento	77
6.1.4 Sobre perforación (J).....	77
6.1.5 Longitud del barreno (Lb).....	78
6.1.6 Perforación específica	79
6.2 PROPÓSITO DE LA VOLADURA:.....	80
6.3 PARÁMETROS DE VOLADURA	80
6.3.1 Carga de fondo.....	80
6.3.2 Carga de columna.	82
6.4 PARÁMETROS DE CARGUÍO DE EXPLOSIVO POR BARRENO.....	83
6.4.1 Longitud del taco o retacado(Lt).....	83
6.4.2 Gasto de substancia explosiva por metro de hueco cargado (se_{metro}).....	84
6.4.3 Carga de explosivo por barreno(se_{hueco}).....	85
6.4.4 Consumo específico de explosivo.....	85
6.5 GRÁFICOS DEL DISEÑO DE BARRENOS.....	86
6.6 MALLA DE BARRENACION	87
6.7 MICRO RETARDOS UTILIZADOS.....	89
6.7.1 Retardos entre barrenos en bancos.....	90
6.7.2 Retardos entre hileras.....	90
6.8 MAQUINARIA Y EQUIPOS.....	94
VII. FACTIBILIDAD ECONÓMICA	99
7.1 Planificación Técnico económica de explotación.....	99
7.2 COSTOS DE EXPLOTACIÓN.....	99
Construcción de instalaciones.-	100
7.3 CENTRO DE COSTOS.....	101
7.4 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO.....	102
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
8.1 Conclusiones	106
8.2 Recomendaciones	107
IX. RESUMEN	108
X. SUMMARY	109
XI. BIBLIOGRAFIA:	110
XII. ANEXOS	112

LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCION	PAG
Cuadro 1:	Coordenadas del área Concesionada Gretha Piedad por UCEM C.E.M. Planta Guapán.....	3
Cuadro 2:	Ubicación, diámetro de revestimiento y perforación, inclinación de las perforaciones realizadas por la empresa Terra-Hidro	30
Cuadro 3:	Resumen del factor Geométrico.....	46
Cuadro 4:	Resumen de factores Físico- Mecánicas de la caliza.....	51
Cuadro 5:	Ángulo Para Taludes en Trabajo y en Receso de Canteras en Función del Coeficiente de Protodiakonov.....	54
Cuadro 6:	Resumen de Factores Operativos.....	61
Cuadro 7:	Análisis Minero Geométrico.....	69
Cuadro 8:	Días Laborables en un Año Calendario.....	70
Cuadro 9:	Ruta de producción en toneladas.....	72
Cuadro 10:	Ruta de Producción en m ³	72
Cuadro 11:	Diámetro de Perforación Recomendado en función de las Características del Macizo y Maquinaria para Carguío.....	75
Cuadro 12:	Características geométricas de la malla de producción a emplearse en el área Gretha Piedad.....	79
Cuadro 13:	Características técnicas del booster de pentolita de 450 g.....	81
Cuadro 14:	Características técnicas del ANFO.....	82
Cuadro 15:	Parámetro para carga de barrenos.....	86
Cuadro 16:	Constante según efectos entre hileras.....	90
Cuadro 17:	Constante según tipo de roca.....	91
Cuadro 18:	Equipo Pesado Asignado a la Concesión Minera Gretha Piedad	93
Cuadro 19:	Costos considerados en el análisis del Proyecto.....	98
Cuadro 20:	Centros de costos establecidos para el control de costos en explotación de Gretha Piedad.....	100
Cuadro 21:	Costos.....	102
Cuadro 22:	Resumen de Proyección de Costos de Caliza Aprovecharse de la Concesión Minera Gretha Piedad Durante el Año 2015	103

LISTA DE GRÁFICOS

N°	DESCRIPCION	PAG
Gráfico 1:	Mapa del Cantón Santiago de Méndez donde se encuentra el área concesionada Gretha Piedad.....	4
Gráfico 2:	Plano de Benioff con Referencia a la tectónica Regional.....	19
Gráfico 3:	Plano Geológico.....	21
Gráfico 4:	Mapa Geomorfológico Local en 3D de la Concesión Gretha Piedad	22
Gráfico 5:	Plano Topográfico de Gretha en el año 2010.....	27
Gráfico 6:	Plano Topográfico de Gretha en el año 2014.....	28
Gráfico 7:	Plano Topográfico de Gretha en el año 2020.....	29
Gráfico 8:	Plano de ubicación de sondeos.....	32
Gráfico 9:	Mapa del Cuerpo Mineralizado con Perfiles Geológicos.....	34
Gráfico 10:	Corte A-A'.....	35
Gráfico 11:	Corte B-B'.....	36
Gráfico 12:	Corte C-C'.....	37
Gráfico 13:	Corte D-D'.....	38
Gráfico 14:	Corte E-E'.....	39
Gráfico 15:	Corte F-F'.....	40
Gráfico 16:	Corte G-G'.....	41
Gráfico 17:	Corte H-H'.....	42
Gráfico 18:	Curva de Esfuerzo vs deformación.....	49
Gráfico 19:	Ancho de plataformas de trabajo.....	60
Gráfico 20:	Esquema de trabajo para la escombrera.....	61
Gráfico 21:	Esquema de vías de acceso.....	65
Gráfico 22:	Mapa topográfico con el perfil I-I'.....	67
Gráfico 23:	Perfil I-I'.....	68
Gráfico 24:	Esquema de los trabajos de explotación.....	73
Gráfico 25:	Carga efectiva por barrenos.....	86
Gráfico 26:	Conexión de fanel dual.....	87
Gráfico 27:	Disposición de barrenación malla cuadrada.....	88
Gráfico 28:	FANEL con micro retardos.....	89

LISTA DE FOTOS

N°	DESCRIPCION	PAG.
Foto 1:	Quebrada Ponsheras afluente cercana a la concesión Gretha Piedad	23
Foto 2:	Actualización de topografía con la estación total Sokkia en la cima de Gretha Piedad por el Ing. Pablo Astudillo.....	26
Foto 3:	Máquina Perforadora de la Empresa Terra-Hidro en el sondeo P2 en las coordenadas N9701589; E795097 en la cota 896msnm.....	31
Foto 4:	Perforadora Atlas Copco barrenando en Gretha Piedad en la cima.	75
Foto 5:	Anfo colocado en cada una de las perforaciones, utilizado como carga de columna.	83
Foto 6:	Retacando una de las perforaciones con material inerte para la voladura	84
Foto 7 :	Conexión de cordón detonante faneles y micro retardos de 50ms	91
Foto 8:	Caliza después de la voladura	92
Foto 9:	Vista panorámica del sitio a realizarse el diseño de explotación	116
Foto 10:	Sitio específico del frente donde se realiza el diseño de explotación	116
Foto 11:	Abertura de la vía de ingreso y limpieza de la cobertura	117
Foto 12:	Ejecución de la rampa utilizada en la limpieza de la cobertura	117
Foto 13:	Vía de acceso a la cima del frente de explotación	1118
Foto 14:	Zona de compósito entre el material de alta pureza con el material de la mina “Gretha Piedad”	118

LISTA DE ANEXOS**N° DESCRIPCION**

- 1 **ANEXO A:** Glosario De Términos
- 2 **ANEXO B:** Fotografías del área del diseño
- 3 **ANEXO C:** Mapas
- 4 **C1.-** Mapa Geológico
- 5 **C2.-** Mapa Topográfico 2010
- 6 **C3.-** Mapa Topográfico 2014
- 7 **C4.-** Mapa Topográfico 2020
- 8 **C5.-** Mapa de Distribución de Sondeos
- 9 **C6.-** Mapa de Distribución de Cortes en Plano Topográfico
- 10 **ANEXO D:** Cortes Geológicos
- 11 **D1:** CORTE A-A'
- 12 **D2:** CORTE B-B'
- 13 **D3:** CORTE C-C'
- 14 **D4:** CORTE D-D'
- 15 **D5:** CORTE E-E'
- 16 **D6:** CORTE F-F'
- 17 **D7:** CORTE G-G'
- 18 **D8:** CORTE H-H'
- 19 **ANEXO E:** Modelo de la mina según Fases de Explotación
- 20 **E1:** Primera etapa de Explotación
- 21 **E2:** Segunda etapa de Explotación
- 22 **E3:** Tercera etapa de Explotación
- 23 **E4:** Cuarta etapa de Explotación
- 25 **E5:** Quinta etapa de Explotación

I. INTRODUCCIÓN

La Unión Cementera Nacional UCEM CEM planta Guapán es una empresa dedicada a la elaboración de cemento, que busca nuevas reservas y yacimientos de caliza en el Ecuador, con la finalidad de lograr abastecer la demanda de materia prima para cumplir su propósito en el área de la construcción en los diferentes proyectos.

La caliza que se encuentra en el sector de Yucal, del cantón Santiago de Méndez es una roca sedimentaria que está compuesta por carbonato de calcio, con pequeñas cantidades de óxido de sílice, óxido de aluminio, óxido de hierro, óxidos de magnesio, óxido de sodio; dando una titulación del 82,56% de CaCO_3 , lo cual se encuentra dentro de los parámetros necesarios que requiere su producción por lo que se dedicara a la extracción de este mineral.

La idea del proyecto a presentar es el diseño del sistema de explotación de caliza para la concesión minera Gretha Piedad de la UCEM C.E.M.- Guapán, basados en los resultados de estudios de reservas existentes, tomando en cuenta la topografía, la geología, los parámetros técnicos y económicos, el rendimiento operacional de los equipos que se dispone, del control de calidad, a los cuales se han incorporado medidas de seguridad y control ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

A partir de la evaluación del yacimiento de caliza denominada Gretha Piedad perteneciente a la UNION CEMENTERA NACIONAL UCEM C.E.M. proponer el método de explotación a cielo abierto mediante banco descendentes para la elaboración del cemento Portland.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar el levantamiento geológico local
- Realizar la topografía del área
- Efectuar una correlación de las perforaciones exploratorias para comprobar el cálculo de reservas requeridas para proceder con la explotación del yacimiento.
- Obtener el parámetro técnico mineros propios del yacimiento para realizar el respectivo diseño de explotación
- Definir los parámetros de perforación y voladura, para la explotación de caliza.
- Definir la rentabilidad económicamente del proyecto.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se efectuara dada la necesidad de abastecer de materia prima a la UNION CEMENTERA NACIONAL UCEM mediante la explotación de caliza, la misma que contiene carbonatos necesarios para la elaboración del cemento, teniendo en cuenta las exigencias ambientales y técnicas de extracción, de tal manera que se mantenga bajo los estándares de calidad y conforme a lo que disponga la Ley y de Minería vigente.

La explotación de caliza desarrollará y potencializará actividades de extracción de manera más ágil, dinámica y eficiente, satisfaciendo con el régimen de producción en el consumo de materia prima requerido por la fábrica.

1.3 HIPOTESIS

Con la explotación de caliza de manera racional, técnica y su composición química, se contribuirá a solucionar el problema de provisión de materia prima de calidad para la elaboración del Clinker.

1.4 UBICACIÓN

El siguiente estudio se lo realizara en la concesión minera Gretha Piedad que se encuentra ubicada dentro de la jurisdicción política de las Parroquias Santiago de Méndez y Chupianza, pertenecientes al cantón Santiago, Provincia de Morona Santiago, su ubicación corresponde a la indicada en el ítem respectivo de los Datos Generales (Según PSAD 56, zona geográfica No 17).

Cuadro 1: Coordenadas del área Concesionada Gretha Piedad por UCEM C.E.M. Planta Guapán

UBICACIÓN (PSAD 56)	VÉRTICE	X	Y
	P.P	794000	9700500
	1	794000	9703000
	2	797000	9703000
	3	797000	9700500
SUPERFICIE CONCESIONADA	750 Has.		
TIPO DE MINERAL.	No Metálico (Calizas)		

Fuente: Industrias Guapán. (2011). *Informe de exploración Gretha Piedad.*

Gráfico 1: Mapa del Cantón Santiago de Méndez donde se encuentra el área concesionada Gretha Piedad



Fuente: IGM. (1993) *Mapa topográfico Santiago de Méndez*

1.5 VIAS DE ACCESO

Para acceder a la zona del trabajo, desde Macas se toma la vía troncal Amazónica hasta la población de Bella Unión, recorriendo aproximadamente 72 kilómetros; desde Bella Unión por la vía a Méndez, se recorre aproximadamente cuatro kilómetros hasta esta ciudad, desde Méndez por la vía a Guarumales se recorre aproximadamente 3 kilómetros hasta el entronque con una vía de tercer orden denominada Méndez – Yucal – Singuiantza hasta aproximadamente el Kilómetro 5 en donde se encuentra la zona de trabajo.

Para acceder a la concesión se pueden utilizar las vías: Azogues – El Descanso – Paute – Guarumales – Méndez hasta aproximadamente el Kilómetro 164 (contado desde Azogues), desde donde se toma una vía de tercer orden denominada Méndez – Yucal – Singuiantza hasta aproximadamente el Kilómetro 4 en donde se encuentra la zona de trabajo

Otra alternativa de ingreso la constituye la vía Azogues – El Descanso - Gualaceo – Plan de Milagro – Limón – Méndez hasta aproximadamente el kilómetro 152, que es el sitio donde se emplaza el inicio de la vía Méndez – Yucal – Singuiantza, desde ahí el trayecto es similar al enunciado en la primera opción de acceso.

II. GENERALIDADES

2.1 CLIMA

Para definir las características climáticas de la zona se toma como referencia los datos de las estaciones meteorológicas: Río Mazar (INAMHI – M410), Pindilig (INAMHI – M583), Méndez (INAMHI – M501), Santiago (INAMHI – M695), San Juan Bosco (INAMHI – M674), Gualaquiza (INAMHI – M189), Macas (INAMHI – M062) de las cuales solo existe una estación climatológica completas (Gualaquiza) y las 7 pluviométricas en donde se registran lluvias, las que se han analizado para efectos de comparación obtenido (Industrias Guapan, 2010, pág. 95)de la cual se extraen los datos siguientes:

La temperatura del aire es un elemento del clima cuya variación es directamente proporcional a la altura; se tiene como valores promedio de temperatura, mín.: 6°C y máx.: 28°C; la humedad relativa es en promedio del 85,8%; la nubosidad se caracteriza por tener cierta nubosidad en horas de la mañana, despejándose lentamente a medida que avanza el día. La precipitación promedio anual es de 2500mm, siendo los meses de diciembre a junio los de mayor lluvia, mientras que entre septiembre y noviembre las precipitaciones disminuyen, sin embargo hay que indicar que todos los meses registran precipitaciones importantes. El clima predominante en el cantón es el sub-tropical húmedo, propio de la región oriental.

2.2 VEGETACIÓN

La vegetación presenta una mezcla de hierbas, arbustos y bosques; en la zona existen pequeñas parcelas dedicadas al cultivo de plátano, caña de azúcar y en menor proporción con yuca y árboles frutales; esta producción está destinada fundamentalmente al autoconsumo y por ser mínima, se considera como poco significativa. El cultivo de mayor relevancia es el pasto para alimento del ganado y los tipos de pasto existente son, el gramalote que es el predominante, el pasto elefante y la setaria.

2.3 POBLACIÓN Y ECONOMÍA DE LA REGIÓN

La estructura económica de la parroquia Méndez define condiciones de escasa diferenciación social, sin embargo se puede establecer diferencia entre las actividades productivas como son la agricultura y la ganadería.

Producción Agrícola. Se observa pequeñas parcelas de sembríos, de entre los 500 a 1000 m² de superficie en donde se cultivan: plátano, yuca, papaya, guayaba, chonta, maíz, papa china, achiote, café, caña de azúcar, cacao y naranjilla entre otros, cuya producción está dedicada principalmente al autoconsumo y en mínimas cantidades a la comercialización.

Producción Ganadera. La producción ganadera genera dos fuentes de ingresos, por un lado la producción láctea que abastece al cantón; y, la venta del ganado en pie que abastece a toda la provincia, así como a la ciudad de Cuenca, Macas, Sucúa y Machala.

III. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFÍA EXISTENTE

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

3.1.1 Geología

La geología del cantón se halla íntimamente ligado a la evolución geológica de la placa Sudamericana donde se emplaza el escudo Guayano-Brasileño dominado por rocas metamórficas del precámbrico, cuya evidencia en el país se halla en el sector nororiental (Tiputini) y en el sector suroccidental (sector Piedras); la evolución geológica se iniciaría con la inferencia de una deposición durante el Paleozoico de sedimentos clásticos en una cuenca geosinclinal, estos posteriormente sufrieron los efectos del empuje de las placas de Nazca y Sudamericana.

Posteriormente se produce una serie de movimientos de subducción y elevación que propician fenómenos de sedimentación y erosión en el intervalo Paleozoico-Jurásico; durante el jurásico se produce la sedimentación de una secuencia calcárea conocida como formación Santiago; durante su etapa de elevación se va sedimentando parte de la formación Chapiza; durante este mismo período se produce un evento volcánico que produce diques dentro de la Santiago y una emisión de lavas tipo almohadilla sobre los sedimentos de la Chapiza.

Después el Cretáceo, se sucede una de regresión marina que permite la sedimentación de arenas de cuarzo puras en un ambiente de aguas someras y que es conocido con el nombre de areniscas Hollín; luego una nueva subsidencia permite la deposición de un conjunto rítmico lítico calcáreo que es conocido como formación Napo y posteriormente con un cambio en la dirección del aporte de sedimentos, se tiene formación Tena que posteriormente levantamientos de corta duración dan lugar que a fines de este periodo se retire el mar de la cuenca sub andina.

Durante el Terciario, se produce una evolución magmática ácida no volcánica que genera los cuerpos intrusivos granítico y granodioríticos presentes junto a la falla Real y que intruye a todo el conjunto rocoso sedimentario que se halla depositado en el lugar.

Una regresión marina dando lugar a una fase erosiva permite la deposición en agua dulce de sedimentos tipo conglomerado fluvial constituidas por guijarros de cuarzo y chert que pertenecen al miembro inferior de la Formación Tiyuyacu.

Continuando durante el Mioceno con el inicio de una subsidencia que genera las condiciones para en un ambiente mixto se depositen los sedimentos hoy ricos en carbón, restos de tortugas y moluscos y que corresponden a la formación Arajuno, continua la etapa de elevación que genera la erosión de las rocas emergidas que conforman la cordillera andina y que producen la sedimentación de los elementos gruesos de la Chambira durante el Mioceno-Plioceno.

El continuo levantamiento de los Andes va generando la continua erosión de las rocas y la formación de zonas de deposición fluvio-lacustre donde se evidencia una conformación rítmica de sedimentos clásticos desde arcillas hasta conglomerados policlásticos altamente redondeados lo que implica un fuerte transporte y que es conocido hoy como las rocas del Plio –Pleistoceno conocidas como formación Mesa.

Eventos volcánicos de amplia composición química se desarrollan durante el cuaternario, pero las evidencias de este solo se reportan en la parte de la cordillera andina dentro de la superficie del cantón.

3.1.2 Geomorfología

Las formas del terreno en la zona sub-andina están determinadas por la litología y por las formas de erosión originadas por un régimen climático intenso, de abundantes precipitaciones, altas temperaturas y humedad permanente durante todo el año.

El área de estudio, presenta cuatro regiones claramente diferenciadas. La primera lo conforma el extremo Occidental de la cuenca Oriental, con altitudes comprendidas entre los 2.000 y 2.500.

La segunda región está definida por los límites Occidentales de la cuenca Oriental propiamente dicha, con altitudes que van desde los 2.000 hasta los 1.000

m.s.n.m. siendo una zona intermedia o subtropical, y la última corresponde a la planicie amazónica con altitudes que van desde los 1.000 a 400 m.s.n.m. aproximadamente.

El paisaje es típico de un territorio joven, con montañas que no alcanzan su perfil de equilibrio sobre todo en su formación (levantamiento). Continuamente se producen movimientos ocasionados por factores generalmente morfo dinámicos, tectónicos y climáticos (erosión, deslizamientos de laderas, hundimientos, etc.) hasta alcanzar el perfil de equilibrio. Tomado de (Industrias Guapan, 2010, pág. 128)

3.1.3 Estratigrafía

Para comprender la evolución geológica de la región sub-andina, se expone a continuación la descripción crono-estratigráfica de las formaciones que afloran en la provincia de Morona Santiago.

CUATERNARIO

➤ **Depósitos aluviales y terrazas.**

Depósitos aluviales y de terrazas se presentan a lo largo de los ríos sobre todo en la llanura oriental. Su litología es variada compuestos en forma general por arenas, arcillas, las terrazas.

➤ **Depósitos de Coluviones**

Se han formado por procesos dinámicos de vertientes, de diferente talla y extensión, se localizan en el sector de Copal principalmente, al pie de la escarpa de la falla Real.

➤ **Formación Mera. (Holoceno)**

Consiste en depósitos de terrazas jóvenes compuestos de conglomerados de diversos tamaños, predominando los gruesos, areniscas y lentes de tobas y arcillas, provenientes de abanicos de pie de monte.

TERCIARIO

➤ **Formación Mesa**

Comprende una secuencia rítmica de sedimentos clásticos depositados en un ambiente fluvio lacustre, compuestos por lutitas, limolitas, arenas gravas, matacones.

➤ **Volcánicos Indiferenciados**

Como producto de la actividad volcánica existen varias evidencias de rocas andesíticas generalmente en forma de tobas que se localizan dentro de las rocas del grupo Paute.

➤ **Formación Chambira. (Mioceno Sup.- Plioceno)**

La localidad tipo se encuentra en la provincia en el alto Bobonaza, esta se la ha dividido en tres unidades pero básicamente constituye un abanico de pie de monte consistente de sedimentos clásticos gruesos, su potencia se calcula entre 1000 y 1 500 m.

- **Miembro superior**, consta de areniscas, conglomerados y gravas, que aumentan su potencia hacia el Sur.
- **Miembro medio**, compuesto de areniscas tobáceas, con minerales ferrosos, micro conglomerados de cuarzo y pedernal y arcillas bentoníticas con impresiones de hojas. Su espesor se considera de 400 m.
- **Miembro inferior**, que consta de areniscas de grano medio a fino, color gris, con estratificación entrecruzada, comúnmente conglomeráticas. Tiene una potencia de 400 m.

➤ **Formación Curaray (Mioceno Superior)**

Se encuentra compuesta por una inter estratificación de arcillas de colores variables (verdes, azules y rojizas), localmente yesíferas, que se alternan con areniscas de grano fino a medio, tobas, vetas de lignito y arcillas carbonosas negras en la parte superior; su espesor se estima en 763m.

➤ **Formación Chalcana (Oligoceno Sup. - Mioceno medio)**

Está constituida por capas de lutitas abirragadas de color rojo, presencia de yeso, lutitas de color café a gris verdoso, limos y areniscas. La presencia de yeso y material calcáreo sugieren que el material de aporte es de origen continental y ha sido depositado en un ambiente de agua dulce. Su potencia se presenta variable, entre 600 m y 1100 m.

➤ **Formación Arajuno. (Mioceno Sup.)**

Tschopp divide a esta formación en tres miembros:

- **Arajuno superior**, en la que predominan arenas con lignito, lentes arcillosos ligníticos y conglomeráticos y vetas de carbón autóctono.
- **Arajuno medio**, constituido por arcillas rojas con capas de arenas moteadas en su parte intermedia y presencia de moluscos y foraminíferos.
- **Arajuno inferior**, en la que predominan areniscas de color gris verdoso, con lentes de guijarros, conglomerados y arcillas bentoníticas.

La formación Arajuno sobre yace a la formación Chalcana en un contacto bien definido, pertenece a un ambiente continental de agua dulce. Su potencia llega a tener 1000 m de espesor

➤ **Formación Curaray.**

Se trata de una inter estratificación de arcillas de colores variables (verdes, azules y rojizas), localmente yesíferas. Alternadamente se presentan areniscas de grano fino a medio. Además se encuentra mezclas tobáceas, vetas de lignito y arcillas carbonosas negras en la parte superior. Con respecto a la potencia se puede indicar que esta formación tiene aproximadamente una profundidad de 763 m

➤ **Formación Tiyuyacu. (Eoceno)**

Es la más antigua de los sedimentos de la Cuenca Terciaria del Oriente, el material acarreado desde la Cordillera de los Andes se depositó en un ambiente continental; se halla constituida por una sucesión de capas rojas, conglomerados guijarros y areniscas de cuarzo con intercalaciones de lutitas rojas, verdosas y grises, presenta un facies, conglomeráticos-basal. El espesor de esta formación se presenta variable; entre 551 m y 700 m.

MESOZOICO

➤ **Rocas Intrusivas**

Datos radiométricos por el método K/Ar (sobre biotita) sugieren una edad joven mínima de 87 ± 7 Ma, pero, datos del método Rb/Sr indican una edad de $173 \pm$ Ma, o sea Jurásico medio (Kennerley, 1.980, May y Calle, en impresión).

Afloran en varios sitios del cantón y están constituidos por granodioritas grises, con grano grueso, con cristales típicos de plagioclasa, su edad se define por concordancia litológica como Cretáceo superior a Terciario inferior.

➤ **Formación Tena (Cretáceo)**

Está formada por arcillas abirragadas pardo-rojizas, cherts y numerosas intercalaciones de areniscas en la base, su litología se encuentra en forma dominante de lutitas con numerosas intercalaciones de areniscas y escasos conglomerados, margas y

calizas arenáceas aparecen en menor cantidad. Su color en superficie es café - rojizo debido a la meteorización, en cambio fresco da las tonalidades negros, grises o verdosos.

La parte superior presenta intercalaciones de areniscas y conglomerados hacia el tope, los colores rojos son consecuencia de la meteorización, en partes profundas y en perforaciones denota coloraciones grises y verdosas.

Las rocas de la formación Tena se encuentran sobre la formación Napo en discordancia angular, pues existe un cambio repentino de facies; el tope de la formación Napo sufrió erosión y existe un hiato en la sedimentación.

➤ **Formación Napo (Cretáceo)**

Se depositó en un ambiente marino en una cuenca alargada de rumbo Norte - Sur. Se presenta masiva y se conforma de una serie de calizas muy fosilíferas oscuras, intercaladas con areniscas calcáreas y abundantes lutitas negras y azules; se encuentran también algunos horizontes bituminosos, se presenta altamente deformada por efecto de la tectónica que elevó y deformó la cordillera de los Andes.

Es común encontrar en esta formación gran cantidad de restos fósiles como ammonites, moluscos y peces, aunque en el cantón no tenemos una buena cantidad de afloramientos, por lo que tampoco se ha evidenciado la presencia de fósiles, esta formación pertenece al mesozoico inferior que data de hace 200 millones de años.

Se presenta como una sucesión de lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas calcáreas. Esta formación varía de espesor entre 200 y 700 m. Esta fue depositada en ambiente marino en una cuenca de orientación N-S.

Tschopp divide la formación basándose en su litología y fauna en superior, medio e inferior.

- **La Napo Superior**, en la que aparece la amonita peroniceras, indica el coniociano (Tschopp) Material fosfático y discretos horizontes de fosforitas se

han descubierto (Wilkinson 1.979). La fauna (*Peroniceras*, *Ammobaculites*, *Guembelina*, *Cytherura*), indican una edad cretácea (Bristow&Hoffstetter, 1.977)

- **La Napo medio**, conforma un karst, con fracturas y grietas de disolución en las cuales existe un importante escurrimiento subterráneo.
- **La Napo Inferior**, se reconoce una Napo basal consistente de areniscas intercaladas, lutitas y calizas.

➤ **Formación Hollín (Cretáceo)**

Arenisca cuarzosa blanca porosa de grano medio a grueso, maciza o con estratificación cruzada, mostrando a veces “ripple marks”; se observa también capas guijarrosas delgadas e intercalaciones de lutitas arenosas oscuras, localmente micáceas y también de lutitas carbonosas negras en la parte superior de la sección; cuando se presentan con impregnaciones de asfalto, tienen un color gris café cuando se hallan meteorizadas.

En la zona de los cerros de Cutucú es de 200 m de espesor

➤ **Formación Chapiza (Jurásico)**

Esta formación se localiza a manera de una franja continua de diferente ancho y de dirección meridiana, que abarca territorio de las cordilleras de Cutucú y el Cóndor.

Tschopp indica tres divisiones que son observables en la localidad tipo:

- **Chapiza superior** o Miembro Misahuallí, constituida por una secuencia de piroclastos: tobas de color gris, verde o violeta, areniscas tobáceas, brechas y basaltos.
- **Chapiza medio**, conocida “Chapiza Roja”, consiste en una alternancia de lutitas y areniscas de color rojo pero sin intercalaciones de evaporitas.

- **Chapiza inferior**, que es una alternancia de lutitas y areniscas de color gris rosado y violeta. También presenta capas delgadas de anhidrita, vetas de yeso y concreciones de dolomía. Es conocida con el nombre de “Chapiza roja y gris”.

En el área de estudio subyace a la formación Mesa (sector del puente de Bella Unión).

➤ **Formación Santiago (Jurásico)**

La formación aflora ampliamente en la parte occidental de la Sierra de Cutucú, desde el Este de Macas (Lat. 2° 18' S, 18' S, Long. 78° 7' W) hacia el Sur.

El desarrollo normal de la formación, en la parte este del área, comprende una secuencia monótona de calizas silíceas en capas delgadas (1-50 cm) de color gris oscuro hasta negro (gris claro en exposición), con una cantidad igual de areniscas calcáreas, finas hasta groseras, de color gris (pardo en exposición) y demás intercalaciones de lutitas negras, delgadas (raras veces unidades de 5-20 m de potencia), arenoso-micáceas, localmente bituminosas.

➤ **Formación Pumbuiza**

Pizarras arcillosas en capas finas de color gris oscuro a negro a veces grafíticas que localmente pasan a areniscas duras cuarcíticas de grano fino. No se observó la base. Las arcillas están muy plegadas y falladas, de manera que no se puede apreciar la potencia.

➤ **Formación Macuma (carbonífero Sup.)**

La formación Macuma, se presenta en varios afloramientos en la parte este del cantón en forma de calizas fosilíferas; (**Tschopp, 1953**), distinguió dos subdivisiones:

- **Macuma Superior:** Secuencia potente (estimada en 1250m) de calizas de color gris oscuro, delgadas hasta gruesas o macizas con intercalaciones de arcilla pizarrosa; las capas más delgadas son silíceas y pasan arriba a margas y arcillitas

no calcáreas, duras que predominan en la parte superior, se observan también gradaciones desde calizas silíceas hasta areniscas puras de color pardo verdusco; en la parte inferior de la Macuma Superior se observa un horizonte característico de calizas blancas con algas, briozos, ostrácodos, crinoideos y abundantes *Fusilinella* y *Nummulostegina*; hacia arriba los fósiles son más escasos, pero se observan algunas concentraciones; en los últimos 150 - 200 m Goldschmid observó *Fenestella*, *Terebritula*, *Derbya* y *Spirifer*.

- **Macuma Inferior:** 150-200 m de calizas silíceas muy fosilíferas en capas delgadas de color azul-gris oscuro localmente pseudo-oolítica, alternado con pizarras y esquistos arcillosos negros. Los fósiles comprenden: *Spirifer* sp.; *Productus* cf.; *smireticulatus* Martin, *Orbiculoidea* cf.; *nitida* Phillips, *Chonetes*, *Fenestella* y crinoideos.

PALEOZOICO

➤ Grupo Margajitas (Paleozoico)

Esquistos arcillosos, semi-metamórficos, han sido señalados en esta localidad por Wurm; Semanate; Tschopp elevó esta unidad al rango de formación con la definición siguiente: “sucesión de más de 1000 m de pizarras negras ligeramente filíticas y de areniscas cuarcíticas, comúnmente piritosas de grano fino a mediano.

Al Sur de Mera, en las cabeceras del Río Llushín están descritas por Tschopp capas similares a las de Margajitas que ocurren en un complejo muy perturbado y semi-metamórfico.

Este contiene capas rotas de caliza fosilífera y lentes de lutitas negras asignadas sin duda por Tschopp a la Formación. Napo. La presencia de calizas en este sector (que se sitúa más al Este de la localidad tipo) indica la proximidad de la plataforma continental

➤ **Grupo Paute (Paleozoico)**

La faja metamórfica se extiende a lo largo de la Cordillera Real de la provincia de Morona Santiago de Norte a Sur, en el cantón Santiago se encuentra rocas pertenecientes al grupo Paute y que ocupan los terrenos correspondientes a la cordillera Real, en toda su extensión y dominio, y están caracterizados por filitas, pizarras, cuarcitas, esquistos y gneises; el grado de metamorfismo varía desde hasta granito meta somático.

Las rocas de grado bajo consisten de filitas, esquistos de cerecita, esquistos cuarcíticos y cuarcitas, los esquistos gráficos se hallan presentes en la parte media de la cordillera en el sector del río Bomboiza; el intenso fallamiento del conjunto lítico, hace que se presenten lado a lado esquistos biota-moscovita, gneises y gneises graníticos de grano grueso con rocas de menor grado.

El rumbo general de la foliación es N-S a NNE-SSW. Las rocas están plegadas en forma de isoclinales, pliegues en chevron, pliegues paralelos, comúnmente los estratos se hallan invertidos lo que dificulta el cálculo de la potencia real del conjunto rocoso.

3.1.4 Tectónica

El componente sismo tectónico, el cantón Santiago se localiza en una zona sísmica que alcanzan niveles superiores a 7, de acuerdo a la carta de sismicidad del Ecuador editado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, en consecuencia es una zona de alta peligrosidad sísmica; la zona sísmica de mayor afectación se encuentra en el sector de Méndez, que es la zona de sismicidad más fuerte registrada en el tramo (escala 8.5); los sismos de alta intensidad provenientes de la cordillera del Cutucú van a golpear con un vector NE– SW a las rocas metamórficas de la cordillera por lo que estas son potencialmente susceptibles a generar rompimientos de la estructura rocosa y generar derrumbamientos.

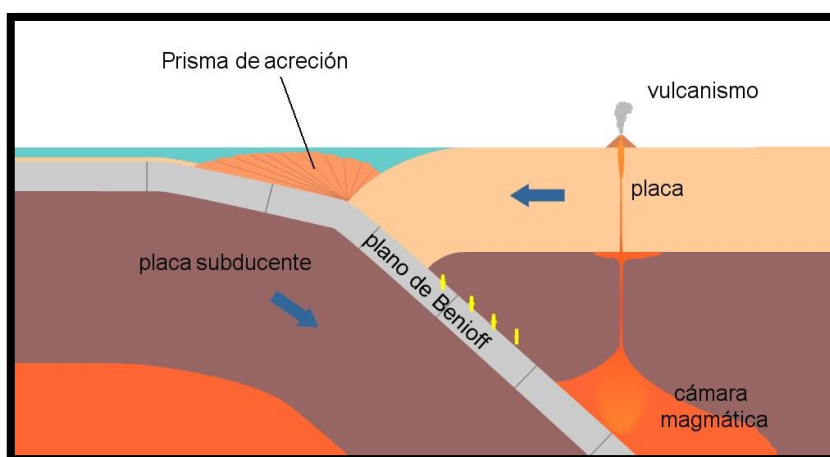
La subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana es la principal causa de la sismicidad que se observa a lo largo del continente Sudamericano. Las

características distintivas de esta sismicidad son la alta velocidad de convergencia relativa entre las placas, del orden de 10 cm/año y la edad relativamente joven de ésta. (Industrias Guapan, 2010, pág. 115)

La subducción de la Placa de Nazca se realiza según un plano inclinado hacia el este con buzamientos que varían entre los 15° y 40° respecto a la horizontal (Zona o Plano de Benioff) como se muestra en el gráfico 2.

El movimiento relativo de ambas placas produce tensiones y deformaciones a lo largo del Plano de Benioff que, cuando son liberadas, originan la casi totalidad de los sismos de la región (sismos interplaca o sismos Zona de Benioff).

Gráfico 2: Plano de Benioff con Referencia a la tectónica Regional



Fuente: Gonzáles. (2015) *Plano de Benioff*

3.2 GEOLOGÍA LOCAL

3.2.1 Geología

En los límites de la concesión Gretha Piedad, se presenta la formación Napo, donde existen afloramientos de una secuencia rítmica compuesta por estratos centimétricos de caliza, calco arenitos, calco limos, calci-lutitas, arenisca negra, lutitas negras y limolitas negras, los rumbos de la estratificación se puede dividir, los que están ubicados en el lado Este, se mantienen con rumbos entre $N10^\circ E$ y $N20^\circ E$ y los del lado Oeste, con rumbos entre $N10^\circ W$ y $N20^\circ W$. (Zurita & Andrade, 2007)

La potencia en promedio de este ritmo es de aproximadamente 35 cm para las capas individuales; no es posible identificar la potencia de este conjunto rocoso por cuanto existe la presencia de una gran falla inversa que controla estructuralmente la zona y cuya orientación general es N50E/35NW, por lo que la tendencia a la duplicación de los estratos es común dentro del área; los cuerpos de caliza se localizan dentro de esta secuencia rítmica y forman depósitos en bancos de hasta 20 metros de potencia, limitado tanto por arriba como por abajo con el ritmo descrito; esta litología corresponde a una caliza química de color negro y masiva. (Fierro, 1999)

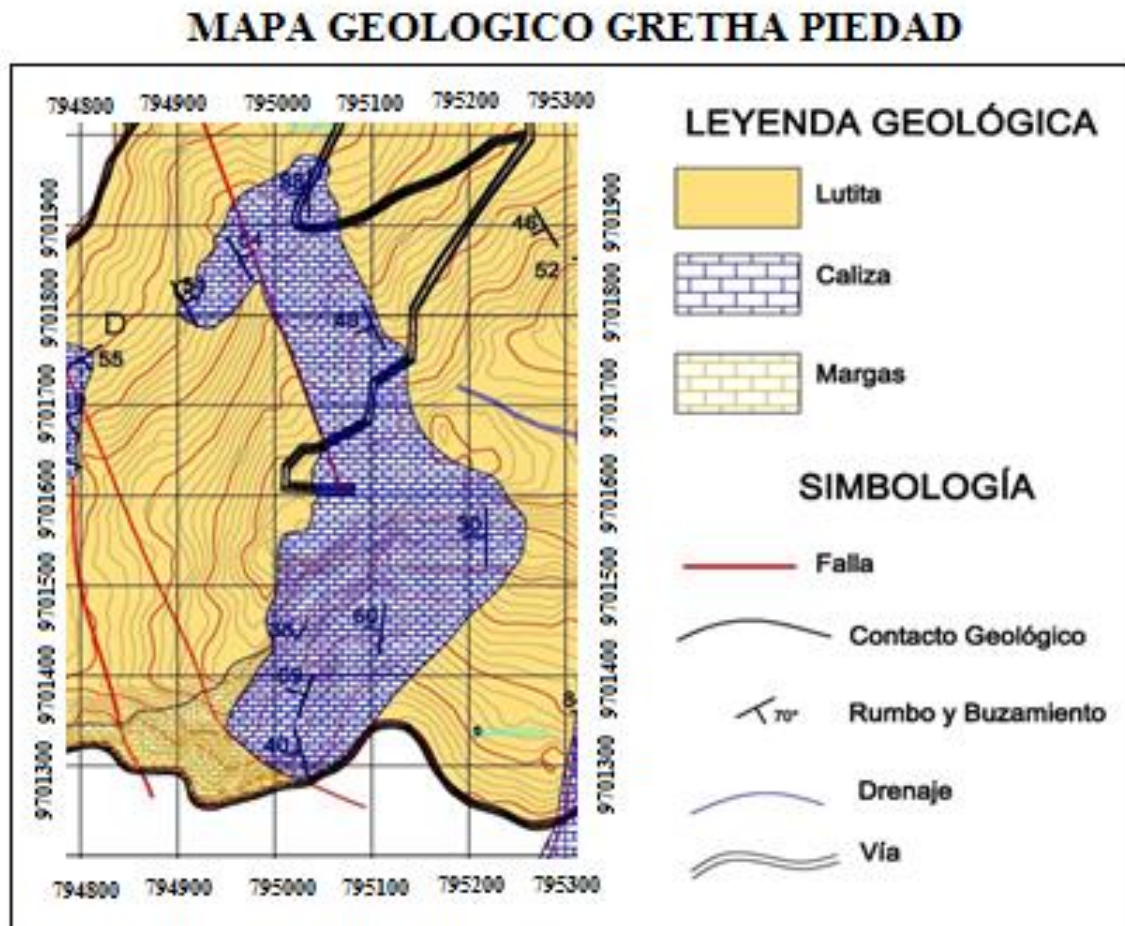
En la parte oriental del áreas desde la carretera a Singuintza, se presenta el mismo ritmo pero con una clara tendencia NS y buzamiento este, con ángulos de hasta 30grados.

En la parte media al sur de la quebrada Ponsheras se tiene la secuencia rítmica con disposición estructural fuerte, con ángulos de 70 grados o más e inclinados hacia noroeste, bajo la cual se tiene un banco de caliza que se encuentra cortado por la falla inversa. (Fierro, 1999)

El esquema estructural de la zona está dado por la disposición de los estratos con rumbos variables desde NS hasta EW igual es el caso para los buzamientos que varían desde horizontales hasta verticales.

Al sur del área en los alrededores del río Cuchaentza, se tiene la presencia de estratos decimétricos de una arenisca negras de granulometría fina a media, compuesta por elementos de cuarzo; esta litología forma parte de la formación Napo.

En la margen derecha del río Paute, aflora el mismo ritmo calcáreo con similares características del ya descrito y que se disponen desde el río hasta el límite occidental de la zona de estudio; bajo este ritmo, en los alrededores del puente Guayaquil se localizan areniscas, limos y arcillas de color pardo amarillento afectadas por metamorfismo de contacto; no se ha localizado la fuente ígnea dentro del áreas. (Fierro, 1999) **Ver Gráfico 3**, se detalla en el **Anexo C1**

Grafico 3: Plano Geológico

Fuente: Zurita & Andrade (2007). *Informe Técnico Gretha Piedad*

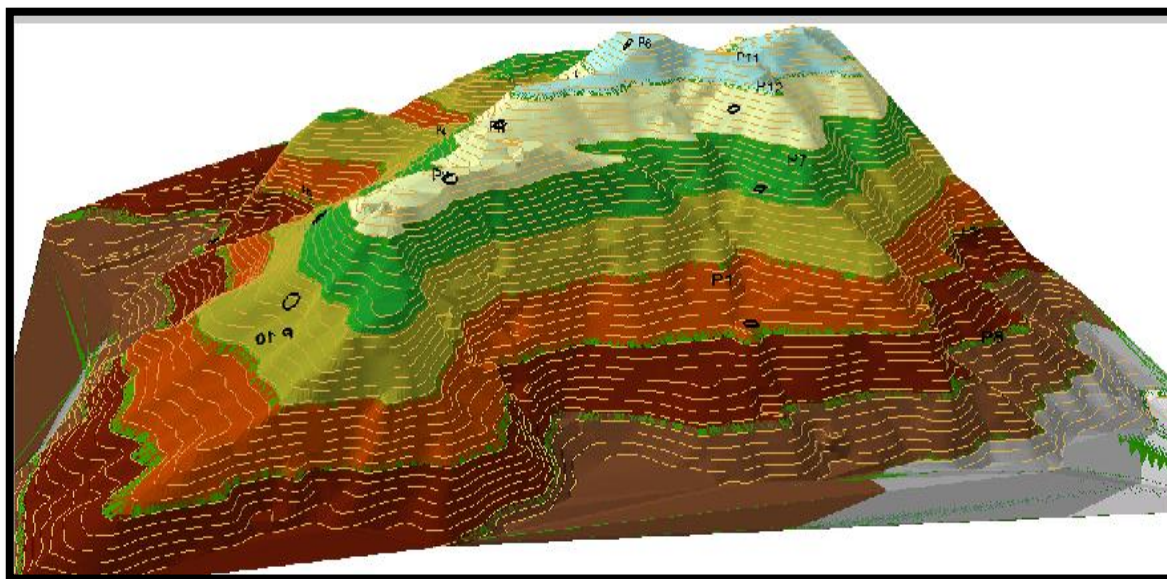
3.2.2 Geomorfología

La zona de estudio para efectos de la descripción morfológica se divide en dos partes, tomando como referencia la quebrada NN, que tiene una orientación general N45E, desde esta quebrada se define la parte norte que es bastante aplanada con una suave inclinación hacia el suroeste en dirección al río Paute, desde la cota 1000 msnm, hasta la cota 510 msnm en el río Paute.

En esta zona el drenaje presenta una disposición subdendrítico, subparalelo, con drenajes de escasa profundidad, que fluyen bajo control estructural de las fracturas en la caliza.

La segunda zona morfológica se localiza al Sur de la quebrada NN, se ubica desde la cota 1000 msnm hasta la cota 470 msnm en el río Paute, en esta zona se aprecia una tendencia a la formación de escarpes controlados por la falla inversa del lugar; los escarpes de esta zona son formaciones rocosa con un tendencia de ángulo superior a los setenta grados.

Gráfico 4: Mapa Geomorfológico Local en 3D de la Concesión Gretha Piedad



Fuente: Industrias Guapán (2013). *Informe final de Exploración avanzada Gretha Piedad*

3.2.3 Hidrografía

Los principales sistemas hídricos que fluyen hacia la planicie Amazónica desde su formación en las partes de mayor altitud de la Cordillera Oriental; constituyen el río Paute y el río Negro.

La zona de estudio se halla ubicada en la vertiente amazónica por medio de la cuenca del río Santiago, Subcuenca del Namangoza, Microcuenca del Paute, que es el río principal del sector y que dentro de la zona de estudio tiene como afluentes a la quebrada Ponsheras, quebrada NN, Yucal y Warintza que desagua en el río Cuchentza. El sistema de drenaje es de tipo subparalelo subdendrítico con orientación este oeste.



Foto 1: Quebrada Ponsheras afluente cercana a la concesión Gretha Piedad

3.2.4 Estratigrafía

En la concesión minera Gretha Piedad se puede observar la estratigrafía de la formación Napo medio, donde se presenta intercalaciones de arenisca, limos y lutitas negras y grises con lentes calcáreas en la cima del frente Sur, igualmente una sucesión de calizas, lutitas y margas, perteneciente a un ambiente de formación carbonatado (sedimentario).

La presencia de calizas fosilíferas inter estratificadas, con lutitas calcáreas en el Este y hacia el oeste lutitas con margas arenosas, se lo ha observado en la parte alta de la concesión como conchas, amonites, etc.

En el registro de sondeos realizados por la empresa Terra-Hidro define la litología donde se encuentran en la parte superior la corteza vegetal, una capa de limo arenoso, capa de lutitas, intercalaciones de caliza con capas milimétricas de arcillas, e

intercalaciones de lutitas y caliza, y capas en mayor cantidad de caliza con vetillas de carbonato.

3.2.5 Geología Estructural

Las estructuras y fallamiento de la zona de estudio son parte de los acontecimientos de deformación y esfuerzos transpresivos presentes a partir del final del Cretáceo, los que provocan la subida de la Cordillera Real y las deformaciones que se observa en la cuenca sub-andina, siendo la estructura principal y dominante la transformación de las fallas normales del ríff triásico en fallas inversas al iniciarse el tectonismo compresivo por efectos del movimiento de las placas. Las fallas dominantes en el sector tienen un rumbo N50E y corresponde a una falla inversa de empuje de NW hacia SE. (Zurita & Andrade, 2007)

Además de este sistema de fallas se ha determinado un sistema Este-Oeste, estas son fallas pequeñas que afectan a la disposición de los estratos de manera puntual. El rumbo de la estratificación en promedio, es similar para toda el área, distinguiéndose por la inclinación y el buzamiento. El conjunto del paquete de calizas en este bloque se dirige en dirección N-S partiendo de la vía a Yucal para dirigirse hacia el Este con 20 y 30 grados en cotas superiores. (Fierro, 1999)

Para el bloque que parte de los grandes farallones, los rumbos de la estratificación en todo el “tren” calcáreo se puede dividir: los que están ubicados en el lado Este, se mantienen con N10E y N20 E. Los que se ubican al Oeste los rumbos de estratificación van con N 10 W y N 20 W y ocasionalmente se orientan con N-S.

Los esfuerzos laterales han conseguido diseñar anticlinales y monoclinales de caliza en ocasiones de grandes dimensiones.

3.3 TIPO DE YACIMIENTO

El yacimiento que se encuentra en Gretha Piedad el cuerpo mineral es de tipo stocks porque generalmente yacen en llanuras o lugares débilmente montañosos con sobrecarga de potencia variable, se encuentran en depósitos de minerales no metálicos.

Su origen de formación sedimentario por la presencia del mar en el proceso de transgresión marina; esto se lo puede confirmar por la representación de fósiles de peces, conchas, amonites, entre otros, con alto contenido de calcio, debido a los procesos químicos posteriores dándose así este tipo de yacimiento de caliza.

Junto con el carbonato cálcico se suele producir el depósito de otros componentes, ya sean detríticos medio-finos (arena-limo), o finos (arcillas); el primer caso es propio de medio energéticos, caracterizados por la sedimentación de fragmentos de fósiles, o re-sedimentación de fragmentos de calizas ya más o menos consolidadas. Así se originan las denominadas calizas bioclásticas, o de intra-clastos, respectivamente.

En el segundo caso, se produce la floculación de las arcillas conjuntamente con el depósito de los carbonatos, ya que ambos son propios del depósito en aguas tranquilas, y se originan las denominadas margas, margo calizas, y calizas margosas, formadas por proporciones variables de caliza y arcilla.

IV. EVALUACION DEL YACIMIENTO

4.1 TOPOGRAFIA

Para la realización de la topografía del sector de la concesión Gretha Piedad se utilizó como instrumento de medición la Estación Total marca Sokkia, tomándose como referencia puntual la iglesia de Yucal (E9702147.215, N794893.044, 736.042 msnm), obteniéndose como resultado el siguiente mapa topográfico, a escala 1:4000. Con un intervalo de curvas de nivel de 5m las secundarias y las primarias cada 25m, este mapa fue realizado por el departamento de Geología de Guapán encabezado por el Ing. Pablo Astudillo.

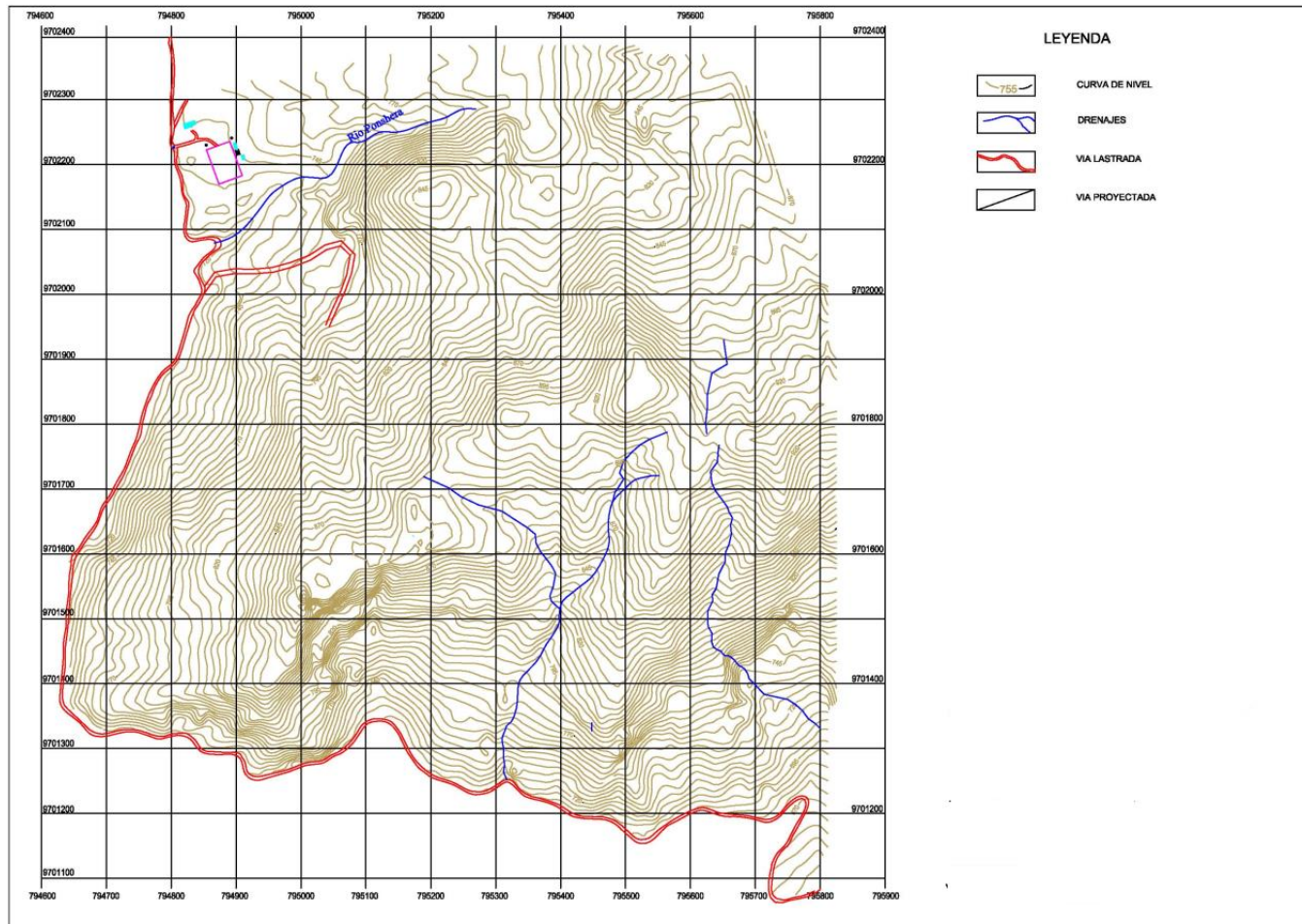


Foto 2: Actualización de topografía con la estación total Sokkia en la cima de Gretha Piedad por el Ing. Pablo Astudillo

En los siguientes anexos se puede observar las siguientes mapas topográficos de cómo estaba en un principio, como se encuentra ahora y cómo va a quedar la cantera con el método de explotación a utilizarse. (**Ver Anexo C2, C3, C4**).

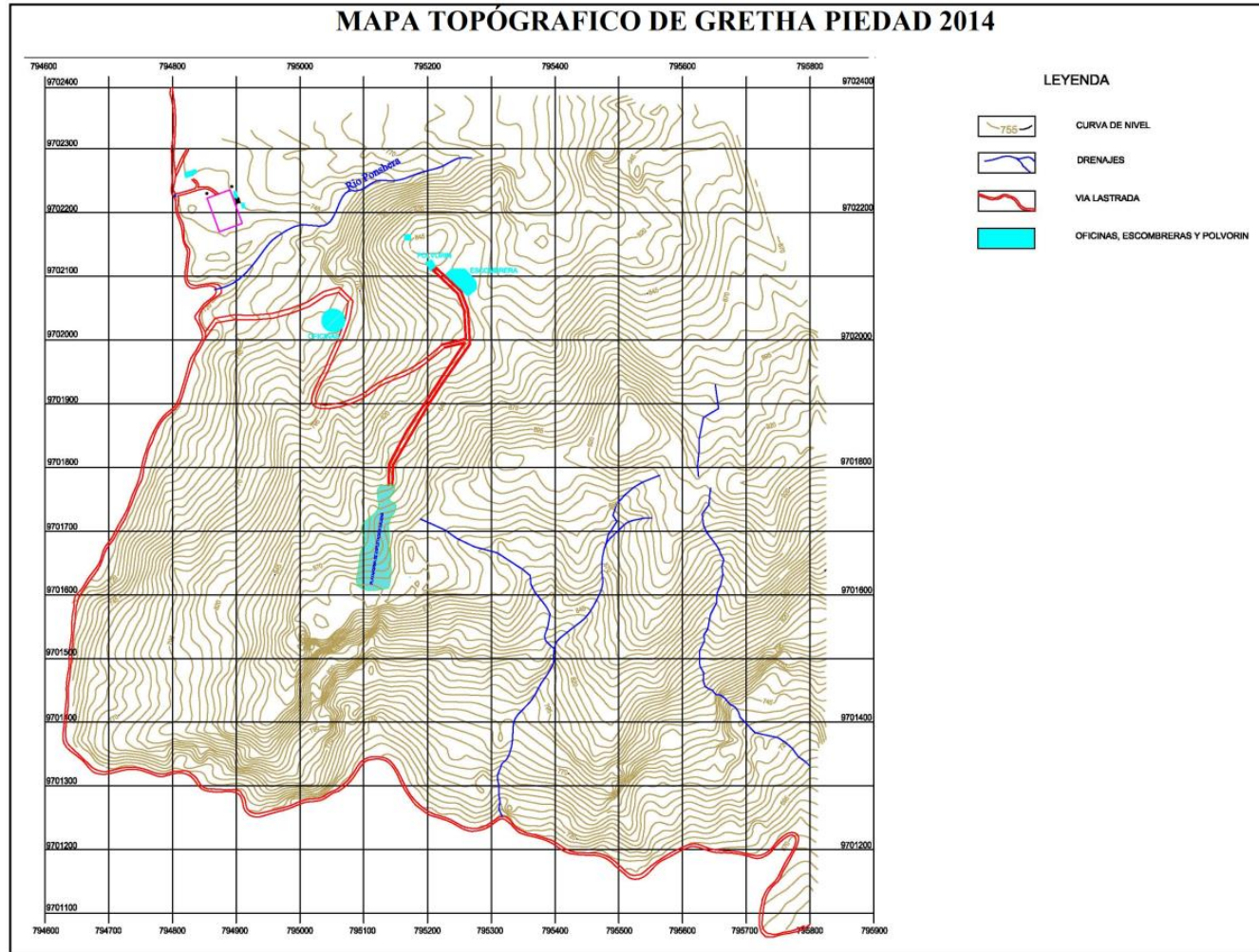
Gráfico 5: Mapa Topográfico de Gretha Piedad en el año 2010

MAPA TOPOGRAFICO GRETHA PIEDAD 2010



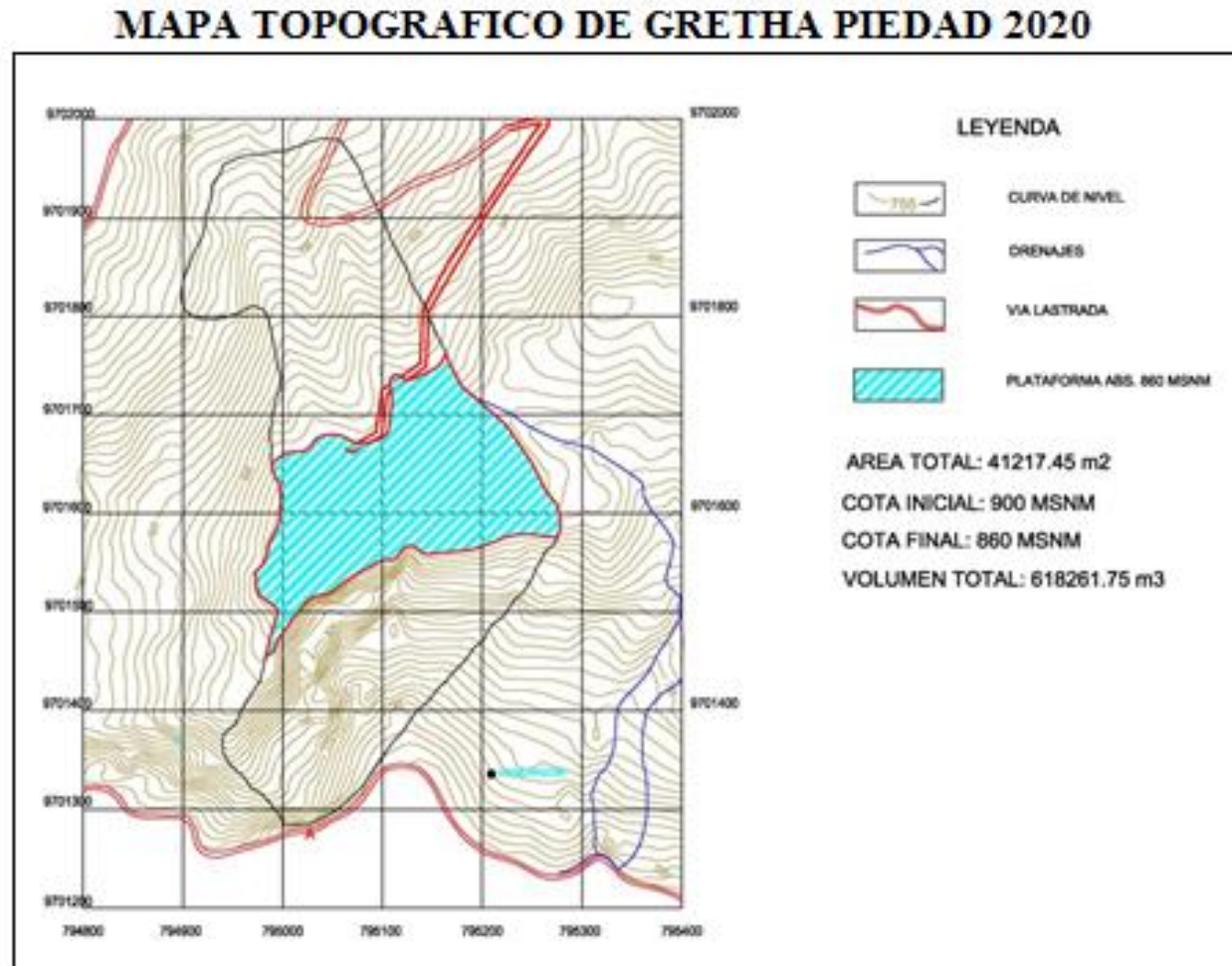
Fuente: Industrias Guapán(2010)Departamento de Geología y Minas

Gráfico 6: Plano Topográfico de Gretha Piedad en el año 2014



Fuente: Industrias Guapán(2014)Departamento de Geología y Minas

Gráfico 7: Plano Topográfico de Gretha Piedad en el año 2020



Elaborado por: Rivadeneira, J. (2015).

4.2 TRABAJOS DE EXPLORACIÓN

Los estudios de prospección de caliza ejecutados por el Ing. Jerry Zurita en Gretha Piedad en el 2007, necesito de la confirmación de estas muestras, por lo que se realizó una comprobación a través de sondeos, sísmicas de refracción, etc., por la empresa Terra-Hidro.

Para la ubicación de las máquinas perforadoras con recuperación de testigos en los diferentes sondeos, se lo realizo en criterio del Geólogo el Ing. Zurita contratado por la empresa Guapán.

Como resultado se obtuvieron 13 perforaciones de diferente profundidad e inclinación, dando como resultado 1148.50 metros perforados, en diferentes partes de la cantera, para determinar la forma interna del yacimiento.

Cuadro 2: Ubicación, diámetro de revestimiento y perforación, inclinación de las perforaciones realizadas por la empresa Terra-Hidro.

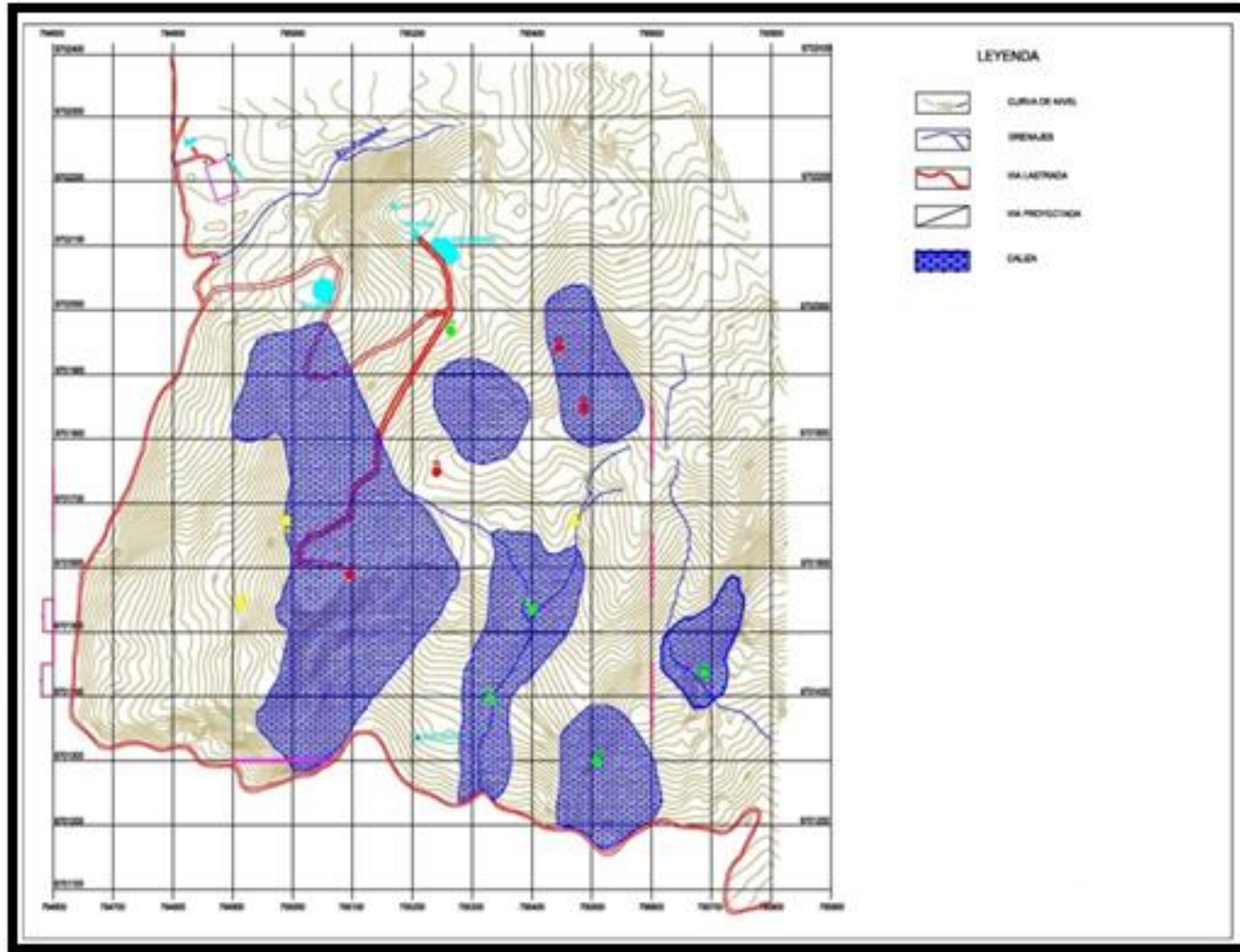
PERFORACIONES															
SONDEOS GRETHA	UBICACIÓN				PROFUNDIDAD DEL REVESTIMIENTO			CANTIDAD DE REVESTIMIENTO m	DIÁMETRO DE PERFORACIÓN						CANTIDAD DE PERFORACIÓN m
	NORTE	ESTE	COTA		HW	NW	NQ		HQ	TOTAL HQ(m)	NQ	TOTAL NQ(m)	BQ	TOTAL BQ (m)	
P 1	9701393	795338	775	Inclinado	0 - 12,00	0 - 51,00		63.00	0 - 52,00	52.00	52,00 - 216,00	164.00	---	0.00	216.00
P 2	9701589	795097	896	Inclinado	0 - 10,70	0 - 51,20	----	61.90	0 - 6,65	6.65	6,65 - 140,30	133.65		0.00	140.30
P 3	9701741	795233	890	Vertical	0 - 7,45	0 - 48,70		56.15	0 - 6,65	6.65	6,65 - 70,00	63.35	---	0.00	70.00
P 4	9701940	795268	833	Vertical	0 - 3,00	0 - 31,70		34.70	0 - 31,70	31.70	31,70 - 41,30	9.60	---	0.00	41.30
P 5	9701934	795437	880	Inclinado	0 - 12,15	0 - 34,65		46.80	0 - 23,20	23.20	23,20 - 56,00	32.80	---	0.00	56.00
P 6	9701840	795480	930	Inclinado	---	---	---	0.00	0 - 49,00	49.00	---	0.00	---	0.00	49.00
P 7	9701683	795504	845	Inclinado	0 - 14,50	0 - 31,60	0 - 70,40	116.50	0 - 25,00	25.00	25,00 - 70,00	45.00	70,00 - 116,30	46.30	116.30
P 8	--	--	--		NO SE PERFORO			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P 9	9701410	795698	825	Inclinado	0 - 16,00	---	---	16.00	0 - 16,20	16.20	0.00	0.00		0.00	16.20
P 10	9701550	794995	880	Vertical	0 - 17,00	0 - 26,18	0 - 73,00	118.30	0 - 26,18	26.18	26,18 - 73,00	46.82	73,00 - 108,80	35.80	108.80
P 11	9701840	795508	940	Vertical	0 - 15,40	0 - 28,30		43.70	0 - 27,00	27.00	27,00 - 84,60	57.60			84.60
P 12	9701536	795448	845	Inclinado	0 - 16,65	0 - 42,15		58.80	0 - 30,00	30.00	30,00 - 117,00	87.00			117.00
P 13	9702105	795038	760	Vertical	0 - 15,00			15.00	0 - 25,00	25.00	25,00 - 33,00	8.00			33.00
P 14	9701722	795598	915	Vertical	0 - 14,40	0 - 36,00		50.40	0 - 36,00	36.00	36,00 - 100,00	64.00			100.00
TOTAL GRETHA PIEDAD:								681.25		354.58		711.82		82.10	1,148.50

Fuente: Terra-Hidro. (2013). *Informe final de exploración Avanzada Gretha Piedad.*



Foto 3: Máquina Perforadora de la Empresa Terra-Hidro en el sondeo P2 en las coordenadas N9701589; E795097 en la cota 896msnm.

Gráfico 8: Plano de ubicación de sondeos



Fuente: Terra-Hidro. (2013). *Informe final de Exploración avanzada Gretha Piedad*

4.3 COMPOSICION QUIMICA –TITULACION

De la información proporcionada de la empresa titular del área minera durante los diferentes estudios realizados en campañas de exploración, se encuentran calizas, con contenido de Carbonato de Calcio apto mediante compósito para el uso como materia en la fabricación de cemento.

La empresa Terra-Hidro mediante los sondeos realizados en el 2012 y 2013 obtuvo los diferentes resultados: Las reservas probadas se lo realizan para dos rangos de titulación de 45% a 77% y mayores a 77%, (Terra-Hidro, 2013) y de los análisis químicos realizados por Industrias Guapán en los informes de exploración del 2012, resume su análisis químico de la siguiente manera: SiO₂ (16,17 %), Al₂O₃ (2,25 %), Fe₂O₃(1,61%), Cao (41,43%), Mago (0,61 %), Na₂O (0,14%), SO₃ (0,24%).

4.4 PERFILES GEOLÓGICOS

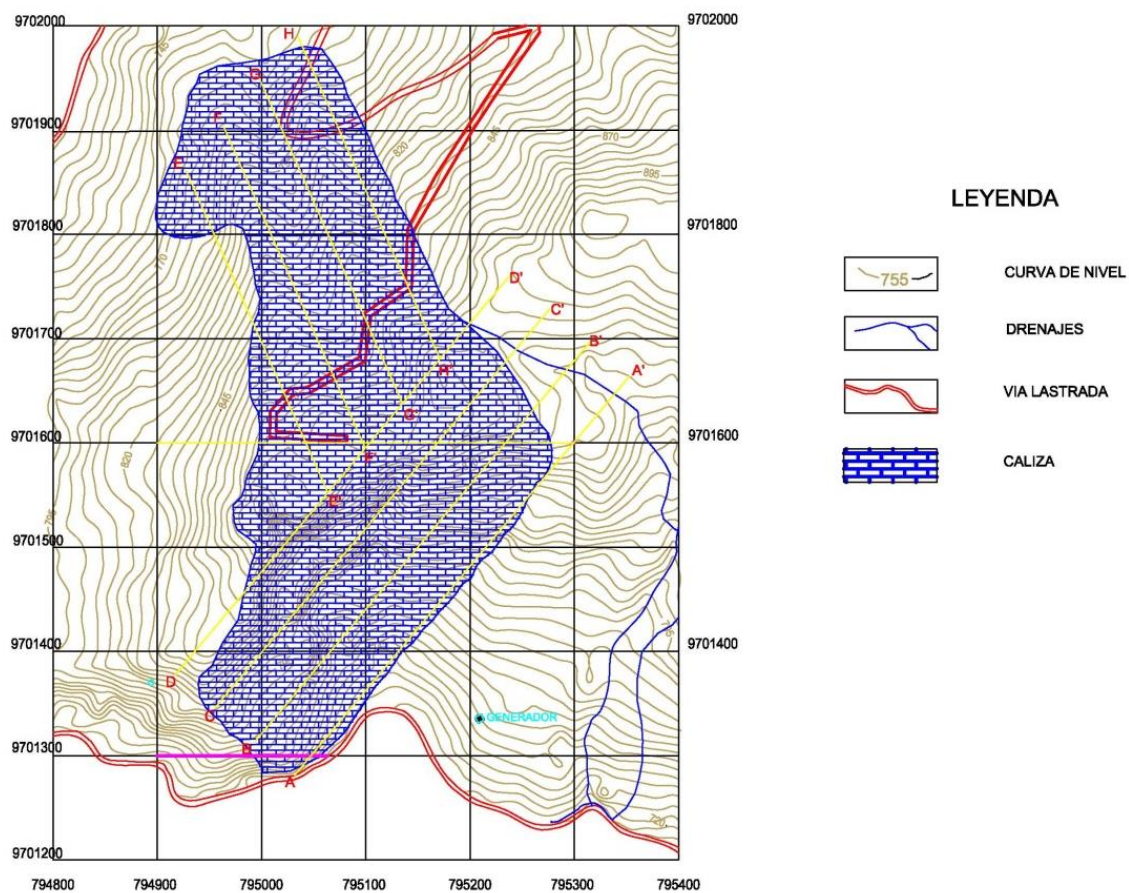
Para la realización del diseño de explotación de caliza de Gretha Piedad a cielo abierto con bancos descendentes, se necesitó de perfiles geológicos del cuerpo calcáreo de mayor dimensión, para calcular la cantidad de sobrecarga, reservas de mineral de conforme a su ley; de tal manera proponer el diseño de explotación más ajustable a los parámetros técnicos mineros particulares del yacimiento.

La ejecución de los perfiles geológicos del área mineralizada se aplicó el método de las isóneas, con una dirección de suroeste-noreste (los perfiles A-A', B-B', C-C', D-D') y de noroeste-sureste(los perfiles E-E', F-F', G-G', H-H') para alcanzar mayor longitud, lo cual nos permitiría una mayor visualización de la geometría del bloque calcáreo.

En el presente grafico se indica los perfiles geológicos, detallados con mayor precisión en los **Anexo C6 y Anexo D.**

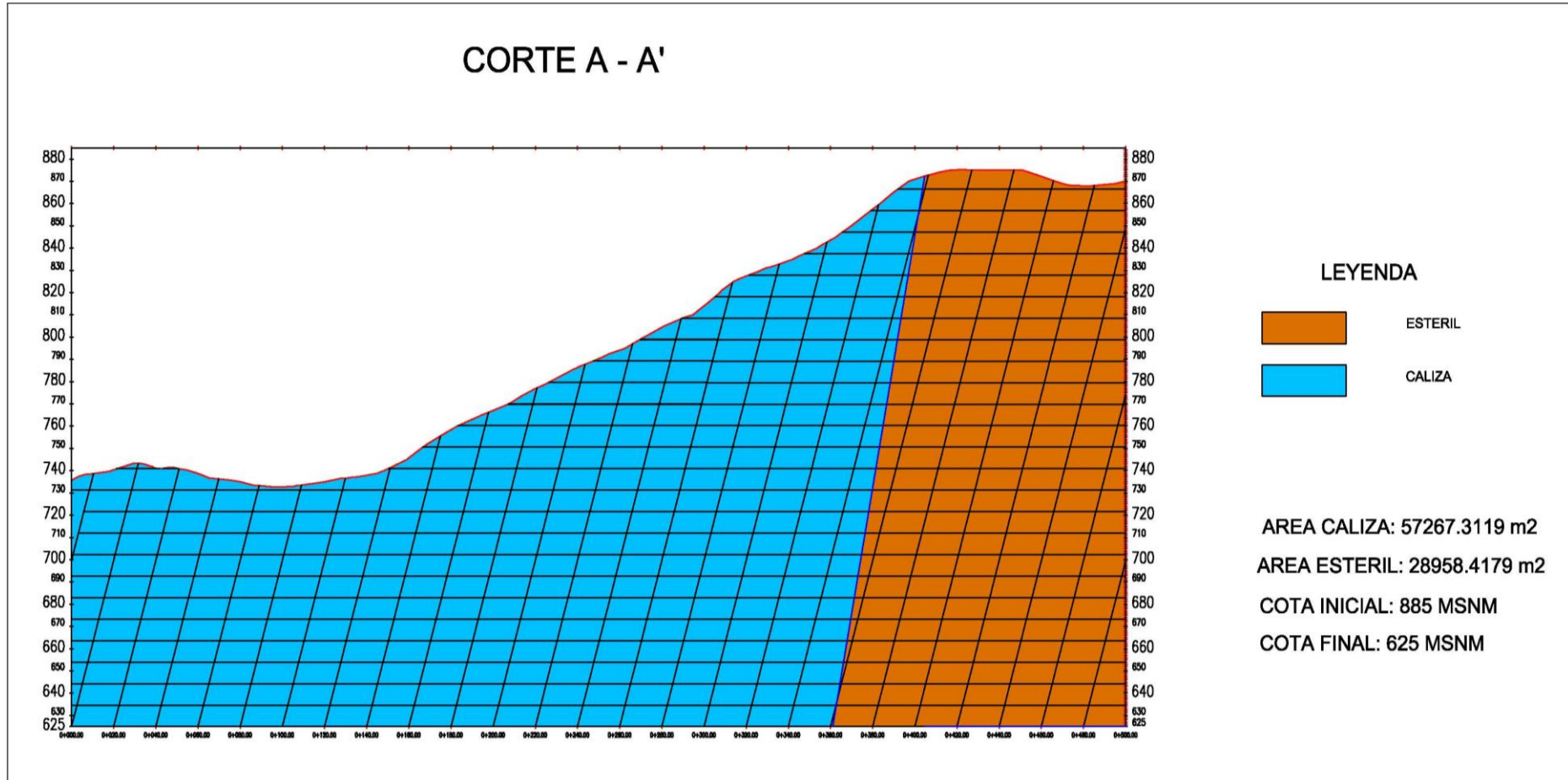
Gráfico 9: Mapa del Cuerpo Mineralizado con Perfiles Geológicos

MAPA DEL CUERPO MINERALIZADO CON PERFILES GEOLOGICOS



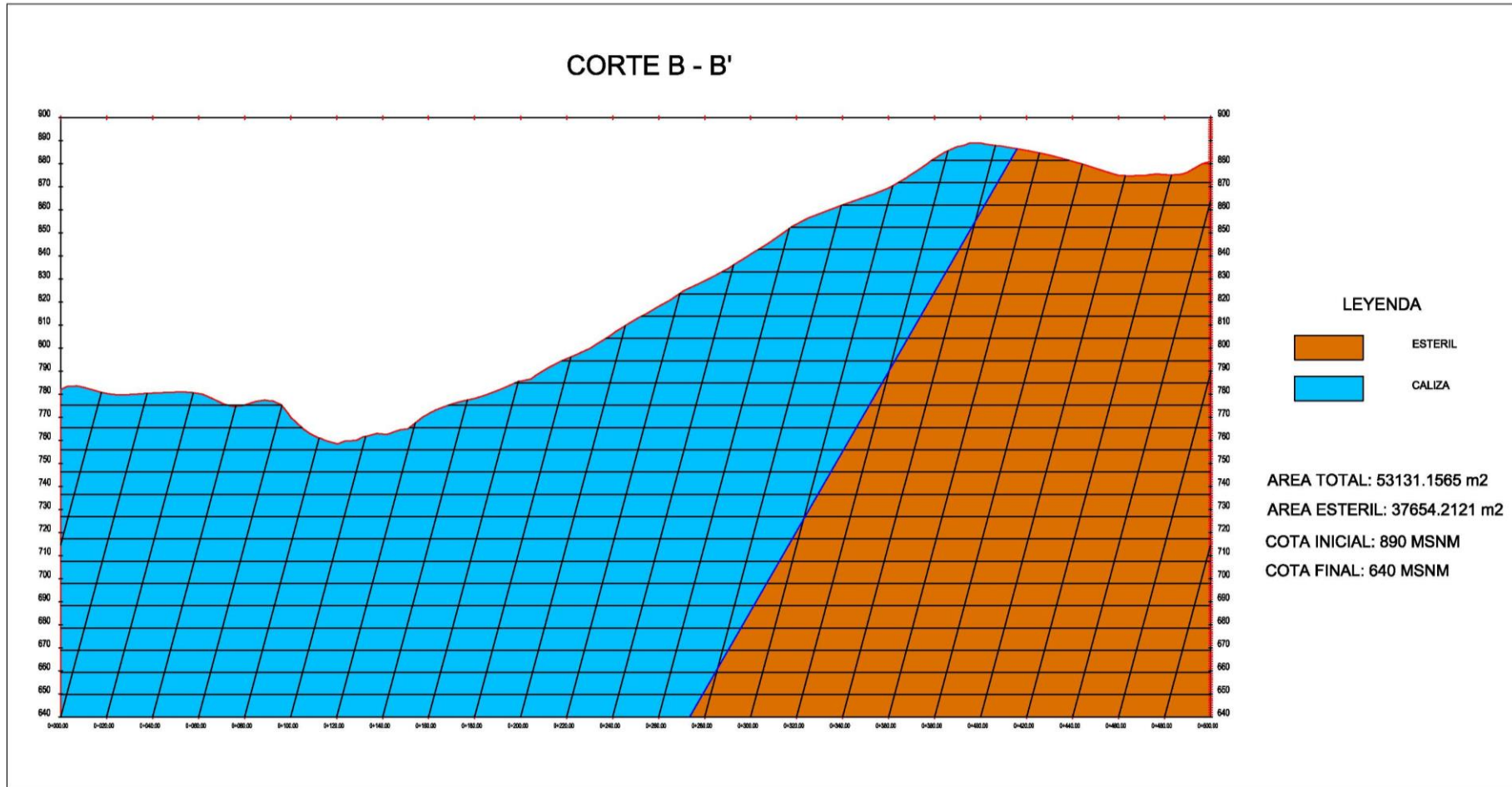
Elaborado por: Rivadeneira, J. (2015). *Mapa Geológico Zurita y Andrade (2007)*

Gráfico 10: Corte A-A':



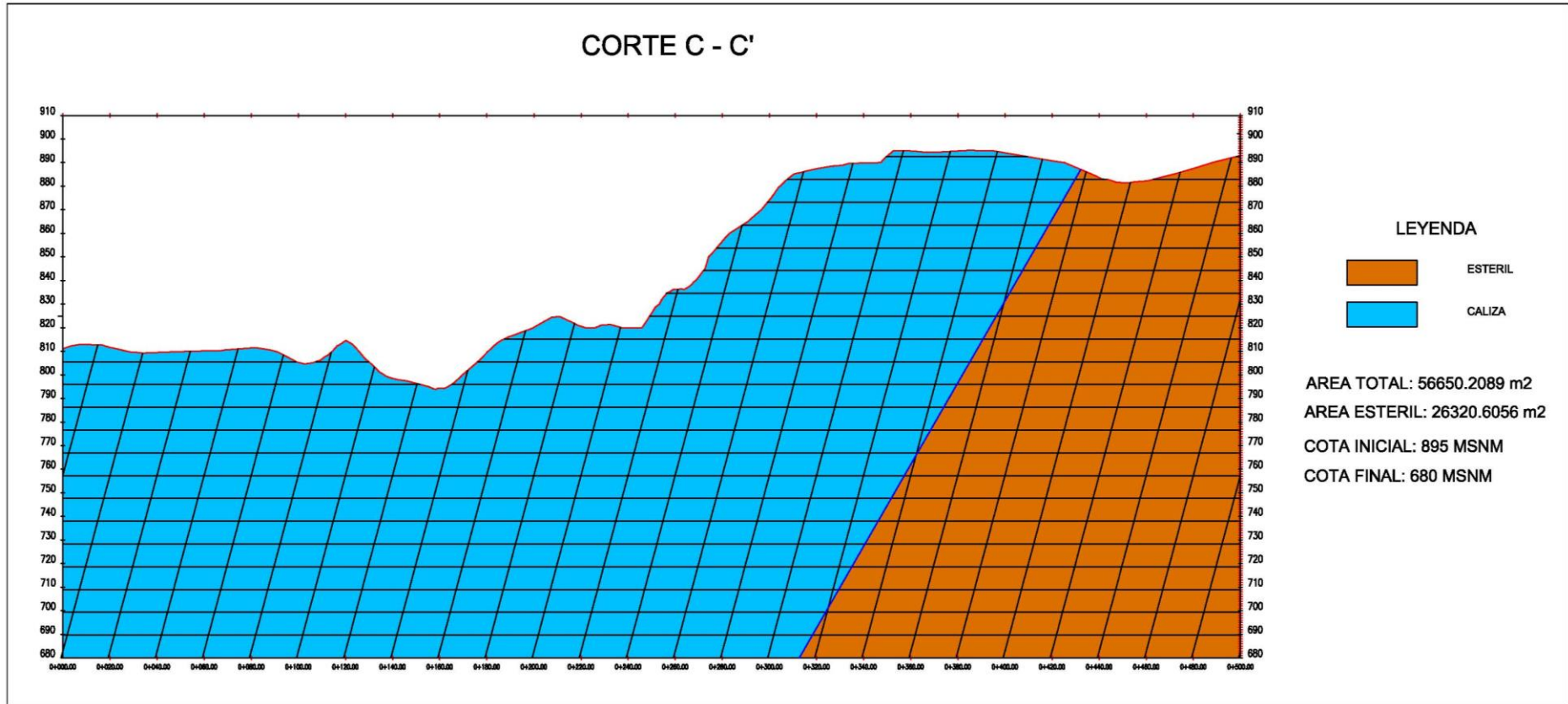
Fuente: Rivadeneira J. (2015)

Gráfico 11: Corte B-B':



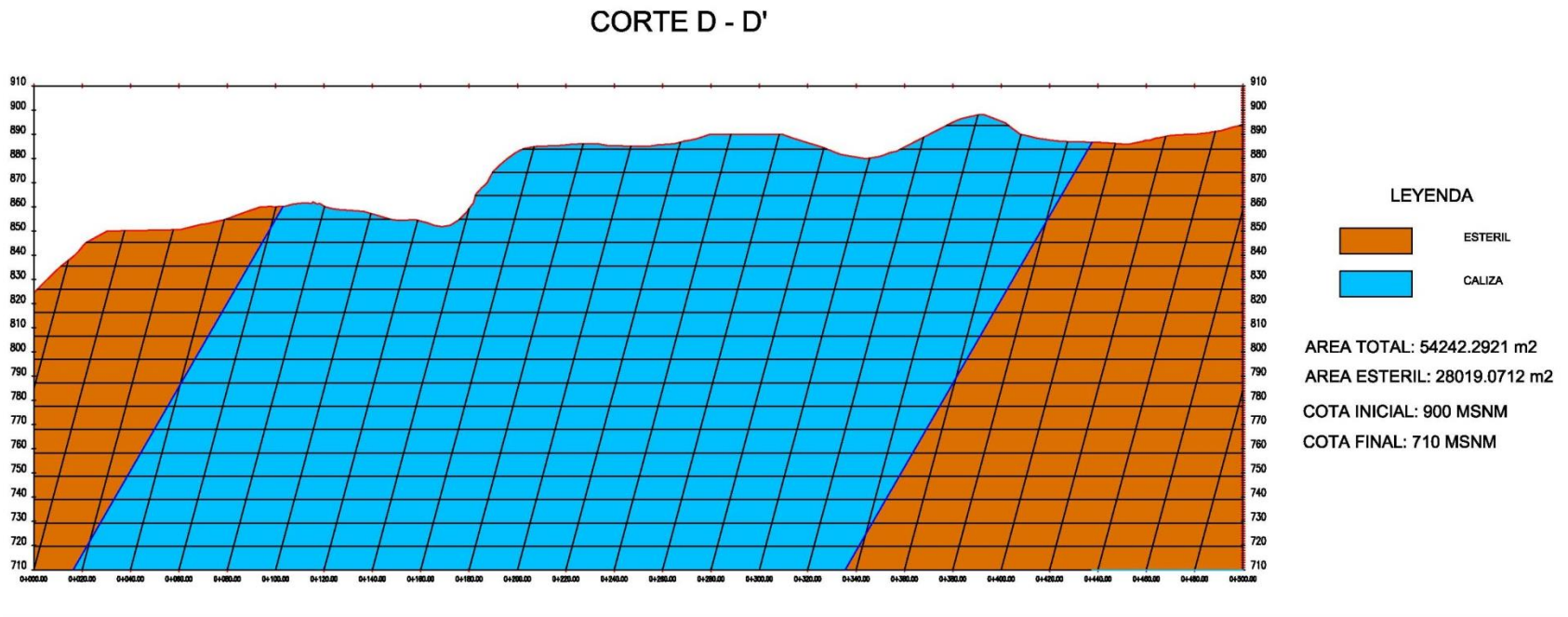
Fuente: Rivadeneira J. (2015)

Gráfico 12: Corte C-C'



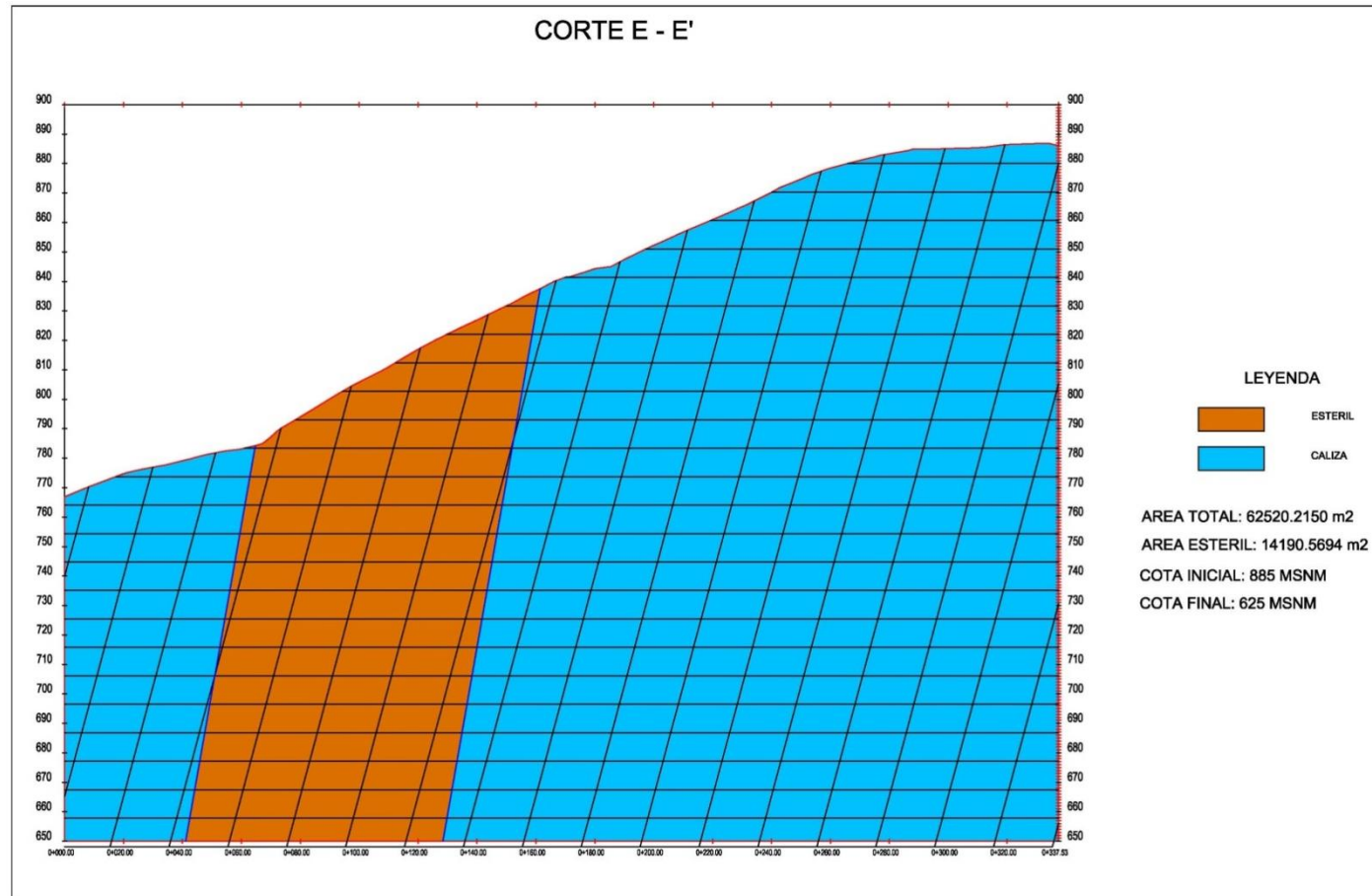
Fuente: Rivadeneira J. (2015)

Gráfico 13: Corte D-D':



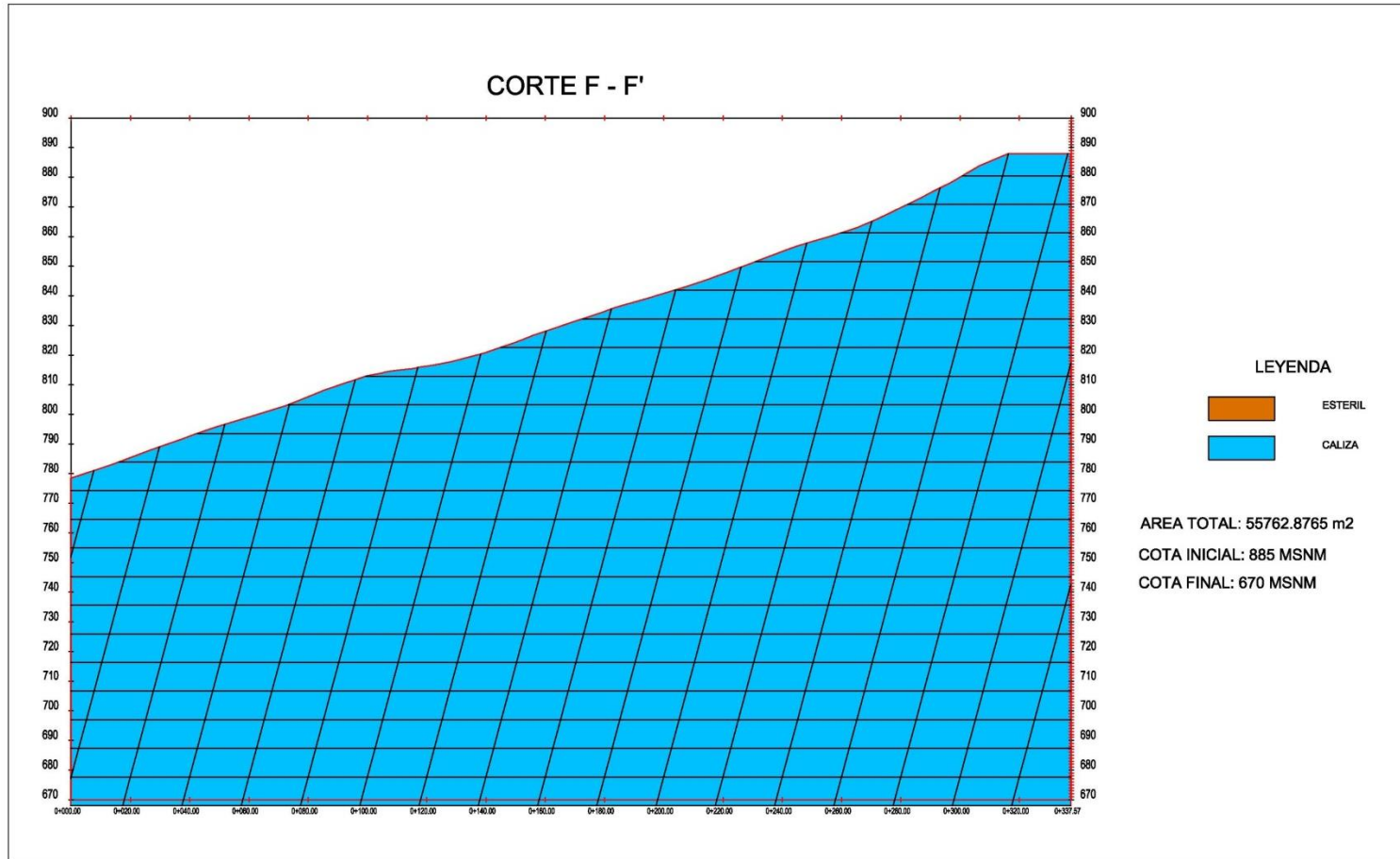
Fuente: Rivadeneira J. (2015)

Gráfico 14: Corte E-E':



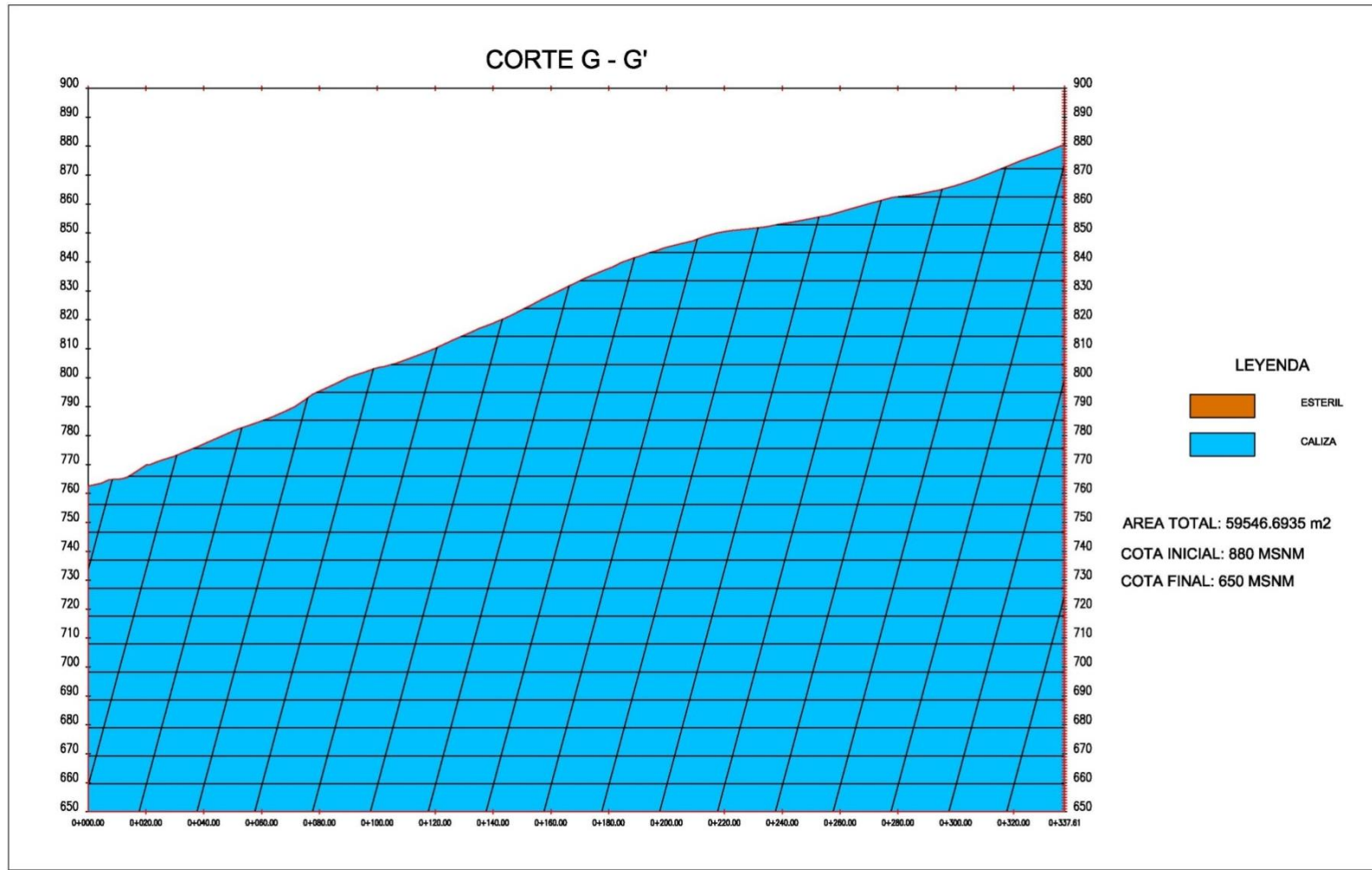
Fuente: Rivadeneira J.(2015)

Gráfico 15: Corte F-F'



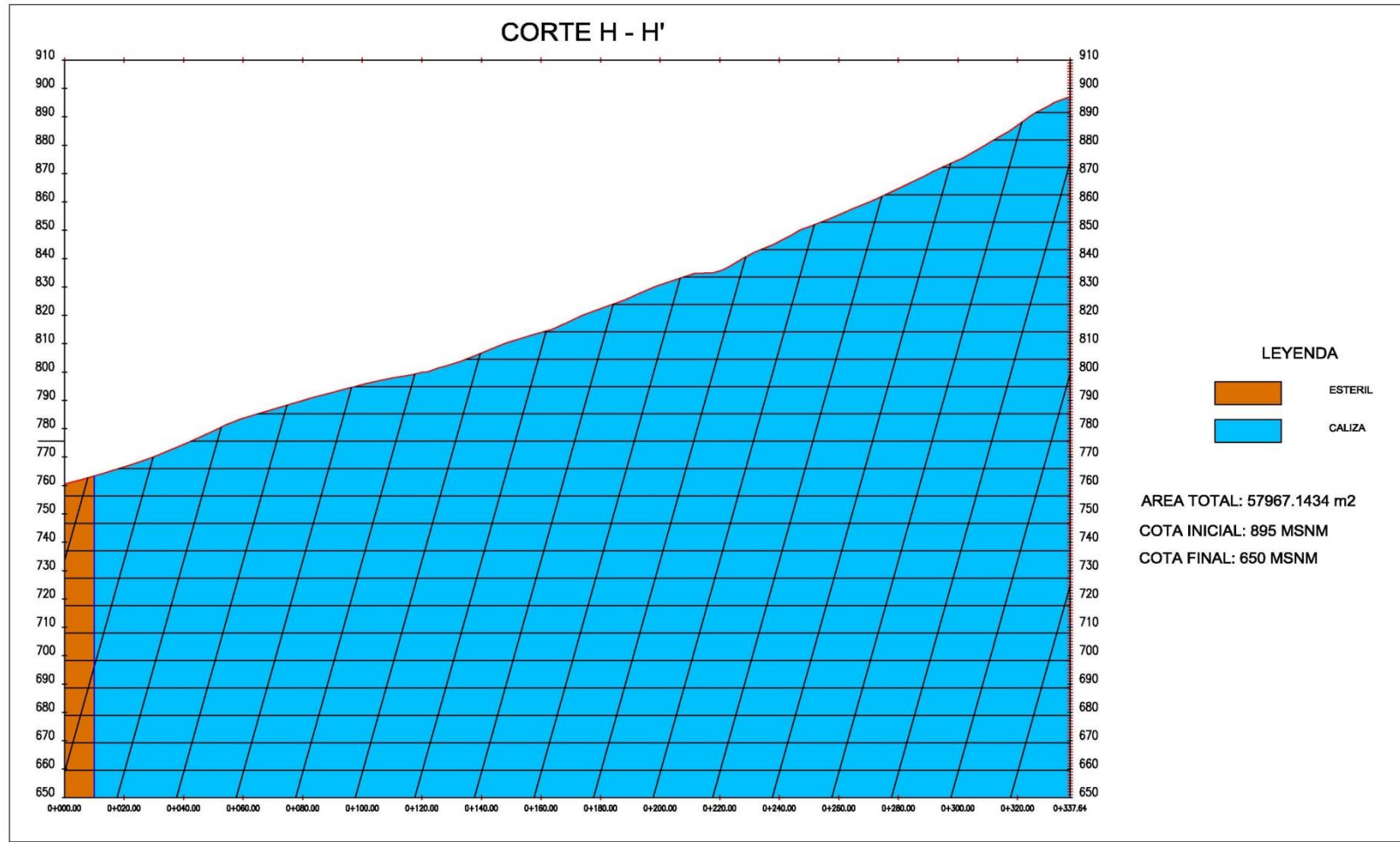
Fuente: Rivadeneira J.(2015)

Gráfico 16: Corte G-G'



Fuente: Rivadeneira J. (2015)

Gráfico 17: Corte H-H'



Fuente: Rivadeneira J. (2015)

4.5 POTENCIA DE SOBRECARGA

Para determinar el material estéril del yacimiento se consideró un área de 280.000 m², donde se realizaron 8 los cortes geológicos, de los cuales 4 que tienen una dirección noroeste-sureste y los demás perfiles restantes tiene una orientación de noreste-suroeste, a una distancia de 50m de perfil a perfil.

Para el cálculo se utilizó el método de los perfiles para el grupo A (A-A'; B-B'; C-C'; D-D') y el grupo B (E-E'; F-F'; G-G'; H-H'), con su respectiva formula:

potencia de sobrecarga

$$= \frac{1}{2} \{ (s_0 + s_1)50 + (s_1 + s_2)50 + (s_2 + s_3)50 + (s_3 + s_4)50 + (s_4 + s_0)50 \}$$

Reemplazando valores tenemos;

potencia de sobrecarga grupo A

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \{ (0 + 28.958,4179)50 + (28.958,4179 + 37.654,2121)50 \\ &+ (37.654,2121 + 26.320.6056)50 \\ &+ (26.320.6056 + 28.019,0712)50 + (28.019,0712 + 0)50 \} \\ &= \mathbf{6'047.615,34 m^3} \end{aligned}$$

potencia de sobrecarga grupo B

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \{ (0 + 14.190,5694)50 + (14.190,5694 + 0)50 + (0 + 0)50 \\ &+ (0 + 1.118,9054)50 + (1.118,9054 + 0)50 \} = \mathbf{765.473,74m^3} \end{aligned}$$

Sumando el volumen de los grupos A y B se obtiene un valor estimado de: **6'813.089,08 m³** de material estéril ó **14'307.487,07 toneladas**.

4.6 CÁLCULO DE RESERVAS

Para realizar el cálculo de reserva se utilizó el método de los perfiles, donde se realizaron 8 cortes de orientación noroeste-sureste y noreste-suroeste, a una distancia de 50m de perfil a perfil, en el cuerpo mineralizado. Se consideró como cota mínima

630m y como cota máxima la de 900m, obteniéndose un resultado estimado de 52'565.108,2 toneladas de reservas probadas mediante este método.

Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

Reservas Probadas grupo A y B

$$= \frac{1}{2} \{ (s_0 + s_1)50 + (s_1 + s_2)50 + (s_2 + s_3)50 + (s_3 + s_4)50 + (s_4 + s_0)50 \}$$

Reservas Probadas grupo A

$$= \frac{1}{2} \{ (0 + 57.267,3119)50 + (57.267,3119 + 53.131,1565)50 + (53.131,1565 + 56.650,2089)50 + (56.650,2089 + 54.242,2921)50 + (54.242,2921 + 0)50 \}$$

$$= \mathbf{11'064.548,5m^3}$$

Reservas Probadas grupo grupo B

$$= \frac{1}{2} \{ (0 + 62.520,2150)50 + (62.520,2150 + 55.762,8765)50 + (55.762,8765 + 59.546,6935)50 + (59.546,6935 + 57.967,1434)50 + (57.967,1434 + 0)50 \}$$

$$= \mathbf{11'789.846,4m^3}$$

Sumando los resultados tenemos: **22'854.394,90 m³ o 52'565.108,20Ton** de reserva de caliza.

4.7 RELACIÓN SOBRE CARGA -MINERAL

La superficie media de cada una de los perfiles se multiplica por la distancia entre perfiles para obtener el volumen de dicha área, este resultado a su vez va multiplicado por el peso específico para la caliza de Gretha Piedad según pruebas de laboratorio el peso específico es de 2,3 ton/m³ obteniendo el peso en toneladas.

La relación sobrecarga mineral en la concesión es de 0,35 - 1

V. DISEÑO DE EXPLOTACION

5.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE EXPLOTACIÓN

Realizado los cálculos correspondientes se analizó el método óptimo para un diseño de explotación, considerando las características topográficas, morfológicas, los factores mineros, geológicos y químicos del yacimiento. El mismo que debe asegurar el volumen requerido de caliza para la planta de manera eficiente, segura y económica, ejerciendo el menor impacto negativo posible al ambiente.

Sus parámetros de explotación deben prestar la suficiente seguridad en la operación a fin de que las labores mineras no pongan en peligro los equipos, la seguridad de la zona y principalmente se proteja la salud de los trabajadores y comunidad.

En conclusión el diseño de explotación se basará en los factores geométricos, geo-mecánicas, operativos y ambientales.

Este criterio se fundamentó en los Profesores Regueiro, M. y González-Barros de su publicación **EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE ROCAS ORNAMENTALES**.

5.2 FACTORES GEOMÉTRICOS

En el área Gretha Piedad el cuerpo mineral de caliza es de tipo Stoks o masivos, tiene un dimensionamiento de 704m de largo norte a sur, ancho de 300m de este a oeste, abarcando una superficie de 137.309,061 m² aproximadamente, y su profundidad variable debido a su ley de concentración de carbonatos y a la topografía que presenta el afloramiento; su forma es irregular, casi triangular, presentando una estratificación con un buzamiento de 70° NW.

En los diferentes sondeos se pudo observar ciertas partes de arcillas en pequeñas capas, lutitas, lutitas con vetillas de carbonatos, calizas de color gris, sus fracturas presentan calcitas, etc., el porcentaje de titulación según el informe de la Empresa

Terra- Hidro, en los resultados de modelación, ratifican los datos obtenidos durante las observaciones y descripción manual visual de las muestras, en casi todas las perforaciones obtenemos que la presencia de lutitas con bajo contenido de carbonatos con niveles pequeños de caliza los títulos son del orden de 30% a 56%, hasta profundidades entre 50 a 65 m, luego cambia la secuencia aumenta la presencia de niveles de caliza y disminuye la lutita, con una particularidad que las lutitas en estas tramos se encuentran más enriquecidas de carbonatos. Los análisis de las muestras corroboran lo dicho, ya que la titulación a partir de los 65 m. de profundidad sube a valores sobre 70% llegando en ciertos tramos a valores del 80%.

Cuadro 3: Resumen del factor Geométrico

Longitud del cuerpo	704 m
Ancho del cuerpo	300 m con intercalaciones
Profundidad del cuerpo	Variable dependiendo a la concentración química
Buzamiento de las capas	70NW
Forma del afloramiento	Stoks: Irregular -triangular

Elaborado por: Rivadeneira, J. (2015)

5.3 FACTORES GEOMECÁNICOS

El mineral a extraer en la cantera Gretha Piedad para la elaboración del Clinker, es caliza; que mediante sus trabajos de arranque se obtendrá diferente tamaño de roca, por lo que es importante analizar las propiedades físico mecánicas de la misma, para establecer una malla de perforación y voladura adecuada, por lo que es preciso determinar algunos parámetros Geo-mecánicas de la caliza.

5.3.1 Peso Específico

Se denomina peso específico al peso de la parte dura de la unidad de volumen

$$\rho = \frac{G}{V} = g/cm^3$$

P= peso específico gr/cm^3

G=peso de la muestra dura de la muestra en gramos

V= volumen de la parte dura de la muestra

En la actualidad para obtener el peso específico de la caliza nos referenciamos en tablas donde con anterioridad se ha realizado su respectivo cálculo de laboratorio, teniendo como resultado **2,7 gr/cm^3** para la caliza compacta.

5.3.2 Densidad

Para determinación de densidad, se lo realiza mediante ensayos de laboratorio, con un muestreo aleatorio dando un valor de g/cm^3 , la relación de la masa sobre el volumen; para obtenerse de forma indirecta, se mide la masa y el volumen por separado y posteriormente se calcula la densidad. La masa se mide habitualmente con una balanza mientras que el volumen puede medirse determinado la forma del objeto y midiendo las dimensiones apropiadas o mediante el desplazamiento de un líquido a utilizarse en el laboratorio. **(Ver cuadro 4)**

Y la formula a utilizarse es:

$$\delta = \frac{m}{v} = \text{g/cm}^3$$

Donde

δ = densidad

m= masa

v= volumen

$$\delta = \frac{2,7\text{g}}{1,17\text{cm}^3} = 2.3\text{g/cm}^3$$

5.3.3 Porosidad

Para la determinación de la porosidad se lo realiza mediante toma de muestras del frente de explotación de manera aleatoriamente dando el resultado de %. La porosidad de un suelo viene dada por el porcentaje de huecos existentes en el mismo frente al volumen total. **(Ver cuadro 4)**

A efectos prácticos se calcula a partir de las densidades aparente y real de la roca:

$$P = \frac{S - S_a}{S} * 100\%$$

Dónde:

P = porosidad en porcentaje del volumen total de la muestra;

S = densidad real de la roca.

Sa = densidad aparente de la roca

$$P = \frac{2,7 - 2,53}{2,7} * 100\% = \mathbf{6,3\%}$$

5.3.4 Esponjamiento

Es una propiedad de las rocas que su volumen aumenta después de la titulación o arranque de la roca. Basado en Swell.

$$Ke = \frac{Ve}{V} =$$

Ke= coeficiente de esponjamiento

Ve= volumen de la roca después del arranque

V= volumen de la roca

Otro de los casos se puede determinar con la siguiente formula:

$$Ke = \frac{\delta e}{\delta} =$$

Ke = coeficiente de esponjamiento

Se= densidad de la roca después del arranque

S= densidad de la roca

Reemplazando datos tenemos:

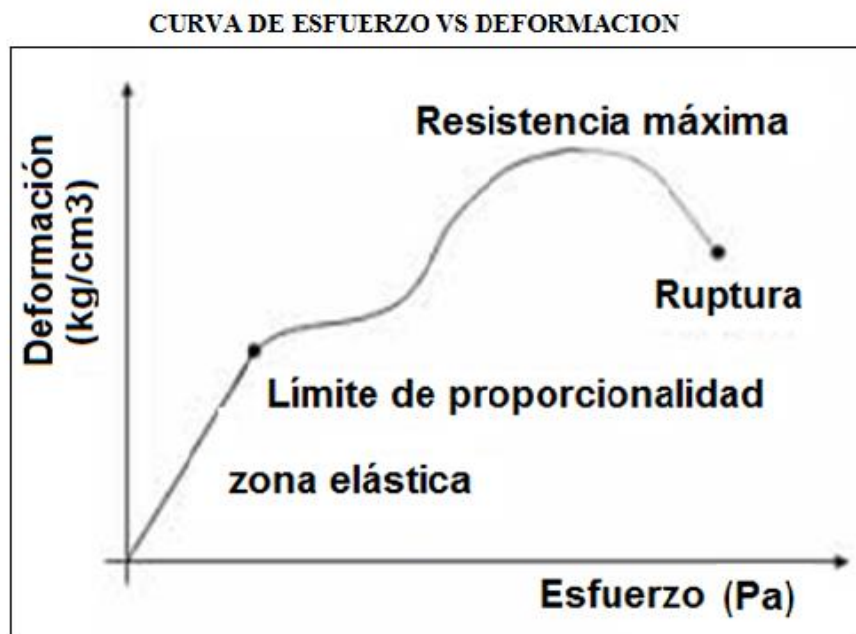
$$Ke = \frac{1,54}{2,61} = \mathbf{0,59}$$

Determinado en laboratorio de la empresa.

5.3.5 Resistencia a la Compresión Simple

Para determinar la resistencia a la compresión simple se realizó un ensayo tomando una muestra de campo inalterada se labra los cilindros buscando el diámetro de estos sean de 3.3cm y la altura de 2 a 2.5 veces el diámetro, esta se le pesa y se le mide toda la muestra y se realiza un registro , luego a esta se le coloca en una prensa, se coloca la aplicación de la carga y deformación correspondiente cada 15 segundos, hasta que el espécimen falle, luego se realiza el cálculo de registros donde se realiza después un gráfico de deformación y esfuerzo. /cm². (Ver cuadro 4.)

Gráfico 18: Curva de Esfuerzo vs deformación



Elaborado por: Rivadeneira, J. (2015)

5.3.6 Angulo de Fricción Interna

Es la resistencia al deslizamiento causado por la fricción que hay entre las superficies de contacto de las partículas y de su densidad. Como los suelos granulares tienen superficies de contacto mayores y sus partículas, especialmente si son angulares, presentan un buen vínculo, tendrán fricciones internas altas. En cambio, los suelos finos las tendrán bajas.

La fricción interna de un suelo, está definida por el ángulo cuya tangente es la relación entre la fuerza que resiste el deslizamiento, a lo largo de un plano, y la fuerza normal "p" aplicada a dicho plano. Los valores de este ángulo llamada "ángulo de fricción interna" f, varían de prácticamente 0° para arcillas plásticas, cuya consistencia este próxima a su límite líquido, hasta 45° o más, para gravas y arenas secas, compactas y de partículas angulares. Generalmente, el ángulo f para arenas es alrededor de 30°. En cuanto a las calizas de la zona se determinó según ensayos en el laboratorio que el ángulo de fricción interna es de 40°. (Ver cuadro 4)

5.3.7 Absorción de Agua

Absorción se denomina a la cantidad de agua que puede contener una roca dependiendo de las propiedades y condiciones geológicas estas pueden ser:

- **Higroscópicas:** se denomina a la cantidad de humedad que puede absorber una roca de la atmosfera, dependiendo, de la superficie libre de la roca y del tamaño de partículas que tiene la roca.
- **Capilar:** cantidad de humedad que tiene a roca en forma de agua capilar libre dependiendo de la dimensión del tamaño de los poros y de la disposición libre de la roca
- **Absorción total:** Se denomina a la cantidad máxima de agua que puede contener una roca, está en los espacio de los poros llenos de agua.

Para la determinación de la humedad se realiza el siguiente proceso se coloca al crisol en el horno a una temperatura de 105°C por 30 minutos, se lo saca del horno y se lo coloca en el desecador por una media hora, se lo pesa, se coloca 5 gramos de muestra triturada en el crisol se lo pesa y se lo lleva al horno por 2 horas a una temperatura de 105°C, luego se coloca en el desecador por media hora para que se enfríe a una temperatura ambiente, luego se pesa la muestra seca, se realiza el cálculo correspondiente.

$$W = \frac{m1 - m2}{m1} * 100$$

Donde;

W= humedad

M₁=masa de muestra recién extraída

M₂=masa de muestra después de estar en la estufa

Teniendo un resultado de 0.52% de absorción del agua. (**Ver cuadro 4**)

$$W = \frac{25,1 - 24,97}{25,1} * 100 = \mathbf{0,52\%}$$

Resumiéndose lo descrito anterior tenemos la siguiente tabla:

Cuadro 4: Resumen de factores Físico-Mecánicas de la caliza.

PROPIEDAD DE CALIZA	VALOR	UNIDAD
Densidad	2.3	gr/cm ³
Porosidad (%)	6.3	%
Peso específico	2.7	Gr/cm ³
Resistencia a la compresión simple	424.25	Kg/cm ²
Esponjamiento	0,59	
Angulo e fricción interna	40	°
Absorción de agua	0.52	%
Coefficiente de Protodiakonov	4	-

Fuente: Industrias Guapán, 2010

5.4 FACTORES OPERATIVOS

5.4.1 Método de Explotación

De acuerdo a los estudios geológicos exploratorios, a la topografía y las condiciones físicas mecánicas y de laboratorio presentes en el afloramiento, el método más apropiado para la explotación es a cielo abierto, mediante la utilización de bancos descendentes, debido que durante la fase de exploración avanzada se realizó el destape de afloramientos se descubrió lateralmente el depósito en una de sus caras (cara sur).

Para la realización de esta actividad se utilizara el equipo pesado que tiene la empresa reduciendo el costo de inversión inicial.

A continuación se realizara un estudio breve de los factores operativos para bancos ascendentes.

5.4.2 Profundidad límite de la cantera (H)

Para establecer la profundidad de la explotación de caliza, se consideró el mapa geológico, donde se representa un cuerpo de mayor importancia, en el cual, a través de los cortes geológicos transversales se observó que el afloramiento aumenta en profundidad, además basándonos en la titulación de las perforación y la visibilidad del cuerpo aflorante en la cara sur, se estableció como límite de la cantera la cota de 755, que sería la cota inferior y la cota superior la de 885.

$$**H_{total} = H_s - H_i**$$

$$H_{total} = 885 - 755$$

$$H_{total} = \mathbf{130}$$

5.4.3 Altura Del Banco

La altura del banco se establece, generalmente a partir de las dimensiones de los equipos de excavación y carga, de las características del macizo rocoso, factores geométricos y Geomecánicas, además de las exigencias de selectividad de la explotación y seguridad en los trabajos mineros.

Sin embargo, la experiencia en el sector de las canteras se acude a alturas de banco comprendidas entre 10 y 20 m.

Las alturas de banco mayores tienen, a pesar de sus inconvenientes, las siguientes ventajas:

- Mayor rendimiento de la perforación evitando cambio de posición .por los tiempos muertos, por lo que se debe considerar el buzamiento.

- Una geometría de voladura óptima, dentro de la tendencia actual hacia mayores diámetros de perforación.
- Mejora de los rendimientos de los equipos de carga al reducirse los tiempos muertos por cambio de tajo, así como por desplazamientos del equipo dentro del mismo.
- Menor número de bancos y, por tanto, mayor concentración y eficiencia de la maquinaria.

Además este parámetro se lo estableció tomando en consideración lo determinado en las cuadros experimentales, que recomiendan, que para este tipo de material sea aconsejable una altura de 10 a 15 m. con un ángulo de banco de 75° , considerando el coeficiente de resistencia según Protodiakonov (f) como 4 según estudios realizados en ensayos. (**Ver cuadro 5**).

Cuadro 5: Ángulo Para Taludes en Trabajo y en Receso de Canteras en Función del Coeficiente de Protodiakonov.

GRUPO DE ROCAS	CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO	ALTURA DE UN BANCO EN TRABAJO (m)	ÁNGULO DE TALUD DE LOS BANCOS. (°)			
			EN TRABAJO	EN RECESO		
				PARA UN BANCO	PARA 2-3 UNIDADES	
Rocas Peñascosas. $\sigma_{comp} = 8 \times 10^7 \text{ Pa}$ $f > 8$.	rocas altamente resistentes, sedimentarias, metamórficas y efusivas	15-20	HASTA 90°	70-75°	65-70°	
	rocas resistentes poco fracturadas y débilmente meteorizadas, sedimentarias, metamórficas y efusivas	15-20	HASTA 80°	60-75°	55-60°	
	rocas resistentes, fracturadas y débilmente meteorizadas, sedimentarias, metamórficas y efusivas	15-20	HASTA 75°	55-60°	50-55°	
ROCAS POCO RESISTENTES, PEÑASCOSAS Y SEMIPEÑASCOSAS	$f > 8$	rocas sedimentarias, metamórficas y efusivas de la zona meteorizada, calizas relativamente estables en los taludes, areniscas, alebrolitas y otras rocas sedimentarias con cemento silíceo,	10.-15	70-75°	50-55°	45-50°
	$1 > f < 8$	conglomerados, gneis, porfiritas, granitos y tobas				
	$1 > f < 8$	rocas sedimentarias, metamórficas y efusivas altamente meteorizadas todas las rocas intensamente meteorizadas en los taludes (argilitas, alebrolitas y esquistos)	10-15°	60-70°	35-45°	35-40°
rocas suaves y granuladas (pulverulentas) $f < 1$		rocas arcillosas así como también todas las rocas totalmente desintegradas (descompuestas)	10-15°	50-60°	40-45°	35-40°
		rocas arcillo arenosas	10-15°	40-50°	35-45°	30-40°
		rocas gravo- arenosas	10-15°	hasta 40°	30-40°	25-35°

Fuente: Tecnología de Explotación de Minerales duros por el Método a Cielo Abierto del Dr. PhD Ing. Galo Humberto Sosa González

Para realizar el cálculo para este diseño se consideró la siguiente fórmula obtenida en una capacitación por **Explocen** en marzo del 2015:

$$H = 60 \times D / 1000$$

Donde;

H = Altura de banco (mts.)

D = Diámetro de Barrenación (mm)

$$H = 60 \times 89 / 1000$$

$$H = 5.34 \text{ m}$$

El resultado se comparó con la tabla cuadro 6 donde se estableció optimizar la altura del banco a 10 m.

5.4.4 Número de bancos

El número de bancos está establecido por la fórmula:

$$N_{bancos} = \frac{H}{hb}$$

Dónde:

H= Altura de Cantera

Hb= Altura de banco

$$N_{bancos} = \frac{130}{10}$$

$$N_{bancos} = 13$$

5.4.5 Angulo de talud del banco (Ø)

El ángulo de talud del banco se lo ha determinado sobre la base del tipo de material en la zona de interés (calizas), utilizando para este fin cuadros experimentales que recomiendan los valores más aconsejables para estos casos, valores que garantizan la estabilidad y seguridad, tanto para los trabajadores, personal técnico y la maquinaria empleada en el arranque, carga y transporte de material.

Este valor se lo determina usando la siguiente fórmula obtenida en el “Curso de explotación de canteras” dictada por AIME:

$$\emptyset = \arctg \times f$$

Dónde

\emptyset = Ángulo del talud.

f = Coeficiente de Protodiakonov, (Ver Cuadro 7)

Reemplazando la formula tendremos:

$$\emptyset = \arctg \times f$$

$$\emptyset = \arctg 4$$

$$\emptyset = 75.96$$

Obtenido el resultado se comparó con el cuadro 6 donde se hace relación del ángulo de talud con la altura, estableciéndose que en ángulo del talud será de 75°

5.4.6 Ancho de plataformas de trabajo y receso

Para calcular el ancho de la plataforma de trabajo nos serviremos de la ecuación obtenida del EIA (2010):

$$A_{plataforma} = A + C + V + B$$

Siendo:

A= espacio de amontonamiento

C= espacio para construcción de cunetas de desagüe

V= ancho de carriles de transporte

B= berma de seguridad

El espacio de amontonamiento se calcula con la expresión:

$$A = h_b \times k_v \times k_b \times \sqrt{q_{pr}}$$

Siendo:

H_b altura del banco (10m)

K_v coeficiente de volubilidad de las rocas (1.2)

K_b coeficiente de trabajo de la sustancia explosiva (1.125)

Q_{pr} gasto específico proyectado

Se lo calcula de la siguiente expresión:

$$Q_{pr} = Q \times k_{se} \times k_t \times k_f \times k_{cd} \times k_v \times k_{cl}$$

Donde,

Q = coeficiente de carga se lo calcula con la siguiente expresión:

$$Q = 0.2(R_{comp} + R_{ciz} + R_{tracc}) + 2\gamma$$

Donde,

R_{comp} = resistencia a la compresión de la roca

R_{ciz} = resistencia al cizallamiento de la roca

R_{tracc} = resistencia a la tracción de la roca

γ = peso volumétrico

Reemplazando tenemos;

$$Q = 0.2(424,25 + 42 + 60.44) + 2(2.3) = \mathbf{109.94g/m^3}$$

K_{se} = coeficiente de capacidad de trabajo de SE para el caso del ANFO es de 0,80

K_t = coeficiente que toma en cuenta el trozamiento del material y se lo calcula:

$$k_t = 0.5/dmd$$

Donde,

dmd = dimensión media de trozos condicionados

Reemplazando tenemos:

$$k_t = \frac{0.5}{0.73} = 0,68$$

K_f = coeficiente que toma en cuenta el grado de fracturamiento del macizo rocoso, su fórmula es:

$$k_f = 1.2 \times imd + 0.2$$

Siendo,

Idm = longitud de fracturas (0.15m)

Reemplazando tenemos:

$$k_f = 1.2 \times 0.15 + 0.2 = 0.38$$

K_{cd} = coeficiente de que toma en cuenta el grado de concentración de SE (0,85)

K_u = coeficiente que toma en cuenta la influencia en la altura del banco solo calcula

$$k_{cl} = \sqrt[3]{\frac{15}{h}} = \sqrt[3]{\frac{15}{10}} = 1.14$$

K_{cl} = coeficiente que toma en cuenta el número de caras libres (para 1 cara libre es 10)

Reemplazando en la ecuación los valores tenemos

$$Q_{pr} = 109.94 \times 0.80 \times 0.68 \times 0.38 \times 0.85 \times 1.14 \times 10 = 220.22g/m^3$$

O lo que es lo mismo 0.22 kg/m³

Este valor lo reemplazamos y tenemos:

$$A = 10 \times 1.2 \times 1.125 \times \sqrt{0,22} = 6.33m$$

El ancho de la cuneta se lo tomara como 0,5 m según datos empíricos

$$C=0.50m$$

El ancho para carriles se lo calcula con la expresión:

El ancho de una vía de dos carriles se determina de acuerdo a la formula

$$V = 2(x + y) + a$$

Siendo x el ancho de operación de una volqueta (2,3 m), pero el factor y espacio entre carril se lo calcula así:

$$a = 0,5 + 0,005v$$

Siendo v la velocidad promedio 18Km/h

Donde,

Reemplazamos valores tenemos:

$$a = 0,5 + 0,005(18) = 0,59m$$

Pero a este valor lo redondeamos a 1 metros.

Reemplazando valores tenemos;

$$V = 2(2,3 + 1)$$

$$V=6,60m$$

La berma de seguridad se lo calcula con la expresión:

$$B = H_b [\cotg(\alpha) - \cotg(\emptyset)]$$

Siendo:

H_b = altura del banco 10m

α =Ángulo de talud 75°

ϕ =ángulo de resistencia interna 40°

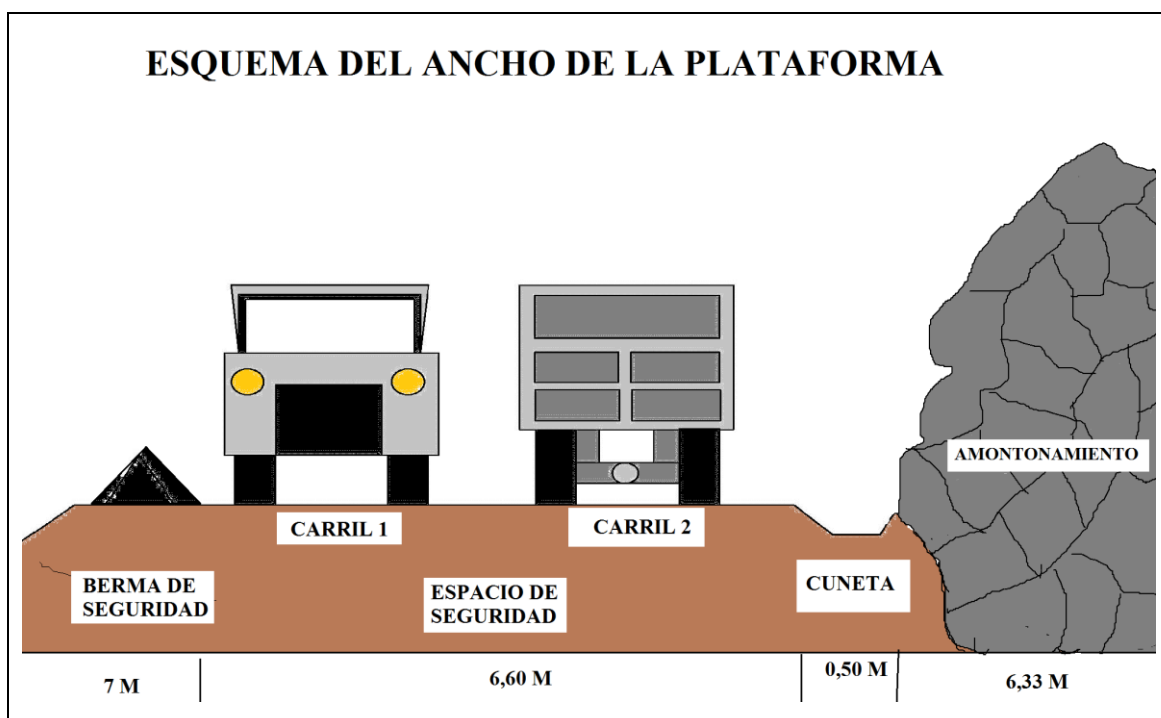
Reemplazando valores tenemos:

$$B = 10[\cotg(75) - \cotg(40)] = 6,68 = 7m$$

Finalmente reemplazando los valores tenemos:

$$A_{plataforma} = 6.33m + 0.5 + 6,60 + 7 = 20m$$

Gráfico19: Ancho de plataformas de trabajo



Fuente: Rivadeneira, J.(2015).

5.4.7 Escombreras

El material de sobrecarga que en su mayor parte se trata de lutitas que se encuentran en la cima, y esta es transportada a la escombrera en volquetes de la empresa con capacidad del balde de 12 m^3 que se localiza en el sector noreste de la cantera; que corresponde a la coordenada N9701654,43 E795698,58 en la cota 830 msnm

realizando un ciclo de trabajo de 18 minutos promedio, dicha escombrera se ubica aproximadamente a 1 Km del actual frente de explotación (cima), con capacidad para unos 150.000,00 m³, lo que lo mismo 315000 toneladas. Durante la explotación de la roca caliza, no se generan escombros, debido a que todo el material extraído es aprovechado. **Ver Anexo C3**

Gráfico 20: Esquema de trabajo para la escombrera



Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

Resumiendo en la siguiente tabla los factores operativos mencionados anteriormente tenemos:

Cuadro 6: Resumen de Factores Operativos

RESUMEN DE FACTORES OPERATIVOS	
Método de explotación	Cielo abierto bancos descendentes
Altura de bancos	10m
Ancho de bancos	20m
Angulo de la cantera (talud final)	75°
Ancho de la plataforma de trabajo	20m
Distancia a la escombrera	1 km
Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).	

5.5 FACTORES MEDIO AMBIENTALES¹

El proyecto de extracción y explotación de calizas en Gretha piedad generara una serie de modificaciones en su entorno físico sea este paisaje, pues dentro de una minería nunca se puede dejar la zona como estaba en un principio.

La recuperación dependerá de las características topográficas en que queden, además del vivero que se tenga para la reforestación, de buscar pantallas visuales y de la estabilidad de los taludes finales. Es importante mencionar algunos elementos ambientales que podrían afectarse en el proceso de explotación:

- **Aguas:** Por ser una cantera que explota caliza que no necesita de agua para la producción de la misma, su impacto es relativamente baja o casi nula, además que los trabajos de excavación no se encuentran dentro de sus límites
- **Aire, ruido y vibración:** El área no se vería afectada por ser una zona poco habitada. En las voladuras se utilizan métodos modernos con explosivos que reducen la contaminación de polvos, ruidos y vibración. Los cambios de **aceites** y los **gases** de las maquinas se los controla dependiendo de un buen mantenimiento mecánico, sean estas en el campamento o en el taller mecánico ubicado en Méndez.
- **Uso de suelo:** Afectaría en la colocación de campamentos, talleres, polvorín.
- **Vegetación:** La vegetación presente en el área se caracteriza por ser pastos y arbustos, pero debido a que la zona no presenta actividad ganadera, el efecto puede considerarse bajo ya que no presenta mayores cambios en el ecosistema.
- **Taludes:** Los métodos tendientes a controlar la amenaza activa antes que se produzca el riesgo a personas o propiedades. Generalmente, consisten en estructuras que retienen la masa en movimiento. Para el proyecto se construirán

¹Industrias Guapán SA., (2010). Estudio de Impacto Ambiental Ex-Pots Concesión Minera Greta Piedad. Azogues

bermas, ya que son económicas y rápidas de construir. Si se puede, también se realizarán trincheras, para el control de las aguas de lluvias.

Para eludir la amenaza se acostumbra a remover los suelos superficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes. Para la estabilización total del talud, se elaboró un terraceo en donde se tomó un factor de seguridad superior a 1,2

5.6 DISEÑO DE VÍAS DE ACCESO²

Para acceder a la cantera Gretha Piedad se aprovechó la vía de tercer orden Yucal-Singuintza, construidos por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Santiago de Méndez

Para el acceso se ha propuesto una vía en configuración Zig-Zag debido a la topografía de la zona con 11 tramos de longitud promedio de 170 metros de longitud, con lo cual la gradiente de la vía queda determinada por la ecuación:

$$G = \frac{H_{vertical}}{L_{horizontal}} \times 100\%$$

Siendo

$H_{vertical}$ = altura vertical ganada (m)

$L_{horizontal}$ = desarrollo longitudinal de la vía planteado (m)

$$G = \frac{146}{1831,95} \times 100\% = 8\%$$

Respecto a este valor tenemos de acuerdo a condicionamientos de mantenimiento de equipo de transporte pesado las gradientes recomendadas máximo 12%, la gradiente seleccionada para nuestros tramos está por debajo de este valor por lo tanto nuestra vía cumple con los requerimientos de diseño en cuanto a inclinación

El ancho de carril se le calcula con la siguiente formula:

²Industrias Guapán SA., (2010) Estudio de Impacto Ambiental Ex-Pots Concesión Minera Greta Piedad. Azogues

$$A_c = 2(a + y) + x$$

Siendo,

A_c = ancho de carril para vía doble sentido m

a = ancho del volquete de 12 m³ (2,54 m)

y = zona de resguardo entre carriles (0,50 m)

x =espacio de seguridad se lo determina mediante la ecuación:

$$x = 0.5 + 0.005v$$

V = velocidad de desplazamiento (20km/h)

Reemplazando.

$$x = 0.5 + 0.005(20) = 0,60m$$

Reemplazando tenemos

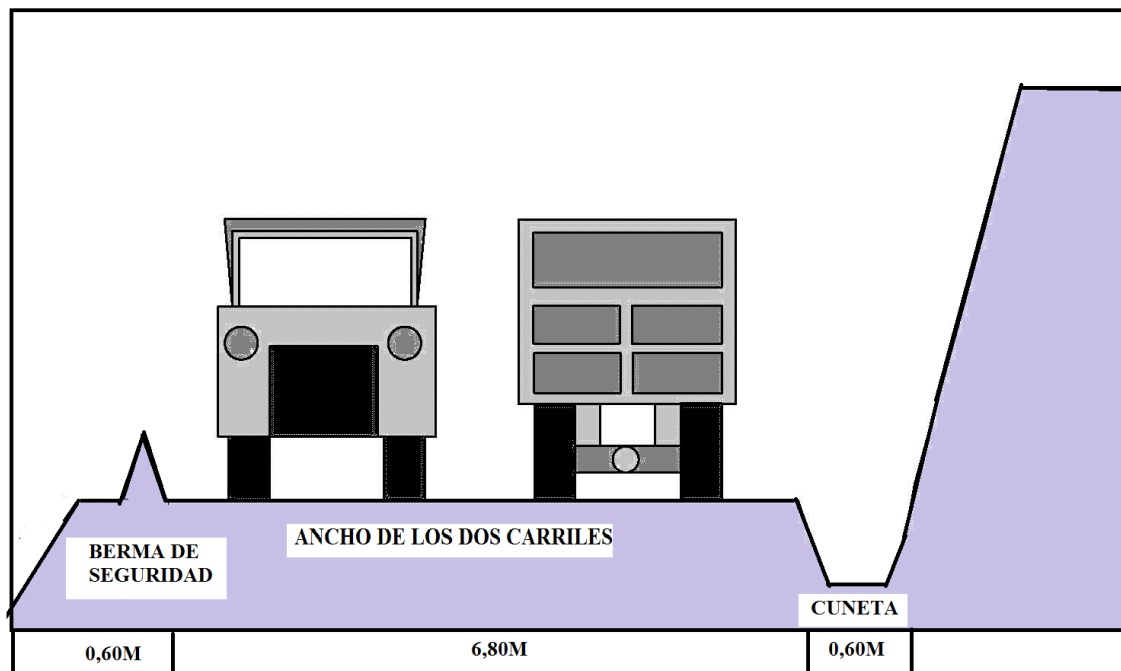
$$A_c = 2(2,54 + 0,5) + 0,60 = 6.68m$$

En lo que respecta a el ancho requerido para la berma de seguridad se considera que este se deberá equivaler por lo menos al 60% del diámetro del neumático (para volquetes el diámetro es de 1 metro) lo que quiere decir que para la berma de seguridad se requiere 0,60m. en cuanto a la cuneta se considera un ancho similar de 0,60 m.

Con lo que esto el ancho de la vía queda determinado por la siguiente suma:

$$A_c = 6.7 + 0,6 + 0,6 = 7,9m$$

Teniendo una vía de 8 m.

Gráfico 21: Esquema de vías de acceso

Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

5.7 ANALISIS MINERO GEOMETRICO

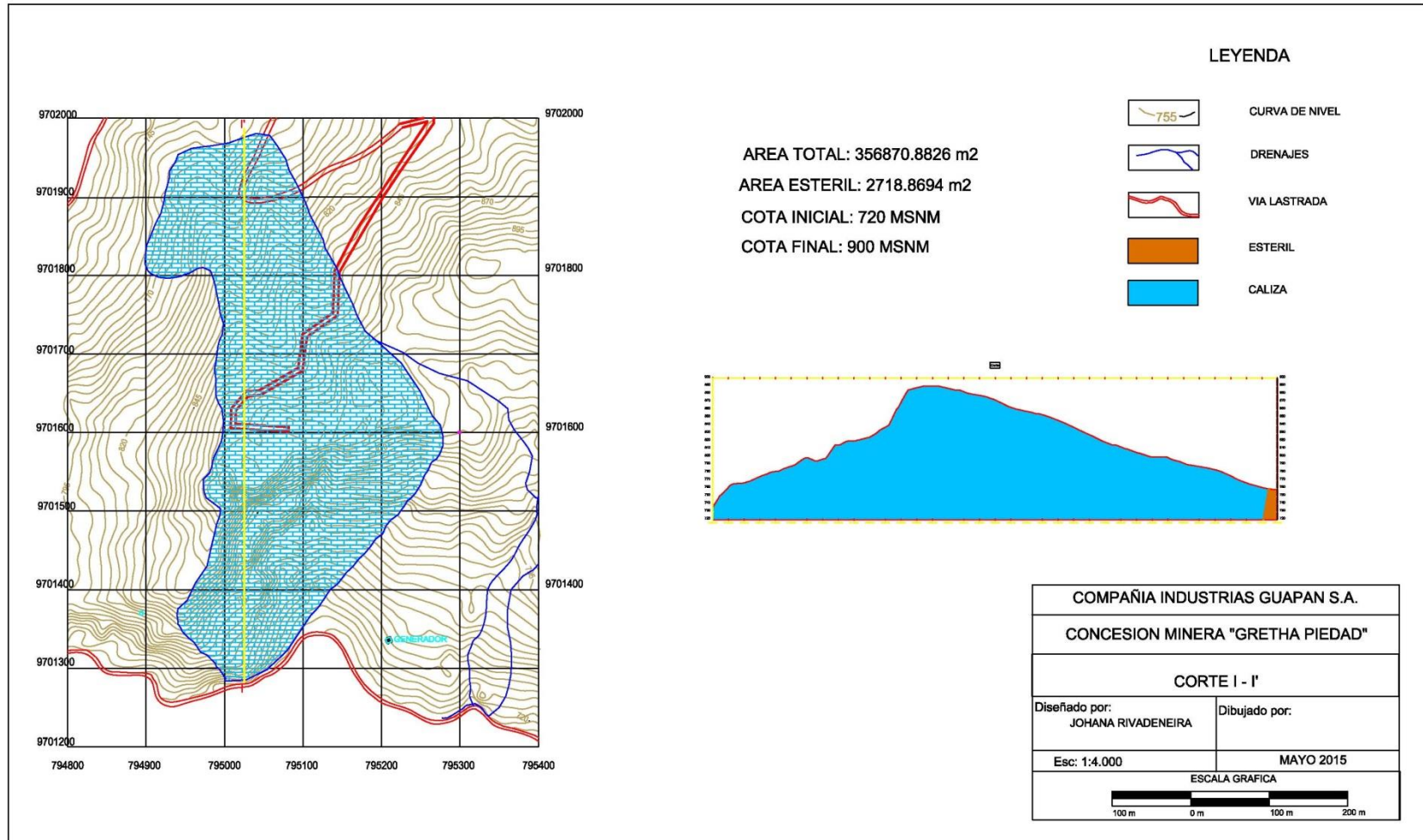
Una vez definidos los parámetros de explotación y los requerimientos de materia prima por la empresa, se realizó un análisis geométrico minero, el mismo que cumple el objetivo principal, estableciendo una mejor alternativa de desarrollo de los trabajos mineros a realizar, cumplimiento con las responsabilidades de extracción en el espacio y tiempo.

Cuando un cuerpo mineral se halla emplazado en una manera compleja se prevé que el borde de la cantera será de forma curvilínea, el análisis de los trabajos mineros mediante la aplicación se realizara por el método de los trapecios o método de Rzhevskyi, la que consiste en que cualquier figura ABCD encerrada en los límites de dos líneas paralelas, se puede formar un trapecio, no es de mucha importancia para la minería siempre y cuando sean pequeñas, pero si asentamos un eje FG que no sea perpendicular a las paralelas conservando las distancias AD y BC se obtendrán nuevos trapecios AFGD y CBFG, de esta forma conocemos la altura entre las líneas paralelas por lo que se hace más fácil calcular su superficie, obteniéndose los resultados del

análisis minero geométrico realizado en el gráfico del Perfil I-I', como se puede especificar en el siguiente gráfico.

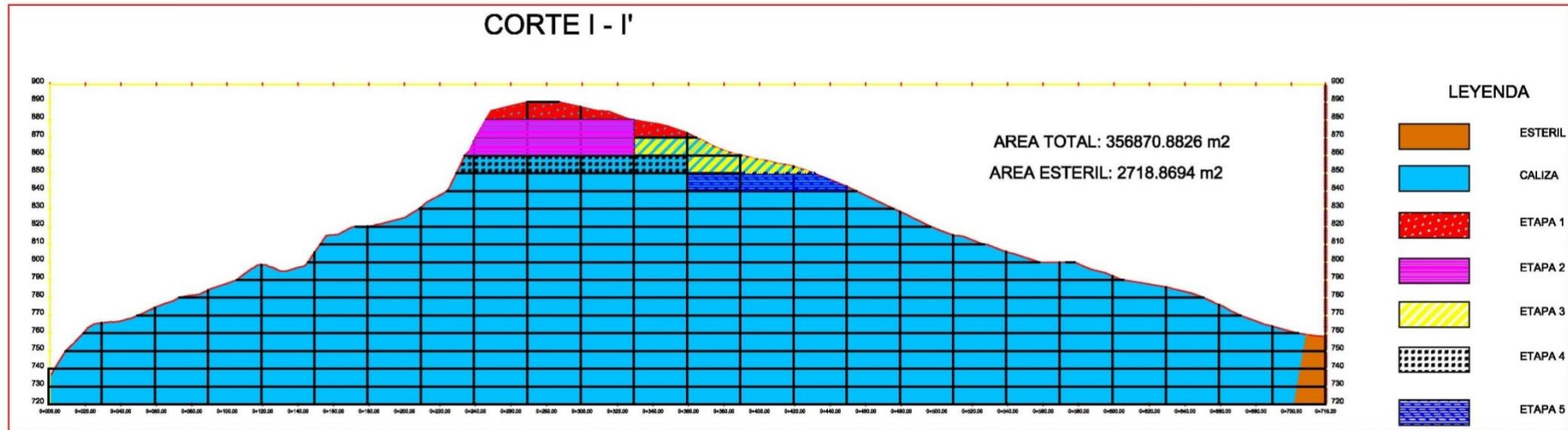
Para obtener el material requerido por la empresa de una manera fácil, se distribuyó al perfil I-I' en bancos de 10 m de alto, 20 m de ancho y 30 m de largo, con la finalidad de demostrar gráficamente la propuesta del diseño explotación sistemática.

Grafico 22: Mapa topográfico con el perfil I-I'



Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

Grafico 23: Perfil I-I'



Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

Cuadro 7: Análisis Minero Geométrico

ANALISIS GEOMETRICO DEL PERFIL I-I' PARA EL AÑO 2015													
PARAMETROS		MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
		890m.s.n.m	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	890 m.s.n.m.	880 m.s.n.m	880m.s.n.m
ESTERIL	ALTURA DEL BANCO	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	TOTAL DE ESTERIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ACUMULADO DE ESTERIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CALIZA	ALTURA DEL BANCO	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	TOTAL DE MINERAL	9.464,00	8.568,14	9.486,16	9.180,18	9.486,16	9.180,19	9.486,16	9.180,19	10.251,16	10.251,16	9.180,19	7.650,12
	ACUMULADO MINERAL	9.464,00	18032,14	27518,30	36698,48	46184,64	55364,83	64850,99	74031,18	84282,34	94533,50	103713,69	111363,81
PRODUCCION DE CALIZA ESTIMADA (m3/año)		111.363,81											
k DESTAPE TEMPORAL		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DESTAPE	TRACTOR	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EXCAVADORA	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VOLQUETA 12M3	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EXPLOTACION	PERFORADORA ATLAS ECM-590	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
	TRACTOR D8N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	EXCAVADORA 330CL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	VOLQUETA DIARIAS 12M3	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

5.8 PARÁMETROS DE TRABAJO

Con la finalidad de poder facilitar los cálculos que se harán a continuación es indispensable determinar los programas de trabajo bajo los cuales se sugiere la explotación del Área Gretha Piedad.

Procederemos primero a determinar el Número de días Laborables para ello se construye el siguiente cuadro:

Cuadro 8: Días Laborables en un Año Calendario

ACTIVIDADES	NUMERO DE DÍAS
Días del año	365
Duración jornada (días trabajados a la semana)	5
Días de descanso(a la semana)	2
Días festivos a nivel nacional	10
Vacaciones y mantenimiento de maquinaria	18
Total de días trabajados	330

Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

Es decir que en un año calendario aproximadamente se trabaja 330 días. La producción estimada para la mina de Gretha Piedad es 240.000 toneladas por año, sin embargo si en un futuro cambia el volumen de producción anual se deberá actualizar los cálculos que se realiza a continuación y por ende el dimensionamiento de la flota de trabajo aumentara o se reducirá en función o reducción de la producción.

Entonces se tiene que la producción diaria de la cantera queda determinada por la ecuación. **Ver Cuadro 8:**

$$P_{diaria} = \frac{K_s \times P}{D} \text{ Ton/días}$$

Dónde:

P diaria= producción diaria (Ton/días)

K_s = coeficiente de seguridad (1.01-1.5), que asegura el stock del mineral

P = producción anual de la mina

D = números de días trabajados al año

Reemplazando tenemos:

$$P_{diaria} = \frac{1,5 \times 240000}{330} \text{ Ton/días}$$

$$P_{diaria} = 1090,91 \text{ Ton/días}$$

Ahora el rendimiento por mes de trabajo se calcula de siguiente manera:

$$P_{Turno} = P_{diaria} \times N_{turno}$$

Siendo:

P_{diaria} = producción diaria

N = días mensuales laborables (20 días)

$$P_{Turno} = 1090,91 \times 20 = 21818,20 \text{ ton/mes}$$

Es necesario transformar el volumen de producción diaria estimada a ton/ hora para ello se deberá considerar la duración de horas efectivas de un día de trabajo, para ello consideraremos que la jornada tendrá 8 horas diarias (7,5 efectivas descontando tiempo necesario para taqueos de equipo, inspección de operación, etc.).

$$P_{hora} = \frac{P_{diaria}}{\text{horas}_{efectivas}}$$

Reemplazando datos:

$$P_{hora} = \frac{1090,91}{7,5} = 145,45 \text{ Ton/h}$$

Lo que quiere decir que para cumplir con el esquema de producción planificado necesitaremos producir:

Cuadro 9: Ruta de producción en toneladas**RUTA DE PRODUCCION EN TONELADAS**

	AÑO	MES	DIA
PRODUCCION	240000	21818,2	727,3
COEFICIENTE DE SEGURIDAD	1,5	1,5	1,5
PRODUCCION CON COEFICIENTE DE SEGURIDAD	360000	32727,3	1090,9

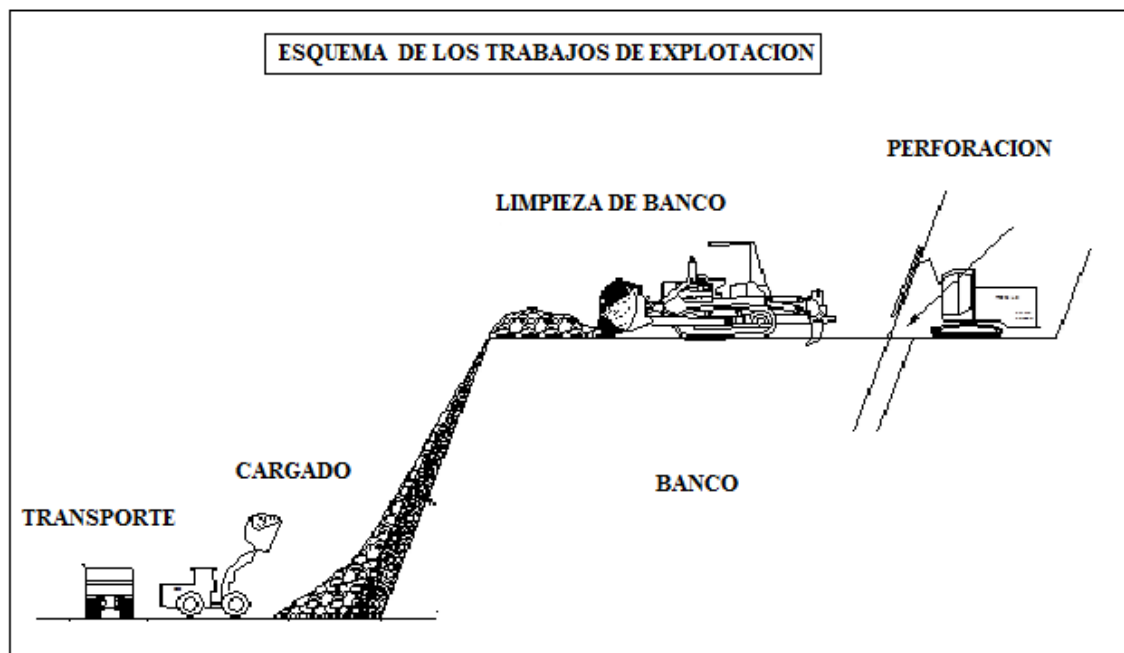
Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

Cuadro 10: Ruta de Producción en m3**RUTA DE PRODUCCION EN M3**

	AÑO	MES	DIA
PRODUCCION	104347,8261	9486,166008	316,2055336
COEFICIENTE DE SEGURIDAD	1,5	1,5	1,5
PRODUCCION CON COEFICIENTE DE SEGURIDAD	156521,7391	14229,2	474,3

Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

Gráfico 24: Esquema de los trabajos de explotación



Elaborado por: Rivadeneira, J.(2015).

VI. DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

El diseño de voladuras debe abarcar los conceptos fundamentales de un diseño de voladura ideal, los cuales son modificados cuando es necesario para compensar las condiciones geológicas específicas del lugar. Para poder evaluar un plan de voladura, éste debe tomarse por partes y cada variable o dimensión debe ser analizada paso a paso, de tal manera que nos permita ver si están dentro de los rangos normalmente aceptados.

6.1 PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

Los parámetros de perforación son:

- Diámetro de barreno
- Sobre perforación
- Longitud de perforación
- Borden
- Espaciamiento
- Perforación específica

6.1.1 Diámetro del barreno (d)

El diámetro de perforación idóneo para explotar una cantera depende de los siguientes factores:

- Características del macizo rocoso que se desea volar, resistencia a la compresión de aproximadamente 400Kg/cm^2 (45MPa)
- Grado de fragmentación requerido,
- Altura del banco y configuración de las cargas,
- Economía del proceso de perforación y voladura,
- Dimensiones del equipo de carga.

Tomando como referencia el siguiente Cuadro, se puede decidir el diámetro de perforación:

Cuadro 11: Diámetro de Perforación Recomendado en función de las Características del Macizo y Maquinaria para Carguío.

Altura del Banco (m)	Diámetro del Barreno	Equipo de carguío recomendado
8-10 m	65-90 mm	pala de ruedas
10-15m	100-150 mm	excavadora

Fuente: Manual de Perforación y Voladura de Rocas del Instituto Geológico y Minero de España Pág. 220.



Foto 4: Perforadora Atlas Copco barrenando en Gretha Piedad en la cima.

En vista de que la maquinaria de perforación ya existe en la Mina Gretha Piedad (perforadora Atlas Copco 530), nos limitaremos a calcular los diferentes parámetros de diseño en base a sus características y a algunos datos existentes:

DATOS EXISTENTES:

Tipo de roca = Caliza
 Densidad de la roca = 2.3 gr/cm³
 Tipo de Perforadora= Atlas Copco ECM 530
 Diámetro de la perforación = 3,5pulg = 89mm.

6.1.2 Bordo (burden o piedra) (B)

Al bordo se conoce con este nombre a la distancia de separación que existe entre filas de barrenos que se perfora para una misma voladura.

No existe una fórmula precisa que nos ayude a determinar este parámetro puesto que depende de variables geológicas, mineras, físico mecánicas y económicas.

Varios métodos propuestos por investigadores sugieren fórmulas complejas tales como:

PEARSE que se basan en factores relacionados con las características de la roca, diámetro de perforación, presión de detonación (140306 Kg/cm²), resistencia a la tracción (48.99 Kg./cm².); LOPEZ JIMENO se basa en el Diámetro de la carga (3.5 pulg), Velocidad sísmica de propagación (3000 m/s), Velocidad de detonación (2500 m/s), Densidad de la roca (2.5 g/cm³.); KONYA Y WALTER se basa en Diámetro de la carga (3.5 pulg), .

Densidad del explosivo (1.6 g/cm³.) y Densidad de la roca (2.3 g/cm³.) y finalmente existe un método TRADICIONAL que es estimado basado en la expresión:

$$B = \left[\frac{2SG_E}{SG_R} + 1.5 \right] D_E$$

Siendo:

B = Bordo (pies.)

SG_E= Gravedad Especifica del Explosivo

SG_R = Gravedad Especifica de la Roca

D_E = Diámetro (pulgadas)

$$B = \left[\frac{2(1.6)}{2.3} + 1.5 \right] 3.5 = 10.11 \text{ pies}$$

Convirtiéndolo en metros

$$B = 3.08 \text{ m}$$

6.1.3 Espaciamiento³

La definición de este término sería la separación que existe entre barrenos de una misma fila. Este factor está ligado directamente con el Burden, así como a la composición de la roca, disposición de barrenos, etc., con respecto a lo anterior si las rocas son isotrópicas se puede tomar igual al Burden, por tanto tendremos una malla de perforación cuadrada, así que a fin de facilitar los cálculos para este factor consideraremos la siguiente fórmula:

$$S = 0.85xB$$

Donde;

S= Espaciamiento (m)

B=Borden

$$S = 0.85 \times 3.08 = 2.618 \text{ m}$$

Es decir que el espaciamiento será de 3 m

6.1.4 Sobre perforación (J)⁴

Aumento de perforación que asegura el mantenimiento del nivel de trabajo, a este parámetro se calcula mediante la siguiente expresión matemática:

$$J = (0.2 \rightarrow 0.5)B$$

³Diseño de voladuras a cielo abierto. **EXPLOCEN C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito

⁴Diseño de voladuras a cielo abierto. **EXPLOCEN C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito

Dónde:

J = sobre perforación (m)

B = Bordo (m).

$$J = (0.2)3m$$

$$J = 0,60m$$

Para aprovechar la barra de perforación se dejara con una sobre perforación de 0,80m

6.1.5 Longitud del barreno (Lb)⁵

La longitud del barreno o longitud de perforación, está directamente ligada a la altura del banco, así como también a la inclinación que ha de darse al barreno, a fin de que la cara remanente quede con una inclinación aproximada a la del diseño de liquidación del talud. La fórmula para determinar este parámetro es la siguiente:

$$L_{perforacion} = \frac{H}{\cos(\alpha)} + J (m)$$

Dónde:

L_{perforación} = longitud de perforación (m)

H=altura del banco (m m)

α= ángulo de inclinación del barreno

J=sobre perforación

$$L_{perforacion} = \frac{10}{\cos(15)} + 0.80 = 10,83(m)$$

$$L_{perforacion} = 10,80(m)$$

⁵Diseño de voladuras a cielo abierto. **EXPLOCEN C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito

6.1.6 Perforación específica⁶

Se lo define como la relación del volumen de masa rocosa que se extrae por metro de barreno perforado, se lo calcula así:

$$P_{\text{especifico}} = \frac{B \times S \times H}{\frac{H}{\text{sen}(\alpha)} + J} = \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \text{ perforados}$$

Siendo,

$P_{\text{especifico}} =$ perforación específica m^3/m perforado

B= burden

S= espaciamento

H = altura del banco

Angulo de inclinación del barreno = (75°)

J = sobre perforación

$$P_{\text{especifico}} = \frac{3 \times 3 \times 10}{\frac{10}{\text{sen}(75)} + 0,80} = 8.07 \frac{\text{m}^3}{\text{m}} \text{ perforados}$$

Cuadro 12: Características geométricas de la malla de producción a emplearse en el área Gretha Piedad

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Diámetro de perforación	0,089 63,5	Metros o pulgadas
Longitud del barreno	10,80	Metros
Inclinación de los barrenos	15	Grados
Burden	3	Metros
Espaciamento	3	Metros
Sobre perforación	0.80	Metros

Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

⁶Diseño de voladuras a cielo abierto. **EXPLOCEN C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito

6.2 PROPÓSITO DE LA VOLADURA:

Para la mina Gretha Piedad el propósito de la voladura es de Fragmentar y desplazar la caliza de forma tal que se facilite el manejo con el equipo de carga, acarreo y trituración disponible en el proyecto al menor costo total.

6.3 PARÁMETROS DE VOLADURA⁷

Definidos los parámetros de trabajo para la perforación determinaremos ahora la materia prima, cantidad y metodología que serán necesarias para arrancar el mineral del macizo rocoso tenemos:

- Propiedades de los explosivos.
- Características del macizo a romper.
- Productos disponibles en el mercado.

Para la producción de caliza mediante la utilización de estos explosivos se los realizara una vez por mes para que el material explotado sea trasladado a la planta, evitando que la misma se contamine.

6.3.1 Carga de fondo.

La substancia explosiva a ser usado con esta finalidad es de muy buenas características, y considerando que: el macizo rocoso del yacimiento Gretha Piedad es de mediana resistencia, que la oferta de explosivos es muy limitada en lo que respecta al mercado nacional y el actual método de voladura que la C.I.G.S.A se encuentra aplicado definiremos que como explosivo de fondo emplearemos un Booster de Pentolite de 150g con faneles de retarde en el fondo y superficie

⁷Diseño de voladuras a cielo abierto. **EXPLOCEN C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito

Cuadro 13: Características técnicas del booster de pentolita de 150 g.

PARÁMETROS	UNIDAD	ESPECIFICACION
densidad	g/cm ³	1,60
Volumen de gases	l/kg	777
Calor de explosión	Cal/kg	1.300
Potencial	Kj/kg	5.443
Velocidad de detonación	m/s	7,418
Presión de detonación	Kbar	221
Resistencia al agua	año	1

Fuente: Catálogo de productos y servicios de EXPLOCEN, pág. 15

Para su cálculo se utilizó la siguiente formula:

$$Eb = (2 \rightarrow 6) * D_B$$

Dónde:

E_b = Carga de Fondo (m)

D_B = Diámetro del Barreno

$$Eb = (2) * 0,089m = 0.20m$$

El booster de Pentolita es una sustancia explosiva a base de Pentrita y Trinitrotolueno que principalmente se usa como sustancia iniciadora del explosivo de columna.

Se debe considerar que debido a la resistencia de la roca y su fracturamiento se podría sugerir que adicional al booster se introduzca un cartucho de Explogel Amón 3x16 a fin de que rompimiento de la pata del banco sea completo , además cuando en este se presente agua, reduciendo así el empleo de horas máquina para desarme de tiro.

6.3.2 Carga de columna.

Igualmente considerando la cuestión de costos elegiremos al **ANFO** normal como explosivo de columna debido a los resultados obtenidos en la explotación de otras canteras.

Sin embargo resaltaremos que el ANFO es de naturaleza higroscópica, es decir absorbe agua y paralelamente se descompone en la misma, por ello notaremos que los barrenos en los cuales exista agua se procederá al reemplazo del ANFO por una mezcla denominada *Emulsen* (ANFO más emulsificante) cuya resistencia al agua es excelente.

Cuadro 14: Características técnicas del ANFO

PARÁMETROS	UNIDAD	ESPECIFICACION
Densidad aparente	g/cm ³	0,80
Volumen de gases	l/kg	777
Calor de explosión	Cal/kg	922
Potencial	Kj/kg	3857
Velocidad de detonación	m/s	2250
Presión de detonación	Kbar	10
Resistencia al agua	nula	nula

Fuente: Catálogo de productos y servicios de EXPLOCEN, pág. 19

Para el cálculo de carga de columna se utilizó la siguiente formula

$$E_C = L_B - (E_b + L_T)$$

Dónde:

E_C = Carga de columna (m)

L_B = Longitud de barreno (m)

E_b = Carga de fondo (m)

L_T = Longitud de Retaco (m)

$$E_C = 10.80m - (0,20 + 2,67)$$

$$E_C = 7,93m = \mathbf{8m}$$



Foto 5: Anfo colocado en cada una de las perforaciones, utilizado como carga de columna.

6.4 PARÁMETROS DE CARGUÍO DE EXPLOSIVO POR BARRENO⁸

6.4.1 Longitud del taco o retacado(L_t)

Una fórmula empírica se basa en el diámetro de perforación:

$$L_t = (20 - 30) \times D$$

Dónde:

L_t = longitud del taco

D = Diámetro de la perforación

$$L_t = (30) \times 0,089mm = \mathbf{2,67m}$$

⁸Diseño de voladuras a cielo abierto. **EXPLOCEN C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito



Foto 6: Retacando una de las perforaciones con material inerte para la voladura.

6.4.2 Gasto de sustancia explosiva por metro de hueco cargado (se_{metro}).

Este parámetro expresa la cantidad de explosiva que se necesita para cargar un hueco con las especificaciones antes determinadas. Se lo determina por la fórmula:

$$SE_{metro} = \frac{25 \times \pi \times D^2 \times SG_E \times k_{llenado}}{1000}$$

Siendo:

SE_{metro} = gasto de sustancia explosiva por metro lineal de barreno (kg/m)

d= diámetro del barreno (cm)

SG_E = densidad del explosivo de fondo (g/cm^3)

Kllenado =coeficiente de llenado dependiendo para cada tipo de explosivo para el Anfo 0,75

$$SE_{metro} = \frac{25 \times \pi \times 8,9^2 \times 1,60 \times 0,75}{1000} = 7,46kg/m$$

6.4.3 Carga de explosivo por barreno(SE_{hueco})

$$SE_{\text{hueco}} = L_c \times SE_{\text{metro}}$$

Dónde:

L_c = Longitud de la carga explosiva= m.

SE_{metro} = Carga de explosivo por metro de barreno = kg / m.

$$SE_{\text{hueco}} = 8 \times 7,46$$

$$SE_{\text{hueco}} = 59,68 \text{ kg}$$

6.4.4 Consumo específico de explosivo

Es la cantidad necesaria para obtener un metro cubico de roca, se lo calcula así:

$$Q_{\text{especifica}} = \frac{SE_{\text{hueco}}}{B \times S \times H}$$

$$Q_{\text{especifica}} = \frac{59,68}{3 \times 3 \times 10} = \mathbf{0,66kg}$$

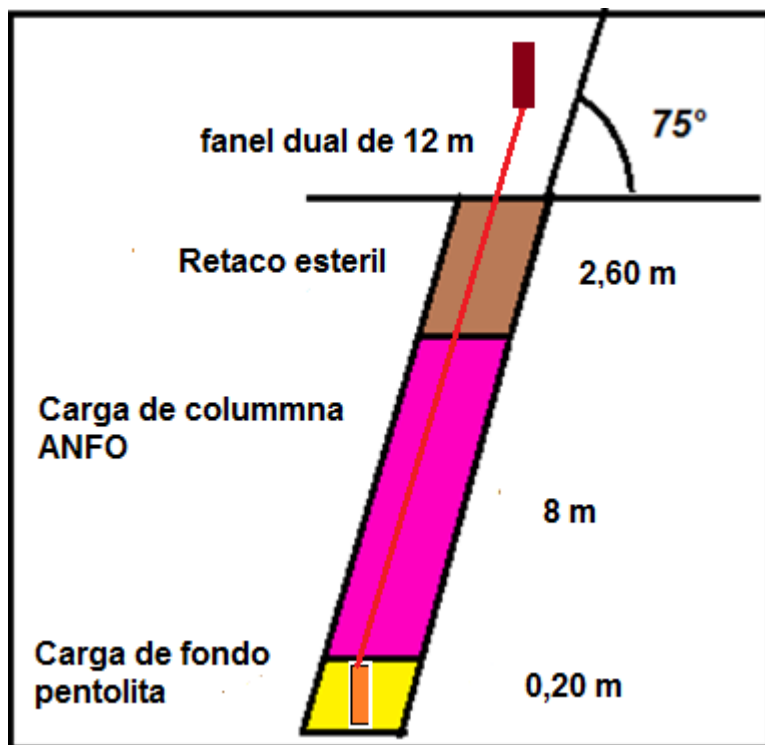
6.5 GRÁFICOS DEL DISEÑO DE BARRENOS

Cuadro 15: Parámetro para carga de barrenos

Parámetro	Valor	Unidad
Carga de fondo	Boster o explogelamon	-
Carga de columna	ANFO	-
Altura de la carga de fondo	0.20	m
Altura de la carga de columna	8	m
Cantidad de sustancia explosiva por metro de cala cargado	7,3	Kg/m
Cantidad de sustancia explosiva por hueco	59,68	Kg/hueco
Gasto específico de SE	0,66	Kg/m³
Retardo entre barrenos de fila	25	ms

Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

Gráfico 25: Carga efectiva por barreno



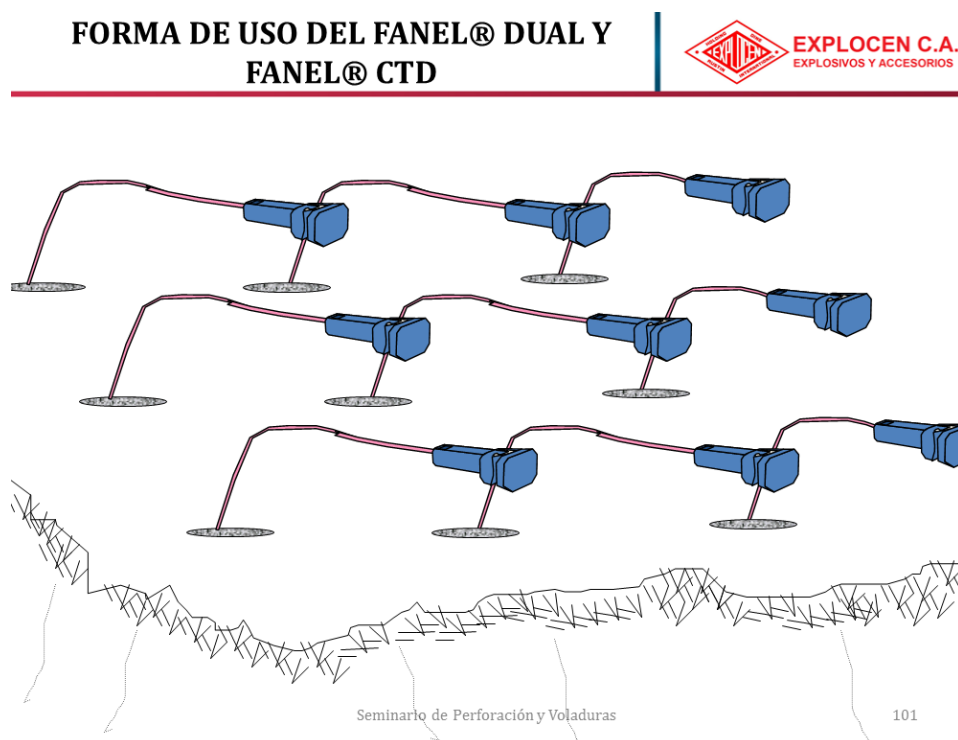
Elaborado por: Rivadeneira J., (2015).

6.6 MALLA DE BARRENACION

Al poder definir un óptimo sistema de encendido depende de los factores geométricos y del tipo de malla a utilizar, en este caso se utilizara el sistema triangular o el sistema cuadrado, estos métodos dan cabida a dejar el ángulo de recesión óptimo con la maquinaria disponible.

El orden de encendido viene dado por el tipo amarre que generalmente se recomienda hacerlos por filas, según recomiendan Expertos En voladuras de EXPLOCEN.

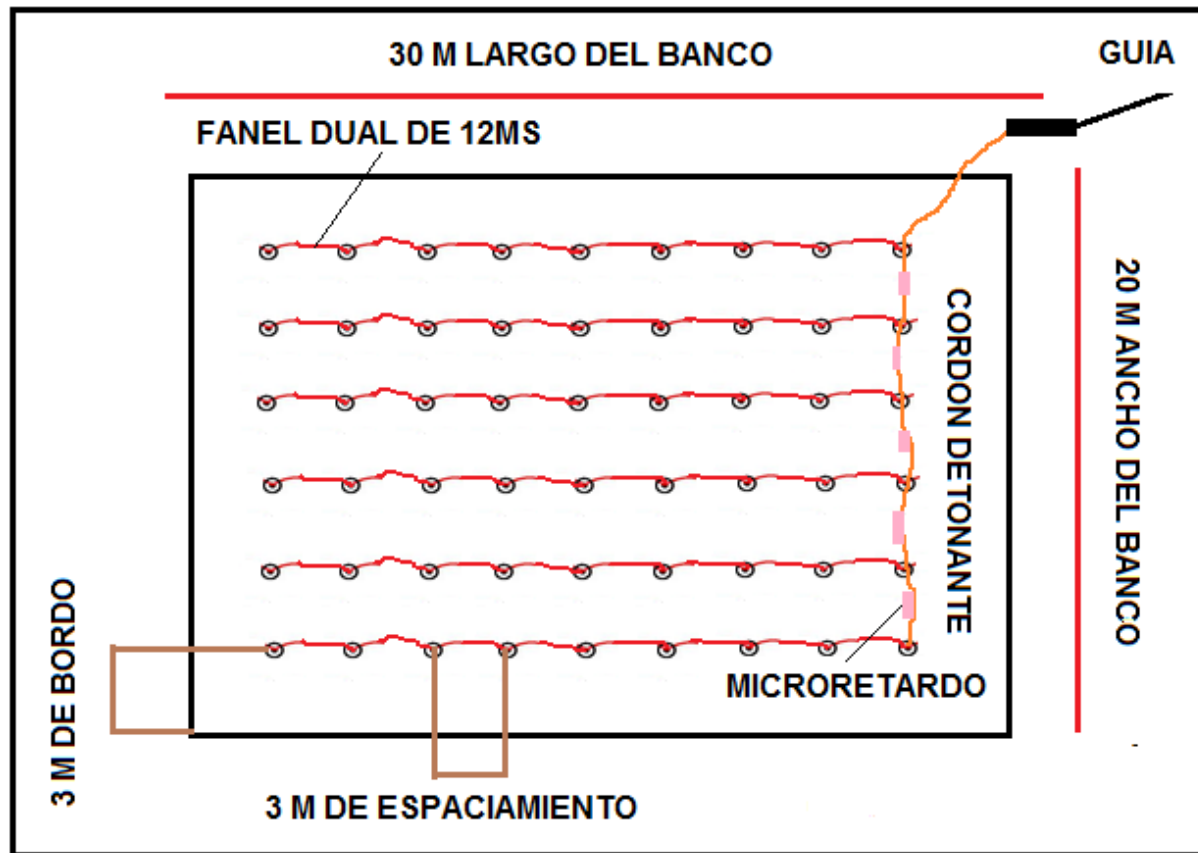
Gráfico 26: Conexión de fanel dual



Fuente: Explocen C.A. (2015)

Gráfico 27: Disposición de barrenación malla cuadrada

MALLA DE PERFORACIÓN Y SECUENCIA DE ENCENDIDO



Elaborado por: Rivadeneira J., (2015)

6.7 MICRO RETARDOS UTILIZADOS

Es un sistema de iniciación no eléctrico. Estos fulminantes se caracterizan por tener dos detonadores uno a cada extremo, el primero proporciona el tiempo en el fondo y el otro el tiempo en superficie.

Está compuesto principalmente de los siguientes elementos: la Manguera, el Retardo de Profundidad, el Retardo de Superficie, bloque de plástico, el cual permite a su vez insertar y alojar hasta 5 mangueras , garantizando su óptima iniciación en ambas direcciones.

El micro retado se utiliza como un sistema silencioso para controlar la salida y el intervalo de tiempo entre perforaciones y entre filas de perforaciones, el intervalo del tiempo depende del burden, espaciamiento y por la profundidad del taladro.

Gráfico 28: FANEL con micro retardos



Fuente: http://www.explocen.com.ec/retardo_fondo_superficie.php

6.7.1 Retardos entre barrenos en bancos

$$tb = Tb * s$$

Dónde:

tb: Retardo entre barrenos (ms)

Tb: constante según tipo de roca (ms/m)

S: Espaciamiento (m)

$$tb = 5.5 * 3$$

$$tb = 16.5 \text{ ms}$$

6.7.2 Retardos entre hileras

$$th = Th \times B$$

Dónde:

th = Tiempo entre hileras (ms)

Th = Constante

$$th = 10 \times 3$$

$$th = 30 \text{ ms}$$

Cuadro 16: Constante según efectos entre hileras

Efectos	Th Constante ms/m
Vuelo de rocas Violento y Rompimiento trasero excesivo	7
LA roca quebrada queda muy cerca de la cara libre, Roca en vuelo y rompimiento trasero moderado	7 – 10
La roca quebrada se separa de la cara libre, roca en vuelo rompimiento trasero menor	10 – 14

La roca quebrada se dispersa en frente de la cara libre con un rompimiento trasero 14 – 20 mínimo

Fuente: Diseño de voladuras a cielo abierto. **Explocen. C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito

Cuadro 17: Constante según tipo de roca

Tipo de Roca	Tb Constante (ms/m)
<i>Areniscas , Marga y Carbón</i>	6.5
<i>Algunas Calizas y Algunas Pizarras</i>	5.5
<i>Calizas compactas , Mármoles, algunos Granitos , Basaltos, Cuarzitas y Gabros</i>	4.5
<i>Diábasas , Diábasas Porfíricas ,Gneises Compactos y Magnetitas</i>	3.5

Konya & Walter

Fuente: Diseño de voladuras a cielo abierto. **Explocen. C.A** Marzo 17 – 19 de 2015. Quito

**Foto7:** Conexión de cordón detonante faneles y micro retardos de 50ms



Foto 8: Caliza después de la voladura

6.8 MAQUINARIA Y EQUIPOS

Los equipos asignados a los trabajos de exploración avanzada realizados en la concesión son:

Cuadro 18: Equipo Pesado Asignado a la Concesión Minera Gretha Piedad.

ACTIVIDAD	CÓDIGO COMPAÑÍA	DESCRIPCIÓN DE EQUIPO
DESTAPE Y VÍAS DE ACCESO	X -12	Excavadora CAT 322 CL
PERFORACIÓN	X - 25	Perforadora Atlas Copco ECM
CARGUIO DE CALIZA	X - 13	Excavadora CAT 330 CL.
LIMPIEZA DE BANCOS	X - 04	Tractor CAT D8R.
TRANSPORTE DE CALIZA Y DESALOJO	Y - 42	Volquete Mack Granite
TRANSPORTE DE CALIZA Y DESALOJO	Y - 46	Volquete Mack Granite
TRANSPORTE DE CALIZA Y DESALOJO	Y - 58	Volquete Mack Granite
TRANSPORTE DE CALIZA Y DESALOJO	Y - 59	Volquete Mack Granite

Fuente: Informe de Explotación Gretha Piedad 2014

Para el rendimiento de estas máquinas utilizaremos el método de la Caterpillar, en la cual en la aplicación de fórmulas con factores de corrección partiendo de rendimientos estándar se determinara la cantidad de equipos que son necesarios para obtener la producción requerida

Rendimiento para tractores D8R

Formula:

$$R_{real} = R_{patron} \times f_o \times f_m \times f_t \times f_e \times f_d = \left(\frac{ton}{hora} \right)$$

Siendo,

R_{patron} = rendimiento patrón tomado de tablas (375m³/hora)

F_o = coeficiente de eficiencia del operador (op. Bueno 0.6)

F_m = coeficiente que depende del tipo de material (lutita= 0,7, caliza fragmentada 0.4)

F_t = coeficiente que depende del método de corte (corte por zanja =1,05)

F_e = coeficiente que considera la eficiencia en el trabajo (50 min/h)=0.83)

F_d = coeficiente que el tipo de material (lutita=0,79, caliza=0.89)

Reemplazando tendremos, para lutita:

$$R_{real} = 375 \times 0.6 \times 0,7 \times 1.05 \times 0.83 \times 0,79 = 108,34m^3 = 277.5\left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Para caliza:

$$R_{real} = 375 \times 0.6 \times 0,4 \times 1.05 \times 0.83 \times 0,89 = 69.81m^3 = 160.56\left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Rendimiento para tractores D6N

Formula:

$$R_{real} = R_{patron} \times f_o \times f_m \times f_t \times f_e \times f_d = \left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Siendo,

R_{patron} = rendimiento patrón tomado de tablas (300m³/hora)

F_o = coeficiente de eficiencia del operador (op. Bueno 0.6)

F_m = coeficiente que depende del tipo de material (lutita= 0,55, caliza fragmentada 0.3)

F_t = coeficiente que depende del método de corte (corte por zanja =1.1)

F_e = coeficiente que considera la eficiencia en el trabajo (50 min/h)=0.83)

F_d = coeficiente que el tipo de material (lutita=0,79, caliza=0.89)

Reemplazando tendremos, para lutita:

$$R_{real} = 300 \times 0.6 \times 0,55 \times 1.1 \times 0.83 \times 0,79 = 71.4 = 149.96 \left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Para caliza:

$$R_{real} = 300 \times 0.6 \times 0,3 \times 1.1 \times 0.83 \times 0,89 = 43,87 = 100.9 \left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Rendimiento para excavadoras 330cl

Formula:

$$R_{real} = C_{cucharonpatron} \times f_{11} \times \rho \times Nc \times f_0 \times f_e = \left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Siendo,

$C_{cucharon}$ = capacidad del cucharon (1.8 m³)

F_{11} =factor de llenado del cucharon (lutita 1,05 y caliza volada 0.8)

ρ = peso volumétrico del material (lutita=2.1, caliza 2.3)

F_0 = coeficiente de eficiencia de operador (op. Bueno 0.6)

Nc = número de ciclos por hora (tomado el manual (lutita 140, caliza 110)

F_e = coeficiente que considera la eficiencia en el trabajo =(50 min/h= 0.83)

Reemplazando tendremos, para lutita:

$$R_{real} = 1.8 \times 1.05 \times 2.1 \times 140 \times 0,6 \times 0,83 = 276.72 \left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Para caliza:

$$R_{real} = 1.8 \times 0,8 \times 2.3 \times 110 \times 0,6 \times 0,83 = 181,43 \left(\frac{ton}{hora}\right)$$

Rendimiento de volquete Mack Granite

Formula:

$$R_{real} = \frac{Q \times \rho \times q_{11} \times v}{2,1 \times d \times f}$$

Donde,

Q= capacidad del volquete (12m³)

ρ =peso volumétrico (lutita 2,1 Ton/m³, caliza 2,3 Ton/m³)

Q₁₁=factor de llenado del cajón (lutita 1.05, caliza 0.9)

D= distancia de transporte (1 km a escombra)

f=eficiencia de operación 0,82

v=velocidad de circulación (15km/h) hacia escombreras y a planta hacia baquita (40km/h)

Para escombrera:

$$R_{real} = \frac{12 \times 2.1 \times 1.05 \times 15}{2,1 \times 1 \times 0.82} = 230.49 \text{ ton/hora}$$

Para planta

$$R_{real} = \frac{12 \times 2.3 \times 0.9 \times 40}{2,1 \times 169 \times 0.82} = 3,41 \text{ Ton/hora}$$

Rendimiento de la perforadora:

Formula:

$$R_{real} = R_t \times P_{espe} \times \rho \times f_{op} \times f_{dut} \times f = \left(\frac{\text{ton}}{\text{hora}} \right)$$

Donde;

R_t = rendimiento teórico de perforación (26,52 m per/h)

P_{esp} = perforación específica 9,22 m³ /m

ρ = peso volumétrico del material (caliza =2.3)

F= fiabilidad del equipo (0.85)

F_{op} =eficiencia del operador (0.75)

F_{ut} = coeficiente de utilización (0,75)

Reemplazando tenemos:

$$R_{real} = 26,52 \times 9,22 \times 2.3 \times 0.85 \times 0,75 \times 0,75 \times 0,75 = 268.89 \left(\frac{ton}{hora} \right)$$

VII. FACTIBILIDAD ECONÓMICA⁹

7.1 PLANIFICACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DE EXPLOTACIÓN

El presente tiene como finalidad demostrar la rentabilidad económica de la explotación del yacimiento antes descrito. La información utilizada para la construcción de los distintos balances, así como del flujo de caja.

Para obtener valores reales de producción, se contó con software especializado en fianzas realizado por el Departamento Financiero de UCEM. CEM. Donde se evalúa la maquinaria las reservas probadas, la demanda de materia prima, gastos en transporte, mantenimientos de maquinaria instalaciones, amortizaciones, personal, costos de implementos y accesorios para voladura, gastos administrativos, insumos regalías, etc.

7.2 COSTOS DE EXPLOTACIÓN

Se determinara los costos referenciales de la implementación del Proyecto de explotación en Gretha Piedad.

Cuadro 19: Costos considerados en el análisis del Proyecto.

	Directos	Indirectos
Fijos	Construcción de instalaciones, sueldos y bonificaciones de personal. Alimentación y Hospedajes	Amortizaciones Consolidadas. Patentes de conservación / Garantías ambientales. Mantenimiento de instalaciones
Variables	Costos de operación de Equipo Pesado. Cotos de insumos, Producción (explosivos, aceros, etc.)	Planes de manejo ambiental. Regalías Mineras. Servicios Profesionales Externos.

La descripción de costos se hace a continuación:

⁹Departamento Financiero UCEM CEM. Julio 2015. Informe Factibilidad Económica área minera Gretha Piedad

Construcción de instalaciones.- Se refiere a la implementación de todas las instalaciones para la operación de la mina, es decir vías, talleres, polvorines, oficinas, despacho de combustibles, adecuación de escombreras.

Sueldos y bonificaciones.- Se refiere a los egresos mensuales que deberá hacer la compañía por concepto de sueldos + beneficios de ley.

Alimentación y hospedajes.- Se refiere a los egresos por concepto de alimentación de personal, y hospedaje de personal externo para el proyecto.

Amortizaciones consolidadas.- Se refiere a toda la inversión previa que ha hecho la compañía en apertura de vías de acceso, prospección, exploración y obtención de reserva del yacimiento.

Patentes de conservación/garantías ambientales.- Se refiere al pago anual que la empresa hace al estado por concepto de mantenimiento de la concesión minera y obligaciones ambientales.

Mantenimiento de instalaciones.- Egresos anuales para mantenimiento de las instalaciones que tienen que ver con la operación de la mina, vías, cubetos, trampas de aceite, polvorines, oficinas, etc.

Operación de equipo pesado.- Costos de operación de todos los equipos pesados que operan dentro de la concesión incluyen depreciaciones, mantenimiento, combustibles, piezas de recambio.

Insumos de producción.- Tiene que ver con los consumibles sobre todo para arranque de caliza es decir explosivos, aceros de perforación, puntas de martillo para el cachorro.

Planes de manejo ambiental.- Los costos que tiene que ver con la implementación anual de los planes de manejo establecidos para la concesión.

Regalías mineras.- Pagos que se hacen al estado por ley de Minería y que tiene que ver con el volumen de producción planificado.

Servicios profesionales externos.- pagos anuales que se hace a consultores exteriores a fin de cumplir requerimientos estatales establecidos en las leyes y reglamentos aplicables al proyecto para auditorías mineras, ambientales, EIA, etc.

7.3 CENTRO DE COSTOS.

Con el objeto de definir cuales actividades de las que se ejecutarán en la explotación del área Gretha Piedad serán la que más demande recursos económicos se hace necesario asignar Centros de costos específicos.

Cuadro 20: Centros de costos establecidos para el control de costos en explotación de Gretha Piedad

CÓDIGO CENTRO DE COSTO	DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
GP – 11E	Destape	Actividades encaminadas a la remoción y transporte de estéril hasta los sitios de acopio
GP – 12E	Perforación y Voladura	Actividades encaminadas al arranque y condicionamiento de la caliza del macizo rocoso.
GP – 13E	Despacho	Actividades de carguío de caliza para ser enviada a la Planta.
GP – 01A	Medio Ambiente	Actividades de cumplimiento con programas de remediación ambiental
GP – 01G	Generales de operación	Costos que tiene que ver con actividades e instalaciones generales a la operación de la concesión.

7.4 COSTOS TOTALES DEL PROYECTO

Se determinó los costos de los siguientes tipos de productos;

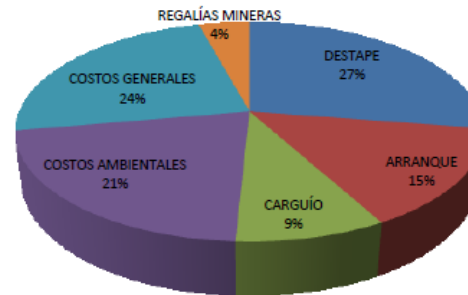
1. **Caliza 1:** Caliza explotada con perforación y Voladura y estéril en stock
2. **Caliza 2:** Caliza Explotada con Perforación y Voladura y estéril enviado a planta Azogues
3. **Caliza 3:** Caliza explotada Mecánicamente y estéril en stock
4. **Caliza 4:** Caliza Explotada Mecánicamente y estéril enviado a planta Azogues

Cuadro 21: Costos

	DESTAPE	ARRANQUE	CARGUIO	COSTOS AMBIENTALES	COSTOS GENERALES	REGALIAS MINERAS	COSTO TOTAL(\$/toneladas)
	GP – 11E	GP – 12E	GP – 13E	GP – 01A	GP – 01G		
Caliza 1	1.34	0.74	0.37	0.95	0.99	0.19	4.45
Caliza 2	1.08	0.64	0.37	0.95	0.99	0.17	4.27
Caliza 3	1.34	0.58	0.37	0.95	0.99	0.18	4.38
Caliza 4	1.08	0.58	0.37	0.95	0.99	0.17	4.21
	1.21	0.71	0.39	0.95	0.99	0.18	4.43

Nota: Costos calculados en dólares

**INFLUENCIA DE CENTROS DE COSTO EN COSTO FINAL
DE EXPLOTACIÓN GRETHA PIEDAD**



Fuente: Informe de explotación Gretha Piedad 2014.

Cuadro 22: Resumen de proyección de Costos de Caliza Aprovechable de la Concesión Minera Gretha Piedad Durante el Año 2015

CUENTAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM	OCTUB	NOVIEM	DICIEM	TOTAL
Mano de Obra	7.498,44	8.003,67	7.636,84	9.409,33	13.321,80	8.772,27	8.778,37	9.261,72	8.320,30	9.132,34	7.738,27	5.638,93	103.512,28
IESS y Beneficios Sociales	6.548,57	5.305,70	5.462,63	8.125,92	12.095,56	7.182,18	8.545,44	8.929,95	7.524,09	9.528,44	7.935,06	5.632,62	92.816,16
Depreciaciones	17.417,37	17.815,11	16.467,53	12.326,15	27.145,56	16.401,13	10.665,64	12.223,38	9.956,12	16.889,37	12.411,59	12.107,74	181.826,69
Amortización, Desmantelamiento	59,68	65,76	39,47	67,26	92,09	59,37	29,64	64,51	59,9	15,6	21,1	28,37	602,75
Suministros y Materiales	1902,27	40,50	137,72	3.566,81	3232,86	2.500,92	1.240	3.727,95	3.502,83	3919,26	4943,39	2.904,09	31.578,10
Combustibles	7.882,94	11.710,89	3.391,41	15.418,68	19.571,27	14.293,73	6.732,56	7.866,28	9.334,90	8.936,10	5.149,89	5.109,52	115.398,17
Seguros	5.316,86	5.858,99	6.921,23	6.191,23	8.701,00	6.609,62	6.800,65	6.025,09	6.352,78	8.072,90	5.993,54	2.680,55	75.524,44
Mantenimiento y Reparación	16.808,33	22.318,71	18.045,66	41.804,95	10.557,57	12.738,40	15.349,50	14.295,38	8.549,06	12.253,38	6.131,15	11.085,72	189.937,81
Impuestos Prediales y Otros	555,99	644,58	0	0	274,34	0	0	0	0	0	0	0	1.474,91
Energía Eléctrica	346,97	0	90,41	0	0	0	133,14	0	34,42	22,76	31,45	48,33	707,48
Otros Gastos	21.676,64	5.321,12	13.006,14	27.181,28	15.841,69	10.140,64	6.603,03	4723,07	2.832,67	3998,78	2.481,62	2.373,22	116.179,90
Energía Eléctrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Mano de Obra Indirecta	3.167,26	3.236,99	1.547,64	3.796,24	5.172,15	3.758,54	4.851,70	4972,56	2.333,37	5828,6	5.151,54	4.336,33	48.152,92
IESS y Beneficios Sociales Indirectos	2.554,50	2.394,01	2.131,50	2.697,57	3.960,59	2.728,07	2858,13	2418,2	3720,06	2754,54	2700,22	2734,4	33.651,79
Costos Indirectos	3.662,27	5.585,38	2.431,20	4.520,44	7.587,87	6.169,24	7.470,12	6.684,20	5.453,43	7.494,89	9.366,56	5.631,82	72.057,42
Totalcosto aprovechamiento	95.398,09	88.260,91	77.309,38	135.105,86	127.554,35	91.354,11	80.057,92	81.192,29	67.973,93	88.846,96	70.055,38	60.311,64	1.063.420,82
Caliza aprovechadas Toneladas	22.000,00	19.000,00	17.000,00	30.000,00	30.000,00	20.000,00	18.800,00	18.700,00	15.000,00	20.000,00	16.000,00	13.500,00	240.000,00
Costo de explotación De caliza por tonelada (\$ / ton)	4,34	4,65	4,55	4,50	4,25	4,57	4,26	4,34	4,53	4,44	4,38	4,47	4,43

Fuente: Industrias Guapán (2014) *Informe de explotación Gretha Piedad.*

VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

1. En la concesión Gretha Piedad se confirma que las reservas probadas son **52'565.108,2 toneladas de caliza.**
2. Para realizar la explotación a cielo abierto por bancos descendentes, el cuerpo mineralizado se fraccionara en bancos cuyas dimensiones serán: 10 metros de profundidad, 20 metros de ancho y 30 metros de largo.
3. Los parámetros para realizar la malla de perforación, puede ser por disposición cuadrada o rectangular con los siguientes parámetros :

Parámetro	Valor
Diámetro de perforación	0.089m ó 3,5 pulg
Longitud de barreno	10,80 m
Inclinación	15°
Burden	3 m
Espaciamiento	3 m

4. La cantidad de producción de planta es aproximadamente **30000 sacos/día**, por lo que se necesita sacar de la cantera la cantidad de **21818,2 toneladas al mes.**
5. El costo de beneficio de explotación de una tonelada es: **4,43 dólares/ ton**

8.2 RECOMENDACIONES

1. Realizar una explotación selectiva con la instalación de un laboratorio, ejecutando un muestreo y análisis químico en cada banco a perforarse, para una óptima producción de caliza.
2. Considerar la instalación de una trituradora móvil con la finalidad de homogenizar el material a cierto tamaño, evitando material no condicionado para el procedimiento de elaboración de la caliza.
3. Realizar trabajos de Geología Local, muestreo y perforaciones en el frente de explotación continuamente para programar voladuras eficientes.
4. Realizar una capacitación continua en manejo y uso de explosivos, para evitar elevados costos de producción por voladuras secundarias y accidentes laborales.
5. Ejecutar un plan de mantenimiento continuó de la maquinaria existente en la concesión, con el fin de mejorar su rendimiento, evitan paras de producción.
6. Se recomienda actualizar cada 5 años el cálculo del análisis minero correspondiente en la siguiente etapa de explotación, para evitar diluciones de mineral.
7. Realizar prioritariamente con anticipación la limpieza de sobrecarga en las diferentes etapas de explotación.
8. Dotar un laboratorio de titulación en el campamento.

IX. RESUMEN

La presente investigación propone: evaluar el yacimiento de caliza denominada Gretha Piedad perteneciente a la Unión Cementera Nacional UCEM C.E.M; utilizar el método de explotación a cielo abierto mediante banco descendentes para la elaboración del cemento Portland, ubicado en la provincia de Morona Santiago, cantón Méndez, sector de Yucal. Que consta de dos partes, el cálculo de reservas del bloque de estudio y su diseño de explotación de caliza por bancos descendentes, mediante operaciones de arranque, carga y transporte de la explotación del yacimiento de caliza mediante un dimensionamiento adecuado de la maquinaria. Este proyecto tiene una planificación minera para 5 años con un plan de explotación a largo plazo de las reservas de la cantera, se han diseñado 13 niveles de explotación con una altura de 10 metros cada uno. Aplicado en el cálculo de reservas mediante la ejecución de perfiles geológicos del área mineralizada por el método de las isóneas, con una dirección de suroeste-noreste (los perfiles A-A', B-B', C-C', D-D') y de noroeste-sureste (los perfiles E-E', F-F', G-G', H-H') para alcanzar mayor longitud, que permitiría una mayor visualización de la geometría del bloque calcáreo, confirmándose las reservas probadas de 52'565.108,2 toneladas de caliza, la cual requirió realizar un cálculo de explosivos necesarios para la explotación de caliza. Se concluye que la producción de la cantera será de 21818,2 toneladas/mes, con un costo de beneficio de explotación de una tonelada es: 4,43 dólares/ ton. Recomendando realizar una explotación selectiva con la instalación de un laboratorio, ejecutando un muestreo y análisis químico en cada banco a perforarse, para una óptima producción de caliza, para evitar diluciones de mineral

Palabras Claves

Yacimiento de caliza - Unión Cementera Nacional - Bancos descendentes - perfiles geológicos - reservas probadas - producción de caliza

X. SUMMARY

This research aims to evaluate the limestone deposit, called Gretha Piedad belonging to the National Unión Cement, UCEM CEM use the method of exploitation by open pit descending bank to the development of Portland cement, located in the province of Morona Santiago Mendez canton Yucal sector. Consisting of two parts, calculation of reserves, of the study block and its design of exploitation of limestone for banks falling by starting operations, loading and transport of the exploitation of limestone deposit through proper sizing of the machinery. This project has a mine planning for 5 years with a plan for long/ term exploitation of the reserves of the quarry, were designed 13 operating levels with a height of meters each. Applied in the calculation of reserves by running geological profiles, the mineralized area, by the method of isolines, with a southwest-northeast direction (A-A', B-B', C-C', D-D' profiles) and northwest-southeast (E-E', F-F', G-G', H-H' profiles) for achieving greater length, would permit greater viewing geometry limestone block, confirming proved reserves, 52'565.108,2 tons of limestone, which required a calculation of explosives required for, exploitation of limestone. It is concluded that the production of the quarry will be 21,818.2 tons/month; costing operating profit one ton is 4.43 U.S. dollars/ton. Recommending perform a selective operation with the installation of a laboratory performing sampling and chemical analysis in each bank to be drilled for optimum limestone production, to avoid dilution of mineral

Keywords

Limestone deposit/ national cement union/ descending banks/geological profiles/
proved reserves/ limestone production



XI. BIBLIOGRAFIA:

- Alvear, C., Lopez, M., Pindo, J., & Proaño, G. (2011). Retrieved junio 5, 2015, from Espol.edu.ec:
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/17132/1/Art%C3%ADculo%20final%20de%20tesis%20Alvear-Lop%C3%A9z%20pdf%5B1%5D.pdf>
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador: Boletín Explicativo*. Quito: Min. REc. Nat. Energ. Quito.
- Barragan, J. (2007, noviembre 17). *Aime ecuador org*. Retrieved junio 20, 2015, from http://www.aimecuador.org/capacitacion_archivos_pdf/Explotaci%C3%B3n%20de%20canteras.pdf
- Bernola, J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Madrid: ETS de Ingenieros de Minas Madrid.
- Calderon, J. (1997). *Optimización de la operación de explotación de caliza. Tesis de grado. Ingeniero de Minas*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del litoral.
- Fierro, F. (1999). *Estudios exploratorios de la concesión Gretha Piedad*. Méndez.
- Geominero. (2000). *Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto*. España: Secretaria General de Energía y Recursos Minerales.
- González, L. (2015, Marzo 17). *Zona de Beffion*. Retrieved mayo 20, 2015, from ctmalagunas: <http://ctmalagunas.blogspot.com/2015/03/zona-de-benioff.htm>
- Herrera, J. (2006). *Introducción a los métodos de minería cielo abierto*. Madrid: ETS de Ingenieros de Minas de Madrid.
- Hidalgo, T., Lopez, I., Pincheira, J., & Troncoso, A. (1998). *Minería a cielo abierto: métodos de tronadura*. Chile: Universidad de Chile.
- Industrias Guapán. (2010). *Estudio de Impacto Ambiental Ex-Pots Concesión Minera Gretha Piedad*. Azogues.
- Industrias Guapán. (2011). *Informe de Exploración Gretha Piedad*. Méndez.
- Reyes, P. (2000). *Apuntes de Métodos de Explotación*. México: Limusa.
- Terra-Hidro. (2013). *Proyecto Exploración Geológica-Minera Avanzada en las Concesiones Gretha Piedad y Rescate 3, Evaluación de Reservas*. Méndez.
- Wikipedia. (2001, mayo 20). *Wikipedia*. Retrieved mayo 6, 2015, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Porosidad>

Wikipedia. (2001, mayo 20). *wikipedia Org*. Retrieved mayo 8, 2015, from <https://es.wikipedia.org/wiki/Densidad>

Zurita, J., & Andrade, E. (2007). *Informe Tecnico Gretha Piedad*. Guapán.

XII. ANEXOS

ANEXO A: Glosario De Términos

A

Agua capilar: Agua que se mantiene por encima de la tabla de agua o nivel freático, como consecuencia de la atracción capilar.

Análisis de laboratorio: Es el diagnóstico realizado por especialistas, con técnicas, instrumental y equipo de laboratorio, que se practica a muestras de un producto determinado (rocas, minerales y otros), para establecer su composición y propiedades.

ANFO: Acrónimo de nitrato de amonio y óleo combustible (ammoniumnitrate and fuel oil). Mezcla de nitrato de amonio y combustible (aproximadamente 5,7%), el cual es mezclado normalmente en el sitio de trabajo. El ANFO no tiene resistencia al agua, tiene baja densidad, baja potencia (potencia/volumen), baja velocidad de detonación y no puede ser explotado por un solo detonador normal; posee un mejor acoplamiento a la roca, completa el llenado del barreno y posee un alto grado de seguridad.

Ángulo de deslizamiento: La pendiente, medida desde la horizontal, en la cual materiales sólidos sueltos o fragmentados comenzarán a deslizarse; es un ángulo un poco mayor que el ángulo de reposo.

Ángulo de reposo: El ángulo máximo que forma con la horizontal, al cual un material permanecerá en una superficie, sin deslizarse o rodarse.

Arranque: Se define como arranque de un mineral a la fragmentación del macizo rocoso hasta llevarlo a un tamaño que permita su manipulación para ser cargado y transportado. El arranque puede ser realizado con métodos mecánicos (forma continua y discontinua) y también por medio de la perforación con sustancias explosivas (forma discontinua)

B

Banco: Escalón o unidad de explotación sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción en las minas a cielo abierto. 2. Niveles en que se divide una explotación a cielo abierto para facilitar el trabajo de los equipos de perforación, cargue y transporte.

Barreno: Agujero practicado en una roca, que se rellena de pólvora u otro explosivo, para hacerla volar.

C

Cantera: Se entiende por cantera el sistema de explotación a cielo abierto para extraer de él rocas o minerales no disgregados, utilizados como material de construcción.

Corte geológico: Perfil de un corte natural de roca. Representación de un corte natural de roca en un esquema o dibujo. 3. Sección vertical interpretativa de parte de la corteza terrestre basada en información superficial o de subsuelo, generalmente a lo largo de una línea recta. Una vista en perfil de una interpretación de una sección vertical o de la corteza mediante métodos geofísicos o geológicos.

D

Datum: Un nivel de referencia arbitrario a partir del cual se asumen y se corrigen las medidas relacionadas. El nivel de referencia para las medidas de elevación, usualmente el nivel medio del mar. Sistema geodésico de definición local construido históricamente a partir de un punto.

Detonador: Dispositivo que contiene una pequeña cantidad de carga detonante usada para accionar o iniciar un explosivo, por ejemplo, estopines, fulminantes, detonadores instantáneos, detonadores eléctricos de micro retardo, entre otros

Dilución: Residuos de roca de bajo grado, inevitablemente retirados con el material en el proceso de minería, que contribuyen a bajar el grado del mineral explotado. Hace

referencia al porcentaje de material estéril o de baja ley que se mezcla con el mineral producido por el método de explotación utilizada, y las operaciones complementarias.

E

Estudio de factibilidad minera: Estudio en el cual se recopila la información geológica minera obtenida desde el reconocimiento hasta la exploración detallada, se modela el yacimiento, se diseña la explotación, se determina el volumen de reservas recuperables, se evalúa la calidad técnica y la viabilidad económica del proyecto de explotación minera. Este estudio permite verificar todas las informaciones geológicas, técnicas, ambientales, jurídicas y económicas relativas al proyecto, lleva a la toma de decisiones en materia de inversiones y constituye un documento aceptable por los bancos para las gestiones de financiación de un proyecto.

Explotación (industria minera): Proceso de extracción y procesamiento de los minerales, así como la actividad orientada a la preparación y el desarrollo de las áreas que abarca el depósito mineral. Es la aplicación de un conjunto de técnicas y normas geológicas minera y ambiental, para extraer un mineral o depósito de carácter económico, para su transformación y comercialización.

F

Fulminante: Casquillo metálico cerrado en un extremo, el cual contiene una carga explosiva de gran sensibilidad, por ejemplo, fulminato de mercurio. Están hechos para detonar con las chispas del tren de fuego de la mecha de seguridad

L

Lutita: Roca sedimentaria pelítica (granos de tamaño arcilla) con fisilidad o laminación. La arcilla característica presente es la illita (arcilla potásica). Otros componentes comunes son feldespatos, cloritas y cuarzo, el cual es abundante en granos de tamaño limos entre 0,01 y 0,001 mm de diámetro.

M

Marga: Roca sedimentaria arcillosa de origen marino, compuesta por limo, arcilla y un 50% de carbonato de calcio, generalmente de colores grises, amarillos y pardos anaranjados

Mecha lenta: Es un cordón flexible que contiene pólvora usada como transportador de llama, a una velocidad uniforme, y como iniciador de detonadores comunes N° 6 y 8 en cápsulas de cobre y aluminio.

P

Perforadora: Equipo manual o mecánico operado por una fuente de poder o hidráulico, utilizado para perforar agujeros o barrenos destinados a la detonación o a la instalación de pernos de anclaje para la roca. La perforadora manual, por su peso ligero, puede utilizarse en multitud de aplicaciones, para pequeñas voladuras en la preparación de bancos, para pequeños canales, para caminos con aquellos cortes que sean de poca altura. La barrenación usualmente es de 25 a 42 mm, y la profundidad de la perforación no es mayor de 6 m.

R

Reserva explotable: Es aquella parte de las reservas básicas medidas, que son extraíbles económicamente, en el momento de la clasificación y la evaluación, con la consideración de todas las limitaciones técnicas, legales y ambientales. Son recursos para los cuales se ha establecido el más alto grado de certeza geológica y mediante un estudio de factibilidad, el más alto grado de aprovechamiento.

S

Sondeo: Operación que se efectúa con el fin de perforar el suelo, mediante la apertura de orificios de diámetro pequeño para la exploración de minerales y petróleo. También sirve para abrir una vía de ventilación en túneles. El sondeo se realiza con barrenos.

T

Talud: Resalte o inclinación de la topografía, natural o artificial, cuya pendiente es generalmente más suave que la de los acantilados (desde plano inclinado hasta sub-vertical), su altura es menor a los 8 m

ANEXO B: Fotografías

Foto 9: Vista panorámica del sitio a realizarse el diseño de explotación tomado desde la vía Méndez - Guarumales (distancia aproximada 2 km)



Foto 10: Sitio específico del frente donde se realiza el diseño de explotación cota 890msnm



Foto 11: Abertura de la vía de ingreso y limpieza de la cobertura (material útil meteorizado y esteril)



Foto 12: Ejecución de la rampa utilizada en la limpieza de la cobertura de la vía principal en la cota inferior al ingreso de la cota 735 msnm



Foto 13: Vía de acceso a la cima del frente de explotación



Foto 14: Zona de compósito entre el material de alta pureza con el material de la mina “Gretha Piedad”

ANEXO C: Mapas

ANEXO D: Cortes Geológicos

ANEXO E: Modelo de la mina según Fases de Explotación