

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MINADO DE CANTERA DE
CALIZA LA UNIÓN DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA –
CAJAMARCA” 2015**

TESIS

PRESENTADO POR:

DEMETRIO PIÉROLA VERA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PROMOCIÓN 2008 - II

PUNO – PERÚ

2017



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

“OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MINADO DE CANTERA DE CALIZA LA UNIÓN DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA” 2015


PRESENTADO POR: Bachiller Demetrio Piérola Vera

APROBADO POR:

Presidente del jurado:

Dr. Ing° JUAN MAYHUA PALOMINO

Primer miembro :
Dr. Ing° ROBERTO CHAVES FLORES

Segundo miembro :

M.Sc. Ing° FELIPE MAMANI OVIEDO

Director :

Ing° OWAL VELÁSQUEZ VIZA

Asesor :

M.Sc. Ing° HENRY ARNALDO TAPIA VALENCIA

Área : Ingeniería de Minas.
Tema : Diseño y Planeamiento en Minera.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico a mis padres, Florentino y Lorenza por su apoyo incondicional en mi formación académica en la Facultad de Ingeniería de Mi de la Universidad Nacional del Altiplano.

Dedico a mis hermanos Dionisio, Lucio, Maruja por su aliento permanente para culminar con éxito el presente trabajo de investigación.

Dedico a mis hijos **Zomy y Romeo** que constituye fuerza y voluntad e inspiración para ejecutar el presente trabajo de investigación.

Agradezco a Dios, me dio las fuerzas para superar todas las dificultades en el trajinar en las aulas Universitarias hasta culminar el presente trabajo de investigación.

A mis padres Florentino y Lorenza quienes me vieron crecer y permanente apoyo a ellos mis profundos agradecimientos por los sacrificios que hicieron para que terminara mi carrera.

Agradezco a mis docentes de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano.

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
CAPÍTULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Justificación de la investigación.....	5
1.5 Limitaciones del estudio.....	5
1.6 Viabilidad del estudio.....	6
1.6.1 Viabilidad técnica.....	6
1.6.2 Viabilidad económica.....	6
1.6.3 Viabilidad social.....	6
1.6.4 Viabilidad operativa.....	6
1.6.5 Alternativas.....	7
CAPÍTULO II.....	8

MARCO TEÓRICO	8
1.7 Antecedentes de la investigación	8
2.1 Bases teóricas	11
2.1.1 Clasificación Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski 1989	11
2.2 Explotación de canteras	13
2.2.1 Elementos de un banco en una cantera	13
2.2.2 Evaluación de yacimientos y reservas	13
2.2.3 Ubicación de la planta	14
2.3 Potencial de rocas y minerales industriales en el Perú	15
2.4 Concepto tradicional de la cantera	15
2.5 Definición actual de la cantera	16
2.6.1 Cantera como fuente de aprovisionamiento	17
2.6.2 Clasificación de las canteras según tipo de explotación	18
2.6.3 Clasificación de las canteras según el material a explotar	18
2.6.4 Clasificación de las canteras según su origen	18
2.6.5 Explotación de canteras	18
2.6.6 Clases de canteras	19
2.6.7 Fases de la explotación de canteras	20
2.6.8 Canteras en el entorno ambiental	21
2.7 Plan de minado	22
2.7.1 Preguntas básicas del plan de minado	23
2.7.2 Explicación	23
2.7.3 Elementos del planeamiento	24
2.7.4 Optimización de explotación minera	25
2.7.5 La complejidad de la coordinación	26
2.7.6 Indicadores claves de rendimiento en operaciones mineras	27
2.7.7 Adopción de una visión más amplia	28
2.7.8 Desarrollo de la detonación	29
2.7.9 Mecanismo de detonación	31

2.7.10	<i>Perforación.....</i>	32
2.7.11	<i>Métodos de perforación.....</i>	33
2.7.12	<i>Principios de perforación mecánica de las rocas.</i>	33
2.7.13	<i>Sistemas de accionamiento:.....</i>	33
	<i>.....</i>	33
2.7.14	<i>Indentación.</i>	34
2.8	<i>Diseño de actividades mineras superficiales.....</i>	36
2.8.1	<i>Operación mina, equipos y recursos en cantera de caliza.....</i>	37
2.8.2	<i>Ciclo de minado en la cantera de caliza.</i>	37
2.9	<i>Caliza.</i>	40
2.9.1	<i>Formación de la caliza.....</i>	40
2.9.2	<i>El ciclo del carbonato.</i>	41
2.9.3	<i>Cal.</i>	41
2.9.4	<i>Cantera.</i>	42
2.9.5	<i>Diseño de cantera.</i>	42
2.10	<i>Definiciones conceptuales.</i>	44
2.10.1	<i>Pre exploración.....</i>	44
2.10.2	<i>Exploración.....</i>	44
2.10.3	<i>Macizo rocoso.....</i>	44
2.10.4	<i>Clasificación del macizo rocoso.</i>	44
2.10.5	<i>Durabilidad.....</i>	44
2.10.6	<i>Durabilidad de la caliza.....</i>	45
2.10.7	<i>Caracterización de la matriz rocosa.</i>	45
2.10.8	<i>Identificación.....</i>	45
2.10.9	<i>Cantera de caliza.</i>	45
2.10.10	<i>Prospección - evaluación y explotación de canteras.</i>	45
2.10.11	<i>Proceso de explotación de una cantera.</i>	46
2.10.12	<i>Evaluación de yacimientos y reservas.</i>	46
2.10.13	<i>Como seleccionar una cantera.</i>	47

2.10.14	<i>Actividades realizadas en una cantera.</i>	48
2.10.15	<i>Conceptos generales en minería superficial.</i>	48
2.10.16	<i>Conceptos generales en la voladura de rocas.</i>	50
2.12.1	<i>Hipótesis general.</i>	51
2.12.2	<i>Hipótesis específicos.</i>	52
2.12.3	<i>Variables.</i>	52
2.12.4	<i>Variable dependiente.</i>	52
CAPÍTULO III		53
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN		53
3.1	<i>Diseño metodológico.</i>	53
3.2	<i>Tipo de la investigación.</i>	54
3.3	<i>Nivel de investigación.</i>	54
3.4	<i>Fases de metodología del estudio.</i>	54
3.5	<i>Metodología empírica y analítica.</i>	54
3.5.1	<i>Técnicas de recolección de datos de campo.</i>	54
3.6	<i>Población y muestra.</i>	55
3.6.1	<i>Población.</i>	55
3.6.2	<i>Muestra.</i>	55
3.7	<i>Técnicas de recolección de datos.</i>	55
3.8	<i>Técnicas para el procesamiento de la información.</i>	55
3.8.1	<i>Codificación.</i>	56
3.8.2	<i>Tabulación.</i>	56
3.8.3	<i>Consistencia.</i>	56
3.8.4	<i>Cálculo de tamaño de muestra conociendo el tamaño de la población.</i>	56
3.9	<i>Operacionalización de variables. Ver Tabla. 3.1.</i>	57
3.9.1	<i>Variable independiente.</i>	57
3.9.2	<i>Variable dependiente.</i>	57
3.10	<i>Técnicas de recolección de datos.</i>	57
3.10.1	<i>Técnicas para el procesamiento de la información.</i>	58

CAPÍTULO IV	59
ASPECTOS GENERALES	59
4.1 Ubicación del yacimiento	59
4.2 Concesiones mineras en el departamento de Cajamarca	60
4.3 Accesibilidad	60
4.4 Clima	61
4.5 Flora y fauna de Cajamarca	62
4.5.1 Flora	62
4.5.2 Fauna	62
4.5.3 Pluviometría	65
4.6 Fenómenos de origen natural	66
4.6.1 Fenómenos de origen geológico	66
4.6.2 Sismicidad	66
4.7 Geomorfología	66
4.7.1 Formaciones geológicas de la zona de estudio	69
4.8 Geología regional	70
4.8.1 Formación Celendín	70
4.8.2 Formación Cajamarca	70
4.8.3 Ambiente de sedimentación de la formación Cajamarca	71
4.8.4 Formación Quilquiñan – Mujarrum	71
4.8.5 Geología estructural	71
4.9 Geología local	73
4.9.1 Litología de la formación Cajamarca	73
4.9.2 Mineralización calcita	73
4.9.3 Meteorización de la caliza	74
4.10 Operación minera en cantera La Unión - Baños del Inca	74
4.10.1 Producción diaria de caliza	74
4.10.2 Reservas minerales de caliza	75
4.10.3 Estimación de reservas minerales en cantera La Unión a diciembre de 2015	75

4.10.4	<i>Reservas probadas de mineral de caliza.</i>	75
4.10.5	<i>Reservas probables de mineral de caliza.</i>	75
4.10.6	<i>Características técnicas.</i>	75
4.10.7	<i>Método de explotación de yacimiento de caliza en cantera La Unión.</i>	76
4.10.8	<i>Exploración.</i>	76
4.10.9	<i>Operaciones unitarias.</i>	76
4.10.10	<i>Perforación.</i>	77
4.10.11	<i>Voladura.</i>	77
4.10.12	<i>Teoría de la fragmentación de la roca.</i>	77
4.10.13	<i>Mecánica de rotura de rocas.</i>	77
4.10.14	<i>Fases de la mecánica de rotura de un taladro con cara libre.</i>	78
4.10.15	<i>Secuencia de voladura en un banco.</i>	78
4.10.16	<i>Carguío.</i>	80
4.10.17	<i>Equipos de la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) La Unión de Cajamarca.</i>	80
4.10.18	<i>Retroexcavadora.</i>	80
4.10.19	<i>Retro excavadora en la explotación de una cantera.</i>	80
4.10.20	<i>Transporte.</i>	81
4.10.21	<i>Trituración manual con combas.</i>	82
4.10.22	<i>Chancado de carbón.</i>	83
4.10.23	<i>Calcinación.</i>	84
4.10.24	<i>Derivados de la caliza.</i>	84
4.10.25	<i>Cal.</i>	84
4.10.26	<i>Variedades comerciales.</i>	84
4.10.27	<i>Selección de cal viva.</i>	84
4.10.28	<i>Comercialización y transporte.</i>	84
4.10.29	<i>Canales de comercialización.</i>	84
4.11	<i>Proceso de obtención de cal.</i>	85
4.12	<i>Políticas de la empresa.</i>	86
4.12.1	<i>Política de calidad.</i>	87

4.12.2	<i>Política de gestión ambiental.</i>	87
4.12.3	<i>Desarrollo sostenible de la empresa respecto a las comunidades.</i>	88
4.12.4	<i>Política de prevención de riesgos.</i>	88
4.12.5	<i>Política en seguridad y salud ocupacional.</i>	89
4.12.6	<i>Equipos de protección individual obligatorios.</i>	89
4.12.7	<i>Minimización de polvo.</i>	89
	CAPÍTULO V	90
	PRUEBAS Y RESULTADOS	90
5.1	<i>Exposición de pruebas y resultados de acuerdo a hipótesis.</i>	90
5.2	<i>Optimización.</i>	91
5.3	<i>Plan de minado.</i>	92
5.4	<i>Fases de la investigación en la optimización de plan de minado.</i>	92
5.5	<i>Operación minera actual para una producción de 30 TM/día como línea de base.</i> 92	
5.5.1	<i>Reservas minerales no metálicos de caliza en cantera La Unión.</i>	92
5.5.2	<i>Reservas probadas de mineral de caliza a diciembre de 2015.</i>	93
5.5.3	<i>Reservas probables de mineral de caliza a diciembre de 2015.</i>	93
5.5.4	<i>Método de explotación de yacimiento de caliza en cantera La Unión.</i>	93
5.5.5	<i>Operaciones unitarias.</i>	93
5.5.6	<i>Perforación.</i>	94
5.5.7	<i>Perforadora convencional neumático.</i>	94
5.5.8	<i>Factores de los que depende la ubicación e inclinación de los taladros.</i>	95
5.5.9	<i>Trazo de la malla de perforación.</i>	95
5.5.10	<i>Disparo simultáneo y rotativo.</i>	96
	96
5.5.11	<i>Voladura.</i>	96
5.5.12	<i>Fragmentación de la roca caliza por acción de voladura.</i>	98
5.5.13	<i>Trituración manual con combas en etapa primaria en banco de producción...</i>	98
5.5.14	<i>Carguío.</i>	99
5.5.15	<i>Equipos de carguío y transporte.</i>	99

5.5.16	<i>Retroexcavadora – cargadora 430E.....</i>	99
5.5.17	<i>Tipos de retroexcavadoras y sus características.....</i>	100
5.5.18	<i>Apilamiento con retroexcavadora.....</i>	101
5.5.19	<i>Transporte.....</i>	102
5.5.20	<i>Trituración manual con combas en etapa secundaria (cancha de horno).....</i>	103
5.5.21	<i>Chancado de carbón.....</i>	104
5.5.22	<i>Calcinación.....</i>	104
5.5.23	<i>Capacidad actual de calcinación.....</i>	104
5.5.24	<i>Vida de la mina de acuerdo a la capacidad actual de calcinación de 30 TM/día. 105</i>	
5.6	<i>Ganancias logradas con la producción de 30 TM/día.....</i>	105
5.7	<i>Optimización de plan de minado para una producción de 63 TM/día de cal.....</i>	105
5.8	<i>Optimización de la capacidad de calcinación de hornos A y B en 2015.....</i>	106
5.8.1	<i>Capacidad de calcinación de hornos de enero a setiembre de 2015.....</i>	106
5.8.2	<i>Capacidad de calcinación propuesto horno A y B en octubre – diciembre en 2015. 106</i>	
5.8.3	<i>Optimización capacidad de calcinación en hornos A y B.....</i>	106
5.9	<i>Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno A y B en cantera la Unión. 111</i>	
5.9.1	<i>Determinación de calidad de macizo rocoso en cantera La Unión.....</i>	111
5.9.2	<i>Caracterización geomecánica de cantera de caliza La Unión.....</i>	112
5.9.3	<i>Evaluación de litología estructural del macizo rocoso.....</i>	113
	<i>.....</i>	119
5.10	<i>Determinación de RQD (Rock Quality Designation) progresiva 0 - 21m.....</i>	128
5.10.1	<i>Evaluación geomecánica de cantera de caliza La Unión.....</i>	129
5.10.2	<i>Resultados de resistencia compresiva uniaxial (RCU) con esclerómetro.....</i>	130
5.10.3	<i>Resistencia compresiva uniaxial (RCU) de especímenes.....</i>	131
5.10.4	<i>Evaluación comparativa de resultados de compresión simple realizados.....</i>	131
5.10.5	<i>Determinación de calidad del macizo rocoso mediante RMR de Bieniawski 1989. 132</i>	
5.10.6	<i>Calidad de macizo rocoso de cantera de caliza La Unión.....</i>	132

5.10.7	<i>Especificaciones técnicas del macizo rocoso.....</i>	133
5.11	<i>Factores para la optimización de plan de minado para una producción de 63 TM/día.....</i>	133
5.11.1	<i>Reservas minerales de cantera de caliza La Unión.</i>	133
5.11.3	<i>Equipo para la operación minera.....</i>	134
5.11.4	<i>Perforación.....</i>	134
5.11.5	<i>Perforadora convencional neumático.....</i>	134
5.11.6	<i>Factores de los que depende la ubicación e inclinación de los taladros.</i>	135
5.11.7	<i>Trazo de la malla de perforación.</i>	135
5.11.8	<i>Disparo simultáneo y rotativo.</i>	135
5.11.9	<i>Voladura.....</i>	137
5.11.10	<i>Volumen.....</i>	137
5.11.11	<i>Carguío.</i>	138
5.11.12	<i>Equipos de carguío.</i>	139
5.11.13	<i>Transporte en cantera de caliza La Unión.....</i>	139
5.11.14	<i>Evaluación de capacidad de equipos de acarreo de cantera caliza La Unión. 140</i>	
5.11.15	<i>Evaluación de tiempos óptimos de ida, descarga, retorno y carguío completo de volquete de 15 m³.</i>	141
5.12	<i>Ciclo completo de trabajo de volquetes para transporte de calizas fragmentadas. 142</i>	
5.12.1	<i>Consideraciones técnicas para producción diaria óptima en cantera de caliza La Unión.....</i>	142
5.12.2	<i>Cálculo de ciclos para producción diaria caliza en m³.</i>	143
5.12.3	<i>Cálculo de producción en metros cúbicos de caliza.</i>	143
5.12.4	<i>Tonelaje de caliza puesta en cancha de horno de calcinación por día.</i>	144
5.13	<i>Evaluación de programa de producción y plan de minado para una producción de 63 TM/día.</i>	144
5.14	<i>Vida de la mina de acuerdo a la capacidad actual de calcinación de 63 TM/día. 144</i>	
5.15	<i>Ganancias logradas con la optimización de la producción de 63 TM/día.....</i>	145

5.16	Proceso de obtención de cal.	145
	146
	CAPÍTULO VI	147
	DISCUSIONES Y APLICACIONES	147
6.1	Discusiones.	147
6.2	Aplicaciones.	148
6.3	Uso de cal.	148
6.3.1	Industria lechera.	148
6.3.2	Tratamiento de basura.	148
6.3.3	Reciclar.	149
6.3.4	Tratamiento de lodos.	149
6.3.5	Piedra fundente.	149
6.3.6	Caliza agrícola.	150
6.3.8	Carburo de calcio.	150
6.3.9	Azúcar.	150
6.3.10	Papel.	150
6.4	Aplicaciones diversas de cal.	151
6.4.1	La cal (óxido de calcio, CaO).	151
6.4.2	La cal hidratada (hidróxido de calcio, Ca (OH)₂).	151
6.4.3	El carbonato cálcico precipitado (PCC CaCO₃).	151
6.5	Categorías de productos en mercado internacional.	151
6.6	Productos calcinados, óxidos (cal viva y dolomía calcinada).	151
	CONCLUSIONES	153
	RECOMENDACIONES	154
	BIBLIOGRAFÍA	155
	WEB GRAFÍA	160
	Matriz de consistencia.	161
	ANEXOS	162
	ANEXO 1: Tablas	163

INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Descripción de grado de meteorización de rocas.	11
Tabla 2. 2. Descripción de resistencia a compresión simple.	12
Tabla 2. 3 Parámetros para la explotación de canteras.	43
Tabla 3. 1. Operacionalización de variables.	58
Tabla 4. 1. Concesiones mineras del departamento de Cajamarca.	60
Tabla 4. 2. Ubicación de cantera de caliza La Unión - Baños del Inca.	60
Tabla 4. 3. Geomorfología de Cajamarca.	68
Tabla 5. 1. Reservas minerales de caliza La Unión - distrito Baños del Inca a diciembre de 2015.	93
Tabla 5. 2. Características de retro excavadora 430E.	99
Tabla 5. 3. Estadística de capacidad de calcinación en TM/día en horno A - horno B en el año 2015.	107
Tabla 5. 4. Estadística de calcinación óptima en TM/día en horno A - horno B en octubre - diciembre en 2015.	110
Tabla 5. 5. Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno A y B en cantera La Unión.	111
Tabla 5. 6. Registro de discontinuidades de cantera de caliza La Unión, Baños del Inca – Cajamarca.	114
Tabla 5. 7. Registro simplificado de progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión.	115
Tabla 5. 8. Registro simplificado de progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.	116
Tabla 5. 9. Registro simplificado de familia 1 progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.	117
Tabla 5. 10. Registro simplificado de familia 2 progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.	120
Tabla 5. 11. Registro simplificado de familia 3 progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.	123
Tabla 5. 12. Resumen de dominio estructural progresiva 0 - 21m cantera de caliza La Unión.	129
Tabla 5. 13. Valores obtenidos con esclerómetro cantera de caliza La Unión.	129
Tabla 5. 14. Parámetros geotécnicos (Propiedades físicas) de cantera de caliza La Unión.	130

Tabla 5. 15. Datos de las muestras de laboratorio de MRP Servicios especiales.....	131
Tabla 5. 16. Rock Mass Rating (RMR) progresiva 0 - 21 cantera de caliza La Unión.	132
Tabla 5. 17. Factor de esponjamiento en función a densidades en banco y suelto.....	138
Tabla 5. 18. Características del equipo excavadora hidráulica CAT 325 DL.	139
Tabla 5. 19. Características del volquete Volvo FM 440.	140
Tabla 5. 20. Factores para el movimiento de caliza fragmentada.	141
Tabla 5. 21. Tiempo de ciclo de carguío con excavadora hidráulica.	141
Tabla 5. 22. Tiempo de encuadre y de carguío con excavadora hidráulica.....	142
Tabla 5. 23. Ciclo completo de trabajo de volquetes.....	142

ANEXO 2. Figuras

INDIC DE FIGURAS

Figura 2. 1. Elementos de un banco.....	13
Figura 2. 2. Etapas para la explotación de una cantera.....	14
Figura 2. 3. Rocas y minerales industriales en el Perú.	15
Figura 2. 4. Silos funcionales de una empresa minera.	29
Figura 2. 5. Tipo de reacción en función de la cinética química.	31
Figura 2. 6. Zonas de proceso de detonación.	31
Figura 2. 7. Perforación con martillo en cabeza.	33
Figura 2. 8. Perforación con martillo en fondo.....	34
Figura 2. 9. Indentación en la roca.	34
Figura 2. 10. Resultados de la indentación en diferente calidad de roca.....	35
Figura 2. 11. Estructura del trepano del tricono.	35
Figura 2. 12. Componentes del cojinete a rodillos.	36
Figura 2. 13. Forma de explotar una cantera.	46
Figura 2. 14. Cantera de caliza en operación.....	47
Figura 4. 1. Sistema de coordenadas proyectadas UTM - Datum horizontal WGS 1984... 61	61
Figura 4. 2. Ubicación de cantera La Unión – distrito de Baños del Inca.	62
Figura 4. 3. Ubicación del distrito de Baños del Inca - Cantera La Unión.....	64
Figura 4. 4. Temperaturas máximas y mínimas en la ciudad de Cajamarca.	65
Figura 4. 5. Humedad relativa media ciudad de Cajamarca.	65

Figura 4. 6. Precipitación fluvial anual en la ciudad de Cajamarca.	66
Figura 4. 7. Rasgos morfológicos de Cajamarca.	67
Figura 4. 8. Estructura litológica pared de banco de cantera de caliza La Unión.	68
Figura 4. 9. Formaciones geológicas de Cajamarca.	69
Figura 4. 10. Estructura litológica meteorizada en cantera de caliza La Unión.	70
Figura 4. 11. Plegamientos en escarpas en zona La Unión Bambamarca.	72
Figura 4. 12. Secuencia de voladura en bancos.	78
Figura 4. 13. Fases de la mecánica de rotura de un taladro con cara libre.	79
Figura 4. 14. Volquete Dodge 800 de reemplazo.	81
Figura 4. 15. Pila de caliza con bolones.	82
Figura 4. 16. Fragmentos en cancha de calcinado para la trituración secundaria.	83
Figura 4. 17. Proceso de explotación - Calcinación.	83
Figura 5. 1. Perforación con perforadora tipo martillo.	94
Figura 5. 2. Perfil longitudinal de banco de producción en cantera de caliza La Unión.	95
Figura 5. 3. Malla de perforación actual en cantera de caliza La Unión - Baños de Inca. ..	96
Figura 5. 4. Fragmentos después de la voladura para la trituración primaria.	98
Figura 5. 5. Retroexcavadoras 430E.	100
Figura 5. 6. Retroexcavadora 430E.	101
Figura 5. 7. Apilamiento con retroexcavadora CAT.	101
Figura 5. 8. Carguío con retroexcavadora CAT.	102
Figura 5. 9. Volquete Dodge 800.	103
Figura 5. 10. Bolones por voladura deficiente.	103
Figura 5. 11. Fragmentos en cancha de calcinado para la trituración secundaria.	104
Figura 5. 12. Capacidad de calcinación en TM/día en horno A y en horno B en 2015.	107
Figura 5. 13. Capacidad de calcinación en TM/día en horno A Cantera La Unión en 2015.	108
Figura 5. 14. Capacidad de calcinación en TM/día en horno A cantera La Unión en 2015.	108
Figura 5. 15. Capacidad de calcinación en TM/día horno B cantera La Unión en 2015.	109
Figura 5. 16. Capacidad de calcinación en TM/día en horno B cantera La Unión en 2015.	109
Figura 5. 17. Capacidad de calcinación en TM/día en horno B cantera La Unión en 2015.	110

Figura 5. 18. Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno A.....	110
Figura 5. 19. Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno B.	111
Figura 5. 20. Histograma de espaciado de familia 1.	117
Figura 5. 21. Histograma de persistencia de familia 1.	118
Figura 5. 22. Histograma de apertura de familia 1.	118
Figura 5. 23. Histograma de rugosidad de familia 1.	118
Figura 5. 24. Histograma de relleno espesor de familia1.	119
Figura 5. 25. Histograma de meteorización de familia 1	119
Figura 5. 26. Histograma de agua subterránea de familia 1.	119
Figura 5. 27. Histograma de espaciado de familia 2.	120
Figura 5. 28. Histograma de persistencia de familia 2.	121
Figura 5. 29. Histograma de apertura de familia 2.	121
Figura 5. 30. Histograma de rugosidad de familia 2.	121
Figura 5. 31. Histograma de relleno espesor de familia 2.	122
Figura 5. 32. Histograma de meteorización de familia 2.	122
Figura 5. 33. Histograma de agua subterránea de familia 2	122
Figura 5. 34. Histograma de espaciado de familia 3.	123
Figura 5. 35. Histograma de persistencia de familia 3.	124
Figura 5. 36. Histograma de apertura de familia 3.	124
Figura 5. 37. Histograma de rugosidad de familia 3.	124
Figura 5. 38. Histograma de relleno espesor de familia 3.	125
Figura 5. 39. Histograma de meteorización de familia 3.	125
Figura 5. 40. Histograma de agua subterránea de familia 3.	125
Figura 5. 41. Diagrama de concentracion de polos de progresiva 0 - 21 m.	126
Figura 5. 42. Diagrama de rosseto de progresiva 0 - 21 m.....	126
Figura 5. 43. Diagrama de concentracion de polos de progresiva 0 - 21 m.	127
Figura 5. 44. Diagrama de concentracion de polos y planos de progresiva 0 - 21 m.....	127
Figura 5. 45. Diagrama de planos de progresiva 0 - 21 m.....	128
Figura 5. 46. Discontinuidades en metro lineal en afloramiento de caliza.....	129
Figura 5. 47. Proceso de perforación con martillo Jack hammer en cantera de caliza La Unión	134
Figura 5. 48. Banco en cantera de caliza La Unión.....	136

Figura 5. 49. Malla de perforación propuesta para RMR 57 en cantera de caliza La Unión – Baños del Inca.	136
Figura 5. 50. Barrenos integrales.....	138
Figura 5. 51. Excavadora CAT 325DL.....	139
Figura 5. 52. Volquete Volvo FM 440 de 15 cubos de capacidad.	140
Figura 5. 53. Cal hidratada para ingenios.....	146

ANEXOS Fotos INDICE DE FOTOS

Foto N° 1. Geomorfología de Cajamarca.	166
Foto N° 2. Fragmentos de caliza que requieren trituración.....	166
Foto N° 3. Fragmentos de caliza intemperizada.....	167

ANEXO 4 Planos

Plano N° 1. Plano de ubicación	167
--------------------------------------	-----

RESUMEN

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión minera no metálica “La Unión” con 100 hectáreas de extensión, produce aproximadamente 30 TM/día en forma artesanal, se requiere la optimización del plan de minado de la cantera de caliza La Unión Distrito baños del inca - Cajamarca, para incrementar la producción se considera la interrogante de ¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca?. El objetivo es evaluar las características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte, Se ha determinado como línea de base a las operaciones mineras actuales la determinación de la calidad del macizo rocoso de calizas se ha determinado un RMR 57 es una roca de calidad regular con una densidad en banco de 2.51 TM/m³, las reservas minerales son 855972.00 TM, los resultados de la voladura son de 65 m³ de roca fragmentada o roca suelta diaria, el transporte es en volquetes Dodge 800 de 6 cubos la producción diaria se ha adecuado a 30 TM/día de calcinación de los dos hornos con una capacidad operativa de 50 % ,con esta producción diaria se logra una ganancia de US \$ 10 468.67 mensuales.

Se ha logrado optimizar la producción de 80 TM/día de roca fragmentada de caliza para abastecer a la capacidad de calcinación de los dos hornos A y B, las estadísticas de capacidad de calcinación nos muestran que se ha logrado determinar la capacidad óptima de calcinación de 63TM/día, en una calidad de roca regular de RMR 57, la densidad de la caliza varia de 2,40 a 2,52 TM/m³, la resistencia compresiva uniaxial varia de 50.34 a 95.55 MPa, incrementando la profundidad del taladro de 1.20 m a 1.80 m, el número de taladros de 8 a10 adicionando ANFO en el segundo caso, el transporte en volquetes *volvo FM 440* de 15 cubos se logra incrementar a un volumen de 121.30 m³ de roca suelta se logra una producción de 80 TM / día y se logra incrementar las ganancias a US \$ 21 028.00.

Palabras claves. Optimización, calidad del macizo rocoso, operaciones unitarias.

ABSTRACT

The Minimal Liability Company (SMRLtda) "La Unión de Cajamarca", owner of the non-metallic mining concession "La Unión" with 100 hectares in size, produces approximately 30 TM / day in artisanal form, requires the optimization of the plan In order to increase production, the question of How can the mine plan be optimized by the evaluation of geomechanical characteristics of the deposit, mineral reserves and the cycle of unitary operations Of drilling, blasting, loading and transport in the limestone quarry La Unión District Baños del Inca - Cajamarca?. The objective is to evaluate the geomechanical characteristics of the reservoir, mineral reserves and the cycle of unit operations of drilling, blasting, loading and transport. It has been determined as baseline to the current mining operations the determination of the quality of the rocky massif of limestones Has determined a RMR 57 is a regular quality rock with a bank density of 2.51 ton / m³, the mineral reserves are 855972.00 TM, the results of the blasting are 65 m³ of fragmented rock or loose rock daily, transport is in Dodge buckets 800 of 6 cubes daily output has been adjusted to 30 MT / day of calcination of the two furnaces with an operational capacity of 50%, with this daily production a profit of \$ 10 468.67 per month is achieved.

It has been possible to optimize the production of 80 TM / day of fragmented limestone rock to supply the calcination capacity of the two furnaces A and B, the calcination capacity statistics show that it has been possible to determine the optimum calcination capacity of 63TM / day, in a RMR 57 regular rock quality, limestone density varies from 2.40 to 2.52 TM / m³, the uniaxial compressive strength ranges from 50.34 to 95.55 MPa, increasing the drill depth of 1.20 1.80 m, the number of holes from 8 to 10 adding ANFO in the second case, the transport in dumps volvo FM 440 of 15 cubes is possible to increase to a volume of 121.30 m³ of loose rock, a production of 80TM / day is achieved and Manages to increase profits to US \$ 21,028.00.

Keywords. Optimization, quality of rock mass, unit operations

INTRODUCCIÓN

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” con 100 hectáreas de extensión, produce aproximadamente 30 TM/día con equipos convencionales tales como retroexcavadora y las perforaciones se realizan con martillo neumático *Atlas Copco* con una altura de banco de 1.20 m. Ante esta situación se requiere la optimización del plan de minado de la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca, este recurso mineral no metálico se explota de manera irracional es decir en forma artesanal obteniéndose una producción muy baja de 30 TM/día, para alcanzar la optimización surge la interrogante ¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca.

Se considera que la posible solución es mediante la Evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca, conforme esta hipótesis, para la optimización del plan de minado para incrementar la producción el objetivo es evaluar las características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

Se ha determinado como línea de base a las operaciones mineras actuales conforme los objetivos planteados, en este proceso de optimización, la determinación de la calidad del macizo rocoso es sumamente importante la caracterización del macizo rocoso mediante las clasificaciones geomecánicas de RMR de *Bieniawski* 1989, con la caracterización de macizo rocoso de calizas se ha determinado un RMR 57 es una roca de calidad regular con una densidad en banco de 2.51 TM/m^3 , con una potencia del estrato de 4.00 m a 5.00 m aproximadamente, las reservas minerales de cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca es 855972.00 TM, los resultados de la voladura son de 65 m^3 de roca fragmentada o roca suelta diaria, el sistema de transporte es en volquetes *Dodge* 800 de 6 cubos como pequeño productor minero con carencia de un plan de minado adecuado, la producción diaria se ha adecuado a la capacidad 30 TM/día

de calcinación de los dos hornos con una capacidad operativa de 50 %, con esta producción diaria se logra una ganancia de US \$ 10 468.67 mensuales.

Se ha logrado optimizar la capacidad de calcinación de los dos hornos A y B teniendo en cuenta que la capacidad de calcinación de cada uno de los hornos verticales es de 15 TM/día, las estadísticas de capacidad de calcinación se observan en la Tabla. 5.3 en Figura. 5.7 a Figura. 5.14, en los meses de octubre, noviembre y diciembre se ha puesto en marcha el proceso de optimización de capacidad de calcinación de caliza en cada horno, en tabla. 5.4, tabla. 5.5 y Figura. 5.13, se ha logrado determinar la capacidad óptima de calcinación de 63 TM/día, consecuentemente se requiere optimizar el plan de minado para una producción mayor de 63 TM/día mediante la calidad del macizo rocoso, reservas minerales y las operaciones unitarias; en una calidad de roca regular de RMR 57, la densidad de la caliza conforme se puede observar en Tabla. 5.14 varía de 2,40 a 2,52 TM/m³, la resistencia compresiva uniaxial varía de 50.34 a 95.55 MPa. Incrementando la profundidad del taladro de 1.20 m a 1.80 m, el número de taladros de 8 a 10 adicionando ANFO en el segundo caso, el transporte en volquetes volvo FM 440 de 15 cubos se logra incrementar a un volumen de 121.30 m³ de roca suelta como resultado de las modificaciones realizadas para lograr la optimización requerida, con la evaluación de tiempos óptimos mostrados en Tabla. 5.21, Tabla. 5.22, Tabla. 5.23, se logra optimizar un plan de minado para una producción de 80 TM/día de caliza fragmentada puesta en los hornos verticales de calcinación y se logra incrementar las ganancias a US \$ 21 028.00, generan mejores condiciones económicas para seguir con las operaciones mineras.

Los conflictos socio ambientales crecen día a día y con ello a la minería se le considera como única fuente contaminador sin considerar que otro sectores también contaminan, de acuerdo a la demanda de cal en las operaciones mineras metálicas de la zona Norte de nuestro País especialmente en la Región de Cajamarca para atenuar a los posibles daños ambientales que trae consigo los conflictos socio ambientales, es necesario incrementar la producción para mejorar la ganancia en tal sentido la adquisición de nuevos hornos verticales de mayor capacidad de calcinación existentes en el mercado son muy necesarios.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La S.M.R. Ltda La Unión de Cajamarca en el yacimiento mineral no metálico de caliza La Unión, produce aproximadamente 30 TM/día con equipos convencionales tales como retroexcavadora y las perforaciones se realizan con martillo neumático *Atlas Copco*. Ante esta situación nace la idea de realizar el presente trabajo de investigación denominado: “Optimización del plan de minado de la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca-Cajamarca”. Conociendo las características geológicas en esta parte del territorio Norte y de la región de Cajamarca se evidencian yacimientos de rocas calcáreas (calizas), de la Formación Cajamarca (Ks - Ca), que constituye las reservas minerales no metálicos; este recurso mineral no metálico se explota de manera irracional es decir en forma artesanal obteniéndose una producción muy baja alrededor de 30 TM/día, para contribuir al mejoramiento de la explotación de este recurso no metálico en la cantera la Unión - distrito de Baños de Inca - Cajamarca. En particular la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” con 100 hectáreas de extensión, quien se dedica a la extracción de este mineral no metálico y procesamiento de la caliza para obtener la cal, óxido de calcio, tomando en cuenta la normatividad técnica y legal para esta actividad minera, el cual contribuirá al desarrollo socioeconómico de la Región Cajamarca y el país.

Con la optimización del plan de minado de la cantera de caliza La Unión se pretende alcanzar la producción 63 TM/día, mediante la evaluación de las características geomecánicas del

yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte; considerando que esta zona de Cajamarca es eminentemente minero y existe demanda de cal para las operaciones mineras auríferas y polimetálicas.

1.2 Formulación del problema.

1.2.1 Problema general.

¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca?.

1.2.2 Problemas específicos.

¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca?.

¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación del ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca?.

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general.

Evaluar las características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

1.3.2 Objetivos específicos.

Evaluar las características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

Evaluar el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

1.4 Justificación de la investigación.

En estos últimos tiempos se intensifica la explotación minera en todas sus escalas a nivel mundial, con ello se incrementa de forma intensa la demanda del óxido de calcio (cal). Este incremento repercute favorablemente en la explotación de la caliza en el País consecuentemente en la Región de Cajamarca.

El uso más importante del óxido de calcio (CaO), está asociado a los procesos de extracción de cobre, oro y plata, principalmente en los procesos de flotación, donde actúa como un regulador de pH y depresante. Además en la fundición de metales, donde actúa como fundente y agente enlazante; absorbente de SO₃ en gases y desmoldante en las canaletas de sangría, en las ollas de eje y escoria, en las máquinas moldeadoras de blíster, refinado a fuego y electrolítico.

Debido a la aparición de nuevas alternativas tecnológicas y el incremento de minas que entran a la fase de explotación se incrementan los recursos económicos al estado como beneficio a través de impuestos, regalías mineras y otros, a su vez esta operación incrementa la contaminación medioambiental y problemas de salud ocupacional debido al incumplimiento de las políticas empresariales, tomando en cuenta esta realidad es que se propone el presente trabajo de investigación; a fin de que la cantera “La Unión” ubicada en el distrito de los Baños del Inca - Cajamarca, pueda realizar las operaciones unitarias correctas para la extracción y procesamiento de la caliza, minimizando los inconvenientes anteriormente señalados.

1.5 Limitaciones del estudio.

Las instalaciones de la cantera “La Unión” perteneciente a la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada “La Unión de Cajamarca”, se encuentra ubicada en el Norte del Perú, en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Baños del Inca, paraje Cerro Otuzco Alto. A 8 km. Al Noreste de la ciudad de Cajamarca.

Las limitaciones que pudiera tener el presente trabajo de investigación son: Los conflictos sociales trasladados de la gran minería al Pequeño Productor Minero (PPM), como es el caso de la cantera “La Unión” respecto a los posibles daños ambientales a falta de coordinación y participación del trinomio: Estado, empresa minera y comunidad.

1.6 Viabilidad del estudio.

1.6.1 Viabilidad técnica.

- Las rocas calizas de la formación Cajamarca (Ks - ca), poseen un alto contenido de carbonatos de calcio (CaCO_3), los cuales son idóneos para obtener cal de elevada pureza.
- Se requieren método y técnicas mineras elementales y sencillas para la explotación de la caliza mediante la tecnología de minería superficial, aun con tecnología tradicional y artesanal con una producción de 30 TM/día considerado en la zona de Cajamarca una producción muy baja resulta siendo económicamente explotable por la demanda de óxido de calcio en las actividades mineras de la zona.
- Al tomar en cuenta los aspectos técnicos del plan de minado se minimiza los riesgos operativos.
- Por la homogeneidad litológica, por criterios geomecánicos y operativos de las calizas de la formación Cajamarca, se calcularon reservas que tienen una larga sostenibilidad de 45 años con una producción de 63 TM/día.

1.6.2 Viabilidad económica.

La rentabilidad del proyecto está en función al estratégico mercado local, pues gran parte de la producción del óxido de calcio está destinado al mercado minero como Minera Yanacocha SRL, *Gold fields*, la Cima y COMARSA.

1.6.3 Viabilidad social.

No presenta ningún tipo de inconveniente porque la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada “La Unión de Cajamarca” es propietaria del terreno superficial y a su vez es titular de la Concesión Minera “La Unión”. La explotación racional y controlada, la calcinación y procesamiento del óxido de calcio no generan mayores impactos negativos en el entorno, razón por la cual no tiene problemas de índole social, al contrario es fuente de actividad laboral directa e indirectamente de los comuneros del entorno por constituir una actividad alterna a la actividad agropecuaria de la zona.

1.6.4 Viabilidad operativa.

Posee una localización estratégica respecto al mercado, por encontrarse cercanamente a las grandes minas en operación como Yanacocha y *Gold fields*, la Cima, que se han convertido

en compradores estratégicos de cal, por tratarse de una empresa minera insipiente y categorizado por el Ministerio de Energía y Minas como Pequeño Productor Minero (PPM) requiere una limitada infraestructura básica, recursos económicos y recursos humanos básicos.

1.6.5 Alternativas.

- Se espera que en los próximos años al entrar en operación muchas minas la demanda de este recurso natural se incrementará. De no suceder ello esta predicción este recursos se destinaria a la creciente industria azucarera instaladas en la región norte del país, por lo cual tiene una sostenibilidad.
- Por las propiedades físicas, químicas y elevado contenido de CaCO_3 (96%) este recurso natural sería utilizado para la fabricación de cemento.
- La agricultura no está excepto como alternativa de uso de este recurso para bajar la acidez de los suelos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1.7 Antecedentes de la investigación.

Según Carvajal, L. (2008), los antecedentes consisten en una descripción clara y concreta de investigaciones realizadas en tesis de grado, postgrado, y otras organizaciones, o personas. Esas investigaciones que se incluyen en los antecedentes deben tratar sobre el mismo problema de investigación o temas que de alguna u otra forma se relacionan con la investigación que se está realizando. ¿Qué se ha escrito o investigado sobre el particular?, es la pregunta a realizarse a lo largo de la elaboración de los antecedentes.

Según Correa D.A., Santillán L.(2016) Tesis “Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez, Bambamarca, Cajamarca” de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería de Minas, el trabajo consiste en el desarrollo de un estudio de factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio, para determinar la viabilidad del proyecto, se determinó una alta concentración de mercado por parte de los consumidores, los cuales son Yanacocha, Minera Coimolache, Minera *Shahuindo*, *Gold Fields*, *Lúmina Copper*, así como municipalidades; los cuales se abastecen de la compra de terceros, un factor más importante es la ley promedio de carbonato de calcio en la viabilidad y recuperación económica.

Según Rodríguez C. J., Morales. C. D U. y Paredes L. L. (2011) en Evaluación de la estabilidad de taludes en la Mina Lourdes de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Facultad de Ingeniería de Minas, La mina Lourdes, explota recursos no metálicos

por el método de canteras a cielo abierto, ocasionando grandes modificaciones al perfil original del terreno, con el fin de mejorar la explotaciones debe implementar un método de minado superficial por bancos que permita un mejor control de la estabilidad del terreno. Esto implica la necesidad de establecer los parámetros geomecánicos y establecer los dominios geotécnicos del área de la explotación que permitan un diseño seguro de bancos y taludes en roca y en los botaderos de desmonte. Generalmente, una excavación abierta incluye rocas intemperizadas, cuyas resistencias son mucho menores que la de la roca intacta. Algunas rocas blandas continuarán degradándose debido a alteraciones durante la construcción y posteriormente debido a la acción del agua y del clima.

Para Abreu G. Juan C. (2002), en tesis titulado diseño de un plan de explotación yacimiento de caliza, cantera la gamarra Magdaleno, Estado Aragua de la Universidad Central de Venezuela, el yacimiento de caliza es un depósito de pequeñas dimensiones, puede ser explotado por el método minero convencional de cantera. El total de recursos mineros (...), es cercano a los 6.000.000 de m³, pero las condiciones generales del yacimiento reducen el alcance de la explotación y sumado a una baja relación límite estéril / mena de un 20% solo se logró el diseño de la misma para una cantidad de cercana a los 479.840 m³. Se estima que la explotación debe alcanzar un periodo de cuatro años a un rendimiento de 25.000 t/mes debido a la baja recuperación de los recursos. El diseño final de la explotación consta de bancos de 10 m con un declive de 72° y bermas de 4 m, estos parámetros originan un talud final máximo de 55° geomecánicamente estable.

Según Alvear G. C., López M. M., Pindo M. J., Proario C. G. (2010), Artículo Científico titulado diseño y análisis económico de la explotación a cielo abierto de un yacimiento de caliza, de Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra Guayaquil - Ecuador, tiene como objetivo diseñar y planificar las 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 a 5 años con un plan de explotación a largo plazo de las reservas de la cantera. El diseño que se propone es un banqueo descendente en cual se ha diseñado 8 niveles de explotación con una altura de 10 metros cada uno. Para calcular las reservas se realizó 5 cortes longitudinales en sentido SE - NO y transversales en sentido SO - NE. Por último se precede a realizar un análisis económico para corroborar la toma de decisiones en la inversión.

Según Urday P., Diego A. M. (2012), tesis titulado “Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TM/h”, de la Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería, La minería y la construcción son actualmente dos de los sectores que más desarrollo han tenido en el Perú como consecuencia del alto precio de los minerales en el mercado mundial y la demanda de viviendas en el mercado interno. Dentro de estas industrias destaca como materia prima principal la piedra caliza que se utiliza principalmente para elaborar el cemento que conocemos, pero tiene otras aplicaciones en diferentes industrias como la química, alimenticia, minera y de medio ambiente. Las plantas de trituración de caliza actualmente buscan mejorar sus eficiencias, reducir sus tiempos de producción, mejorar la disponibilidad de materias primas, materiales y equipos; y con esto reducir sus costos de producción.

Según Siguenza A. F. (2010), en la extracción del mármol en las canteras de Macael Almería-Andalucía. P.23.24. En las explotaciones de calizas marmóreas muy comercializadas hoy día, el método que generalmente se sigue es semejante al que se aplica en cualquier explotación minera a cielo abierto, y consiste en un sistema de bancos con arranque y transporte del estéril a las escombreras previamente definidas. En la actualidad existen unas normas de obligado, que indican los distintos valores que deben tener los parámetros que intervienen en la explotación, tales como: altura entre bancos, talud de los mismos, anchura de las bermas, pendientes de las rampas, etc., que implican un incremento en la seguridad de las operaciones mineras. Todas estas labores no se hacen de forma simultánea con la extracción de mármol, sino que en una primera fase se realiza la extracción del estéril y posteriormente se trabaja en el arranque del mármol.

Según Carreño B. P. E. S., Simoni R.J. M. (2007), Plan de negocios para la instalación de una fábrica de cal en el sur del Perú. Lima. Universidad ESAN, p159. Menciona. La cal es un producto industrial que en el Perú es usado en diversas industrias como en la de fabricación de azúcar, pinturas, acero; como desinfectante, en la fabricación de plásticos. En la minería se usa como neutralizador de residuos ácidos, para mantener ambientes alcalinos en celdas de flotación y en los *pads* de lixiviación. En el Perú, el mayor consumo de cal se da en la minería, debido a esto, rápidamente ha crecido la demanda de cal en el mercado nacional, en la década de los 90 y principios del 2000, el crecimiento fue importante en el Norte del País, por el inicio de operaciones de minería Yanacocha en Cajamarca y de Antamina en Ancash. Después de la depresión de precios de los minerales en el mercado

mundial, en el segundo lustro de la década de los 90, su cotización en los principales países del mundo empezaron a repuntar entre el 2001 y 2002, en tal forma que en el 2006, llegaron a tener precios nunca antes vistos en los minerales como el cobre, oro, entre otros. De esta forma se impulsaron proyectos de ampliación en las principales minas del sur Peruano como *Southern Perú Copper Corporation (SPCC)* en el 2006, Mina Tintaya (2006), Cerro Verde (2007) y Aruntani (2007) y se estableció un cronograma para el ingreso de nuevos proyectos mineros como Quellaveco (2009), Las Bambas (2010), Los Chancas (2015), Tía María (2016) y Limamayo (2017). Esto ha traído como consecuencia que la demanda accesible de cal que hasta el 2006 fue de 34 mil toneladas por año, se eleve a 80 mil toneladas en el 2007 y se prevé un importante crecimiento con el ingreso de nuevos proyectos mineros, estimándose llegar a un consumo de 240 mil toneladas de cal en el 2015.

2.1 Bases teóricas.

2.1.1 Clasificación *Rock Mass Rating (RMR)* de *Bieniawski 1989*.

Este sistema de clasificación se ha desarrollado en base a otras clasificaciones existentes, la mayor limitación de esta clasificación está en su aplicación en rocas expansivas y fluyentes. El parámetro que define la clasificación es el denominado índice RMR (*Rock Mass Rating*), que indica la calidad del macizo rocoso en cada dominio estructural a partir de cada uno de sus parámetros.

Resistencia a la compresión simple (RCS). Se refiere a la resistencia de la roca intacta, es decir de la parte de la roca que no presenta discontinuidades estructurales.

Grado de meteorización. El grado de meteorización es el estado de descomposición o alteración de una roca por los agentes atmosféricos, tales como viento, precipitaciones, humedad y/o temperatura, ver Tabla 2.1.

Tabla. 2.1. Descripción de grado de meteorización de rocas.

Tabla 2. 1 Descripción de grado de meteorización de rocas.

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización.
Decolorada	Se observan cambios de color original de la matriz rocosa. Conviene indicar el grado de variación o si están restringidas a minerales concretos.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniendo la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

Fuente. Ingeniería Geológica - Gonzales de Vallejo L. 2002.

Resistencia. La resistencia es una propiedad mecánica de la roca, la resistencia a la compresión simple es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial. Para obtener la clasificación según la resistencia a la compresión simple se puede realizar distintos ensayos ya sea in-situ o con probetas sin confinar, ver Tabla. 2.2.

Tabla 2. 2. Descripción de resistencia a compresión simple.

	Descripción
1 – 5	Muy blanda
5 – 25	Blanda
25 – 50	Moderadamente dura
50 – 100	Dura
100 – 250	Muy dura
> 250	Extremadamente dura

Fuente. Ingeniería Geológica-Gonzales de Vallejo L. (2002).

- **Rock Quality Designation (R.Q.D.).** Este parámetro se considera de gran interés, para seleccionar el revestimiento de los túneles, que se requiere en la valoración para RMR básico.
- **Espaciado de las diaclasas o discontinuidades.** Que es la distancia medida entre los planos de discontinuidad de cada familia.
- **Naturaleza de las diaclasas.** El cual consiste en considerar los siguientes parámetros.
- **Apertura.** De las caras de la discontinuidad.
- **Continuidad de las diaclasas.** Discontinuidad según su rumbo y buzamiento (persistencia).
- **Rugosidad.** Se refiere a la amplitud de asperezas se mide con peine de Barton.
- **Dureza.** De las caras de la discontinuidad.
- **Relleno.** Se refiere al relleno de las juntas.

Presencia del agua. En un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción utilizada para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

Orientación de las discontinuidades. Para obtener el índice RMR de *Bieniawski* 1989 se realiza: Se suma los 5 variables o parámetros calculados, eso da como resultado un valor índice conocido también como RMR básico, El parámetro 6 que se refiere a la orientación de las discontinuidades.

2.2 Explotación de canteras.

Según Morales C. W. (2012), en texto guía en geología aplicada en E.A.P. De Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de Cajamarca, una cantera es el conjunto de labores que se llevan a cabo con la finalidad de explotar el material útil en la construcción. En este caso hablamos de recuperar las rocas duras para clasificarlas y transformarlas, En la explotación de una cantera se toma en cuenta la pendiente, el depósito de material pétreo, se divide en capas horizontales, con la finalidad de explotar varias capas (bancos) simultáneamente, de esta manera, la cantera va adquiriendo la forma escalonada.

2.2.1 Elementos de un banco en una cantera.

Los elementos de una cantera se muestran en la Figura. 2.1.

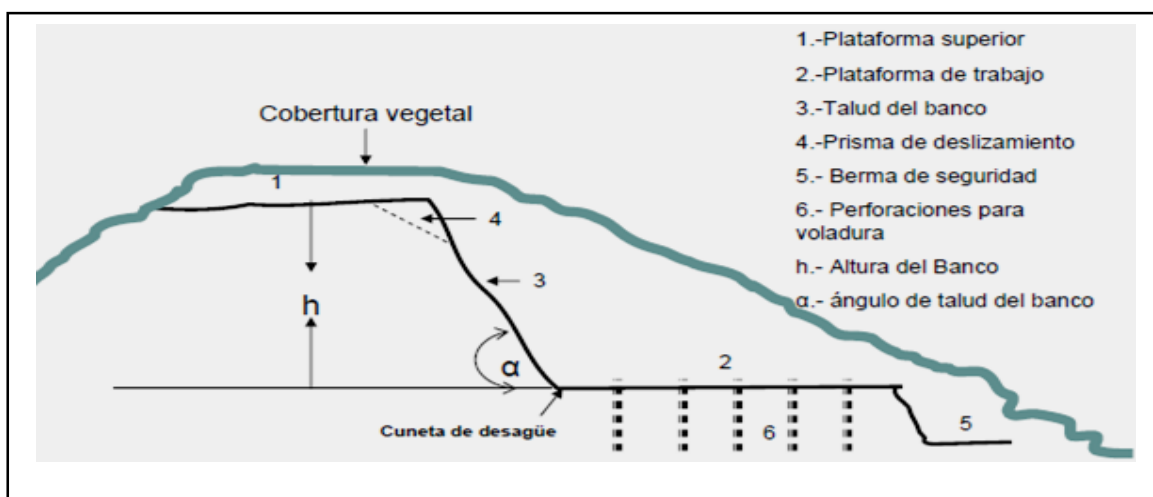


Figura 2. 1. Elementos de un banco.

Fuente. Explotación de canteras - Morales C.W. (2012).

2.2.2 Evaluación de yacimientos y reservas.

Según Morales C. W. (2012), son necesarios tomar algunos criterios operativos de acuerdo a las características geo estructurales y geomecánicas del yacimiento y la cobertura vegetal para el desbroce respectivo.

- **Altura de banco.** Limitada por normativa al alcance del cucharón de la pala, si es arranque directo. Si se utiliza bulldozer para arranque y empuje, no se limita la altura pero sí la pendiente máxima de trabajo (25%).
- **Plataformas de trabajo.** Deben permitir el movimiento sin riesgo de máquinas y personal. Suficientes para giro de volquetes.

- **Bermas.** Si la altura del paquete es superior al talud máximo permitido. En operación su altura será al menos la de la plataforma de trabajo. En situación final debe permitir la estabilidad del talud. Normalmente $V=1/H=4$.
- **Pistas y rampas.** 3 ó 4 veces más anchas que la anchura del mayor volquete. Pendiente recomendable del 8%.
- **El espacio de trabajo o módulo.** va evolucionando a medida que avanza la gravera. La restauración debe ser simultánea con la explotación.

La base de cualquier proyecto es la planificación de las actividades a realizar. Así, en Investigación no metálica para materiales de construcción, se suele subdividir el trabajo en tres etapas claramente diferenciadas, estas etapas se observan en Figura. 2.2, en caso de que la anterior haya cumplido satisfactoriamente los objetivos previstos.

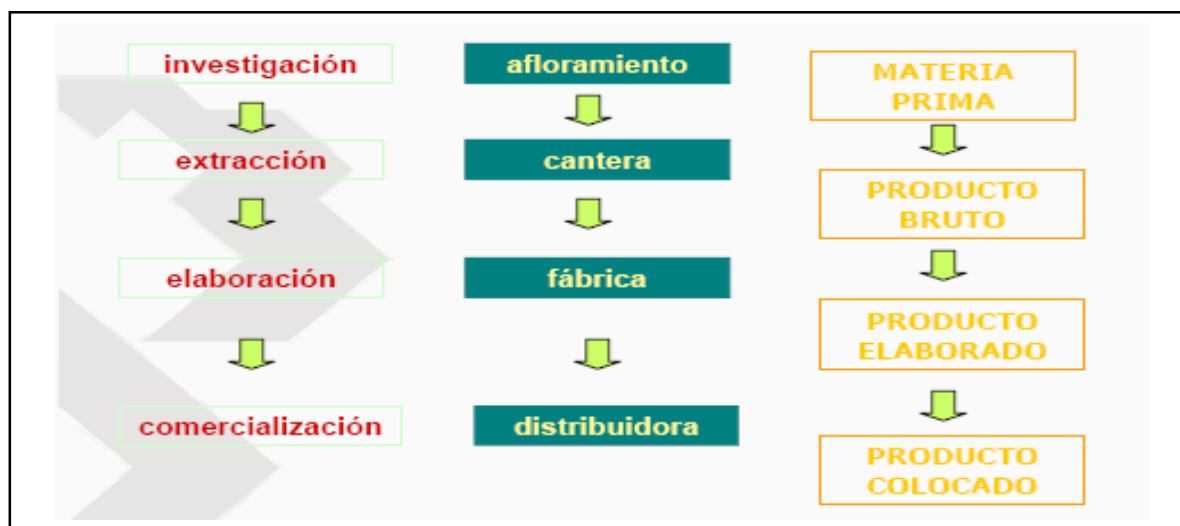


Figura 2. 2. Etapas para la explotación de una cantera.
Fuente. Explotación de canteras - Morales C.W. (2012).

2.2.3 Ubicación de la planta.

En la ubicación de la planta de es necesario considerar los siguientes aspectos:

- Cuidadosa elección del emplazamiento.
- Minimizar el impacto visual (Buscar las cotas más bajas del terreno o aprovechar huecos existentes).
- Lo más cerca posible de los frentes de explotación.
- Planificación de accesos, pasos de vehículos y peatones, oficinas y servicios, báscula de ventas, zona de residuos.

- Zonas de mantenimiento y talleres.
- Necesidad de mayores superficies.

2.3 Potencial de rocas y minerales industriales en el Perú.

Los productos mineros no metálicos con mayor volumen de producción, tal como se observa en Figura. 2.3, (más de 100 mil toneladas) en el Perú son:

- Caliza.
- Hormigón.
- Sal común.
- Arena.
- Arcilla.
- Puzolana.
- Boratos (ulexita).

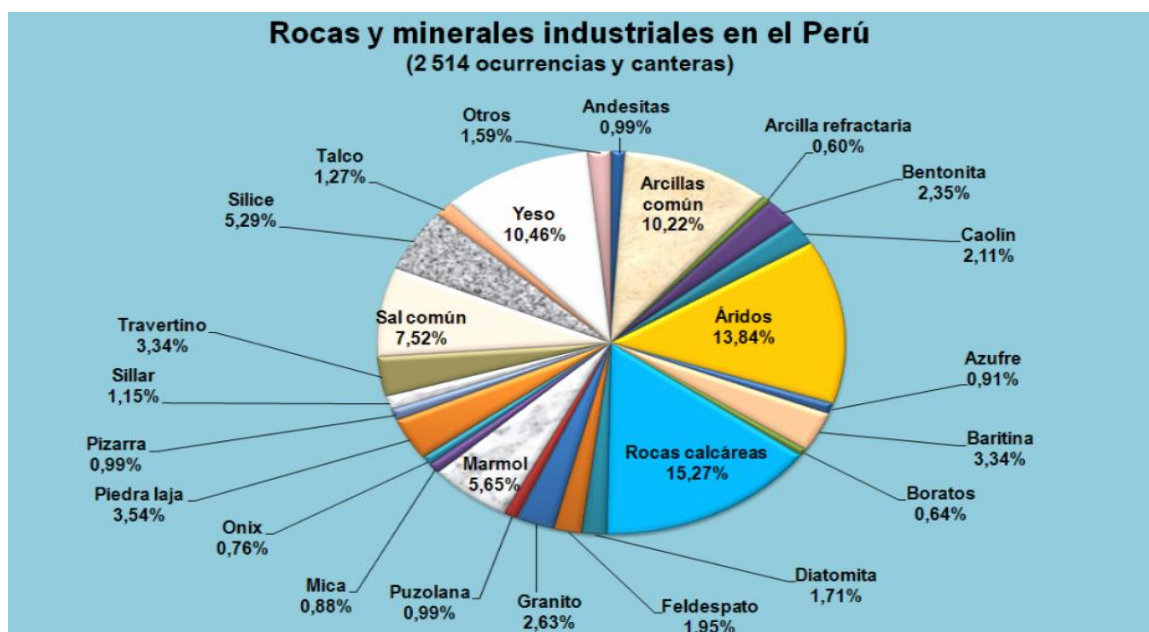


Figura 2. 3. Rocas y minerales industriales en el Perú.

Fuente. INGEMMET - 2009.

Se estima que la producción de rocas minerales industriales en el Perú, está alrededor de los 45 a 50 millones de toneladas (incluido lo áridos), En el 2009 se exportó alrededor de 114 millones de dólares, divisas que ingresaron al país.

2.4 Concepto tradicional de la cantera.

Según Herrera H.J. (2006), explotaciones de cantera para áridos y otros materiales de construcción, explotación de cantera métodos de minería a cielo abierto de la Universidad

Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas - España, las explotaciones de cantera fueron explotaciones de escaso interés, dado que se consideraba que daban materiales de muy escaso valor económico, de los que había una enorme abundancia de yacimientos en todas partes, había pocos problemas de agotamiento de esos yacimientos y se exigían unos criterios de selección del material muy elementales.

El término "cantera" englobaba antiguamente a aquellas explotaciones superficiales que:

- Tenían un tamaño pequeño, una escasa tecnificación y bajas producciones,
- Tradicionalmente contaban con uno o dos bancos o de banco único de gran altura.
- Eran anárquicas en sus formas y planteamientos.
- Estaban destinadas a suministrar materiales abundantes de origen mineral y de escaso valor económico.
- Explotaban un yacimiento en el que existían pocos problemas de reservas, agotamiento o de selección del material por haber suficientes recursos a escala global o local.

El yacimiento tenía una calidad natural adecuada para las exigencias del mercado, de hecho, eran explotaciones que podían satisfacer las necesidades locales de materiales de construcción sin mayores complicaciones, como lo prueba que la realización de cualquier proyecto nuevo, como podía ser la construcción de una nueva carretera, vía de ferrocarril, puerto, etc., suponía la localización y apertura de una nueva cantera (también llamada "préstamo" en el ámbito de la obra pública), con el fin de suministrar el material necesario para la obra. También se tiende a buscar en profundidad las reservas explotables para no ocupar mayor superficie de terreno que es más caro y difícil de restaurar.

2.5 Definición actual de la cantera.

Para Herrera H. J. (2006), el concepto de cantera tiene nuevas perspectivas motivado, por un lado, por las presiones sociales y ambientales y, por otro, por las crecientes especificaciones técnicas que debe cumplir el material. Hoy día, en el sector de los áridos se está asistiendo a un cambio muy notable, en el que se ha pasado sin solución de continuidad de las mencionadas explotaciones casi totalmente anárquicas en sus formas y planteamientos y en las que bastaba con unas simples autorizaciones para iniciar los trabajos, a un cúmulo de exigencias técnicas, de calidad, medioambientales, sociales, etc., que obligan al

cumplimiento simultaneo de múltiples requisitos en el planteamiento y el desarrollo de un proyecto por pequeño que sea.

La demanda de productos de cantera tiene, en general, una clara trayectoria ascendente función del crecimiento de la población y de la riqueza por cápita. Ya no es solo que las exigencias técnicas de la explotación se vean fuertemente incrementadas por las obligaciones ecológicas. Ahora, además, las diferentes administraciones sienten la necesidad de contar con los informes favorables de un amplio número de asociaciones, cuya oposición, muchas veces, no tiene gran justificación o solidez técnica, además de imponer el requisito de integrar las labores extractivas dentro de la política de ordenación del territorio para un teórico uso más racional de éste. En el sector de la roca ornamental, se ha observado como la pujanza europea ha basado su internacionalización y crecimiento precisamente en la tecnificación y el mayor valor añadido obtenido a partir de los desarrollos tecnológicos y de calidad. Son muchas las similitudes que existen entre los distintos tipos de empresas (áridos, minerales industriales y roca ornamental), la tecnología de explotación es parecida, la legislación minero ambiental también y la rentabilidad de las inversiones es del mismo orden de magnitud.

2.6 Tipos de explotaciones de cantera.

Según Herrera H. J. (2006, en la clasificación de tipos de canteras permitiría distinguir:

- Las canteras de áridos (Zahorras, rellenos, escolleras, asfaltos, hormigones, etc), incluyéndose también en este grupo a las graveras.
- Las canteras de roca ornamental (Pizarras, granitos, calizas, mármoles, etc).
- Las canteras de rocas y minerales industriales (Cementos, ladrillería, cerámica y vidrio, etc).

2.6.1 Cantera como fuente de aprovisionamiento.

Son cantera de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarias para la construcción de una obra. Es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones a cielo abierto de materiales de construcción, entre los cuales se incluyen las rocas industriales y ornamentales, gravas, gravillas, arenas y arcillas, las canteras aprovisionan material para la conformación de terraplenes, estabilizaciones, capa de su base y bases o como agregado para la elaboración de concretos de cemento portland y asfáltico. Estas canteras son lugares de donde se extraen materiales de construcción, sea directamente o después de ser

transformados (piedra chancada, lascas, etc.), áridos para vías o materiales para otras necesidades ingenieriles tales como enrocados, terraplenes y obras de contención; también se incluye la extracción de minerales propiamente dichos. Son la fuente principal de materiales pétreos los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción de obras civiles, estructuras, vías, presas y embalses, entre otras. Por ser materia prima en la ejecución de estas obras, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto. Toda cantera tiene una vida útil, y una vez agotada, el abandono de la actividad puede originar problemas de carácter ambiental, principalmente relacionados con la destrucción del paisaje.

2.6.2 Clasificación de las canteras según tipo de explotación.

Se pueden clasificar dependiendo del tipo de explotación, el material que se quiera explotar y su origen.

- Canteras a cielo abierto.
- En laderas, cuando la roca se arranca en la falda de un cerro.
- En corte, cuando la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno.
- Canteras subterráneas.

2.6.3 Clasificación de las canteras según el material a explotar.

- De materiales no consolidados: Suelos (tierra), agregados, terrazas aluviales y arcillas.
- De materiales consolidados o rocas.

2.6.4 Clasificación de las canteras según su origen.

- Canteras aluviales.
- Canteras de roca o peña.

2.6.5 Explotación de canteras.

Dentro de las actividades propias de la extracción de materia prima de una cantera, hay que considerar que esta se realiza por medio de métodos mecánicos, con la ayuda de cierto tipo de maquinaria diseñada para este fin, actualmente se cuenta con una diversidad de equipo de última tecnología, encargado de realizar este tipo de labores, tales como: Excavadora, cargadora sobre ruedas, tractor sobre orugas, cargador frontal etc.

La explotación de canteras es el conjunto de actividades por medio de las cuales se extraen materiales de una cantera para ser empleados en una obra determinada. Las actividades necesarias durante la explotación en una cantera son:

- Desmonte y limpieza.
- Preparación.
- Extracción y acopio.
- Zarandeo o chancado.
- Carguío y transporte.

Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridos. Las principales rocas obtenidas en las canteras son: Mármoles, granitos, calizas y pizarras.

Por sus características geológicas, la zona interandina presenta condiciones óptimas para la localización de yacimientos no metálicos, rocas ornamentales y materiales de construcción. Las rocas que afloran, son arcillas, arenas, areniscas, gravas conglomerados, piedra pómez, perlita, andesita, etc. muchas de las cuales se utilizan en la industria de la construcción. La explotación, en la mayoría de las canteras existentes en el territorio, se hace en forma semi mecanizada y, en menor porcentaje en forma manual predominado el sistema de cielo abierto.

2.6.6 Clases de canteras.

Existen dos tipos fundamentales de canteras, las de formación de aluvión, llamadas también canteras fluviales, en las cuales los ríos como agentes naturales de erosión, transportan durante grandes recorridos las rocas aprovechando su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad formando grandes depósitos de estos materiales entre los cuales se encuentran desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas; la dinámica propia de las corrientes de agua permite que aparentemente estas canteras tengan ciclos de autoabastecimiento, lo cual implica una explotación económica, pero de gran afectación a los cuerpos de agua y a su dinámica natural. Dentro del entorno ambiental una cantera de aluvión tiene mayor aceptación en terrazas alejadas del área de influencia del cauce que directamente sobre él. Otro tipo de canteras son las denominadas de roca, más conocidas como canteras de peña, las cuales tienen su origen en la formación geológica de una zona

determinada, donde pueden ser sedimentarias, ígneas o metamórficas; estas canteras por su condición estática, no presentan esa característica de autoabastecimiento lo cual las hace fuentes limitadas de materiales.

Estos dos tipos de canteras se diferencian básicamente en dos factores, los tipos de materiales que se explotan y los métodos de extracción empleados para obtenerlos. En las canteras de río, los materiales granulares que se encuentran son muy competentes en obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua desgasta los materiales quedando al final aquellos que tiene mayor dureza y además con características geométricas típicas como sus aristas redondeadas. Estos materiales son extraídos con palas mecánicas y cargadores de las riberas y cauces de los ríos. Las canteras de peña, están ubicadas en formaciones rocosas, montañas, con materiales de menor dureza, generalmente, que los materiales de ríos debido a que no sufren ningún proceso de clasificación; sus características físicas dependen de la historia geológica de la región, permitiendo producir agregados susceptibles para su utilización industrial; estas canteras se explotan haciendo cortes o excavaciones en los depósitos.

2.6.7 Fases de la explotación de canteras.

Son las fases de la explotación de una cantera a cielo abierto y comprende lo siguiente: Destape, arranque, transporte interno, clasificación, comercialización, transporte externo, almacenamiento y escombreras.

Destape. Es la actividad que permite retirar todo el material de sobrecarga y dejar el material útil listo para que sea arrancado por cualquiera de los medios, sea por perforación o voladura (rocas duras), o mediante retroexcavadora, bulldózer con ripper (rocas suaves). Esta operación da la oportunidad de conservar el suelo fértil y las especies nativas, semillas, estacas, etc. Para reforestar y para la recuperación del espacio explotado. El destape se efectuará excavando trincheras de acceso (camino en la cantera). Los parámetros básicos de una trinchera son: Largo, anchura de fondo, pendiente ángulo de talud, equipo de excavación y depende del objeto para el que se construya la trinchera.

Arranque. Consiste en caso de rocas duras, proceder a la perforación de bancos descendentes con la ayuda de máquinas de perforación y proceder a la voladura con el uso de explosivos. En el caso de rocas suaves, el arranque se realiza de manera directa, para lo

cual se utiliza excavadores que disgregan la roca para que luego sea cargado hasta los volquetes.

Transporte interno. El material heterogéneo dispuesto en la plataforma de trabajo, con la ayuda de la retro excavadora, es alimentado a los camiones, los cuales llevan hasta la zaranda, que se encuentra ubicada fuera o dentro del área de la concesión, para su respectiva clasificación.

Clasificación. El material que ha sido quebrado mediante voladura puede ser alimentado a una trituradora de mandíbulas o cónica, desde donde se obtendrán los diferentes productos, como ripio, arena, chispa, etc. Para la comercialización, el material suave obtenido de laboreo mediante excavadora es llevado hasta zarandas estacionarias en las cuales se obtienen los diferentes productos como: arena, ripio, base, sub base, piedra bola y del material grueso no condicionado se obtienen los molones los cuales serán comercializados.

Comercialización. Los diferentes tipos de productos que se han preparado en la cantera son comercializados en función de las necesidades del consumidor, para lo cual empresas que no tienen relación con los titulares mineros se encargan de comercializar, ocasionalmente los titulares disponen de volquetes y comercializan directamente.

Almacenamiento. El material que no ha sido comercializado, es almacenado en lugares fuera del área de procesamiento de la roca para su posterior comercialización y se les conoce como *stocks*.

Escombreras. Lugar en el cual se deposita de manera temporal o definitiva el suelo de cobertura o se deposita el material que no ha sido considerado útil o comercializable, según el caso.

2.6.8 Canteras en el entorno ambiental.

Para cada cantera se deberá diseñar un adecuado sistema y programa de aprovechamiento del material, de manera de producir el menor daño al ambiente. Será diferente si se trata de explotar un lecho de río o quebrada, un promontorio elevado (cerros), una ladera o extraer material del subsuelo. Depende, también, del volumen que se va a extraer de la cantera y el

uso que se le va a dar al material, pudiendo requerirse antes una previa selección del mismo, lo que origina desechos que luego es necesario eliminar. Se deberá seguir las estipulaciones que al respecto se incluye en el manual ambiental para el diseño y construcción de vías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

2.7 Plan de minado.

El Plan de minado es el diagnóstico de las posibilidades, mediante un proceso intelectual y consiste en el análisis integral de los factores de producción dentro de la empresa minera, sus limitaciones internas y externas; y todo aquel que guarda relación con la elección de un objetivo a lograrse. El plan, constituye el resultado de todo proceso de planeamiento. De este modo, los objetivos de la organización, sus políticas, estrategias, presupuestos, procedimientos, reglas y programas. Presentan diversas formas de planes.

Para Munier N. (2008), Plan de minado es la labor de especificar cuáles son las tareas que intervienen en una proyecto, su duración en días, semanas o las unidad de tiempo que convenga, y como están interrelacionadas entre si todas las tareas y su secuencia.

Para Velásquez M. (2009), Planear es definir los objetivos y determinar los mejores medios para alcanzarlos. Es analizar los problemas en forma anticipada, planteando posibles soluciones e indicando los pasos necesarios para llegar a los objetivos que la solución elegida señala. Como se observa, al referirse a la planeación, ésta implica examinar el futuro, tratar de cuantificar y cualificar el riesgo y la incertidumbre y prepararse para hacer frente a los problemas que de ahí se derivan.

Para *Ackoff, D.* (2010), la planificación es un proceso de toma de decisiones, en el cual cabe considerarse tres aspectos fundamentales:

- La planificación es una toma de decisiones por anticipado. Es proceso que determina ¿qué hacer? y ¿cómo hacerlo?, antes de que se requiera la acción.
- La planificación es un sistema de decisiones, que surge cuando el estado futuro que se desea alcanzar implica un conjunto de decisiones interrelacionados.
- La planificación es un proceso que se dirige o producir un estado que sea desea, y que no puede alcanzarse, a menos que antes se emprenda la acción correcta. La planificación pretende tanto en evitar futuras acciones incorrectas; como, reducir pérdida de oportunidades.

2.7.1 Preguntas básicas del plan de minado.

Para una planeación adecuada, es muy favorable obtener la información necesaria para satisfacer las respuestas a las preguntas básicas. De esta manera una planeación efectiva, implica la contestación a las ocho preguntas básicas. Estas preguntas a su vez proporcionan los ingredientes básicos de la planeación. Las preguntas son:

- ¿Por qué debe hacerse?.
- ¿Cuánto debe hacerse?.
- ¿Qué acciones son necesarias?.
- ¿Cuándo y dónde se hará?.
- ¿Quiénes lo harán?.
- ¿A qué costo se harán?.
- ¿Cómo se hará?.
- ¿Con qué se hará?.

2.7.2 Explicación.

- La pregunta ¿Por qué debe hacerse?, advierte al planificador que debe tener cuidado de no incluir actividades innecesarias para cumplir con el objetivo. Una planificación eficiente debe satisfacer una necesidad técnica, operacional o económica mediante la combinación de sus elementos.
- La pregunta ¿Cuánto debe hacerse?, responde para facilitar la determinación de la cantidad necesaria que garantice un flujo normal de la producción y la demanda.
- La pregunta ¿Qué acciones son necesarias?, permite analizar todas las actividades necesarias e indispensables; el orden en que se ejecutan, su prioridad desde el punto de vista técnico, económico - financiero, etc. para obtener el resultado final.
- La pregunta ¿Cuándo se hará?, se refiere a las estimaciones de tiempo sobre la iniciación y termino de cada una de las actividades o de un grupo de ellos. Y la pregunta ¿Dónde se hará?, se refiere a determinar el lugar preciso donde se aplicara el plan o cada una de las actividades.
- La pregunta ¿Quiénes lo harán?, permite fijar el personal responsable por actividad o grupo de actividades, basándose en la especialidad, habilidad y disponibilidad del factor humano.
- La pregunta ¿A qué costo se hará?, se refiere a estimar los costos por actividad o grupo de actividades necesarias, por unidad de producto, por unidad de tiempo o pro

unidad de insumo necesario para la producción. Estos costos, deben ser proyectivos en tiempo y devaluación, que permita formular un presupuesto más real que facilite a la empresa, decidir si financieramente, le es posible.

- La pregunta ¿Cómo se hará?, se refiere a analizar y señalar los procesos, métodos, técnicas, etc. como debe realizarse cada actividad o grupos de actividades.
- La pregunta ¿Con que se hará?, permite analizar los recursos y prepara un balance de la disponibilidad real de la empresa o las posibilidades de adquisición. Esta pregunta y la contestación a la misma permitirán a los planificadores actuar con criterios más reales; sin caer en el pesimismo ni exagerar de optimistas. Por lo que será necesario adecuar el proyecto a la realidad y no la realidad al proyecto.

Para contestar a esta pregunta, además de lo manifestado será de importancia la experiencia del planificador.

2.7.3 Elementos del planeamiento.

Cantidad y calidad. La cantidad en los trabajos mineros, son por ejemplo: Tonelaje de concentrados, volumen de desmonte, volúmenes de relave, volúmenes de relleno, metros lineales de frentes de avance, kilómetros de carreteras de acceso, numero de cuadros de sostenimiento, metros lineales de vía, metros lineales de tuberías de conducción, etc. La calidad, significa las leyes del mineral, las secciones y las características, técnicas de los frentes de avance, la fragmentación en la voladura, estabilidad de los cuadros de sostenimiento, recuperación metalúrgica, etc.

Tiempo. Se fija la fecha de inicio de la realización de las diversas actividades y se estima las fechas de conclusión por actividades, etapas, o el control del proyecto. Se debe estimar un margen razonable de tolerancia, según la característica de las actividades.

Lugar. Se debe señalar el lugar de las ejecuciones como coordenadas topográficas, cotas, zonas, secciones, unidades de operación, pueblos, países. Se refiere tanto a los lugares de realización de las labores, como donde se adquieran los insumos necesarios.

Recursos. Considerar las disponibilidades y requerimientos; así como las fuentes de adquisición de todos los recursos que precisara el plan. Ejemplo:

- Recursos humanos.

- Maquinaria y equipo.
- Infraestructura.
- Materiales diversos.
- Herramientas.
- Recursos energéticos en general.
- Recursos económicos.
- Otros insumos.

Costos. Debe estimarse los costos en detalle de todos los recursos y de las actividades que se precisa en el plan. Procurando que sean cuidadosamente estimados y concordantes a la realidad, debiendo considerarse un factor de seguridad según el tiempo de duración de los trabajos, fluctuaciones de precios, tipos de cambio, mercados de adquisición.

Explosivo. Los explosivos químicos industriales están constituidos por una mezcla de materiales combustibles y oxidantes que al ser iniciados apropiadamente dan lugar a una reacción química muy rápida. En la reacción, el explosivo libera grandes volúmenes de gases y energía hacia la roca, causando fragmentación, fisura y grietas.

Dinamita. La dinamita es un explosivo compuesto por nitroglicerina y dióxido de silicio. Es una mezcla grisácea y aceitosa al tacto, considerada un explosivo potente (comparado con la pólvora, el fulminato de mercurio y otros explosivos débiles).

2.7.4 Optimización de explotación minera.

Según John J. (2014), Ventyx, and ABB Company Brisbane, Australia. La integración de la empresa minera es esencial para aumentar la productividad, A medida que el sector de los recursos sigue ganando importancia, las empresas mineras de todo el mundo buscan maximizar la producción, mejorar la productividad, racionalizar los procesos y mejorar la rentabilidad para maximizar los beneficios de sus operaciones. Sin embargo, la compleja cadena de valor de la minería crea normalmente empresas que están estructuradas en diversas ramas o divisiones según su área funcional o de conocimientos. En la mayoría de los casos, cada división trabaja independientemente, con poca o ninguna interacción. La realidad de las explotaciones multi emplazamiento aumenta aún más esta complejidad. La existencia de estos “silos funcionales” hace que a las compañías mineras les resulte difícil alcanzar el máximo

rendimiento. Este problema se acentúa todavía más a causa de la falta de sistemas de información que crucen estas divisiones funcionales. Las explotaciones mineras están geográficamente dispersas, lo que hace casi imposible la colaboración diaria, informal, necesaria para optimizar el negocio.

Las explotaciones mineras suelen estar distribuidas sobre zonas geográficas extensas. Por ejemplo, una cadena de suministro de mineral de hierro puede incluir varias minas, varias plantas, una red ferroviaria y uno o más puertos, todos ellos dispersos a lo largo de varios centenares de kilómetros. A su vez, la cadena de profesionales responsables de ejecutar diferentes aspectos de las operaciones, como geólogos, ingenieros de minas, metalúrgicos, planificadores de la cadena de abastecimiento y equipo de ventas, también se encuentra geográficamente dispersa. Esto hace que la colaboración diaria, informal, necesaria para optimizar el negocio sea casi imposible. Muchas empresas mineras responden a esta tiranía de la distancia mediante la creación de centros de operaciones remotas (ROC), que albergan y centralizan los procesos operativos fundamentales en una instalación única, convenientemente situada. Aunque esto tiene muchas ventajas, como una mayor seguridad, menos desplazamientos y mejores condiciones de vida para el personal clave, el resultado más importante para muchas empresas mineras consiste en reunir todos los días en una sala a todos los responsables principales de la toma de decisiones para garantizar que toda la operación funciona óptimamente.

2.7.5 La complejidad de la coordinación.

La complejidad de la planificación contribuye también de forma importante a un comportamiento sub óptimo de la empresa, especialmente a largo plazo. Hay muchos componentes de una explotación minera que se tienen que coordinar para que la operación funcione.

Por ejemplo, la secuencia de la explotación debe tener en cuenta la geometría y la calidad del yacimiento para conseguir un flujo constante de mineral a los procesos posteriores. Esto tiene que interrelacionarse con el plan de mantenimiento, la disponibilidad de los equipos debe corresponderse con el plan de la mina. De forma similar, el gasto de capital y los planes financieros deben estar en conexión con esos planes de producción y mantenimiento. Para muchos productos, el plan de ventas, que es consecuencia de los compromisos contratados, tiene que conectarse con todos estos planes y trabajar teniendo en cuenta las limitaciones de

capacidad de la infraestructura (por ejemplo, ferrocarriles y puertos).

Es bastante difícil conseguir un único plan viable para todos ellos, y no debe importarle trabajar mediante iteraciones múltiples para conseguir un plan óptimo. También se compromete la agilidad de la organización si factores externos, como los precios de los productos básicos o la capacidad de la infraestructura, cambian y obligan a una nueva planificación. Este método fragmentado de planificación da lugar a muchos meses de rendimiento sub óptimo dentro de un mundo en cambio.

El camino hacia una planificación operativa integrada comprende varias etapas. A causa de la complejidad técnica y la dependencia del yacimiento de los requisitos del sistema de información del sector minero, un entorno típico de *software* para las operaciones de esta industria requiere una amplia variedad de plataformas tecnológicas operativas especializadas, tales como la automatización de procesos de la planta y los sistemas de gestión de flotas, así como el *software* de planificación y gestión incluyendo la planificación de la mina, la optimización de planes a corto y largo plazo, la preparación de informes de la planta, la gestión de las reservas, la gestión de los trabajadores en el emplazamiento, la optimización logística, la gestión de recursos, etc. Sin embargo no todas las empresas mineras están en la posibilidad de adquirir un *software* especializado. Por ejemplo, las áreas de minería, procesamiento y logística tienen todas ellas requisitos para planificar, programar y optimizar las operaciones a nivel de departamento. Sin embargo, cada vez se admite más que la empresa tiene que optimizar estas tareas abarcando la operación.

2.7.6 Indicadores claves de rendimiento en operaciones mineras.

Los indicadores clave de rendimiento (KPI), clásicos están fuertemente sesgados hacia el rendimiento de funciones individuales más que hacia el del sistema o la operación en su conjunto. Tomando como ejemplo la optimización de las voladuras, el efecto de un KPI mal construido está claramente expuesto. Diversos estudios, tanto académicos como sobre el terreno, muestran una mejora general, entre un 10 y un 15 por ciento, de la producción de un molino gracias a un control más cuidadoso de las voladuras.

Dado que el molino suele ser el componente aislado de una operación que más capital requiere, esto supone una ganancia global enorme. Sin embargo, las mejoras de un programa de optimización de voladuras suelen desvanecerse a lo largo del tiempo. Esto puede atribuirse

frecuentemente a un KPI mal elaborado.

Un control cuidadoso de las voladuras aumenta los costes y esto afecta directamente al KPI de los costes clave del ingeniero responsable de las mismas. Sin embargo, si el ingeniero mejora su KPI, esto reduce la producción en el molino, ya que las machacadoras quedan bloqueadas por piedras de gran tamaño o el coste de la electricidad consumida por la molturación aumenta debido a la distribución de tamaños de las partículas.

Para preparar unos KPI que contribuyan al rendimiento operativo global en este ejemplo, deben tenerse en cuenta los siguientes sistemas:

- Modelización geológica.
- Diseño de perforaciones y voladuras.
- Cálculo del coste de las perforaciones y voladuras.
- Mediciones realizadas “como se obtengan de los trabajos de minería” (reconocimiento, gestión de flota).
- Seguimiento del mineral y gestión de existencias.
- Rendimiento de la planta.
- Cálculo de costes de la planta.

2.7.7 Adopción de una visión más amplia.

Para relacionar los silos funcionales e informativos y mejorar el rendimiento del negocio, las empresas de minería deben adoptar una visión más amplia de toda la cadena de valor y adoptar soluciones que cubran todas las operaciones mineras, desde la exploración al mercado.

Hay ventajas importantes cuando los profesionales técnicos, ya sean ingenieros de mantenimiento, de minas o geólogos de minas, se pueden comunicar entre sí y compartir una idea más clara de la operación en su totalidad y lo que debe suceder para optimizar los procesos de la empresa ver Figura. 2.4.

Como muestran los ejemplos anteriores, cuando las distintas divisiones de la explotación pueden trabajar en colaboración, el resultado es a menudo un aumento de la producción con un coste considerablemente menor.

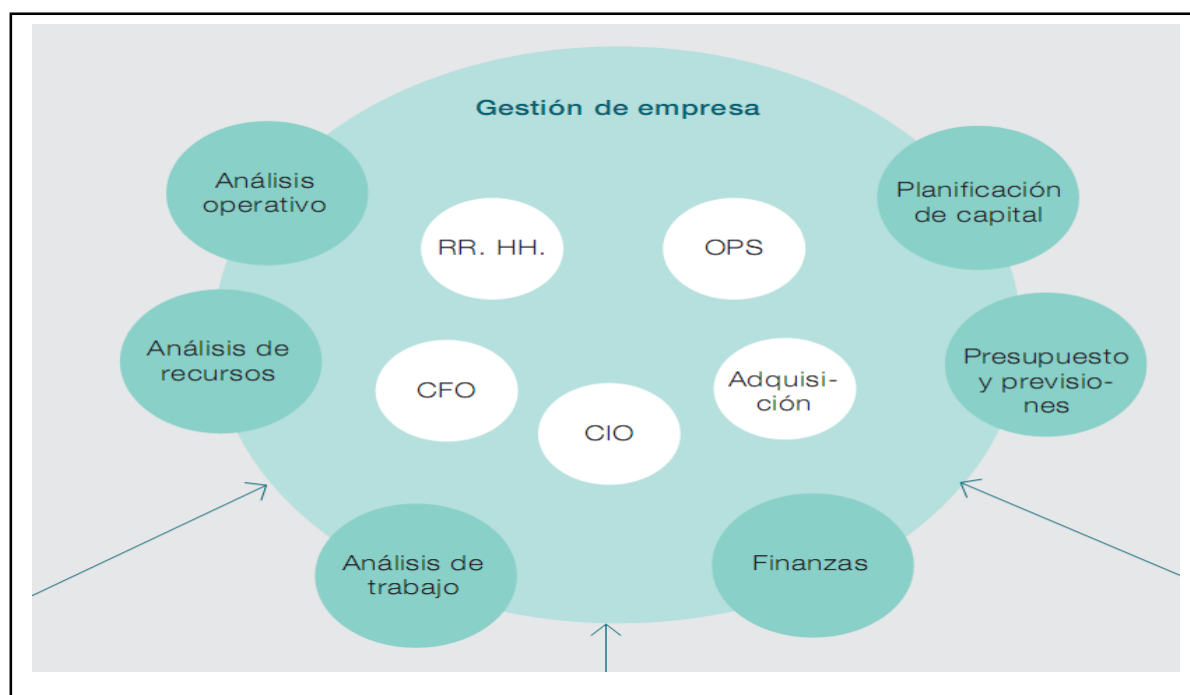


Figura 2. 4. Silos funcionales de una empresa minera.

Fuente: John J. - Ventyx, an ABB - 2014.

2.7.8 Desarrollo de la detonación.

Combustión. Puede definirse como tal a toda reacción química capaz de desprender calor pudiendo o no, ser percibida por nuestros sentidos, y que presenta un tiempo de reacción bastante lento, tal como se observa en la Figura. 2.5.

Deflagración. Es un proceso exotérmico en el que la transmisión de la reacción de descomposición se basa principalmente en la conductividad térmica. Es un fenómeno superficial en el que el frente de deflagración se propaga por el explosivo en capas paralelas, a una velocidad baja, que generalmente no supera los 1 000 m/s. La deflagración es sinónimo de una combustión rápida. Los explosivos más lentos al ser activados dan lugar a una deflagración en la que las reacciones se propagan por conducción térmica y radiación.

Detonación. Es un proceso físico - químico caracterizado por su gran velocidad de reacción y por la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva (que se traduce en presión sobre el área circundante). En los explosivos detonantes la velocidad de las primeras moléculas gasificadas es tan grande que no ceden su calor por conductividad a la zona inalterada de la carga, sino que los transmiten por choque, deformándola y produciendo calentamiento y

explosión adiabática con generación de nuevos gases. El proceso se repite con un movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva y que se denomina “onda de choque”, la que se desplaza a velocidades entre 1 500 a 7 000 m/s según la composición del explosivo y sus condiciones de iniciación. Un carácter determinante de la onda de choque en la detonación es que una vez que alcanza su nivel de equilibrio (temperatura, velocidad y presión) este se mantiene durante todo el proceso, por lo que se dice que es auto sostenida, mientras que la onda deflagrante tiende a amortiguarse hasta prácticamente extinguirse, de acuerdo al factor tiempo entre distancia (t/d) a recorrer.

Tanto en la deflagración como en la detonación la turbulencia de los productos gaseosos da lugar a la formación de la onda de choque. La región de esta onda donde la presión se eleva rápidamente se llama “frente de choque”. En este frente ocurren las reacciones químicas que transforman progresivamente a la materia explosiva en sus productos finales. Por detrás del frente de choque, que avanza a lo largo de la masa de explosivo, se forma una zona de reacción, que en su último tramo queda limitada por un plano ideal, que se denomina “Plano de *Chapman - Jouguet (CJ)*”, en el cual la reacción alcanza su nivel de equilibrio en cuanto a velocidad, temperatura, presión de gases, composición y densidad, lo que se conoce como condiciones del estado de detonación. En el plano “CJ” los gases se encuentran en estado de hiper compresión.

La zona de reacción en los altos explosivos es muy estrecha, sólo de algunos milímetros en los más violentos como TNT y dinamita gelatinosa y, por el contrario, es de mayor amplitud en los explosivos lentos o de flagrantes como el ANFO. Otra diferencia es que en el caso de una combustión o deflagración, los productos de la reacción de óxido - reducción se mueven en el sentido contrario al sentido de avance de la combustión, mientras que en el caso de una detonación, los productos se desplazan en el mismo sentido de avance de la detonación, ver Figura. 2.5. Esto se evidencia por medio de la ecuación fundamental conocida como la “Condición de *Chapman – Jouguet*”.

$$\text{VOD} = S + W$$

Donde:

- VOD : Velocidad de detonación.
S : Velocidad de sonido.
W : Velocidad de partículas (productos).

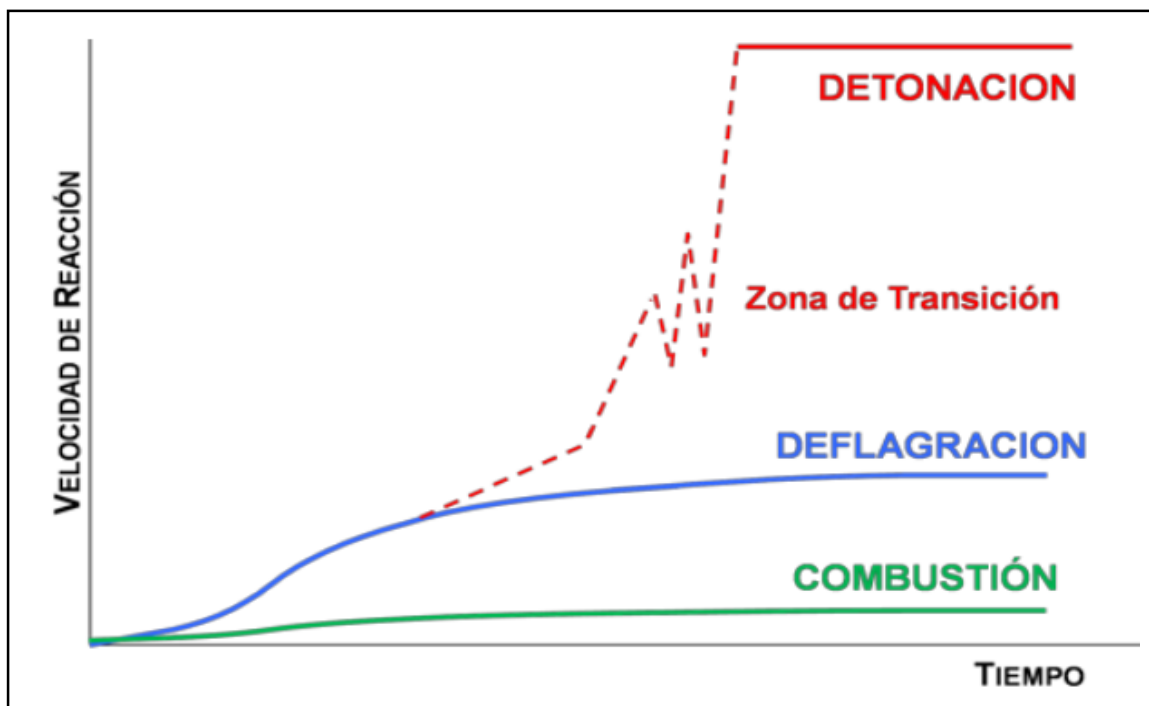


Figura 2. 5. Tipo de reacción en función de la cinética química.
Fuente. Bernaola A. J., Castilla G.J., Herrera H.J. 2013.

2.7.9 Mecanismo de detonación.

Para entender el funcionamiento del fenómeno de la detonación, conviene conocer cómo son las diferentes zonas de reacción que se producen durante la misma. Si se considera una carga cilíndrica que se detona por unos de sus extremos, tal como se observa en la Figura. 2.6, se pueden distinguir las zonas siguientes.

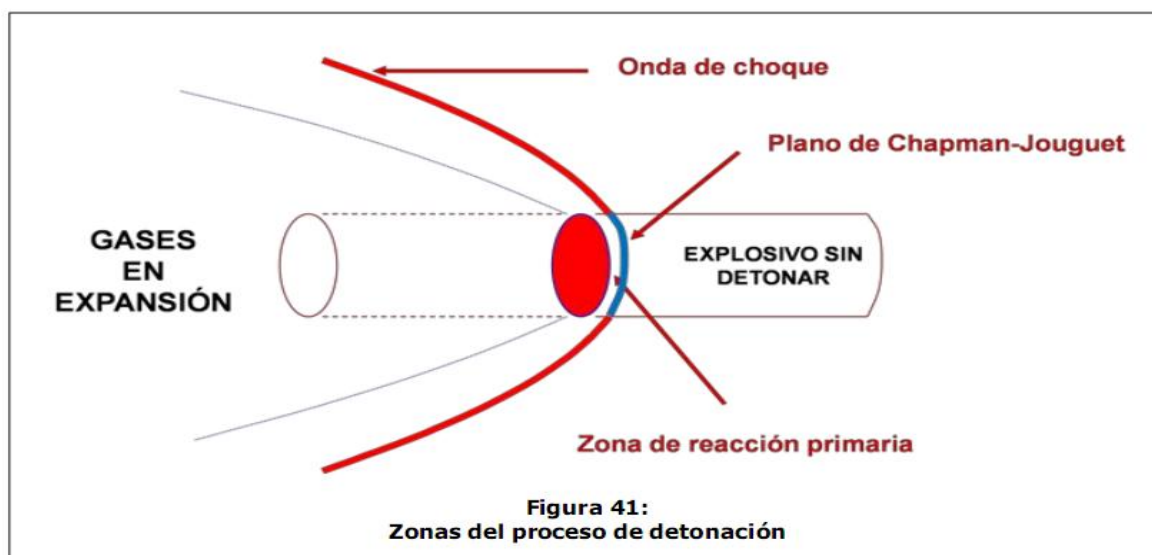


Figura 2. 6. Zonas de proceso de detonación.
Fuente. Bernaola A. J., Castilla G.J., Herrera H.J. 2013.

2.7.10 Perforación.

La perforación y voladura es una técnica aplicable a la extracción de roca en terrenos competentes, donde los medios mecánicos no son aplicables de una manera rentable. Así, partiendo de esta definición, este método es aplicable a cualquier método de explotación, bien en minería, bien en obra civil, donde sea necesario un movimiento de tierras. La técnica de perforación y voladura se basa en la ejecución de perforaciones en la roca, donde posteriormente se colocarán explosivos que, mediante su detonación, transmiten la energía necesaria para la fragmentación del macizo rocoso a explotar. De esta forma, se tienen dos tecnologías claramente diferenciadas: la tecnología de la perforación y la tecnología de diseño y ejecución de voladuras.

Las técnicas de perforación, además de la aplicación a la ejecución de perforaciones para voladuras, se emplean para multitud de aplicaciones, como puede ser la exploración, drenajes, sostenimiento, etc. La perforación de las rocas dentro del campo de las voladuras es la primera operación que se realiza y tiene como finalidad abrir unos huecos, con la distribución y geometría adecuada dentro de los macizos, donde alojar a las cargas de explosivo y sus accesorios iniciadores. Los sistemas de perforación de la roca que han sido desarrollados y clasificados por orden de aplicación son: Percusión, rotación, roto percusión.

Sistema de perforación por percusión. El sistema de perforación mecánica por percusión es el de un elemento metálico que golpea y deshace la formación o roca: pico o trépano, y un elemento que recoge el terreno triturado: pala o cuchara de válvula. El sistema de perforación por rotación: Se subdividen a su vez en dos grupos, según que la penetración se realice por trituración, empleando triconos, o por corte utilizando brocas especiales. El primer sistema se aplica en rocas de dureza media a alta y el segundo en rocas blandas. Con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro (desgaste de la roca, sin golpe), como el producido por las perforadoras diamantinas para exploración.

Sistema de perforación por roto percusión. Son los más utilizados en casi todos los tipos de roca, tanto si el martillo se sitúa en cabeza como en el fondo del barreno con efecto de golpe, corte y giro, como el producido por las perforadoras neumáticas comunes, *tracdrills*, jumbos hidráulicos.

2.7.11 Métodos de perforación.

La perforación dentro del campo de las voladuras es lo primero que se realiza y tiene como finalidad abrir unos huecos, con la distribución geométrica adecuada dentro de los macizos, donde alojar las cargas del explosivo y sus accesorios iniciadores.

2.7.12 Principios de perforación mecánica de las rocas.

Un equipo de perforación reúne todos los conceptos básicos de electricidad, hidráulica y neumática, el aire es necesario para barrer el agujero y para accionar algunos de sus componentes mecánicos. El sistema hidráulico es necesario para suministrar la potencia a cilindros, mecanismos de propulsión, rotación, avance, accesorios. Y por último los controles eléctricos se utilizan para ignición solenoides, relevos, etc. La perforación por percusión puede ser con martillo en cabeza o martillo de fondo, la penetración de la broca ocurre debido a la combinación de 4 acciones: Percusión, rotación, avance y barrido.

2.7.13 Sistemas de accionamiento:

Se consideran el accionamiento neumático convencional o *Top Hammer*, accionamiento neumático *Down The Hole DTH*, accionamiento hidráulico, sólo *Top Hammer*.

Perforación con martillo en fondo *Down The Hole (DTH)*. En estas perforadoras dos de las acciones básicas, rotación y percusión, se producen fuera del barreno transmitiéndose a través de una espiga y de barrillas hasta la boca de perforación. Los martillos pueden ser adicionalmente neumáticos o hidráulicos, tal como se observa en la Figura. 2.7.

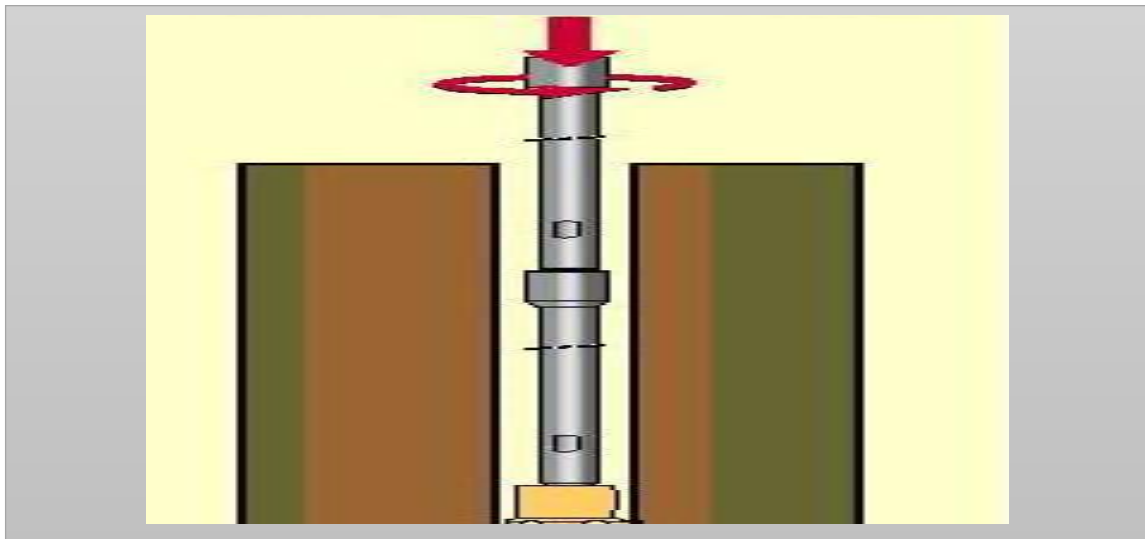


Figura 2. 7. Perforación con martillo en cabeza.

Fuente. Explotación de Minas – Universidad de Chile.

Martillo en cabeza (*top hammer*). La percusión se realiza directamente sobre la roca de perforación, mientras que la rotación se efectúa en el exterior del barreno. El hacinamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente mientras que la rotación puede ser neumática o hidráulica, tal como se observa en la Figura. 2.8.

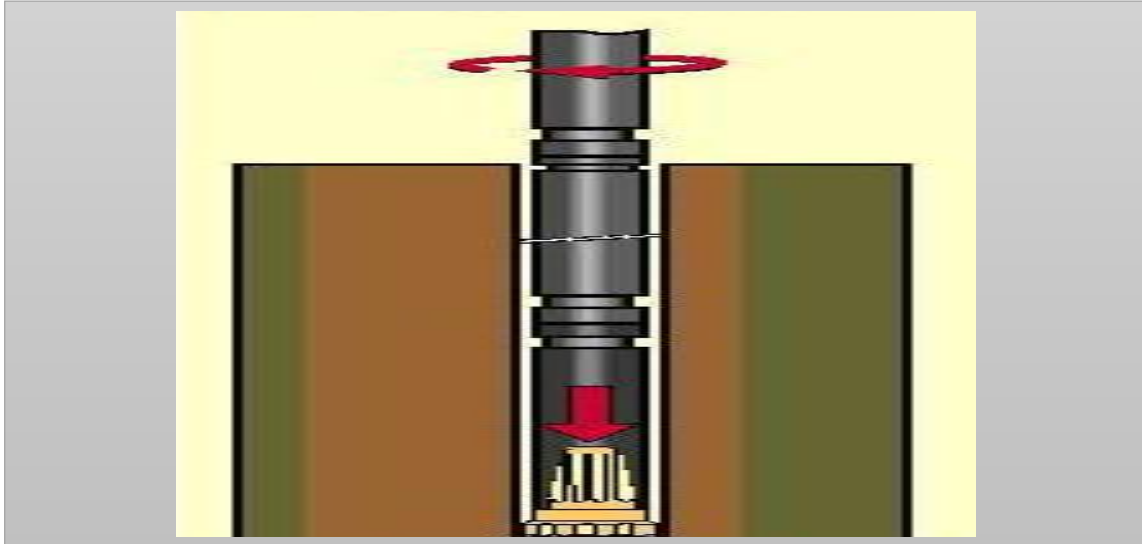


Figura 2. 8. Perforación con martillo en fondo.

Fuente. Explotación de Minas – Universidad de Chile.

2.7.14 Indentación.

En la indentación los dientes o insertos penetran en la roca debido al empuje sobre la boca este mecanismo tritura la roca, tal como se observa en Figura. 2.9. Y Figura. 2.10.

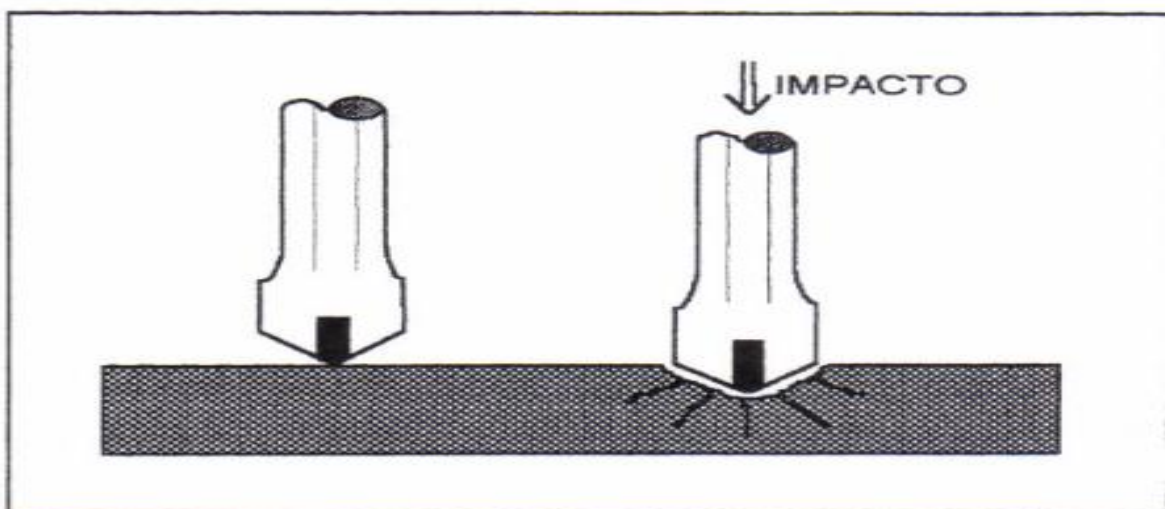


Figura 2. 9. Indentación en la roca.

Fuente: Explotación de minas - Universidad de Chile.

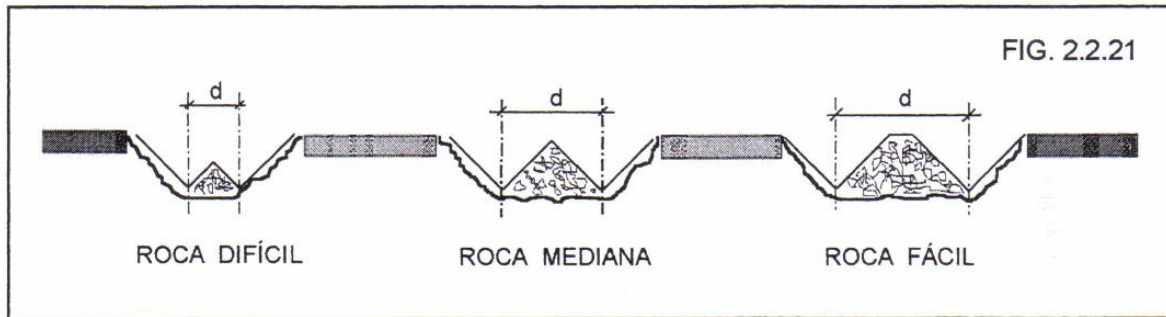


Figura 2. 10. Resultados de la indentación en diferente calidad de roca.

Fuente: Explotación de minas - Universidad de Chile.

Perforación rotativa. Se subdividen a su vez en dos grupos, según que la perforación se realice por trituración empleando triconos, o por corte utilizando bocas especiales. El primer sistema se aplica en rocas de dureza media a alta y el segundo en rocas blandas.

Perforación con triconos. Los diámetros de los barrenos varían entre 2” y las 17 1/2” (152 a 311mm). Este método de perforación es muy versátil ya que abarca una amplia gama de rocas, desde las muy blandas, donde comenzó su aplicación, hasta las muy duras, donde han desplazado a otros sistemas.

Las perforadoras rotativas están constituidas esencialmente por una fuente de energía, una batería de barras de tubos, individualmente o conectadas en serie, que transmiten el peso, la rotación y el aire de barrido a una boca con dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno que actúa sobre la roca, Tal como se observa en Figura. 2.11. Y Figura. 2.12.

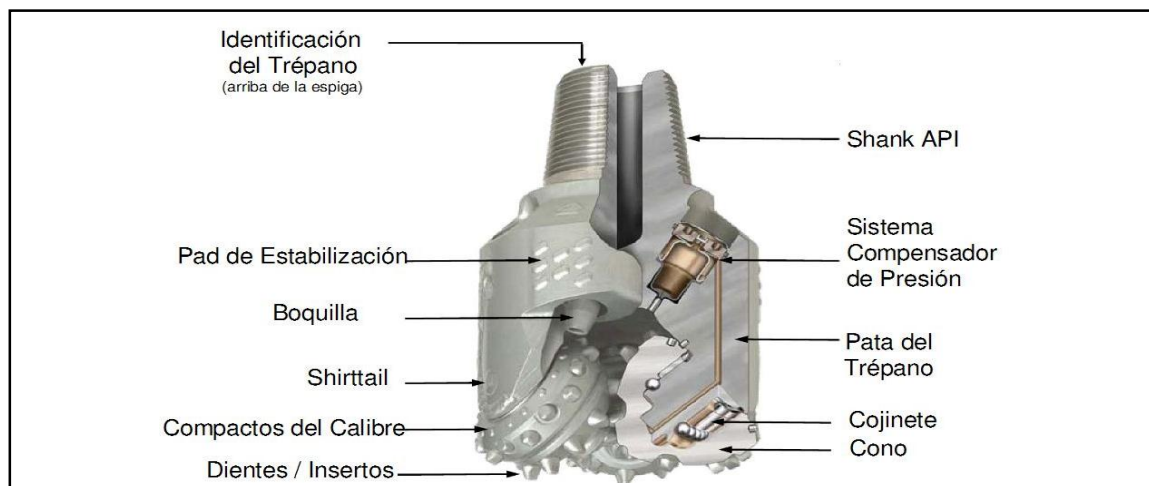


Figura 2. 11. Estructura del trepano del tricono.

Fuente. Manual de perforación de rocas - López Jimeno 1994.

Perforación roto percusiva. Son los más utilizados en casi todos los tipos de rocas, tanto así el martillo se sitúa en la cabeza como en el fondo del barreno. Atendiendo a la resistencia

a la compresión de las rocas y a diámetro de perforación, se puede delimitar que tipo de perforación se puede delimitar los campos de aplicación de los diferentes métodos. Los campos de aplicación de los métodos de explotación son en función de la resistencia de la roca y diámetro de los barrenos de acuerdo a la propuesta por López Jimeno (1994), Manual de perforación y voladura de rocas. En principio la perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón), que golpea a un útil que a su vez transmite energía al fondo del barreno por medio de un elemento final (boca). Los equipos de roto percusión se clasifican en dos grandes grupos según se encuentren colocado el martillo:

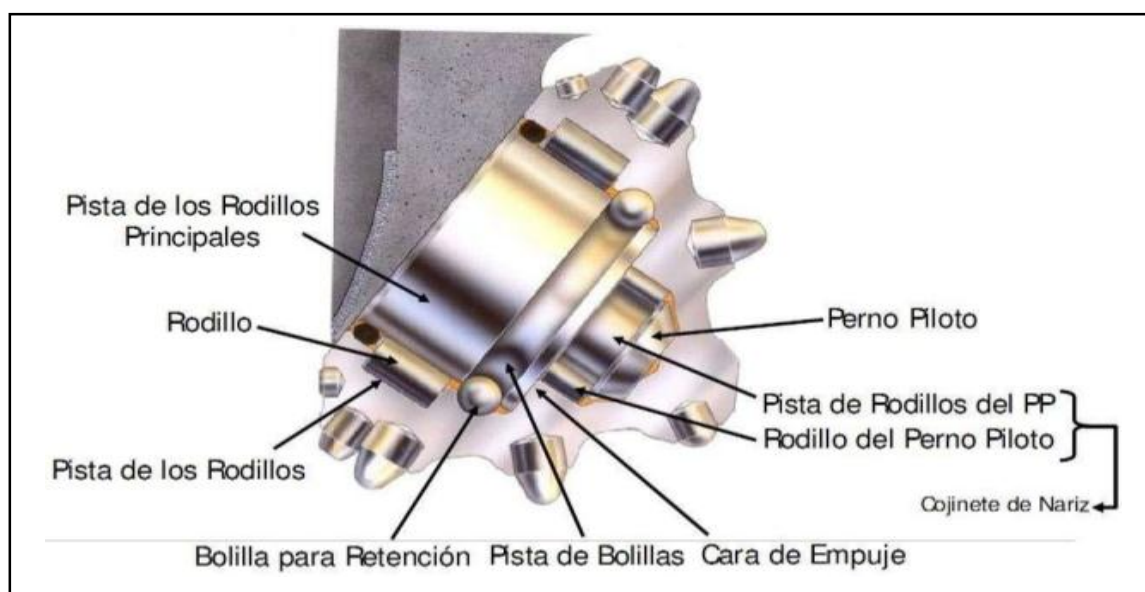


Figura 2. 12. Componentes del cojinete a rodillos.

Fuente. Manual de perforación de rocas - López Jimeno 1994.

2.8 Diseño de actividades mineras superficiales.

Desbroce. Se refiere al retiro del suelo vegetal que se encuentra encima de la roca caliza, la presencia de esta tierra vegetal conocido como *top soil* dificulta el mapeo geomecánico que se requiere para determinar la calidad del macizo rocoso, además para determinar las reservas minerales ha sido fundamental para determinar las medidas de la geometría del ya cimienta mineral no metálico de caliza, es decir la topografía superficial, la cobertura compuesta por material detrítico: Arcillas, arenas calcáreas, margas y materiales orgánicos.

Estos depósitos cuaternarios (*top soil*), son retirados para una disposición final de la mina que permita las diferentes operaciones de pre minado sobre todo la determinación de reservas minerales y la evaluación geomecánica de la litología estructural del macizo rocoso.

2.8.1 Operación mina, equipos y recursos en cantera de caliza.

Tomando como referencia por sus características de yacimiento no metálico, según las operaciones realizadas en la Concesión Minera “Victoria 2002” está cubierto de material cuaternario diluvio - coluvial, generado por los procesos geodinámicos externos del lugar.

2.8.2 Ciclo de minado en la cantera de caliza.

De acuerdo a los factores geológicos, geomecánicos, ambientales y de seguridad, el desarrollo del ciclo de minado consiste en las siguientes etapas:

- Limpieza de material cuaternario (*top soil*).
- Perforación y voladura para remover y/o fracturar los estratos de caliza.
- Trabajo de la retroexcavadora con su accesorio denominado “Picotón” para efectuar cortes de ladera por desplome.
- Perforación y voladura secundaria para reducir el tamaño de los bloques.

Maquinaria y equipos. Una retroexcavadora equipada con cucharón y picotón. Perforadora portátil tipo taladro, marca *Bosch*, con generador de 5000 Watts.

Recurso humano. El recurso humano en la cantera de explotación de caliza es el personal que actualmente labora:

- El operador de la retroexcavadora será una persona con capacitación y entrenamiento permanente con un *back ground* muy amplio en el manejo de diversos tipos de maquinaria.
- Los perforistas que operan en el área de explotación de cantera deben estar capacitados y portar la licencia y carnet de DICSCAMEC para uso y manipuleo de explosivos de uso civil.

Basándose en la estabilidad de taludes, su clasificación geomecánica y el tamaño de la cantera de caliza muy similar, se describen los cálculos de diseño de perforación y voladura como se indica a continuación:

Cálculo de la altura crítica del banco. La altura crítica es en función del diámetro del taladro ($\emptyset t$).

$$H_{\text{crítica}} = \frac{\varnothing \text{ (mm)}}{15}$$

Altura banco. La altura del banco debe ser mayor que la altura crítica, para ello, a continuación se realiza el cálculo de la altura crítica que está en función directa del diámetro del taladro.

$$H_{\text{Banco}} \geq H_{\text{Crítica}} \geq 1.6\text{m.}$$

Sobre perforación (SP).

$$SP = 12 \varnothing$$

Longitud de taladro (LT). La longitud de perforación es igual a la altura de banco más la sobre perforación.

$$LT = (H) + SP$$

Cálculo de taco (T). Es la longitud de taladro que se coloca el material inerte (detritos o arcilla).

$$T = 30 \times \varnothing \text{ (Para cantera)}$$

Cálculo del burden (B). El burden es la distancia entre la fila de taladro y la cara libre. Roca dura RMR de 65 A 70.

$$B = 36 \varnothing$$

Cálculo del espaciamiento (E). Es la distancia entre los taladros de una fila.

$$E = K_e \times B$$

Radio de longitud del burden (L / B). Es la relación de la longitud del taladro y el burden, esta distancia no debe ser superior a 3.2.

$$Rad = \frac{L}{B}$$

Cálculo de carga de fondo (CF). Es la columna de carga de explosivo iniciando del fondo del taladro para obtener una mejor distribución de carga explosiva.

$$CF = 1.3 B$$

Carga de columna (CC). Es la columna de carga de explosivo que va luego de la carga de fondo.

$$CC = L_T - (CF + T)$$

Cantidad de explosivo por taladro (Q). La cantidad de explosivo por taladro es la suma entre la carga de fondo y la carga de columna, el cálculo se realiza de la siguiente forma:

Cantidad de explosivo en el fondo del taladro (Qf).

$$Qf = \frac{de (\varnothing^2)(CF)}{2}$$

Donde:

de : Densidad del explosivo.

\varnothing : Diámetro del taladro.

CF : Longitud de carga de fondo.

Cantidad de explosivo en la columna del taladro (Qc)

$$Qc = \frac{de (\varnothing^2)(CC)}{2}$$

Donde:

de : Densidad del explosivo.

\varnothing : Diámetro del taladro.

CC : Longitud de carga de columna.

Entonces la cantidad de explosivo total por taladro es:

$$Q = Qf + Qc$$

Parámetros de perforación.

- Altura de banco.
- Diámetro de taladro.
- Sobre perforación.
- Longitud de perforación.
- Burden.
- Espaciamiento.
- Carga de fondo.
- Carga de columna.
- Explosivo carga de fondo.

- Explosivo carga columna.

2.9 Caliza.

Roca sedimentaria (generalmente de origen orgánico), carbonatada que contiene al menos un 50% de calcita (CaCO_3), y que puede estar acompañada de dolomita, aragonito y siderita; de color blanco, gris, amarilla, rojiza, negra; y textura granular fina a gruesa, bandeada o compacta, a veces contiene fósiles. Minerales esenciales: calcita (más del 50%). Minerales accesorios: dolomita, cuarzo, goethita (limonita), materia orgánica. Las calizas tienen poca dureza y en frío reportan efervescencia (desprendimiento burbujeante de CO_2), bajo la acción de un ácido diluido. Contienen frecuentemente fósiles, por lo que son de gran importancia en estratigrafía, así como diversas aplicaciones industriales. Usos: El mayor consumo de caliza se efectúa en la fabricación de cementos; es materia prima de la industria química (grandes masas de caliza se utilizan anualmente como fundentes en la extracción de diversas menas metálicas). La caliza de grano fino se emplea en litografía y se denomina caliza 24 litográfica. Calizas de distintos tipos se emplean en construcción, tanto como piedra estructural, como para fachadas y recubrimientos sobre paredes de cemento, y como piedra de acabado para la ornamentación interior. También se usa en la producción de azúcar y en la industria del vidrio.

Su origen puede ser la precipitación química o bioquímica de carbonato cálcico en los medios sedimentarios, la construcción por organismos (calizas coralinas) y la cementación de conchas calizas de moluscos (lumaquelas). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol. Los relieves calizos son frecuentes en cordilleras jóvenes, dando lugar a relieves característicos. Entre las formas erosivas de las calizas se encuentran las formaciones kársticas.

2.9.1 Formación de la caliza.

La caliza es una roca compuesta por lo menos del 50% de carbonato de calcio (CaCO_3), con porcentajes variables de impurezas, en su interpretación más amplia, el término incluye cualquier material calcáreo que contenga carbonato de calcio como mármol, creta, travertino, coral y marga. Cada uno de los cuales poseen propiedades físicas distintas, sin embargo, generalmente se considera que la caliza es una roca calcárea estratificada compuesta principalmente de mineral calcita, que por calcinación da la cal viva. Los

yacimientos de materiales calcáreos que se encuentran en las vastas regiones del Perú, son rocas calizas de diversos grados de pureza.

La meteorización de la roca caliza relativamente pura contiene algo de carbonato de hierro, da como resultado la solución de la caliza y un residuo de óxido de hierro. Si las condiciones son favorables a la acumulación y si la cantidad de caliza meteorizada tiene espesor considerable, como en las mesetas de meteorización, pueden resultar depósitos explotables de hierro conocido como terra rosa, sin embargo, *E. C. Eckel* puntualiza que muchas calizas subyacentes de depósitos residuales de hierro contienen sólo una ligera cantidad de hierro diseminado y cantidades mucho mayores de sílice y alúmina y que su meteorización daría un residuo de arcilla en lugar de un residuo de óxido de hierro.

2.9.2 El ciclo del carbonato.

La solución, transporte y deposición de carbonato cálcico y magnésico da origen a depósitos comerciales de calizas, dolomitas y magnetitas. Las calizas son de origen marino o de agua dulce y el magnesio puede substituir en parte al calcio, dando calizas dolomíticas; comúnmente se hallan presentes impurezas de sílice, arcilla o arena, así como cantidades menores de fosfato, hierro, manganeso y materia carbonácea, en condiciones estables el calcio se libera por meteorización de las rocas y es transportado a las cuencas sedimentarias principalmente como bicarbonato, en parte como carbonato y abundantemente como sulfato; cuando el carbonato de calcio es depositado por medios inorgánicos, orgánicos y mecánicos; el anhídrido carbónico desempeña un papel predominante en los procesos inorgánicos, porque la solución del carbonato cálcico en el agua depende de él. Si se pierde, el carbonato se precipita, como en las estalactitas de las cavernas.

2.9.3 Cal.

La cal es un término que designa todas las formas físicas en las que pueden aparecer el óxido de calcio (CaO) y el óxido de calcio y magnesio (CaMgO_2), denominados también, cal viva (o generalmente cal), y dolomía calcinada respectivamente. Estos productos se obtienen como resultado de la calcinación de las rocas ([calizas](#) o [dolomías](#)). Adicionalmente, existe la posibilidad de añadir agua a la cal viva y a la dolomía calcinada obteniendo productos hidratados denominados comúnmente cal apagada ó [hidróxido de calcio](#) (Ca(OH)_2) y dolomía hidratada (CaMg(OH)_4). La caliza, al calentarla a 900°C , pierde el CO_2 y se convierte en cal viva. El CaO mezclado con agua forma el hidrato cálcico

(Cal apagada – $\text{Ca}(\text{OH})_2$), se hincha, produce mucho calor y se endurece o, como corrientemente se dice, fragua. La cal viva mezclada con agua forma el mortero corriente. La cal viva sometida al tratamiento con agua, se llama cal apagada (hidróxido de calcio). La cal viva es el óxido de calcio (CaO), que se fabrica calcinando calizas a 900°C . Es un sólido de color blanco muy ávido de agua y cáustico. La reacción de la cal viva con el agua produce desprendimiento de calor y la formación de hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o cal apagada. Es uno de los químicos más antiguos que el hombre proceso y uno de los más utilizados actualmente que va desde usos en agricultura, tratamiento de aguas contaminadas, refinación del acero, construcción y no deja de ser tan cercana y familiar en nuestra cultura que hasta la podemos disfrutar en las tortillas por medio del proceso de Nixtamalización.

2.9.4 Canteras.

Una cantera es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas. Las canteras suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen de la minería mundial. Los productos obtenidos en las canteras, a diferencia del resto de las explotaciones mineras, no son sometidos a concentración. Las principales rocas obtenidas en las canteras son: Mármoles, granitos, calizas y pizarras.

2.9.5 Diseño de cantera.

El diseño minero y las decisiones operacionales son inicialmente optimizaciones costo-beneficio. El objetivo es extraer las reservas al menor costo (operacional y ambiental) o aceptar o rechazar una opción minera sobre la base que los beneficios sean mayores o menores que los costos. En este contexto el papel de la ingeniería de rocas es el de predecir el comportamiento de las rocas en respuesta a las labores mineras de forma tal que puedan asignárseles costos y beneficios. La predicción del comportamiento de la roca no es de ningún modo exacta. Para efectuar un análisis racional debe desarrollarse un modelo conceptual que sea matemáticamente manejable y conlleve costos reales. La complejidad de los materiales naturales y los procesos obstaculizan una modelación exacta. De esta forma, un análisis es sólo una aproximación al mundo real.

Aún con la simplificación del modelo, la capacidad analítica actual excede la facultad de obtener los datos requeridos de entrada de las propiedades del material, la geología y las características del sitio, debido a:

- Las propiedades del material varían de un sitio a otro y el acceso es limitado, de tal forma que se dificulta la obtención de muestras representativas.
- Existen incertidumbres tanto en las mediciones in - situ como en los ensayos de laboratorio.
- La magnitud y tiempo de ocurrencia de los fenómenos que afectan el comportamiento de los macizos rocosos tales como las lluvias y los sismos son gobernados por una interrelación de factores tan compleja que se asemejan a eventos casuales.

Estas incertidumbres en los datos de entrada y el análisis, impiden una predicción exacta del comportamiento de la roca. Por esta razón el método probabilístico ha ganado una amplia aceptación en la ingeniería de rocas aplicada a la explotación de canteras. Mediante un apropiado muestreo y una estrategia de ensayos, la variabilidad de las propiedades de las rocas puede estimarse cuantitativamente y luego utilizarse en modelos matemáticos exactos o en simulaciones de Monte Carlo de tal forma que los resultados de un análisis puedan calcularse como una distribución de probabilidad antes que como un simple valor determinístico basado en un promedio de un valor simple asumido de entrada. En la Tabla. 2.3. De parámetros para la explotación de canteras se observan los diferentes valores en función a los parámetros estimados.

Tabla 2. 3 Parámetros para la explotación de canteras.

<i>Aplicación</i>	<i>Geológicos</i>			<i>Propiedades del material</i>		<i>Condiciones In ~ Situ</i>			<i>Factores operacionales</i>			
	<i>Zonificación Estructural</i>	<i>Fallas, pliegue</i>	<i>Diaclasa</i>	<i>Roca intacta</i>	<i>Frac-tura</i>	<i>Hidrología</i>	<i>Esfuerzo In ~ Situ</i>	<i>Sismicidad</i>	<i>Planeamiento</i>	<i>Equipo</i>	<i>Tasa de producción y costos</i>	<i>Geometría y desplazamiento del talud</i>
<i>Diseño del talud</i>	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	2	2
<i>Manejo del talud</i>		1				1			1	2	2	1
<i>Excavabilidad</i>	1	2	1	1	1	2	3			1	2	
<i>Voladura</i>	1	2	1	1	2	2	2			1	1	
<i>Transporte</i>	1			1		1			2	1		
<i>Capacidad portante</i>	1			1	1	1				1		
<i>Trituración y molienda</i>	1		1	1						1		
<i>Lixiviación</i>	1	2	1	2	2	1			2			

Fuente. *Open Pit Rock Mechanics en surface mining*. Segunda edición – 1990.

En la Tabla 2.3. Los números indican prioridad; así por ejemplo, las fallas y pliegues juegan un papel importante en el diseño y manejo del talud y uno secundario en lo que a excavabilidad, voladura y lixiviación se refiere. Traducida de *Open Pit Rock Mechanics en surface mining*. 2da edición 1990.

2.10 Definiciones conceptuales.

2.10.1 Pre exploración.

Tiene por objeto determinar si una zona concreta, normalmente de gran extensión, presenta posibilidades de que exista un tipo determinado de cantera. Esto se establece en función de la información de que disponemos sobre esa cantera, sobre la geología de la zona de estudio. Suele ser un trabajo fundamentalmente de gabinete, en el que contaremos con el apoyo de información bibliográfica, mapas, fotos aéreas, imágenes de satélite, etc., aunque puede incluir alguna salida al campo para reconocer las zonas de mayor interés.

2.10.2 Exploración.

Una vez superada satisfactoriamente la anterior, las posibilidades de la zona estudiada, se pasa al estudio sobre el terreno. En esta fase aplicaremos las diversas técnicas disponibles para llevar a cabo de forma lo más completo posible el trabajo, dentro de las posibilidades presupuestarias del mismo. Su objeto final debe ser corroborar o descartar la hipótesis inicial de existencia de un depósito del tipo prospectado de acuerdo a nuestras necesidades.

2.10.3 Macizo rocoso.

El término es usado para referirse a un grupo de montañas formadas por matrices rocosas y sus discontinuidades, lo cual se deberá incluir en la descripción general del terreno a analizar, identificando las condiciones y características generales del mismo y cada uno de sus componentes, como: rocas, suelos, zonas con agua, discontinuidades singulares tales como fallas, pliegues, para esto se necesita realizar una caracterización de la matriz rocosa.

2.10.4 Clasificación del macizo rocoso.

La clasificación de un macizo rocoso nos da una idea preliminar de la calidad del material rocoso y su variabilidad, así como las diferentes discontinuidades y fallas estructurales.

2.10.5 Durabilidad.

Resistencia al Intemperismo agentes externos dependiendo del uso y a la exposición.

2.10.6 Durabilidad de la caliza.

Ejemplo piedra caliza no es utilizable cuando se utiliza en elementos que van a ser utilizados en contacto con ácidos.

2.10.7 Caracterización de la matriz rocosa.

La caracterización de una matriz rocosa consta de tres partes, estas son:

- Identificación.
- Grado de meteorización.
- Resistencia.

2.10.8 Identificación.

La Identificación de una matriz rocosa consta en analizar su composición mineralógica (clasificándola litológicamente), hallar su forma y tamaño de los granos, así como su color y transparencia. Conociendo como la litología a una rama de la geología que estudia las rocas en especial sus propiedades físicas y químicas, su granulometría, y el tamaño de sus partículas.

2.10.9 Cantera de caliza.

Según Morales C. W.(2014), Geología aplicada en prospección, evaluación y explotación de canteras de la E.P. DE Ingeniería hidráulica de la Universidad Nacional de Cajamarca, es el conjunto de labores que se llevan a cabo con la finalidad de explotar por método superficial el material útil como insumo para la industria, en la construcción, recuperar las rocas duras para clasificarlas y transformarlas en arena, ripio, agregados F y G., material de base y sub base, o insumo para la fabricación de cemento y cal, tal como se observa en Figura. 2.13.

2.10.10 Prospección - evaluación y explotación de canteras.

Rocas importantes para la construcción. Propiedades físicas y químicas:

- Explotación de canteras - métodos de explotación.
- Fuentes de arena y grava - áridos para el hormigón (concreto).
- Materia prima para materiales cementantes, calizas, arcillas, yeso, materia prima para la fabricación de ladrillo, tejas, etc.
- Principales yacimientos de materiales de construcción en Cajamarca.

2.10.11 Proceso de explotación de una cantera.

Aprovechando de la pendiente, el depósito de material pétreo, se divide en capas horizontales, con la finalidad de explotar varias capas (bancos), simultáneamente, de esta manera, la cantera va adquiriendo la forma escalonada.



Figura 2. 13. Forma de explotar una cantera.

Fuente: Morales C. W. 20014.

2.10.12 Evaluación de yacimientos y reservas.

En la evaluación se consideran los siguientes criterios operativos:

- **Altura de banco.** Limitada por normativa al alcance del cucharón de la pala, si es arranque directo. Si se utiliza bulldozer para arranque y empuje, no se limita la altura pero sí la pendiente máxima de trabajo (25%).
- **Plataformas de trabajo.** Deben permitir el movimiento sin riesgo de máquinas y personal. Suficientes para giro de volquetes.
- **Bermas.** Si la altura del paquete es superior al talud máximo permitido. En operación su altura será al menos la de la plataforma de trabajo. En situación final debe permitir la estabilidad del talud. Normalmente $V=1/H=4$.
- **Pistas y rampas.** 3 ó 4 veces más anchas que la anchura del mayor volquete. Pendiente recomendable del 8%.
- **Espacio de trabajo o módulo.** Va evolucionando a medida que avanza la gravera.

La base de cualquier proyecto es la **planificación de las actividades a realizar**. Así, en Investigación no metálica para materiales de construcción, se suele subdividir el trabajo en

tres etapas claramente diferenciadas, de forma que solamente se aborda la siguiente en caso de que la anterior haya cumplido satisfactoriamente los objetivos previstos. Pueden recibir distintos nombres, en términos generales se trata de una fase de pre exploración, una de exploración y otra de evaluación. Tal como se observa en Figura. 2.14.



Figura 2. 14. Cantera de caliza en operación.

Fuente: Morales C. W. 2014.

2.10.13 Como seleccionar una cantera.

Para la selección de una cantera es necesario buscar un macizo rocoso al cual se le debe realizar estudios geológicos - mineros como son la litología, topografía, zonas locales protegidas, vías de comunicación, núcleos urbanos, vías pecuarias, hidrología, orto foto mapas y límites administrativos.

En esta actividad intervienen el geólogo, y el geotécnico que se encargan de estudiar la estructura, origen y formación del macizo rocoso.

Secuencia de selección:

- Modelo digital de elevaciones.
- Modelo digital del terreno.
- Cartografía variada.
- Mapas temáticos.
- Mapas de zonas.

2.10.14 Actividades realizadas en una cantera.

Explotar. Consiste en extraer material pétreo de un macizo rocoso.

Estoquear. Esta actividad la puede realizar el tractor y la excavadora a medida que van rompiendo la roca.

Cargar. La función de cargar el material a los volquetes la realizan el cargador frontal, la retroexcavadora y la excavadora.

Transportar. Para transportar el material pétreo se utilizan los volquetes a medida que van rompiendo la roca.

2.10.15 Conceptos generales en minería superficial.

Operaciones mineras. Todas y cada una de las actividades que tengan por objeto el desarrollo de la minería.

Productos mineros. Rocas o minerales extraídos de un yacimiento o los productos resultantes de la separación de los mismos.

Recursos. Concentración natural de material sólido, líquido o gaseoso dentro o sobre la corteza terrestre, cuya explotación económica es actual o potencial.

Yacimiento. Toda acumulación de rocas o concentración natural de uno o más minerales.

Afloramiento. Porción de un yacimiento mineral que aparece sobre la superficie de la tierra.

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 mecánico. En este tipo de arranque se usan máquinas que utilizan los impactos, el rozado, la fuerza hidráulica, el riplado o la excavación para desprender el mineral. Para el caso de la minería subterránea, se usan máquinas de impactos tales como: martillo hidráulico, martillo eléctrico y martillo neumático.

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

Calcáreo. Material que está conformado o contiene carbonato de calcio.

Calcina. Producto de la calcinación. Proceso de calentamiento mediante el cual se elimina el agua y los carbonatos de los minerales; en el caso de los minerales de hierro se puede presentar cierto grado de reducción.

Calcinación (industria metalúrgica). Proceso que tiene por objeto remover el agua, el dióxido de carbono y otros gases que se encuentran químicamente unidos a un mineral dado. Cuando el proceso se realiza en atmósfera reductora, se puede presentar también una pre reducción de algunos elementos químicos del mineral (caso de los minerales de hierro).

Desarrollo minero. Fase del ciclo minero que empieza desde la confirmación de la existencia de los depósitos minerales hasta el comienzo de su explotación. Comprende el conjunto de actividades que permiten el acceso al yacimiento y el establecimiento de la infraestructura del proyecto para asegurar la rentabilidad de la mina en concordancia con la legislación vigente.

Incluye la adquisición de derechos y permisos para iniciar la explotación, el diseño detallado y la construcción de las obras de infraestructura, el diseño y el planeamiento detallado de la explotación, la selección de zonas para botaderos y manejo de estériles, la compra de equipos y materiales, la preparación de presupuestos y la financiación del proyecto, entre otros. Su duración varía de acuerdo con las características y el tamaño del proyecto, desde varios meses a 2 ó 3 años. El objetivo principal del desarrollo es llevar la mina hasta el nivel máximo de operación con el mínimo de inversión.

2.10.16 Conceptos generales en la voladura de rocas.

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.

Detonador eléctrico. Fulminantes elaborados de tal manera que pueden hacerse detonar cuando una corriente eléctrica pasa por los hilos de conexión. Se componen de tres partes colocadas dentro de un casquillo metálico de aluminio o cobre (que es el usado en las minas de carbón). Estas tres partes son: La parte eléctrica, la retardadora y la explosiva. La parte eléctrica, colocada en la parte superior, está formada por el inflamador o la cerilla y por los hilos de conexión que son de distintos colores según el tipo de detonador. La parte retardadora sólo existe en los detonadores de tiempo, retardo o micro retardo, los instantáneos no la llevan y va colocada en la zona intermedia, entre el inflamador y la parte explosiva. Con ellos pueden iniciarse al mismo tiempo varias cargas de explosivos de gran potencia, y se puede controlar con precisión el momento de la detonación.

Detonador instantáneo. Detonador eléctrico que no lleva retardo y en el cual la explosión de la carga primaria es instantánea. Los estopines eléctricos instantáneos tienen una carga de ignición, una carga primaria y una carga detonante. Su casquillo es de aluminio y tienen dos alambres de cobre calibre 20 o 22, generalmente uno rojo y el otro amarillo. Estos dos colores distintos son de gran ayuda al hacer las conexiones.

Explosivo. Los explosivos son sustancias que tienen poca estabilidad química y que son capaces de transformarse violentamente en gases. Esta transformación puede realizarse a causa de una combustión o por acción de un golpe, impacto, fricción u otro, en cuyo caso recibe el nombre de explosivos detonantes, como es el caso de las dinamitas y los nitratos de amonio. Cuando esta violenta transformación en gases ocurre en un lugar cerrado, como puede ser un taladro en un manto de roca, se producen presiones muy elevadas que fracturan la roca. La más antigua de las sustancias explosivas es la pólvora negra, que consistía en una mezcla formada por salitre, carbón y azufre.

Explosivos gelatinosos. Estos explosivos llevan en su constitución, como agente desencadenante, nitroglicerina, nitro algodón, nitrato de sodio y materiales celulósicos. Sus

características son consistencia plástica, alta densidad, buena resistencia al agua, libre de vapores nocivos y una buena capacidad de almacenamiento.

Explosivos plásticos y semiplásticos. Explosivos cuya consistencia es tal, que permite que sea "moldeado" para aplicar una presión moderada, para llenar un taladro. La diferencia entre las formas plásticas y semiplásticas depende principalmente de la diferencia del equipo que se utiliza para su fabricación. La viscosidad de los tipos plásticos hace posible su fabricación mediante un proceso de extrusión a través de tubos.

Explosivos tipo gelignitas. Gelignitas es un tipo especial de explosivo gelatina que contiene nitroglicerina, nitro algodón y nitrato de amonio con un suplemento de absorbente. Es éste un poderoso explosivo de alta densidad con alta resistencia al agua.

Explosivos tipo *slurry*. Explosivos que contienen nitrato de amonio, TNT, agua y sustancias para mantener el explosivo homogéneo. Los *slurries* son específicamente diseñados para explosiones en barrenos largos y húmedos; son relativamente insensibles a los iniciadores y, por lo tanto, necesitan ser detonados con un primer explosivo (que, generalmente, son TNT comprimido o un iniciador especial). Los *slurries* son resistentes al agua y son también bombeados directo dentro del barreno o aplicados en bolsas de plástico.

2.11 Plan de minado.

Es el pre diseño de la distribución detallada, principales carreteras y vías, y frentes de trabajo de una mina o un grupo de minas. El esquema usualmente incluye la introducción de equipo minero para las actividades de minería y transporte del carbón o mineral explotado. La elección de métodos y maquinaria minera apropiadamente adaptados a las condiciones locales son parte del plan minero.

2.12 Formulación de hipótesis.

2.12.1 Hipótesis general.

Mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca.

2.12.2 Hipótesis específicos.

Mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca.

Mediante la evaluación del ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca.

2.12.3 Variables.**2.12.4 Variable dependiente.**

Optimización del plan de minado en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca.

2.12.5 Variable independiente.

Características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño metodológico.

El diseño está determinado por el tipo de investigación que se va a realizar (Bernal, 2000). Estructura u organización esquematizada que adopta el investigador para relacionar y controlar las variables de estudio (Sánchez C. 1987).

En el presente trabajo el método es cuantitativo, método que otorga visión de la realidad demostraciones de la hipótesis, explicaciones y descripciones, hallazgos como espacio estructurado y estable, mediante la relación de factores causales que afectan situaciones, conceptos operacionales relacionados con la teoría y las predicciones, todo ello en función al cumplimiento de los objetivos planteados, para comprobar la hipótesis en función a las variables independientes y dependientes, mediante métodos estadísticos, considerados en el presente trabajo de investigación que se realizará en cantera de caliza “La Unión”, distrito de Baños del Inca, Cajamarca, se pueden considerar:

- Recopilación de información de litología estructural.
- Tabulación de base de datos de campo.
- Experimentación.
- Observación.
- Evaluación.
- Análisis documental.
- Elaboración de informe final del trabajo de investigación.

3.2 Tipo de la investigación.

Aplicada. Orientado a lograr nuevos conocimientos destinados a dar soluciones de problemas prácticos en la explotación de caliza de cantera “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

Descriptiva. Es la descripción e identificación de cada uno de los componentes esenciales de las características del macizo rocoso de las reservas minerales no metálicos de caliza de cantera “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

3.3 Nivel de investigación.

Descriptivo. Describe las características del macizo rocoso en una circunstancia temporal y geográfica determinada de cantera “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

Explicativo. Explica el comportamiento de una variable en función de otra por ser estudios de causa - efecto de cantera “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

3.4 Fases de metodología del estudio.

- Operación minera actual para una producción de 30 TM/día de caliza como línea de base.
- Optimización de plan de minado para una producción de 63 TM/día de caliza.

3.5 Metodología empírica y analítica.

Según *Kelinger, F.N. y Lee H.B. (2002)*, Investigación del comportamiento: métodos de investigación en ciencias sociales, en el presente trabajo de investigación la metodología empírica se refiere a la sistematización de datos de campo es decir datos obtenidos de acuerdo o las mediciones, consolidados y sus tratamiento en los diferentes modelos matemáticos empíricos propuestos con una evaluación y descripción conforme las teorías existentes de perforación y voladura en función a la calidad del macizo rocoso y reservas minerales de cantera “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

3.5.1 Técnicas de recolección de datos de campo.

Con los datos obtenidos se realizara un diseño mediante la caracterización del macizo rocoso de la cantera de caliza donde la roca predominante es la caliza que se encuentra mostrando un afloramiento con estructura donde se observa las discontinuidades mayores y menores

con una persistencia y apertura de acuerdo a la litología estructural englobados en una matriz fina de color gris pardusco “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

3.6 Población y muestra.

3.6.1 Población.

En el trabajo de investigación la población está conformada por la cantidad de datos de campo de la caracterización del macizo rocoso, reservas minerales los tiempos, espacios del ciclo operativo de la cantera de caliza “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

3.6.2 Muestra.

Constituye un conjunto de unidades o elementos de una población conformada por un grupo de datos seleccionados como representativos.

La muestra se obtendrá aplicando la fórmula para cálculo del tamaño de la muestra conociendo la población en la caracterización del macizo rocoso y el ciclo de operaciones mineras de cantera “La Unión”, Distrito de Baños del Inca, Cajamarca.

3.7 Técnicas de recolección de datos.

En el nivel de análisis en función a los objetivos y las hipótesis .que se han planteado si se consideran necesarias las técnicas estadísticas, se debe mencionar y justificar convenientemente su uso, en el presente trabajo de investigación es sumamente importante realizar análisis estadístico de datos definidos y de acuerdo a los requerimientos.

La información recolectada será presentada en tablas de contingencia, con tantas entradas como indicadores tengan las variables, o también son mostrados en gráficos.

3.8 Técnicas para el procesamiento de la información.

- Recolección de datos del campo haciendo mediciones de la estructura litológica del macizo rocoso.
- Procesamiento de los datos ordenando en tablas mediante el uso de ordenadores
- Interpretación de los resultados mediante avances lineales, volumen, área y peso, los resultados de análisis se llevan a un cuadro de distribución de frecuencias.

- Obtención de resultados será de manera promedio aritmética en cada variable y desviación estándar para un nivel de confianza se calculara también mediante relaciones estadísticas descriptivas.
- Obtención de número de taladros y factor de carga con sus interpretaciones correctivas.
- Equipos de mapeo geomecánico de RMR de *Bieniawski* 1989.
- Equipos de seguridad minera.
- Pinturas para el marcado de las discontinuidades.
- Planos catastrales de la geología regional y local.
- Computadoras, laptops personales y *software* especializado.

3.8.1 Codificación.

Consiste en preparar las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente, codificar los datos significa asignarles un valor numérico que los represente, a las categorías de cada ítem y variable que tienen un significado.

El procedimiento de codificación se ha realizado haciendo uso de la clasificación geomecánica de *Bieniawski* 1989, en la parte del plan de minado se tomaran y consolidarán los datos del ciclo operativo.

3.8.2 Tabulación.

Es la construcción de tablas y gráficos necesarios para el estudio se especificará en la sección de Anexos en donde cada variable tiene su título respectivo, con los cuales se ha elaborado una base de datos en el ordenador.

3.8.3 Consistencia.

Se refiere a la consolidación y sistematización de datos de manera ordenada para evitar redundancia o incongruencias de los datos, en el presente trabajo de investigación se han realizado la consolidación de datos de campo de la litología estructural del macizo rocoso.

3.8.4 Cálculo de tamaño de muestra conociendo el tamaño de la población.

La fórmula es la siguiente:

$$n = \frac{(N)(Z^2_c)(P)(Q)}{D^2(N-1) + (Z^2_c)(P)(Q)}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra

N= Población

Z= Nivel de confianza

P= Probabilidad de éxito

Q= Probabilidad de fracaso (Q=1-P)

D= Precisión (Error máximo permisible en términos de proporción)

El coeficiente de Zc varía así:

- Si la seguridad Zc fuese del 90% el coeficiente sería 1.645
- Si la seguridad Zc fuese del 95% el coeficiente sería 1.96
- Si la seguridad Zc fuese del 97.5% el coeficiente sería 2.24.
- Si la seguridad Zc fuese del 99% el coeficiente sería 2.576

3.9 Operacionalización de variables. Ver Tabla. 3.1.

3.9.1 Variable independiente.

- Calidad del macizo rocoso.
- Reservas minerales.
- Operaciones unitarias.

3.9.2 Variable dependiente.

- Optimización del plan de minado en la cantera de caliza La Unión Distrito Baños del Inca - Cajamarca.

3.10 Técnicas de recolección de datos.

Para viabilizar el presente proyecto se han tomado muestras y datos de campo con ayuda de estación total, GPS, brújula *Brunton*.

- La técnica a utilizarse para la ejecución del proyecto de investigación es la observación.
- Los instrumentos a utilizarse son: Imágenes satelitales, planos, mapas, hojas de datos de campo, muestras de campo.

Tabla 3. 1. Operacionalización de variables.

Variables	Dimensión	Indicadores	Items.	Herramientas
1. Variable independiente: Características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.	Caracterización geomecánica del yacimiento.	Propiedades físicas.	Densidad, Porosidad. Peso específico. Cohesión. Ángulo de fricción interna.	Laboratorio.
		Propiedades mecánicas.	Resistencia compresiva uniaxial. Resistencia compresiva triaxial. Carga puntual.	Laboratorio.
		Dominio estructural del macizo rocoso.	Mapeo geomecánico.	Registro lineal.
		Índice de la calidad de roca RQD.	Método de <i>Deere</i> . Método de <i>Palmtron</i> .	Fórmulas.
		Evaluación de RMR de <i>Bieniawski</i> 1989.	Cuantificación de RMR.	Ábacos.
		Evaluación de RMS de Romana.	Cuantificación de RMS.	Ábacos.
	Reservas minerales.	Probadas y probables.	Ton.	Toneladas.
	Operaciones unitarias.	Perforación.		m
		Voladura.		Tn
		Carguío.		Metros cúbicos
		Transporte.		Metros cúbicos
2. Variable dependiente. Optimización del plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.	Plan de minado.	Plan de minado a corto plazo.	Producción.	Toneladas.
		Plan de minado a mediano plazo.	Producción.	Toneladas.
		Plan de minado a largo plazo.	Producción.	Toneladas.

Fuente. Autor de tesis.

3.10.1 Técnicas para el procesamiento de la información.

Las técnicas a emplearse en el presente proyecto son: Auto CAD, Arcgis, hojas de cálculo (excel).

3.11 Aspectos éticos.

Los datos obtenidos han sido obtenidos de la fuente original, cuando se toma de referencia las informaciones de otros autores en cada caso se mencionan a los autores en el marco del derecho al autor en las referencias bibliográficas.

CAPÍTULO IV

ASPECTOS GENERALES

4.1 Ubicación del yacimiento.

El yacimiento de minerales no metálicos de Caliza, cantera la Unión, se encuentra en el departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca distrito de Baños del Inca, la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S. M. R. Ltda) “La Unión de Cajamarca” es titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” con 100 hectáreas de extensión, que se encuentra ubicada en el valle de los ríos Mashcón y Chonta, los mismos que dan origen al río Cajamarca, que junto con el río Condebamba constituyen los tributarios más importantes de la cuenca del río Crisnejas (vertiente del Atlántico). Ambas ciudades conforman una unidad urbana bipolar en proceso de conurbación, desarrollan funciones urbanas de complementariedad y comparten similares condiciones de riesgo.

Los principales peligros naturales que amenazan a dichas ciudades están relacionados con fenómenos de origen climático, debido a la presencia de períodos de lluvias extraordinarias no siempre vinculadas al fenómeno del niño; con fenómenos de origen geológico, pues como es sabido, el Perú está formando parte de una de las zonas de mayor actividad sísmica del mundo y al interior del territorio nacional el departamento de Cajamarca se encuentra en la zona sísmica III o de mayor intensidad; y con fenómenos de origen geológico - climático, asociación de factores que generan puntualmente deslizamientos de grandes masas de tierra en la ciudad de Cajamarca y licuación de suelos en Los Baños del Inca; por lo que se prevé es necesario entonces tomar conciencia de esta situación tal como se observa la ubicación de la zona se puede observar en el Plano N° 1 - Anexos.

4.2 Concesiones mineras en el departamento de Cajamarca.

Las concesiones mineras en el departamento de Cajamarca se observa en la Tabla. 4.1.

Tabla 4. 1. Concesiones mineras del departamento de Cajamarca.

NOMBRE DE LA CONCESIÓN	DEPOSITOS NO METÁLICOS					COORDENADAS UTM	
	UBICACIÓN			PRODUCTO	HECTÁREA	ESTE	NORTE
	DISTRITO	PROVINCIA	DEPARTAMENTO				
PREMIN I	S. JOSE DE LOURDES	SAN IGNACIO	CAJAMARCA	ARCILLA	100	739500	9428500
GEMA SRL	SAN FELIPE	JAEN	CAJAMARCA	BARITINA MINERAL	200	687000	9361500
RAMBRAN BM	CORTEGANA	CELENDIN	CAJAMARCA	MAT.CONT(Grava/Arena)	1000	804500	9279003
CHOTACAL	CHOTA	CHOTA	CAJAMARCA	CALIZA	200	762000	9268500
CHANCAS III	BAMBAMARCA	HUALGAYOC	CAJAMARCA	CALIZA	100	772500	9263500
LOS CHANCAS I	BAMBAMARCA	HUALGAYOC	CAJAMARCA	CALIZA	200	771500	9260000
LIMON 1	UTCO	CELENDIN	CAJAMARCA	CALIZA	1000	819497	9241503
PIMAL	UTCO	CELENDIN	CAJAMARCA	CALIZA	14	828399	9241127
LIMON	UTCO	CELENDIN	CAJAMARCA	CALIZA	500	820500	9238003
CLAUDINA OCHO	ENCAÑADA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CALIZA	1000	780995	9234500
LA UNION	BAÑOS DEL INCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CALIZA	100	782224	9211099
URLO DOS	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SILICE	400	795000	9207000
ILLAPA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA	750	769685	9204973
EL PARAJE	LLACANORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA	128	790264	9204886
LA PROVIDENCIA I	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CALIZA	200	793000	9204500
EL SOL 94	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA	700	770000	9204003
LAVASIL 1	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SILICE	100	797500	9203500
HUACAMAYO	NAMORA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SILICE	450	792789	9203221
DON LUCHO N° 1	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA	980	774793	9203175
CAJAMARCA	MAGDALENA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA	200	770000	9201500
JULISSA A	YONAN	CONTUMAZA	CAJAMARCA	ARCILLA	200	705500	9201000
DON LUCHO N° 22	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA REFRACTARIA	104	777933	9199571
DON LUCHO N° 2	CAJAMARCA	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA REFRACTARIA	50	778802	9199463
TEMLADERA	YONAN	CONTUMAZA	CAJAMARCA	CALIZA	5310	707948	9198674
DON LUCHO N° 20	SAN JUAN	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ARCILLA REFRACTARIA	243	780097	9198436
YONAN N° 2	YONAN	CONTUMAZA	CAJAMARCA	CALIZA	50	709308	9197599

Fuente. INGEMMET - 2016.

4.3 Accesibilidad.

Desde la ciudad de Cajamarca el distrito de Baños del Inca se encuentra a 7 kilómetros.

Los afloramientos de caliza de la cantera La Unión se encuentra de 8 km aproximadamente del distrito de Baños del Inca el recorrido es en carretera y trocha carro sable ver Tabla. 4.2. Figura. 4.1.

Tabla 4. 2. Ubicación de cantera de caliza La Unión - Baños del Inca.

Concesión	Ubicación			Mineral no metálico	Hectáreas
La Unión.	Distrito.	Provincia.	Depto.	Caliza.	100.00
	Baños del Inca.	Cajamarca.	Cajamarca		
UTM	Norte		Este		
	9 211 099		782 224		

Fuente. Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca”.



Figura 4. 1. Sistema de coordenadas proyectadas UTM - Datum horizontal WGS 1984.

Fuente. Geología general EAPIM UNC – Sánchez C.G. 2016.

4.4 Clima.

El clima es variado, frío en las alturas andinas, templado en los valles y cálido en las quebradas y las márgenes del río Marañón. Los climas templado y frío tienen como característica general un clima seco, templado y soleado durante el día y frío por las noches, con temperaturas que fluctúan entre 23° cerca de la costa, 28° en ceja de selva y 0° en la sierra, la temporada de lluvias se extiende entre los meses de diciembre y abril, con precipitación de 200 a 1500 mm. Presenta diversidad de climas, suelos, vegetación, distribuidos en cuatro eco regiones. Ver a la Figura 4.2.



Figura 4. 2. Ubicación de cantera La Unión – distrito de Baños del Inca.

Fuente. Gobierno Regional de Cajamarca – 2012.

4.5 Flora y fauna de Cajamarca.

4.5.1 Flora.

La flora es variada, rica y única. Existen pajonales bosques enanos y de neblina. Tiene una valiosa vegetación arbórea constituida por cedro, roble, nogal y aliso. Un componente espectacular de Cajamarca son las orquídeas de diminutas atrayentes flores. Las especies de flora más representativas son arbustos como la “tola” y el muy conocido “ichu”, de gran capacidad para adaptarse a las condiciones frías, el maíz es una planta del Perú, en el pasado fue alimento principal en el consumo alimento del Inca. Cajamarca es uno de los principales exportadores de maíz en el Perú. La chirimoya el capulí y la tuna las tiene Cajamarca como propias por la gran variedad y calidad con que se producen en sus fértiles tierras, así como las hortensias que alcanzan hasta dos metros de altura.

4.5.2 Fauna.

Cajamarca se caracteriza por la presencia de alpacas y vicuñas, pero también de venados, chinchilla y vizcachas. Las alturas andinas también es un territorio de los depredadores como el gavián, halcón y cóndor. La cría de ganado vacuno tiene suma importancia, también

desarrolla la cría de ganado ovino y de camélidos andinos. En la localidad de Namora se puede observar una importante estación, piscícola, que produce truchas y pejerreyes.

Temperatura. La ciudad de Cajamarca presenta durante los meses de lluvias comprendidos entre diciembre y marzo temperaturas que fluctúan entre los 7 y 22° C. Durante los meses de abril a noviembre la temperatura varía entre los 3 y 22° C presentándose templado durante el día y frío durante la noche. Según los datos de la estación meteorológica *Weberbauer* la temperatura máxima media anual es de 22° C y la temperatura mínima anual es de 3° C.

Bosque Ecuatorial: Presenta un clima predominantemente cálido y seco; al Este se presenta un poco más fresco por el aumento de la altitud; hacia el Norte es cálido y húmedo y hacia el Sur seco. La temperatura promedio anual está entre los 23 y 24 °C. La precipitación varía de 500 mm. al Norte a 100 mm. al Sur, siendo la época de lluvias entre los meses de Diciembre a Marzo.

Puna. Presenta un clima muy frío, debido a la rarefacción atmosférica ocasionada por la altura. Por lo general las temperaturas son bajas, con variaciones muy marcadas de hasta 30°C entre las temperaturas diurnas y nocturnas. Existen dos estaciones muy marcadas en la puna. La época de lluvias (diciembre a marzo), y la época de seca (abril – noviembre), con presencia de lluvias en forma esporádica; en las zonas de mayor altura por encima de los 4,200 m.s.n.m. las precipitaciones se dan en forma de nieve y granizo. Los vientos son fuertes y soplan de manera continua, contribuyendo a reducir la temperatura y a secar el ambiente.

Selva alta o de las yungas. El clima en esta región se caracteriza por presentar una marcada variación de la temperatura, directamente relacionado con la altitud, siendo más cálido en la parte baja y templado en la parte alta. A los 500 de altura la temperatura promedio alcanza los 22°C, pero a los 3500 metros desciende a los 4°C. Presenta un intenso régimen de lluvias que supera los 3000 milímetros anuales, la presencia de lluvias es constante todo el año, con mayor incidencia durante los meses de diciembre a marzo. Otra característica de este clima es la presencia de una alta humedad ambiental, debido a la presencia de abundantes nubes bajas especialmente durante las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, las variaciones de temperaturas se puede observar en la Figura. 4.3. Y Figura. 4.4.

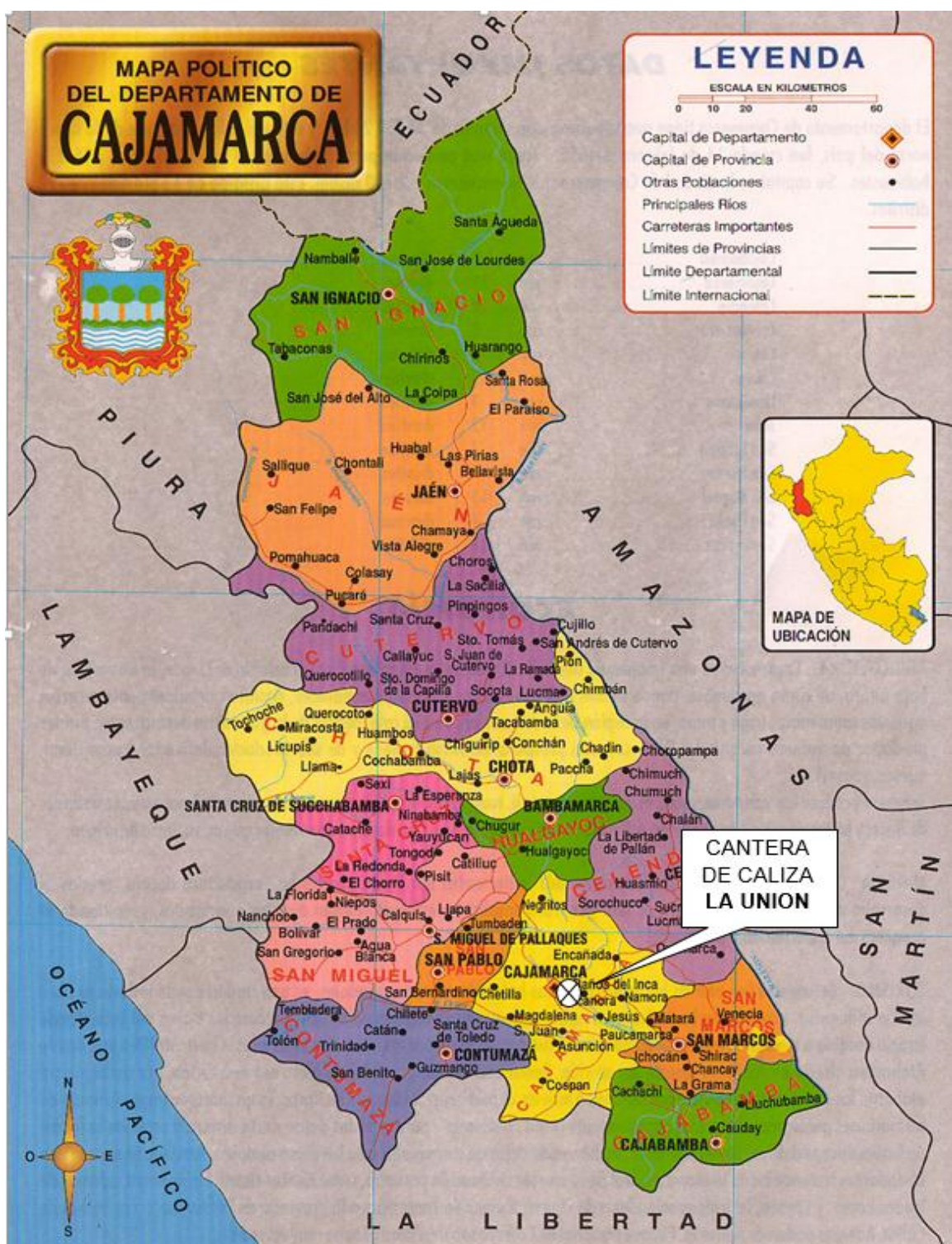


Figura 4. 3. Ubicación del distrito de Baños del Inca - Cantera La Unión.
Fuente. Gobierno Regional de Cajamarca – 2012.

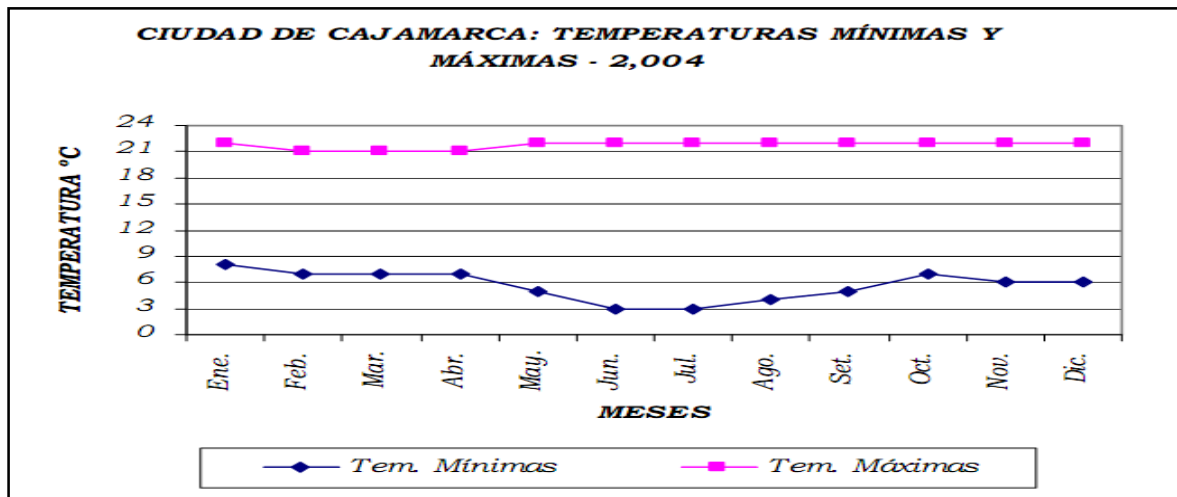


Figura 4. 4. Temperaturas máximas y mínimas en la ciudad de Cajamarca.

Fuente. Estación meteorológica *Weberbauer* - INDECI – PNUD PER/02/051 - 2005.

Humedad relativa. La humedad relativa promedio anual en la ciudad de Cajamarca varía entre 58% y 78% aproximadamente, con un promedio anual de 68.5%. Los meses de menor humedad son julio, agosto y setiembre, incrementándose en el resto del año, tal como se observa en Figura. 4.5.

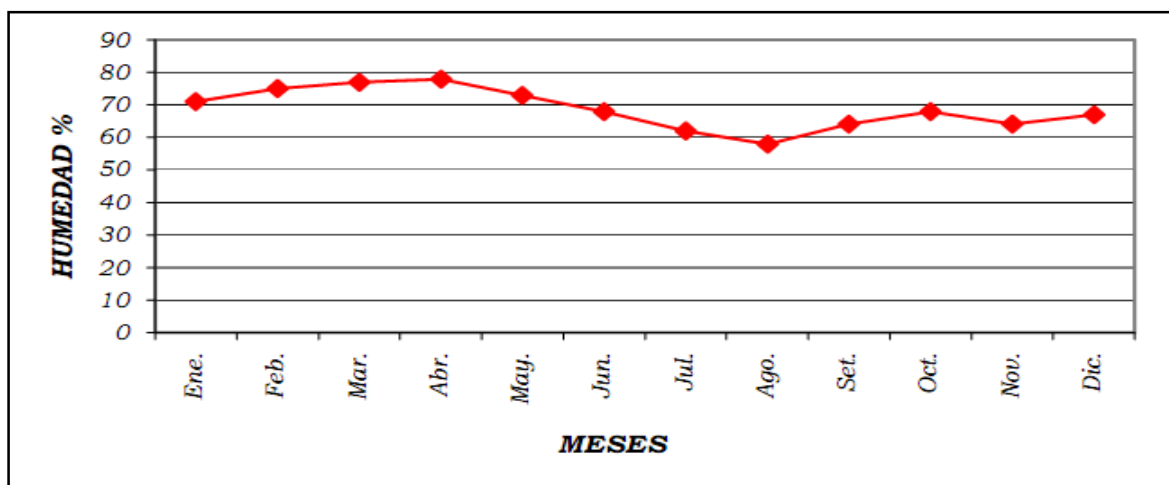


Figura 4. 5. Humedad relativa media ciudad de Cajamarca.

Fuente. Estación meteorológica *Weberbauer* - INDECI – PNUD PER/02/051 - 2005.

4.5.3 Pluviometría.

En la ciudad de Cajamarca presenta un régimen pluviométrico variable durante todo el año, las precipitaciones mínimas se presentan entre los meses de mayo a setiembre y las máximas precipitaciones entre los meses de enero a marzo. La estación meteorológica *Weberbauer* registró durante el año 2,004 un volumen anual de 720 mm. Tal como se observa en Figura. 4.6. Se puede observar también las variaciones mensuales de precipitaciones para ese año.

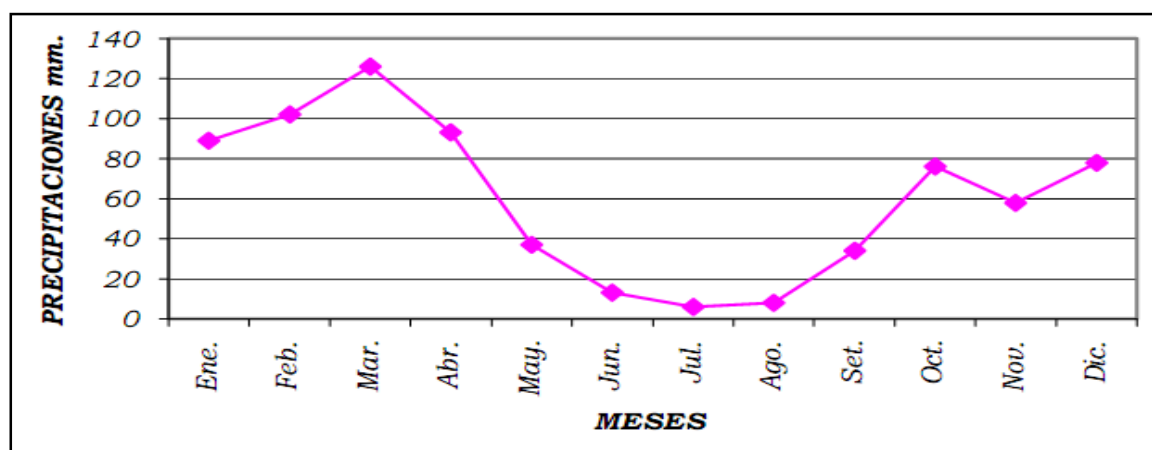


Figura 4. 6. Precipitación fluvial anual en la ciudad de Cajamarca.

Fuente. Estación meteorológica *Weberbauer* - INDECI – PNUD PER/02/051 - 2005.

4.6 Fenómenos de origen natural.

4.6.1 Fenómenos de origen geológico.

Las fuerzas del interior de la tierra a causa del movimiento de la corteza terrestre se manifiestan a través de fenómenos como movimientos sísmicos actividad volcánica y formaciones de las cordilleras todos ellos determinan los fenómenos del geológico.

4.6.2 Sismicidad.

Se define como sismicidad a la actividad sísmica en un área particular durante un periodo de tiempo, o con la cantidad de energía liberada en forma de ondas sísmicas. La representación de la sismicidad deberá tener en cuenta no solo los eventos registrados sino también su dimensión, frecuencia, distribución espacial, su modo de ocurrencia y les producen o se propagan. El territorio peruano está situado sobre el cinturón de fuego circumpacífico que es donde ocurre más del 80% de los sismos que afectan al planeta. Casi todos los movimientos sísmicos en nuestro país están relacionados a la subducción de la placa oceánica de Nazca que se introduce bajo la placa continental Sudamericana a razón de 9 cm/año, la mayor parte de la actividad tectónica en el mundo se concentra a lo largo de los bordes de las placas, liberando el borde continental del Perú el 14% de la energía sísmica del planeta.

4.7 Geomorfología.

Rama de la geología y de la geografía, que estudia el relieve o forma de la superficie terrestre, como resultado de los procesos constructivos y destructivos, que evolucionan en el tiempo. Esta dinámica que se conoce como ciclo geográfico. El departamento de Cajamarca, se encuentra ubicado en la parte Norte del país, presenta una gran diversidad ecológica con

altitudes que van desde los 175 (Cerro Pitura - Contumazá), a 4,496 m.s.n.m. (Cerro Rumi Rumi – Sitacocha - Cajabamba). Su territorio abarca parte de la vertiente occidental y oriental de los Andes, cubre una extensión de 3'295,263.84 ha. Morfológicamente, está conformada principalmente por la cordillera occidental que se ubica al Oeste del departamento; por un profundo cañón formado por el río Marañón, que se ubica al Este, tal como se observa en Figura. 4.7.

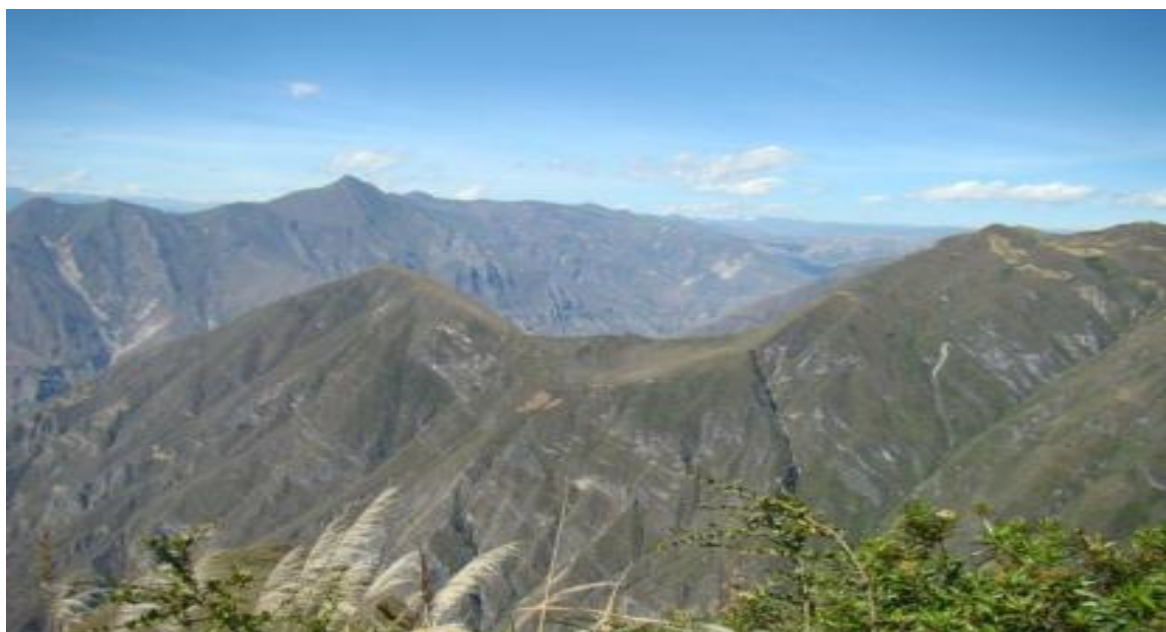


Figura 4. 7. Rasgos morfológicos de Cajamarca.

Fuente. Gobierno Regional de Cajamarca.

El relieve característico de la región, está vinculado a los procesos tectónicos y a las modificaciones bioclimáticas que se han generado desde el inicio de su aparición. Las condicionantes morfológicas como la inestabilidad, vulnerabilidad y riesgo, siempre han condicionado el uso y ocupación del territorio de Cajamarca. Como parte del relieve andino, la Región Cajamarca presenta una amplia variedad de caracteres geomorfológicos, que resultan de su compleja topografía y de la existencia de varios pisos altitudinales que condicionan ambientes morfoclimáticos característicos. Aunque la descripción y categorización de las geoformas del relieve son a menudo muy útiles para proponer análisis e interpretación, estas formas sirven ellas mismas para sus usuarios de acuerdo a su categorización en forma empírica, por lo que es vital para el planteamiento apropiado de las diversas alternativas referidas al manejo racional del ambiente y sus recursos naturales, toda vez que las opciones se basan en la explotación de elementos asentados en el relieve, estando por lo tanto sujetas a la evolución y dinámica geomorfológica.

Según Cruzado V.G. (2012), en su investigación “Identificación y análisis de factores condicionantes naturales y entrópicos para los procesos de remoción de masas de rocas y suelos en el sector Lucmacucho, distrito de Cajamarca, Cajamarca - Perú 2012”. Universidad Nacional de Cajamarca para la zona del presente trabajo de investigación considera los relieves topográficos en la descripción geomorfológica de Cajamarca - Baños del Inca con características similares, tal como se observa en Tabla. 2.3. Y Figura. 4.8.

Tabla 4. 3. Geomorfología de Cajamarca.

UNIDADES	CARACTERIZACIÓN	AREA EN HECTAREAS (ha)	%
Colinas	Presenta Cerros de poca altura, pero con visibilidad al valle de Cajamarca	13,356	5,936
Laderas	Topografía medianamente accidentada y tiene una pendiente de 25 a 50%.	126,312	56,139
Montañas	topografía es accidentada y la pendiente tiene un rango empinado (26-50 %) a muy empinado (51-70 %)	21,800	9,689
Planicie	La topografía es ligeramente ondulada, llana o casi llana	63,533	28,237
TOTAL		225,010	100,000

Fuente. Identificación y análisis de factores condicionantes naturales UNC - Cruzado V.G.2012.



Figura 4. 8. Estructura litológica pared de banco de cantera de caliza La Unión.

Fuente. Autor de tesis.

4.7.1 Formaciones geológicas de la zona de estudio.

Estas formaciones geológicas se pueden observar en la Figura. 4.9. Cada una de estas formaciones con sus características principales con respectiva área y el porcentaje respecto al total, la meteorización de estructura geológica de la caliza se puede observar en Figura. 4.10.

FORMACIONES	CARACTERIZACIÓN	AREA	%)
Fm. Farrat 	Areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m., tiene estratificación tabular pero también en algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje	38,776	17,23
Fm. Inca 	Intercalación de areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas de tal manera que a nivel de superficie presenta un color amarillento	18,512	8,23
Fm. Chùlec 	Calizas arenosas fosilíferas, lutitas calcáreas y margas, por intemperismo adquieren un color crema amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo	71,359	31,72
Vol. Huambos 	Traquitas y tobas y brechas de composición ácida, que comúnmente se le denomina Cantería	5,477	2,434
Cuaternario Coluvio - Aluvial	Conglomerados poco consolidados, con clastos de tamaño heterogéneo englobados en una matriz limo arcillosa de color rojizo.	85,212	37,872
Cuaternario Fluvial 	Consisten de gravas gruesas y finas, arenas sueltas y depósitos limo arcillosos.	5,674	2,522
TOTAL		225.010	100.000

Figura 4. 9. Formaciones geológicas de Cajamarca.

Fuente. Identificación y análisis de factores condicionantes naturales UNC - Cruzado V.G.2012.



Figura 4. 10. Estructura litológica meteorizada en cantera de caliza La Unión.
Fuente. Autor de tesis.

4.8 Geología regional.

4.8.1 Formación Celendín.

La formación Celendín fue inicialmente estudiada por Benavides (1956), y en el Norte del Perú constituye la última secuencia calcárea del cretáceo superior. Suprayace concordantemente a la formación Cajamarca e infrayace a los depósitos continentales de la formación Chota en aparente gradación o cierta discordancia, según los lugares, consiste en una intercalación de lutitas, margas y calizas delgadas de color claro, amarillento o crema por intemperismo; generalmente es bastante fosilífera. La formación Celendín aflora en el sector norte del área; frecuentemente se le encuentra en el núcleo de los sinclinales. Sus afloramientos muestran un grosor variable, aproximadamente de 200 m.

4.8.2 Formación Cajamarca.

La formación Cajamarca yace concordantemente sobre el grupo Quilquiñán y con la misma relación subyace a la formación Celendín. Consiste generalmente de calizas gris oscuras y calizas gris claro compactas, con delgados lechos de lutitas y margas. Las primeras se

presentan en gruesos bancos con escasos fósiles, a diferencia de las segundas que sí contienen fauna.

4.8.3 Ambiente de sedimentación de la formación Cajamarca.

Fueron depositadas en un ambiente marino profundo. La fauna y la fitología indican un mar somero de plataforma carbonatada alejada de la zona de aporte clástico. Alejadas de las masas continentales, las partículas minúsculas permanecen a la deriva durante mucho tiempo de manera gradual estos pequeños granos sobre el fondo oceánico, donde se acumulan muy lentamente. Son excepciones importantes los potentes depósitos de sedimentos relativamente gruesos que aparecen en la base del talud continental. Estos materiales descienden de la plataforma continental como corrientes de turbidez – masas densas compuestas de sedimentos y agua e impulsadas por la gravedad.

4.8.4 Formación Quilquiñan – Mujarrum.

Consiste en una gruesa secuencia de calizas nodulares macizas seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas, continuando con delgados lechos de calizas nodulares y con marga parda amarillenta también fosilífera y también con bancos de calizas claras con lutitas arenosas y margas delgadas. Descansa concordantemente sobre la formación Yumagual, mientras que en su parte superior infrayace con discordancia paralela a la formación Cajamarca. Contiene abundante exogira ponderosa y exogira Africana, la fauna fue identificada en estas unidades entre el Cenomaniano medio y el Turoniano inferior.

4.8.5 Geología estructural.

Regionalmente, todo parece indicar que los movimientos tectónicos, en algunos sectores han sido de mayor intensidad que en otros. Es así que las ondulaciones suaves de algunos niveles estratigráficos pasan a ser estructuras principales. Por tanto en el departamento de Cajamarca se encuentran evidencias de varias etapas de deformación, las cuales corresponden a los movimientos del ciclo andino. Estas fases de deformación están evidenciadas por discordancias, pliegues, fallas y demás estructuras, materializadas en zonas de deformación (fajas o provincias estructurales). Aproximadamente, a principios del Jurásico Superior, empezaron a formarse la cuenca occidental Peruana y el alto del Marañón, probablemente influenciados por fuerzas de distensión con desarrollo de dos grandes elementos: un *horst* y un graben, relacionados en forma directa a movimientos del zócalo que empezó la

subsistencia (occidente) y el levantamiento (oriente). Como es lógico, la sedimentación marina empezó a acumularse en la cuenca en forma continua y esta a su vez, se hundía lentamente a medida que recibía más sedimentos.

Pliegues. Su origen está asociado a los eventos tectónicos ocurridos producto de la orogenia andina, que ha traído como consecuencia una gran complejidad estructural. Estas han deformado las secuencias litológicas mesozoicas y cenozoicas, que conforman los relieves, donde se manifiestan los plegamientos de tipo sinclinal y anticlinal. Se encuentran alineados al rumbo andino, aunque en algunos sectores cambian de dirección por efectos de la ocurrencia de fallamientos, que ocurrieron posteriores a la deformación. Según la interpretación de las imágenes de satélite y apoyados en los estudios realizados por INGEMMET, tal como se observa en Figura. 4.11.

Sinclinales y anticlinales. Estas estructuras se caracterizan por tener un amplio desarrollo de la cuenca jurásico- cretácea, además varían en forma y tamaño, en algunos sectores alcanzan hasta 70 y 80 km, de longitud, con ancho promedio de 4 a 5 km. Grandes anticlinales se encuentran en los sectores de Algamarca, Yanahuanca, Suyupampa, Sanagorán, Sunchubamba, Magdalena.



Figura 4. 11. Plegamientos en escarpas en zona La Unión Bambamarca.
Fuente. Gobierno Regional de Cajamarca.

Fallas. En el área del departamento de Cajamarca se evidencian una serie de fallas, que han sido originados por fuerzas distensivas y compresionales efectuadas durante el levantamiento de los andes (fase Inca), siguiendo el rumbo del alineamiento andino. Estas estructuras se encuentran bien desarrolladas especialmente donde existen plegamientos, pues en algunos casos constituyen consecuencias de los efectos ocasionados por estos últimos.

Fallas longitudinales. Estas estructuras son originadas como consecuencia del levantamiento de los bloques más antiguos y que los pone en contacto directo con las secuencias litológicas más recientes, es por ello que también se le denomina fallas inversas. El tectonismo que produjo estas fallas está relacionado a las etapas de plegamiento (tectónica andina).

Fallas transversales. También denominado fallas de rumbo y su ocurrencia se manifiesta a lo largo de todo el departamento. En algunos sectores alcanzan extensión regional y su rumbo preferencial es contraria al rumbo andino (NO - SE), es decir NE - SO. En la mayoría de los casos están asociados a los plegamientos (anticlinales), estas estructuras han afectado a secuencias principalmente mesozoicas y cenozoicas.

4.9 Geología local.

4.9.1 Litología de la formación Cajamarca.

En el área de la Concesión Minera La Unión, afloran rocas carbonatadas de origen sedimentario de edad Cretáceo Superior. Presenta la formación Cajamarca, conformada por rocas carbonatadas color gris azulado intercaladas en su base con lutitas cubiertas en la parte superior con humus de tierra vegetal de color negro de potencias de 0.20 a 0.30 m, afloramientos de caliza de hasta 1.60 a 2.80 m de espesor. Este yacimiento de caliza se observa en la zona de la Concesión Minera La Unión.

4.9.2 Mineralización calcita.

Es un mineral de la clase 05 de la clasificación de *Strunz*, los llamados minerales carbonatos y nitratos. A veces se usa como sinónimo caliza, aunque es incorrecto pues ésta es una roca más que un mineral. Su nombre viene del latín *calx*, que significa cal viva. Es el mineral más estable que existe de carbonato de calcio, frente a los otros dos polimorfos con la misma fórmula química aunque distinta estructura cristalina: El aragonito y la vaterita, más inestables y solubles.

Carbonato de calcio (CaCO₃). La calcita encontrada en la formación Cajamarca, consta de un color parduzco, con una dureza aproximada de 3 - 3.5, también se encuentran como relleno de diaclasas. Se presentan con una cristalización trigonal, con cristales euhedrales y subhedrales. Con una habito en geoda. Las calcitas cristalizadas fueron encontradas mayormente en el miembro uno de la formación Cajamarca.

4.9.3 Meteorización de la caliza.

La estructura geológica de la cantera de caliza La Unión no presenta alteración observable sin embargo se observa bastante meteorización en la superficie expuesta sobre todo en la zona de humus o tierra vegetal que se forma a través de un proceso natural, producido por la materia prima de los desechos vegetales en descomposición (hojas, tallos, madera, raíces, entre otros), y residuos de origen animal, específicamente, excrementos y excretas de animales microbianos del suelo, como lombrices, y otros como bacterias y hongos del suelo.

4.10 Operación minera en cantera La Unión - Baños del Inca.

4.10.1 Producción diaria de caliza.

La extracción diaria de roca caliza actualmente es de 30 TM/día, la calcinación se realiza en dos hornos ubicados a una distancia de 8 km del centro de operaciones mineras. La producción está en función a la capacidad de calcinación de los dos hornos con que cuenta la empresa y de la demanda de cal en el mercado, con sistema de operación artesanal por cuanto esta empresa está en el rubro de la pequeña minería, uno de los problemas más grandes que tiene la empresa es el financiamiento para la adquisición de equipos y maquinarias para incrementar la producción diaria.

Reservas. Es una porción de los recursos identificados que pueden ser económicamente explotados al momento de su determinación en el presente trabajo de investigación se refiere al depósito mineral de caliza.

Reservas probables. Son aquellas cuya calidad y cantidad se han definido en base a análisis de muestras e interpretaciones geológicas razonables.

Reservas inferidas o posibles. Son aquellas en las cuales las estimaciones están basadas en conocimientos generales de la geología de la región.

Reservas probadas. Son aquellas cuyo tonelaje se calcula por las dimensiones que revelan los afloramientos, trincheras, labores de acceso, sondeos exploratorios.

4.10.2 Reservas minerales de caliza.

4.10.3 Estimación de reservas minerales en cantera La Unión a diciembre de 2015.

Las reservas geológicas se calcularon empleando las superficies antes descritas. El cálculo se realizó empleando el *software* Auto CAD y usando las superficies de topografía y altura del estrato de caliza es de 4.00 m a 5.00 m aproximadamente, para los cálculos de volúmenes se ha considerado 4.00 m en forma optimista, en el resultado obtenido, no se han realizado las perforaciones diamantinas en la zona de estudio, además se viene realizando los trabajos de desbroce en áreas aledañas para incrementar las reservas minerales probadas y probables.

4.10.4 Reservas probadas de mineral de caliza.

Volumen de reservas probadas de minerales de caliza = Superficies de topografía (área) por la altura del afloramiento de caliza = 298 350.5976 m³.

Empleando la densidad establecida anteriormente para la caliza ($d = 2.51 \text{ TM/m}^3$), se puede obtener el tonelaje de caliza como sigue:

$$\text{Toneladas de caliza} = \text{Volumen caliza} \times \text{densidad} = 298\ 350.5976 \text{ m}^3 \times 2.51 \text{ TM/m}^3$$

$$\text{Reservas probadas de caliza} = 748\ 860 \text{ TM.}$$

4.10.5 Reservas probables de mineral de caliza.

De la misma forma se ha realizado el cálculo del volumen de reservas probadas de minerales de caliza = superficies de topografía (área), por la altura del afloramiento de caliza = 43869.32271m³. Empleando la densidad establecida anteriormente para la caliza ($d = 2.51 \text{ TM/m}^3$), se puede obtener el tonelaje de caliza como sigue:

$$\text{Toneladas de caliza} = \text{Volumen caliza} \times \text{densidad} = 43869.32271 \text{ m}^3 \times 2.51 \text{ TM/m}^3$$

$$\text{Reservas probables de caliza} = 110\ 112 \text{ TM.}$$

4.10.6 Características técnicas.

El yacimiento de caliza en la Región de Cajamarca en el distrito de Baños del Inca es uno de los recursos calcáreos más importantes, se presenta como roca sedimentaria que contiene

a lo menos 50% de minerales de calcita (CaCO_3), y dolomita [$\text{Ca, Mg} (\text{CO}_3)$], predominando la calcita, si tiene un mayor componente de dolomita se denomina dolomía.

4.10.7 Método de explotación de yacimiento de caliza en cantera La Unión.

En la cantera La Unión de Cajamarca la explotación de caliza se realiza por método a cielo abierto, este sistema consiste en la eliminación de las capas superiores del suelo para la extracción de minerales de yacimientos cercanos a la superficie, vale decir que el yacimiento de caliza como estructura está cubierto en la superficie por material vegetal en algunas partes en zonas de afloramiento de caliza no hay presencia de tierra vegetal.

La potencia de estrato es de 4.m a 5.00 m hacia la zona Norte la potencia del estrato se incrementa 6.00 8.00m conforme se realiza las exploraciones, por lo que existe un orden lógico en el sentido de la explotación, es decir una secuencia de extracción del mineral de arriba hacia abajo, a medida que se vaya agotando el mineral en cada capa distribuidos en bancos de explotación de 4.00 m de altura.

Dada las características de operaciones mineras artesanales se ha adecuado a acuerdo a la longitud de barrenos de 4 pies y la disponibilidad de equipos de perforación, carguío y transporte de minerales se dividido en bancos pequeños de 1.20 m de altura. La remoción de roca caliza fragmentada se inicia con el carguío con retroexcavadora a volquetes *Dodge 800* de 6 cubos de capacidad hasta la planta de calcinación ubicados a 8 km del centro de operaciones mineras, esta planta se encuentra en la periferie de la ciudad de Baños del Inca.

4.10.8 Exploración.

Es necesario conocer la potencial de este recurso mineral no metálico por lo que en esta etapa se realiza un reconocimiento general de una extensa área, con el fin de identificar condiciones favorables para la existencia de un yacimiento. Luego de la detección de un yacimiento, se determina con mayor precisión su forma y extensión y la ley del material de su contenido.

4.10.9 Operaciones unitarias.

El proceso de extracción consta de cuatro etapas principales y una adicional que es la trituración manual:

- Perforación.

- Voladura.
- Carguío.
- Transporte.
- Trituración manual (uso de combas).

4.10.10 Perforación.

En la Concesión Minera La Unión la producción se realiza en canteras por método superficial en esta etapa se extraerá la roca caliza de la cantera, mediante perforación con equipos de menor capacidad y la voladura mediante el uso de la dinamita y ANFO, no existe una malla de perforación adecuado de acuerdo a la calidad del macizo rocoso solo se ejecuta en forma artesanal con perforadoras de martillo. Sin embargo puede variar de acuerdo a las características del banco y la capacidad de producción de la cantera.

4.10.11 Voladura.

En el proceso de voladura, se carga cada taladro con explosivo, se introduce un detonante de encendido pirotécnico (no eléctrico), el que se detona mediante las mechas, se rellena el taladro con taco hasta logra el llenado de la longitud del taladro actualmente no se utiliza el ANFO, luego se obtiene la roca fragmentada del tamaño necesario los bolones resultantes de la voladura se tritura manualmente para poder cargarla y transportarla a la cancha de los hornos de calcinación, donde se reducirá nuevamente de tamaño antes del ingreso de caliza a los hornos de calcinación.

4.10.12 Teoría de la fragmentación de la roca.

El explosivo al detonar produce una gran presión en la roca en diferentes direcciones en fracción de segundos, este introduce ondas de esfuerzo compresivo que se transmiten a través de la masa rocosa como ondas elásticas, que al encontrar una cara libre, cambio de densidad, discontinuidades o fracturas se reflejan como ondas tensivas produciéndose el fracturamiento (σ_t ondas $>$ σ_t roca), el viaje de las ondas compresivas depende de la densidad de la roca $>$ resistencia a la compresión.

4.10.13 Mecánica de rotura de rocas.

Este mecanismo aun no esta plenamente definido, existiendo varias teorías que tratan de explicar entre las que semencionan:

- Teoría de reflexión (ondas de tensión reflejadas en una cara libre).
- Teoría de expansión de gases.
- Teoría de ruptura flexural (por expansión de gases).
- Teoría de troque (torsión) o de sizallamiento.
- Teoría de craterización.
- Teoría de la energía de los frentes de onda de compresión y tensión.
- Teoría de liberación súbita de cargas.
- Teoría de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.

4.10.14 Fases de la mecánica de rotura de un taladro con cara libre.

- Columna explosiva.
- Propagación de la onda compresiva.
- Fracturamiento por tensión.
- Rotura por expansión.
- Expansión máxima (rotura flexural).
- Fase final (formación de la pila de escombros).

4.10.15 Secuencia de voladura en un banco.

Se muestran el sentido de las ondas compresivas, tensivas y presión de los gases en el proceso de la voladura, ver Figura. 4.12. y Figura. 4.13.

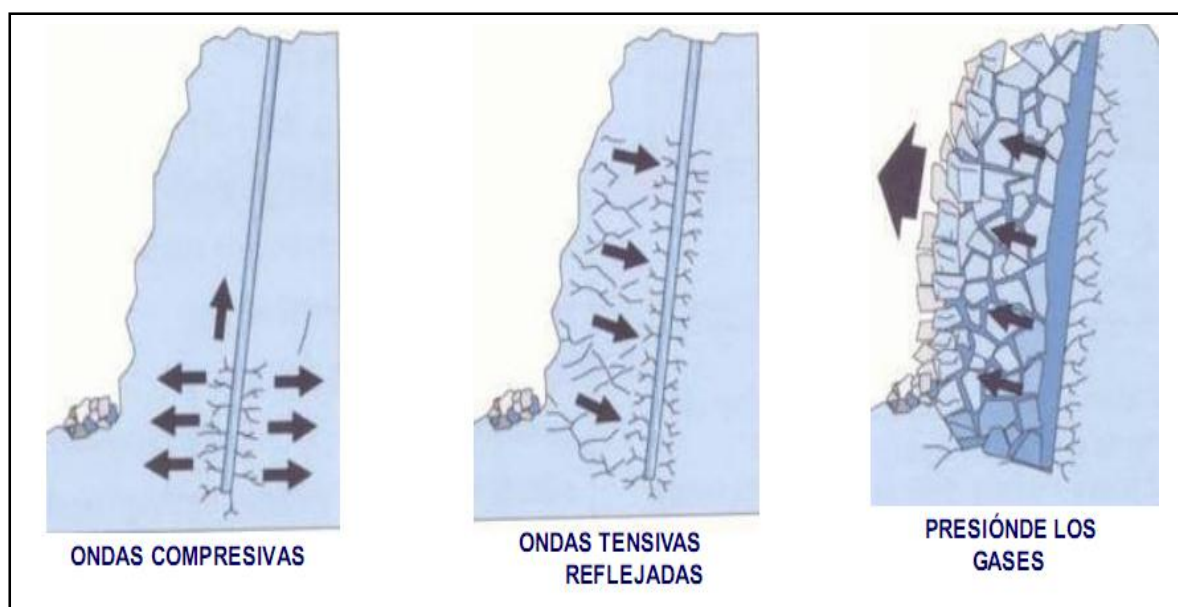
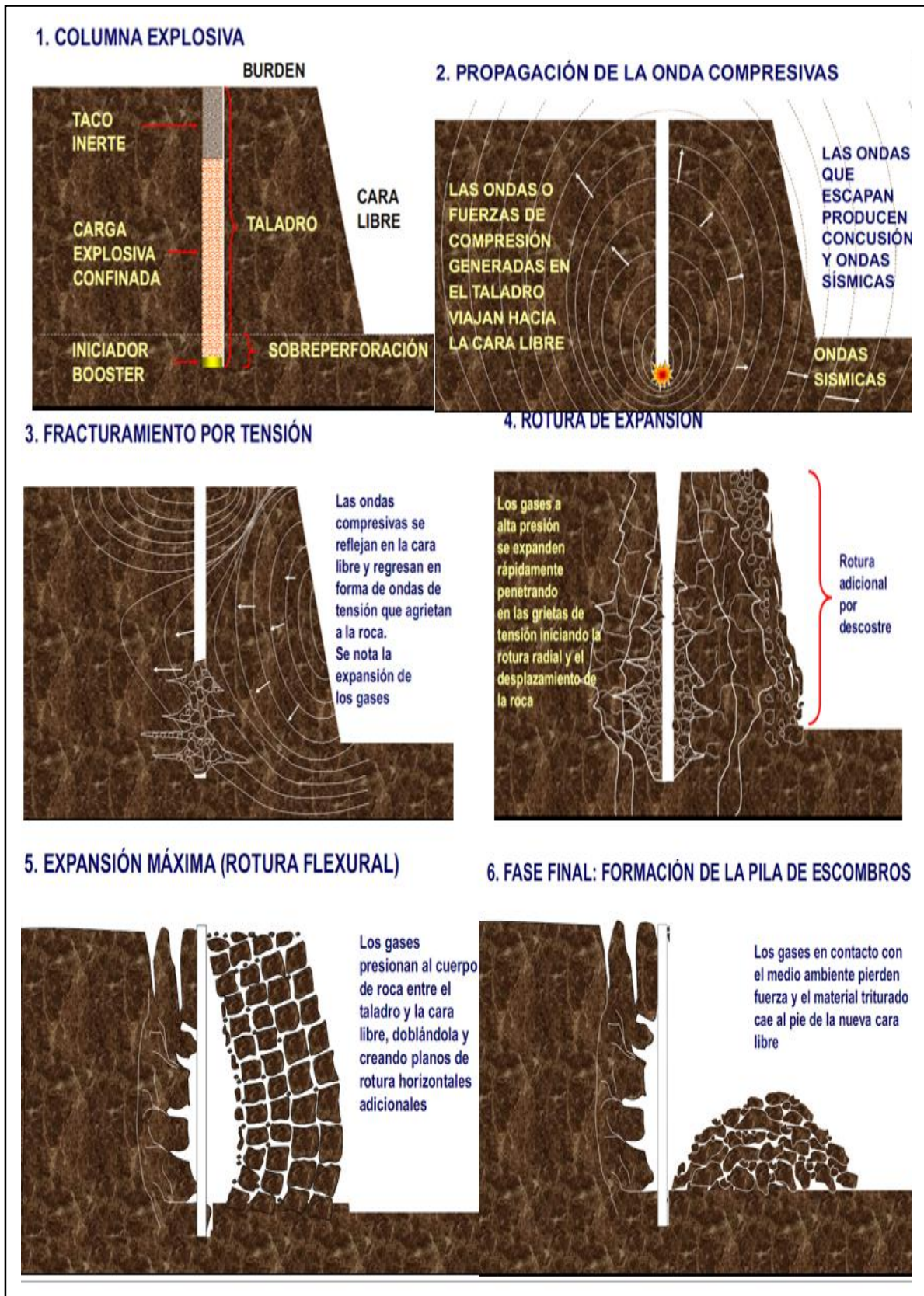


Figura 4. 12. Secuencia de voladura en bancos.

Fuente. Perforación y voladura de rocas UNA - Camac T.A. 2016.



Fuente. Perforación y voladura de rocas UNA - Camac T.A. 2016.

4.10.16 Carguío.

La roca de caliza fragmentada es cargada en volquetes *Dodge* 800 de 6 cubos aproximadamente con retroexcavadoras CAT.

4.10.17 Equipos de la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) La Unión de Cajamarca.

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” tiene:

- 03 Retro excavadoras.
- 01 Cargador frontal.
- 01 Excavadora.
- 02 Perforadoras neumáticas tipo *top hammer*.
- 03 Volquetes *Dodge* 800 de 6 cubos de capacidad.

4.10.18 Retroexcavadora.

Las Retroexcavadoras son en realidad tres piezas de equipo en una, y la diversidad de la herramienta permite en la obra diferentes tareas que deben completarse con relativa facilidad.

El tractor es la principal parte de la retroexcavadora y permite a los usuarios trasladarse con facilidad sobre diferentes tipos de terrenos. La retroexcavadora (cucharón), el cargador se adjuntan al tractor y agregan elementos en términos de utilidad. Básicamente hay dos tipos de retroexcavadora:

- Con chasis sobre ruedas.
- Con chasis sobre cadenas (orugas).

4.10.19 Retro excavadora en la explotación de una cantera.

La retroexcavadora cumple con las funciones producir, transportar y cargar el material. Para la etapa de producción de material, la retroexcavadora usa el cucharón con el cual corta la roca y al mismo tiempo lo va estoqueando, con su pala cargadora realiza la acción de cargar el material para depositarlo en los volquetes, para ella misma transportarlo, la retroexcavadora es empleada para transportar material sólo si la distancia a recorrer es corta.

4.10.20 Transporte.

Una vez realizado la voladura respectiva la caliza fragmentada se realiza el carguío de acuerdo a las características del mineral de caliza considerando tres aspectos fundamentales, mineral estéril se refiere al suelo vegetal que cubre la superficie, el mineral de baja ley y mineral de alta ley, el transporte puede realizarse a tres destinos; el mineral con alta ley se transporta a la zona de los hornos de calcinación, el material estéril a botaderos y el mineral de baja ley a botaderos especiales teniendo un especial cuidado de daños ambientales para evitar conflictos con las comunidades aledañas el transporte se realiza en volquetes *Dodge* 800 de 6 cubos aproximadamente a 12 toneladas, tal como se observa en Figura. 4.14. Y Figura. 4.15. la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” cuenta con dos hornos que se encuentra en el cercado del distrito de Baños del Inca a 8 km aproximadamente de la zona de operaciones mineras, La roca caliza como resultado de la voladura es triturada manualmente hasta un tamaño adecuado de 0.10 m a 0.15 m, esta trituración se realiza antes del proceso de carguío y también en las pilas de alimentación a los hornos de calcinación, extraída es transportada hasta la zona de calcinación, la pila de fragmentos de caliza.



Figura 4. 14. Volquete Dodge 800 de reemplazo.

.Fuente. Operaciones Mina – (S.M.R.Ltda) - Cantera La Unión.



Figura 4. 15. Pila de caliza con bolones.

Fuente. Autor de tesis.

4.10.21 Trituración manual con combas.

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” es una empresa que realiza sus operaciones mineras en el rubro de la pequeña minería y muchos de sus operaciones lo realiza en forma artesanal, la producción diaria es de 30 TM/día de caliza fragmentada resultado de la voladura que depende básicamente de la capacidad de calcinación de los dos hornos que posee la empresa el horno A de capacidad 15 TM/día y el horno B de capacidad de 15 TM/día. Cada uno de los hornos opera con 50% de su capacidad operativa aproximadamente, es decir la producción minera de la empresa es muy bajo en comparación con otras empresas dedicadas a esta actividad minera de producción de cal, sin embargo tiene un potencial considerable en sus reservas minerales no metálicas de 858 972.000 TM de caliza y un buen potencial como minerales prospectivos. El proceso de trituración manual consta de dos etapas:

- Trituración manual en etapa primaria en banco de producción: La trituración se realiza en forma manual con el uso de combas de 12 kg a 16 kg se reduce el tamaño de bolones que han resultado de la voladura que constituyen un 05% a 10% del total de volumen de fragmentos resultantes de la voladura máximo de los fragmentos a 0.20 m – 0.25 m de diámetro esta trituración manual es realizado antes de la ejecución del carguío respectivo, ver Figura. 4.16.

- Trituración manual en etapa secundaria (cancha de horno), en la cancha de almacenamiento del horno de calcinación la trituración manual es para reducir a un tamaño de 0.10 m a 0.15 m de diámetro aproximadamente previo a la alimentación a los hornos de calcinación, la producción – calcinación se observa en Figura. 4.17.

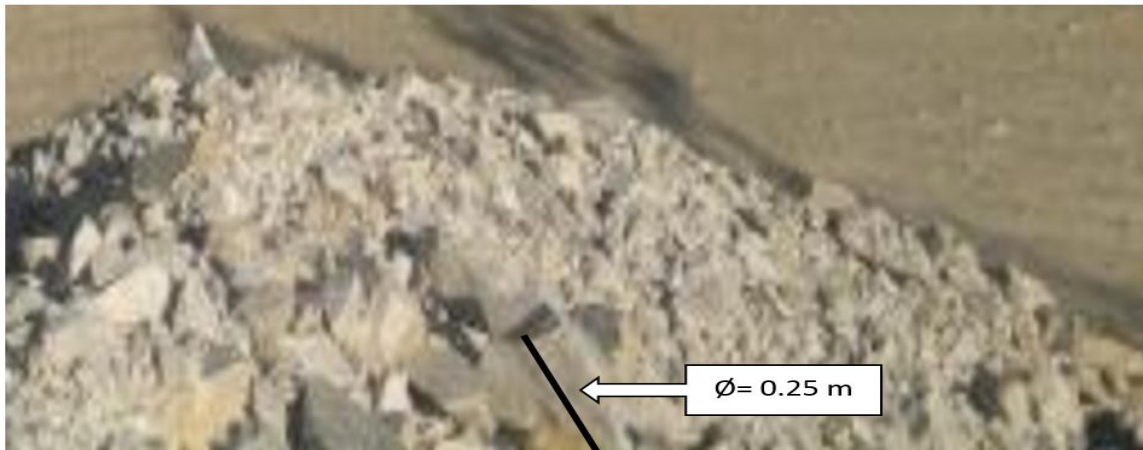


Figura 4. 16. Fragmentos en cancha de calcinado para la trituración secundaria.

Fuente. Autor de tesis.

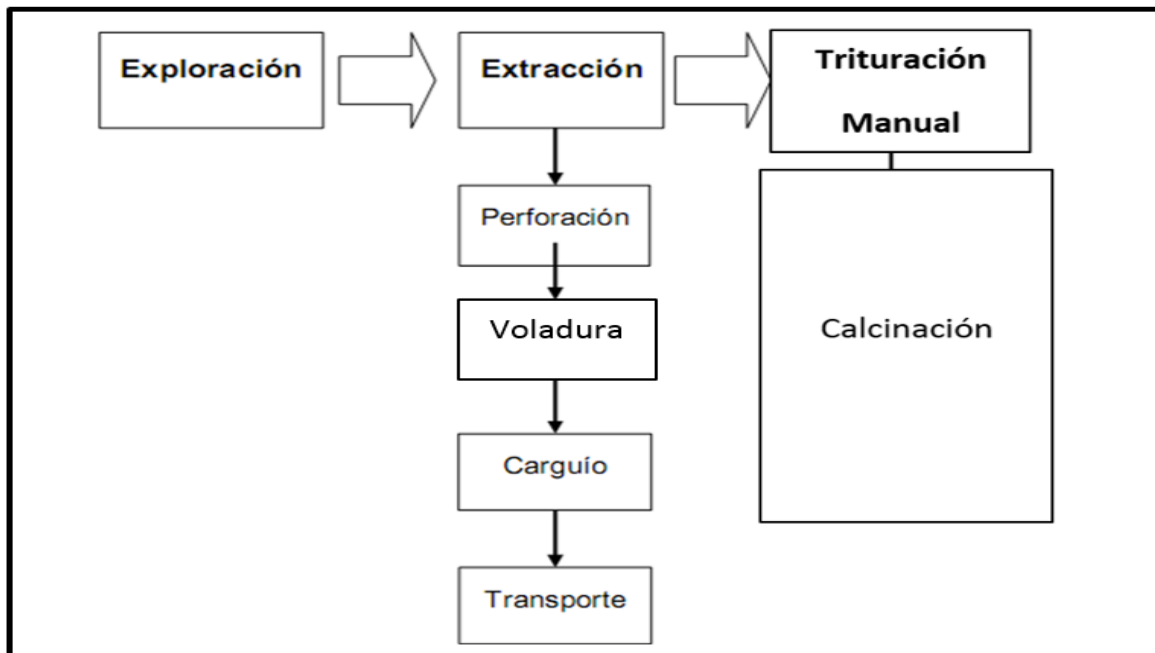


Figura 4. 17. Proceso de explotación - Calcinación.

Fuente. S.M.R.Ltda La Union – Cajamarca.

4.10.22 Chancado de carbón.

El carbón antracita tiene que estar con las medidas adecuadas, por tanto pasa por la zona de chancado.

4.10.23 Calcinación.

En dos hornos de calcinación contruidos se procede a la calcinación, donde se intercalan capas de roca caliza y carbón antracita en la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión”, estos hornos están ubicados a 8 km de las operaciones mineras específicamente en el mismo distrito de Baños de Inca, esta distancia incide en el costo de operaciones.

4.10.24 Derivados de la caliza.

Los principales derivados de la caliza de acuerdo a su importancia comercial son: Cemento y cal.

4.10.25 Cal.

En la elaboración de este derivado se requiere caliza de alta pureza, 90 - 98% de carbonato de calcio, menos de 5% de carbonato de magnesio y menos de 3% de otras impurezas. Este producto que se obtiene calcinando la piedra caliza a 2000 ° F.

4.10.26 Variedades comerciales.

Cal viva. Material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico, se transforma en óxido de calcio. Cal hidratada, especie química de hidróxido de calcio, el que se obtiene combinando el óxido de calcio con agua. Cal hidráulica, cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílica y alúmina o mezclas sintéticas de composición similar.

4.10.27 Selección de cal viva.

La cal viva obtenida contiene impurezas como los trozos de carbón que no se ha quemado y algunas rocas de caliza pequeñas que no se calcinaron; para ello se seleccionará el producto.

4.10.28 Comercialización y transporte.

La cal viva obtenida se vende a las empresas que lo requieran y transportadas al lugar donde lo necesitan.

4.10.29 Canales de comercialización.

La comercialización de la cal es directa, es decir, venta directa entre productor y consumidor: Los principales consumidores van a ser las empresas mineras de la zona, las municipalidades

que requieran entre sus productos la cal y los agricultores que necesiten este insumo. Las empresas mineras beneficiarias con la producción de cal son:

- Minera Yanacocha.
- Minera *Goldfields*.
- Minera Coimolache.
- Lúmina *Copper*.
- San Nicolás.
- Buenaventura.

Municipalidades:

- Municipalidad provincial de Cajamarca.
- Municipalidad distrital de Bambamarca.
- Municipalidad provincial de Hualgayoc.
- Municipalidad provincial de Santa Cruz.

Agricultores:

- Grandes, medianos y pequeños agricultores de la zona de Cajamarca.

4.11 Proceso de obtención de cal.

Extracción: Se remueve la capa superior de la tierra conocido como tierra vegetal o humus que tiene una potencia de 0.10 m a 0.20 m y en algunas áreas existe un afloramiento de la caliza y ausencia de humus y algunas áreas evaluadas conforme se incrementa la gradiente del depósito mineral se incrementa también el estrato formado por humus, posteriormente se perfora aplicando el plan de minado diseñado, se realiza la carga de explosivos y se procede a la voladura, trituración manual, carga y acarreo a la cancha de almacenamiento para la alimentación al horno de calcinación.

Trituración. La trituración se realiza en dos etapas el primero en el banco de producción después de la voladura y el segundo en la cancha de almacenamiento antes de la alimentación al horno de calcinación teniendo presente tamaños uniformes y fragmentos de menor tamaño y se tienen dos hornos para calcinar.

Calcinación. La caliza es expuesta directamente al fuego, para su calcinación y posteriormente la elaboración de cal. En esta etapa las rocas sometidas a calcinación pierden bióxido de carbono y se produce el óxido de calcio. Es importante que el tamaño de la roca sometida a calcinación sea homogéneo para que la calcinación se realice en forma efectiva y en su totalidad en todos los fragmentos.

Enfriamiento. Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresan al horno como aire secundario.

Verificación. Se realiza una inspección de las muestras para evitar núcleos o piezas de roca sin calcinar.

Cribado o Pre limpieza. Se separa la cal viva en trozo y en pequeñas piedras de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.

Trituración y pulverización. El material cribado se tritura para reducir más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.

Hidratación. Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva dolomítica y alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal dolomítica y alta en calcio. Únicamente la cal viva dolomítica pasa por un hidratador a presión y posteriormente a molienda para obtener cal dolomítica hidratada a presión.

Envase y embarque. La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

4.12 Políticas de la empresa.

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda), “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” es conocedor de la realidad minera metálica y no metálica a través de la alta gerencia, es en este sentido la cal es un producto industrial que en el Perú es usado en diversas industrias como en la de fabricación de azúcar, pinturas, acero; como desinfectante, en la fabricación de plásticos. En la minería se usa como

neutralizador de residuos ácidos, para mantener ambientes alcalinos en celdas de flotación y en los *pads* de lixiviación, en el Perú, el mayor consumo de cal se da en la minería. Actualmente, en el Norte del País las empresas mineras están abastecidas por varias empresas fabricantes de cal ubicados en la Región de Cajamarca, teniendo conocimiento de que en el contexto actual de la minería los problemas minero ambientales han causado serios conflictos socio ambientales y la cal constituye un recurso sumamente importante para evitar daños ambientales, debido a esto, rápidamente ha crecido la demanda de cal en el mercado nacional.

En la década de los 90 y principios del 2000, el crecimiento fue importante en el Norte del País, por el inicio de operaciones de minería Yanacocha en Cajamarca y de Antamina en Ancash. Después de la depresión de precios de los minerales en el mercado mundial, en el segundo lustro de la década de los 90, su cotización en los principales países del mundo empezaron a repuntar entre el 2001 y 2002, en tal forma que en el 2006, llegaron a tener precios nunca antes vistos en los minerales como el cobre, oro, entre otros, de esta forma se impulsaron proyectos de ampliación en las principales minas del sur Peruano como *Southern Perú Copper Corporation* (SPCC) en el 2006, Mina Tintaya (2006), Cerro Verde (2007) y Aruntani (2007), Esto ha traído como consecuencia que la demanda accesible de cal y se prevé un importante crecimiento con el ingreso de nuevos proyectos mineros.

4.12.1 Política de calidad.

Es política fundamental de La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” la calidad del producto, entregar un producto de alta calidad a sus clientes, la empresa constantemente capacita y entrena a su personal y utilizará las tecnologías disponibles que existen en la actualidad. Además mantendrá una estrecha relación con sus clientes para lograr un beneficio mutuo mediante intercambio tecnológico y sugerencias que son indispensables para la mejora continua. Es muy importante la calidad y el tonelaje del mineral comercializado, tanto en el yacimiento como en la fábrica del cliente, para comprobar que no hubo modificaciones durante el transporte del mineral hacia su destino final.

4.12.2 Política de gestión ambiental.

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” actualmente está en el rubro de la

pequeña minería sin embargo respeto al medio ambiente la tarea fundamental es desarrollar acciones que busquen mejorar los procesos mineros, para disminuir la generación de impactos en el entorno de sus instalaciones y dar pleno cumplimiento a la legislación vigente. Se evaluarán constantemente los procesos productivos y sus posibles impactos al medio ambiente, de manera de corregirlos total o parcialmente. La presencia de estas canteras contribuye a incrementar la contaminación dado el proceso de explotación cuando no se toman una adecuada prevención de riesgos ambientales, el incremento de la erosión y, en general, porque afectan la estabilidad de las áreas de explotación. Como consecuencia de este tipo de intervención se modifica la topografía, cambia la dinámica hidrológica e hidrogeológica, las napas descienden o se agotan.

4.12.3 Desarrollo sostenible de la empresa respecto a las comunidades.

Se supone que la extracción mineral es un uso pasajero de la tierra y que luego de realizada ésta debe volverse el terreno a una condición estable apropiada para el uso que se pretende darle después de terminada la actividad. El resultado final debe ser coherente con la aptitud del suelo antes de las operaciones y beneficiar a la comunidad. Los principios básicos de la rehabilitación [*New South Wales, Environment Protection Authority, EPA Home Page, Mining and Quarrying, Sydney, Australia*] son:

- Debe constituir parte integral de la operación extractiva.
- Requiere un compromiso similar a las otras fases de la operación.
- Debe seguir un plan bien definido, aunque flexible, con objetivos a corto y largo plazo.
- La superficie debe ser rehabilitada a una forma estable y permanente armonizando con las características de la zona.
- El objetivo a largo plazo debe ser proporcionar una cobertura vegetal permanente, auto - sostenible y/o productiva.
- Durante el proceso de rehabilitación se debe prevenir la erosión acuática y eólica, así como los focos de aguas estancadas o de otro tipo que contengan organismos patógenos y que puedan representar un riesgo sanitario.

4.12.4 Política de prevención de riesgos.

Para cumplir con la seguridad de trabajadores, instalaciones y los procesos involucrados, se identificarán los posibles factores de riesgo, de tal manera de eliminarlos y/o controlarlos.

Se cumplirán las normas de prevención de riesgo de conformidad con el DS N° 024-2016 Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en minería, del Ministerio de Energía y Minas en la cual se establece disposiciones relativas a incidentes, accidentes y enfermedades profesionales. En la actualidad se llevan a cabo las capacitaciones conforme se establecen en estas normas de seguridad.

4.12.5 Política en seguridad y salud ocupacional.

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” en la actualidad tiene un especial interés en el cumplimiento del DS. N° 024-2016 cumpliendo estrictamente con las capacitaciones a sus trabajadores respecto a las normas de seguridad y salud ocupacional en minería.

4.12.6 Equipos de protección individual obligatorios.

Se trata por tanto de equipos individuales ya que sólo son usados por la persona que realiza el trabajo, quien únicamente se aprovecha de la protección que proporcionan los mismos: cinturón de seguridad, gafas, casco, etc. Los equipos de protección individual, deberán utilizarse cuando existan riesgos para la seguridad o salud de los trabajadores que no hayan podido evitarse o limitarse suficientemente por medios técnicos de protección colectiva o mediante medidas, métodos o procedimientos de organización del trabajo.

- Protector de oídos.
- Casco.
- Arnés.
- Botas con punta de acero.
- Lentes protectores.
- chaleco reflectante.
- Guantes.

4.12.7 Minimización de polvo.

Para minimizar la producción de polvo en las pistas debido al tráfico de maquinaria, las dos medidas a adoptar pueden ser: Realizar riegos periódicos mediante un depósito montado en un camión o bien una cisterna agrícola. Esta medida supone tener que contratar este trabajo y depende de la disponibilidad del equipo y la persona para realizar el trabajo.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Exposición de pruebas y resultados de acuerdo a hipótesis.

El presente trabajo de investigación titulada optimización de plan de minado en cantera de caliza La Unión distrito de Baños del Inca, provincia y departamento de Cajamarca, para la ejecución del trabajo de investigación se ha planteado las siguientes hipótesis considerando la baja producción actual de 30 TM/día, con el objetivo de incrementar a 63 TM/día, mediante la evaluación de la calidad del macizo rocoso, reservas minerales y el ciclo de operaciones.

Hipótesis general

- Mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

Hipótesis específicos:

- Mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

- Mediante la evaluación del ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

Variables.

- **Variable dependiente.** Optimización del plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.
- **Variable independiente.** Características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

5.2 Optimización.

La optimización es la acción y efecto de optimizar. Este verbo hace referencia a buscar la mejor manera de realizar una actividad. Considerando algunos aspectos generales, la optimización puede realizarse en diversos ámbitos, pero siempre con el mismo objetivo: mejorar el funcionamiento de algo o el desarrollo de un proyecto a través de una gestión perfeccionada de los recursos. La optimización puede realizarse en distintos niveles, aunque lo recomendable es concretarla hacia el final de un proceso. La teoría de optimización clásica o programación matemática está constituida por un conjunto de resultados y métodos analíticos y numéricos enfocados a encontrar e identificar al mejor candidato de entre una colección de alternativas.

En la explotación de minerales no metálicos de cantera de caliza La Unión, Desde la exploración hasta la construcción, puesta en marcha, extracción, procesamiento y comercialización, es una industria técnicamente difícil y riesgosa. En todo el proceso las operaciones se enfrentan a la disponibilidad altamente variable de las materias primas y a la escasa información para predecir y planificar estas variaciones, lo que hace difícil optimizar los procesos operacionales. Al mismo tiempo, los grandes desafíos técnicos generan una alta dependencia en los escasos y costosos recursos ingenieriles, los que tienden a agruparse dentro de las numerosas divisiones funcionales que requiere la larga y compleja cadena de valor minera que depende fundamentalmente de la capacidad de cada uno de los hornos con los que cuenta la empresa a los cuales hay que abastecer con la caliza como materia prima para obtener la cal.

5.3 Plan de minado.

Es el diagnóstico de las posibilidades, mediante un proceso intelectual y consiste en un análisis integral de los factores de producción en la cantera de caliza La Unión, sus limitaciones internas y externas; y todo aquel que guarda relación con la elección de un objetivo a lograrse, el plan, constituye el resultado de todo proceso de planeamiento. De este modo, un plan para cumplir su objetivo debe:

- Describir acciones y resultados.
- Servir como vehículo formal de coordinación.

5.4 Fases de la investigación en la optimización de plan de minado.

- Operación minera actual para una producción de 30 TM/día como línea de base.
- Optimización de plan de minado propuesto para una producción de 63 TM/día.

5.5 Operación minera actual para una producción de 30 TM/día como línea de base.

- Reservas minerales no metálicos de caliza en cantera La Unión.
- Método de explotación de yacimiento de caliza en cantera La Unión.
- Operaciones unitarias.
- Perforación.
- Voladura.
- Trituración manual.
- Carguío.
- Transporte de minerales no metálicos de caliza.
- Plan de minado.
- Calcinación de caliza en hornos A y B.
- Capacidad actual de calcinación.
- Vida de la mina de acuerdo a la capacidad actual de calcinación de 30 TM/día.

5.5.1 Reservas minerales no metálicos de caliza en cantera La Unión.

Las reservas minerales de caliza en la cantera La Unión se ha determinado mediante la evaluación de reservas probadas de mineral de caliza y reservas probables de mineral de caliza además perspectivas de reservas prospectivas de acuerdo a la formación geológica de la zona, ver Tabla. 5.1.

5.5.2 Reservas probadas de mineral de caliza a diciembre de 2015.

Toneladas de caliza = Volumen caliza x densidad = 298 350.5976 m³ x 2.51 TM/m³.

Reservas probadas de caliza = 748 860 TM.

5.5.3 Reservas probables de mineral de caliza a diciembre de 2015.

Toneladas de caliza = Volumen caliza x densidad = 43869.32271m³ x 2.51 TM/m³

Reservas probables de caliza = 110 112 TM. Tal como se observa en Tabla 5.1.

Tabla 5. 1. Reservas minerales de caliza La Unión - distrito Baños del Inca a diciembre de 2015.

Reservas minerales de caliza La Unión - distrito Baños del Inca a diciembre de 2015			
Reservas de caliza	Volumen m ³	Densidad ton/m ³	Tonelaje (TM)
Probadas	298 350.5976	2.51 TM/m ³	748 860 TM.
Probables	43869.32271	2.51 TM/m ³	110 112 TM.
Prospectivos	220 432.2110	2.51 TM/m ³	553284.8496 TM.
Total de reservas de caliza probadas + probables			858 972.000 TM.

Fuente. Autor de tesis.

5.5.4 Método de explotación de yacimiento de caliza en cantera La Unión.

En la cantera La Unión de Cajamarca la explotación de caliza se realiza por método a cielo abierto, este sistema consiste en la eliminación de las capas superiores del suelo para la extracción de minerales de yacimientos cercanos a la superficie, vale decir que el yacimiento de caliza como estructura está cubierto en la superficie por material areno arcilloso conocido como suelo vegetal. Los bancos de explotación tienen una altura de 1.20 m sus operaciones mineras son artesanales el estrato de caliza tiene una potencia de 4 a 5 m de altura.

La perforación se realiza con equipos de perforación *Atlas Copco* seco (sin agua), tipo *Jack Hammer*, con una malla de perforación de 2.00 m x 2.00 m el transporte de caliza se realiza en volquetes *Dodge* 800 de 6 m³ de capacidad. El carguío se realiza con retroexcavadores.

5.5.5 Operaciones unitarias.

El proceso de extracción consta de cuatro etapas principales y una adicional que es la trituración manual:

- Perforación.
- Voladura.
- Carguío.

- Transporte.
- Trituración manual (uso de combas).

5.5.6 Perforación.

En cantera de caliza La Unión se extrae la roca caliza de la cantera, mediante perforación con equipos de menor capacidad y la voladura mediante el uso de la dinamita, no existe una malla de perforación adecuado solo se ejecuta en forma artesanal con perforadoras de martillo diariamente se realizan 8 taladros separadas a 2m, las cuales tendrán una profundidad de 1.20 m. La perforación se la lleva a cabo “uno a uno”, esto quiere decir que van a ir avanzando de acuerdo a la perforación de cada uno, van a perforar los 8 taladros con profundidad de 1.20 m.

5.5.7 Perforadora convencional neumático.

Es el martillo actual de perforación *Atlas Copco* seco (sin agua), tipo *Jack Hammer*, son perforadoras usadas para la construcción de piques, excavaciones superficiales, canales abiertos, etc. Realizan la perforación vertical o inclinada hacia abajo; el avance se da mediante el peso propio de la perforadora, ver Figura. 5.1.



Figura 5. 1. Perforación con perforadora tipo martillo.
Fuente. Autor de tesis.

5.5.8 Factores de los que depende la ubicación e inclinación de los taladros.

Calidad del macizo rocoso. Los materiales que constituyen los macizos rocosos poseen ciertas características físicas que son función de su origen y de los procesos o geológicos posteriores que sobre ellos han actuado. El conjunto de estos fenómenos conduce a un determinado entorno, a una litología particular con unas heterogeneidades debidas a los agregados minerales. y a una estructura geológica en un estado tensional característico, con un gran número de discontinuidades estructurales (planos de estratificación, fracturas, diaclasas, juntas, etc).

- **Grado de fragmentación.** Se refiere al tamaño que debe tener el material ya volado. En general cuando más cerca se sitúan los taladros unos de otros, habrá mayor fragmentación; en un tajeo los taladros verticales producen mayor fragmentación que los horizontales.
- **El equipo de perforación.** Aquí también hay que tener en cuenta la habilidad y destreza del perforista, pues hay ciertos tipos de trazos inclinados que resultan difíciles de perforar y a veces el uso de determinados equipos de perforación, sobre todo en la perforación de arranques y cueles donde tiene que dárseles la inclinación correcta.

5.5.9 Trazo de la malla de perforación.

El trazo de malla de perforación se observa en el perfil del banco de caliza en la Figura. 5.2.

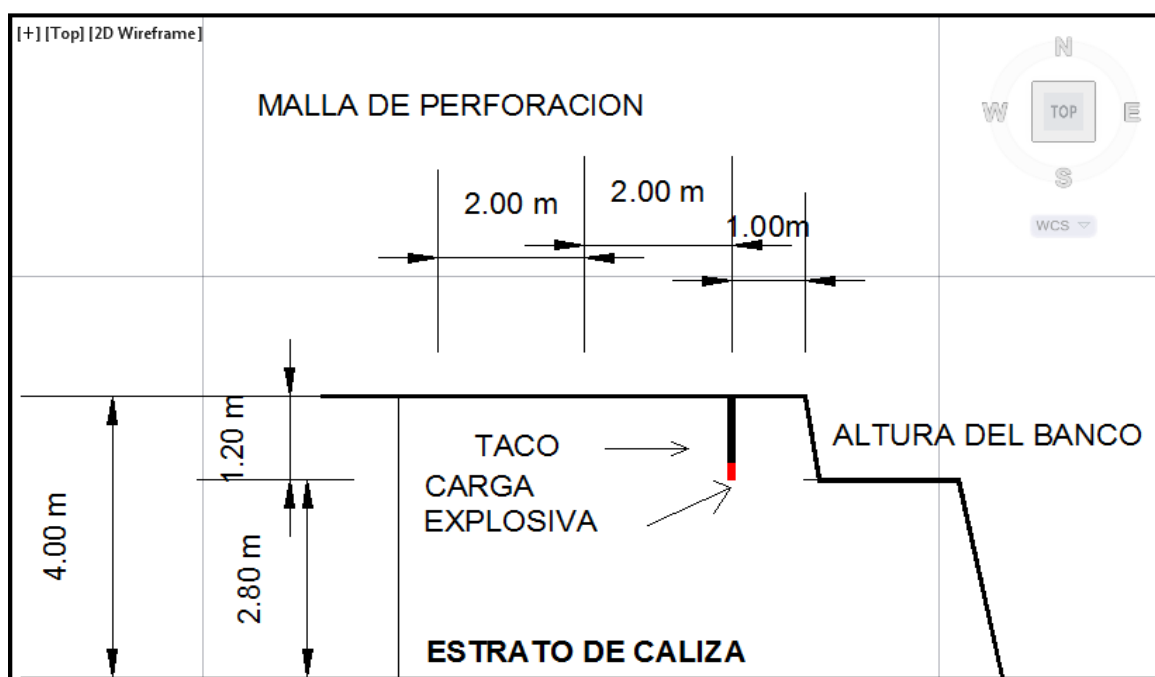


Figura 5. 2. Perfil longitudinal de banco de producción en cantera de caliza La Unión.

Fuente. Auto de tesis.

5.5.10 Disparo simultáneo y rotativo.

Cuando se disparan los taladros juntos, se dice que el disparo es simultáneo pero si se disparan sucesivamente, de acuerdo a un orden de encendido previamente establecido el disparo será rotativo. El objeto del disparo rotativo es la formación y ampliación de las caras libres, razón por la cual se usa este sistema en los trabajos de la mina, ya que los frentes solo presentan uno o dos caras libres. La cara libre, es el lugar hacia el cual se desplaza el material cuando es disparado, por acción del explosivo, la cara libre en un frente es una sola por ello la función del corte o cuele es abrir otra cara libre, o sea el hueco que forma el corte luego del disparo es otra cara libre, tal como se observa en Figura. 5.3.

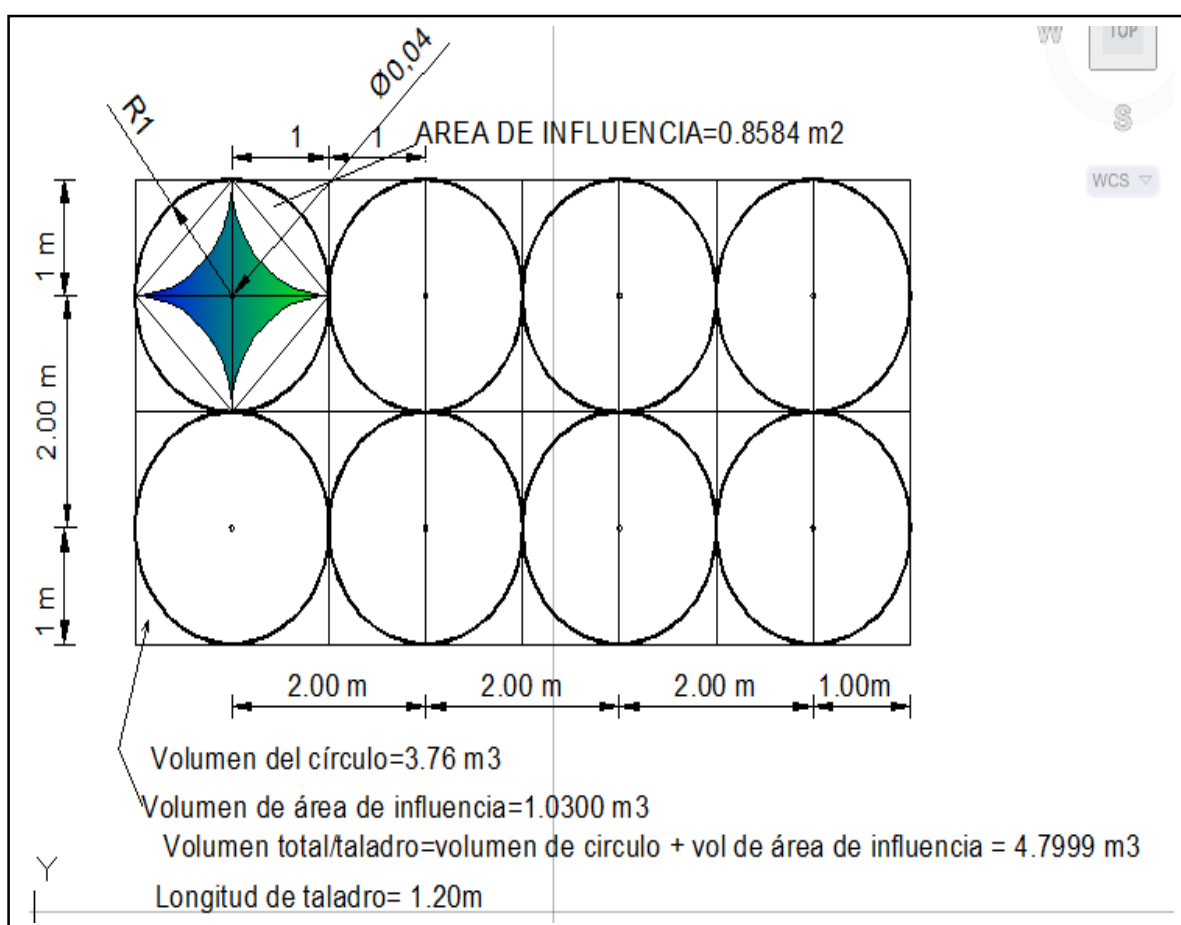


Figura 5. 3. Malla de perforación actual en canchales de caliza La Unión - Baños de Inca.

Fuente. Autor de tesis.

5.5.11 Voladura.

Una vez que se llega a la profundidad de 1.20 m en todos los taladros se coloca el explosivo que consta de:

- Un cartucho de dinamita.
- Fulminante con mecha lenta.

Se coloca primero un cartucho de dinamita, después un fulminante con mecha lenta, y posteriormente se lo rellena con detrito que viene a constituir el taco toda la longitud de taladro de 1.20 m.

Volumen. El volumen de cada detonación se lo obtiene de acuerdo al radio de acción de cada taladro.

Usando la ecuación:

Con un radio 1.00 m y una profundidad de 1.20 m.

$$V_1 = (\pi) \times (r^2) \times (h).$$

$$V_1 = 3.1416 \times (1.00)^2 \times 1.20 \text{ m.}$$

$$V_1 = 3.76 \text{ m}^3.$$

Área de influencia. El área de influencia se obtiene con Auto CAD convirtiendo en poli línea las cuatro esquinas del cuadrilátero que rodea al cilindro de radio 1.00 m aplicando el comando área resulta 0.8584 m².

$$V_2 = \text{Área de influencia} \times 1.20 \text{ m.}$$

$$V_2 = 0.8584 \text{ m}^2 \times 1.20 \text{ m.}$$

$$V_2 = 1.0300 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen taladro} = V_1 + V_2.$$

$$V_t = 4.7999 \text{ m}^3.$$

$V_t = \text{Volumen en banco por taladro.}$

$$V_T = \text{Volumen total.}$$

$$V_T = V_t \times N^\circ \text{ de taladros.}$$

$$V_T = 4.7999 \text{ m}^3 \times 8 \text{ taladros.}$$

$$V_{Tb} = 38.39 \text{ m}^3 \text{ en banco.}$$

$$V_{Tb} = \text{Volumen total en banco.}$$

$$V_{Ts} = \text{Volumen total suelto.}$$

$$V_{Ts} = \text{Volumen total banco} + \text{volumen por factor de esponjamiento (69.48\% para calizas)}$$

$$V_{Ts} = 38.39 \text{ m}^3 + 26.67 \text{ m}^3.$$

$$V_{Ts} = 65 \text{ m}^3.$$

5.5.12 Fragmentación de la roca caliza por acción de voladura.

Para que la roca sea fragmentada, se carga cada taladro con explosivo, se introduce un detonante de encendido pirotécnico (no eléctrico), el que se detona mediante las mechas, luego se obtiene la roca fragmentada del tamaño necesario para poder cargarla y transportarla hasta la cancha del horno de calcinación, donde se reducirá nuevamente de tamaño con la trituración manual de fragmentos de diámetros mayores, ver Figura. 5.4.

5.5.13 Trituración manual con combas en etapa primaria en banco de producción.

La trituración se realiza en forma manual con el uso de combas de 12 libras a 16 libras se reduce el tamaño de bolones que han resultado de la voladura que constituyen un 05% a 10% del total de volumen de fragmentos resultantes de la voladura.

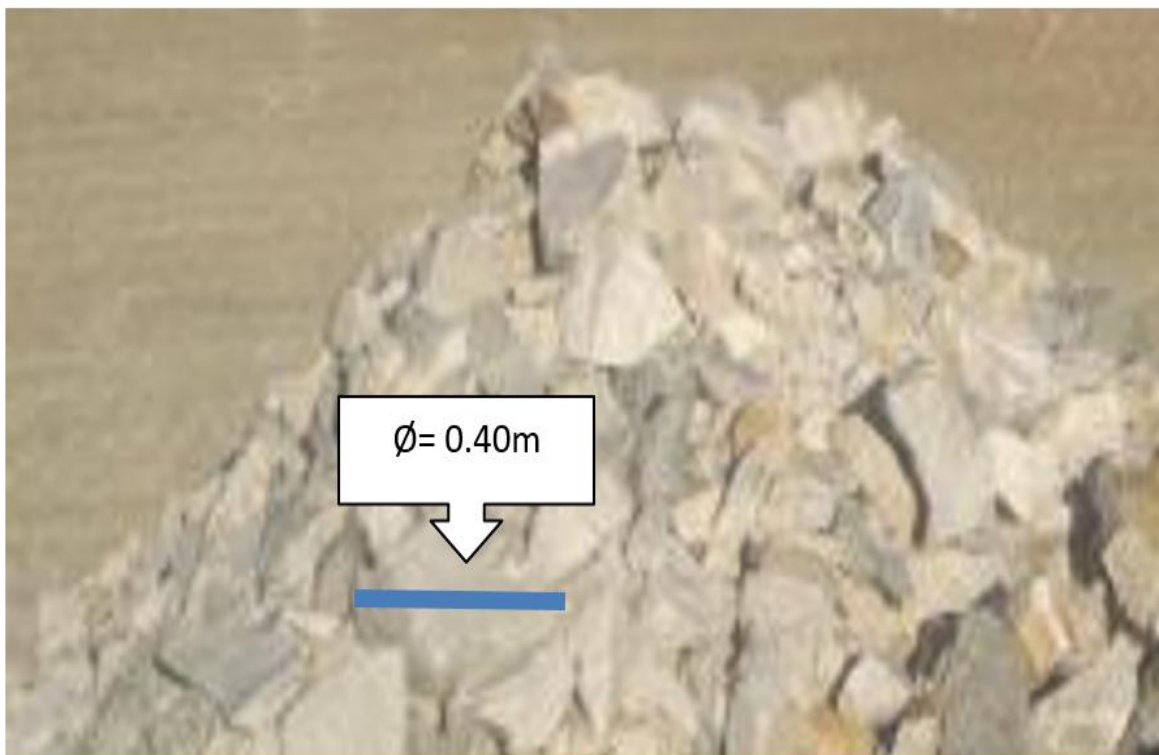


Figura 5. 4. Fragmentos después de la voladura para la trituración primaria.

Fuente. Autor de tesis.

Los bolones deben ser reducidos a 0.20 m – 0.25 m de diámetro en esta trituración manual, esta operación es realizado por dos trabajadores especializados antes de la ejecución del carguío respectivo.

Con datos obtenidos en el lugar donde se desarrolla el presente trabajo de investigación se estima que pueda existir una reserva de mineral no metálico de caliza de 858 972.00 TM que fácilmente se puede extraer, como pequeño productor minero o como minero artesanal con una producción diaria de 30 TM/día.

Por las características peculiares es posible realizar una evaluación selectiva de fragmentación como resultado de la voladura se ha determinado que se presenta un 10% de rocas fragmentadas que poseen tamaños mayores de 0.40m de diámetro que requieren ser reducidos de tamaño con combas de 12 - 16 libras de peso.

La presencia de bolones se observa en la pila de caliza fragmentada preparado para el carguío respectivo.

5.5.14 Carguío.

Luego de la voladura y la trituración manual respectiva el mineral no metálico es cargado en volquetes *Dodge* 800 de 6 cubos aproximadamente con retroexcavadoras CAT.

5.5.15 Equipos de carguío y transporte.

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” tiene:

- 02 Retroexcavadoras.
- 01 cargador frontal.
- 01 excavadora.
- 03 volquetes Dodge de 6 cubos.

5.5.16 Retroexcavadora – cargadora 430E.

Las características principales en la retroexcavadora se muestran en la Tabla. 5.2.

Tabla 5. 2. Características de retro excavadora 430E.

Modelo	Modelo del motor	Potencia bruta		Peso en orden de trabajo		Profundidad de excavación		Cucharón	
		kW	hp	kg	Lb	mm	pies - pulg	m3	yd3
430 E	Cat® C4.4 ACERT® DIT	83	111	11.000	24.251	4.698	15' 5"	0,96 - 1,07	1,25 - 1,4

Fuente. Catálogos de CAT Latinoamérica.

Las Retroexcavadoras son en realidad tres piezas de equipo en una, y la diversidad de la herramienta permite en la obra diferentes tareas que deben completarse con relativa facilidad, ver Figura. 5.5.

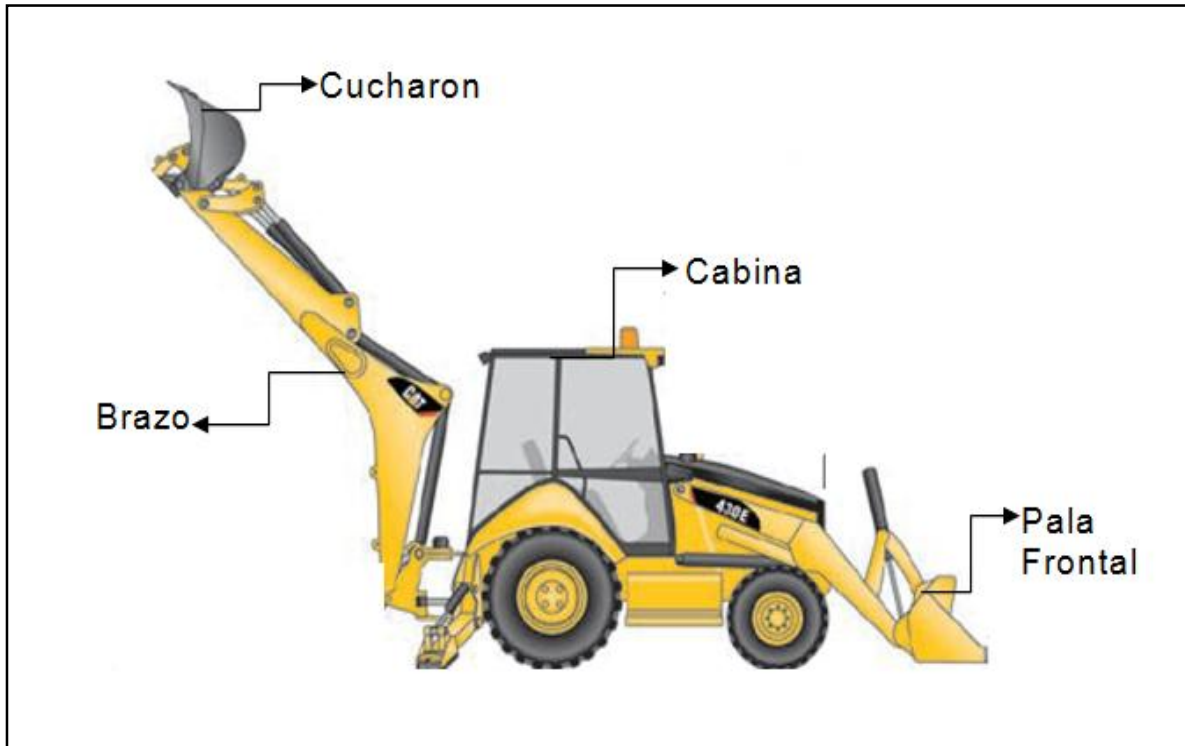


Figura 5. 5. Retroexcavadoras 430E
Fuente. Catálogos de CAT Latinoamérica.

El tractor es la principal parte de la retroexcavadora y permite a los usuarios trasladarse con facilidad sobre diferentes tipos de terrenos. La retroexcavadora (cucharon), y el cargador se adjuntan al tractor y agregan elementos en términos de utilidad, ver Figura. 5.6.

El cargador se puede utilizar para limpiar material de obra y para el movimiento de tierra de un lugar a otro.

5.5.17 Tipos de retroexcavadoras y sus características.

A continuación se mencionan algunas retroexcavadoras utilizadas para la explotación de una cantera:

420E.

430E.

450E.



Figura 5. 6. Retroexcavadora 430E.
Fuente. Catálogo de *Caterpillar* retroexcavadoras cargadoras 430E.

5.5.18 Apilamiento con retroexcavadora.

La retroexcavadora cumple con las funciones producir, transportar y cargar el material. Para la etapa de producción de material, la retroexcavadora usa el cucharón con el cual corta la roca y al mismo tiempo lo va estoqueando. Con su pala cargadora realiza la acción de cargar el material para depositarlo en los volquetes o para ella misma transportarlo. La retroexcavadora es empleada para transportar material sólo si la distancia a recorrer es corta, tal como se observa en Figura. 5.7. Y Figura 5.8.



Figura 5. 7. Apilamiento con retroexcavadora CAT.

Fuente. Catálogo de *Caterpillar* retroexcavadoras cargadoras 430E.



Figura 5. 8. Carguío con retroexcavadora CAT.

Fuente. Catálogo de *Caterpillar* retroexcavadoras cargadoras 430E.

5.5.19 Transporte.

Una vez realizado la voladura respectiva con la respectiva trituración manual la caliza fragmentada se realiza el carguío de acuerdo a las características del mineral de caliza considerando tres aspectos fundamentales, mineral estéril se refiere al suelo vegetal que cubre la superficie, en la zona de operaciones actuales no hay cobertura vegetal es decir se observa un afloramiento de caliza bastante meteorizada, el mineral de baja ley y mineral de alta ley.

El transporte puede realizarse a tres destinos; el mineral con alta ley se transporta a la zona de los hornos de calcinación, el material estéril a botaderos y el mineral de baja ley a botaderos especiales teniendo un especial cuidado de daños ambientales para evitar conflictos con las comunidades aledañas el transporte se realiza en volquetes *Dodge 800* de 6 cubos aproximadamente a 10 - 12 toneladas. La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” cuenta con dos hornos que se encuentra en el cercado del distrito de Baños del Inca a 8 km aproximadamente de la zona de operaciones mineras, ver Figura. 5.9.



Figura 5. 9. Volquete Dodge 800.

Fuente. Operaciones Mina – (S.M.R.Ltda) - Cantera La Unión.

5.5.20 Trituración manual con combas en etapa secundaria (cancha de horno).

La Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” es una empresa que realiza sus operaciones mineras en el rubro de la pequeña minería y muchos de sus operaciones lo realiza en forma artesanal, la producción diaria es de 30 TM/día que depende básicamente de la capacidad de calcinación de los dos hornos que posee la empresa el horno A de capacidad 15 TM/día y el horno B también de capacidad de 15 TM/día. Cada uno de los hornos opera con un 55 % de su capacidad operativa aproximadamente, es decir la producción minera de la empresa es muy bajo en comparación con otras empresas dedicadas a esta actividad minera de producción de cal, sin embargo tiene un potencial considerable en sus reservas minerales no metálicas de 858 972.000 TM de caliza, los bolones por voladura deficiente son reducidos por trituración manual, ver Figura. 5.10 y Figura. 5.11.

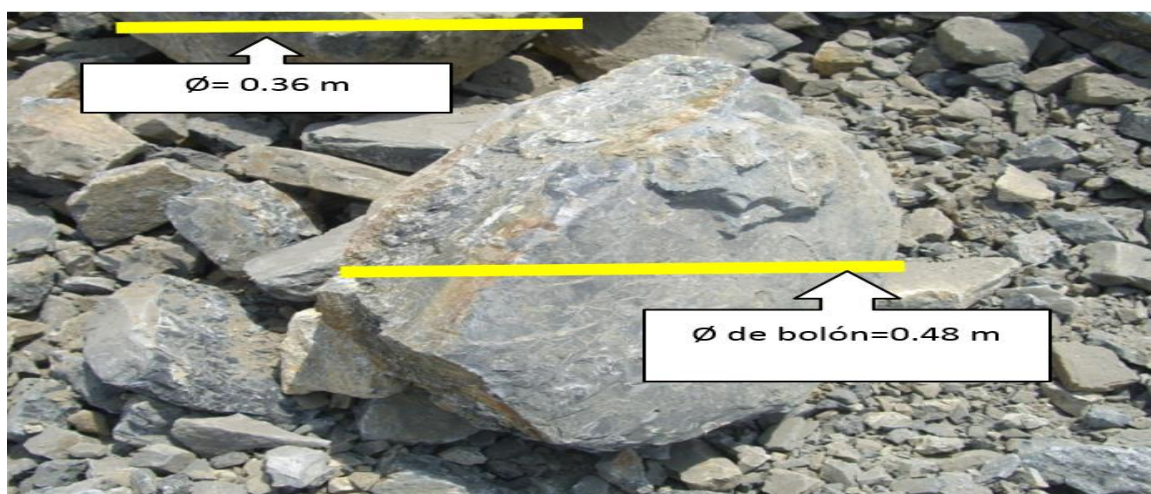


Figura 5. 10. Bolones por voladura deficiente.

Fuente. Autor de tesis.



Figura 5. 11. Fragmentos en cancha de calcinado para la trituración secundaria.

Fuente. Autor de tesis.

En la cancha de almacenamiento del horno de calcinación la trituración manual es para reducir a un tamaño de 0.10 m a 0.15 m de diámetro aproximadamente previo a la alimentación a los hornos de calcinación.

5.5.21 Chancado de carbón.

El carbón antracita tiene que estar con las medidas adecuadas, por tanto pasa por la zona de chancado.

5.5.22 Calcinación.

En dos hornos de calcinación se procede a la calcinación, donde se intercalan capas de roca caliza y carbón antracita en la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión”, estos hornos están ubicados a 8 km de las operaciones mineras, en el mismo Distrito de Baños de Inca, el producto final (cal), es comercializado a las empresas mineras de la zona.

5.5.23 Capacidad actual de calcinación.

La producción actual de cal es de 30 TM/día, como resultado de la calcinación de caliza en dos hornos verticales de 15 TM/día en horno A y 15 TM/día, en horno B. con una capacidad operativa de 50% a 55% es decir actualmente operan a la mitad de su capacidad operativa estos hornos están diseñados para una producción de 40 TM/día. Que depende básicamente del tamaño de caliza fragmentada que ingresa al horno, para ello se aplica la trituración.

5.5.24 Vida de la mina de acuerdo a la capacidad actual de calcinación de 30 TM/día.

El tiempo de vida de la mina, en la etapa de operación está determinado en función a su reserva y el ritmo de producción proyectado con un promedio anual, mostrando el siguiente resultado. Para determinar el tiempo de vida de una mina, en la etapa de explotación u operación se determina en función a la reserva calculada y desarrollo o consumo de la veta mediante una estimación con un promedio anual. Los cálculos se muestran a continuación de la siguiente manera:

$$\text{Vida útil de la Mina (operación)} = \text{Reservas} / (\text{Producción anual}) = \text{vida útil.}$$

- Reservas : 858 972.00 TM.
- Producción anual : 9 000.00 TM/año.
- Producción mensual : 750 TM/mes.
- Producción diaria : 30 TM/día.
- Tiempo de vida (operación) : 95 años.

$$\text{Vida útil de la Mina (operación)} = 858\,972.00 \text{ TM} / (9\,000.00 \text{ TM/año}) = \text{vida Útil.}$$

$$\text{Vida Útil de la Mina (operación)} = 95 \text{ años.}$$

5.6 Ganancias logradas con la producción de 30 TM/día.

Para la producción 30 TM/día de óxido de calcio de la cantera “La Unión” los costos de operación se estiman en US \$ 23,719.33, con ingresos mensuales de US \$34,188.00. Obteniéndose una rentabilidad de US \$10,468.67.

5.7 Optimización de plan de minado para una producción de 63 TM/día de cal.

- Optimización de la capacidad de calcinación de hornos.
- Determinación de calidad del macizo rocoso.
- Tamaño de reservas minerales no metálicas de caliza.
- Evaluación del ciclo de operaciones unitarias.
- Perforación.
- Voladura.
- Carguío.
- Transporte.

- Equipos de carguío.
- Equipos de transporte de minerales no metálicos.
- Evaluación de programa de producción y plan de minado para una producción de 63 TM/día.
- Ganancias logradas con la optimización de la producción de 63 TM/día.

5.8 Optimización de la capacidad de calcinación de hornos A y B en 2015.

5.8.1 Capacidad de calcinación de hornos de enero a setiembre de 2015.

La producción actual de cal en la cantera de caliza La Unión es de 30 TM/día considerando los dos hornos A y B con una capacidad operativa de 50% a 55% ambos hornos están diseñados para una capacidad de calcinación de 35 TM/día. En el año 2015 por la creciente demanda existente de cal la alta gerencia de la empresa ha determinado evaluar la capacidad de calcinación de caliza con un incremento paulatino de por encima de 15 TM/día de caliza sin embargo se ha visto con algunas dificultades para incrementar en este proceso de incremento en los primeros meses en el horno A se ha reducido a 12,28 TM/día de cal en el mes de febrero, principalmente por carencia de combustible y equipos de transporte de caliza estos impases se ha superado y en los siguientes meses se ha normalizado logrando una capacidad de calcinación de la caliza por encima de 15 TM/día hasta el mes de setiembre de 2015, las estadísticas de producción de cal se observan en la Tabla 5.3, en los meses de octubre, noviembre y diciembre se ha puesto en marcha el proceso de optimización

5.8.2 Capacidad de calcinación propuesto horno A y B en octubre – diciembre en 2015.

Los hornos son de tipo vertical, se encuentran en el mismo distrito de Baños del Inca a una distancia aproximada de 8 km de las operaciones mineras su producción de cada uno de los hornos es la siguiente:

- Horno A: 31 TM/día.
- Horno B: 32 TM/día.

5.8.3 Optimización capacidad de calcinación en hornos A y B.

Para la optimización de plan de minado para una producción de 63 TM/día de caliza se ha tomado un especial interés en la planta de calcinación considerando de que si la planta de calcinación no tiene una capacidad de calcinación suficiente puede generarse una producción

excesiva de caliza, de allí surge la imperiosa necesidad de optimizar la capacidad de calcinación de los dos hornos con que cuenta la empresa estos se encuentra en el distrito de Baños del Inca a 8 km aproximadamente desde el centro de operaciones mineras.

Los resultados de la evaluación y el periodo de prueba de octubre a diciembre de 2015 se puede observar en la Tabla. 5.3, en Figura. 5.12, Figura. 5.13, Figura. 5.14, Figura. 5.15, Figura. 5.16, Figura. 5.17, Figura. 5.18 y Figura. 5.19 respectivamente.

Tabla 5. 3. Estadística de capacidad de calcinación en TM/día en horno A - horno B en el año 2015.

Estadística de capacidad de calcinación en TM/día en horno A - horno B en el año 2015		
Mes	Media capacidad de calcinación de horno A en TM/día	Media capacidad de calcinación de B en TM/día.
Enero	13.35	15.54
Febrero	12.28	15.65
Marzo	15.84	15.5
Abril	17.06	14.59
Mayo	15.55	14.89
Junio	15.75	15.45
Julio	16.21	20.12
Agosto	15.32	16.97
Setiembre	24.64	28.98
Octubre	30.36	32.29
Noviembre	31.56	31.45
Diciembre	30.38	32.51

Fuente. Autor de tesis.

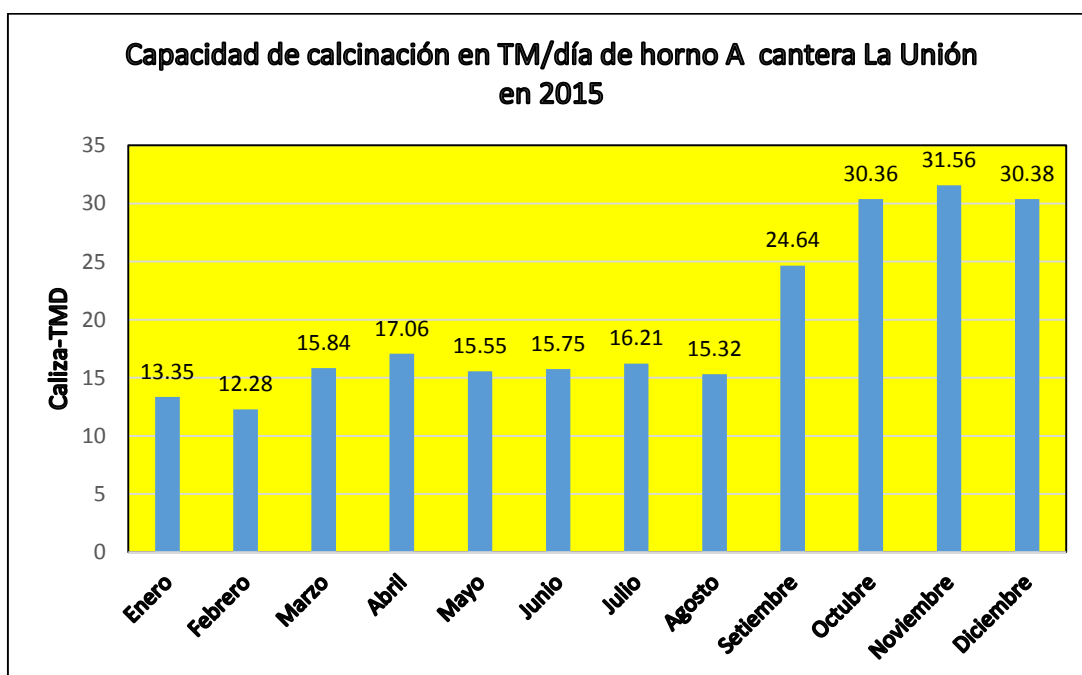


Figura 5. 12. Capacidad de calcinación en TM/día en horno A y en horno B en 2015.

Fuente. Autor de tesis.

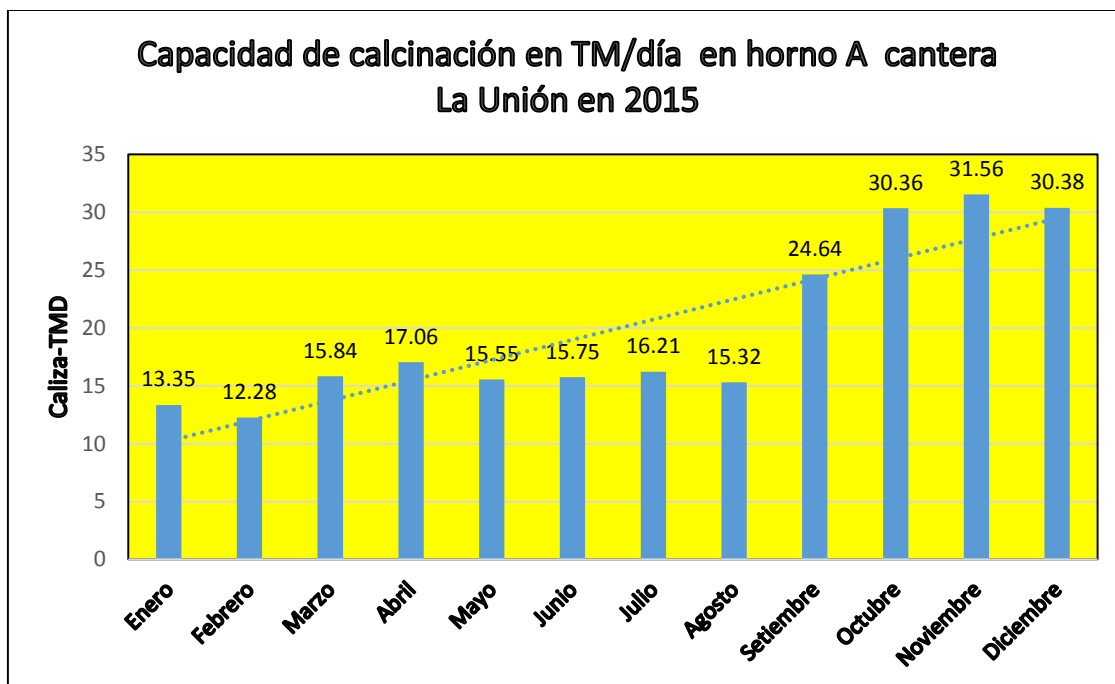


Figura 5. 13. Capacidad de calcinación en TM/día en horno A Cantera La Unión en 2015.
Fuente. Autor de tesis.

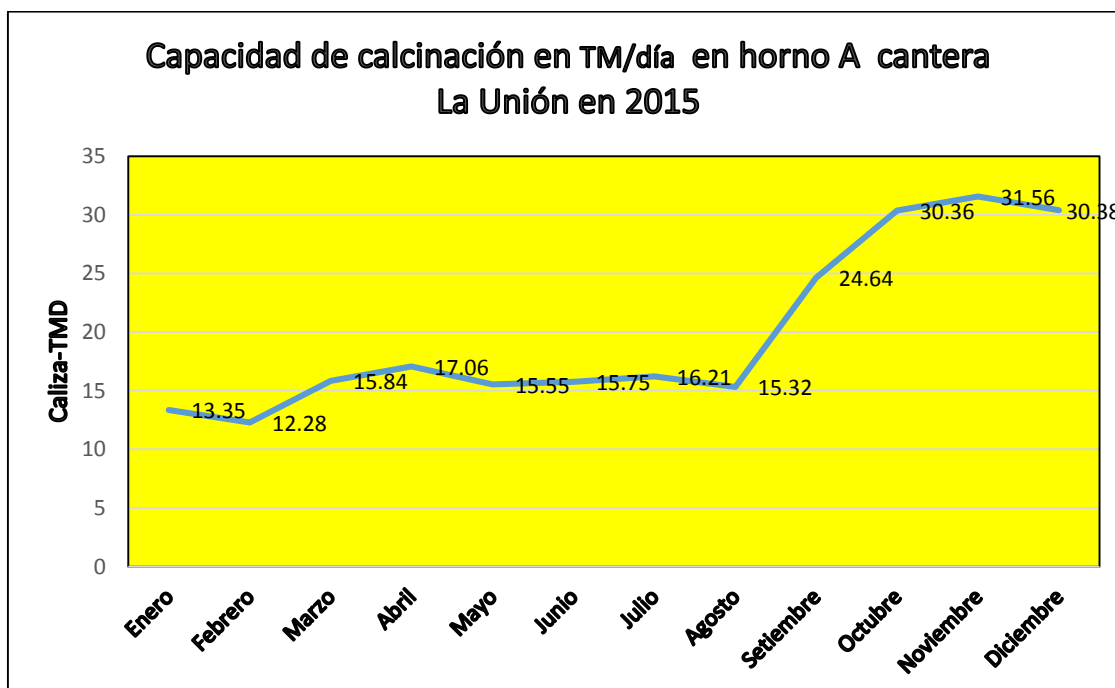


Figura 5. 14. Capacidad de calcinación en TM/día en horno A cantera La Unión en 2015.
Fuente. Autor de tesis.

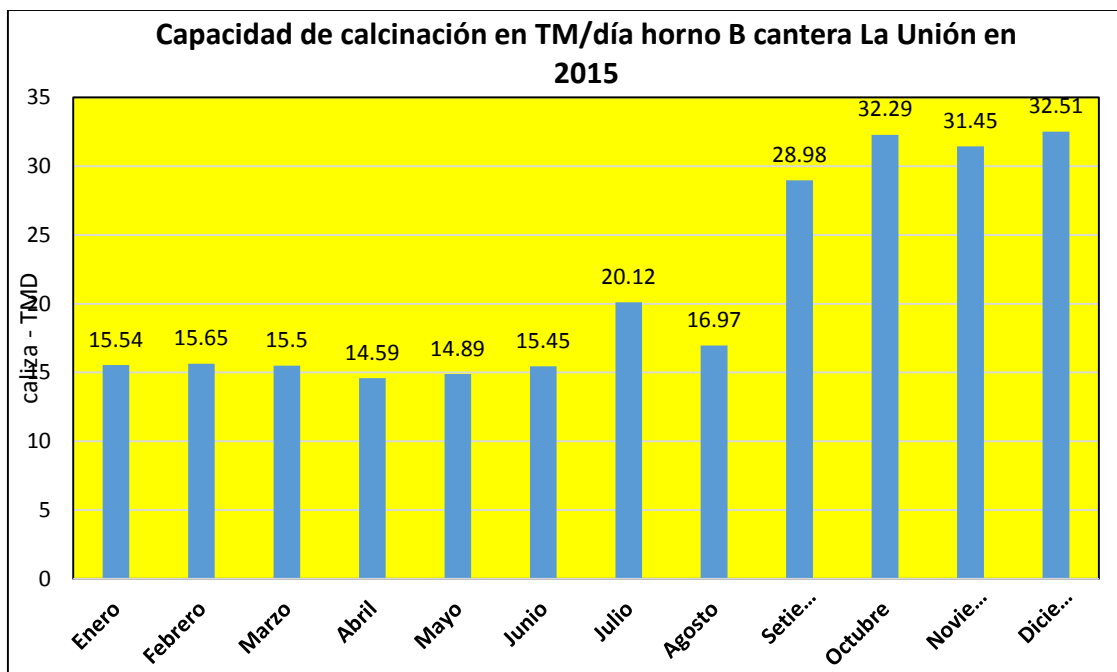


Figura 5. 15. Capacidad de calcinación en TM/día horno B cantera La Unión en 2015.

Fuente. Autor de tesis.

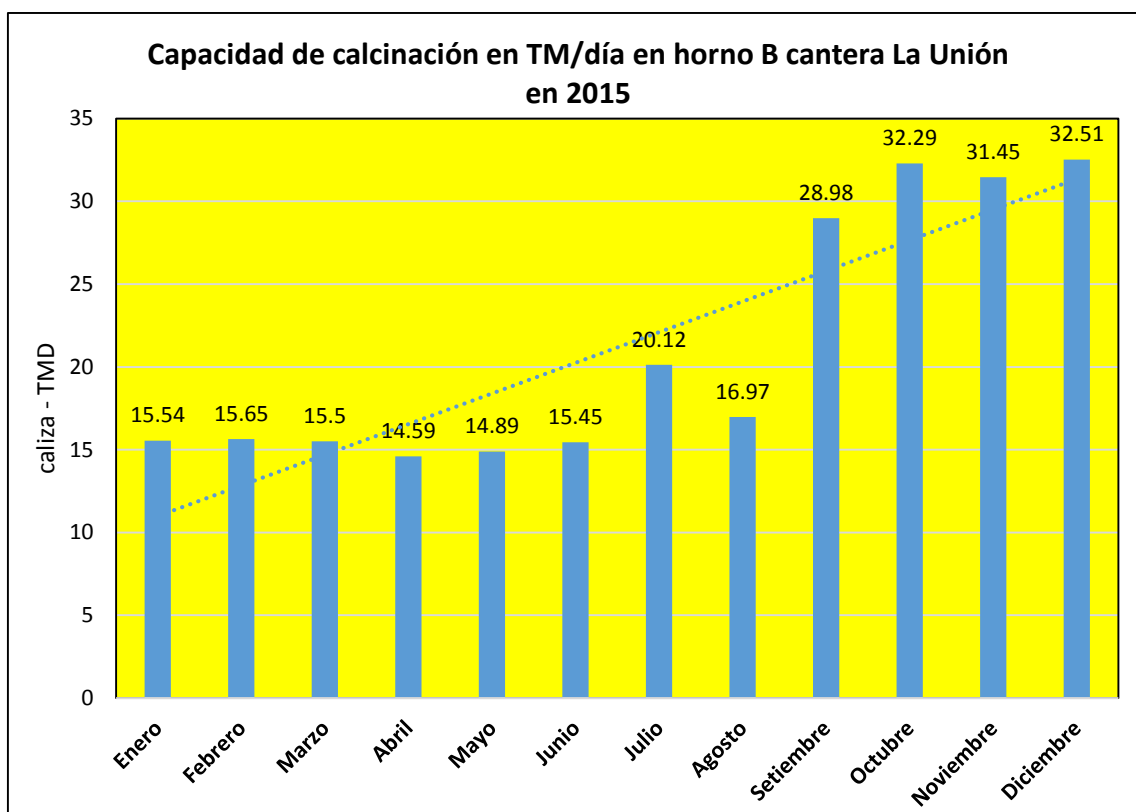


Figura 5. 16. Capacidad de calcinación en TM/día en horno B cantera La Unión en 2015.

Fuente. Autor de tesis.

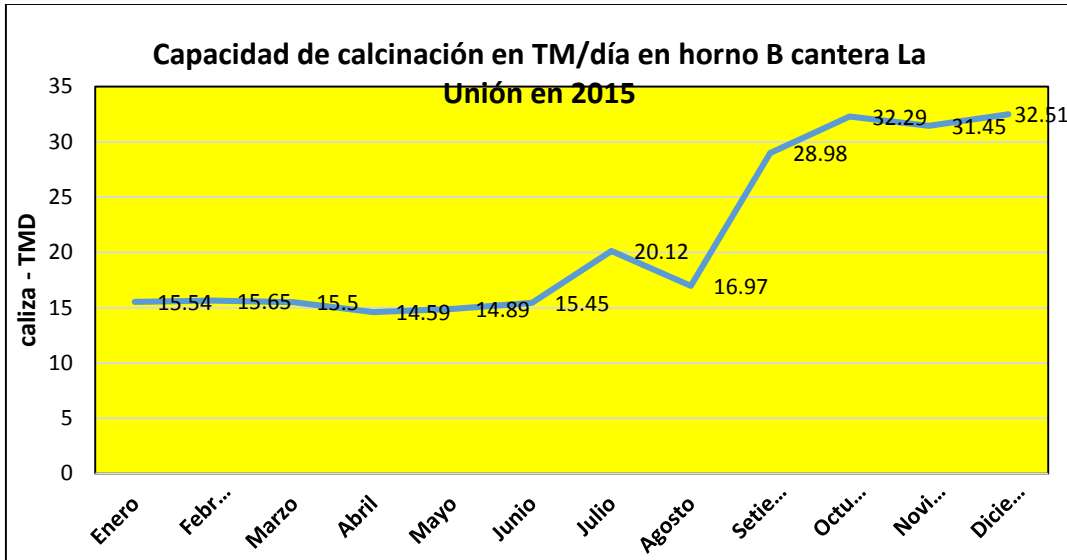


Figura 5. 17. Capacidad de calcinación en TM/día en horno B cantera La Unión en 2015. Fuente. Autor de tesis.

Tabla 5. 4. Estadística de calcinación óptima en TM/día en horno A - horno B en octubre - diciembre en 2015.

Estadística de calcinación óptima en TM/día en horno A - horno B en octubre - diciembre en año 2015		
Mes	Media capacidad de calcinación en TM/día - horno A	Media capacidad de calcinación en TM/día - horno B
Octubre	30.36	32.29
Noviembre	31.56	31.45
Diciembre	30.38	32.51
Capacidad media	30.76666667	32.08333333

Fuente. Autor de tesis.

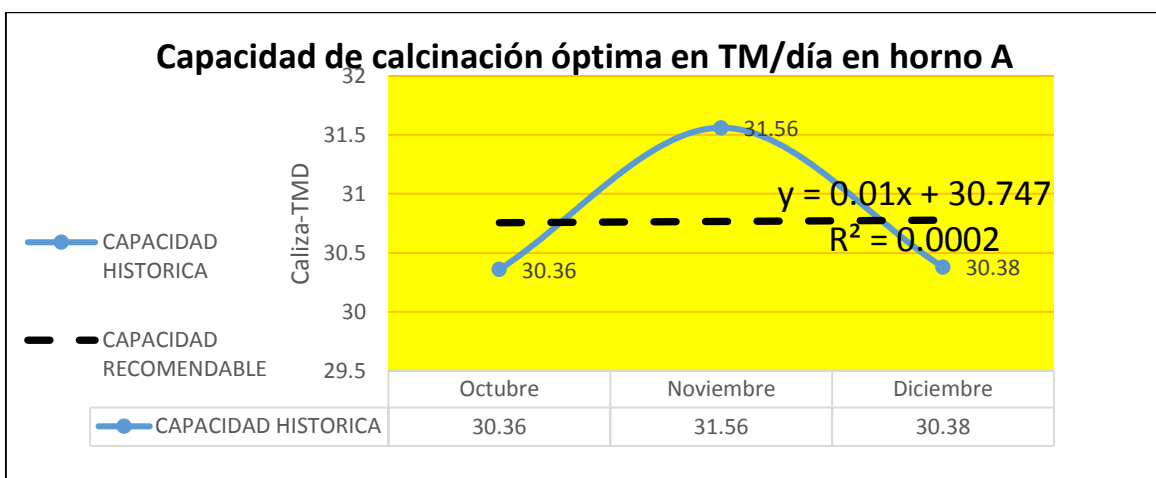


Figura 5. 18. Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno A. Fuente. Autor de tesis.

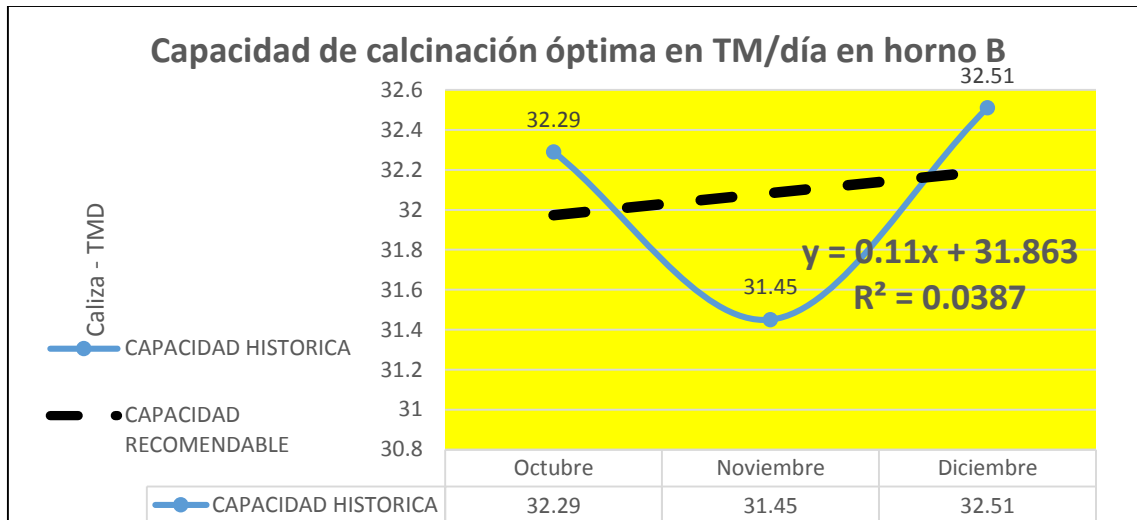


Figura 5. 19. Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno B.

Fuente. Autor de tesis.

5.9 Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno A y B en cantera la Unión.

La capacidad de calcinación óptima de los hornos A y B se muestra en la Tabla. 5.5

Tabla 5. 5. Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno A y B en cantera La Unión.

Capacidad de calcinación óptima en TM/día en horno A y B en cantera La Unión	
Horno	Capacidad de calcinación óptima TM/día de caliza
Horno A TM/día de caliza	30.76666667
Horno B TM/día de caliza	32.08333333
Capacidad de calcinación Óptima de hornos A y B	62.849993 ≈ 63

Fuente. Autor de tesis

De acuerdo a los resultados de optimización de la capacidad de calcinación de los dos hornos es de 63 TM/día.

Esta capacidad de calcinación es el resultado de las pruebas realizadas en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2015, la optimización del plan de minado en la cantera La Unión de Baños del Inca de Cajamarca se plantea para una producción de 63 TM/día.

5.9.1 Determinación de calidad de macizo rocoso en cantera La Unión.

La calidad del macizo rocoso en cantera La Unión es un valor numérico que se ha obtenido mediante el uso de las clasificaciones geomecánicas de RMR 1989 de *Bieniawski*, Q de *Barton* y GSI de *Hoek and Brown*, con una exhaustiva evaluación de las características lito estructurales del macizo rocoso.

5.9.2 Caracterización geomecánica de cantera de caliza La Unión.

Según Cartaya P. M. (2001), Resumen de tesis doctoral titulado Caracterización geomecánica de macizos rocosos en obras subterráneas de la región oriental de país, Departamento de Geología Instituto Superior Minero Metalúrgico, Cuba. Caracterizar geomecánicamente los macizos, constituye un estudio integral del macizo en cuestión, que incluye tanto el modelo geológico, como el geomecánico, abarcando aspectos tales como, estructura del macizo, litología, contactos y distribución de litologías, geomorfología, cartografía geológica, estudio hidrogeológico, levantamiento de discontinuidades, técnicas geofísicas, sondeos, ensayos in situ, de laboratorio, clasificaciones geomecánicas, entre otros. Convirtiéndose la caracterización geomecánica de los macizos rocosos en una herramienta indispensable para pronosticar su comportamiento. Una parte importante de la caracterización geomecánica de los macizos rocosos, lo constituyen sin dudas, las clasificaciones geomecánicas, que surgieron de la necesidad de parametrizar observaciones y datos empíricos, de forma integrada, para evaluar las medidas de sostenimiento en túneles. Las mismas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y a partir de estas estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento de un túnel (*Palmstrom*, 1998).

Para Cartaya P. M. (2001), al depender los túneles de múltiples variables geológicas de difícil cuantificación, los métodos empíricos, a los que pertenecen las clasificaciones geomecánicas, han sido de gran ayuda, desde el primer sistema de clasificaciones propuesto por *Terzaghi* en 1946 (Moreno, 1998), convirtiéndose este en el primer aporte a las investigaciones geomecánicas. *Terzaghi* parte del criterio de la formación de una zona de roca destruida por el techo de la excavación, clasificando los terrenos en nueve tipos atendiendo esencialmente a las condiciones de fracturación en las rocas y a la cohesión o expansividad en los suelos. Esta metodología expuesta por *Terzaghi* (González de Vallejo, 1998. Moreno, 1998) carece de un índice cuantitativo mediante el cual se pueda tener un criterio más acertado de la competencia de las rocas.

Según afirma Cartaya P. M. (2001), Más tarde en 1963, *Deere* (Blanco, 1998. González de Vallejo, 1998. López Jimeno, 1998. Moreno, 1998, *Palmstrom*, 1998) propuso un índice de la calidad de las rocas, basado en la recuperación de testigos, denominado como el sistema *Rock Quality Designation* (RQD) - Índice de calidad de las rocas. Este índice se ha usado en muchas partes y se ha comprobado que es muy útil en las clasificaciones geomecánicas de

los macizos rocosos, formando parte de un sin número de ellas. En 1972, *Wickham, Tiedeman Y Skinner* del U. S. *Bureau of Mines*, (Blanco, 1998. Moreno, 1998), establecen los criterios para la obtención del RSR (*Rock Structure Rating*).

5.9.3 Evaluación de litología estructural del macizo rocoso.

Se refiere a la evaluación de las discontinuidades del macizo rocoso en el registro lineal mediante el mapeo geomecánico de RMR de *Bieniawski* 1989, esta evaluación es cuantitativa y cualitativa de cada uno de las discontinuidades los resultados del mapeo geomecánico se pueden observar en Tabla. 5.6, Tabla. 5.7, Tabla. 5.8, Tabla. 5.9, Tabla. 5.10, Tabla. 5.11, Figura. 5. 20, Figura. 5. 21, Figura. 5. 22, Figura. 5. 23, Figura. 5. 24, Figura. 5. 25, Figura. 5. 26, Figura. 5. 27, Figura. 5. 28, Figura. 5. 29, Figura. 5. 30, Figura. 5. 31, Figura. 5. 32, Figura. 5. 33, Figura. 5. 34, Figura. 5. 35, Figura. 5. 36, Figura. 5. 37, Figura. 5. 38, Figura. 5. 39. Y Figura. 5. 40, respectivamente.

La concentración de polos, la distribución de familias y los planos representativos en función a cada familia se ha realizado con *software Dips*. Los resultados se muestran en Figura. 41, Figura. 42, Figura. 43, Figura. 44. Y Figura. 45, respectivamente.

Tabla 5. 6. Registro de discontinuidades de cantera de caliza La Unión, Baños del Inca – Cajamarca

CANTERA DE CALIZA LA UNIÓN S. M. R. Lda. LA UNIÓN DE CAJAMARCA		ÁREA GEOLOGÍA Y TOPOGRAFÍA - CANTERA DE CALIZA LA UNIÓN BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA											SUPERVISIÓN				
		MAPEO GEOMECANICO SUPERFICIAL RMR DE BIENIAWSKI 1989											Ingº: P. Rojas				
Registro Nº01	PROGRESIVA 0-21		ZONA DE PROYECTO: CANTERA-BANCO DE PRODUCCION											Inf.Nº:015			
	Inclinación	Azimut	PROGRESIVA 01:0-21.00m											Ejecutado por:			
	6º	20º	TIPO DE ROCA : Caliza											Fecha: Enero 2015			
Nº Disc.	Distancia de Intersección de la discontinuidad (m)	Tipo de estructura	Orientación	Espaciado (mm)	Persistencia (m)	Terminación	Apertura(mm)	Rugosidad	Relleno		Ondulación	Meteorización	Agua subt.	Nº de juntas con similares propiedades	Observaciones		
									Tipo	Espesor							
		F=Falla E=Estrato T=Tensión MF=Micror falla J=Juntura				1. >2000 2. 600-2000 3. 200-600 4. 60-200 5. <60	1. <1 2. 1-3 3. 3-10 4. 10-20 5. >20	1. Otra discont 2. Roca int. 3. 4. Abierta 1.0-5.0 5. Muy abierta >5.0	1. Cerradas 2. Muy ang. < 0.1 3. Ang. 0.1-1.0 4. liv. 1.0-5.0 5. liza	1. Muy rugosa 2. Rugosa 3. Med. Rugosa 4. liv. Rugosa 5. liza	1. Limpia 2. Decolorada 3. Arcilla inac. 4. Arc. Expan 5. Clorita yeso talc.	1. Ninguno 2. Duros < 5mm 3. Duro >5mm 5. Suave > 5mm	1. Plana 2. Poco seco 3. Ond. 4. Muy meteor. 5. Descomp	1. Sana 2. Ligera 3. Moderada 4. Muy meteor. 5. Flujo	1. Seco 2. Húmedo 3. Mojado 4. Goteo 5. Flujo		
1	0.66	J			1	2	3	2	3	1	1	3	3	1			
2	0.72	J			4	2	3	2	4	1	2	2	4	1	2		
3	0.93	J			3	1	1	2	2	2	1	2	2	1			
4	1.13	J			4	1	2	2	5		2	2	3	2	1		
5	1.33	J			3	2	1	3	3	2	2	2	1	3			
6	1.53	J			3	2	1	3	2	1	2	3	3	1	1		
7	1.73	J			3	2	3	3	3	1	2	2	2	1			
8	2.73	J			1	1	3	2	3	2	2	3	2	2			
9	2.79	J			4	3	2	2	3	1	3	2	3	2			
10	2.99	J			3	2	2	3	1	2	4	2	1	4	2		
11	3.49	J			2	1	3	3	2	1	1	3	5	3			
12	4.09	J			2	1	2	3	2	2	2	2	1	2			
13	4.29	J			3	1	3	2	3	2	2	1	2	3			
14	4.35	J			4	4	3	4	2	2	2	3	3	4	2		
15	4.41	J			4	1	3	3	1	3	1	2	2	4			

Fuente. Autor de tesis

N° DISC.	DIP	DIP DIR	SET	ESPACIADO	PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	METEORIZACION	AGUA SUBTERRÁNEA
1	85	167	1	1	2	3	2	3	3	1
2	86	58	3	2	2	2	2	2	4	1
3	77	220	2	3	2	3	3	3	5	1
4	85	162	1	2	3	4	4	4	4	2
5	79	46	3	3	4	3	3	3	3	1
6	77	215	2	2	3	2	2	4	4	2
7	86	157	1	3	3	1	3	5	5	3
8	82	38	3	4	4	1	4	4	4	2
9	79	215	2	3	3	2	5	1	3	3
10	86	173	1	4	2	3	4	2	3	2
11	85	45	3	3	1	4	3	3	2	3
12	79	223	2	4	1	3	2	2	3	4
13	80	175	1	3	1	4	1	4	4	5
14	85	51	3	2	2	3	1	3	3	4
15	75	222	2	2	3	2	2	2	2	3
16	74	169	1	3	2	3	3	3	1	2
17	85	54	3	4	1	3	2	4	2	1
18	76	218	2	3	2	3	1	3	3	2
19	72	162	1	2	2	4	2	2	2	3
20	82	48	3	2	2	3	3	1	1	2
21	72	225	2	3	3	2	2	2	1	2
22	76	162	1	4	2	3	3	3	1	2
23	80	42	3	2	2	3	2	4	2	2
24	68	224	2	3	2	3	3	5	3	2
25	71	166	1	4	1	4	4	5	2	2
26	82	37	3	1	1	3	3	4	2	2
27	63	226	2	1	2	5	4	3	3	3
28	64	164	1	2	3	3	5	3	2	2
29	84	33	3	3	2	3	5	4	3	3
30	54	222	2	2	3	3	5	3	4	2
31	73	158	1	1	2	4	4	2	3	2
32	79	37	3	2	1	3	3	1	2	2
33	62	230	2	3	2	3	1	2	2	3
34	79	158	1	4	3	3	2	3	3	3

Tabla 5. 7. Registro simplificado de progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión.

Fuente. Autor de tesis.

Tabla 5. 8. Registro simplificado de progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.

N° DISC.	DIP	DIP DIR	SET	ESPACIADO	PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	METEORIZACION	AGUA SUBTERRÁNEA
35	79	42	3	3	3	3	2	2	2	3
36	64	224	2	2	2	3	3	1	3	3
37	85	166	1	3	2	2	2	5	4	4
38	74	41	3	3	2	2	3	1	3	4
39	59	220	2	2	3	2	4	5	2	3
40	70	166	1	3	2	3	3	1	3	4
41	67	43	3	2	3	2	2	5	3	3
42	66	220	2	2	4	2	3	4	3	5
43	86	168	1	3	3	2	4	4	2	3
44	47	34	3	3	2	2	3	2	3	1
45	67	217	2	4	2	3	3	3	3	2
46	61	166	1	3	2	4	4	4	3	3
47	60	30	3	2	2	3	4	3	2	4
48	60	220	2	3	2	2	4	2	3	5
49	56	174	1	3	3	2	4	3	2	4
50	44	36	3	4	4	1	4	4	5	3
51	66	215	2	3	3	2	5	3	3	2
52	78	178	1	3	2	1	4	2	3	1
53	59	41	3	2	2	2	3	2	4	2
54	71	215	2	3	3	1	2	2	3	3
55	66	165	1	2	4	3	1	3	3	2
56	70	30	3	3	3	4	2	4	3	3
57	74	215	2	3	2	3	3	4	3	1
58	53	161	1	2	1	5	2	4	3	2
59	69	33	3	3	2	3	3	4	3	2
60	73	214	2	2	3	2	2	3	3	2
61	60	171	1	3	2	1	3	2	3	2
62	78	38	3	3	3	2	2	1	2	2
63	72	213	2	3	4	2	3	2	2	2
64	59	170	1	3	4	3	2	1	3	2
65	76	42	3	3	3	5	3	2	3	3
66	75	218	2	2	3	3	2	2	3	3
67	77	212	2	2	3	4	2	2	2	2
68	65	209	2	3	4	3	2	3	3	2

Fuente. Autor de tesis

Tabla 5. 9. Registro simplificado de familia 1 progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.

N° DISC.	DIP	DIP DIR	SET	ESPACIADO	PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	METEORIZACION	AGUA SUBTERRÁNEA
1	85	167	1	1	2	3	2	3	3	1
2	85	162	1	2	3	4	4	4	4	2
3	86	157	1	3	3	1	3	5	5	3
4	86	173	1	4	2	3	4	2	3	2
5	80	175	1	3	1	4	1	4	4	5
6	74	169	1	3	2	3	3	3	1	2
7	72	162	1	2	2	4	2	2	2	3
8	76	162	1	4	2	3	3	3	1	2
9	71	166	1	4	1	4	4	5	2	2
10	64	164	1	2	3	3	5	3	2	2
11	73	158	1	1	2	4	4	2	3	2
12	79	158	1	4	3	3	2	3	3	3
13	85	166	1	3	2	2	2	5	4	4
14	70	166	1	3	2	3	3	1	3	4
15	86	168	1	3	3	2	4	4	2	3
16	61	166	1	3	2	4	4	4	3	3
17	56	174	1	3	3	2	4	3	2	4
18	78	178	1	3	2	1	4	2	3	1
19	66	165	1	2	4	3	1	3	3	2
20	53	161	1	2	1	5	2	4	3	2
21	60	171	1	3	2	1	3	2	3	2
22	59	170	1	3	4	3	2	1	3	2

Fuente. Autor de tesis.

5.9.4 Estadística de las discontinuidades del macizo rocoso en progresiva 0 - 21 m.

Se refiere a la evaluación estadística de las discontinuidades en la progresiva 0 - 21 m para la valoración de los parámetros de RMR de *Bieniawski* 1989.

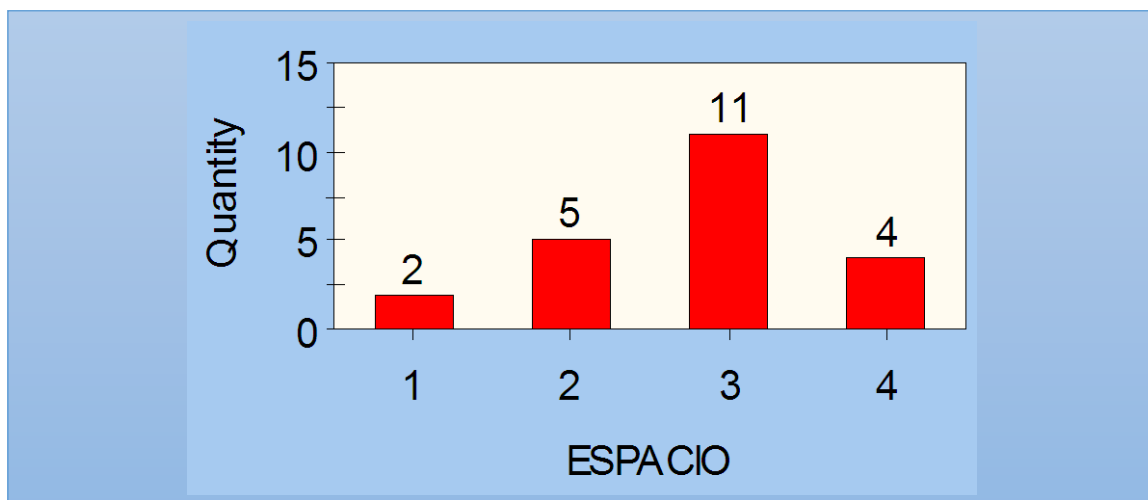


Figura 5. 20. Histograma de espaciado de familia 1.

Fuente. Autor de tesis.

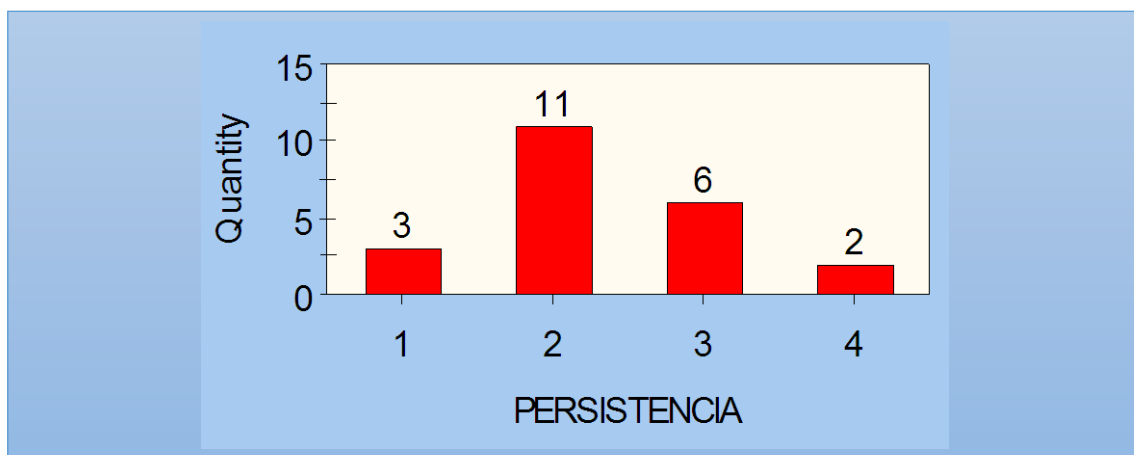


Figura 5. 21. Histograma de persistencia de familia 1.

Fuente. Autor de tesis.

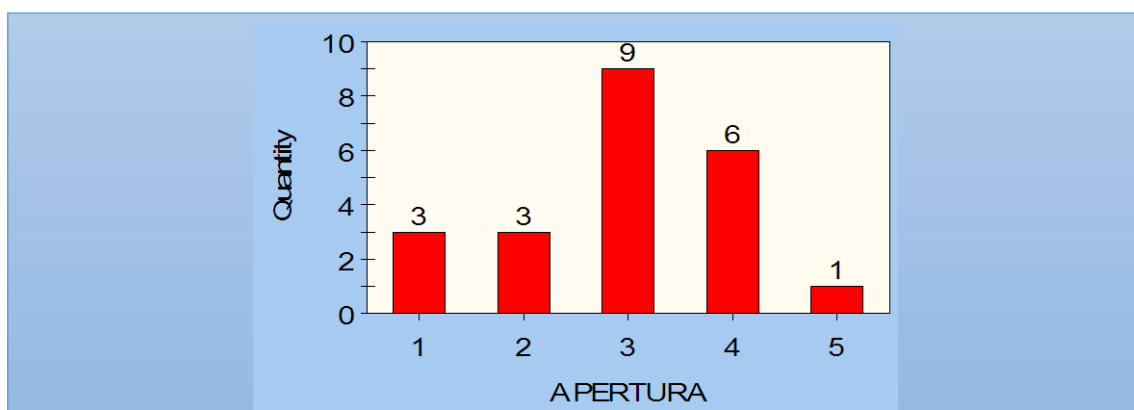


Figura 5. 22. Histograma de apertura de familia 1.

Fuente. Autor de tesis.

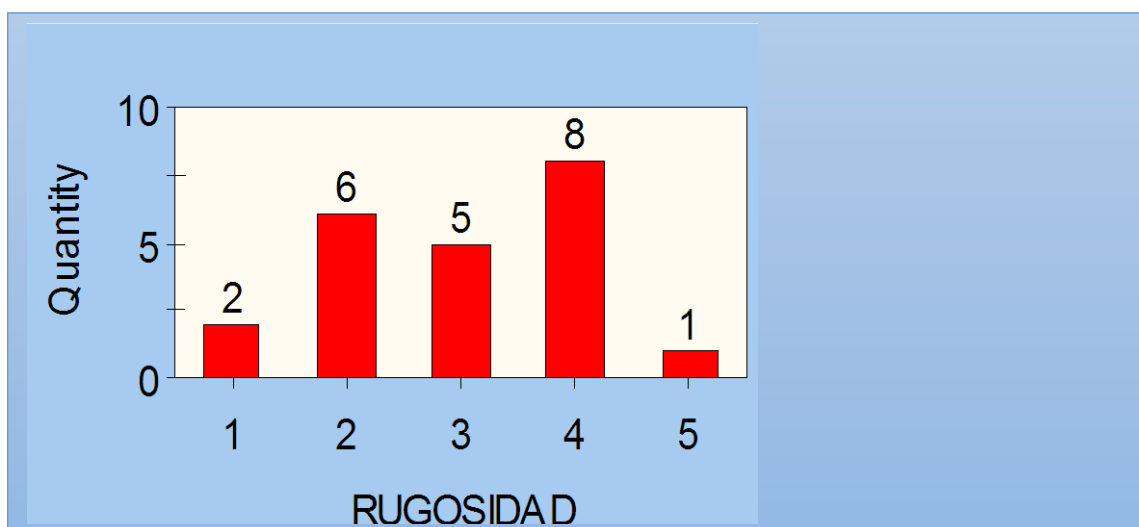


Figura 5. 23. Histograma de rugosidad de familia 1.

Fuente. Autor de tesis.

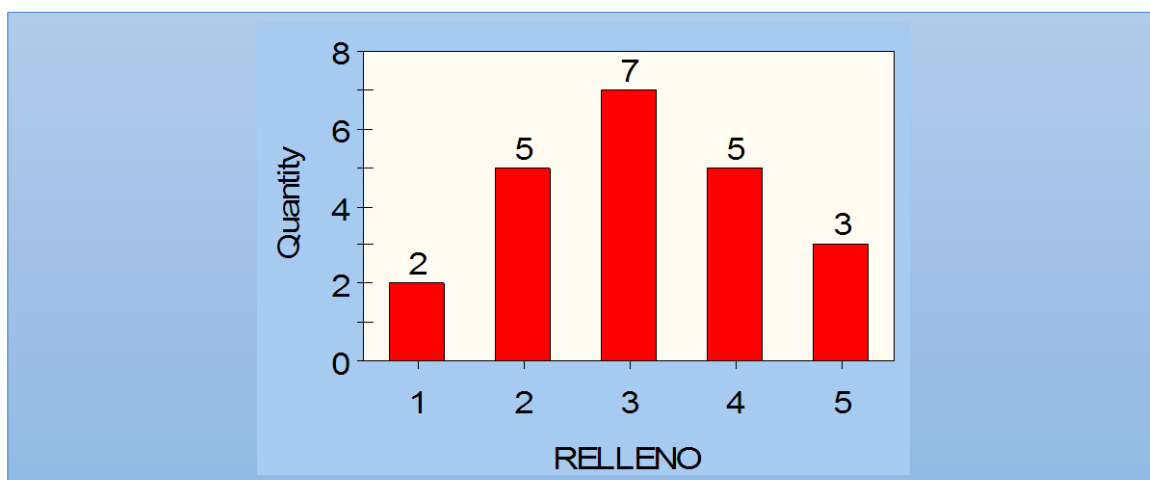


Figura 5. 24. Histograma de relleno espesor de familia1.

Fuente. Autor de tesis.

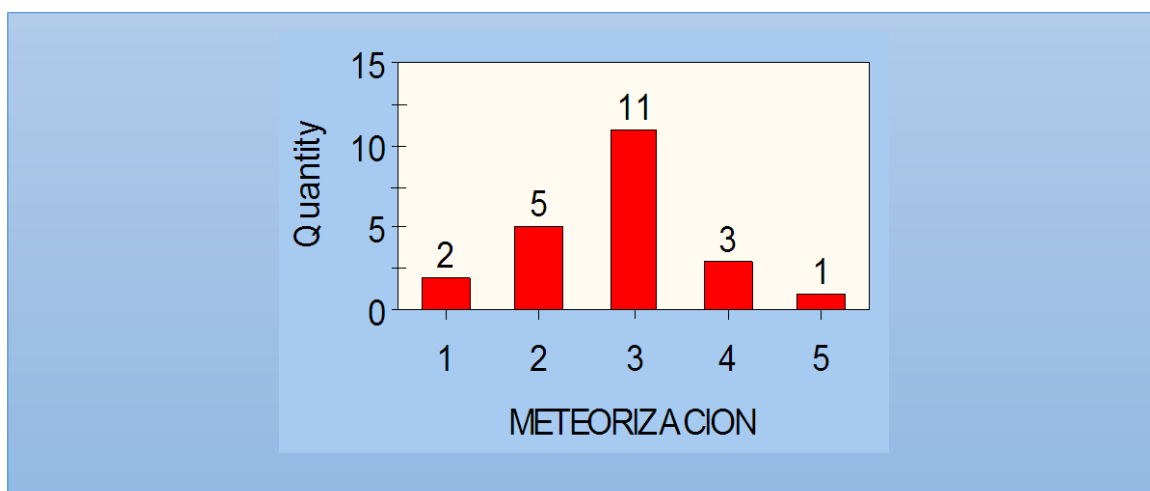


Figura 5. 25. Histograma de meteorización de familia 1

Fuente. Autor de tesis.

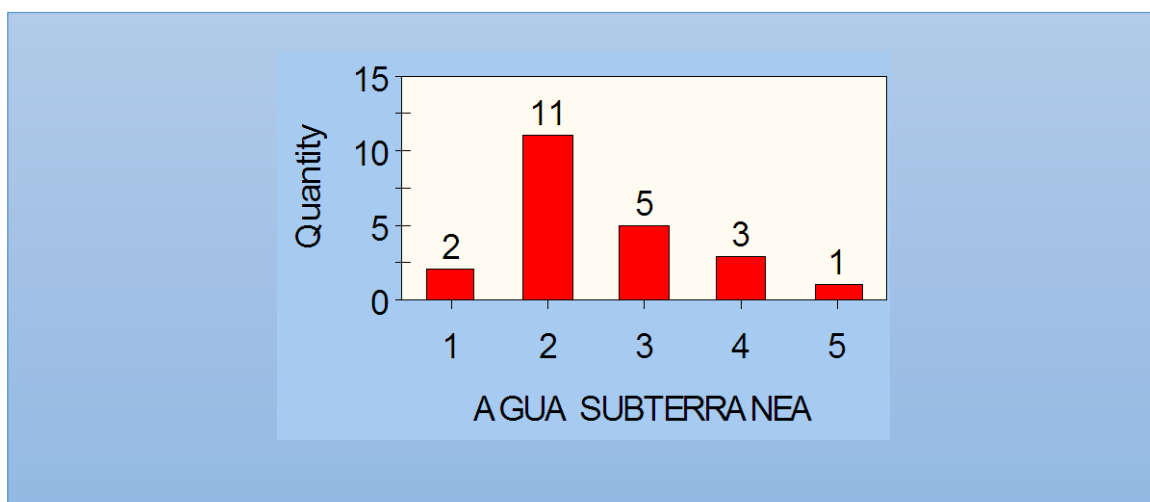


Figura 5. 26. Histograma de agua subterránea de familia 1.

Fuente. Autor de tesis.

Tabla 5. 10. Registro simplificado de familia 2 progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.

N° DISC.	DIP	DIP DIR	SET	ESPACIADO	PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	METEORIZACION	AGUA SUBTERRÁNEA
1	77	220	2	3	2	3	3	3	5	1
2	77	215	2	2	3	2	2	4	4	2
3	79	215	2	3	3	2	5	1	3	3
4	79	223	2	4	1	3	2	2	3	4
5	75	222	2	2	3	2	2	2	2	3
6	76	218	2	3	2	3	1	3	3	2
7	72	225	2	3	3	2	2	2	1	2
8	68	224	2	3	2	3	3	5	3	2
9	63	226	2	1	2	5	4	3	3	3
10	54	222	2	2	3	3	5	3	4	2
11	62	230	2	3	2	3	1	2	2	3
12	64	224	2	2	2	3	3	1	3	3
13	59	220	2	2	3	2	4	5	2	3
14	66	220	2	2	4	2	3	4	3	5
15	67	217	2	4	2	3	3	3	3	2
16	60	220	2	3	2	2	4	2	3	5
17	66	215	2	3	3	2	5	3	3	2
18	71	215	2	3	3	1	2	2	3	3
19	74	215	2	3	2	3	3	4	3	1
20	73	214	2	2	3	2	2	3	3	2
21	72	213	2	3	4	2	3	2	2	2
22	75	218	2	2	3	3	2	2	3	3
23	77	212	2	2	3	4	2	2	2	2
24	65	209	2	3	4	3	2	3	3	2

Fuente. Autor de tesis.

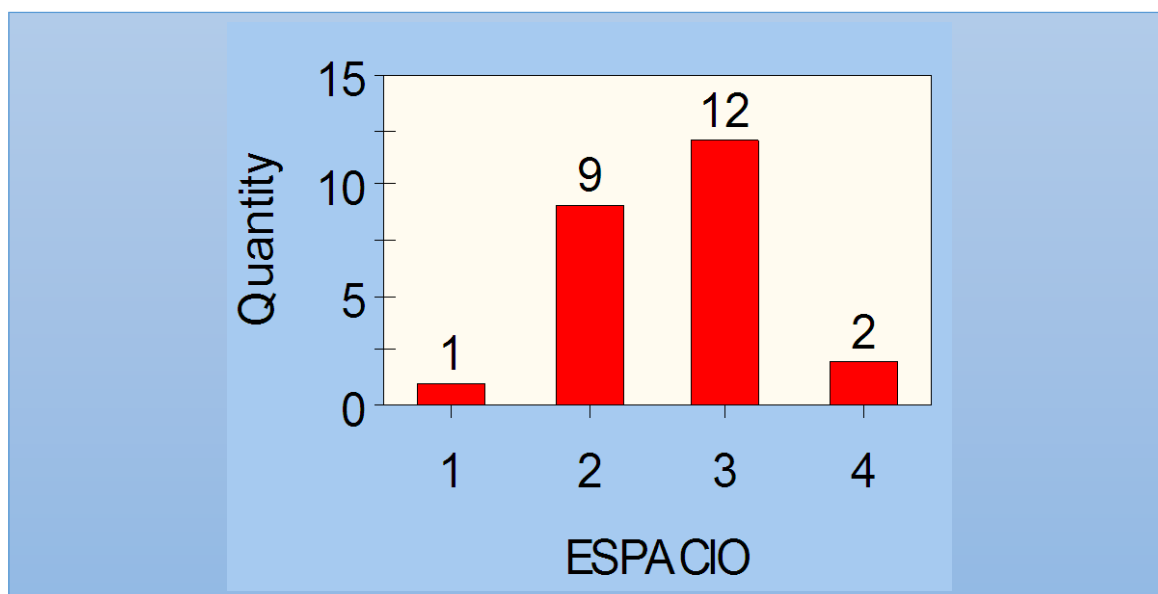


Figura 5. 27. Histograma de espaciado de familia 2.

Fuente. Autor de tesis.



Figura 5. 28. Histograma de persistencia de familia 2.

Fuente. Autor de tesis.

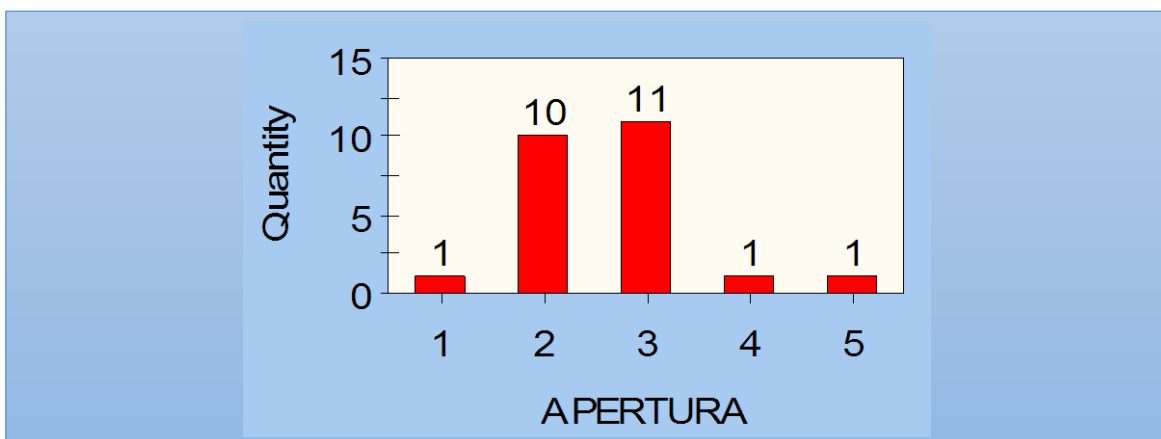


Figura 5. 29. Histograma de apertura de familia 2.

Fuente. Autor de tesis.

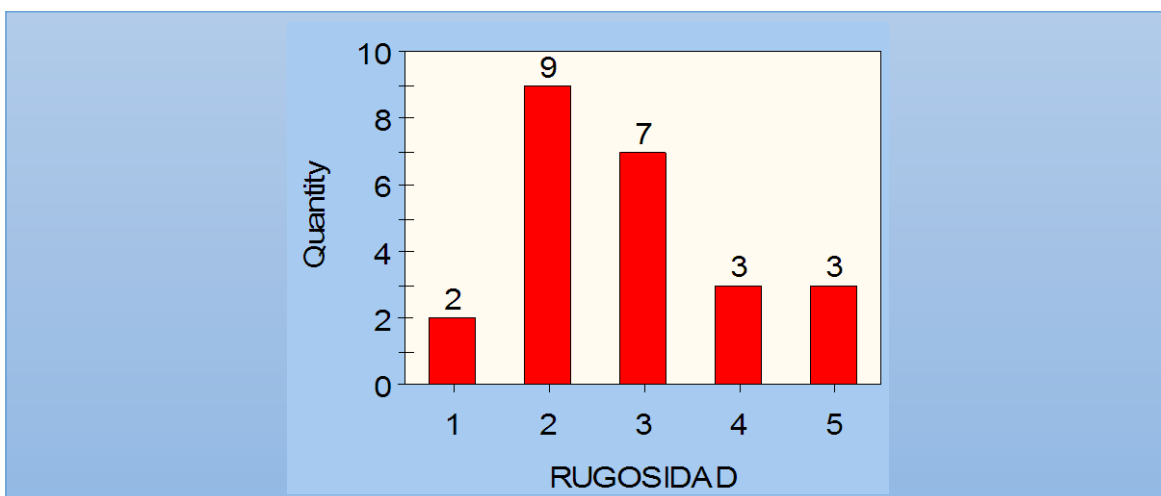


Figura 5. 30. Histograma de rugosidad de familia 2.

Fuente. Autor de tesis.

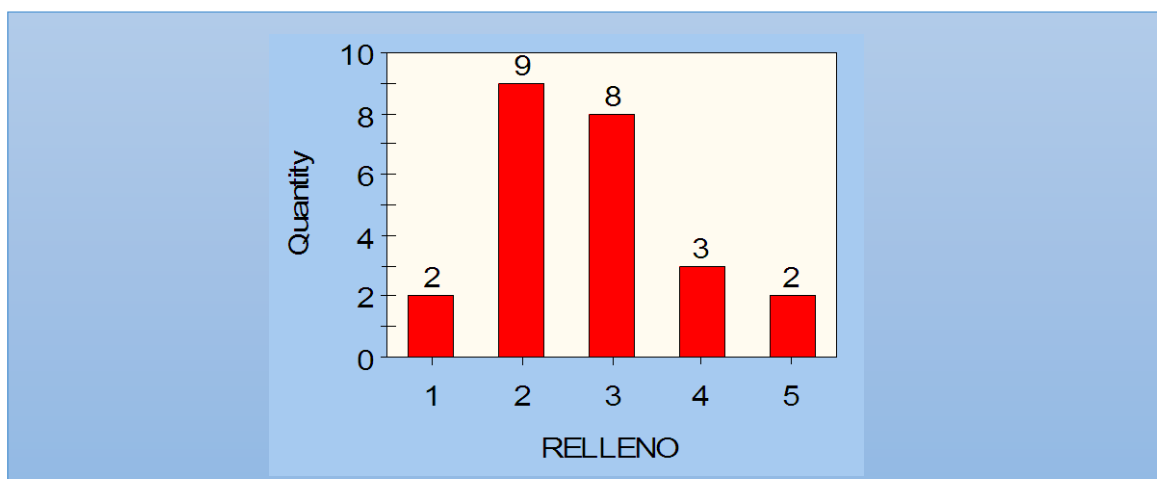


Figura 5. 31. Histograma de relleno espesor de familia 2.

Fuente. Autor de tesis.

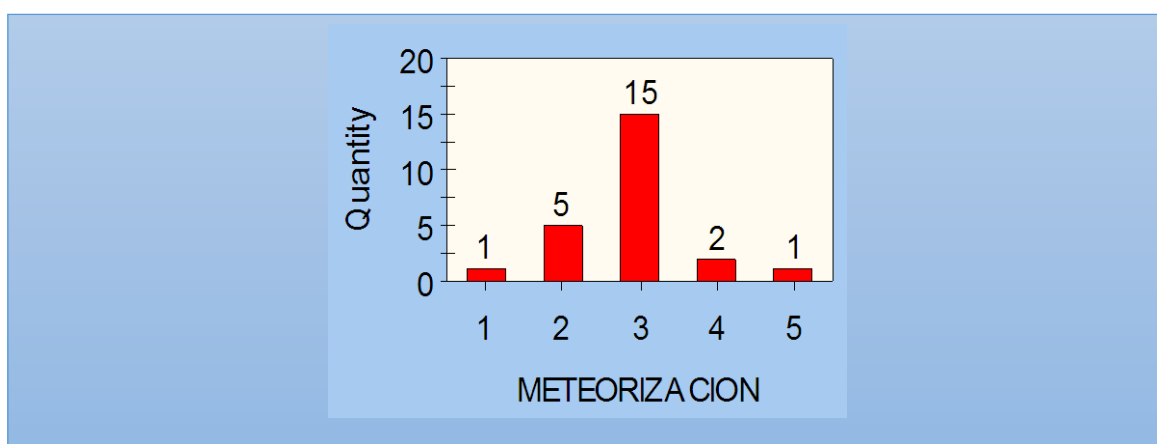


Figura 5. 32. Histograma de meteorización de familia 2.

Fuente. Autor de tesis.

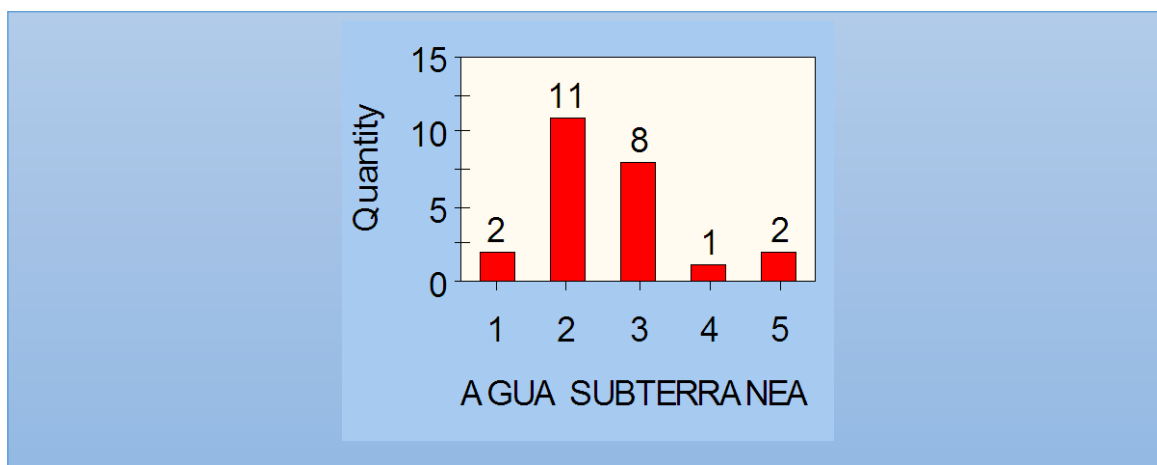


Figura 5. 33. Histograma de agua subterránea de familia 2

Fuente. Autor de tesis.

Tabla 5. 11. Registro simplificado de familia 3 progresiva 0 - 21 m de cantera La Unión, continuación.

N° DISC.	DIP	DIP DIR	SET	ESPACIADO	PERSISTENCIA	APERTURA	RUGOSIDAD	RELLENO	METEORIZACION	AGUA SUBTERRÁNEA
1	86	58	3	2	2	2	2	2	4	1
2	79	46	3	3	4	3	3	3	3	1
3	82	38	3	4	4	1	4	4	4	2
4	85	45	3	3	1	4	3	3	2	3
5	85	51	3	2	2	3	1	3	3	4
6	85	54	3	4	1	3	2	4	2	1
7	82	48	3	2	2	3	3	1	1	2
8	80	42	3	2	2	3	2	4	2	2
9	82	37	3	1	1	3	3	4	2	2
10	84	33	3	3	2	3	5	4	3	3
11	79	37	3	2	1	3	3	1	2	2
12	79	42	3	3	3	3	2	2	2	3
13	74	41	3	3	2	2	3	1	3	4
14	67	43	3	2	3	2	2	5	3	3
15	47	34	3	3	2	2	3	2	3	1
16	60	30	3	2	2	3	4	3	2	4
17	44	36	3	4	4	1	4	4	5	3
18	59	41	3	2	2	2	3	2	4	2
19	70	30	3	3	3	4	2	4	3	3
20	69	33	3	3	2	3	3	4	3	2
21	78	38	3	3	3	2	2	1	2	2
22	76	42	3	3	3	5	3	2	3	3

Fuente. Autor de tesis.

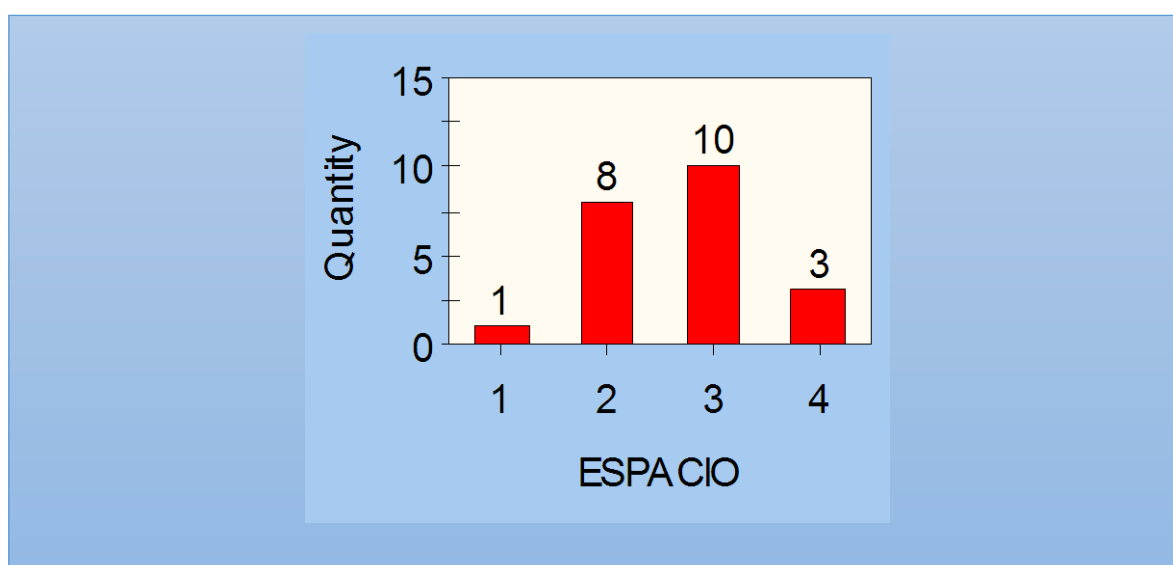


Figura 5. 34. Histograma de espaciado de familia 3.

Fuente. Autor de tesis.

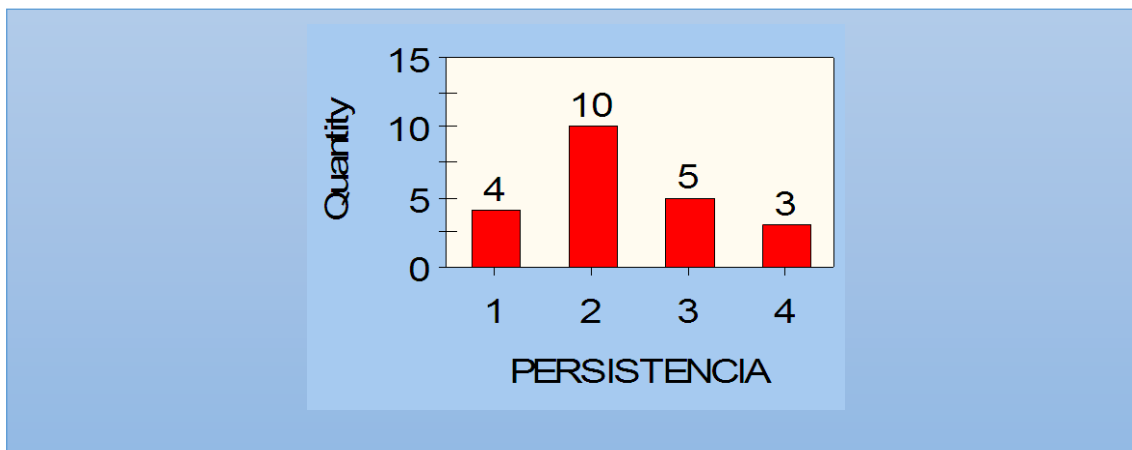


Figura 5. 35. Histograma de persistencia de familia 3.

Fuente. Autor de tesis.

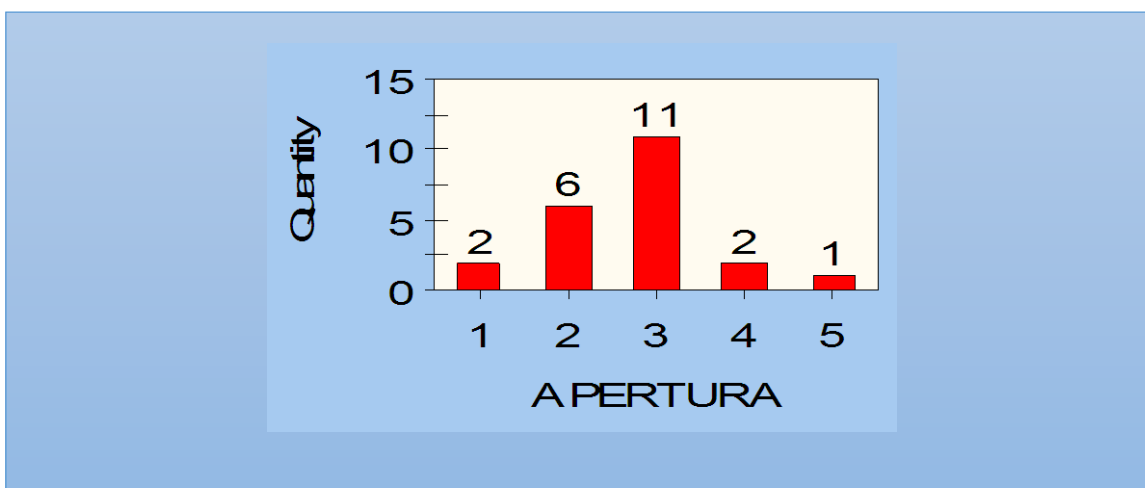


Figura 5. 36. Histograma de apertura de familia 3.

Fuente. Autor de tesis.

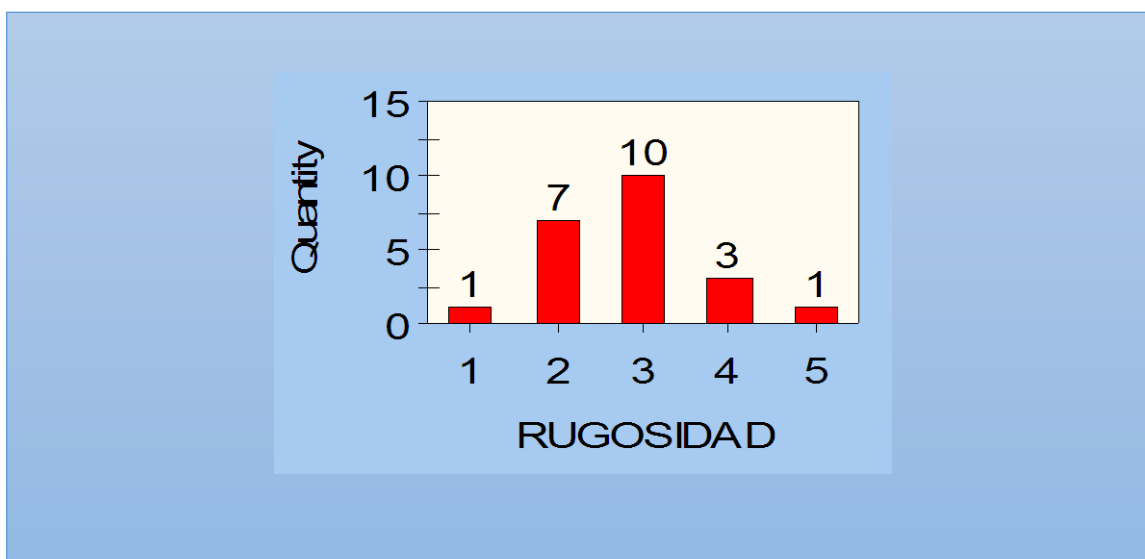


Figura 5. 37. Histograma de rugosidad de familia 3.

Fuente. Autor de tesis.

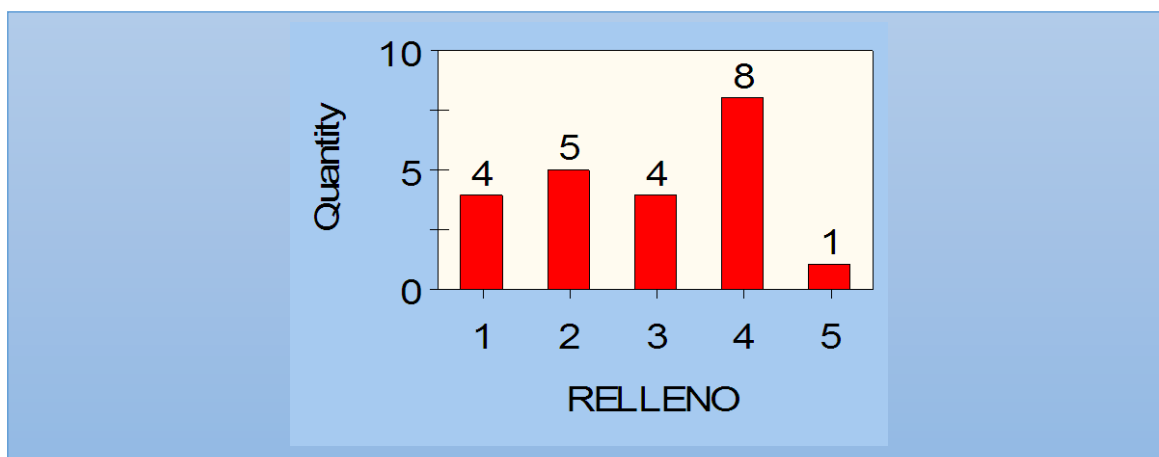


Figura 5. 38. Histograma de relleno espesor de familia 3.

Fuente. Autor de tesis.

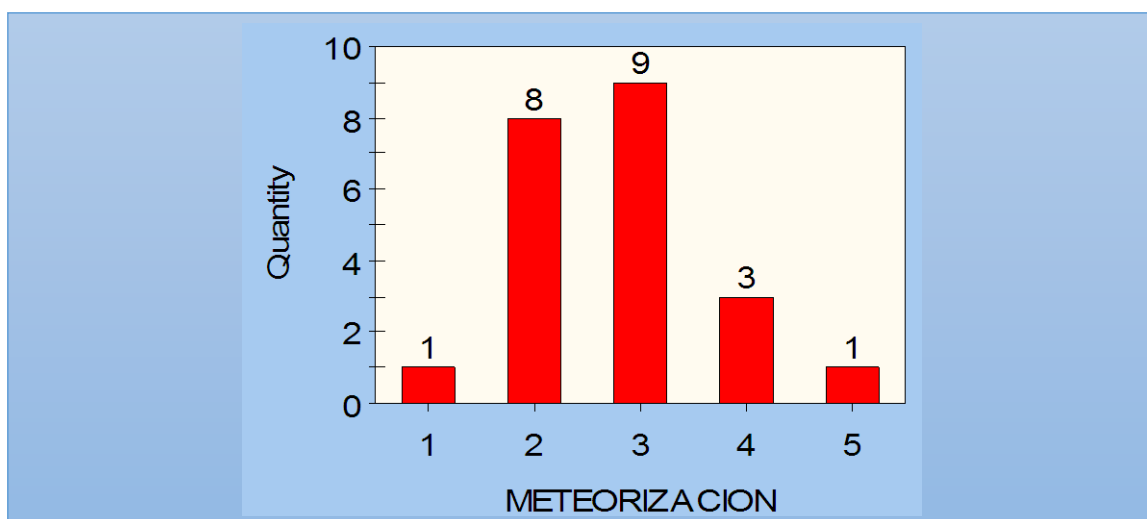


Figura 5. 39. Histograma de meteorización de familia 3.

Fuente. Autor de tesis.

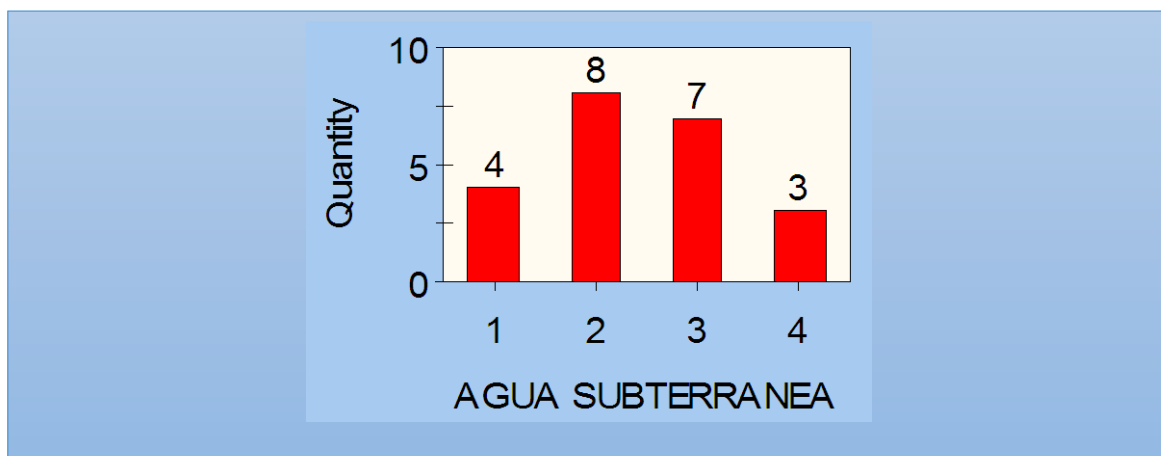


Figura 5. 40. Histograma de agua subterránea de familia 3.

Fuente. Autor de tesis.

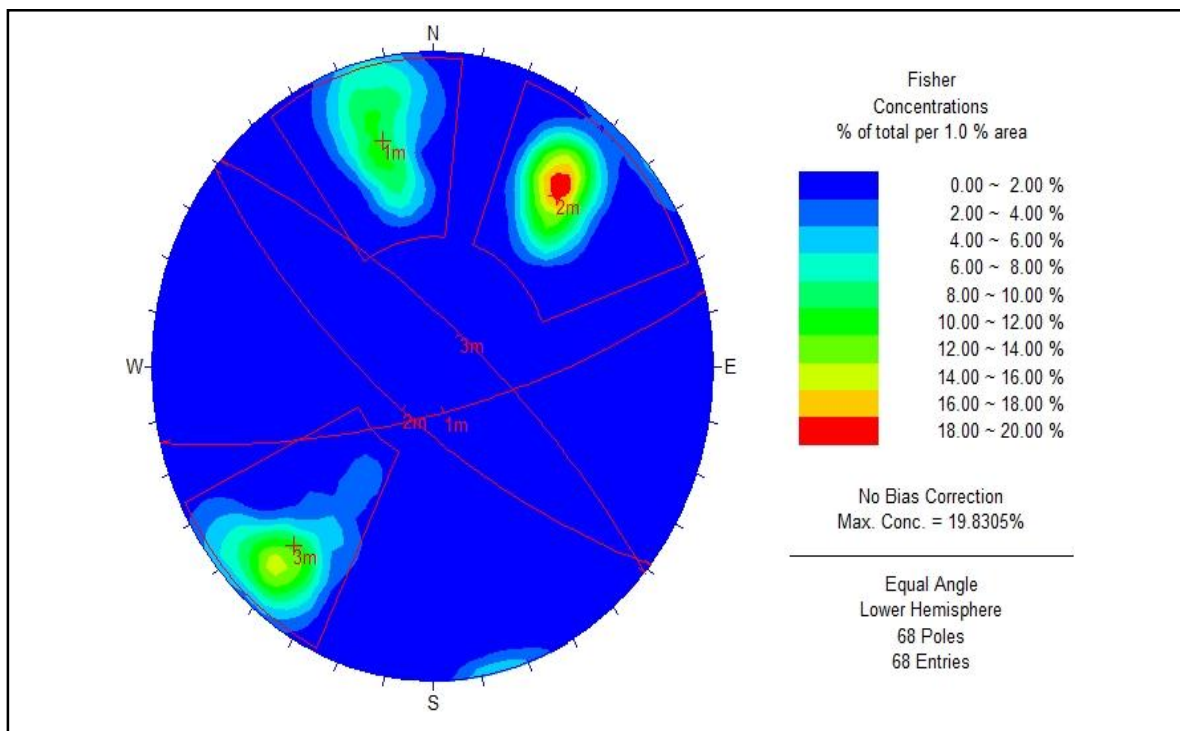


Figura 5. 41. Diagrama de concentracion de polos de **progresiva 0 - 21 m.**

Fuente. Autor de tesis.

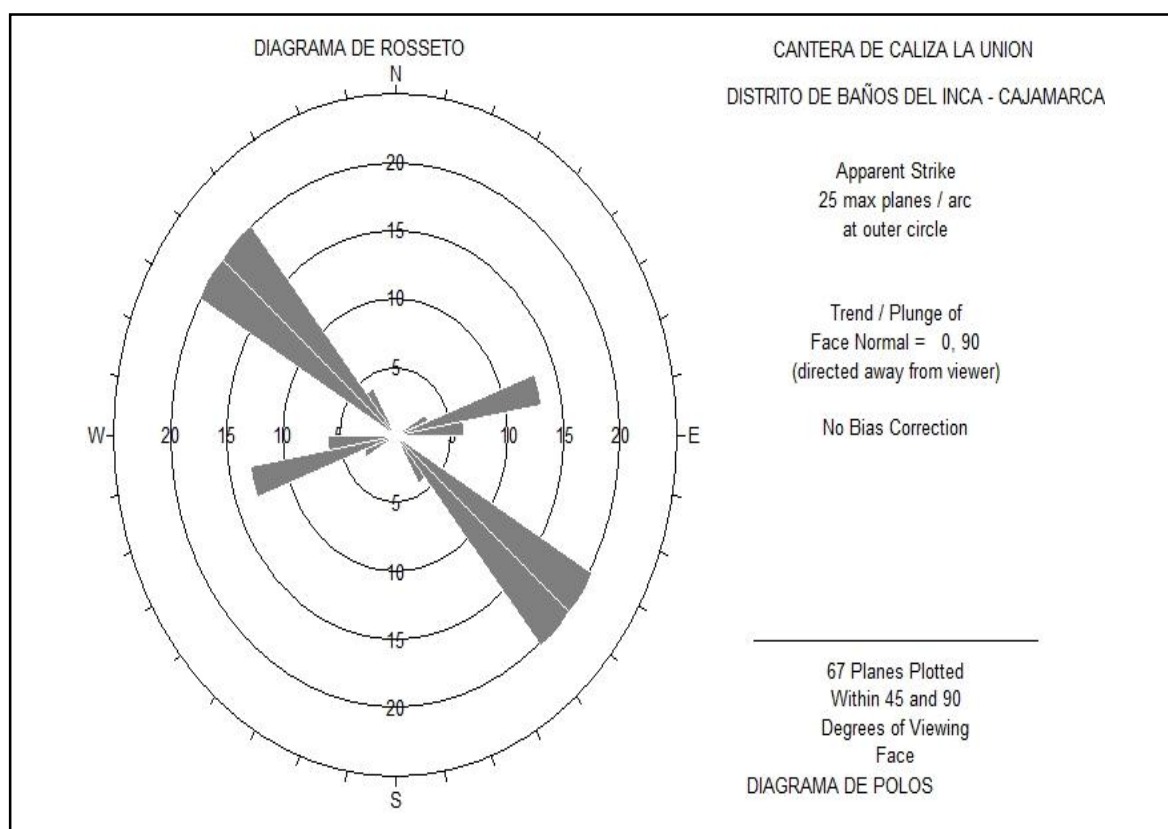


Figura 5. 42. Diagrama de rosseto de progresiva 0 - 21 m.

Fuente. Autor de tesis.

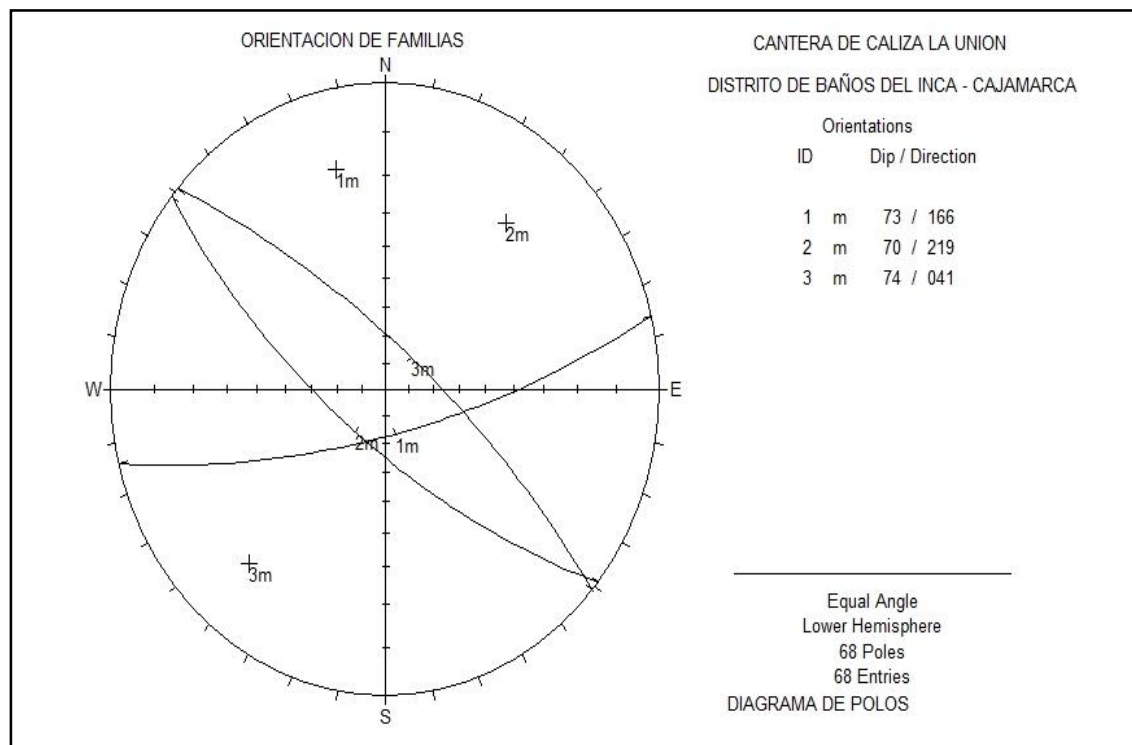


Figura 5. 43. Diagrama de concentración de polos de progresiva 0 - 21 m.

Fuente. Autor de tesis.

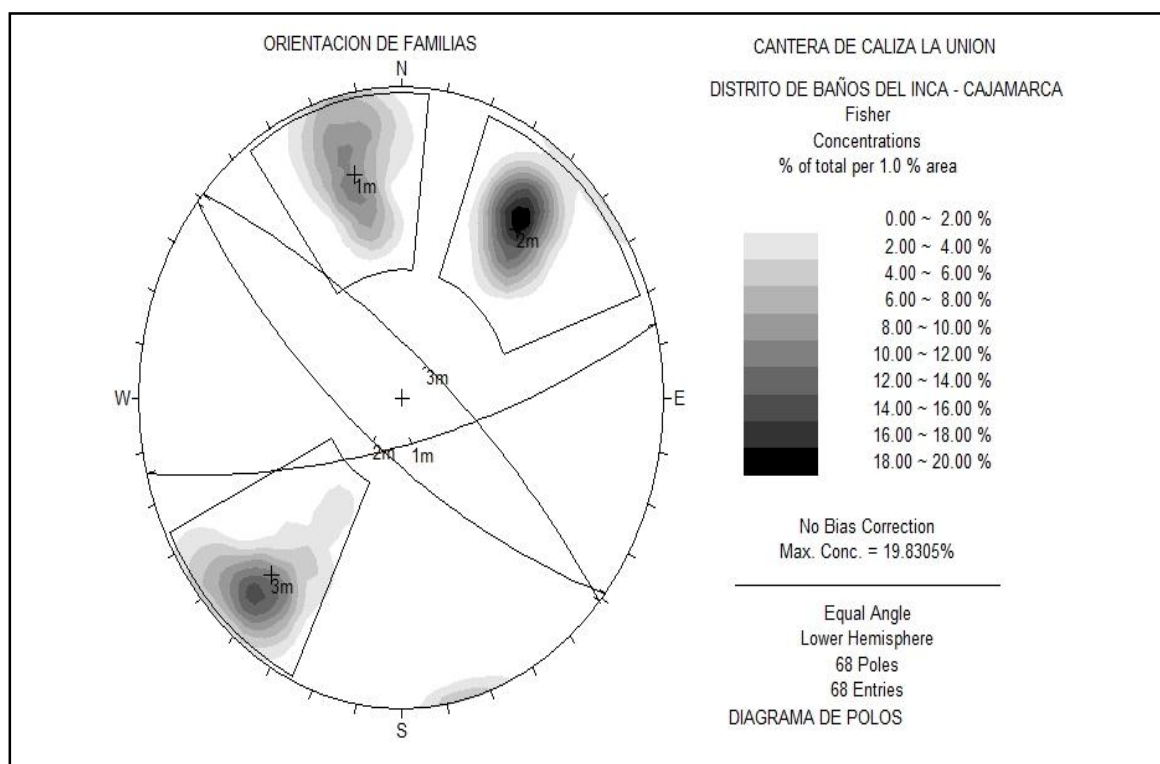


Figura 5. 44. Diagrama de concentración de polos y planos de progresiva 0 - 21 m.

Fuente. Autor de tesis.

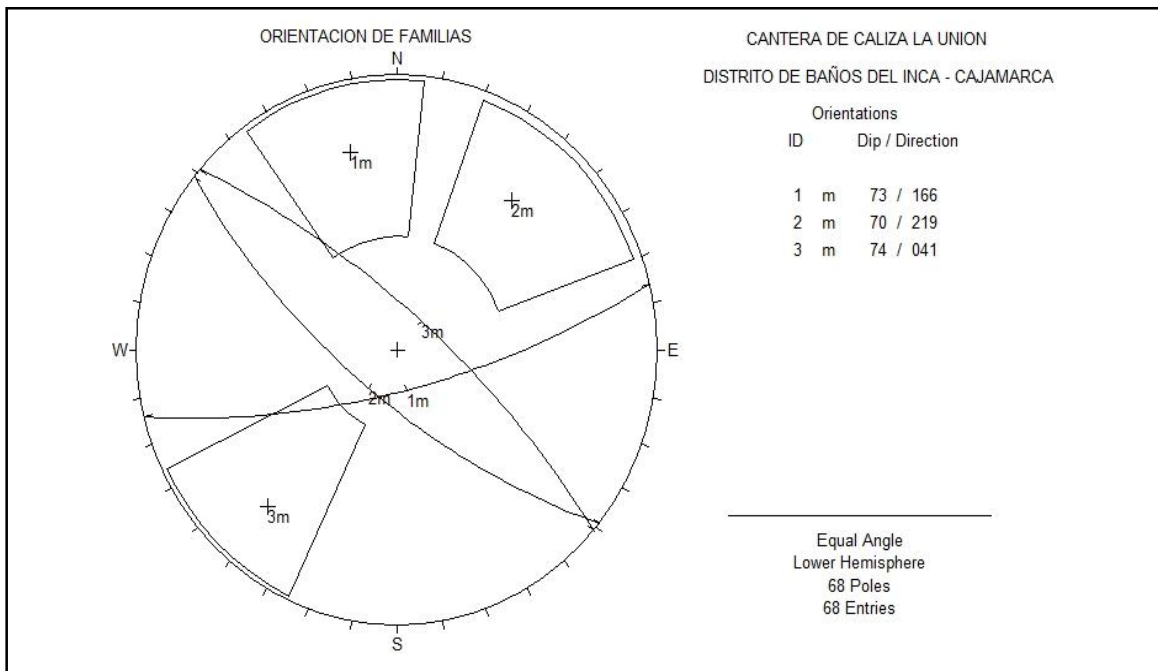


Figura 5. 45. Diagrama de planos de progresiva 0 - 21 m.

Fuente. Autor de tesis.

5.10 Determinación de RQD (Rock Quality Designation) progresiva 0 - 21m.

Para el cálculo de RQD (Rock Quality Designation). Priest and Hudson (1976), sugirió la estimación del índice RQD a partir de la frecuencia de discontinuidades λ , mediante la siguiente expresión que proporciona el valor teórico mínimo del RQD. Ver Figura 5.46.

$$RQD=100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda+1)$$

Donde:

λ = Número de discontinuidades por metro lineal.

El valor de λ se calcula en función al número total de diaclasas en la progresiva.

De acuerdo al consolidado de registro lineal se tiene:

Longitud total = 21 m.

Número de diaclasas = 68 diaclasa.

$$\lambda=68/21=3.238.$$

$$RQD =100e^{-0.1*3.238} (0.1*3.238+1).$$

$$RQD =100(0.72339) (1.3238).$$

$$RQD = 95.76\%.$$

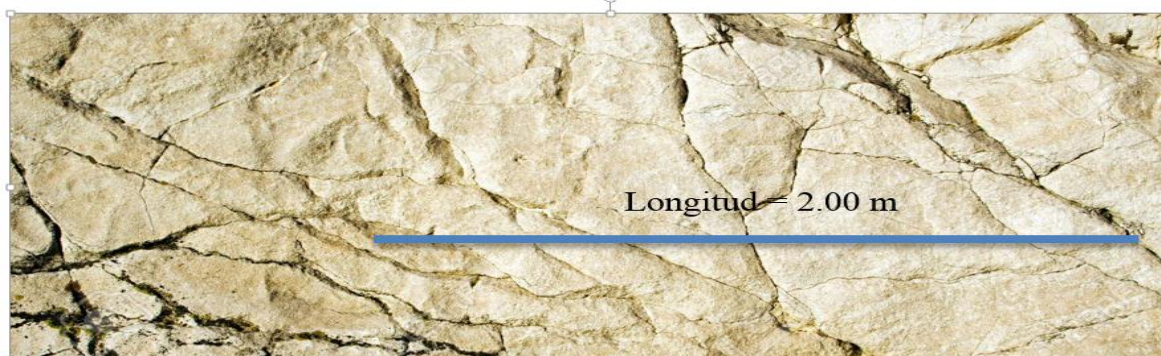


Figura 5. 46. Discontinuidades en metro lineal en afloramiento de caliza.
Fuente. Autor de tesis.

5.10.1 Evaluación geomecánica de cantera de caliza La Unión.

Se ha realizado el mapeo geomecánico de RMR de *Bieniawski* 1989 en la progresiva 0-21 m en los afloramientos de caliza meteorizada, ver Tabla. 5.12, Tabla. 5.13. Y Tabla. 5.14.

Tabla 5. 12. Resumen de dominio estructural progresiva 0 - 21m cantera de caliza La Unión.

Parámetro	PROGRESIVA 0 - 21 m			Progresiva 0 - 21
	Familia N° 1	Familia N° 2	Familia N° 3	
Orientación (Bz / DBz)	73/166	70/219	74/041	
Total discontinuidades en 1 m				
Espaciado	3	3	3	200 - 600 mm
Persistencia	2	3	2	1 - 3 m
Apertura	3	3	3	Ang 0.1 - 1.0mm
Rugosidad	4	2	4	lig. rugosa
Relleno	3	2	4	Suave < 5mm
Meteorización	3	3	3	Moderada
Agua subterránea	2	2	2	Húmedo


Fuente: Autor de tesis

Tabla 5. 13. Valores obtenidos con esclerómetro cantera de caliza La Unión.

Datos de k medidos con esclerómetro: Sentido horizontal	
N°	Progresiva. 0 - 42
1	42
2	39
3	39
4	41
5	42
6	44
7	39
8	38
9	39
10	35
Promedio = 39.8	

Fuente: Autor de tesis.

Tabla 5. 14. Parámetros geotécnicos (Propiedades físicas) de cantera de caliza La Unión.

 <i>Marcia Rojas Padilla</i> Servicios Especializados en Mecánica de Suelos Perforaciones en Diamantina, SPT, Cono Peck, Sistema Wash Boring, Fabricación e Instalación de Piezómetros y Ensayos Especiales In-Situ									
PARÁMETROS GEOTÉCNICOS-PROPIEDADES FÍSICAS									
PROYECTO:		PROPIEDADES FÍSICAS							
SOLICITANTE:		Cantera de caliza La Unión							
UBICACIÓN:		Cantera de caliza la Unión - Baños del Inca - Bancos de producción							
FECHA:		Enero de 2015							
MUESTRA:		Núcleos de roca intacta de caliza – Núcleos de caliza meteorizada							
Nº	ESPECIMEN	TIPO DE ROCA	ALTERACION	ZONA	% CO ₃ Ca	% SiO ₂	% MgO	% Fe ₃ O ₄	Densidad (Ton/m ³)
01	C-A	Caliza	No alterada	Margen derecho del tajo	51.05	1.80	1.45	0.28	2.52
02	C-B	Caliza.	No alterada	Margen izquierdo del tajo	50.88	1.10	1.98	0.10	2.51
03	C-C	Caliza.	No alterada	Banco de operación	51.89	0.69	1.25	0.18	2.51
04	C-D	Caliza.	No alterada	Banco de operación	50.65	1.43	1.05	0.32	2.50
05	C-M-1	Caliza.	Caliza meteoriz	Afloramie nto	52.01	0.54	2.01	0.25	2.40
06	C-M-2	Caliza.	Caliza meteoriz	Afloramie nto	61,31	1.28	2.03	0.28	2.42
07	C-M-3	Caliza.	Caliza meteoriz	Afloramie nto	61.45	1.32	2.12	0.23	2.48

Fuente: MRP Servicios especiales.

5.10.2 Resultados de resistencia compresiva uniaxial (RCU) con esclerómetro.

Tipo de roca = Caliza sin alteración.

$$Pe = D \times (g) = 2.51 (9.8 \text{ m/s}^2) = 24.598 \text{ KN/m}^3.$$

$$Pe = D \times (g) = 24.598 \text{ KN/m}^3.$$

$$Pe = 24.598 \text{ KN/m}^3.$$

$$\sigma_c = 10[(0.00088)(Pe)(Ir) + 1.01]$$

Donde:

σ_c = Resistencia compresiva uniaxial (RCU).

Ir (promedio horizontal) = 39.8.

Pe (peso específico)= 24.402 KN/m³.

$$\sigma_{c=10} = 10^{[(0.00088)(24.598)(39.8)+1.01]}$$

$$\sigma_{c=10} = 10^{[0.86152+1.01]}$$

$$\sigma_{c=10} = 10^{1.87}$$

$$\sigma_{c=74.13 \text{ MPa}}$$

5.10.3 Resistencia compresiva uniaxial (RCU) de especímenes.

La resistencia compresiva uniaxial se muestra en la Figura. 5.15. Realizado por MRP, Servicios especiales.

Tabla 5. 15. Datos de las muestras de laboratorio de MRP Servicios especiales.

<p><i>Marcia Rojas Padilla</i> Servicios Especializados en Mecánica de Suelos Perforaciones en Diamantina, SPT, Cono Peck, Sistema Wash Boring, Fabricación e Instalación de Piezómetros y Ensayos Especiales In-Situ</p> <p>PRUEBAS DE RESISTENCIA COMPRESIVA UNIAXIAL</p>					
PROYECTO:		RESISTENCIA COMPRESIVA UNIAXIAL DE MUESTRAS (RCU)			
SOLICITANTE:		Cantera de caliza La Unión			
UBICACIÓN:		Cantera de caliza la Unión - Baños del Inca - Bancos de producción			
FECHA:		Enero de 2015			
MUESTRA:		Núcleos de roca intacta de caliza – Núcleos de caliza meteorizada			
Nº	ESPECIMEN	TIPO DE ROCA	ALTERACION	ZONA	RCU MPa
01	C-A	Caliza	No alterada	Margen derecho del tajo	95.88
02	C-B	Caliza.	No alterada	Margen izquierdo del tajo	86.22
03	C-C	Caliza.	No alterada	Banco de operación	72.49
04	C-D	Caliza.	No alterada	Banco de operación	68.50
05	C-M-1	Caliza.	Caliza meteorizada	Afloramiento	51.18
06	C-M-2	Caliza.	Caliza meteorizada	Afloramiento	56.23
07	C-M-3	Caliza.	Caliza meteorizada	Afloramiento	50.34

Fuente: MRP Servicios especiales.

5.10.4 Evaluación comparativa de resultados de compresión simple realizados.

La resistencia compresiva uniaxial (RCU), por método indirecto o método no destructivo mediante esclerómetro es 74.13 MPa. La resistencia compresiva uniaxial (RCU) mediante el método destructivo de especímenes en laboratorio es 72.49 MPa. Lo que nos indica que hay una ligera diferencia de dos puntos sin embargo en la valoración para determinar el RMR de *Bieniawski* ambos tomaran una valoración de 7 puntos lo que nos demuestra la

diferencia de datos de campo y en laboratorio.

5.10.5 Determinación de calidad del macizo rocoso mediante RMR de Bieniawski 1989.

El índice RMR (*Rock Mass Rating*), determina la calidad del macizo rocoso, ver Tabla. 5.16, mediante la evolución de seis parámetros:

- Resistencia a la compresión uniaxial.
- R.Q.D. *Rock Quality Designation*.
- Espaciado de las discontinuidades.
- Condición de las discontinuidades.
- Condiciones hidrológicas.
- Ajuste por orientación de las juntas.

Tabla 5. 16. Rock Mass Rating (RMR) progresiva 0 - 21 cantera de caliza La Unión.

Presa de relaves: Progresiva 0 - 42 m.		
PARÁMETRO	VALOR	PUNTAJE
Resistencia compresiva uniaxial (RCU)	(72.49) o (74.13) MPa	7
RQD	95.76 %	20
Espaciado	200-600 mm	10
Persistencia	3 - 10	2
Apertura	0.1-1.00 mm	3
Rugosidad	Ligera rugosa	3
Relleno - espesor	Suave < 5mm	2
Meteorización	moderado	3
Agua subterránea	húmedo	7
RMR básico		57

Fuente: Autor de tesis.

5.10.6 Calidad de macizo rocoso de cantera de caliza La Unión.

La calidad del macizo rocoso es regular o media con RMR básico de 57 de acuerdo a los resultados de la evaluación geomecánica considerando los parámetros fundamentales para su valoración.

El valor de RMR en la tabla se tiene:

CALIDAD DE MACIZO ROCOSO	
TIPO	III
DESCRIPCION	Regular - media

- Cohesión: 200 - 300KPa.
- Ángulo de fricción interna: 25⁰ – 35⁰.

5.10.7 Especificaciones técnicas del macizo rocoso.

En la Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada (S.M.R.Ltda) “La Unión de Cajamarca” titular de la Concesión Minera no metálica “La Unión” Las especificaciones de la caliza varían con el uso final en el cual se aplique el mineral, estas especificaciones obedecen a sus características físicas y químicas logradas en el laboratorio. Las propiedades físicas son importantes en la utilización directa del material para la obtención de la cal, se ha tenido un especial cuidado de determinar las características físicas y químicas la densidad de la caliza mediante una recolección de muestras representativas los resultados indican una variación de 2,40 a 2,52 TM/m³, la resistencia compresiva uniaxial varia de 50.34 MPa a 95.55 MPa.

5.11 Factores para la optimización de plan de minado para una producción de 63 TM/día.

La ejecución del presente plan de minado permitirá realizar labores de desarrollo, exploración, preparación y explotación, lo cual nos permitirá determinar el logro de las metas proyectadas, que son primordiales para la producción de mineral no metálico de caliza haciendo la determinación de la calidad del macizo rocoso, la reservas minerales, cubicación, llevar un mejor control de la producción, avances lineales, consumo de insumos y materiales, máquinas, entre otros.

5.11.1 Reservas minerales de cantera de caliza La Unión.

Existen reservas minerales prospectivas que pueden incrementar las reservas minerales sin embargo para la optimización del plan de minado para una capacidad de calcinación de 63 TM/día de caliza. Se han tomado en cuenta las reservas minerales de 858 972.000 TM.

5.11.2 Ciclo de operaciones unitarias para obtención de mineral no metálico de caliza.

Comprende todos los procesos que se realizan en la cantera a partir de los cuales se obtiene la piedra caliza, materia prima de este proceso. Dichos procesos consisten en:

- Perforación.
- Voladura.
- Carguío.

- Transporte.
- Trituración manual (combazos).

5.11.3 Equipo para la operación minera.

- Perforadora tipo martillo.
- Equipo de voladura.
- Excavadora.
- Cargador frontal.
- Volquetes *volvo FM 440* de 15 cubos.

5.11.4 Perforación.

Diariamente se realizan 10 perforaciones separadas a 2m, las cuales tendrán una profundidad de 1.80 m. La perforación se la lleva a cabo en forma secuencial en un macizo rocoso de calidad media o regular de RMR 57. El proceso de perforación se observa en Figura. 5.47.



Figura 5. 47. Proceso de perforación con martillo Jack hammer en cantera de caliza La Unión
Fuente. Autor de tesis

5.11.5 Perforadora convencional neumático.

Es el martillo actual de perforación *Atlas Copco* seco (sin agua) tipo *Jack Hammer*, Son perforadoras usadas para la construcción de piques, excavaciones superficiales, canales abiertos, etc.

Realizan la perforación vertical o inclinada hacia abajo; el avance se da mediante el peso propio de la perforadora.

5.11.6 Factores de los que depende la ubicación e inclinación de los taladros.

- **Clase de terreno donde se va a perforar.** Los materiales que constituyen los macizos rocosos poseen ciertas características físicas que son función de su origen y de los procesos o geológicos posteriores que sobre ellos han actuado. El conjunto de estos fenómenos conduce a un determinado entorno, a una litología particular con unas heterogeneidades debidas a los agregados minerales. y a una estructura geológica en un estado tensional característico, con un gran número de discontinuidades estructurales (planos de estratificación, fracturas, diaclasas, juntas, etc). El macizo rocoso de caliza de calidad media o regular tiene un RMR 57.
- **Grado de fragmentación.** Se refiere al tamaño que debe tener el material ya volado. En general cuando más cerca se sitúan los taladros unos de otros, habrá mayor fragmentación; en un tajeo los taladros verticales producen mayor fragmentación que los horizontales.
- **El equipo de perforación.** Aquí también hay que tener en cuenta la habilidad y destreza del perforista, pues hay ciertos tipos de trazos inclinados que resultan difíciles de perforar y a veces el uso de determinados equipos de perforación, sobre todo en la perforación de arranques y cueles donde tiene que dárseles la inclinación correcta.

5.11.7 Trazo de la malla de perforación.

La malla de perforación es de 2.00 m x 2.00 m.

5.11.8 Disparo simultáneo y rotativo.

Cuando se disparan los taladros juntos, se dice que el disparo es simultáneo pero si se disparan sucesivamente, de acuerdo a un orden de encendido previamente establecido el disparo será rotativo. El objeto del disparo rotativo es la formación y ampliación de las caras libres, razón por la cual se usa este sistema en los trabajos de la mina, ya que los frentes solo presentan uno o dos caras libres.

Cara libre, Es el lugar hacia el cual se desplaza el material cuando es disparado, por acción del explosivo, considerando la carga explosiva y la altura del banco, ver Figura. 5.48

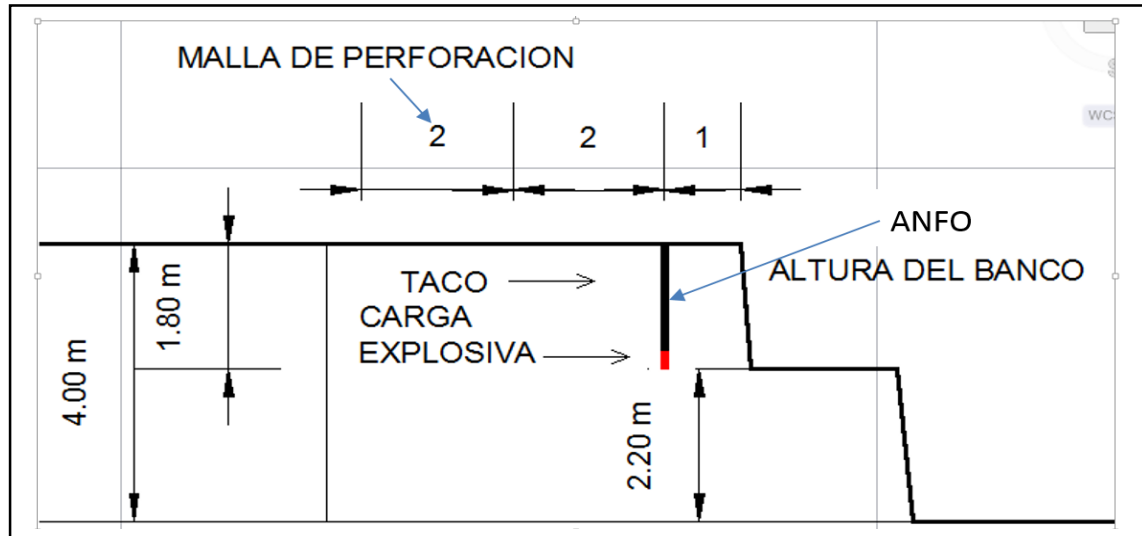


Figura 5. 48. Banco en cantera de caliza La Unión.

Fuente. Autor de tesis.

Malla de perforación propuesta para una calidad de macizo rocoso regular media RMR 57 en cantera de caliza La Unión – Baños del Inca, ver Figura. 5.49.

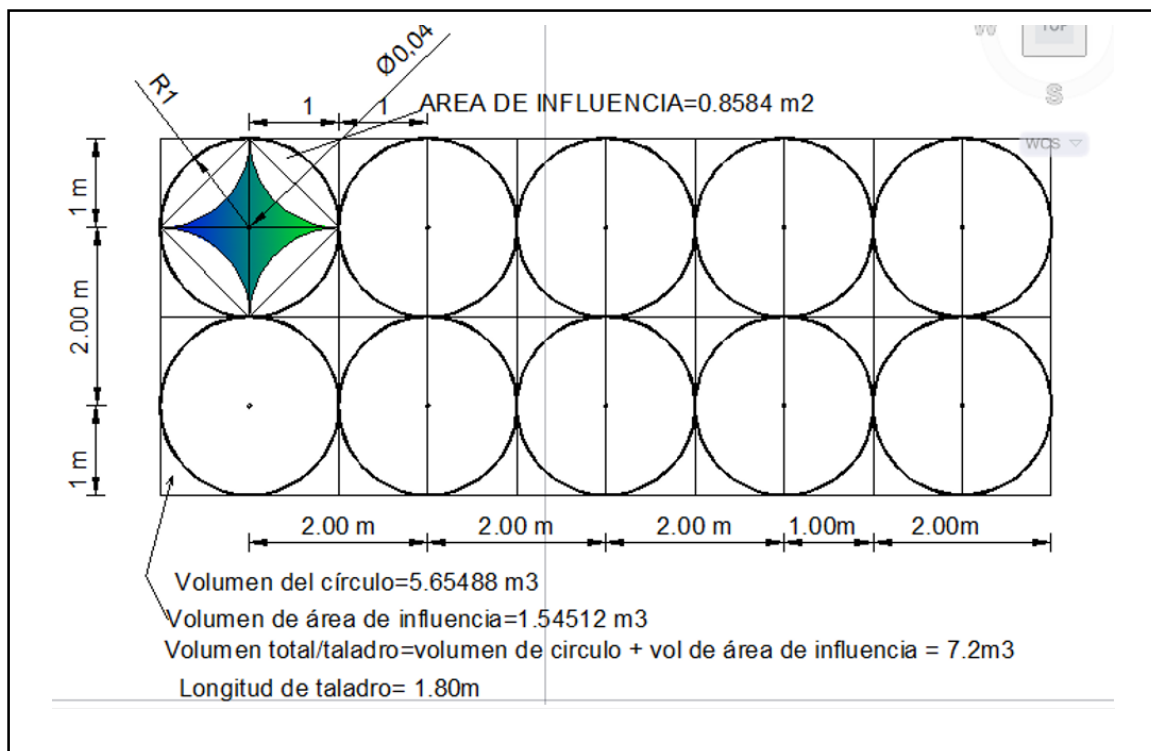


Figura 5. 49. Malla de perforación propuesta para RMR 57 en cantera de caliza La Unión – Baños del Inca.

Fuente. Autor de tesis.

5.11.9 Voladura.

Una vez que se llega a la profundidad de 1.80 m en todos los taladros se coloca el explosivo que consta de:

- Un taco de dinamita.
- Fulminante con mecha lenta.
- ANFO.

Se coloca primero el dinamita, después un fulminante con mecha lenta, se lo rellena con nitrato disuelto una longitud de 1.20 m y por último el resto de la longitud se tapa con taco.

5.11.10 Volumen.

El volumen de cada detonación se lo obtiene de acuerdo al radio de acción que fue dato medido en la cantera.

Usando la ecuación:

Con un radio 1.00 m y una profundidad de 1.80 m.

$$V_1 = (\pi) \times (r^2) \times (h).$$

$$V_1 = 3.1416 \times (1.00)^2 \times 1.80 \text{ m}$$

$$V_1 = 5.65488 \text{ m}^3.$$

Área de influencia. El área de influencia se ha determinado haciendo uso de Auto CAD convirtiendo en poli línea las cuatro esquinas del cuadrilátero que rodea al cilindro de radio 1.00 m aplicando el comando área resulta 0.8584 m^2 .

$$V_2 = \text{Área de influencia} \times 1.80 \text{ m.}$$

$$V_2 = 0.8584 \text{ m}^2 \times 1.80 \text{ m.}$$

$$V_2 = 1.54512 \text{ m}^3.$$

$$\text{VOLUMEN taladro} = V_1 + V_2.$$

$$V_t = 7.2 \text{ m}^3.$$

V_t = Volumen en banco por taladro.

$$V_T = \text{Volumen total}$$

$$V_T = V_t \times N^\circ \text{ de taladros con barrenos integrales, ver Figura. 5.50.}$$

$$V_T = 7.2 \text{ m}^3 \times 10 \text{ taladros}$$

$$V_{Tb} = 72 \text{ m}^3 \text{ en banco}$$

V_{Ts} = Volumen total banco + volumen por factor de esponjamiento de 69.48%, ver Tabla 5.17

$$V_{Ts} = 72\text{m}^3 + 49.30 \text{ m}^3$$

$$V_{Ts} = 121.30 \text{ m}^3.$$



Figura 5. 50. Barrenos integrales.

Figura. 5.50. Barrenos integrales.

Colector de polvo. El colector de polvo DCT funciona sobre la base del principio de eyección, que crea una sub presión en todo el sistema de filtros. Ya que el eyector está integrado en la unidad del filtro, no puede dañarse por causas externas o por el polvo generado durante la perforación.

Tabla 5. 17. Factor de esponjamiento en función a densidades en banco y suelto.

MATERIAL		d_L (t/m ³)	d_B (t/m ³)	S_w (%)	F_w
Caliza		1,54	2,61	70	0,59
Arcilla	Estado natural	1,66	2,02	22	0,83
	Seca	1,48	1,84	25	0,81
	Húmeda	1,66	2,08	25	0,80
Arcilla y Grava	Seca	1,42	1,66	17	0,86
	Húmeda	1,54	1,84	20	0,84
Roca Alterada	75% Roca - 25% Tierra	1,96	2,79	43	0,70
	50% Roca - 50% Tierra	1,72	2,28	33	0,75
	25% Roca - 75% Tierra	1,57	1,06	25	0,80

Fuente: Construcciones industriales - Cherne T.J. Gonzales A.A. 2008.

5.11.11 Carguío.

La operación de carguío de caliza después de la voladura y trituración se realiza con excavadora CAT 325D capacidad de cucharón 1.4m³.

5.11.12 Equipos de carguío.

El carguío es con excavadora hidráulica CAT 325DL, ver Figura. 5.51 y Tabla. 5.18.



Figura 5. 51. Excavadora CAT 325DL.

Fuente. Autor de tesis.

Tabla 5. 18. Características del equipo excavadora hidráulica CAT 325 DL.

Características del equipo excavadora hidráulica CAT 325 DL		
CAT 325 DL		Características
1	Marca.	Caterpillar
2	Modelo.	235 DL
3	Capacidad de cuchara.	1.4 m ³
4	Modelo de motor.	Motor C7 Cat con
5	Potencia neta.	152 Kw 204 HP
6	Peso en orden de trabajo.	152 Kw 204 HP
7	Pluma de alcance, brazo.	2CB2(10 pies) pulg)
8	Longitud de envío.	14.38 m
9	Alcance max. de nivel del suelo.	10.12 m
10	Profundidad max. de excavación.	6.15 m
11	Altura max de corte.	10.34 m
12	Altura de embarque.	3.23 m

Fuente. Autor de tesis.

5.11.13 Transporte en cantera de caliza La Unión.

El transporte se realiza en dos volquetes *Volvo FM 440* capacidad de 15 cubos, ver Figura 5.52. Para determinar alcance o recorridos de transporte es necesario considerar equipos de base fija cargan en un punto y luego rotan en torno a su centro para descargar en otro punto. La máxima distancia horizontal sobre la cual un equipo puede cargar o botar el material se define como su alcance. La geometría del depósito a excavar es el factor primario para determinar el alcance requerido por el equipo. Los recorridos de transporte se refieren a las distancias y pendientes que deben recorrer equipos móviles. Tanto para las unidades de

transporte como para aquellas que combinan el carguío con el transporte, hay cierta distancia que debe ser recorrida para llegar al punto de descarga. Sin embargo, esta distancia no es necesariamente una línea recta. En el caso de una mina subterránea, la configuración espacial de las excavaciones determinará la distancia total a recorrer, aunque esto también puede verse afectado por factores tales como la ventilación y la disponibilidad de energía eléctrica, mientras que en una mina a cielo abierto, la principal consideración es la topografía. Los límites de la propiedad y el derecho a vía legal pueden también afectar estas distancias.

Fuente. Fuente: SMR Ltda. La Unión.

5.11.14 Evaluación de capacidad de equipos de acarreo de cantera caliza La Unión.

El equipo de acarreo o transporte propuesto en cantera de caliza La Unión es un volquete



Figura 5. 52. Volquete Volvo FM 440 de 15 cubos de capacidad. marca *Volvo FM 440* de 15 metros cúbicos de capacidad, estos equipos son los que transportan las la roca fragmentada de caliza hacia la planta de calcinación, ver Tabla. 5.19.

Volquete Volvo FM 440. Las características del volquete se detallan en Tabla. 5.20.

Tabla 5. 19. Características del volquete Volvo FM 440.

MARCA – MODELO	<i>VOLVO FM 440</i>
Transmisión.	6*4 cubo solar
Capacidad.	15 m ³
Caja.	R 1700
Sistema.	Electrónico
Dirección.	Hidráulica
Consumo de combustible/hora.	3 galones/hora

Fuente: SMR Ltda. La Unión.

Tabla 5. 20. Factores para el movimiento de caliza fragmentada.

Factores <i>Volvo FM 440</i> (Movimiento de tierras)	
Factor de esponjamiento.	70%
Número de unidades.	2
Distancia promedio (ida + vuelta).	16000 m
Ciclos de volquete (24 ida + 16 retorno).	40 min
Ciclos de volquete / hora.	1.32
Guardia.	3.5 h
Número de guardias/día.	1
Velocidad con carga.	20km/h
Velocidad sin carga.	30km/h
Tiempo (encuadre, carguío, descarga, ida y retorno).	5 ciclos

Fuente. Autor de tesis.

5.11.15 Evaluación de tiempos óptimos de ida, descarga, retorno y carguío completo de volquete de 15 m³.

Según Castro M.J.E.(2011), Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP “Desarrollo de un modelo para la aplicación de simulación a un sistema de carguío y acarreo de desmorte en una operación minera a tajo abierto” (pp. 62-67), es necesario un especial atención en la medición de tiempos, el tiempo de retorno no puede ser igual al tiempo de ida porque el tiempo de ida se considera cuando el volquete está cargado de caliza mientras de retorno el volquete retorna vacío considerando estos aspectos el tiempo de retorno es lento repercute directamente en gasto de combustible, es decir el tiempo de retorno vacío debe ser menor al tiempo de ida cargado, el valor de los tiempos se observan en Tabla. 5.21 y Tabla. 5.22.

Tabla 5. 21. Tiempo de ciclo de carguío con excavadora hidráulica.

Tiempos de ciclo completo de acarreo de un volquete <i>Volvo FM 440</i> de 15 m ³ para recorrido total de 16 km (ida 8 km + vuelta 8 km).					
Nº	Tiempo de ida (minutos).	Tiempo de descarga (minutos).	Tiempo de retorno (minutos).	Tiempo de encuadre carguío (minutos).	Tiempo total del ciclo (minutos).
1	24.38	1.2	15.41	1.89	42.88
2	24.7	1.22	15.65	2.07	43.64
3	24.2	1.23	16.38	1.8	43.61
4	23.37	1.25	16.33	1.9	42.85
5	23.92	1.31	15.67	2.19	43.09
6	24.2	1.2	15.56	2.18	43.14
7	23.85	1.3	15.58	1.99	42.72
8	23.89	1.2	15.65	2.05	42.79
9	23.96	1.21	16.15	2.01	43.33
10	23.86	1.49	15.59	2.21	43.15
PROMEDIO	24.033	1.261	15.797	2.029	43.12

Fuente: Autor de Tesis.

Tabla 5. 22. Tiempo de encuadre y de carguío con excavadora hidráulica.

N ^a	Tiempo de encuadre-minutos	Tiempo de carguío-minutos	Total encuadre carguío - minutos
1	1.1	1.2	2.3
2	1.05	1.31	2.36
3	1.04	1.15	2.19
4	1.04	1.23	2.27
5	1.01	1.19	2.2
Promedio	1.048	1.216	2.264

Fuente: Autor de Tesis.

5.12 Ciclo completo de trabajo de volquetes para transporte de calizas fragmentadas.

Según Vidal L.M.A. (2010), de Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).”Estudio de cálculo de flota de volquetes para operación minera a cielo abierto” (pp. 56-58). El ciclo completo de trabajo de volquetes que transportan la roca de caliza fragmentada se puede estimarse en minutos para calcular dicho ciclo de trabajo de volquetes, tal como se observa en Tabla. 5.23.

Tabla 5. 23. Ciclo completo de trabajo de volquetes.

Ciclo completo de trabajo de volquetes para caliza (Morgan y Peterson 1968)				
ITEM	Descripción	Símbolo	Unidad	Cantidad
01	Tiempo de acomodo de pala (excavadora).	TAP	min	1.00
02	Tiempo de carguío de camión (volquete).	TCC	min	1.22
03	Tiempo de viaje cargado (ida).	TVC	min	24,03
04	Tiempo de acomodo en el descargue.	TAD	min	0.80
05	Tiempo de descargue.	TDD	min	1,26
06	Tiempo de retorno vacío.	TDR	min	15.79
07	Tiempo demora promedio del ciclo de acarreo.	DPC	min	1.50
CTC	TAP+TCC+TVC+TDA+TDD+TDR+DPC			45.6

Fuente. Autor de Tesis.

5.12.1 Consideraciones técnicas para producción diaria óptima en cantera de caliza

La Unión.

Según Vidal L.M.A. (2010), de Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).”Estudio de cálculo de flota de volquetes para operación minera a cielo abierto” (pp. 56-58). Actualmente se trabajan 01 guardia por día, de 8 horas de trabajo, con una eficiencia de 55% se tendrían 4.4 horas por día. El Porcentaje de esponjamiento que se ha considerado es: 68.48%. Factor de llenado del volquete: 60%, el número de ciclos de carguío: De acuerdo a la combinación excavadora, volquete se tiene 5 pases o 5 ciclos de carguío, el cargado de los volquetes con mineral de caliza.

5.12.2 Cálculo de ciclos para producción diaria caliza en m³.

El tiempo de ciclo para una producción diaria puede dividirse en dos componentes principales. La primera componente la constituyen todas aquellas operaciones que tienen una duración relativamente constante de una aplicación a la próxima: Virar, cambiar de posición, descargar y cargar. Los valores estimados del tiempo necesario para realizar cada una de estas funciones pueden obtenerse generalmente de la documentación del fabricante del equipo. La componente variable del ciclo, está asociada con el tiempo de viaje para equipos móviles y con el tiempo de giro en el caso de equipos de base fija, se ha tomado el total de tiempo carguío acarreo, considerando tiempo de acomodo y demoras imprevistas (Vidal L. M. A. 2010 PUCP). Esta técnica es aplicable para la cantera de caliza La Unión, el tiempo de ciclo es 45.6.

Nº de ciclos= 60 min/ ciclo de trabajo.

- Ciclo de trabajo = 45.6 min.
- Nº de Ciclos = 60 min/45.6 min.
- Nº de ciclos = 1.32.

Total de horas trabajadas = (8 h) x 55% de eficiencia = 4.4 h.

Total horas trabajadas = 4.4 h.

Si cada volquete puede transportar 15 m³ considerando factor de llenado de 60% roca fragmentada de caliza con trituración con combas resultan 9 cubos aproximadamente. Es decir el volquete transporta 9.00 metros cúbicos de caliza fragmentada hacia la planta de calcinación.

5.12.3 Cálculo de producción en metros cúbicos de caliza.

La producción de caliza se ha estimado de acuerdo al número de ciclos en función a horas de trabajo.

Producción diaria con un solo volquete:

P.D.=1.32 ciclos x 9 m³ (promedio) x 1 volquete x 4.4 h = 52 m³/día de caliza.

Producción mensual (PM) en m³.

P.M. con un volquete.

P.M.= $52 \text{ m}^3 \times 25 \text{ días trabajadas} = 1300 \text{ m}^3$ de caliza fragmentada/mes.

5.12.4 Tonelaje de caliza puesta en cancha de horno de calcinación por día.

TM/día = 52 m^3 de caliza x densidad suelta.

- Densidad suelta = 1.54.
- Densidad en banco = 2.51.

TM/día = 52 m^3 de caliza x 1.54.

TM/día = 80 ton de caliza.

5.13 Evaluación de programa de producción y plan de minado para una producción de 63 TM/día.

La producción lograda en el periodo de prueba de octubre a diciembre de 2015 es de 80 TM/día de caliza puesta en cancha de horno de calcinación es mayor que una capacidad de calcinación de los dos hornos, es necesario considerar que la producción de caliza es durante 6 días de la semana mientras el horno trabaja los 7 días de la semana, la cantidad de producción diaria, durante 6 días es de 480 TM el horno requiere durante la semana 441 toneladas de caliza hay 19 TM en exceso que se acumula en la cancha.

5.14 Vida de la mina de acuerdo a la capacidad actual de calcinación de 63 TM/día.

El tiempo de vida de la mina, en la etapa de operación está determinado en función a su reserva y el consumo estimado proyectado con un promedio anual, mostrando el siguiente resultado. Para determinar el tiempo de vida de una mina, en la etapa de explotación u operación se determina en función a la reserva calculada y desarrollo o consumo de la veta mediante una estimación con un promedio anual. Los cálculos se muestran a continuación de la siguiente manera:

Vida útil de la Mina (operación) = Reservas / (Producción anual).

- Reservas : 858 972.00 TM.
- Producción anual : 18 900.00 TM/año.
- Producción mensual : 1 575 TM/mes.

- Producción diaria : 63 TM/día.
- Tiempo de vida (operación) : 45 años.

Vida útil de la Mina (operación) = $858\,972.00 \text{ TM} / (18\,900.00 \text{ TM/año})$.

Vida útil de la Mina (operación) = 45 años.

5.15 Ganancias logradas con la optimización de la producción de 63 TM/día.

Para la producción 63 TM/día de óxido de calcio de la cantera “La Unión” los costos de operación se estiman en US \$ 21,220, con ingresos mensuales de US \$ 42,248.00. Obteniéndose una rentabilidad de US \$ 21,028.00.

Si se compara con la producción sin optimización se ha incrementado la ganancia en el doble con una rentabilidad de US \$ 21,028.00.

5.16 Proceso de obtención de cal.

Extracción. Se retira material vegetal, procediendo a perforar según el plan de minado diseñado, cargando después los explosivos para el tumbe, se carga el material ya fragmentado y se transporta al sistema triturador.

Trituración. Los fragmentos de roca se reducen de tamaño tamizándolos, ya homogéneos, se transportan mediante bandas hacia los hornos; para rotatorios se requieren tamaños pequeños.

Calcinación. La cal se produce por cocción de las rocas calizas mediante flujos de aire caliente que circula en los huecos o poros de los fragmentos rocosos; las rocas pierden bióxido de carbono produciéndose el óxido de calcio. Debido al tamaño y forma homogénea de los fragmentos, la cocción ocurre de la periferia hasta el centro quedando perfectamente calcinada la roca.

Enfriamiento. Posteriormente se somete a un proceso de enfriamiento para que la cal pueda ser manejada y los gases calientes regresen al horno como aire secundario.

Cribado. Se somete a cribado separando a la cal viva en trozo y segmentos de la porción que pasará por un proceso de trituración y pulverización.

Trituración y pulverización. Este paso se realiza con el objeto de reducir aún más el tamaño y así obtener cal viva molida y pulverizada, la cual se separa de la que será enviada al proceso de hidratación.

Hidratación. Consiste en agregar agua a la cal viva para obtener la cal hidratada. A la cal viva y la cal alta en calcio se le agrega agua y es sometida a un separador de residuos para obtener cal hidratada normal. Únicamente la cal viva pasa por un hidratador a presión y posteriormente a molienda para obtener cal siderúrgica hidratada a presión, Figura. 5.53.

Envase y embarque. La cal es llevada a una tolva de envase e introducida en sacos y transportada a través de bandas hasta el medio de transporte que la llevará al cliente.

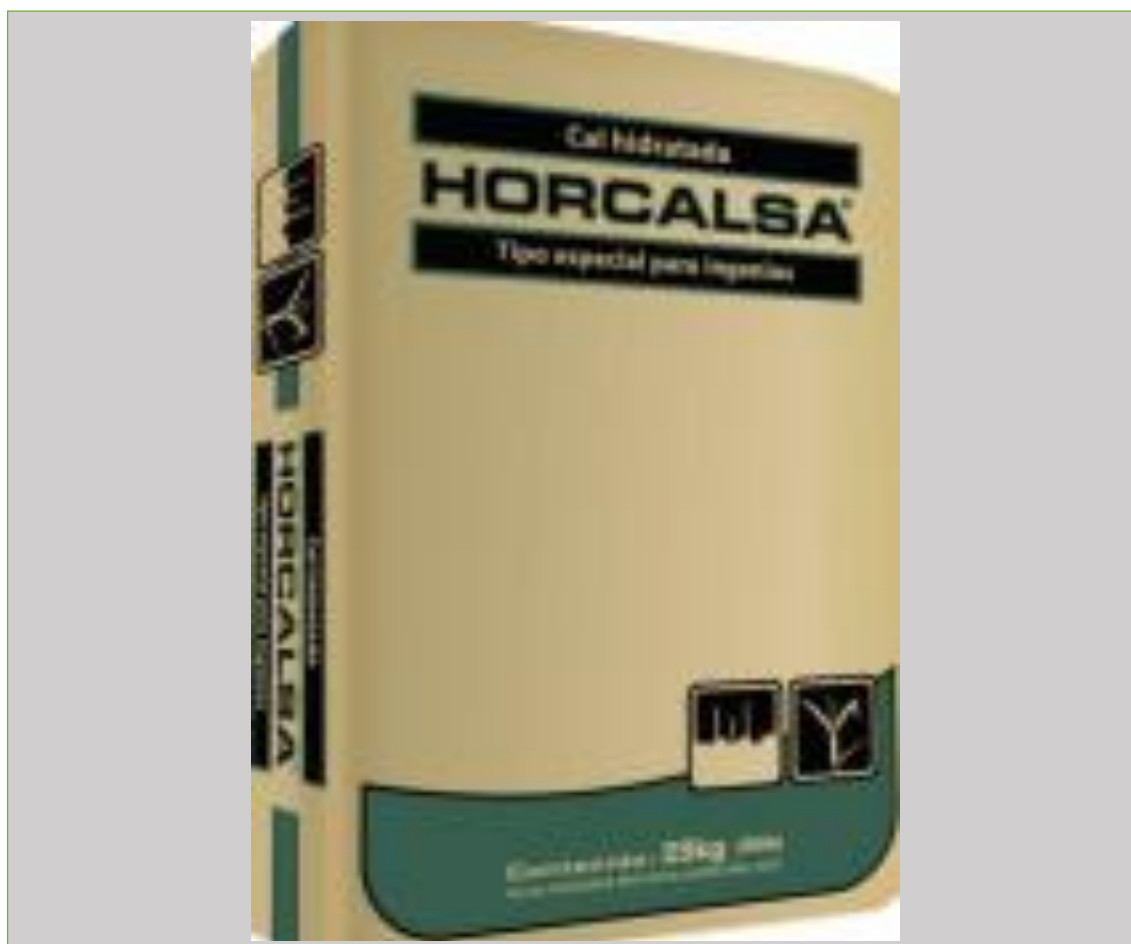


Figura 5. 53. Cal hidratada para ingenios.

Fuente. Autor de tesis.

CAPÍTULO VI

DISCUSIONES Y APLICACIONES

6.1 Discusiones.

Para Carreño B. P. E S., Simoni R.J. M. (2007), Plan de negocios para la instalación de una fábrica de cal en el sur del Perú. Universidad ESAN, p 159. Menciona. La cal es un producto industrial que en el Perú es usado en diversas industrias como en la de fabricación de azúcar, pinturas, acero; como desinfectante, en la fabricación de plásticos. En la minería se usa como neutralizador de residuos ácidos, para mantener ambientes alcalinos en celdas de flotación y en los *pads* de lixiviación.

En el Perú, el mayor consumo de cal se da en la minería, debido a esto, rápidamente ha crecido la demanda de cal en el mercado nacional, en la década de los 90 y principios del 2000, de tal forma que en el 2006, llegaron a tener precios nunca antes vistos en los minerales como el cobre, oro, entre otros.

De esta forma se impulsaron proyectos de ampliación en las principales minas del sur Peruano como *Southern Perú Copper Corporation* (SPCC) en el 2006, Mina Tintaya (2006), Cerro Verde (2007) y Aruntani (2007) y se estableció un cronograma para el ingreso de nuevos proyectos mineros como Quellaveco (2009), Las Bambas (2010), Los Chancas (2015), Tía María (2016) y Limamayo (2017). Esto ha traído como consecuencia que la demanda accesible de cal que hasta el 2006 fue de 34 mil toneladas por año, se eleve a 80

mil toneladas en el 2007 y se prevé un importante crecimiento con el ingreso de nuevos proyectos mineros, estimándose llegar a un consumo de 240 mil toneladas de cal en el 2015.

Carreño B., P. E S., Simoni R.J. M. (2007), Plan de negocios para la instalación de una fábrica de cal en el sur del Perú. Universidad ESAN, en su análisis no mencionan el aporte de empresas pequeñas y artesanales que aportan en la producción de cal y que abastecen con su producción a las empresas mineras del norte del País, hay pequeñas empresas productoras de cal de mayor producción que la cantera de caliza La Unión, además no se menciona la cal es un producto usada en la producción de cemento, jabón, acero, caucho, productos farmacéuticos, barniz, insecticidas, alimentos para planta, alimentos para animales, papel, yeso. Muchos tipos de productos, producidos alrededor del mundo, son, en una forma u otra, producidos empleando cal fundamentalmente, la cal es un producto que mantiene el pH en las zonas de actividad mineras que pueden afectar negativamente al ecosistema, la cal se usa en la protección del medio ambiente que se considera fundamental en la actividad minera.

6.2 Aplicaciones.

Características y Usos de cal. La cal es un elemento cáustico. Muy blanco en estado puro, que proviene de la calcinación de la piedra caliza. La cal común es el óxido de calcio de fórmula CaO , también conocido como cal viva. Es un material muy utilizado en construcción y en otras actividades humanas. Como producto comercial, normalmente contiene también óxido de magnesio, óxido de silicio y pequeñas cantidades de óxidos de aluminio y hierro.

6.3 Uso de cal.

6.3.1 Industria lechera.

La cal en la industria lechera es utilizada en la neutralización del ácido láctico para la elaboración de mantequilla, producción de caseinato de calcio a partir de leche descremada ácida y obtención de lactato de calcio a partir de suero de leche fermentado.

6.3.2 **Tratamiento de basura.**

Recientemente la preocupación por la gran obtención de basura en las pequeñas y grandes ciudades y la cada vez escasa disposición de áreas adecuadas como rellenos sanitarios, ha llevado la investigación en este campo hacia un fin común.

6.3.3 Reciclar.

En los países más avanzados tecnológicamente se han puesto en marcha instalaciones recuperadoras de desperdicios en las que se recicla aproximadamente el 90 % de la basura que reciben, la variante en tecnología prevalece preferentemente en la forma de separar los componentes vidrio, metal, plástico, papel, cartón, madera y residuos.

Innovando con la reutilización de los materiales combustibles como el papel, cartón y en algunos casos madera, minimizando su tamaño con procesos físicos y mezclándolos con cal integrándolos en forma de pastillas (pellets) con un alto contenido calórico muy similar al carbón ó *coke*.

6.3.4 Tratamiento de lodos.

Aproximadamente 50% de los lodos son dispuestos para material de relleno o uso en agricultura, los tres procesos de estabilización con cal permiten ésta disposición debido al efecto sobre los microbios, movilidad de los metales y eliminación de olores. El proceso original desarrollado por la EPA, añadiendo lechada de cal al lodo líquido, tiene limitaciones ya que implica dificultades en el secado de lodos con elevado pH así como el impacto económico que representa el secado, pero es muy recomendable para plantas pequeñas en áreas rurales. Dos modificaciones al proceso original teniendo como fin conectar la estabilización con cal y el secado del lodo, una de ellas sólo añade cal a un proceso ya existente de acondicionamiento fierro – cal antes de un proceso de vacío o filtrado con prensa para el secado, el segundo mezcla cal en seco con la torta de lodo (filtros de prensa, centrífuga o vacío) en un molino. Estos procesos son recomendables para plantas medianas a grandes.

6.3.5 Piedra fundente.

Calcita, dolomita y cal son utilizadas en la fundición de hierro y otros metales para el suministro básico de CaO y MgO, los cuales se combinan con los constituyentes ácidos indeseables contenidos en los minerales y combustibles para formar una escoria separable del metal fundido. En general, la dolomita se usa para controlar la fluidez de la escoria o para producir una escoria con ciertas especificaciones para aplicaciones específicas.

La práctica indica usar piedras duras, densas y de grano fino para obtener la mejor performance.

6.3.6 Caliza agrícola.

Calcio y magnesio se consideran necesarios para la fertilidad general de suelos y nutrición de plantas. La cantidad de estos elementos extraídos de los suelos en los cultivos cosechados, hace que cada año la labranza constituya una vasta operación superficial minera. La función agrícola de la caliza y dolomita no solamente repone el calcio y magnesio extraído y lixiviado de los suelos, sino también corrige la acidez del suelo para mejorar las condiciones físicas y microbiológicas en el suelo, y también para incrementar la eficiencia de otros fertilizantes.

6.3.7 Vidrios.

En la manufactura del vidrio, se puede usar ya sea cal o caliza de alto calcio o de alto contenido de magnesio. Caliza de alto calcio se usa para la elaboración de vidrio de botellas y de ventanas, mientras que la piedra dolomítica se usa para vidrios especiales.

6.3.8 Carburo de calcio.

Se trata de un producto de horno eléctrico. Se forma cuando una carga de cal y coque, mezclada en la proporción de 60 y 40% respectivamente, es calentada a 2,000°C. Para producir una tonelada de carburo de calcio se requiere aproximadamente 2 TM de caliza o 1 TM de cal.

6.3.9 Azúcar.

La cal constituye un material indispensable en la manufactura de azúcar de caña y remolacha. Su función es para precipitar impurezas de los jugos o jarabes o para precipitar el azúcar de soluciones impuras. La caliza se usa en la refinación de azúcar de remolacha por el proceso de carbonización.

6.3.10 Papel.

La industria del papel utiliza ambas cal y caliza en el proceso de preparación del licor de cocidos, en donde se produce la reacción química entre el dióxido de sulfuro y la cal.

6.4 Aplicaciones diversas de cal.

Cal es el término genérico aplicado a diversos materiales (cal, piedra caliza y cal hidratada), si bien estos son distintos en cuanto a propiedades químicas como resultado de su proceso y tratamiento. Las aplicaciones son diversas para las cuales diferentes sectores industriales emplean la cal, la dolomía y los minerales. La piedra caliza (carbonato cálcico, CaCO_3) está presente en cantidad abundante en la roca natural de muchos lugares del mundo.

6.4.1 La cal (óxido de calcio, CaO).

Es un álcali, así como el resultado de la transformación química de la piedra caliza mediante su calentamiento por encima de los $1000\text{ }^\circ\text{C}$, un proceso que requiere energía ($3,2\text{ GJ/TM}\text{CaO}$). Por su rápida reactividad con el agua, el óxido de calcio también suele denominarse cal viva.

6.4.2 La cal hidratada (hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Es un potente álcali que se forma cuando el óxido de calcio reacciona con agua. Esta reacción genera calor. Dependiendo de la cantidad de agua utilizada, el hidróxido de calcio podrá adoptar la forma de un hidrato seco (polvo seco), de una masa (pasta de cal) o de una suspensión de sólidos secos en agua (lechada de cal).

6.4.3 El carbonato cálcico precipitado (PCC CaCO_3).

Es un carbonato cálcico de origen sintético. Se trata de un material con morfologías especiales que puede producirse a escala industrial por la reacción entre el hidróxido de calcio y el CO_2 .

6.5 Categorías de productos en mercado internacional.

Estos productos se clasifican en dos categorías principales para las que también desarrollamos soluciones personalizadas y productos específicos. Estos incluyen óxidos, hidratos, lechada de cal, minerales y mezclas que se someten a distintos tratamientos en función de sus aplicaciones.

6.6 Productos calcinados, óxidos (cal viva y dolomía calcinada).

- **Grano:** Es el tamaño máximo del producto calcinado (generalmente entre 15 y 50/60 mm), también llamado "granulado".

- **Granillo:** Tamaño intermedio del producto calcinado (generalmente entre 2 y 15 mm).
- **Finos:** Es el tamaño mínimo del producto calcinado (generalmente entre 0 y 2 mm).
- **Molido:** Producto calcinado en polvo por su tratamiento complementario en molinillos.

Uso de cal en diversas industrias. La cal se usa en diferentes industrias:

- Industria.
- Hierro y acero.
- Minería y producción de metales no férreos.
- Petróleo, gas y biocombustibles.
- Químico.
- Vidrio.
- Papel y pasta de papel.
- Refractarios.
- Polímeros.
- Materiales de construcción.
- Ingeniería civil.
- Medio ambiente.
- Tratamiento de gases de combustión.
- Agua potable y de proceso.
- Aguas residuales y lodos.
- Agricultura.
- Agricultura y silvicultura.
- Nutrición animal.
- Saneamiento animal.
- Azúcar y bebidas alcohólicas.
- Pulpa de cítricos.

CONCLUSIONES

Con la determinación de la calidad del macizo roso de caliza, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se ha logrado optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca, de acuerdo a hipótesis y objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.

Los resultados de la caracterización de macizo rocoso de calizas demuestran un RMR 57 es una roca de calidad regular con una densidad en banco de 2.51 TM/m^3 , con una potencia del estrato de 4.00 m a 5.00m aproximadamente, las reservas minerales de cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca es 855972.00 TM, los resultados de la voladura son de 65 m^3 de roca fragmentada o roca suelta diaria, el sistema de transporte es en volquetes *Dodge* 800 de 6 cubos como pequeño productor minero con carencia de un plan de minado adecuado, la producción diaria se ha adecuado a la capacidad 30 TM/día de calcinación de los dos hornos con una capacidad operativa de 50 % ,con esta producción diaria se logra una ganancia de US \$ 10 468.67 mensuales.

Se ha logrado optimizar la capacidad de calcinación de los dos hornos A y B teniendo en cuenta que la capacidad de calcinación de cada uno de los hornos verticales es de 35 TM/día, las estadísticas de capacidad de calcinación se observan en la Tabla. 5.3 en Figura. 5.7 a Figura. 5.14, en los meses de octubre, noviembre y diciembre se ha puesto en marcha el proceso de optimización de capacidad de calcinación de caliza en cada horno, en Tabla. 5.4, Tabla. 5.5 y Figura. 5.13 se ha logrado determinar la capacidad óptima de calcinación de 63 TM/día, en una calidad de roca regular de RMR 57, la densidad de la caliza conforme se puede observar en Tabla. 5.14 Varía de 2,40 a $2,52 \text{ TM/m}^3$, la resistencia compresiva uniaxial varía de 50.34 a 95.55 MPa, incrementando la profundidad del taladro de 1.20 m a 1.80 m, el número de taladros de 8 a 10 adicionando ANFO en el segundo caso, el transporte en volquetes *Volvo* FM 440 de 15 cubos se logra incrementar a un volumen de 121.30 m^3 de roca suelta, con la evaluación de tiempos óptimos mostrados en Tabla. 5.21, Tabla. 5.22, Tabla. 5.23, se logra un plan de minado óptimo para una producción óptima de 80 TM/día para abastecer en forma continua a los hornos de calcinación, esta producción óptima es puesta en los hornos verticales de calcinación y se logra incrementar las ganancias a US \$ 21 028.00 satisfactoriamente.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a las exploraciones realizadas en la zona de las operaciones mineras dentro del área concesionada las reservas de caliza es 855972.00 TM, estas reservas minerales no metálicas pueden incrementarse en un 100% para lograr estas expectativas se recomienda realizar los estudios complementarios de topografía y el desbroce de algunas zonas que se encuentran cubiertas con suelos vegetales.

Los resultados de la optimización del plan de minado en la cantera de caliza La Unión de Baños del Inca - Cajamarca indican que aun con la distancia de 8 km de longitud sumando ida y vuelta la eficiencia de la operación es bajo estos nos indica que el mayor tiempo se requiere para el transporte de la zona de operaciones hasta los hornos de calcinación, para incrementar la eficiencia de equipos de transporte se recomienda realizar la capacitación del personal a cargo de carguío y transporte de minerales no metálicos de caliza.

De acuerdo a la demanda de cal en las operaciones mineras metálicas de la zona Norte de nuestro País especialmente en la Región de Cajamarca para atenuar a los posibles daños ambientales que trae consigo los conflictos socio ambientales se recomienda la adquisición de nuevos hornos de mayor capacidad de calcinación existentes en el mercado para incrementar la capacidad de calcinación e incrementar las ganancias por la venta de cal.

BIBLIOGRAFÍA

Abreu G. Juan C. (2002), en tesis titulado *Diseño de un plan de explotación yacimiento de caliza, cantera la gamarra Magdaleno*, Estado Aragua de la Universidad Central de Venezuela. Caracas –Venezuela.

Alvear G. C., López M. M., Pindo M. J., Proario C. G. (2010), Artículo Científico titulado *Diseño y análisis económico de la explotación a cielo abierto de un yacimiento de caliza*, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra. Guayaquil – Ecuador

Arias Prieto, D. (1992). *Geoquímica y mineralogía del yacimiento de Pb-Zn de Rubiales (Lugo)*. In: García G., J. Martínez F., J. (Coord.). *Recursos Minerales de España*. Textos Universitarios, CSIC. 969-984.

Bustillo R. M. (1992). *Los yacimientos de Pb-Zn del tipo “Mississippi Valley”: Visión global*. In: García G., J.; Martínez F., J. (Coord.). *Recursos Minerales de España*. Textos Universitarios, CSIC. 939-946.

Balestrini, M. (2001), *Cómo se elabora el proyecto de investigación Caracas*. Consultores Asociados BL, servicio editorial, 5^{ta} edición.

Borisov M. Klovov B. (1965). Gonnovoi “*Labores Mineras*” Edición Moscú MIR.

Calvin J. Konya, Albarran N. E. (1998). *Diseño de Voladuras*, ediciones cautil, México.

Cantera La Unión (2007), *Declaración de impacto ambiental*. Cajamarca. Perú.

Carmen L. (2007). *Los orígenes de la minería*. Montepío: en Revista del Montepío y Mutualidad de la Minería Asturiana. Consulta 1 de marzo 2013.

Carrera, P., Luis, J., & Chiriboga Fernandez, M. I. (2010), *Rendimiento de equipo pesado en la explotación de una cantera de cielo abierto caso práctico*. Cantera borcons.

Carvajal L. (2008), *Metodología de Investigación*. Universidad del Valle Santiago de Cali. 28 ed. USC, Cooprusaca, Poemia. 2006. ISBN 978-958-30-9. 150 p.

Carreño B. P. E. S., Simoni R.J. M. (2007), *Plan de negocios para la instalación de una fábrica de Cal en el sur del Perú*. Universidad ESAN, p159.Lima-Perú

Cruzado V.G. (2012), *Identificación y análisis de factores condicionantes naturales y entrópicos para los procesos de remoción de masas de rocas y suelos en el sector Lucmacucho*, distrito de Cajamarca, Cajamarca-Perú 2012”. Universidad Nacional de Cajamarca.

Correa D.A., Santillán L.(2016) Tesis “*Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez*, de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería de Minas, Bambamarca- Cajamarca.

E. Dunnin, Borkowski, (1996). *Minerales Industriales del Perú*, INGEMMET. Lima Perú

Hoek E. (2009). *Geomecánica*. Canadá.

EXSA, (2003). *Explosivos Convencionales y Accesorios Para Voladura*. 2º edición. Lima.

EXSA, (2005). *Manual práctico de voladura*. Lima.

EXSA, (2000). *Manual Práctico de Voladura*. 3º edición. Lima. Perú.

EXSA, (2009). *Manual práctico de Voladura*. 2da edición. Lima Perú.

Evans A.M. (1993). *Ore geology and industrial minerals: An introduction*. Blackwell Science, 389 pg.

Goncalves M. (2003) *La relación investigador-comunidad en el trabajo psicosocial comunitario. Su lugar en la producción del conocimiento*. Caracas – Venezuela Facultad de Humanidades y Educación de la Universidad Central de Venezuela.

Geoconsulta C.A. (2007). *Estudio de Impacto Ambiental del Yacimiento de Caliza de "SanBernardo"*. Ocumare, Venezuela.

González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Universidad Complutense de Madrid. Prentice Hall. Madrid. 715 p. Madrid – España.

Guilbert, J.M.; Park, Ch.F. (1986). *The geology of ore deposits*. Freeman. 985 pg.

Krauskopf, K.B.; Bird, D.K. (1995). *Introduction to geochemistry*. McGraw-Hill International Editions. 647 pg.

Herness, SK., 1977, "Subsurface Representation in Mining Geology," *Subsurface Geology, Petroleum, Mining, Construction*, L.W. LeRoy, D.O. LeRoy, y J.W. Raese, eds., Colorado School of Mines, Golden, CO, pp. 529-538.

Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, P. (1999) *Metodología de la investigación*. México. Mc Graw-Hill.

Hernández S. R. (2006). *Metodología de la Investigación*. Cuarta Edición Mc. Graw Hill México.

Herrera Aguayo, A. H., & Yáñez Fuenzalida, N. A. (2005). *Grupos étnicos y minería en pequeña escala (MPE) en América Latina y El Caribe*, análisis de experiencias en Chile. Proyecto N°050317-044

Herrera H.J. (2006), *Explotaciones de cantera para áridos y otros materiales de construcción métodos de minería a cielo abierto*, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica superior de ingenieros de Minas-España

Instituto Geominero de España. (2002). *Manual de Voladura*. Madrid, España.

Kelinger, F.N. y Lee H.B. (2002), *Investigación del comportamiento: métodos de investigación en ciencias sociales*, México: McGraw-Hill Interamericana Editores, cuarta edición en español.

López J.C. (1994), *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid.

López J. C, (2008). *Manual de perforación y voladura de rocas*, Madrid.

López J., Carlos y Aduvire P., O. (1994) *Estudios de Viabilidad en Proyectos Mineros*. ITGE, Madrid, España.

Ministerio de Minas y Energía, (2003). *Glosario Técnico Minero*, Bogotá D. Colombia.

Mosquera, G. (1977), *Aspectos metodológicos sobre las investigaciones socioeconómicas del medio rural venezolano*. Caracas – Venezuela. Comisión de Estudios de Postgrado en la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Universidad Central de Venezuela.

Morales C. Wilver (2012), en *texto guía en geología aplicada* en E.A.P. De Ingeniería Hidráulica de la Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca – Perú.

Rodríguez R.M. (2005): *Origen de la minería*. Cimbra N° 362.

Rovira, S. y Martínez, M.I. (2005): *Kargaly; esplendor minero en la edad de bronce*. Tierra y Tecnología N° 27.

Sáenz T, Souza M.C. (2006). *Innovación tecnológica y sustentabilidad*. En: Gestión de la innovación. Una visión actualizada para el contexto Iberoamericano. La Habana: Academia.

Sánchez C. H. (1987), *Metodología y diseños en la investigación científica*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.Lima –Perú.

Saya R. (2001). “*Plan de Explotación de la Cantera de San Bernardo*. Ubicada en el Municipio Tomás Lander del estado Miranda”. UCV-FI. Caracas, Venezuela. TEG, inédito.

Siguenza A. F. (2010), *Extracción de mármol de comarca de Macael*. Almería-Andalucía. Macael –España.

Society of Mining Engineering (1992). *SME Mining Engineering Handbook*. 2da Edición. Littleton, Colorado, E.E.U.U.

Society of Mining Engineering (1979). *SME Open Pit Mine Planning and Design 1979*. New York, NY, E.E.U.U.

Seebold, I.; Fernández, G.; Reinoso, J.; Alonso, J.; Escayo, M.A.; Gómez, M. (1992). *Yacimientos estratoligados de blenda, galena y marcasita en dolomías: Mina de Reocín (Cantabria)*. In: García G., J.; Martínez F., J. (Coord.). *Recursos Minerales de España*. Textos Universitarios, CSIC. 949-968.

Tucker, M.E. (1991). *Sedimentary petrology*. Backwell Science. 260 pg.

Universidad Mayor de San Marcos, (2002). *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Minera, Metalurgia y Ciencia Geográfica*.

Según Urday P., Diego A. M. (2012), tesis *Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TM/h*, Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima-Perú.

Valdivieso N. (2004). “*Guía de laboreo a cielo abierto*”. Departamento de Minas, UCV-FI. Caracas, Venezuela. Inédito.

WEB GRAFÍA

<http://www.montes.upm.es/Dptos/DptoSilvopascicultura/Edafologia/guia/Manual/Sedimentarias.html>.

<http://asesoriatesis1960.blogspot.pe/2010/12/antecedentes-de-la-investigacion.html>

<http://es.slideshare.net/ninoskarodriguez2/ejemplos-del-marco-teorico-antecedentes-y-marco-legal-de-la-investigacion>

http://mineria.sanjuan.gov.ar/recursos/min_extract_pdf/Calizas.PDF

<http://www.google.com.pe/search?q=reservas+MINERALES+EN+CANTERAS+DE+CAL&oq=reservas+MINERALES+EN+CANTERAS+DE+CAL&aqs=chrome..69i57j69i59.8546j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8#q=reservas+MINERALES+EN+CANTERAS+DE+CAL&start=30>

https://library.e.abb.com/public/527e87d38176d987c1257a7e0036aaa2/39-43%203m210_FS_72dpi.pdf

Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	METODOLOGIA
<p>Problema General.</p> <p>¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca?.</p> <p>2. Problema Específicos.</p> <p>¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca?.</p> <p>¿Cómo se puede optimizar el plan de minado mediante la evaluación del ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca?.</p>	<p>Objetivo General.</p> <p>Evaluar de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p> <p>2. Objetivos Específicos.</p> <p>Evaluar de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p> <p>Evaluar el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p>	<p>1.-Hipótesis General:</p> <p>Mediante la Evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p> <p>2.-Hipótesis Específicas.</p> <p>Mediante la Evaluación de características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p> <p>Mediante la Evaluación del ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p> <p>Variables e indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable Independiente (V.I). <p>Características geomecánicas del yacimiento, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variable dependiente (V.D). <p>Optimización del plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca.</p>	<p>Tipo de Investigación.</p> <p>Aplicada, Descriptiva.</p> <p>Nivel de Investigación.</p> <p>Descriptivo y explicativo.</p> <p>Metodología de Investigación.</p> <p>Descriptiva.</p> <p>Fases de la investigación.</p> <ul style="list-style-type: none"> •Operación minera actual para una producción de 30 TM/día como línea de base. •Optimización de plan de minado para una producción de 63 TM/día. <p>Población. Base de Datos de medición de calidad de macizo rocoso y operaciones unitarias.</p> <p>Muestra: Tamaño de muestra conociendo el tamaño de la población.</p> $n = \frac{(N)(Z^2 c)(P)(Q)}{D^2 (N - 1) + (Z^2 c)(P)(Q)}$ <p>Donde:</p> <p>n= Tamaño de muestra</p> <p>N=Población</p> <p>Z=Nivel de confianza</p> <p>P=Probabilidad de éxito</p> <p>Q=Probabilidad de fracaso (Q=1-P)</p> <p>D=Precisión (Error máximo permisible en términos de proporción).</p> <p>Técnicas.</p> <p>Sistematización de datos del campo.</p> <p>Evaluación de resultados.</p> <p>Procesamiento en <i>software</i> especializado.</p>

ANEXOS

ANEXO 1: Tablas.

Tabla. N° 1. Ábaco de clasificación geomecánica de Bieniawski 1989.

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)									
Parámetros de clasificación									
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		
Corrección por la orientación de las discontinuidades									
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables			
Puntuación	Túneles	0	- 2	- 5	- 10	- 12			
	Cimentaciones	0	- 2	- 7	- 15	- 25			
	Taludes	0	- 5	- 25	- 50	- 60			
Clasificación									
Clase	I	II	III	IV	V				
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala				
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20				

Fuente. Ingeniería geológica - Gonzales de Vallejo L. 2002.

Tabla. N° 2. Valuación de calidad de roca según RQD (Deere et al., 1970).

RQD (%)	Calidad de Roca
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Regular
75-90	Buena
90-100	Muy buena

Fuente: ISRM.

ANEXO 2. Figuras.



Figura. N° 1. Equipos de protección personal (EPP).

Fuente. S.M.R.Ltda La Unión.

ANEXO 3. Fotos.



Foto N° 1. Geomorfología de Cajamarca.
Fuente. Gobierno Regional de Cajamarca 2010.



Foto N° 2. Fragmentos de caliza que requieren trituración.
Fuente. Autor de tesis.



Foto N° 3. Fragmentos de caliza intemperizada.

Fuente. Autor de tesis.

ANEXO 4. Planos.

Plano N° 1. Plano de ubicación