



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA ACÁDEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**DISEÑO DEL PLAN DE EXPLOTACIÓN DE  
CALIZAS EN EL PROSPECTO MINERO RUBÍ –  
JUNÍN - 2017**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. JOSE ALFONZO CONTRERAS MENENDEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO DE MINAS**

**PASCO - PERÚ**

**2017**

*ESTA TESIS ES DEDICADO A DIOS,  
POR NO DEJARME CAER NUNCA  
Y A MI HIJO QUE ES EL  
MOTOR DE MI VIDA*

## **RESUMEN**

Esta investigación tuvo como objetivo general determinar el método de explotación a desarrollar; después de tener la certeza de las reservas cubicadas probadas y sobre la formación geológica, elaborar el diseño geométrico del sistema de extracción, perforación y voladura y acarreo del material.

Este estudio se aborda desde el enfoque cuantitativo, a un nivel descriptivo – explicativo y un diseño de investigación no experimental y tiene cuatro etapas de desarrollo de la investigación del siguiente modo: el primero después de tomar las muestras para el análisis de la calidad de las calizas presentes y efectuar la medición en campo, se cubió las reservas probables y probadas de calizas existentes concluyendo que el yacimiento tiene 22 877 926 toneladas métricas probadas. En base a la formación del yacimiento se ha diseñado el sistema de explotación, la perforación y voladura en los bancos y el acarreo.

Se concluyó que en una primera fase se extraerá 1 200 toneladas métricas de calizas diarias, que será calcinado en los hornos Maerz instalados a 500 metros de la cantera y el incremento de producción estará en función a la demanda de mercado.

Palabras claves: Cubicación de reservas, diseño geométrico, perforación y voladura

## **ABSTRACT**

This research had as general objective to determine the method of exploitation to develop; after having the certainty of cubic proven reserves and about the geological formation, elaborate geometric design of the system of extraction, drilling and blasting and hauling of material.

This study is addressed from a quantitative perspective, at a descriptive level - explanatory and not experimental research design and has four stages of development of research, in the following way: the first after taking samples for the analysis of the quality of the limestone present and measure in field, cubic is proven and probable reserves of limestone existing concluding that the site has 22 877 926 metric tons proven. On the basis of the formation of the site has been designed the operating system, drilling and blasting in banks and hauling.

Concluded that in a first phase will be extracted 1 200 metric tons of daily limestone, what are calcined in the furnace Maerz, installed at 500 m. of the exploitation mining and the increase in production will be based on market demand.

Key words: cubage of the bookings, geometric design, drilling and blasting

## CONTENIDO

|                   |     |
|-------------------|-----|
| DEDICATORIA       | I   |
| RESUMEN           | II  |
| ABSTRACT          | III |
| CONTENIDO         | IV  |
| TABLAS Y GRÁFICOS | V   |
| INTRODUCCIÓN      | VI  |

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

|       |  |   |
|-------|--|---|
| 1.1   | Determinación del problema                 | 1 |
| 1.2   | Formulación del problema                   | 2 |
| 1.2.1 | Problema general                           | 2 |
| 1.2.2 | Problemas específicos                      | 3 |
| 1.3   | Objetivos                                  | 3 |
| 1.3.1 | Objetivo general                           | 3 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos                      | 3 |
| 1.4   | Justificación del problema                 | 3 |
| 1.5   | Importancia y alcances de la investigación | 4 |
| 1.6   | Limitaciones                               | 4 |

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.1   | Antecedentes                              | 5  |
| 2.2   | Bases teórico científicas                 | 6  |
| 2.2.1 | Rocas calcáreas                           | 6  |
| 2.2.2 | Características petrográficas             | 7  |
| 2.2.3 | Tipos                                     | 8  |
| 2.2.4 | Otras rocas carbonatadas                  | 12 |
| 2.2.5 | Principales derivados de la caliza        | 15 |
| 2.2.6 | Propiedades                               | 17 |
| 2.2.7 | Condiciones y ambientes de formación      | 19 |
| 2.2.8 | Unidades geológicas favorables en el país | 21 |

|       |                                   |    |
|-------|-----------------------------------|----|
| 2.2.9 | Canteras en el país               | 22 |
| 2.3   | Explotación por canteras          | 22 |
| 2.3.1 | Caracterización del yacimiento    | 23 |
| 2.3.2 | Cubicación de reservas            | 24 |
| 2.3.3 | Diseño del sistema de explotación | 35 |
| 2.3.4 | Planeamiento minero               | 40 |
| 2.3.5 | Diseño de vías de acarreo         | 41 |
| 2.4   | Definición de términos básicos    | 41 |
| 2.5   | Hipótesis                         | 44 |
| 2.5.1 | Hipótesis general                 | 44 |
| 2.5.2 | Hipótesis secundaria              | 44 |
| 2.6   | Identificación de variables       | 44 |
| 2.6.1 | Variables independientes          | 44 |
| 2.6.2 | Variable dependiente              | 44 |

### CAPÍTULO III METODOLOGÍA

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | Tipo de investigación                           | 46 |
| 3.2 | Diseño de investigación                         | 46 |
| 3.3 | Universo y Muestra                              | 46 |
| 3.4 | Métodos de investigación                        | 47 |
| 3.5 | Técnicas e Instrumentos de recolección de datos | 47 |
| 3.6 | Técnicas de procesamiento y Análisis de datos   | 47 |
| 3.7 | Tratamiento estadístico de datos                | 48 |

### CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.1 | Presentación de resultados                        | 49 |
| 4.2 | Tratamiento estadístico e Interpretación de datos | 68 |
| 4.3 | Prueba de hipótesis                               | 69 |
| 4.4 | Discusión de resultados                           | 69 |
|     | CONCLUSIONES                                      | 71 |
|     | RECOMENDACIONES                                   | 73 |
|     | REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA                          | 74 |
|     | ANEXOS  | 76 |

## LISTA DE TABLAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Tabla N° 1  | Composición química de la calcita y dolomita       | 7  |
| Tabla N° 2  | Composición química de la caliza                   | 8  |
| Tabla N° 3  | Clasificación porcentual de las calizas            | 9  |
| Tabla N° 4  | Leyes de $\text{CaCO}_3$ y $\text{CaO}$ en el Perú | 9  |
| Tabla N° 5  | Génesis de las calizas                             | 17 |
| Tabla N° 6  | Canteras de rocas calcáreas en el Perú             | 18 |
| Tabla N° 7  | Tipos de yacimiento                                | 38 |
| Tabla N° 8  | Diseño de cantera                                  | 40 |
| Tabla N° 9  | Factores geométricos                               | 41 |
| Tabla N° 10 | Factores geomecánicos                              | 41 |
| Tabla N° 11 | Factores operativos                                | 41 |
| Tabla N° 12 | Dimensiones del diámetro de barrenos               | 45 |
| Tabla N° 13 | Valores tentativos de parámetros geométricos       | 46 |
| Tabla N° 14 | Parámetros de perforación y voladura               | 50 |
| Tabla N° 15 | Características de los tractores sobre ruedas      | 52 |
| Tabla N° 16 | Características de los volquetes                   | 52 |
| Tabla N° 17 | Medición del yacimiento por secciones              | 54 |
| Tabla N° 18 | Dimensionamiento de la cantera                     | 59 |
| Tabla N° 19 | Parámetros de perforación y voladura               | 60 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Gráfico N° 1  | Secciones en un yacimiento y elementos del cálculo de reservas | 22 |
| Gráfico N° 2  | Método de triangulación  | 23 |
| Gráfico N° 3  | Método de polígonos  | 24 |
| Gráfico N° 4  | Modelo de bloques de un yacimiento con iguales dimensiones     | 26 |
| Gráfico N° 5  | Modelo de capas  | 27 |
| Gráfico N° 6  | Elementos de un modelo sólido                                  | 28 |
| Gráfico N° 7  | Partes de una cantera  | 29 |
| Gráfico N° 8  | Tipos de fallas observados en minas a tajo abierto             | 32 |
| Gráfico N° 9  | Secciones de una cantera                                       | 42 |
| Gráfico N° 10 | Altura de banco  | 43 |
| Gráfico N° 11 | Talud final  | 44 |
| Gráfico N° 12 | Espacio de cara a perforación                                  | 46 |
| Gráfico N° 13 | Espaciamiento y retiro   | 47 |
| Gráfico N° 14 | Diseño rectangular de separación de agujeros de perforación    | 50 |
| Gráfico N° 15 | Sección de una cantera   | 59 |

## INTRODUCCIÓN

Una de las funciones básicas de la universidad es la investigación. La generación de conocimiento es una preocupación esencial de las universidades, es su razón de ser. Todos los programas en el mundo proponen un modelo curricular destinado a la formación del nuevo profesional capaz de resolver problemas sustanciales de la sociedad y de aportar conocimiento a sus profesiones.

La tesis es la prueba “de fuego” que demuestra las competencias requeridas para obtener el grado académico. Se espera de ella que sea una evidencia indiscutible de las competencias de investigación desarrolladas y se espera, además, ser un aporte original al conocimiento, cumpliendo con la rigurosidad científica requerida.

El presente proyecto, titulado “Diseño de un plan de explotación de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017”, es relevante porque se trata de un yacimiento de calizas interesantes, de origen sedimentario producto de la deposición de animales marinos muertos con apreciable cantidad de reservas existentes, pertenecientes al Grupo Calidra – México; denominado prospecto minero Rubí.

Los estudios geológicos confirman la calidad de materia prima y resulta prometedor para la explotación del yacimiento. Se encuentra dividido en cuatro capítulos; sigue una secuencia lógica propia de los proyectos de investigación, del siguiente modo:

CAPÍTULO I. Se realiza una caracterización del yacimiento, para formularlo en preguntas, sobre qué método de explotación se diseñará para extraer las calizas, con las sub preguntas que consisten en el diseño geométrico de explotación, perforación y voladura y acarreo del material. Su objetivo está referido a diseñar el método de explotación adecuado, justificando la presente investigación por la importancia que

significa llevarlo a explotar el yacimiento dada los usos de las calizas en múltiples industrias.

CAPÍTULO II. Se expone cuatro antecedentes referidos al tema, dos investigaciones nacionales y dos internacionales, plasmados en tesis, seguido de una descripción de las bases teóricas desde una perspectiva general a específica de las calizas; caracterizando el yacimiento, hasta definir los métodos de cubicación y explotación; se plantea las hipótesis y se define las variables de operación.

CAPÍTULO III. Comprende el método de investigación seguido; es del tipo aplicativo, del nivel descriptivo – explicativo, con diseño no experimental, sobre una población de 42 cuadrículas y muestra de 2 cuadrículas; Cubicando el yacimiento y sobre ello diseñar el método de explotación a seguir.

CAPÍTULO IV. Los cálculos expuestos en el capítulo anterior se presentan en cuadros, para luego la hipótesis planteada ser contrastada con datos obtenido en México y sustentados en una tesis similar, demostrándose que el nivel de significancia supera el 85%.

CONCLUSIONES. Se concluye que el yacimiento es de formación sedimentaria estratificada y los cálculos obtenidos para el diseño geométrico de explotación, así como la perforación y voladura y acarreo responden a la secuencia lógica de ecuaciones, expuestas cuyas fuentes se encuentran referenciadas en la bibliografía.

El autor.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Determinación del problema

Durante décadas la evaluación de los yacimientos carbonatados ha sido una prioridad importante para los investigadores y especialmente por productores de petróleo y gas, pero los retos que plantean estas rocas tan heterogéneas son infinitas, desde la exploración inicial hasta las etapas más avanzadas de producción. Geocientíficos, petrofísicos e ingenieros trabajan en conjunto para obtener mayores datos posibles, para producir múltiples productos.

Las calizas son rocas sedimentarias, constituido por granos de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y/o dolomita ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), cuyo tamaño de cristales varía entre 0 a 0.25 mm y cuya dureza media es 2.2 de la escala de Mohs, se encuentra en apreciable cantidad en el mundo.

Los carbonatos de calcio pueden emplearse directamente o calcinadas como cal viva ( $\text{CaO}$ ) y agregando agua, “lechada de cal” ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ).

La calcinación de la cal generalmente se efectúa cerca de las canteras.

La cal es el segundo insumo usado en la industria y tiene múltiples aplicaciones que dependen de su composición química, textura, color, dureza, gravedad específica, finura, etc.

El yacimiento de calizas ubicado a 10 Km. al este de la ciudad de Junín, recientemente ha sido concesionado por el estado peruano al Grupo Mexicano CALIDRA; conformado por 42

cuadrículas que abarca los distritos de Junín y San Pedro de Cajas, quienes tienen la firme intención de iniciar sus operaciones industriales.

La particularidad del yacimiento a investigar, se debe a su elevada concentración de calizas, resultado de su formación; en el pasado fue un fondo continental donde todos los animales marinos de caparazón micro y macroscópico murieron al descender las aguas, en el terciario y cuaternario y en su mayoría está compuesto de oolitos, peloides y pisolitos.

Estas cualidades determinan que las leyes químicas superan el 80% de CaO, por ello se hace importante el desarrollo de trabajos de investigación para diseñar el plan de explotación.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema General**

¿Qué método de explotación se diseñará para extraer las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál será el diseño geométrico para la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?
- ¿Cuáles serán las variables del patrón de perforación de las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?
- ¿Cuál será el sistema de acarreo de las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar el método de explotación que se diseñará para extraer las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Elaborar el diseño geométrico para la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017
- Determinar las variables que intervienen en el plan de perforación y voladura para explotar las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017
- Determinar el sistema de acarreo de las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.

#### **1.4 Justificación del problema**

El sector minero no metálico ha vivido en la última década un contexto de alto dinamismo; un proceso de cambio basado en el incremento de las exportaciones, atrayendo inversiones y apertura de yacimientos por explorar y explotar como es el caso del prospecto minero Rubí – Junín.

El cambio más trascendente que se produce en estos años desde el punto de vista de la oferta es el paso de un proceso de explotación tradicional a un proceso de explotación tecnificada e incremento de mayores inversiones.

#### **1.5 Importancia y alcances de la investigación**

La importancia de la presente investigación, radica porque al determinar las reservas existentes en el yacimiento y la calidad de calizas; será posible realizar inversiones para su explotación y comercialización, generando empleos al entorno social, tributos al estado peruano y una posibilidad de desarrollo a las comunidades circundantes.

#### **1.6 Limitaciones**

Las limitaciones a la presente investigación están dados por la falta de laboratorios para realizar estudios minuciosos que permitan, el grado de disociación de las calizas, a la vez analizar que minerales y/o combustibles fósiles se puede encontrar en el interior del yacimiento.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

De Abreu, Juan (2002) en la tesis “*Diseño de un Plan de Explotación del Yacimiento de caliza, cantera la Gamarra - Magdaleno, Estado Aragua*”, Universidad Central de Venezuela; concluye: A pesar de los 5.847.674 m<sup>3</sup> de recursos medidos sólo serán explotados cerca de un 8% que componen las reservas probadas, debido a las condiciones del yacimiento, a la topografía abrupta, la pequeña dimensión y la baja relación estéril - mena limitante criterios de la empresa.

Los años de explotación serán cuatro (4) años; para excavar el yacimiento a profundidad, la dimensión de este impide el trazado de una vialidad tal que permita el minado bajo criterios económicos actuales; el consumo de explosivos será 0,39 kg/m<sup>3</sup>, esperando un alto porcentaje de material fracturado inferior a 128 cm y será necesario dos camiones roqueros de 32 toneladas

de capacidad para la operación minera de acarreo. En el resto de las operaciones los equipos son suficientes para cumplir con la demanda de 25.000 t/mes.

Álvarez, Iván (2006), en la tesis “*Plan de Explotación Minero de la Cantera Yaracuy, municipio La Trinidad, sector Las Casitas, estado Yaracuy*”, Universidad Central de Venezuela; concluye: Se seleccionó el afloramiento denominado SE-1, para el inicio de la explotación, que equivale a 11 Ha aproximadamente, debido a que es el afloramiento de menor cota, esto hace factible todos los movimientos de tierra, porque está ubicado a pie de cerro y por su cercanía a la zona de almacenamiento.

La explotación se realizará en forma de bancos descendentes, con alturas de 10 m cada banco, 4 m de berma mínimos para seguridad, el ángulo de cara de talud de 72° y un ángulo de talud final de 55°. El factor de seguridad para este diseño geométrico de bancos es de 1,2 lo que representa un valor suficientemente seguro para este tipo obras. El cargador trabaja al 65% de su capacidad, por lo tanto se puede considerar aumentar la producción adquiriendo otro camión de transporte. Las operaciones de la cantera pueden ser cubiertas totalmente por un cargador frontal y tres camiones roqueros seleccionados en el proyecto.

Correa, Donny y Santillán, Lennin (2016), en la tesis “*Factibilidad Económica para la Explotación de Rocas Calizas en la Concesión No Metálica José Gálvez – Bambamarca – Cajamarca*” Universidad Privada del Norte – Perú; concluye: En el estudio de mercado se analizó la oferta de cal, la cual es amplia, ya que existen bastantes empresas en ofrecer este producto; esto se debe a la riqueza en caliza de la región Cajamarca. Asimismo la demanda también es amplia ya que las grandes empresas son el principal consumidor, sus pedidos mensuales por empresa superan las 10 mil toneladas; con un consumo aparente es de 8 428 125 Toneladas, tasa aritmética de 7.2% y tasa geométrica de 16.75%.

El proceso de producción se realiza artesanalmente, usando hornos verticales de ladrillo, y como combustible carbón tipo antracita, el proceso es de la siguiente manera: extracción de la

roca caliza de la cantera, chancado de la roca, chancado del carbón antracita, quemado de roca caliza con carbón antracita, selección de impurezas, despacho y transporte final.

En el estudio económico se ha determinado el flujo de caja y el tiempo de recuperación teniendo como reservas 860 315 TM, con producción mensual de 2000 TM, la vida útil es 18.76 años. El flujo de Caja es 115 187 988.6 soles y el tiempo de Recuperación es de 0.35 años.

Se empleará un canal de comercialización directa entre productor y consumidor, dentro de los principales consumidores a contactar tenemos las empresas mineras, las municipalidades y agricultura.

Ramírez, Rocío (2015) en la tesis "*Formulación Optima de un Material de Construcción Alternativo para el Revestimiento de paredes mediante el uso de Roca Caliza*", Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión – Perú, concluye; El Perú presenta importante cantidad potencial de caliza en las diversas regiones. La producción de caliza por regiones en Perú, destaca la región Lima con alrededor del 37.14% del total de la caliza peruana, con aproximadamente 4 millones de T.M. al año.

El proceso de formulación del producto se caracteriza por presentar procesos unitarios y operaciones unitarios, la calidad del producto es muy influenciada por la calidad de la calidad de la cal hidratada utilizada.

El producto que presenta mejor comportamiento respecto al patrón es el obtenido a partir de la formulación másica de cal hidratada/ arena molida ~ 4 (~ 80/20).

La mejor formulación de las ensayadas, para los fines comerciales del producto, es la que presenta la relación másica cal hidratada/ arena molida = 4 (= 80/20).

## **2.2 Bases teórico - científicas**

### **2.2.1 Rocas calcáreas**

Díaz, Alejandra; 2009, define a los carbonatos como sustancias formadas por dos o más elementos, en una proporción fija por peso. Contiene los elementos de carbono (C) y

oxígeno (O) en su forma de  $\text{CO}_3$ , conteniendo un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. Según la clasificación elaborada por Struz, los carbonatos se dividen en anhidros, hidratados y con o sin aniones extraños. Las especies minerales forman dos grupos; en el primero están la calcita y dolomita y en el segundo el aragonito. Dentro de estos minerales la calcita y la dolomita son los más importantes por su abundancia y usos, ya que forman parte de muchas rocas y minerales.

Tabla N° 1

Composición química de la calcita y dolomita

| Mineral  | Fórmula                      | Componentes   | Porcentaje (%) |
|----------|------------------------------|---------------|----------------|
| Calcita  | $\text{CaCO}_3$              | CaO           | 56,2           |
|          |                              | $\text{CO}_2$ | 43,8           |
| Dolomita | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ | CaO           | 30,4           |
|          |                              | MgO           | 21,7           |
|          |                              | $\text{CO}_2$ | 47,9           |

Fuente: Betejtin, A., Curso de Mineralogía

Las principales rocas carbonatadas utilizadas por la industria son las calizas y dolomías. Las calizas son rocas sedimentarias compuestas principalmente por calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y las dolomías ( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ ). Otros carbonatos como el aragonito ( $\text{CaCO}_3$ ), la siderita ( $\text{FeCO}_3$ ), la ankerita ( $\text{Ca}_2\text{MgFe}(\text{CO}_3)_4$ ) y la magnesita ( $\text{MgCO}_3$ ), son comúnmente asociados con calizas y dolomías pero generalmente en menor cantidad.

### 2.2.2 Características petrográficas

La caliza es una roca que tiene origen químico y orgánico. Los carbonatos de origen químico se formaron por precipitación de disoluciones bicarbonatadas o carbonatadas con dióxido de carbono y agua. A este grupo pertenecen las pisolitas, calizas litográficas, calizas fibrosas y tobas calcáreas. Méndez (1995).

Los carbonatos de origen orgánico están formados por caparzones de animales acuáticos y las oolitas por pequeños granos esféricos que tienen por núcleo restos de conchas o granitos de arena.

Tabla N° 2  
Composición química de la caliza

| Componentes                    | %      |
|--------------------------------|--------|
| CaCO <sub>3</sub>              | 97,8   |
| MgCO <sub>3</sub>              | 1,25   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,095  |
| SiO <sub>2</sub>               | 0,56   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,23   |
| Ni                             | < 0,02 |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | < 0,01 |
| SrO                            | 0,03   |
| MnO                            | < 0,01 |

Fuente: Betejtin, A., Curso de Mineralogía

### 2.2.3 Tipos

#### Calizas

Peltijohn clasifica a las rocas calizas como autóctonas y alóctonas. Las autóctonas se forman in situ por una acumulación de calizas orgánicas no transportadas y se puede subdividir a su vez en dos: bioermales si son de extensión restringida y bioestromales si son de carácter extendido. Las calizas alóctonas están constituidas por materiales formados en otros sitios y depositados en el lugar.

También existen dos clasificaciones; de Folk (1959) que denomina a los constituyentes esenciales de las calizas como aloquímicos y ortoquímicos y de Dumham (1962) que considera la textura depositacional sobre la base de la presencia o ausencia de todo carbonatado y signos de ligadura o unión entre las estructuras orgánicas.

La utilización de las calizas está relacionada principalmente con el contenido de carbonato, especialmente de grado químico, como se muestra en la tabla siguiente. Tal definición de pureza química es relativamente simple y puede ser usada para ilustrar la distribución de la pureza de la caliza y permite los datos químicos de diferentes calizas.

Tabla N° 3  
Clasificación porcentual de calizas

| Categoría       | CaCO <sub>3</sub> (%) |
|-----------------|-----------------------|
| Muy alta pureza | > 98,5                |
| Alta pureza     | 97,0 – 98,5           |
| Media pureza    | 93,5 – 97,0           |
| Baja pureza     | 85,0 – 93,5           |
| Impura          | < 85,0                |

Fuente: Mineralogy and Petrology Group, British Geological Survey

En la tabla siguiente presentamos los resultados de los análisis de algunas muestras de calizas del territorio peruano y es importante resaltar que contamos con materiales calcáreos de alta calidad que con un mayor tratamiento pueden sustituir la importación total del carbonato de calcio.

Tabla N° 4  
Leyes de CaCO<sub>3</sub> y CaO en el Perú

| Cantera          | Región       | Provincia    | CaCO <sub>3</sub> + Yeso | caO     |
|------------------|--------------|--------------|--------------------------|---------|
| Romacha          | Junín        | Jauja        | 99,98 %                  | 54,70 % |
| Chacapalpa       | Junín        | Jauja        | 99,99 %                  | 54,63 % |
| Nueva Nora Sofía | Huancavelica | Huancavelica | 99,62 %                  | 54,50 % |
| Pucapampa        | Huancavelica | Huancavelica | 99,79 %                  | 54,61 % |
| Palloc           | Cajamarca    | Celendín     | 95,59 %                  | 53,41 % |
| Otuzco           | Cajamarca    | Cajamarca    | 98,28 %                  | 52,27 % |

Fuente: Compendio de Rocas y Minerales Industriales, 2009

Estos resultados revelan que en el Perú existen calizas de rango entre medio alto y alto, y por sus propiedades físicas, mineralógicas y químicas son muy utilizadas en los diversos sectores industriales de la economía, siendo sus principales derivados por su importancia comercial: la roca triturada, usada como agregado en la construcción o en la producción de cal, el cemento y el carbonato de calcio usado en distintas industrias.

### **Dolomía**

Cuando prevalece la dolomita se denomina dolomía, en donde la fracción carbonato contiene 90% o más del mineral dolomita, lo cual representa un poco más del 50% de la roca. En general las dolomitas presentan mejor uniformidad de granos que las calizas. Folk (1969).

Es una roca calcárea formada por mineral de dolomía (carbonato de calcio y magnesio). Esta roca se presenta estrechamente asociada a la caliza, pudiendo estar interestratificada e incluso puede pasar gradualmente a caliza. La mayor parte de estas rocas son calizas reemplazadas debido a la contaminación de aguas cargadas de sales magnesianas.

### **Margas**

Estas rocas son mezclas semifriables de materiales arcillosos y carbonato de calcio, tienen de 35% a 65% de carbonato y un contenido complementario de arcilla (normalmente 22%). Las margas son rocas intermedias entre calizas y arcillas; cuando contienen aproximadamente igual cantidad de ambas sustancias constituyen la materia prima para la fabricación del cemento portland.

### **Travertino**

El travertino proviene de rocas carbonatadas que son disueltas y redepositadas por las aguas. Normalmente estas rocas son translúcidas, con tonos blancos, grises o ligeramente amarillos.

El contenido de calcio en los travertinos permite utilizarlo en diferentes industrias, también se utiliza como roca ornamental.

#### **2.2.4 Otras rocas carbonatadas**

##### **Rocas carbonatadas detríticas**

Se originan por erosión y transporte de calizas anteriores. Son semejantes a los conglomerados, areniscas o arcillas, pero compuestas por clastos y cemento calcáreo. Las calizas oolíticas (son esféricas) están formadas por pequeñas concreciones de carbonato denominadas oolitos y están cementadas por el mismo carbonato. Cuando las concreciones son mayores (pisolitos) se denominan calizas pisolíticas. Entre las calizas litográficas, muy compactas. En ellas se han conservado impresiones de fósiles, como la del *Archaeopteryx lithographica*, primera ave fósil conocida. (Tomado y modificado de Mount, 1985)

##### **Rocas carbonatadas químicas**

Se forman por precipitación del carbonato insoluble, al desprenderse el CO<sub>2</sub>, son los travertinos y las tobas calizas. Asimismo, la coquina que son fragmentos calcáreos poco consolidados formado por caparzones de moluscos que están unidas por arena y carbonatos. Los caliches son costras calcáreas formadas sobre el suelo, en las regiones secas, cuando el agua asciende por capilaridad y precipita el carbonato en la superficie.

##### **Rocas carbonatadas bioquímicas**

Se forman por precipitación del carbonato de calcio debido a la actividad de algas y bacterias. En conjunto son de relativa importancia los esqueletos u otras partes duras de diversos grupos de animales: moluscos, corales, esponjas, equinodermos, etc.

La creta es una variedad de caliza no consolidada, formada fundamentalmente por microorganismos.

## **Carbonatitas**

Las carbonatitas son rocas ígneas volcánicas del tipo ultrabásico que se producen por procesos químicos de concentración de carbonatos a temperaturas de 700 a 500°C a altas presiones.

Las rocas carbonatíticas, se relacionan con las kimberlitas y se conocen algunos centenares de ellas en diversos lugares del mundo. Algunos son cilíndricas, aunque de sección muy irregular, a manera de chimenea, con zoneamiento concéntrico muy bien desarrollado; otras son irregulares y no presentan ningún tipo de zoneamiento. Todas las carbonatitas están compuestas de carbonatos, entre los que predomina la calcita, la dolomita y la siderita, sin embargo son de origen ígneo. La terminología de las carbonatitas es difícil y compleja, depende de su composición química y no solo del carbonato predominante, sino también de los elementos accesorios que contenga y de sus asociaciones.

Algunas carbonatitas son ricas en magnetita, apatito, otras en tierras raras, flúor y bario. También se les clasifica en alcalinas y ricas en hierro, circonio y magnesio. Se les divide en cuatro grupos principales:

- Complejos de diques anulares alcalinos.
- Complejos alcalinos no anulares.
- No asociados a rocas alcalinas.
- Corrientes y rocas piroclásticas.

Las carbonatitas son explotadas para la obtención de minerales metálicos y no metálicos, incluyendo a las valiosas tierras raras, niobio, tantalio, zirconio, apatito, hafnio, hierro, titanio, vanadio, uranio, torio, vermiculita y barita. En algunas ocasiones las concentraciones de cobre encontradas en las carbonatitas son gigantescas, considerándose casi como pórfidos cupríferos; algunas carbonatitas se asocian a sienitas

y rocas alcalinas. Las más jóvenes se relacionan a rifts en el interior de zonas cratónicas, lo que sugiere procesos corticales profundos o del manto superior.

### **Clasificación de las rocas carbonatadas según su uso**

Tomando como base la composición química, las rocas de carbonatos pueden dividirse en cinco grupos principales:

- Caliza con alto calcio; que puede portar sobre el 95% de  $\text{CaCO}_3$  y es adecuada para la producción de cal.
- Roca calcárea. Existen cinco tipos diferentes (I a V) de cemento portland. El ingrediente alúmina se puede ajustar mediante la adición de arcilla; y si el contenido de carbonato de calcio es bastante bajo se puede agregar algo de caliza con alto calcio.
- Dolomita para fundente. La selección de dolomías para su uso como fundente metalúrgico deberá ser muy cuidadosa y tomar en cuenta que las impurezas críticas perjudiciales son sílice, azufre y fósforo, para las cuales las tolerancias son bastantes bajas.
- Roca calcárea para concreto, agregado, roca dimensionada y propósitos químicos diversos. Aun cuando los requerimientos para agregados y piedra dimensionada son más de orden físico que químico, es importante considerar la ausencia de nódulos de chert y de piritita.
- Roca calcárea para empedrado metálico (*road metal*), balasto de línea de ferrocarril y uso general. Las especificaciones para tales rocas son más de orden físico que químico.

#### **2.2.5 Principales derivados de la caliza**

El principal derivado de la caliza es la cal, que es el producto que se obtiene calcinando la piedra caliza por debajo de la temperatura de descomposición del óxido de calcio.

## **Cal**

La cal es un producto que se obtiene calcinando las calizas por debajo de  $903^{\circ}\text{C}$ , descomponiéndose en  $\text{CaO} + \text{CO}_2$ . Denominándose cal viva y si se añade agua se convierte en hidróxido de calcio, llamándose cal apagada. En base a los pesos atómicos, 100 kilos de caliza pura producen 56 kilos de cal viva. En el mercado se comercializan mayormente 3 tipos de cal.

### **Cal viva**

Material obtenido de la calcinación de la caliza que al desprender anhídrido carbónico se transforma en óxido de calcio. La cal viva debe ser capaz de combinarse con el agua, para transformarse de óxido a hidróxido y una vez apagada (hidratada) se aplique en la construcción, principalmente en la elaboración del mortero de albañilería.

### **Cal apagada**

Se conoce con el nombre comercial de la cal hidratada a la especie química de hidróxido de calcio, la cual es una base fuerte formada por el metal calcio unido a dos grupos hidróxidos. El óxido de calcio al combinarse con el agua se transforma en hidróxido de calcio.

### **Cal hidráulica**

Cal compuesta principalmente de hidróxido de calcio, sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o mezclas sintéticas de composición similar. Tiene la propiedad de fraguar y endurecer incluso debajo del agua.

### **Cal hidratada**

Es el hidróxido de calcio, resultado de la adición de agua a denominada la cal viva.

### **Carbonato cálcico**

El carbonato de calcio,  $\text{CaCO}_3$  es muy abundante en la naturaleza. Aparece en forma de roca caliza, fácilmente erosionable por la acción del viento y la lluvia. El carbonato de

calcio puro existe como calcita (trigonal) y aragonito (r6mbico) que son formas pr6cticamente puras. Este compuesto tiene numerosas aplicaciones en la industria.

### **2.2.6 Propiedades**

Entre las principales propiedades se cuentan:

#### **Color**

La coloraci3n de las calizas ricas en calcio y de las calizas dolom6ticas es blanco cuando son puras, pero cambia de color entre el gris y el negro a consecuencia de las impurezas carbonosas que contienen. As6, el 3xido f6rrico le da un color amarillento, rojo, pardo; los sulfuros tales como la pirita, la marcasita y la siderita alteran el color superficial de la roca al oxidarse bajo la influencia de los agentes atmosf6ricos, dando un color rojizo.

#### **Resistencia**

La resistencia de la caliza es una propiedad importante a la compresi3n, al aplastamiento que oscila entre 98,4 y 583,5 Kg/cm<sup>2</sup>. La resistencia a la tracci3n no es tan importante y es m6s dif6cil de determinar, su variaci3n es de 26 a 63 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **Densidad**

La densidad bruta de la caliza es el peso de un dec6metro c6bico, que var6a seg6n el contenido de humedad, la textura y la porosidad de la roca.

La caliza comercial secada al aire en condiciones ordinarias tiene una densidad de 1,922 kg/dm<sup>3</sup>. En condiciones de humedad, la densidad bruta puede ser de 2,242 kg/dm<sup>3</sup>.

La densidad real prescindiendo de los poros llenos de aire oscila entre 2,2 y 2,9 kg/dm<sup>3</sup>.

La caliza rica en calcio tiene una densidad de 2,65 a 2,75 kg/dm<sup>3</sup>, y las calizas dolom6ticas de 2,8 a 2,9 kg/dm<sup>3</sup>.

Otras caracter6sticas son:

Absorci3n de agua: 2 a 8% en peso.

Desgaste al rozamiento: 30 a 40 cm<sup>3</sup> y al chorro de arena de 7 a 10 cm<sup>3</sup>.

### **2.2.7 Condiciones y ambientes de formación**

Las calizas son rocas originarias por un proceso de sedimentación directa. Esta sedimentación puede tener diversos orígenes, si bien la más común es la denominada precipitación bioquímica. El carbonato cálcico se fija (en general, en forma de aragonito) en las conchas o esqueletos de determinados organismos, ya sean microscópicos (foraminíferos) o macroscópicos (lamelibranquios, braquiópodos, gasterópodos) y a su muerte, estas conchas o esqueletos se acumulan, originando un sedimento carbonatado.

El aragonito, inestable en condiciones atmosféricas, se va transformando en calcita y la disolución parcial y reprecipitación del carbonato cementa la roca, dando origen a las calizas. Otra forma de depósito es la fijación del carbonato sobre elementos extraños, como granos de cuarzo o pequeños fragmentos de fósiles, dando origen a los oolitos (calizas oolíticas). También las algas fijan este compuesto, dando origen a mallas de algas o estromatolitos, si se fragmentan y ruedan originan los pisolitos (calizas pisolíticas). Todas estas posibilidades dan origen a los diversos tipos de calizas. Dunham (1962).

Folk y Dunham afirman que las grandes formaciones de caliza están relacionadas principalmente a depósitos de costa mixta y plataforma y a arrecifes.

#### **Costas mixtas**

Se definen las costas mixtas como aquellas donde la sedimentación de carbonatos ocurre tan cerca de tierra firme que contribuyen no solo en las facies del mar abierto, sino a los depósitos costeros de plataforma: costas de carbonatos y depósitos. Existen muchas áreas en el mundo recubiertas por secuencias de calizas relativamente finas (en general menos de 600 m) de miles de kilómetros cuadrados, con una gran estratigrafía fácilmente correlacionable en forma de capas sucesivas parecidas a un pastel. La

paleontología indica que estos depósitos se formaron en condiciones marinas abiertas de poca profundidad, en extensas plataformas de muy suave pendiente (Selley, 1976).

### **Arrecifes**

Son estructuras geológicas de origen biológico, sólidas, masivas y con formas variadas, que cubren la matriz rocosa de algunos fondos marinos tropicales y subtropicales. Estos son creados por organismos fijados al fondo que forman esqueletos pétreos de carbonato de calcio (principalmente corales pétreos). La mayoría de los arrecifes crecen en aguas poco profundas de mares tropicales, su crecimiento óptimo se lleva a cabo en aguas de menos de 50 m. Los sedimentos de la laguna están compuestos por pellets, arenas de foraminíferos y lodos calcáreos finos. Los arrecifes están compuestos por el almacén calcáreo resistente, formado por esqueletos orgánicos, la parte superior es plana. Dicho almacén puede ser muy poroso, con porosidades registradas hasta el 50%. Los geólogos denominan arrecife a las lentículas formadas por los esqueletos calcáreos de organismos.

### **2.2.8 Unidades geológicas favorables en el país**

El territorio peruano cuenta con varios grupos y formaciones geológicas constituidas por calizas. Estas rocas se explotan por medio de canteras, la mayoría de ellas trabajadas artesanalmente, también existen canteras mecanizadas que pertenecen generalmente a las empresas cementeras.

Tabla N° 5  
Génesis de las calizas

| Origen       |                                   |                             | Tipo de caliza     |        |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------|--------|
| Magmático    | Autoctono<br>(No<br>Redepositado) | Precipitado<br>químicamente | Carbonatita        | Mármol |
| Sedimentario |                                   |                             | Calcita (en parte) |        |
|              | Caliza espeleotemática            |                             |                    |        |
|              | Travertino                        |                             |                    |        |
|              | Calcita                           |                             |                    |        |
|              | Calcrete                          |                             |                    |        |
| Calcilutita  |                                   |                             |                    |        |

|  |                            |  |  |
|--|----------------------------|--|--|
|  |                            | Biogenico  | Caliza coralina<br>Caliza de arrecife<br>Caliza foraminífera<br>Creta<br>Caliza de algas<br>Caliza fosilífera<br>Calcilutita<br>Creta lacustre |
|  | Aloctono<br>(Redepositado) | (Distinción entre<br>Origen por<br>Precipitación y<br>Biogénico difícil) | Arena calcárea<br>Caliza oolítica<br>Calcirudita<br>Conglomerado de caliza<br>Brecha de caliza<br>Lumaquelas                                   |

Fuente: Lorenz, W. & Gwosdz, W. (2004), Manual para la evaluación geológica – técnica de minerales de construcción

### 2.2.9 Canteras en el Perú

Las calizas son las más abundantes entre todas las rocas carbonatadas y los yacimientos de la costa son las más accesibles.

Tabla N° 6

Canteras de rocas calcáreas en el Perú

| Región       | N° Canteras | Región       | N° Canteras |
|--------------|-------------|--------------|-------------|
| Ancash       | 49          | La libertad  | 26          |
| Apurimac     | 5           | Lambayeque   | 7           |
| Arequipa     | 25          | Lima         | 32          |
| Ayacucho     | 2           | Moquegua     | 9           |
| Cajamarca    | 25          | Pasco        | 7           |
| Cusco        | 8           | Piura        | 4           |
| Huancavelica | 12          | Puno         | 10          |
| Huánuco      | 2           | San Martín   | 1           |
| Ica          | 33          | Tacna        | 7           |
| Junín        | 73          | <b>Total</b> | <b>337</b>  |

Fuente: Díaz, A. INGEMMET (1999 – 2005)

### 2.3 Explotación por canteras

La explotación por canteras se diseña a tajo abierto, por varios motivos; reducción de los costos de producción, deposición de material calcáreo, la selección del programa de extracción de mena y ganga y por la decisión técnica del modelo de explotación a seguir.

### **2.3.1 Caracterización del yacimiento**

Según SME (1992), la caracterización de recursos se define como “la determinación de la forma, tamaño, calidad, cantidad y variabilidad de la entidad geológica e, igualmente importante, determinar los límites de las características geológicas variables”.

La caracterización del yacimiento es importante porque servirá de soporte para estudios definitivos de exploración, diseño y explotación de la cantera.

Para caracterizar un yacimiento es necesario disponer de ciertos datos, como los siguientes:

- Datos de contacto superficial y tipología de elementos litológicos.
- Datos estructurales tomados en superficie (fracturas, diaclasas, fallas)
- Perforaciones exploratorias en la zona y sus respectivos análisis de testigos.
- Datos sobre nivel freático de la zona.
- Topografía actualizada de la zona.
- Caracterización química de las perforaciones y muestras de campo.

De todo lo enunciado, lo más importante son las perforaciones exploratorias, porque proporcionan datos directos del subsuelo, que analizados por geólogos expertos otorgan confiabilidad del yacimiento aunque son costosos.

El modelo geológico final del yacimiento tiene como objetivo fundamental proporcionar una imagen geológica tridimensional de numerosas características del yacimiento. Los planos y secciones usados para desarrollar el modelo forman “toda la base para la estimación de recursos en los esquemas de cálculo de reserva convencionales” (SME, 1992).

### **2.3.2 Cubicación de reservas**

La cubicación de reservas es una actividad fundamental para cualquier proyecto minero. Permite la búsqueda y apalancamiento de flujos de inversión de acuerdo al volumen de

reservas cubicadas. Sin embargo, se debe tener un alto grado de exactitud y conocimiento de la cantidad de mineral a ser extraído y determinar el grado de beneficio a ser alcanzado con el proyecto.

El cálculo de reservas es la evaluación cuantitativa y cualitativa del mineral que puede ser extraído con beneficio y legalmente del depósito mineral durante la explotación minera. Según el SME (1977), la estimación o cálculo de reservas involucra “no sólo la evaluación del tonelaje del depósito, también se considera los aspectos técnicos y legales para la minería del depósito, beneficio mineral y venta del producto”.

El cálculo de reservas extraíbles depende de los aspectos legales y técnicos actuales y futuros. Es por esto que los proyectos mineros tienen altos niveles de riesgo. Por ejemplo, un proyecto minero se puede iniciar actualmente bajo un determinado marco legal nacional; sin embargo este marco legal puede variar a futuro, a medio o largo plazo, afectando negativamente la cantidad de reservas extraíbles o las condiciones operativas del proyecto.

Lo mismo sucede con el aspecto tecnológico. Actualmente se están desarrollando proyectos en minas que hasta hace unos años se consideraban poco rentables por las dificultades técnicas que representaban. En el presente, los avances tecnológicos en equipos, sistemas y procesos han logrado mejorar la productividad y rentabilidad de los proyectos mineros.

### **Métodos de cubicación de reservas**

Para cubicar las reservas de un yacimiento se requiere de ciertas características físicas inferidas del depósito mineral a partir de la colección de datos, análisis de datos y modelo geológico. Algunos de los elementos relevantes para la evaluación del yacimiento (SME, 1977) son:

- El tamaño, forma y continuidad de las zonas del yacimiento.

- Distribución de frecuencia de mineralización similar (zonas de mineralización continua vertical u horizontal).
- La variación espacial de mineralización (desarrollo de modelos de bloques con mineralización específica).
- Elementos estructurales y geológicos como fallas, morfología del yacimiento, contactos, entre otros.

Para poder estimar las reservas adecuadamente es importante tener una idea básica del proceso de explotación minera a ser empleado. Esto es relevante ya que cada actividad minera permite recuperar volúmenes de mineral particulares.

Los elementos mineros más importantes para la evaluación de reservas son:

- El rango de mineralización económicamente rentable.
- El grado de selectividad y tamaño de planta de beneficio.
- Variaciones en el depósito que afecten la capacidad de extraer el mineral.

Existen diversos métodos de cubicación de reservas que se expone a continuación:

- **Método de secciones.**- método que divide el yacimiento en secciones o “cortes” verticales y paralelos entre sí para obtener cortes transversales del yacimiento, como se aprecia en el gráfico adjunto. A partir de estos cortes se puede obtener el volumen y tonelaje de estéril y mena siguiendo las siguientes fórmulas (SME, 1977, López y Aduvire, 1994):

Para el cálculo de volumen (V) se emplea la ecuación 1:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L_1 \quad (1)$$

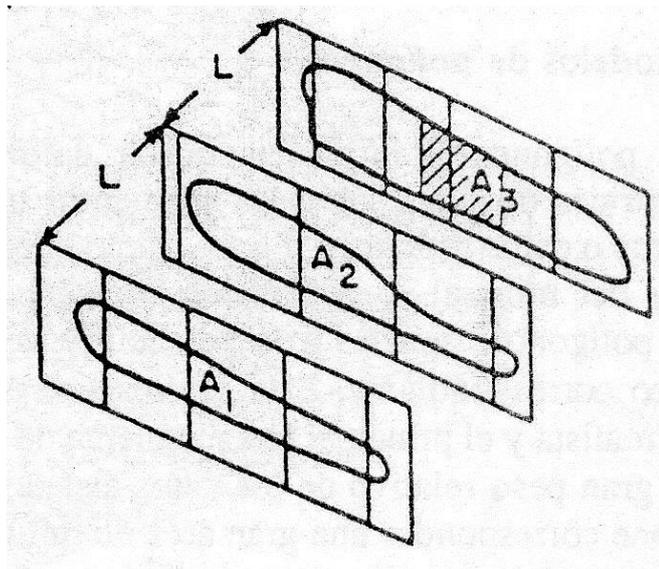
Para el cálculo del tonelaje (T) se aplica la ecuación 2:

$$T = \frac{A_1 + A_2}{2} \times L_1 \times t \quad (2)$$

Donde “ $t$ ” es la densidad media del mineral ( $t/m^3$ ). Es importante destacar en este aspecto que para las toneladas de estéril se deben emplear las áreas correspondientes al estéril de las secciones y la densidad del estéril. Lo mismo se aplica para el cálculo del volumen y tonelaje de mena.

Gráfico N° 1

Secciones en un yacimiento y elementos del cálculo de reservas



Fuente: López y Aduvire, 1994

Para aplicar este método es recomendable que las secciones construidas contengan la mayor cantidad de perforaciones alineadas posibles, que otorgará la mayor representación del yacimiento en las secciones.

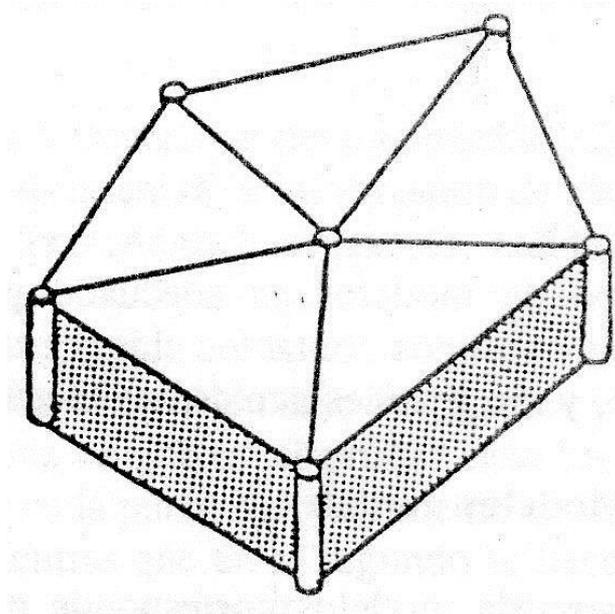
Cuanto mayor sea el número de perforaciones existentes en el yacimiento, se podrán obtener secciones con menor distanciamiento y mayor precisión en la representación del yacimiento en las secciones y cálculo de reservas empleando las mismas. Por supuesto, el costo de los sondeos es regularmente alto y siempre se intenta establecer un patrón exploratorio económicamente rentable y que

proporcione la suficiente información para dar inicio a la explotación con un cierto grado de certeza en la estimación de reservas.

- **Método de triangulación.**- consiste en construir prismas rectangulares usando tres perforaciones contiguas como vértices del respectivo prisma. Como se puede apreciar en el gráfico adjunto, el procedimiento se resume en la unión de los sondeos existentes por líneas rectas, luego se establece un prisma rectangular usando tres perforaciones cercanas como vértices. La ley de cada prisma se obtiene como la media aritmética correspondiente a cada perforación o vértice del prisma. También se puede estimar como la media ponderada entre los tres vértices.

Este método tiende a originar errores importantes en las estimaciones de reservas.

Gráfico N° 2.  
Método por triangulación

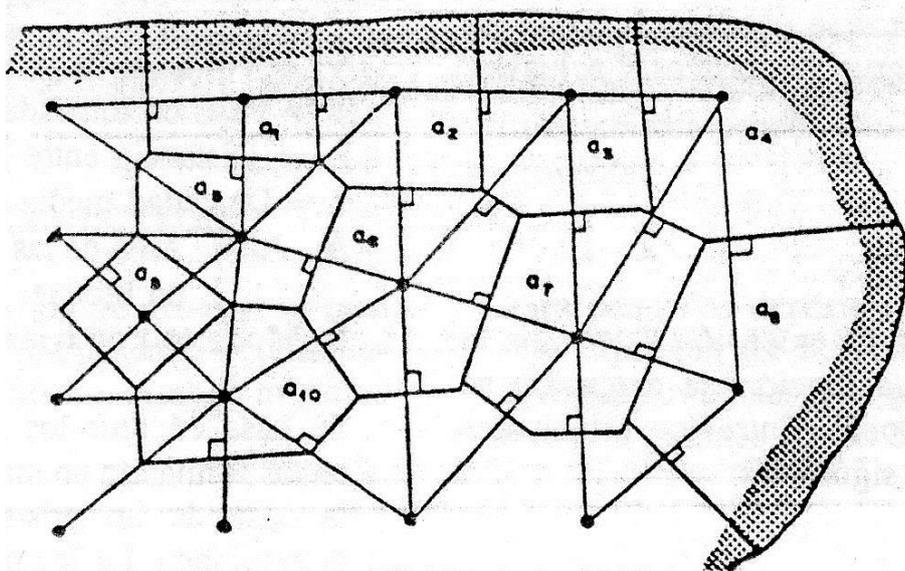


Fuente: SME, 1992

- **Método de polígonos.**- tiene principios similares al método de triangulación, pero en este caso el polígono se construye teniendo a una perforación específica como centro del área.

En el gráfico siguiente se aprecia una perforación o sondeo que ejerce un área de influencia sobre la cual se establece el área que se usará como base.

Gráfico N° 3  
Método de polígonos



Fuente: López y Aduvire, 1994

En el gráfico N° 3 se aprecia que cada elemento se construye con las mediatrices dibujadas de los segmentos rectos que unen a cada sondeo cercano con el sondeo eje de dicho polígono. Estas mediatrices definen el área poligonal, mientras que la ley del sondeo eje establece la ley general de dicha área.

Al igual que ocurre con los demás métodos geométricos, esta hipótesis sobre la ley de un polígono normalmente es poco realista. En muchos casos, se encuentra que la ley del mineral varía con la ley correspondiente al sondeo eje de dicho polígono.

Uno de los elementos negativos de este método es que sólo considera la influencia y comportamiento del sondeo o perforación eje del polígono. Una aplicación más realista debería tomar en consideración el comportamiento de los sondeos cercanos

para poder tener una estimación o evaluación más precisa de las reservas del yacimiento.

- **Métodos contemporáneos.**- Con el desarrollo de paquetes informáticos mineros o software, se han logrado importantes mejoras en el desarrollo de programas mineros; particularmente han permitido el cálculo de reservas empleando grandes volúmenes de información minera de los yacimientos.

#### **Modelos geométricos:**

- **Método de bloques.**- consiste fundamentalmente en modelar el yacimiento como una serie de bloques o cubos con dimensiones iguales, e información específica en los mismos, como leyes, mena, ganga, etc. De acuerdo a López y Aduvire (1994), el dimensionamiento de los bloques depende de varios aspectos, entre ellos los principales son:

- Variabilidad de las leyes,
- La continuidad geológica en el yacimiento,
- Tamaño de las muestras o sondeos y la distancia entre ellas,
- Capacidad de los equipos mineros a ser empleados,
- Taludes del diseño minero,
- Capacidades propias del equipo de computación usado.

La construcción de los bloques y las características de cada uno se realizan mediante variogramas por computadora tomando como base los sondeos o perforaciones y demás datos geológicos de relevancia.

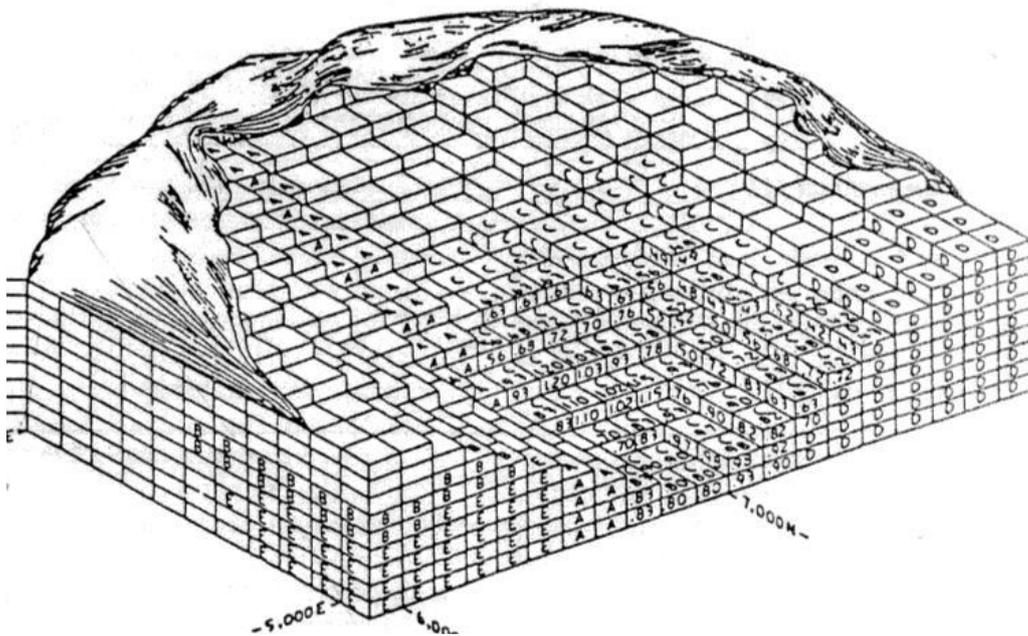
Los programas actuales permiten establecer las bases de datos, elementos integrantes en la base de datos, elementos a considerar en los variogramas y construcción de bloques (según lo confirma la empresa Maptek, quien desarrollo el

software Vulcan y Gemcom y las empresas Surpac y Minex, que exponen en sus respectivas páginas web).

En el gráfico siguiente se aprecia un modelo con bloques de tamaño regular a través de todo el yacimiento.

Gráfico N° 4

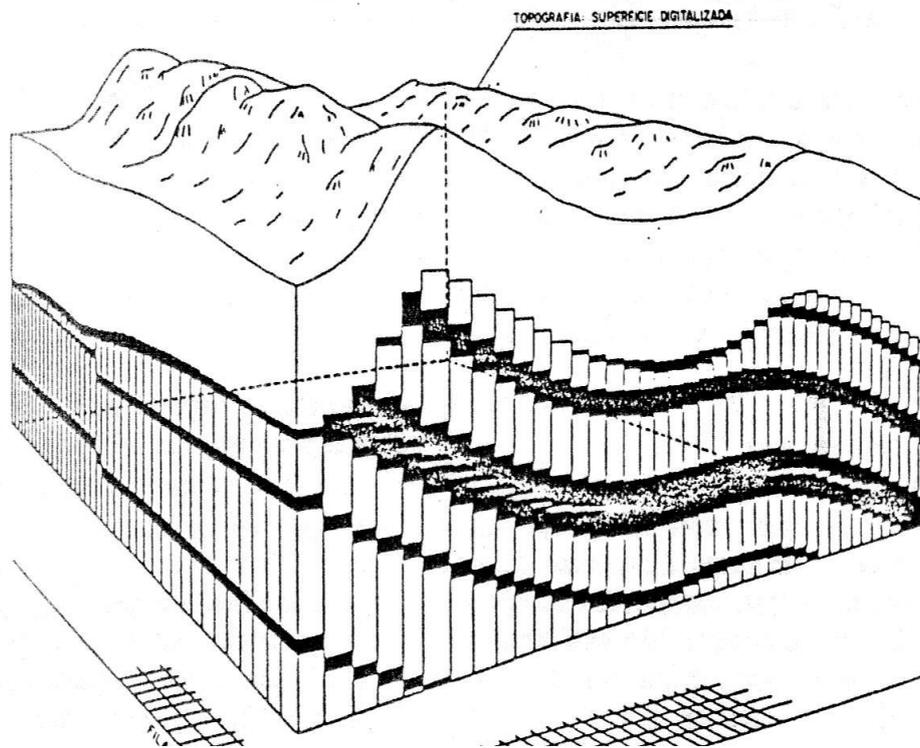
Modelo de bloques de un yacimiento con iguales dimensiones



Fuente: López y Aduvire, 1994

- **Método de capas.**- son modelos de bloques aplicados a yacimientos estratigráficos empleando elementos con altura variable. Este tipo de modelos toma en consideración que los estratos no se corten entre sí y que los niveles o zonas mineralizadas pasen por los sondeos exploratorios (SME, 1992).

Gráfico N° 5  
Modelo de capas



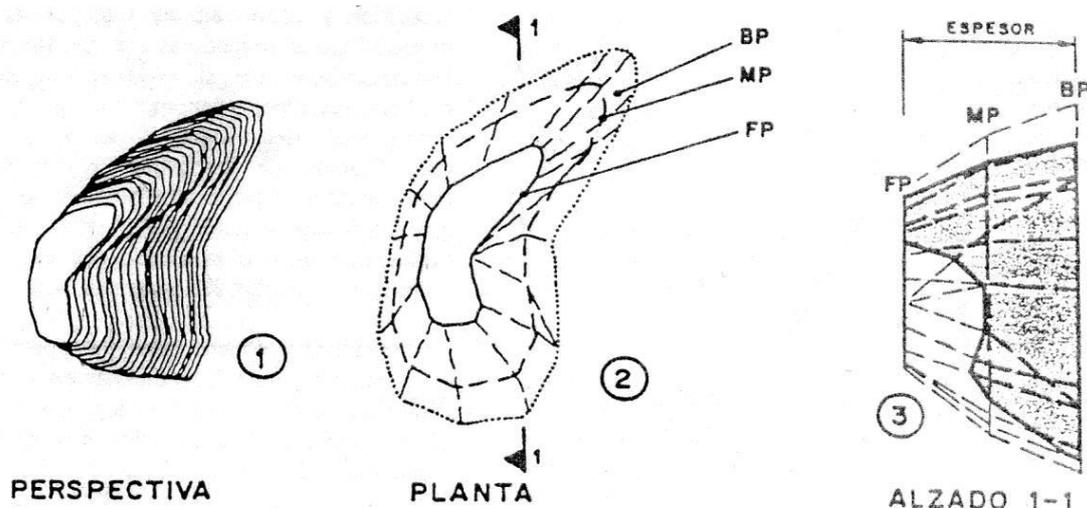
Fuente: López y Aduvire, 1994

- **Método Sólido Tridimensional.**- Este método se establece como rebanadas de un yacimiento, integrando los elementos del diseño minero (galerías, cámaras, y otros). Estas rebanadas o sólidos permiten su manipulación gráfica mediante programas computarizados.

En estos modelos se emplean diversas perspectivas gráficas y los elementos son ubicados mediante sistemas de coordenadas en 3 dimensiones. En el gráfico siguiente se aprecian varios elementos de este método.

Gráfico N° 6

Elementos de un modelo sólido



Fuente: López y Aduvire, 1994

Para la construcción de cada estrato se toma un plano medio (MP), posteriormente se interpola este MP con los MP de secciones contiguas y se establece el plano frontal (FP) y el plano trasero (BP). Los planos frontal y trasero representan los límites de la capa o sólido respectivo. De esta forma se construye el sólido de tipo piramidal representativo de la capa sólida.

### 2.3.3 Diseño del sistema de explotación en canteras

Las canteras suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas a nivel nacional representa un volumen considerable.

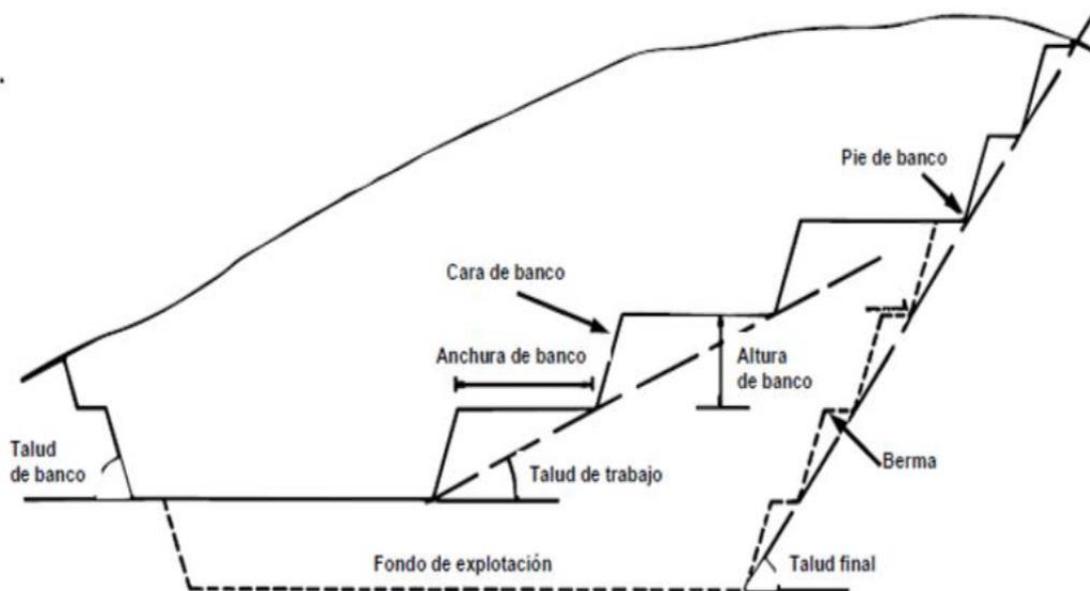
Los productos obtenidos en las canteras, a diferencia del resto de las explotaciones mineras, no requieren ser sometidos a procesos de concentración, únicamente a procesos de clasificación, lo cual representa un ahorro considerable.

Se evitan gastos por reactivos y procesos de separación de minerales de valor de la ganga; en este caso, con calizas únicamente se requiere disminuir el tamaño del material para poder transportarlos, calcinarlos y venderlos.

De igual forma, las partes de una cantera en óptimas condiciones de explotación son una gran variedad, como se muestran en el siguiente gráfico.

Existen una variedad de métodos de explotación aplicables a las canteras; de ellos se debe elegir el adecuado a las condiciones del lugar como son: accesibilidad, morfología del yacimiento, producto a explotar, rentabilidad.

Gráfico N° 7  
Partes de una cantera



Fuente: López y Aduvire, 1994

Los métodos de explotación de canteras son:

- Minado de laderas.
- Bancos individuales.
- **Bancos múltiples.**
- Canteras horizontales.

En muchos yacimientos se está aplicando el método de minado por bancos múltiples.

- *Ángulos del talud.*- los ángulos óptimos de talud varían de cantera a cantera debido a las diferencias geológicas existentes. Inclusive, es posible encontrar ángulos

diferentes en zonas de una misma cantera o secciones superiores e inferiores de una misma sección transversal (SME, 1979).

Es importante que cuando se diseña los ángulos del talud, cumplan con otorgarle estabilidad a las rocas sin provocar efectos económicos negativos debido a inestabilidad del talud y sin poner en riesgo la seguridad del personal. El ángulo del talud final debe ser el adecuado para “minimizar la cantidad de estéril a ser removido” (SME, 1979).

Según el SME (1979), las “penalizaciones” o aspectos negativos que surgen por la inestabilidad del talud pueden ser:

- Pérdida de mena.
  - Costos de remoción adicionales ocasionados por movimiento de estéril adicional para recuperar mena que, de otra forma, se perdería.
  - Los costos asociados con el saneamiento de deslizamientos.
  - Los costos asociados por el re-direccionamiento de las vías de acarreo que puedan verse afectadas.
  - Retrasos en la producción.
  - La ineficiencia de producción y afectación a la programación existente debido a la falta de accesibilidad a las zonas afectadas.
- *Análisis de Estabilidad de Taludes.*- existen varios métodos para el análisis de la estabilidad en taludes. Es importante tener presente que los análisis tienen como premisa la existencia de algún plano o superficie de falla. Esta superficie o plano de falla generalmente se forma por cambios en litología, fallas en el macizo rocoso o discontinuidades en el mismo. El SME (1979) destaca los siguientes:

- *Método de equilibrio límite.*- tienen como principio el uso de la estática para “analizar la estabilidad de masas de roca y/o suelo sobre la superficie de falla” (SME, 1979).

Existen dos panoramas en el análisis de estabilidad:

- La falla ya ha ocurrido. En esta circunstancia, la geometría de la superficie de falla se puede establecer y el análisis de la falla o deslizamiento se realiza por análisis forense.
- Cuando se habla de una situación de diseño, el plano de falla es potencial en lugar de real. En este caso, pueden existir varios tipos de superficie de falla que deben ser analizados para determinar la “geometría más crítica” antes de que un diseño de talud sea considerado como aceptable.

El método de equilibrio límite se basa en la relación entre las fuerzas que tienden a restaurar el equilibrio del macizo y las fuerzas que tienden a alterar el mismo. De este principio se deriva la siguiente ecuación, donde el factor de seguridad (F) se define como:

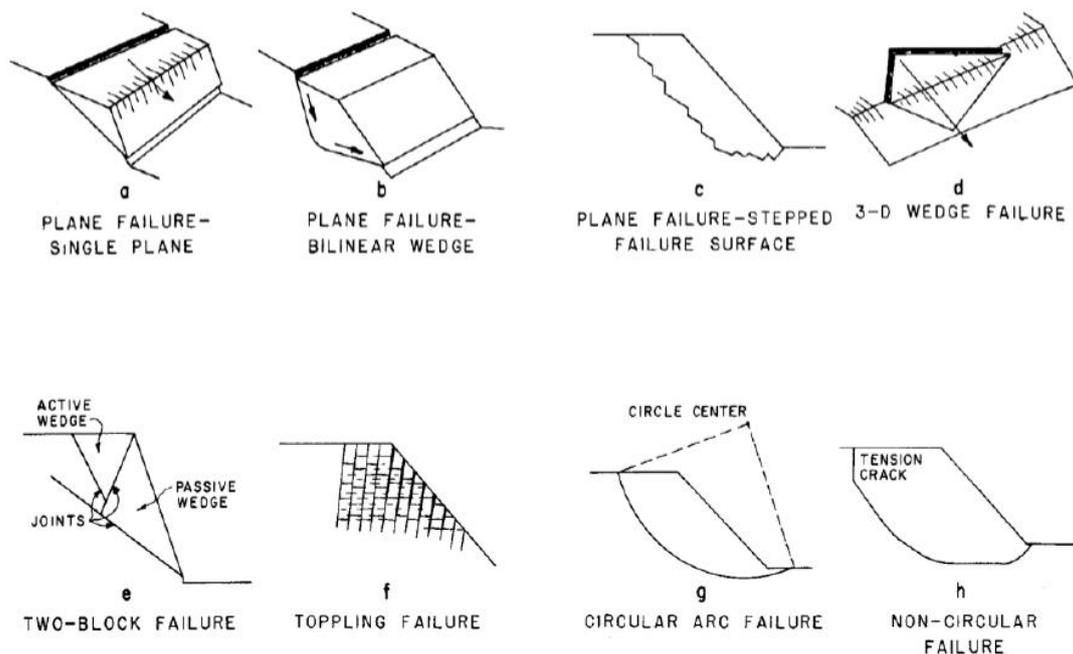
$$F = \frac{\text{Fuerzas que tienden a restaurar el equilibrio}}{\text{Fuerzas que tienden a alterar el equilibrio}}$$

Existe gran variedad de modos de falla en las minas a tajo abierto.

Las más importantes pueden ser apreciadas en el gráfico 8. Estos tipos de falla se definen principalmente en la zona de interacción entre dos masas de roca y/o suelo.

## Gráfico N° 8

### Tipos de falla observados en minas a tajo abierto



Fuente: SME, 1979

- *Método de análisis de esfuerzos.*- existen zonas de alto esfuerzo donde ocurre trituración de material rocoso. Estos altos esfuerzos son transferidos a otras partes del macizo rocoso que a su vez fallan. Según SME (1979), el movimiento progresivo del macizo rocoso puede desarrollar deformaciones importantes del talud y/o un fallo completo del macizo rocoso.

El objetivo fundamental de este método es analizar el cuerpo rocoso como una serie de elementos estructurales o celdas de material constante y establecer los esfuerzos en puntos dentro del talud. Posteriormente, se puede evaluar la distribución de esfuerzos para determinar donde es posible que ocurra fallo en el macizo.

- *Técnicas estereográficas.*- se fundamentan en el análisis de las orientaciones de los distintos elementos (discontinuidades, diaclasas, planos, etc.) que integran el macizo rocoso. Empleando estas técnicas (según SME, 1992), las orientaciones de la cara

del talud y los conjuntos de diaclasas dentro del cuerpo rocoso se pueden representar en un diagrama plano y los posibles mecanismos de falla pueden ser determinados. En términos sencillos, la proyección esférica es un método de representación de datos de orientación 3D en un plano. El mismo integra una esfera de referencia para representar las orientaciones de líneas y planos en el espacio.

#### **2.3.4 Planeamiento minero**

Para planificar la explotación del yacimiento a cielo abierto es necesario tener en consideración los siguientes aspectos:

- Talud operativo.
- Geometría del talud.
- Altura de bancos.
- Diseño de berma.
- Bancos de mena y estéril.
- Selección de equipos.

#### **2.3.5 Diseño de vías de acarreo**

El diseño y acarreo de vías de acceso comprende lo siguiente:

- Selección y evaluación de rutas.
- Trazado de vías alternas.
- Elaboración del expediente de vías.

### **2.4 Definición de términos básicos**

**Banco:** definido como la terraza que forma un nivel de operación donde se puede minar mena o estéril.

**Altura de banco:** distancia vertical medida desde el punto más alto del banco, definido como *cresta del banco*, y la base o *pie del banco*. En una cantera la altura de los bancos serán similares, salvo condiciones geológicas o estructurales.

**Ángulo del banco:** ángulo más pequeño, medido en grados, entre la horizontal y una línea imaginaria que une el pie del banco con la cresta del mismo. Normalmente se emplea el mismo ángulo de banco para todos los ángulos de la cantera o mina, excepto en casos particulares que requieran consideraciones especiales dependiendo de la conformación estructural y geológica del yacimiento.

**Límites del tajo (o *pit*):** es la extensión vertical y lateral en la cual el yacimiento es económicamente explotable bajo las condiciones económicas, tecnológicas y ambientales. Uno de los parámetros principales que limitan los límites de la fosa es la relación mena – ganga, principalmente por el precio de la mena y el costo de extracción de ganga.

**Relación mena-ganga (o relación de remoción):** se calcula como la cantidad de ganga a remover por unidad de mena. Usualmente, se representa como relaciones ganga: mena; por ejemplo, una relación 3:1 quiere decir que se debe remover 3 unidades de ganga (las unidades pueden ser ton o m<sup>3</sup>) para extraer 1 unidad de mena. Entre más baja sea la relación más rentable será la explotación.

**Bermas:** son estructuras horizontales que se dejan de manera permanente en las paredes finales de las fosas para mejorar la estabilidad y seguridad del talud final. A diferencia del banco, que es una terraza operativa y que varía con la vida de la mina, la berma se establece en el talud final y consecuentemente, es permanente.

**Intervalo de berma:** se define como la distancia vertical entre dos bermas consecutivas. También puede ser definida como la altura vertical entre el pie de la berma y la cresta de la misma. El intervalo de berma no es necesariamente igual a la altura de los bancos, el mismo está definido por las características geotécnicas del talud final.

**Ángulo de berma:** es el ángulo, medido en grados, que se forma entre la horizontal y la pared de la berma.

**Ancho de berma:** se refiere al ancho de la berma. Considerando elementos de geotecnia y recuperación ambiental de mina, el ancho de berma normalmente mide lo suficiente para poder realizar ciertas actividades de recuperación ambiental para el cierre de mina; por ejemplo, reforestación del talud, mejoramiento del drenaje del talud, entre otros.

**Ángulo general de la fosa:** es el ángulo, medido en grados, que se forma al unir el pie del banco más profundo con la cresta del banco más alto. Es importante destacar que este ángulo general se mide en la zona activa o de producción de la fosa.

**Vía de acarreo:** es la vía o camino que se emplea para cumplir diversas actividades operativas de la mina, principalmente el acarreo de material desde los frentes de explotación a los centros de procesamiento (trituration primaria, secundaria, terciaria, móvil u otro). Es importante destacar que en sistemas donde se empleen fajas transportadoras para acarrear el material desde trituradoras móviles in situ o cercanas a los frentes de explotación (muy usuales en sistemas modernos de canteras), aún es necesario tener vías de transporte adecuadas para la movilización de equipos en la mina o cantera.

## **2.5 Hipótesis**

### **2.5.1 Hipótesis General**

Diseñar el método de explotación influirá en la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017

### **2.5.2 Hipótesis Secundarias**

- El diseño geométrico propuesto influirá en la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.
- Las variables que intervienen en la perforación influirá en la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.
- El sistema de acarreo de las calizas influirá en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.

## 2.6 Identificación de variables

### 2.6.1 Variable Dependiente

- Extracción de calizas

### 2.6.2 Variables Independientes

- Diseño geométrico
- Patrón de perforación
- Sistema de acarreo

| Variables  | Dimensiones                             | Indicadores                                       |
|--|---|---|
| <b>Dependiente:</b><br>Extracción de calizas     |   | Toneladas/día                                     |
| <b>Independientes:</b><br>Cubicación de reservas | Reservas Probadas<br>Reservas probables | Ton. Métricas Probadas<br>Ton. Métricas probables |
| Diseño geométrico                                | Método de explotación                   | Metraje   |
| Patrón de perforación                            | Perforación<br>Voladura                 | Metraje<br>Kg ANFO/m <sup>3</sup> voladura        |
| Sistema de acarreo                               | Volquetadas                             | Ton métricas                                      |

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### **3.1 Tipo de investigación**

- Según su finalidad, es del tipo aplicada.
- Por la fuente de datos es de campo.
- Según su naturaleza de la investigación es cuantitativa.

#### **3.2 Nivel de investigación**

El nivel de investigación es DESCRIPTIVO – EXPLICATIVO

#### **3.3 Diseño de investigación**

El diseño de investigación es no experimental.

#### **3.4 Población y Muestra**

##### **3.4.1 Población**

La Concesión minera Rubí, asciende a 42 cuadrículas, ubicado entre los distritos de Junín y San Pedro de Cajas. En el 85% de territorio se puede observar los sedimentos calizos.

### **3.4.2 Muestra**

La muestra para el presente proyecto comprende un área de 110 hectáreas, en ella se distingue los estratos calizos comprendidos en dos cuadrículas, entendiéndose que la diferencia de territorio (90 hectáreas) es un área plana con materia orgánica superficial.

### **3.5 Método de investigación**

El método de investigación a desarrollarse es el aplicado.

### **3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para la recolección de datos se realizó las siguientes actividades:

- Recopilación bibliográfica de la geología e información sobre el diseño de explotación en canteras.
- Registro fotográfico de la cantera.
- Elaboración de planos y cubicación de reservas.
- Diseño del plan de explotación.
- Análisis químico de las muestras obtenidas.

### **3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento de datos se utilizó la hoja de cálculo; del siguiente modo:

- *Cubicación de reservas*

Para la cubicación del yacimiento se utilizó el método tradicional por los siguientes motivos:

- Continuidad geológica
- Geometría de mineralización
- Tipo de yacimiento

Tabla N° 7  
Tipo de yacimiento

| Tipo de yacimiento | Dimensiones   |               |                       |
|--------------------|---------------|---------------|-----------------------|
| Sedimentario       | Media         | Indicada      | Inferida              |
| estratificado      | 1 108 x 460 m | 1 200 x 650 m | Continuidad geológica |

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de reservas se utilizó las siguientes ecuaciones:

- El yacimiento se dividió en secciones o cortes cada 50 metros; observado lateralmente es semejante a un triángulo y la ecuación es:

$$A_1 = \frac{b \times h}{2}$$

Donde:

$A_1$  = Área de sección

b = Base

h = Altura

- Para calcular el volumen total del yacimiento se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}{n} \times l$$

Donde:

l = Longitud del yacimiento = 1 108 m

- Para el cálculo de las toneladas métricas probables se utilizó la siguiente ecuación:

$$T = V \times t$$

Donde:

T = Densidad media de las calizas = 2,5 T/m<sup>3</sup>

- Para el cálculo de las toneladas métricas probadas se utilizó la siguiente ecuación:

$$T = T \times 0.80$$

Donde:

Factor de error = 0,20 (Sugerido por Diehl & David – 1982)

| Autor         | Probado                       | Probable                         | Posible                          | Inferido                         |
|---------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Diehl & David | Error: ± 10%<br>Confia: >80 % | Error: ± 20%<br>Confia: >60-80 % | Error: ± 40%<br>Confia: >40-60 % | Error: ± 60%<br>Confia: >20-40 % |

Fuente: Diehl - 1982

- *Planeamiento minero*

- **Diseño de la cantera**

El diseño de la cantera tiene el propósito de minimizar la remoción de material estéril y lograr la mayor recuperación de reservas con el menor gasto en excavación de estéril, de modo que se trata de establecer el talud adecuado que asegure la viabilidad técnica y ambiental del proyecto y para ello se cuenta con la siguiente información:

Tabla N° 8

Diseño de cantera

| Mineral            | Calizas                     |
|--------------------|-----------------------------|
| Estéril            | Limonita y materia orgánica |
| Producción mensual | 30 000 Toneladas            |
| Reservas probables | 28 597 408 toneladas        |
| Penalización       | 20%                         |
| Cota base          | 4160 msnm                   |
| Cota superior      | 4246 msnm                   |
| Reservas probadas  | 22 920 088 toneladas        |

Fuente: Elaboración propia

También es importante considerar los diversos factores necesarios para diseñar la explotación de la cantera y son:

- Factores geométricos.
- Factores geo mecánicos.
- Factores operativos.
- Factores medioambientales.

Tabla N° 9  
Factores Geométricos

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| Ancho del yacimiento               | 406 m          |
| Largo del yacimiento               | 1106 m         |
| Potencia del yacimiento            | 86 m           |
| Forma del yacimiento               | estratificado  |
| Inclinación general del yacimiento | Sub horizontal |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10

Factores Geo mecánicos

|  |             |
|--|-------------|
| Tensión (kg/cm <sup>2</sup> )                        | 60 – 120    |
| Peso específico aparente                             | 2,50        |
| Porosidad (%)  | 1,7         |
| Ángulo de rozamiento interno (°)                     | 45°         |
| Absorción (%)  | 0,87        |
| Resist. A la compresión simple (kg/cm <sup>2</sup> ) | 300 – 4 200 |
| Cizallamiento (kg/cm <sup>2</sup> )                  | 50 - 130    |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11  
Factores operativos

| Método de explotación    | Perforación por bancos |
|--------------------------|------------------------|
| Distancia de transporte  | 400 m                  |
| Altura de banco          | 10 m                   |
| Ancho de banco           | 34 m                   |
| Ángulo de talud de banco | 45°                    |
| Bermas                   | 6 m                    |
| Ancho de vía             | 12 m                   |
| Talud de trabajo         | 16°                    |
| Talud final              | 55°                    |

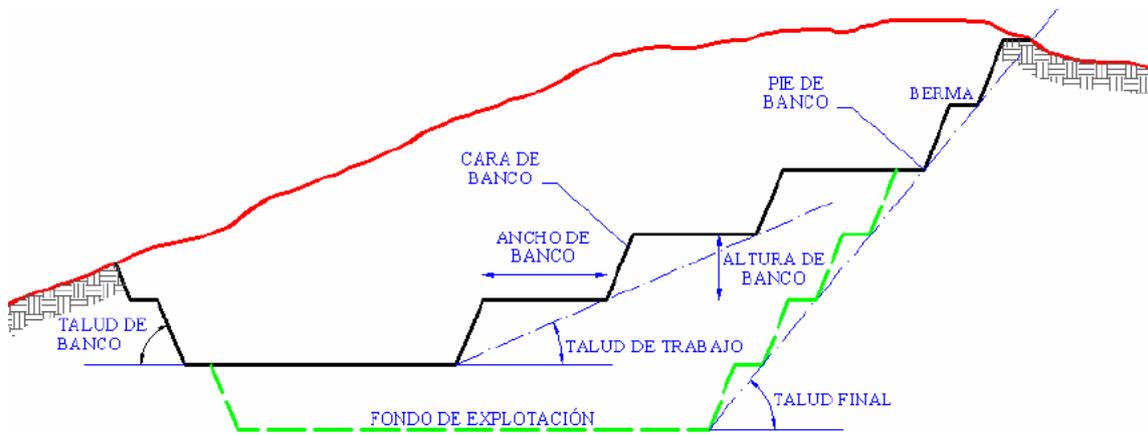
Fuente: Elaboración propia

- Factores medioambientales

Son aquellos que permitirán ocultar los materiales estériles y otros que fueron removidos en la extracción y son restaurados. En este caso la explotación obedece a los estratos superficiales que serán removidos y al final de la operación será nivelado y restaurado con especies vegetales de la zona.

Una cantera en proceso de extracción tiene las siguientes secciones que se dimensionaron:

Gráfico N° 9  
Secciones de una cantera

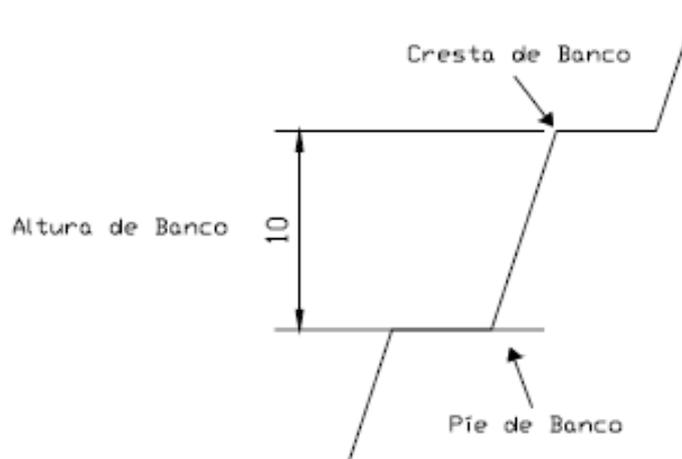


Consta de las siguientes partes o secciones:

- **Altura de banco (HB)**

Distancia vertical medida entre niveles consecutivos de explotación, deben ser de la misma altura, para mantener las condiciones estándar de operación, a menos que las condiciones geológicas recomienden hacer excepciones. Para la cantera se ha propuesto una altura promedio de 10 metros.

Gráfico N° 10  
Altura de banco



- **Plataforma de trabajo**

El espacio requerido para ejecutar la operación de maniobras de carga en el frente de explotación es el ancho mínimo del banco. Se considera:

$$a = P + A + T + Z \quad (5)$$

Donde:

A = Radio de giro del cargador

P = Zona de perforación

T = Zona de tránsito

Z = Zona de seguridad

Se tienen los siguientes datos para establecer la anchura mínima de banco:

A = 18 m. (radio mínimo de giro para el cargador frontal 988 G de Caterpillar)

T + Z = 12 m.

P = 4 m. (esperado de la proyección de la voladura).

$$a = 15 \text{ m} + 12 \text{ m} + 4 \text{ m} = \mathbf{34 \text{ m}}$$

- **Ángulo del banco**

El ángulo de inclinación del talud recomendado por Howard L. Hartman, en su libro "Introductory Mining Engineering", para calizas es  $45^\circ$ .

- **Talud de trabajo**

Ángulo formado entre la horizontal y la línea que une a los dos bancos de explotación. Se calculó por la fórmula siguiente:

$$\alpha = 90^\circ - \text{Arctg} \left[ \frac{a}{HB} + \text{cotag} \beta \right]$$

$\beta =$  Inclinación del talud del banco, se asume  $90^\circ$

$$\alpha = 90^\circ - \text{Arctg} \left[ \frac{34}{10} + \text{cotag} 90^\circ \right] = \mathbf{16^\circ}$$

- **Talud final**

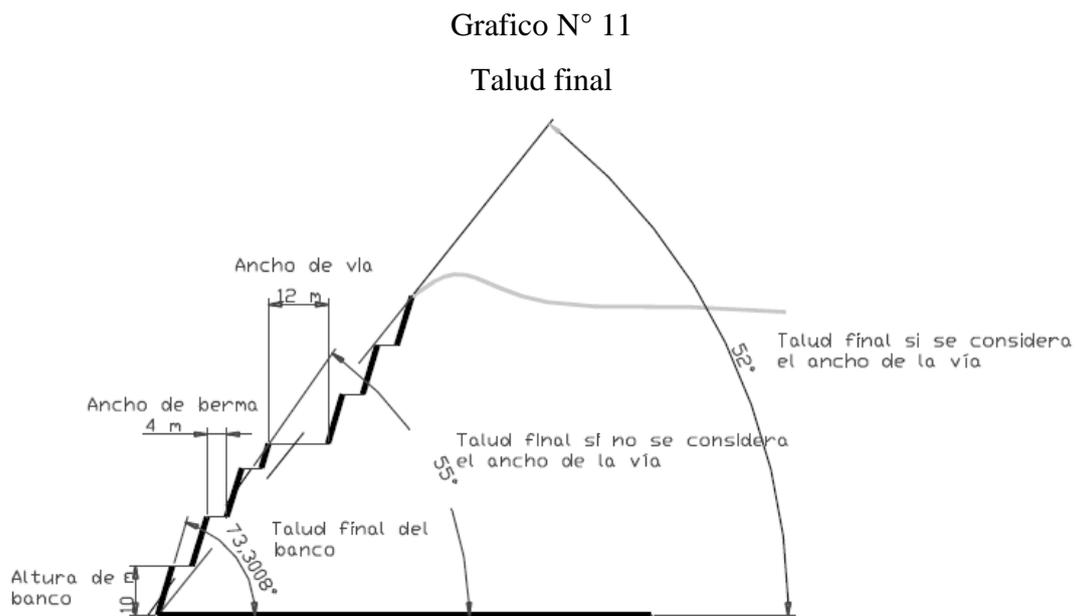
Valor del ángulo máximo del talud que se alcanzará al final de la explotación; interesa conocer para establecer el límite geométrico de la sección explotada.

El talud final cuando no se considera vías se obtiene por la siguiente ecuación:

$$\alpha = 90^\circ - \text{Arctg} \left[ \frac{a}{HB} + \text{cotag } \beta \right]$$

$$\alpha = 90^\circ - \text{Arctg} \left[ \frac{4}{10} + \text{cotag } 73^\circ \right] = 55^\circ$$

El gráfico siguiente ilustra el talud final.



Fuente: Elaboración propia

El diseño final de la cantera comprende 4 plataformas de trabajo, con altura entre bancos de 10 metros; en la parte central del yacimiento se diseñará una variante para 2 plataformas más por tener la mayor altitud (86 metros de material calizo) y desbrozar para su extracción. La mayor ventaja de la cantera

es que se encuentra superficialmente y con caliza limpia, con muy poco material estéril o contaminante.

- **Tiempo de explotación**

$$T = \frac{28\,597\,408 \text{ TM}}{1\,200 \text{ TM} \times 25 \frac{\text{Días}}{\text{Mes}} \times 12 \frac{\text{Meses}}{\text{Año}}}$$

$$T = \frac{28\,597\,408 \text{ TM}}{360\,000 \frac{\text{TM}}{\text{Año}}} = 79 \text{ Años}$$

- **Diseño de voladura**

Según EXSA, los parámetros para la perforación y voladura en canteras de caliza se tienen los siguientes factores:

- **Diámetro del barreno.**

Según el “Manual de Perforación y Voladura de Rocas” – Izquierdo, 2005, la elección del diámetro de los barrenos depende de la producción horaria, ritmo de excavación y resistencia de la roca. Ver tabla adjunta.

Tabla N° 12

Dimensiones del diámetro de barrenos

| Diámetro del Barreno (mm) | Producción horaria media (m³b/h) |                                   |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                           | Roca blanda – media<br>< 120 MPa | Roca dura – muy dura<br>> 120 MPa |
| 65                        | 190                              | 60                                |
| 89                        | 250                              | 110                               |
| 150                       | 550                              | 270                               |

Fuente: Manual de Perforación y Voladura de Rocas – Izquierdo

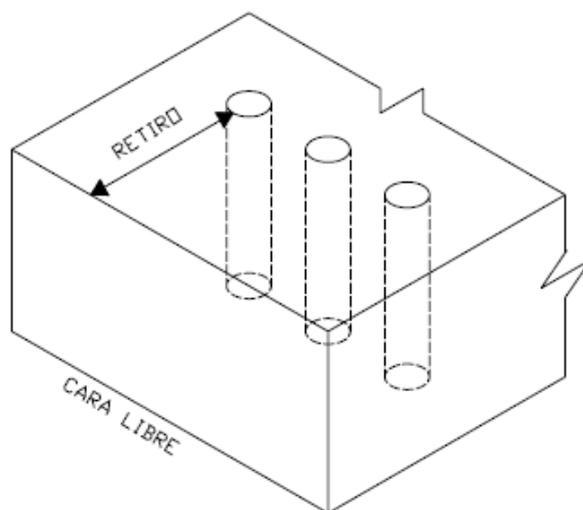
En el proyecto se considera 76 mm que equivalen a 3” por aspectos de perforación estándar.

- **Retiro (R)**

Es la distancia mínima desde el eje del barreno a la cara libre.

Gráfico N° 12

Espacio de cara a perforación



Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del retiro se toma los valores de la tabla siguiente, recomendado en el *Manual de Arranque, Carga y transporte en Minería a Cielo Abierto*, de I.T.G.E.

Tabla N° 13

Valores tentativos de parámetros geométricos

| Variable<br>Del diseño | Resistencia a la compresión simple |                |               |                |
|------------------------|------------------------------------|----------------|---------------|----------------|
|                        | Blanda < 70                        | Media 70 - 120 | Dura 120 -180 | Muy dura > 180 |
| Retiro (R)             | 39D                                | 37D            | 35D           | 33D            |
| Espaciamiento (E)      | 51D                                | 47D            | 43D           | 38D            |
| Retacado (Tc)          | 35D                                | 34D            | 32D           | 30D            |
| Sobreperforación (J)   | 10D                                | 11D            | 12D           | 12D            |

Fuente: Manual de Arranque, Carga y transporte en Minería a Cielo Abierto, de I.T.G.E

Para este caso se toma como valor referencial 37D considerado roca de media dureza. Y las ecuaciones son:

$$R = (25 \text{ a } 40) * De \quad (6)$$

$$R = 37 * De \quad (7)$$

De = Diámetro del explosivo = 3" = 0,0762 m

$$R = 37 * 0,0762 \text{ m} = 2,8194 = \mathbf{3 \text{ m}} \quad (8)$$

- **Altura de banco.**

En el diseño de la cantera ya se ha estimado en **10 m**.

- **Espaciamiento (E)**

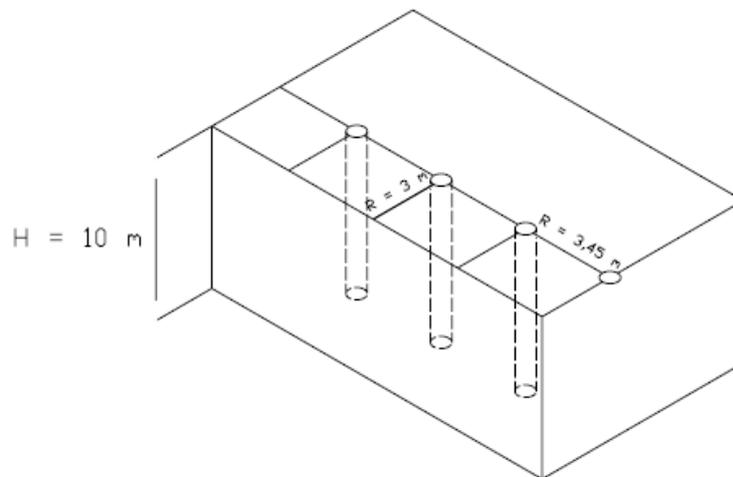
Es la distancia que hay entre barrenos de una misma fila

$$E = (1 \text{ a } 1,8) * R \quad (9)$$

$$E = 1,15 * 3 \text{ m} = \mathbf{3,45 \text{ m}} \quad (10)$$

1,15 se considera óptimo, según (I.T.G.E. 1994)

Gráfico N° 13  
Espaciamiento y retiro



Fuente: Elaboración propia

- **Sobre perforación (J)**

Profundización del barreno de perforación, por debajo del nivel del piso, para lograr una fragmentación adecuada, que al momento del carguío el equipo pueda retirar a nivel de la cota.

$$J = (0,2 \text{ a } 0,5) * R \quad (11)$$

$$J = 0,3 * 3 m = \mathbf{0,90 m} \quad (12)$$

El I.T.G.E. recomienda el valor de 0,3, para que produzca la intersección de la superficie cónica al nivel del banco.

- **Carga de fondo (Eb)**

Sirve para romper el fondo del banco y usualmente se requiere que el explosivo empleado tenga un 25% de potencia mayor que al empleado en la columna.

$$Eb = 0,6 * R \quad (13)$$

$$Eb = 0,6 * 3 m = \mathbf{1,8 m} \quad (14)$$

- **Retacado (Tc)**

Es la parte superior del agujero perforado que normalmente se rellena con material inerte para confinar los gases de la explosión y permitir por completo el proceso de fragmentación de la roca.

$$Tc = 34 * D \quad (15)$$

$$Tc = 34 * 0,0762 m = \mathbf{2,60 m} \quad (16)$$

- **Altura de la columna explosiva (Lc).**

$$Lc = H + J - Tc \quad (17)$$

$$Lc = 10 m + 0,9 m - 2,60 m = \mathbf{8,30 m} \quad (18)$$

- **Carga lineal (Cl)**

$$Cl = 0,785 * De^2 * d \quad (19)$$

$$Cl = 0,785 * (0,0762)^2 * 0,85 \frac{Kg}{m^3} \quad (20)$$

$$Cl = \mathbf{3,87 \frac{kg}{m} de ANFO} \quad (21)$$

Donde:

d = Densidad del explosivo

- **Factor de carga (Fc)**

$$F_c = \frac{(\text{masa del explosivo})}{(\text{volumen de roca})} \quad (22)$$

$$\text{Vol. de roca} = \text{Retiro} * \text{Espaciamiento} * \text{Altura de banco} \quad (23)$$

$$\text{Vol. de roca} = R * E * H \quad (18)$$

$$\text{Vol. de roca} = 3 \text{ m} * 3,45 \text{ m} * 10 \text{ m} = 103,5 \text{ m}^3 \quad (24)$$

$$F_c = \frac{\pi * \frac{D_e^2}{2} * \text{Densidad del explosivo} * (H+J-T_c)}{\text{Vol. de roca}} \quad (25)$$

$$F_c = \frac{3,14 * \left(\frac{0,0762}{2} \text{ m}\right)^2 * 850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * (8,30 \text{ m})}{103,5 \text{ m}^3} \quad (26)$$

$$F_c = 0,32 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad (27)$$

Tabla N° 14

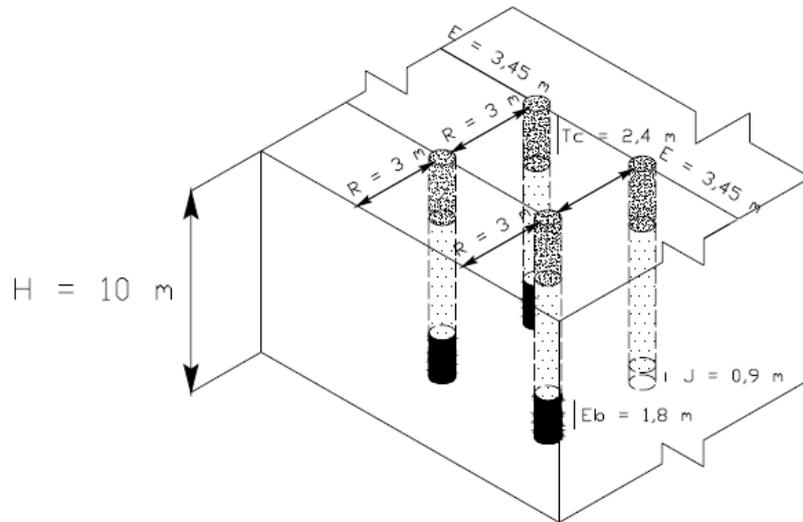
Parámetros de perforación y voladura

| Parámetro             | Valor                   | Parámetro         | Valor                  |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|
| Densidad de roca      | 2,5 ton/m <sup>3</sup>  | Sobre perforación | 0,90 m                 |
| Densidad de explosivo | 0,85 ton/m <sup>3</sup> | Carga de fondo    | 1,80 m                 |
| Diámetro de barreno   | 3"                      | retacado          | 2,60 m                 |
| Altura de banco       | 10 m                    | Carga lineal      | 3,87 kg/m              |
| Retiro                | 3 m                     | Factor de carga   | 0,32 Kg/m <sup>3</sup> |
| Espaciamiento         | 3,45 m                  |                   |                        |

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 14

Diseño rectangular de separación de agujeros de perforación



Fuente: Elaboración propia.

- **Acarreo del mineral**

El carguío y acarreo son funciones básicas en todo proyecto minero y para ello se calculó la capacidad de trabajo en función a la producción mensual del siguiente modo:

- **Producción mensual.**

Según la demanda del mercado, se pretende extraer 1 200 toneladas diarias y una producción mensual de 30 000 toneladas.

Se pretende trabajar 8 horas y la producción horaria será:

$$Prod. Diaria estimada = \frac{1200 \text{ ton/día}}{2.5 \text{ ton/m}^3} = 480 \text{ m}^3/\text{día} \quad (28)$$

$$Prod. Horaria = \frac{480 \text{ m}^3/\text{día}}{8 \text{ Hr/día} * 0,73 * 0,8 \text{ Disp. Pala} * 0,8 \text{ Disp. Cam}} \quad (29)$$

$$Prod. Horaria = \frac{480 m^3}{3.7376 Hr} = 128,42 \frac{m^3}{H}$$

Dónde:

Eficiencia operativa = 0,73

Disponibilidad de pala = 0,8

Disponibilidad de camión = 0,8

Datos obtenidos del *Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo Abierto*.

- **Capacidad de carguío por ciclo de trabajo.**

Se debe cargar 128,42 m<sup>3</sup>/hr y la pala debe cargar cada palada en un minuto.

$$Ciclo/Hr = \frac{60 \text{ min} * 0,73}{1 \text{ min}/palada} = 43,8 \text{ Ciclos/Hora}$$

$$m^3/Ciclo = \frac{128,42 m^3/Hr}{43,8 Ciclos/Hr} = 2,93 = 3 m^3/Ciclo$$

- **Selección de equipos de carga y transporte**

La empresa CATERPILLAR, ofrece en el mercado nacional equipos con las siguientes características.

Tabla N° 15

Características de los tractores sobre ruedas

| Cargadores | Capacidad de roca  | Factor en llenado (0,8) |
|------------|--------------------|-------------------------|
| 966G       | 3,5 m <sup>3</sup> | 2,80 m <sup>3</sup>     |
| 972G       | 4,0 m <sup>3</sup> | 3,20 m <sup>3</sup>     |
| 980G       | 4,2 m <sup>3</sup> | 3,36 m <sup>3</sup>     |
| 988G       | 6,4 m <sup>3</sup> | 5,12 m <sup>3</sup>     |

Tabla N° 16

Características de los volquetes

| Volquete | Cap.                | Cap.      | Fact. Esponjamiento<br>(0,8) | Cap. Máxima          |
|----------|---------------------|-----------|------------------------------|----------------------|
| 769D     | 24,2 m <sup>3</sup> | 40,60 ton | 19,36 m <sup>3</sup>         | 15,03 m <sup>3</sup> |
| 771D     | 27,5 m <sup>3</sup> | 42,35 ton | 22,00 m <sup>3</sup>         | 15,69 m <sup>3</sup> |

Fuente: Elaboración propia

- Rendimiento de equipos

• Producción efectiva de la cargadora

Se ha seleccionado el **modelo 972G** y se tendrá una producción teórica de:

$$Pt = 3,20 \text{ m}^3 * 43,8 \text{ ciclos/hora} = \mathbf{140,16 \text{ m}^3/hr}$$

La producción efectiva del volquete será:

$$Pe = Pt * Efic. Oper * Disp Pala \quad (30)$$

$$Pe = 140,16 \text{ m}^3/hr * 0,73 * 0,8 = \mathbf{81,85 \text{ m}^3/hr}$$

La producción diaria será:

$$Pm = 81,85 \text{ m}^3/hr * 8 \text{ hr/día} = \mathbf{654,8 \text{ m}^3/día}$$

Número de Cargadoras necesarias para la operación:

$$No \text{ Cargadoras} = \frac{480 \text{ m}^3/día}{654,8 \text{ m}^3/día} = 0,73 = \mathbf{1 \text{ Cargadora}}$$

• Producción efectiva del volquete

Se ha seleccionado el **modelo 769D** de 15,03 m<sup>3</sup> de capacidad.

Tiempo del volquete por ciclo:

Tiempo de carguío = 5 min

Tiempo de traslado = 10 min

Tiempo de descarga = 3 min

Tiempo de retorno = 8 min

Tiempo por ciclo = 26 min

Producción teórica del volquete:

$$\frac{\text{Prod. teórica}}{\text{Hora}} = \frac{15,03 \text{ m}^3 * 60 \text{ min/hr}}{26 \text{ min/ciclo}} = 34,68 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Producción efectiva del volquete:

$$\text{Prod. Efect.} = \text{Prod. Teórica} * F_1 * \varepsilon * \text{Disponibilidad} \quad (31)$$

$$\text{Prod. Efect.} = 34,68 \text{ m}^3/\text{hr} * 0,8 * 0,73 * 0,8 = 16,20 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Prod. diaria} = 16,20 \text{ m}^3/\text{hr} * 8 \text{ hr/día} = 129,6 \text{ m}^3/\text{día}$$

Número de volquetes necesarios para la operación:

$$\text{No Volquetes} = \frac{480 \text{ m}^3/\text{día}}{129,6 \text{ m}^3/\text{día}} = 3,7 = 4 \text{ volquetes}$$

### 3.8 Tratamiento estadístico de datos

El tratamiento estadístico se desarrolló en la hoja de cálculo Excel, del siguiente modo:

- *Cubicación de reservas:*

Tabla 18

Medición de secciones del yacimiento

| CALCULO DEL ÁREA SECCIONES |             |               |                                      |
|----------------------------|-------------|---------------|--------------------------------------|
| COTA                       | BASE<br>(m) | ALTURA<br>(m) | ÁREA DE SECCIÓN<br>(m <sup>2</sup> ) |
| 50                         | 110         | 46            | 2530                                 |
| 100                        | 112         | 48            | 2688                                 |
| 150                        | 120         | 63            | 3780                                 |
| 200                        | 165         | 65            | 5362.5                               |

|       |     |    |           |
|-------|-----|----|-----------|
| 250   | 222 | 68 | 7548      |
| 300   | 236 | 76 | 8968      |
| 350   | 372 | 78 | 14508     |
| 400   | 406 | 86 | 17458     |
| 450   | 412 | 82 | 16892     |
| 500   | 418 | 79 | 16511     |
| 550   | 428 | 72 | 15408     |
| 600   | 410 | 81 | 16605     |
| 650   | 395 | 87 | 17182.5   |
| 700   | 385 | 82 | 15785     |
| 750   | 345 | 81 | 13972.5   |
| 800   | 278 | 79 | 10981     |
| 850   | 237 | 83 | 9835.5    |
| 900   | 220 | 76 | 8360      |
| 950   | 188 | 63 | 5922      |
| 1000  | 120 | 56 | 3360      |
| 1050  | 91  | 45 | 2047.5    |
| 1106  | 71  | 42 | 1491      |
| TOTAL |     |    | 217 195.5 |

El área promedio de las secciones es:

$$A_p = \frac{\sum_1^n A_n}{n} = \frac{217\,195,50}{22} = 10\,343\, m^2$$

El volumen promedio es:

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}{n} \times l = 10\,343 \times 1\,108 = 11\,460\,044\, m^3$$

Las reservas probables ascienden a:

$$T = V + t = 11\,460\,044\, m^3 \times 2,5 \frac{T}{m^3} = 28\,650\,110\, Toneladas$$

Las **reservas probadas** ascienden a:

$$T = T \times 0,80 = 28\,650\,810\, m^3 \times 0,80 = 22\,920\,088\, Toneladas$$

Para determinar el nivel de confianza y precisión se utilizó las ecuaciones propuestas por Diehl & David (1982) para yacimientos calizos del siguiente modo:

$$\text{Precisión} = \frac{sk \times 100 \times Z_{1-a}}{tki}$$

Donde:

Sk = Desviación estándar Kriging

Tki = Valor del bloque estimado

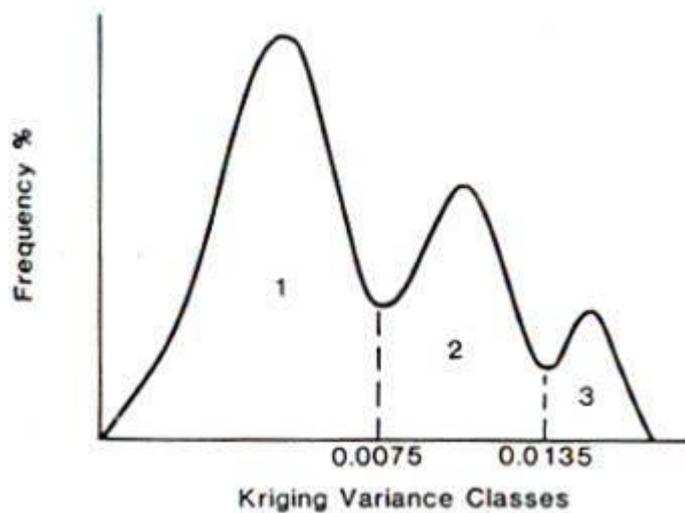
$Z_{1-a}$  = Nivel de confianza = (80% de tablas)

Para un nivel de confianza de 10% (reservas probadas) se determina la razón: sk/tki del siguiente modo:

$$10 = \frac{sk \times 100 \times z_{80}}{tki}$$

$$\frac{sk}{tki} = \frac{10}{100 \times 1,282} = \mathbf{0,078}$$

En base a este resultado y aplicando los histogramas de Annel – 1991, se tiene el siguiente histograma:



Donde:

El nivel de confianza de las reservas es:

- 0 – 0.0075 reserva probada
- 0.0075 – 0.0135 reserva probable
- > 0.0135 reserva inferida

## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN Y RESULTADOS

#### 4.1 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

##### - Geología local.

Moulin (1989) describe a las calizas ubicados entre la parte este de Junín y prolongándose con dirección al sur a lo largo de 10 km cercano a San Pedro de Cajas, como depósitos de formación Aramachay, como secuencias granocrecientes, que se depositaron en un ambiente marino profundo, debajo del límite de acción de las tempestades, lodolitas calcáreas arcillosas grises con fauna pelágica e indicios de bioturbación, depositadas también en la profundidad, limolitas calcáreas y wackstones bioturbados con fósiles pelágicos y bénticos, a menudo enteros; se notan algunos bioclastos; ya no se sedimentan las arcillas, pero la energía sigue siendo débil, y la sedimentación se hizo verosímilmente encima del nivel de acción de las tempestades y debajo de las olas, packstones bioclásticos con algunos fósiles (enteros y rotos) bénticos

(gastrópodos, equinodermos y ostras), a veces oolitos, que se ubicarían en la parte inferior del nivel sometido a la acción de las olas, grainstones oolíticos con bioclastos y algunos litoclastos; forman por lo general bancos gruesos de 1 a 4 m con grandes estratificaciones horizontales o con ligera inclinación; la energía correspondiente es elevada; se trata de barras formadas bajo la influencia de corrientes o en la zona de rompimiento de las olas.

Moulin también afirma que la tasa de sedimentación es superior a la de subsidencia a la escala temporal de la secuencia estudiada. Al superponerse otra secuencia similar a menudo bruscamente, después de una interrupción en la sedimentación, se deduce que el nivel del agua ha subido en forma rápida por lo menos 50 m. Ya que las secuencias se correlacionan en áreas bastante amplias, los sedimentólogos concluyen por lo general que el modelo eustático, postula variaciones cíclicas sinusoidales del nivel de los mares cada 14.000 a 400,000 años, se ha de preferir en este caso a un modelo que postularía ahondamientos a escala regional, relacionados con sacudidas tectónicas sucesivas.

- **Cubicación de reservas**

Las reservas probables ascienden a: 28 650 110 toneladas métricas

Las reservas probadas ascienden a: 22 920 088 toneladas métricas

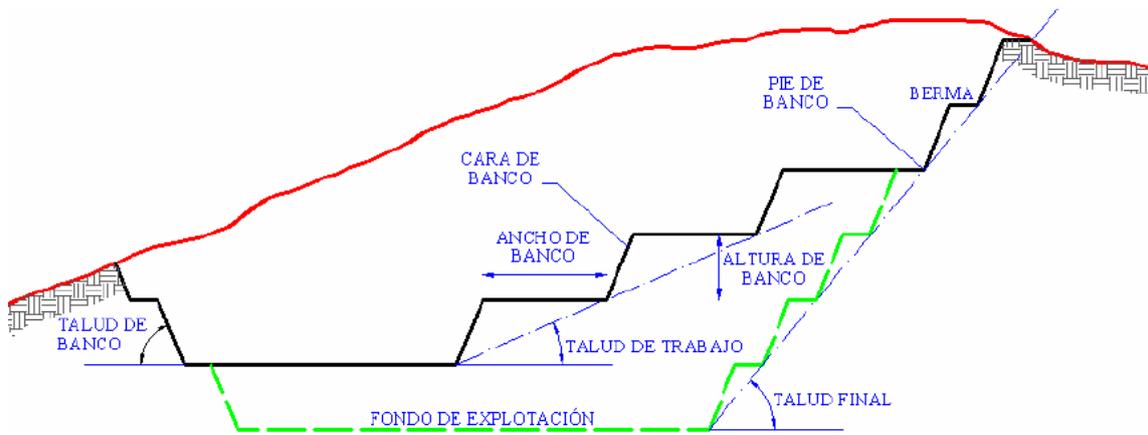
El nivel de confianza: 78 % (año 1991)

- **Planeamiento minero**

• *Diseño de la cantera*

La cantera diseñada en base a las secciones preestablecidas por experiencia y ecuaciones predeterminadas tiene el siguiente dimensionamiento:

Gráfico N° 15  
Secciones de una cantera



Consta de las siguientes partes o secciones:

Tabla N° 18

Dimensionamiento de la cantera

|                  |      |
|------------------|------|
| Altura de banco  | 10 m |
| Ancho de banco   | 34 m |
| Ángulo de banco  | 45°  |
| Talud de trabajo | 16°  |
| Talud final      | 55°  |

Fuente: Elaboración propia

- **Tiempo de explotación**

$$T = \frac{28\,597\,408 \text{ TM}}{1\,200 \text{ TM} \times 25 \frac{\text{Días}}{\text{Mes}} \times 12 \frac{\text{Meses}}{\text{Año}}}$$

$$T = \frac{28\,597\,408 \text{ TM}}{360\,000 \frac{\text{TM}}{\text{Año}}} = 79 \text{ Años}$$

- **Diseño de voladura**

Los parámetros calculados son:

Tabla N° 19

Parámetros de perforación y voladura

| Parámetro             | Valor                   |
|-----------------------|-------------------------|
| Densidad de roca      | 2,5 ton/m <sup>3</sup>  |
| Densidad de explosivo | 0,85 ton/m <sup>3</sup> |
| Diámetro de barreno   | 3"                      |
| Altura de banco       | 10 m                    |
| Retiro                | 3 m                     |
| Espaciamiento         | 3,45 m                  |
| Sobre perforación     | 0,90 m                  |
| Carga de fondo        | 1,80 m                  |
| retacado              | 2,60 m                  |
| Carga lineal          | 3,87 kg/m               |
| Factor de carga       | 0,32 Kg/m <sup>3</sup>  |

Fuente: Elaboración propia

- **Acarreo del mineral**

Los cálculos antes mencionados determinan los siguientes equipos a utilizar:

|                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| Producción mensual | 30 000 toneladas          |
| Producción diaria  | 1 200 toneladas           |
| Producción horaria | 128,42 m <sup>3</sup> /Hr |

- **Selección de cargadora**

Para la producción diaria se ha calculado una cargadora del modelo **972G** de la serie CATERPILLAR de 3 m<sup>3</sup> de cuchara.

- **Selección de volquete**

Los cálculos realizados determinan que se requiere 4 volquetes de 15 m<sup>3</sup> del modelo **769D**, en forma estable.

#### **4.2 Interpretación de resultados**

- Las reservas probables (28 650 110 toneladas métricas) y probadas (22 920 088 toneladas métricas) cubicadas, desarrollado por el método tradicional, tiene un nivel de confianza del 78%, debido a su formación sedimentaria estratificada y superficial.
- Los histogramas de Annel, que permiten calcular el nivel de confianza, sugieren que al contorno de yacimiento cubicado también existe reservas inferidas que incrementan el volumen cubicado en un 13,5%.
- El diseño geométrico calculado, al igual que la perforación y voladura, es una secuencia lógica de ecuaciones empíricas basados en otras experiencias y las publicaciones por Mount – 1985.
- El dimensionamiento de equipos está basado a los catálogos de los fabricantes de equipos.

#### **4.3 Prueba de hipótesis**

- Para el diseño del método de explotación la elección del escenario, obedece a decisiones de los geólogos, después de comprobar la calidad de las calizas, la geometría de mineralización y las dimensiones del yacimiento, medio, indicado e inferido.
- Los cálculos desarrollados para el diseño del método de explotación son:

|                  |      |
|------------------|------|
| Altura de banco  | 10 m |
| Ancho de banco   | 34 m |
| Ángulo de banco  | 45°  |
| Talud de trabajo | 16°  |
| Talud final      | 55°  |

En la tesis titulada “Propuesta de un nuevo diseño para incrementar la producción de una cantera de agregados ubicada en el estado de México” presentada por Diego García, Universidad Nacional Autónoma de México – 2015, concluye en el siguiente diseño:

|                  |      |
|------------------|------|
| Altura de banco  | 10 m |
| Ancho de banco   | 35 m |
| Ángulo de banco  | 46°  |
| Talud de trabajo | 16°  |
| Talud final      | 53°  |

- Comparando el método de minado entre los datos obtenidos y la tesis anterior se puede observar lo siguiente:

| Descripción     | Datos obtenidos | Datos de Tesis UNAM |
|-----------------|-----------------|---------------------|
| φ Barrenación   | 3”              | 3 ½”                |
| Bordo           | 3 m             | 2,8 m               |
| Espaciamiento   | 3,45 m          | 3,2 m               |
| Sub barrenación | 0,90 m          | 1,0 m               |
| Taco            | 2,60 m          | 2,30 m              |
| F.C.            | 320 g/t         | 220 g/t             |

Los parámetros obtenidos presentan valores con un nivel de significancia del 92%.

- En la selección de equipo de carguío y transporte se tiene el siguiente cuadro comparativo:

| Descripción          | Datos obtenidos                  | Tesis UNAM                         |
|----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Equipo de carguío    | 1 de 4 m <sup>3</sup> de cuchara | 1 de 7,2 m <sup>3</sup> de cuchara |
| Equipo de transporte | 4 unidades de 15 m <sup>3</sup>  | 1 de 14 m <sup>3</sup>             |

Las evaluaciones en ambas tesis otorgan resultados similares para las condiciones dadas en cada yacimiento.

Demostrándose que no hay variación significativa en cuanto a resultados, si se trata de canteras de calizas.

#### **4.4 Discusión de resultados**

Los estudios realizados por el geólogo Moulin, y los geólogos del grupo CALIDRA de México, confirman que es yacimiento sedimentario de calizas es de formación orgánica en la última fase del terciario e inicios de cuaternario, con valores altos de CaO.

El diseño geométrico para la explotación es similar, en muchas canteras, solo difiere si el yacimiento presenta cambios estructurales que sugieren modificar las rampas, taludes entre otras partes del diseño de explotación.

En todo prospecto calizo, la planta de calcinación debe estar muy cerca al yacimiento para evitar incremento de costos.

La emanación de polvos calizos al momento de voladura y acarreo no son contaminantes en comparación a sulfuros y otros minerales; muy al contrario permite regular el pH de los suelos, por cierto en pequeñas cantidades.

## CONCLUSIONES

Moulin, describe a las calizas ubicadas en el prospecto minero Rubí, como depósitos de formación Aramachay, como secuencias granocrecientes, que se depositaron en un ambiente marino profundo, con reservas probadas ascendentes a: **22 920 088** toneladas métricas.

El método de explotación a seguir será por canteras, bajo el sistema de bancos móviles, en cuatro niveles.

El diseño geométrico calculado tiene las siguientes dimensiones: altura de banco: 10 metros, plataforma de trabajo: 34 metros, ángulo de banco: 45°, talud de trabajo: 16°, talud final: 55°, para una producción diaria inicial de 1 200 toneladas.

Los parámetros de perforación y voladura obtenida son: diámetro de barreno: 3", altura de banco: 10 metros, espaciamiento: 3,45 metros, retiro: 3 metros, sobre perforación: 0,90 metro, carga de fondo: 1,80 metros, factor de carga: 0,32 kg/m<sup>3</sup>.

Para el volumen de producción estimado se requiere de una cargadora frontal del modelo 972G de 4 m<sup>3</sup> de capacidad nominal y 4 volquetes del modelo 769D de 15 m<sup>3</sup> de capacidad.

## **RECOMENDACIONES**

Se sugiere realizar más estudios de microscopia petrográfica para determinar la formación de las calizas y si a profundidad puede presentarse materiales bituminosos, propio de los yacimientos calizos en el mundo.

Desarrollar calicatas para contrastar las dimensiones de las variables del diseño geométrico calculado.

Calcular las variables del plan de perforación y voladura, con datos de otros productos existentes en el mercado.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acevedo, H. &. (2005). *tesis: Factibilidad Técnica y Económica de la Explotación de un Yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana*. Santiago de Chile: Univ. de Chile.
- Avila Acosta, R. (2008). *Metodología de la Investigación*. Lima: R.A.
- Boyton, R. (1990). *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*. México: John Willey & Sons, Inc.
- Bunge, M. (2008). *La Investigación Científica*. Barcelona - España: Ariel.
- Carnegie, A. (2015). *Evaluación de Yacimientos Carbonatados*. Nueva Delhi: Centro de Investigaciones.
- Carreo, R. &. (2013). *Tesis: Caracterización Geológica y Cálculo de Volumen de Calizas en una zona ubicada al norte de San Sebastián de los Reyes*. Caracas: Univ. Central de Venezuela.
- CATERPILLAR. (2016). *Manual del rendimiento de Equipos Pesados*. Utha: Caterpillar.
- Díaz Uzueta, R. (2007). *Geoquímica e Isótopos de Stockworks de Calcita en el distrito minero de La Encantada, Aplicación a la Exploración de Yacimientos Calizos*. México: Oficina Regional de México.
- Duda, W. (2002). *Cement Data*. Bauverlag - Alemania: Wiesbaden.
- Junín, C. T. (2015). *Memoria Descriptiva del Estudio Geológico del Departamento de Junín*. Huancayo: DREM-J.
- Folk, R. (1969) *Petrología de las rocas sedimentarias*. México D.F. : Instituto de Geología UNAM.
- MATERIALS, A. S. (2008). *HANDBOOK OF ASTM*. New Yprk: Gypsum.
- Mendez, J. (2009). *Carbonatos, Origen y sedimentación*. Caracas: Universidad Central

- Montes - UPM (2012). *Guía Interactiva de Minerales y Rocas*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Montgomery, D. (2007). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México: Iberoamericana.
- Mount, J., (1985) *Mixed siliciclastic and carbonate sediment: a propose First ordeder textural and compositional classification*. *Sedimrntology*, Utha: University.
- Nagel, E. (2007). *La Estructura de la Ciencia - Problemas de la lógica de la Investigación Científica*. Buenos Aires - Argentina: Paidos Ibéricas S.A.
- otros, H. &. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw Hill.
- Reyes Castañeda, P. (2009). *Diseño de Experimentos Aplicados*. México: Trillas.
- Suarez Zuñiga, D. (1994). *Rocas Ornamentales y Minerales Industriales*. Lima: Rosel.
- Walpole, R. &. (2007). *Probabilidad y Estadística*. México: McGraw Hill.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMA   | OBJETIVOS  | HIPOTESIS  | VARIABLES   |
|--|--|--|---|
| <p><b><u>Problema General</u></b></p> <p>¿Qué método de explotación se diseñará para extraer las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?</p> <p><b><u>Problemas Específicos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál será el diseño geométrico para la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?</li> <li>• ¿Cuáles serán las variables del patrón de perforación de las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?</li> <li>• ¿Cuál será el sistema de acarreo de las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017?</li> </ul> | <p><b><u>Objetivo General</u></b></p> <p>Determinar el método de explotación que se diseñará para extraer las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017</p> <p><b><u>Objetivos Específicos</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñar los planos de avance para extraer las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017</li> <li>• Determinar las variables que intervienen en el plan de perforación y voladura para extraer las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017</li> <li>• Determinar el sistema de acarreo de las calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.</li> </ul> | <p><b><u>Hipótesis General</u></b></p> <p>Diseñar el método de explotación influirá en la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín - 2017</p> <p><b><u>Hipótesis Secundarios</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El diseño geométrico propuesto influirá en la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.</li> <li>• Las variables que intervienen en la perforación influirá en la extracción de calizas en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.</li> <li>• El sistema de acarreo de las calizas influirá en el prospecto minero Rubí – Junín – 2017.</li> </ul> | <p><b><u>Variable X<sub>1</sub>:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño geométrico</li> </ul> <p><b><u>Variable X<sub>2</sub>:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Patrón de perforación</li> </ul> <p><b><u>Variable X<sub>3</sub></u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de acarreo</li> </ul> <p><b><u>Variable Y:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extracción de calizas</li> </ul> |

## ANEXO 2

### DATOS TOPOGRÁFICOS

| CALICATA | COTA ESTE<br>(Altitud - m) | COTA OESTE<br>(Altitud - m) | DISTANCIA<br>(m) |
|----------|----------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1        | 4160                       | 4165                        | 110              |
| 2        | 4162                       | 4163                        | 112              |
| 3        | 4164                       | 4164                        | 120              |
| 4        | 4167                       | 4168                        | 165              |
| 5        | 4165                       | 4167                        | 222              |
| 6        | 4166                       | 4170                        | 236              |
| 7        | 4163                       | 4167                        | 372              |
| 8        | 4164                       | 4168                        | 406              |
| 9        | 4167                       | 4168                        | 412              |
| 10       | 4169                       | 4168                        | 418              |
| 11       | 4167                       | 4170                        | 428              |
| 12       | 4169                       | 4168                        | 410              |
| 13       | 4166                       | 4170                        | 395              |
| 14       | 4172                       | 4173                        | 385              |
| 15       | 4175                       | 4174                        | 345              |
| 16       | 4178                       | 4180                        | 278              |
| 17       | 4180                       | 4181                        | 237              |
| 18       | 4182                       | 4183                        | 220              |
| 19       | 4175                       | 4178                        | 188              |
| 20       | 4176                       | 4180                        | 120              |
| 21       | 4169                       | 4180                        | 91               |
| 22       | 4176                       | 4173                        | 71               |

| CALICATA | COTA BAJA<br>(Altitud - m) | COTA ALTA<br>(Altitud - m) | ALTURA<br>(m) |
|----------|----------------------------|----------------------------|---------------|
| 1        | 4160                       | 4206                       | 46            |
| 2        | 4162                       | 4210                       | 48            |
| 3        | 4164                       | 4227                       | 63            |
| 4        | 4167                       | 4232                       | 65            |
| 5        | 4166                       | 4234                       | 68            |
| 6        | 4168                       | 4244                       | 76            |
| 7        | 4165                       | 4243                       | 78            |
| 8        | 4165                       | 4251                       | 86            |
| 9        | 4167                       | 4249                       | 82            |
| 10       | 4168                       | 4247                       | 79            |
| 11       | 4167                       | 4239                       | 72            |
| 12       | 4168                       | 4249                       | 81            |
| 13       | 4167                       | 4254                       | 87            |
| 14       | 4172                       | 4254                       | 82            |
| 15       | 4174                       | 4255                       | 81            |
| 16       | 4178                       | 4257                       | 79            |
| 17       | 4180                       | 4263                       | 83            |
| 18       | 4182                       | 4258                       | 76            |
| 19       | 4176                       | 4239                       | 63            |
| 20       | 4177                       | 4233                       | 56            |
| 21       | 4169                       | 4214                       | 45            |
| 22       | 4174                       | 4216                       | 42            |

### Cálculo de áreas por secciones

| CALICATA | DISTANCIA<br>(m) | ALTURA<br>(m) | Áreas<br>(m2) |
|----------|------------------|---------------|---------------|
| 1        | 110              | 46            | 2530          |
| 2        | 112              | 48            | 2688          |
| 3        | 120              | 63            | 3780          |
| 4        | 165              | 65            | 5363          |
| 5        | 222              | 68            | 7548          |
| 6        | 236              | 76            | 8968          |
| 7        | 372              | 78            | 14508         |
| 8        | 406              | 86            | 17458         |
| 9        | 412              | 82            | 16892         |
| 10       | 418              | 79            | 16511         |
| 11       | 428              | 72            | 15408         |
| 12       | 410              | 81            | 16605         |
| 13       | 395              | 87            | 17183         |
| 14       | 385              | 82            | 15785         |
| 15       | 345              | 81            | 13973         |
| 16       | 278              | 79            | 10981         |
| 17       | 237              | 83            | 9836          |
| 18       | 220              | 76            | 8360          |
| 19       | 188              | 63            | 5922          |
| 20       | 120              | 56            | 3360          |
| 21       | 91               | 45            | 2048          |
| 22       | 71               | 42            | 1491          |
|          |                  | Promedio      | 10343         |

Cálculo de distancia total

| CALICATA | DISTANCIA (m) |
|----------|---------------|
| 0 - 1    | 50            |
| 1 - 2    | 50            |
| 2 - 3    | 50            |
| 3 - 4    | 50            |
| 4 - 5    | 50            |
| 5 - 6    | 50            |
| 6 - 7    | 50            |
| 7 - 8    | 50            |
| 8 - 9    | 50            |
| 9 - 10   | 50            |
| 10 - 11  | 50            |
| 11 - 12  | 50            |
| 12 - 13  | 50            |
| 13 - 14  | 50            |
| 14 - 15  | 50            |
| 15 - 16  | 50            |
| 16 - 17  | 50            |
| 17 - 18  | 50            |
| 18 - 19  | 50            |
| 19 - 20  | 50            |
| 20 - 21  | 50            |
| 21 - 22  | 58            |
| TOTAL    | 1108          |

El área promedio de las secciones es:

$$A_p = \frac{\sum_1^n A_n}{n} = \frac{217\,195,50}{22} = 10\,343 \text{ m}^2$$

El volumen promedio es:

$$V = \sum_{i=1}^n \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}{n} \times l = 10\,343 \times 1\,108 = 11\,460\,044 \text{ m}^3$$

Las reservas probables ascienden a:

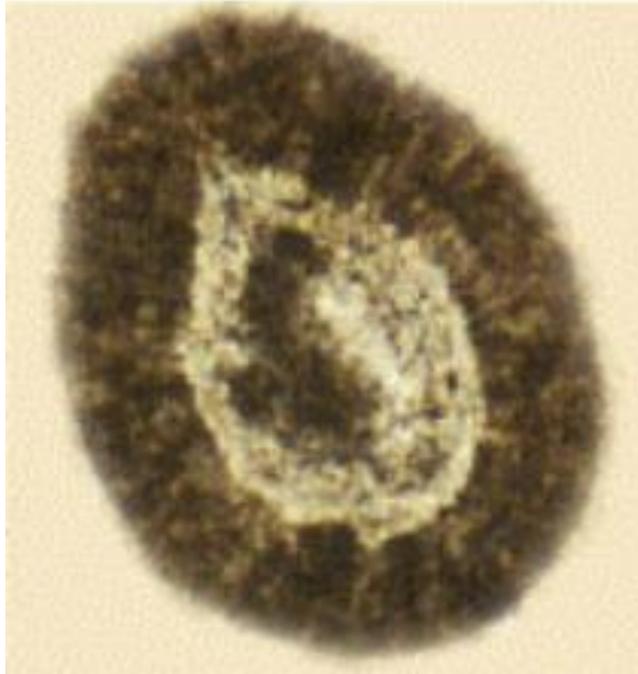
$$T = V + t = 11\,460\,044\, m^3 \times 2,5 \frac{T}{m^3} = \mathbf{28\,650\,110\, Toneladas}$$

Las **reservas probadas** ascienden a:

$$T = T \times 0,80 = 28\,650\,810\, m^3 \times 0,80 = \mathbf{22\,920\,088\, Toneladas}$$

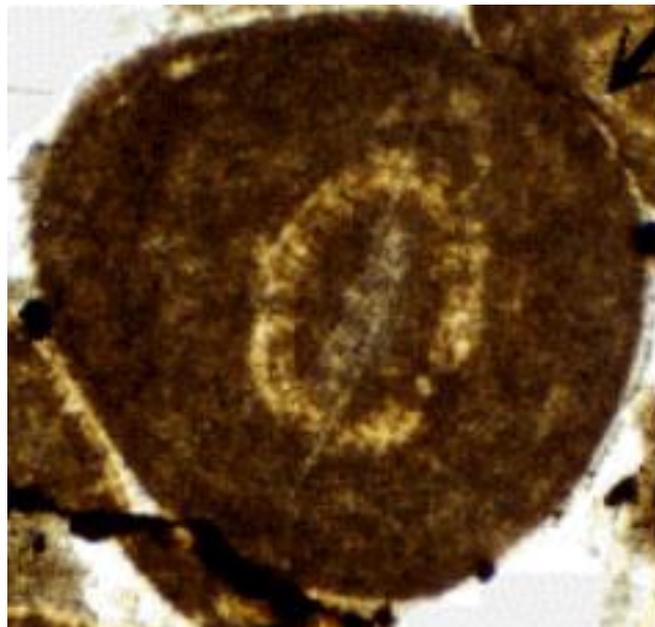
**ANEXO 3**  
**FOTOGRAFÍAS**

Foto 1. **Oolitos**



Fuente: Carnegie, Andrew – Centro de Investigación Conecticut – USA

Foto 2. **Peloides**



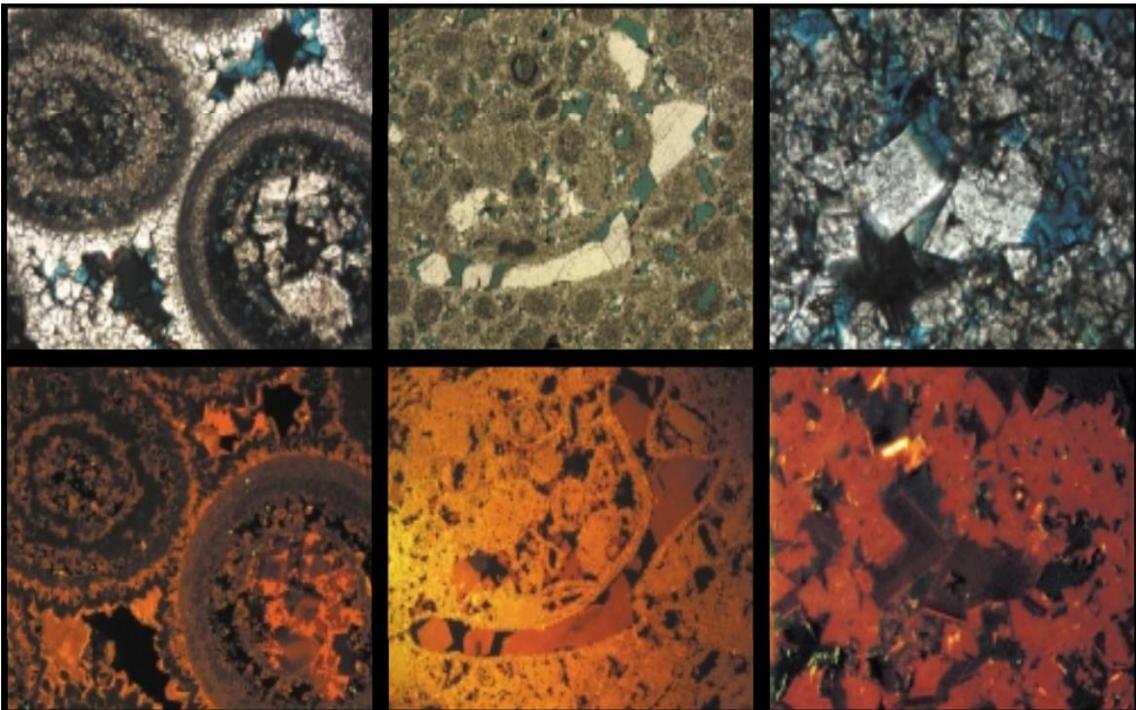
Fuente: Carnegie, Andrew – Centro de Investigación Conecticut – USA

Foto 3. **Pisolitos**



Fuente: Carnegie, Andrew – Centro de Investigación Connecticut – USA

Foto 4. **Génesis de los carbonatos**



(*Izquierda*) caliza granular de oolitos, los núcleos se disolvieron a temprana edad (*centro*) caliza granular peloidal dolomitizada (*derecha*) caliza granular de pisolitos reemplazados por dolomías.

Fuente: Carnegie, Andrew – Centro de Investigación de Oil y gas Natural Corporation, Nueva Delhi – India – 2016.

**ANEXO 4**  
**PLANO DE UBICACIÓN**



|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
|  <b>UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS</b><br><small>FACULTAD DE INGENIERIA</small> |                                       |
| <b>1</b>  | <b>CONCESIÓN RUBÍ</b>                 |
| <b>CALIDRA</b>  | PLANO DE UBICACIÓN                    |
|   | Dib.: J. Contreras    Rev.: A. Ugarte |

## ANEXO 5

Foto 5. Cuerpo mineralizado de caliza a explotar



Fuente: Elaboración propia

Foto 6. Calicata de exploración



Fuente: Álbum de fotografías.

**Foto 7. Calicata de exploración**



Fuente: Elaboración propia

**Foto 8. Corte exploratorio del yacimiento**



Fuente: Álbum de fotografías