



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“Optimización en la planificación minera a tajo  
abierto”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería de Minas**

**Autores:**

César Hernán, Angeles Quiroz

Ronal Javier, Cueva Correa

**Asesor:**

Ing. Shonel Miguel, Cáceres Pérez

Cajamarca - Perú

2019

## **DEDICATORIA**

A Nuestro Padre todo poderoso, por bendecirnos y darnos siempre un nuevo día para demostrarle que puedo ser mejores personas.

A todos los estudiantes que ahora se sacrifican en búsqueda de la verdad.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestros docentes de la EAP de Ingeniería de Minas de la Universidad Privada del Norte (sede Cajamarca). Y a todos nuestros compañeros de la carrera, que nos alentaron en concluir la presente investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

### ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE GRAFICOS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>	11
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b>	14
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	51
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b>	52
REFERENCIAS	59

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No 01. Descripción de grado de meteorización de rocas. ....	31
Tabla No 02. Descripción de resistencia a compresión simple. ....	31
Tabla No 03. Operacionalización de variables. ....	48
Tabla No 04. Resumen de la información a incluirse en la investigación. ....	51

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico No 1. Elementos de un Banco .....	33
Gráfico No 2. Etapas para la explotación de una cantera	34
Gráfico No 3. Rocas y minerales industriales en el Perú.	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos de una programación escolástica.....	21
--	----

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo de tamaño de muestra .....	50
--	----

## RESUMEN

Los procesos de planificación minera en los depósitos a cielo abierto, se han realizado utilizando herramientas deterministas, que excluyen la evaluación de riesgos y las incertidumbres del negocio minero. Es necesario desarrollar modelos alternativos de planificación minera que mejoren las condiciones de competitividad y productividad en términos de los siguientes factores:

- Características geo mecánicas del yacimiento,
- Reservas del mineral y
- El ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte; con la finalidad de disminución del riesgo y la incertidumbre del proceso de planificación minera, entre otros. (Sepúlveda, 2012)

Con la determinación de la calidad del macizo roso de caliza, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se ha logrado optimar con la determinación de la calidad del macizo roso de caliza, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se ha logrará optimizar el plan de minado en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca, de acuerdo a hipótesis y objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, en la cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca. Los resultados de la caracterización de macizo rocoso de calizas demuestran un RMR 57 es una roca de calidad regular con una densidad en banco de 2.51 TM/m<sup>3</sup>, con una potencia del estrato de 4.00 m a 5.00m aproximadamente, las reservas minerales de cantera de caliza La Unión distrito Baños del Inca - Cajamarca es 855972.00 TM, los resultados de la voladura son de 65 m<sup>3</sup> de roca fragmentada o roca suelta diaria, el sistema de transporte es en volquetes Dodge 800 de 6 cubos como pequeño productor minero con carencia de un plan de minado adecuado, la producción diaria se ha adecuado a la capacidad 30 TM/día de calcinación de los dos hornos con una capacidad operativa de 50 % ,con esta producción diaria se logra una ganancia de US \$ 10 468.67 mensuales. (Piérola, 2017)

Dentro de los procesos de planificación minera de los yacimientos minerales a cielo abierto hay evidencia de la utilización de herramientas para la toma de decisiones bajo escenarios de incertidumbre que permiten llevar a cabo estos procesos con técnicas meta heurísticas.

Se pretende que este trabajo sirva de base para realizar una aproximación al planeamiento minero y que su aplicación se lleve a cabo en las empresas que explotan los recursos minerales, con el objetivo de optimizar su plan de minado con la finalidad de maximizar los beneficios en términos monetarios.

**PALABRAS CLAVES:** Planeamiento, minería, tajo abierto, optimización.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El propósito principal de una operación minera es extraer y comercializar una Mena mediante un procedimiento económicamente rentable y bajo unas condiciones determinadas, para lo cual frecuentemente se requiere mover grandes cantidades de material estéril. Por lo tanto, *¿Se puede optimizar el plan de minado, a través de la evaluación de las características geo mecánicas del yacimiento, reservas del mineral y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte?*

En el desarrollo de la presente investigación veremos lo importante de la adecuada a selección de los parámetros de diseño y la elaboración adecuada del plan de minado, debe contener un programa de extracción de mineral y remoción de estéril que impliquen complejas decisiones de ingeniería, dado su enorme significado técnico y económico. Hay que tener en cuenta que los factores a considerar para este propósito son numerosos y deben reflejar las características y condiciones limitantes con respecto a un yacimiento minero en particular.

En las actuales explotaciones de recursos minerales el diseño y planeamiento minero se lleva a cabo utilizando técnicas determinísticas que conllevan a procesos mineros en los cuales se dejan de explotar o producir una cantidad considerable de recursos minerales, que traen como consecuencia niveles de producción inadecuados desde el punto de vista tecnológico; financiero; social y ambiental (Abdel, 2010; Dimitrakopoulos, 2007).

Adicionalmente, la planeación minera tiene como finalidad la obtención de la mejor proyección del uso de los recursos minerales disponibles, y además que es una actividad capaz de ajustarse a eventuales cambios en el transcurrir del tiempo; se puede afirmar que la planeación minera es la gestora del presente y futuro de la actividad minera. Dicha actividad minera posee un componente operacional llamado Planeación de Producción; El éxito de esta planeación dependerá de poder alcanzar un Valor Presente Neto (VPN) óptimo que genere factibilidad al proyecto a desarrollar. Llegar a dicho valor lleva a que la actividad sea a veces difícil y compleja (Bastante, 2004; Hustrulid, 2006).

El análisis de las alternativas se determina en función a los principales parámetros asumidos que intervienen en la elaboración de un plan de minado entre los cuales tenemos (Gomez, 2015):

1.-Parámetros Geométricos (**Características geo mecánicas del yacimiento**):

- Altura de bancos.
- Anchura de Fases
- Anchura y gradiente de vías
- Ángulos de Taludes

2.-Parámetros Económicos (**Reservas del mineral**):

- **Ley de Corte**
- **Costos operativos.**

3.- Parámetros Operativos (**Ciclo de operaciones unitarias de perforación**):

- Perforación
- Voladura
- Carguío
- Acarreo
- Operaciones Auxiliares

4.-Parámetros de Seguridad y Medio Ambiente

5.- Parámetros Laborales y relaciones comunitarias.

La presente investigación se justifica ya que en los últimos tiempos se intensifica la explotación minera en todas sus escalas a nivel mundial, con ello se incrementa de forma intensa la demanda del óxido de calcio (cal). Este incremento repercute favorablemente en la explotación de la caliza en el País consecuentemente en la Región de Cajamarca. El uso más importante del óxido de calcio (CaO), está asociado a los procesos de extracción de cobre, oro y plata, principalmente en los procesos de flotación, donde actúa como un regulador de pH y depresante. Además, en la fundición de metales, donde actúa como fundente y agente enlazante; absorbente de SO<sub>3</sub> en gases y

desmoldante en las canaletas de sangría, en las ollas de eje y escoria, en las máquinas moldeadoras de blíster, refinado a fuego y electrolítico. Debido a la aparición de nuevas alternativas tecnológicas y el incremento de minas que entran a la fase de explotación se incrementan los recursos económicos al estado como beneficio a través de impuestos, regalías mineras y otros, a su vez esta operación incrementa la contaminación medioambiental y problemas de salud ocupacional debido al incumplimiento de las políticas empresariales, tomando en cuenta esta realidad es que se propone el presente trabajo de investigación; a fin de que se pueda realizar las operaciones unitarias correctas para la extracción y procesamiento de la caliza, minimizando los inconvenientes anteriormente señalados.

Es importante también indicar que como existen justificaciones para la presente investigación también existen limitaciones tales como: Los conflictos sociales trasladados de la gran minería al Pequeño Productor Minero (PPM), respecto a los posibles daños ambientales a falta de coordinación y participación del trinomio: Estado, empresa minera y comunidad.

Para concluir, indicaremos que el objetivo principal de la presente investigación es recopilar información teórica para la elaboración del marco teórico del trabajo de investigación que se denominará: “OPTIMIZACION DEL PLAN DE MINADO PARA LA PRODUCCION DE CALIZA, EN LA CONCESIÓN MINERA ARVAA100, DISTRITO LA ENCAÑADA – CAJAMARCA, 2018”.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

A continuación, se muestran 12 investigaciones relacionadas con el tema de investigación los cuales han sido extraídos de páginas web vigentes, los mismos que servirán para la elaboración del marco teórico del trabajo de investigación que se denominará: “OPTIMIZACION DEL PLAN DE MINADO PARA LA PRODUCCION DE CALIZA, EN LA CONCESIÓN MINERA ARVAA100, DISTRITO LA ENCAÑADA – CAJAMARCA, 2018”.

En este capítulo se detallará de la siguiente manera:

*2.1 Extraído de la tesis denominada: "MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN MINERA A CIELO ABIERTO", elaborado por: LINDA MARCELA CASTILLO DELGADO; para optar el título de Ingeniero de Minas de la UNIVERSIDAD DE CHILE, EN EL AÑO 2009. PAG. 05*

### **Introducción al problema de Planificación Minera en Cielo Abierto**

Dentro de la Planificación, podemos encontrar 3 clasificaciones: la planificación estratégica, la conceptual y por último la operativa. El objetivo de la Planificación estratégica es sincronizar el mercado con los recursos disponibles y la misión del dueño.

Por otro lado, la planificación conceptual delinea los recursos existentes para conducir a la meta productiva definida como parte de la planificación estratégica (Rubio, 2008). La planificación conceptual involucra el desarrollo de:

1. Envolvente Económica
2. Diseño del Proceso
3. Programa de Producción
4. Recursos a Utilizar
5. Costeo y Valorización
6. Indicadores de desarrollo sustentable.

Dentro del problema de la obtención del Pit Final o envolvente económica, tenemos que el pit final está definido por el ángulo de talud, ley crítica de diseño y un modelo valorado de bloques o reservas (Magñin, 2002). Esta serie de datos son interpretados como un input que al ser tratados bajo diferentes algoritmos computacionales de optimización, entregan un volumen de reservas potencialmente extraíbles para el proyecto.

Luego sigue la estrategia de consumo de reservas que conlleva la maximización del Van del negocio y la estrategia de leyes de corte que define el destino del material. Todo este trabajo dará forma a la creación de un plan de producción.

2.2 *Extraído de la tesis denominada: " MEJORAMIENTO CONTINUO EN LA GESTIÓN DEL CICLO DE ACARREO DE CAMIONES EN MINERÍA A TAJO ABIERTO EN ANTAMINA, CERRO VERDE, TOQUEPALA, CUAJONE, YANACOCCHA, ALTO CHICAMA, LAS BAMBAS, CERRO CORONA, ANTAPACAY Y PUCAMARCA.", elaborado por: ING. GERARDO WILLIAM MAURICIO QUIQUIA; PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN MINERA la UNiversidad NACIONAL DE INGENIERIA, en el año 2015. pag. 15*

**Los factores que inciden en la selección del metodo de explotacion son:**

Factores geológicos de yacimiento.

- Tamaño.
- Forma.
- Inclinación.
- Límites de mineralización.
- Contenido del mineral útil.
- Estabilidad de rocas.

Factores técnicos del equipo.

- Perforación de rocas
- Carga de explosivos y voladura.
- Carguío y transporte
- Trituración.

Factores económicos.

- Reserva minerales.
- Costos de explotación.
- Perdida de mineral.

- Dilución del contenido útil.
- Financiamiento de la operación.
- Personal calificado.
- Disponibilidad de equipos.

Factores locales o regionales.

- Situación geográfica.
- Condiciones climatológicas.

Factores Ambientales.

- Espesor suelo vegetal.
- Ubicación de escombreras.
- Protección/afectación del entorno.
- Participación comunitaria.

2.3 *Extraído del Boletín Ciencias de la Tierra denominada: "PLANEAMIENTO DE MINAS A CIELO ABIERTO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA", Bol. Cienc. Tierra, Número 31, p. 107-113, 2012. ISSN electrónico 2357-3740. ISSN impreso 0120-3630.*

#### Método

La metodología para desarrollar este trabajo se establece teniendo en cuenta que el proceso de planeación en minería es básicamente un problema de optimización, que puede ser resuelto mediante: Programación lineal; Programación entera o Programación estocástica (Dimitrakopoulos, 2010; King, 2009; Xu, 2009).

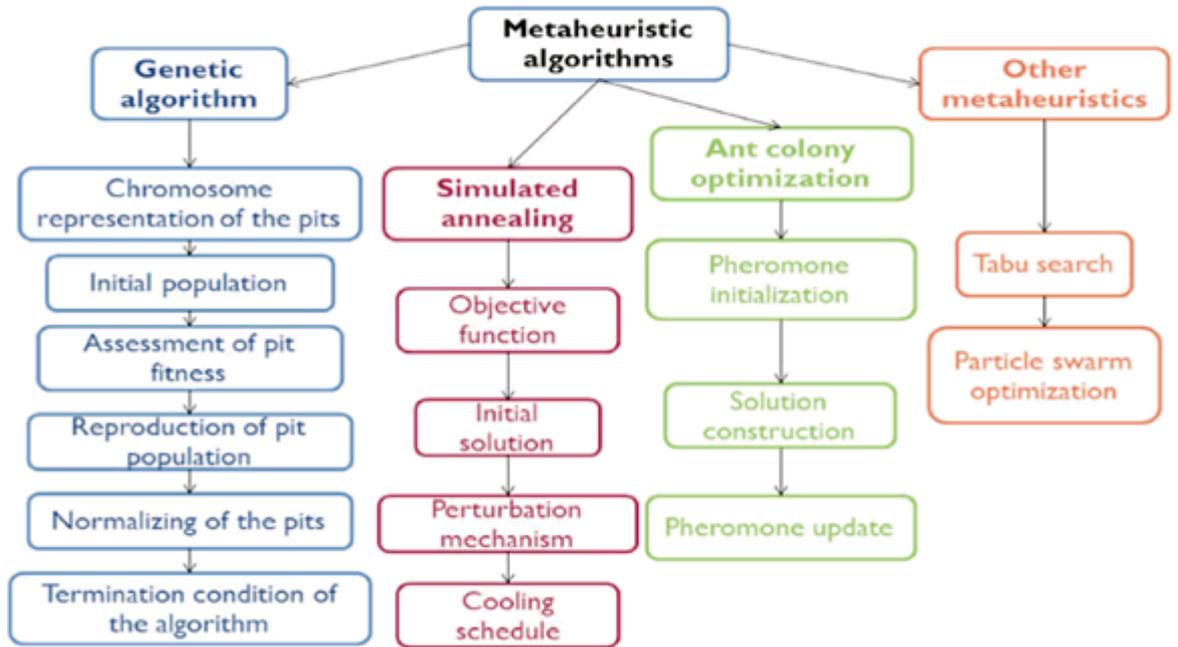
**Programación Lineal:** Un problema de programación lineal es un problema de optimización en donde todos los parámetros son exactamente conocidos y determinísticos y las relaciones entre variables en la función objetivo y las restricciones son lineales. El método comúnmente utilizado para resolver estos problemas es el SIMPLEX.

**Programación Entera:** Son problemas en los cuales algunas o todas las variables deben ser enteras. Existen varios métodos de solución de problemas utilizando programación entera, estos son: Branch and Bound; Cutting Planes; Branch and Cut y Meta heurísticos.

**Programación Estocástica:** Es una técnica de optimización usada cuando los problemas envuelven incertidumbre (como en nuestro caso, la incertidumbre asociada a lo geológico; el mercado y los precios). Dicha incertidumbre puede representarse por medio de distribuciones de probabilidad o a través de posibles escenarios.

Como el objetivo de este trabajo es desarrollar un modelo para la planeación óptima de la explotación minera en explotaciones a cielo abierto considerando la incertidumbre asociada a variables de interés, con el fin de maximizar los beneficios esperados y minimizar los riesgos asociados, para el desarrollo de este trabajo se utilizarán elementos tanto de programación entera como de programación estocástica.

Figura No 01. Elementos de una programación escolástica.



Fuente: Boletín Ciencias de la Tierra

2.4 Carvajal L. (2008), *Metodología de Investigación. Universidad del Valle Santiago de Cali. 28 ed. USC, Cooprusaca, Poemia. 2006. ISBN 978-958-30-9. 150 p.*

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

*2.5 Correa D.A., Santillán L.(2016) Tesis “Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez, de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería de Minas, Bambamarca- Cajamarca.*

Este trabajo consiste en el desarrollo de un estudio de factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio, para determinar la viabilidad del proyecto, se determinó una alta concentración de mercado por parte de los consumidores, los cuales son Yanacocha, Minera Coimolache, Minera Shahuindo, Gold Fields, Lúmina Copper, así como municipalidades; los cuales se abastecen de la compra de terceros, un factor más importante es la ley promedio de carbonato de calcio en la viabilidad y recuperación económica.

*2.6 Según Rodríguez C. J., Morales. C. D U. y Paredes L. L. (2011) en Evaluación de la estabilidad de taludes en la Mina Lourdes de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Facultad de Ingeniería de Minas, La mina Lourdes.*

Este trabajo indica que la explotación de recursos no metálicos por el método de canteras a cielo abierto, ocasionando grandes modificaciones al perfil original del terreno, con el fin de mejorar la explotaciones debe implementar un método de minado superficial por bancos que permita un mejor control de la estabilidad del terreno. Esto implica la necesidad de establecer los parámetros geomecánicos y establecer los dominios geotécnicos del área de la explotación que permitan un diseño seguro de bancos y taludes en roca y en los botaderos de desmonte. Generalmente, una excavación abierta incluye rocas intemperizadas, cuyas resistencias son mucho menores que la de la roca intacta. Algunas rocas blandas continuarán degradándose debido a alteraciones durante la construcción y posteriormente debido a la acción del agua y del clima.

*2.7 Abreu G. Juan C. (2002), en tesis titulado Diseño de un plan de explotación yacimiento de caliza, cantera la gamarra Magdaleno, Estado Aragua de la Universidad Central de Venezuela. Caracas –Venezuela.*

El yacimiento de caliza es un depósito de pequeñas dimensiones, puede ser explotado por el método minero convencional de cantera. El total de recursos mineros (...), es cercano a los 6.000.000 de m<sup>3</sup>, pero las condiciones generales del yacimiento reducen el alcance de la explotación y sumado a una baja relación límite estéril / mena de un 20% solo se logró el diseño de la misma para una cantidad de cercana a los 479.840 m<sup>3</sup>. Se estima que la explotación debe alcanzar un periodo de cuatro años a un rendimiento de 25.000 t/mes debido a la baja recuperación de los recursos. El diseño final de la explotación consta de bancos de 10 m con un declive de 72° y bermas de 4 m, estos parámetros originan un talud final máximo de 55° geomecánicamente estable.

*2.8 Alvear G. C., López M. M., Pindo M. J., Proario C. G. (2010), Artículo Científico titulado Diseño y análisis económico de la explotación a cielo abierto de un yacimiento de caliza, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra. Guayaquil – Ecuador*

Tiene como objetivo diseñar y planificar las operaciones de arranque, carga y transporte de la explotación del yacimiento de caliza mediante un dimensionamiento adecuado de la maquinaria. Este proyecto tiene una planificación minera a 5 años con un plan de explotación a largo plazo de las reservas de la cantera. El diseño que se propone es un banqueo descendente en cual se ha diseñado 8 niveles de explotación con una altura de 10 metros cada uno. Para calcular las reservas se realizó 5 cortes longitudinales en sentido SE - NO y transversales en sentido SO - NE. Por último se precede a realizar un análisis económico para corroborar la toma de decisiones en la inversión.

*2.9 Según Urdy P., Diego A. M. (2012), tesis Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TM/h”, Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima-Perú.*

La minería y la construcción son actualmente dos de los sectores que más desarrollo han tenido en el Perú como consecuencia del alto precio de los minerales en el mercado mundial y la demanda de viviendas en el mercado interno. Dentro de estas industrias destaca como materia prima principal la piedra caliza que se utiliza principalmente para elaborar el cemento que conocemos, pero tiene otras aplicaciones en diferentes industrias como la química, alimenticia, minera y de medio ambiente. Las plantas de trituración de caliza actualmente buscan mejorar sus eficiencias, reducir sus tiempos de producción, mejorar la disponibilidad de materias primas, materiales y equipos; y con esto reducir sus costos de producción.

2.10 *Siguenza A. F. (2010), Extracción de mármol de comarca de Macael.Almeria-Andaluica. Macael –España.P.23.24.*

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

2.11 Carreño B. P. E. S., Simoni R.J. M. (2007), *Plan de negocios para la instalación de una fábrica de Cal en el sur del Perú. Universidad ESAN, p159.Lima-Perú*

Menciona. La cal es un producto industrial que en el Perú es usado en diversas industrias como en la de fabricación de azúcar, pinturas, acero; como desinfectante, en la fabricación de plásticos. En la minería se usa como neutralizador de residuos ácidos, para mantener ambientes alcalinos en celdas de flotación y en los pads de lixiviación. En el Perú, el mayor consumo de cal se da en la minería, debido a esto, rápidamente ha crecido la demanda de cal en el mercado nacional, en la década de los 90 y principios del 2000, el crecimiento fue importante en el Norte del País, por el inicio de operaciones de minería Yanacocha en Cajamarca y de Antamina en Ancash. Después de la depresión de precios de los minerales en el mercado mundial, en el segundo lustro de la década de los 90, su cotización en los principales países del mundo empezaron a repuntar entre el 2001 y 2002, en tal forma que en el 2006, llegaron a tener precios nunca antes vistos en los minerales como el cobre, oro, entre otros. De esta forma se impulsaron proyectos de ampliación en las principales minas del sur Peruano como Southern Perú Copper Corporation (SPCC) en el 2006, Mina Tintaya (2006), Cerro Verde (2007) y Aruntani (2007) y se estableció un cronograma para el ingreso de nuevos proyectos mineros como Quellaveco (2009), Las Bambas (2010), Los Chancas (2015), Tía María (2016) y Limamayo (2017). Esto ha traído como consecuencia que la demanda accesible de cal que hasta el 2006 fue de 34 mil toneladas por año, se elevó a 80 mil toneladas en el 2007 y se prevé un importante crecimiento con el ingreso de nuevos proyectos mineros, estimándose llegar a un consumo de 240 mil toneladas de cal en el 2015.

2.12 *Extraído de la tesis denominada: ""OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MINADO DE CANTERA DE CALIZA LA UNIÓN DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA" 2015", elaborado por: Demetrio Piérola Vera; para optar el título de Ingeniero de Minas de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, EN EL AÑO 2015. PAG. 11-52*

A) Bases teóricas.

Clasificación Rock Mass Rating (RMR) de Bieniawski 1989.

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

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

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

A continuación se sigue mostrando información teórica extraída de *de la tesis denominada: ""OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MINADO DE CANTERA DE CALIZA LA UNIÓN DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA" 2015", elaborado por: Demetrio Piérola Vera; para optar el título de Ingeniero de Minas de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, EN EL AÑO 2015. PAG. 11-52*

**Tabla No 01. Descripción de grado de meteorización de rocas.**

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

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

**Resistencia.** La resistencia es una propiedad mecánica de la roca, la resistencia a la compresión simple es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial. Para obtener la clasificación según la resistencia a la compresión simple se puede realizar distintos ensayos ya sea in-situ o con probetas sin confinar, ver Tabla. No 02

**Tabla No 02. Descripción de resistencia a compresión simple.**

<b>Resistencia a la compresión</b>	<b>Descripción</b>
1 – 5	Muy blanda
5 – 25	Blanda
25 – 50	Moderadamente dura
50 – 100	Dura
100 – 250	Muy dura
> 250	Extremadamente dura

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

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

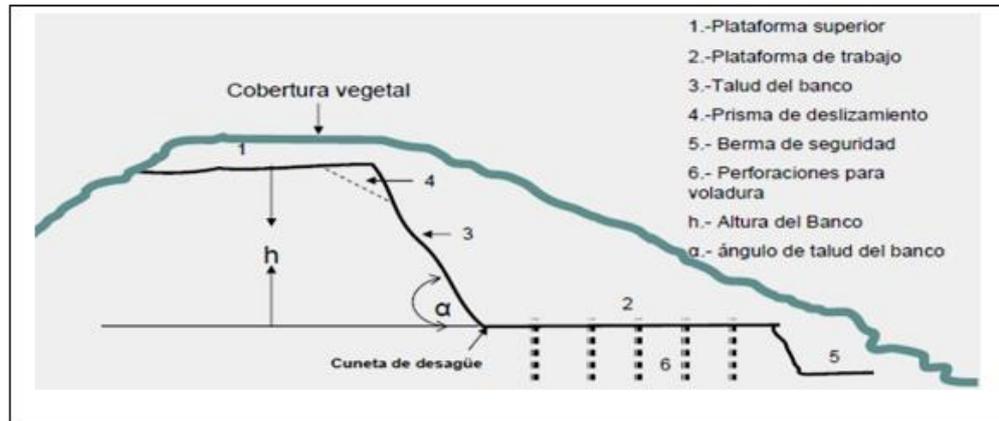
**Presencia del agua.** En un macizo rocoso diaclasado, el agua tiene gran influencia sobre su comportamiento, la descripción utilizada para este criterio son: completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a presión fuerte.

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

## **B) Explotación de canteras**

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

Grafico No 01. Elementos de un banco



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

### C) Evaluación de yacimientos y reservas.

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

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

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

**Grafico No 02. Etapas para la explotación de una cantera.**



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

#### **D) Ubicación de la planta.**

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

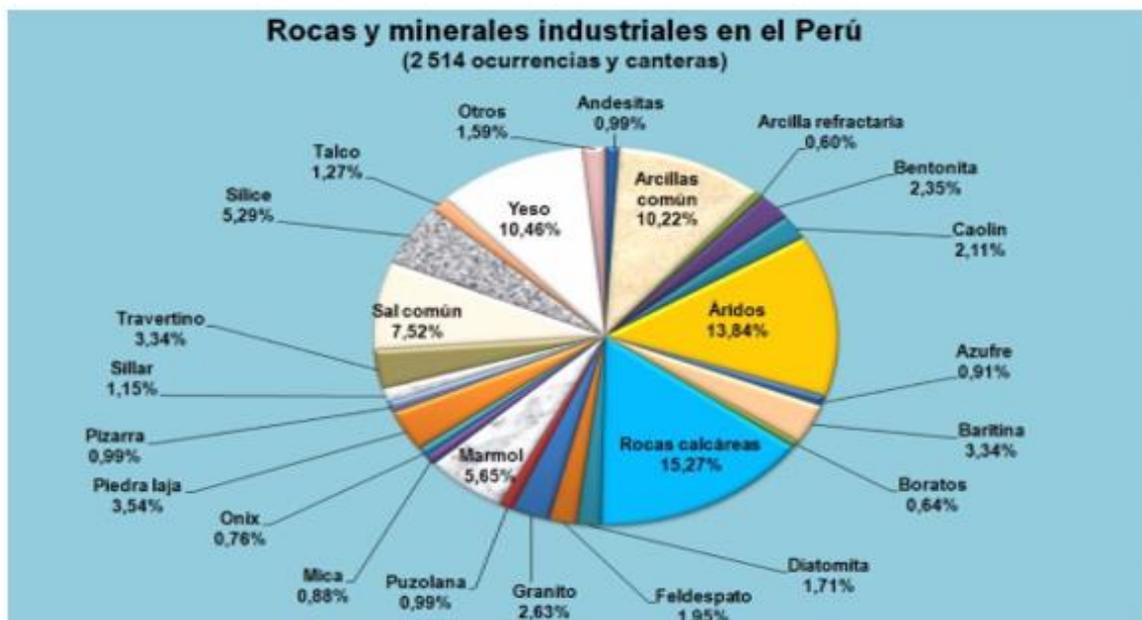
- Cuidadosa elección del emplazamiento.
- Minimizar el impacto visual (Buscar las cotas más bajas del terreno o aprovechar huecos existentes).
- Lo más cerca posible de los frentes de explotación.
- Planificación de accesos, pasos de vehículos y peatones, oficinas y servicios, báscula de ventas, zona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

### E) Potencial de rocas y minerales industriales en el Perú.

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

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

**Grafico No 3. Rocas y minerales industriales en el Perú.**



Fuente. INGEMMET - 2009.

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

## **F) Concepto tradicional de la cantera.**

Según Herrera H.J. (2006), explotaciones de cantera para áridos y otros materiales de construcción, explotación de cantera métodos de minería a cielo abierto de la Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas - España, las explotaciones de cantera fueron explotaciones de escaso interés, dado que se consideraba que daban materiales de muy escaso valor económico, de los que había una enorme abundancia de yacimientos en todas partes, había pocos problemas de agotamiento de esos yacimientos y se exigían unos criterios de selección del material muy elementales.

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

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

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

### **G) Definición actual de la cantera.**

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

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

### **H) Tipos de explotaciones de cantera.**

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

- Las canteras de áridos (Zahorras, rellenos, escolleras, asfaltos, hormigones, etc), incluyéndose también en este grupo a las graveras.

- Las canteras de roca ornamental (Pizarras, granitos, calizas, mármoles, etc).
- Las canteras de rocas y minerales industriales (Cementos, ladrillería, cerámica y vidrio, etc).

### **h.1) Cantera como fuente de aprovisionamiento.**

Son cantera de aprovisionamiento de suelos y rocas necesarias para la construcción de una obra. Es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones a cielo abierto de materiales de construcción, entre los cuales se incluyen las rocas industriales y ornamentales, gravas, gravillas, arenas y arcillas, las canteras aprovisionan material para la conformación de terraplenes, estabilizaciones, capa de su base y bases o como agregado para la elaboración de concretos de cemento portland y asfáltico. Estas canteras son lugares de donde se extraen materiales de construcción, sea directamente o después de ser transformados (piedra chancada, lajas, etc.), áridos para vías o materiales para otras necesidades ingenieriles tales como enrocados, terraplenes y obras de contención; también se incluye la extracción de minerales propiamente dichos. Son la fuente principal de materiales pétreos los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción de obras civiles, estructuras, vías, presas y embalses, entre otras. Por ser materia prima en la ejecución de estas obras, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto. Toda cantera tiene una vida útil, y una vez agotada, el abandono de la actividad puede originar problemas de carácter ambiental, principalmente relacionados con la destrucción del paisaje.

### **h.2) Clasificación de las canteras según tipo de explotación.**

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

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

### **h.3) Clasificación de las canteras según el material a explotar.**

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

### **h.4) Clasificación de las canteras según su origen.**

- Canteras aluviales.
- Canteras de roca o peña.

## **K) Explotación de canteras**

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

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

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

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

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

### **L) Clases de canteras.**

Existen dos tipos fundamentales de canteras, las de formación de aluvión, llamadas también canteras fluviales, en las cuales los ríos como agentes naturales de erosión, transportan durante grandes recorridos las rocas aprovechando su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad formando grandes depósitos de estos materiales entre los cuales se encuentran desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas; la dinámica propia de las corrientes de agua permite que aparentemente estas canteras tengan ciclos de autoabastecimiento, lo cual implica una explotación económica, pero de gran afectación a los cuerpos de agua y a su dinámica natural.

Dentro del entorno ambiental una cantera de aluvión tiene mayor aceptación en terrazas alejadas del área de influencia del cauce que directamente sobre él. Otro tipo de canteras son las denominadas de roca, más conocidas como canteras de peña, las cuales tienen su origen en la formación geológica de una zona determinada, donde pueden ser sedimentarias, ígneas o metamórficas; estas canteras por su condición estática, no presentan esa característica de autoabastecimiento lo cual las hace fuentes limitadas de materiales.

Estos dos tipos de canteras se diferencian básicamente en dos factores, los tipos de materiales que se explotan y los métodos de extracción empleados para obtenerlos. En las canteras de río, los materiales granulares que se encuentran son muy competentes en obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua desgasta los materiales quedando al final aquellos que tiene mayor dureza y además con características

geométricas típicas como sus aristas redondeadas. Estos materiales son extraídos con palas mecánicas y cargadores de las riberas y cauces de los ríos. Las canteras de peña, están ubicadas en formaciones rocosas, montañas, con materiales de menor dureza, generalmente, que los materiales de ríos debido a que no sufren ningún proceso de clasificación; sus características físicas dependen de la historia geológica de la región, permitiendo producir agregados susceptibles para su utilización industrial; estas canteras se explotan haciendo cortes o excavaciones en los depósitos.

### **M) Fases de la explotación de canteras.**

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

**m.1) Destape.** Es la actividad que permite retirar todo el material de sobrecarga y dejar el material útil listo para que sea arrancado por cualquiera de los medios, sea por perforación o voladura (rocas duras), o mediante retroexcavadora, buldózer con ripper (rocas suaves). Esta operación da la oportunidad de conservar el suelo fértil y las especies nativas, semillas, estacas, etc. Para reforestar y para la recuperación del espacio explotado. El destape se efectuará excavando trincheras de acceso (caminos en la cantera). Los parámetros básicos de una trinchera son: Largo, anchura de fondo, pendiente ángulo de talud, equipo de excavación y depende del objeto para el que se construya la trinchera.

**m.2) Arranque.** Consiste en caso de rocas duras, proceder a la perforación de bancos descendentes con la ayuda de máquinas de perforación y proceder a la voladura con el uso de explosivos. En el caso de rocas suaves, el arranque se realiza de manera directa, para lo cual se utiliza excavadores que disgregan la roca para que luego sea cargado hasta los volquetes.

**m.3) Transporte interno.** El material heterogéneo dispuesto en la plataforma de trabajo, con la ayuda de la retro excavadora, es alimentado a los camiones, los cuales llevan hasta la zaranda, que se encuentra ubicada fuera o dentro del área de la concesión, para su respectiva clasificación.

**m.4) Clasificación.** El material que ha sido quebrado mediante voladura puede ser alimentado a una trituradora de mandíbulas o cónica, desde donde se obtendrán los diferentes productos, como ripio, arena, chispa, etc. Para la comercialización, el material suave obtenido de laboreo mediante excavadora es llevado hasta zarandas estacionarias en las cuales se obtienen los diferentes productos como: arena, ripio, base, sub base, piedra bola y del material grueso no condicionado se obtienen los molones los cuales serán comercializados.

**m.5) Comercialización.** Los diferentes tipos de productos que se han preparado en la cantera son comercializados en función de las necesidades del consumidor, para lo cual empresas que no tienen relación con los titulares mineros se encargan de comercializar, ocasionalmente los titulares disponen de volquetes y comercializan directamente.

**m.6) Almacenamiento.** El material que no ha sido comercializado, es almacenado en lugares fuera del área de procesamiento de la roca para su posterior comercialización y se les conoce como stocks.

**m.7) Escombreras.** Lugar en el cual se deposita de manera temporal o definitiva el suelo de cobertura o se deposita el material que no ha sido considerado útil o comercializable, según el caso.

## **N) Canteras en el entorno ambiental.**

Para cada cantera se deberá diseñar un adecuado sistema y programa de aprovechamiento del material, de manera de producir el menor daño al ambiente. Será diferente si se trata de explotar un lecho de río o quebrada, un promontorio elevado (cerros), una ladera o extraer material del subsuelo. Depende, también, del volumen que se va a extraer de la cantera y el uso que se le va a dar al material, pudiendo requerirse antes una previa selección del mismo, lo que origina desechos que luego es necesario eliminar. Se deberá seguir las estipulaciones que al respecto se incluye en el manual ambiental para el diseño y construcción de vías del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

## **O) Plan de minado.**

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

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

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

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

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

### **P) Caliza.**

Roca sedimentaria (generalmente de origen orgánico), carbonatada que contiene al menos un 50% de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), y que puede estar acompañada de dolomita, aragonito y siderita; de color blanco, gris, amarilla, rojiza, negra; y textura granular fina a gruesa, bandeada o compacta, a veces contiene fósiles. Minerales esenciales: calcita (más del 50%). Minerales accesorios: dolomita, cuarzo, goethita (limonita), materia orgánica. Las calizas tienen poca dureza y en frío reportan efervescencia (desprendimiento burbujeante de  $\text{CO}_2$ ), bajo la acción de un ácido diluido. Contienen frecuentemente fósiles, por lo que son de gran importancia en estratigrafía, así como diversas aplicaciones industriales. Usos: El mayor consumo de caliza se efectúa en la fabricación de cementos; es materia prima de la industria química (grandes masas de caliza se utilizan anualmente como fundentes en la extracción de diversas menas metálicas). La caliza de grano fino se emplea en litografía y se denomina caliza 24 litográfica. Calizas de distintos tipos se emplean en construcción, tanto como piedra estructural, como para fachadas y recubrimientos sobre paredes de cemento, y como piedra de acabado para la ornamentación interior. También se usa en la producción de azúcar y en la industria del vidrio. Su origen puede ser la precipitación química o bioquímica de carbonato cálcico en los medios sedimentarios, la construcción por organismos (calizas coralinas) y la cementación de conchas calizas de moluscos (lumaquelas). La caliza cristalina metamórfica se conoce como mármol. Los relieves calizos son frecuentes en cordilleras jóvenes, dando lugar a relieves característicos. Entre las formas erosivas de las calizas se encuentran las formaciones kársticas.

### **p.1) Formación de la caliza.**

La caliza es una roca compuesta por lo menos del 50% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), con porcentajes variables de impurezas, en su interpretación más amplia, el término incluye cualquier material calcáreo que contenga carbonato de calcio como mármol, creta, travertino, coral y marga. Cada uno de los cuales poseen propiedades físicas distintas, sin embargo, generalmente se considera que la caliza es una roca calcárea estratificada compuesta principalmente de mineral calcita, que por calcinación da la cal viva. Los yacimientos de materiales calcáreos que se encuentran en las vastas regiones del Perú, son rocas calizas de diversos grados de pureza. La meteorización de la roca caliza relativamente pura contiene algo de carbonato de hierro, da como resultado la solución de la caliza y un residuo de óxido de hierro. Si las condiciones son favorables a la acumulación y si la cantidad de caliza meteorizada tiene espesor considerable, como en las mesetas de meteorización, pueden resultar depósitos explotables de hierro conocido como terra rosa, sin embargo, E. C. Eckel puntualiza que muchas calizas subyacentes de depósitos residuales de hierro contienen sólo una ligera cantidad de hierro diseminado y cantidades mucho mayores de sílice y alúmina y que su meteorización daría un residuo de arcilla en lugar de un residuo de óxido de hierro.

### **p.2) El ciclo del carbonato.**

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

### p.3) Cal.

La cal es un término que designa todas las formas físicas en las que pueden aparecer el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) y el óxido de calcio y magnesio ( $\text{CaMgO}_2$ ), denominados también, cal viva (o generalmente cal), y dolomía calcinada respectivamente. Estos productos se obtienen como resultado de la calcinación de las rocas (calizas o dolomías). Adicionalmente, existe la posibilidad de añadir agua a la cal viva y a la dolomía calcinada obteniendo productos hidratados denominados comúnmente cal apagada ó hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y dolomía hidratada ( $\text{CaMg}(\text{OH})_4$ ). La caliza, al calentarla a  $900^\circ\text{C}$ , pierde el  $\text{CO}_2$  y se convierte en cal viva. El  $\text{CaO}$  mezclado con agua forma el hidrato cálcico (Cal apagada –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), se hincha, produce mucho calor y se endurece o, como corrientemente se dice, fragua. La cal viva mezclada con agua forma el mortero corriente. La cal viva sometida al tratamiento con agua, se llama cal apagada (hidróxido de calcio). La cal viva es el óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), que se fabrica calcinando calizas a  $900^\circ\text{C}$ . Es un sólido de color blanco muy ávido de agua y cáustico. La reacción de la cal viva con el agua produce desprendimiento de calor y la formación de hidróxido de calcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o cal apagada. Es uno de los químicos más antiguos que el hombre proceso y uno de los más utilizados actualmente que va desde usos en agricultura, tratamiento de aguas contaminadas, refinación del acero, construcción y no deja de ser tan cercana y familiar en nuestra cultura que hasta la podemos disfrutar en las tortillas por medio del proceso de Nixtamalización.

### Q) Cantera.

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

### **q.1) Diseño de cantera.**

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

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

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

En el mismo trabajo de investigación presenta el investigador muestra la operacionalización de variables, tal como se indica a continuación:

A) Variable independiente.

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

B) Variable dependiente.

- **Optimización del plan de minado**

**Tabla No 03.** Operacionalización de variables.

Tipo de variables	Descripción de variable	Dimensión	Indicadores	Sub indicadores	Observación
Variable independiente	Características geo mecánicas del yacimiento, reservas del mineral y del ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte, en la concesión minera ARVAA100, distrito La Encañada-Cajamarca	Caracterización geo mecánica del yacimiento	Propiedades físicas	Densidad	Laboratorio
				Porosidad	Laboratorio
				Peso Específico	Laboratorio
				Cohesión	Laboratorio
				Angulo de fricción interna	Laboratorio
			Propiedades mecánicas	Resistencia compresiva uniaxial	Laboratorio
				Resistencia compresiva triaxial	Laboratorio
				Carga puntual	Laboratorio
			Dominio estructural del macizo rocoso	Mapeo geo mecánico	Registro lineal

			Índice de la calidad de roca RQD	Método de <i>Deere</i> y Método de <i>Palmtron</i>	Fórmulas		
			Evaluación de RMR de <i>Bieniawski 1989</i>	Cuantificación de RMS	Ábacos		
			Evaluación de RMS de Romana	Cuantificación de RMS	Ábacos		
		Reservas minerales	Reservas	Probadas y probables	Toneladas		
		Operaciones unitarias	Perforación	Unidades de medición	Metros		
			Voladura	Unidades de medición	Toneladas		
			Carguío	Unidades de medición	Metros cúbicos		
			Transporte	Unidades de medición	Metros cúbicos		
		Variable dependiente	Optimización del plan de minado, en la concesión minera ARVAA100, distrito La Encañada-Cajamarca	Plan de Minado	A corto plazo	Producción	Toneladas
					A mediano plazo	Producción	Toneladas
A largo plazo	Producción				Toneladas		

Fuente: Demetrio Piérola Vera

Para ello, el mismo investigador propone seguir el siguiente procedimiento para el análisis de datos:

#### A) Codificación

Consiste en preparar las mediciones obtenidas para que puedan analizarse correctamente, codificar los datos significa asignarles un valor numérico que los

represente, a las categorías de cada ítem y variable que tienen un significado. El procedimiento de codificación se ha realizado haciendo uso de la clasificación geomecánica de Bieniawski 1989, en la parte del plan de minado se tomarán y consolidarán los datos del ciclo operativo.

### **B) Tabulación.**

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

### **C) Consistencia.**

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

### **D) Cálculo de tamaño de muestra conociendo el tamaño de la población.**

La fórmula es la siguiente:

$$n = \frac{(N)(Z^2c)(P)(Q)}{D^2(N-1)+(Z^2c)(P)(Q)} \quad \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n= Tamaño de muestra;

N= Población;

Z= Nivel de confianza;

P= Probabilidad de éxito;

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

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

El coeficiente de Zc varía así:

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

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

A continuación se muestra cuadro del consolidado de la información encontrada en artículos científicos, tesis, encontradas en la web, indicados en ítem anteriores.

Tabla No 04. Resumen de la información a utilizar

No	Trabajo de investigación	Título	Investigador (a)	Año	Tópicos a incluirse en la investigación
01	Tesis	Modelos de optimización para la planificación minera a cielo abierto	Castillo, Linda	2009	- Introducción al problema de Planificación Minera en Cielo Abierto. - Tipos de planificación.
02	Tesis	Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapacay y Pucamarca.	Quiquia, Gerardo	2015	Factores que inciden en la selección del método de explotación.
03	Boletín	Planeamiento de minas a cielo abierto mediante optimización estocástica.	Boletín Ciencias de la Tierra	2012	Metodología para el planeamiento de minas a cielo abierto, mediante optimización estocástica.
04	Artículo científico	Metodología de Investigación	Carvajal L.	2008	Se contestó la pregunta: ¿Qué se ha escrito o investigado sobre el particular?.
05	Tesis	Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez.	Correa D.A., Santillán L.	2016	Estudio de factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio, para determinar la viabilidad del proyecto.

No	Trabajo de investigación	Título	Investigador (a)	Año	Tópicos a incluirse en la investigación
06	Tesis	Evaluación de la estabilidad de taludes en la Mina Lourdes	Según Rodríguez C. J., Morales. C. D U. y Paredes L. L.	2011	Explota recursos no metálicos por el método de canteras a cielo abierto.
07	Tesis	Diseño de un plan de explotación yacimiento de caliza, cantera la gamarra Magdaleno, Estado Aragua	Abreu G. Juan C.	2002	Yacimiento de caliza es un depósito de pequeñas dimensiones, puede ser explotado por el método minero convencional de cantera.
08	Artículo científico	Diseño y análisis económico de la explotación a cielo abierto de un yacimiento de caliza	Alvear G. C., López M. M., Pindo M. J., Proario C. G.	2010	Tiene como objetivo diseñar y planificar las operaciones de arranque, carga y transporte de la explotación del yacimiento de caliza mediante un dimensionamiento adecuado de la maquinaria.
09	Tesis	Planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TM/h	Urday P., Diego A. M.	2012	Las plantas de trituración de caliza actualmente buscan mejorar sus eficiencias, reducir sus tiempos de producción, mejorar la disponibilidad de materias primas, materiales y equipos; y con esto reducir sus costos de producción.
10	Tesis	Extracción de mármol de comarca de Macael. Almería-Andaluica	Siguenza A. F.	2010	En las explotaciones de calizas marmóreas muy comercializadas hoy día, el método que generalmente se sigue es semejante al que se aplica en cualquier explotación minera a cielo abierto, y consiste en un sistema de bancos con arranque y transporte del estéril a las escombreras previamente definidas.
11	Tesis	Plan de negocios para la instalación de una fábrica de Cal en el sur del Perú	Carreño B. P. E. S., Simoni R.J. M.	2007	Menciona. La cal es un producto industrial que en el Perú es usado en diversas industrias como en la de fabricación de azúcar, pinturas, acero; como desinfectante, en la fabricación de plásticos.

No	Trabajo de investigación	Título	Investigador (a)	Año	Tópicos a incluirse en la investigación
12	Tesis	Optimización del plan de minado de cantera de caliza La Unión distrito de Baños del Inca - Cajamarca	Pierola, Demetrio	015	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bases teoricas.</li> <li>- Explotación de canteras.</li> <li>- Evaluación de yacimientos y reservas.</li> <li>- Ubicación de la planta.</li> <li>- Potencial de rocas y minerales.</li> <li>- Concepto tradicional de la cantera.</li> <li>- Definición actual de la cantera.</li> <li>- Tipos de explotaciones de canteras.</li> <li>- Explotación de canteras.</li> <li>- Clases de canteras.</li> <li>- Fases de la explotación de canteras.</li> <li>- Canteras en el entorno ambiental.</li> <li>- Plan de Minado.</li> <li>- Caliza.</li> <li>- Cantera.</li> </ul>

Fuente: Elaboracion propia.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

- De los 12 trabajos de investigación tomados como referencia en la presente investigación podemos decir que son complementarios y no contradictorios, tal es el caso que cada uno de ellos indican lo siguiente:
  - Trabajo de investigación No 01.-
    - Introducción al problema de Planificación Minera en Cielo Abierto.
    - Tipos de planificación.
  - Trabajo de investigación No 02.-
    - Factores que inciden en la selección del método de explotación.
  - Trabajo de investigación No 03.-
    - Metodología para el planeamiento de minas a cielo abierto, mediante optimización estocástica.
  - Trabajo de investigación No 04.-
    - ¿Qué se ha escrito o investigado sobre el particular?
  - Trabajo de investigación No 05.-
    - Estudio de factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio, para determinar la viabilidad del proyecto.
  - Trabajo de investigación No 06.-
    - Explora recursos no metálicos por el método de canteras a cielo abierto.
  - Trabajo de investigación No 07.-
    - Yacimiento de caliza es un depósito de pequeñas dimensiones, puede ser explotado por el método minero convencional de cantera.

- Trabajo de investigación No 08.-
  - Tiene como objetivo diseñar y planificar las operaciones de arranque, carga y transporte de la explotación del yacimiento de caliza mediante un dimensionamiento adecuado de la maquinaria.
- Trabajo de investigación No 09.-
  - Las plantas de trituración de caliza actualmente buscan mejorar sus eficiencias, reducir sus tiempos de producción, mejorar la disponibilidad de materias primas, materiales y equipos; y con esto reducir sus costos de producción.
- Trabajo de investigación No 10.-
  - En las explotaciones de calizas marmóreas muy comercializadas hoy día, el método que generalmente se sigue es semejante al que se aplica en cualquier explotación minera a cielo abierto, y consiste en un sistema de bancos con arranque y transporte del estéril a las escombreras previamente definidas.
- Trabajo de investigación No 11.-
  - Menciona. La cal es un producto industrial que en el Perú es usado en diversas industrias como en la de fabricación de azúcar, pinturas, acero; como desinfectante, en la fabricación de plásticos.
- Trabajo de investigación No 12.- Incluyen los siguientes tópicos:
  - Bases teóricas.
  - Explotación de canteras.
  - Evaluación de yacimientos y reservas.
  - Ubicación de la planta.
  - Potencial de rocas y minerales.

- Concepto tradicional de la cantera.
  - Definición actual de la cantera.
  - Tipos de explotaciones de canteras.
  - Explotación de canteras.
  - Clases de canteras.
  - Fases de la explotación de canteras.
  - Canteras en el entorno ambiental.
  - Plan de Minado.
  - Caliza.
  - Cantera.
- De los trabajos de investigación tomados como base para la elaboración del marco teórico el trabajo que se denominará: “OPTIMIZACION DEL PLAN DE MINADO PARA LA PRODUCCION DE CALIZA, EN LA CONCESIÓN MINERA ARVAA100, DISTRITO LA ENCAÑADA – CAJAMARCA, 2018”. Se concluye que los factores que influyen directamente, para garantizar un óptimo planeamiento minero a tajo abierto son:
    - 1.-Parámetros Geométricos (**Características geo mecánicas del yacimiento**):
      - Altura de bancos.
      - Anchura de Fases
      - Anchura y gradiente de vías
      - Ángulos de Taludes
    - 2.-Parámetros Económicos (**Reservas del mineral**):
      - **Ley de Corte**
      - **Costos operativos.**

3.- Parámetros Operativos **(Ciclo de operaciones unitarias de perforación)**:

- Perforación
- Voladura
- Carguío
- Acarreo
- Operaciones Auxiliares

4.-Parámetros de Seguridad y Medio Ambiente

5.- Parámetros Laborales y relaciones comunitarias

## CONCLUSIONES

- En la web existen muchos artículos relacionados al planeamiento minero, sin embargo, el tema a investigar como producto de elaboración de la tesis, limitara a:
  - Minería superficial o tajo abierto y
  - Los minerales a producirse serán no metálicos, tal es el caso como caliza.
- Todo planeamiento de minado es fruto integral del análisis de diferentes variables, características y que las metas trazadas y establecidas tengan un cumplimiento aceptable de lo contrario se estaría con un desequilibrio con los parámetros planificados con la práctica operativa real obtenida.
- Los ajustes de las mejoras u optimizaciones de la planificación minera en la operación real se podrán ajustar de acuerdo a los parámetros operativos obtenidos y proyectados con datos más actualizados en calidad y en el tiempo dando mayor detalle e importancia a los que más incidencia económica tienen en la operación minera.
- Con la determinación de la calidad del macizo rojo, reservas minerales y el ciclo de operaciones unitarias de perforación, voladura, carguío y transporte se ha logrado optimizar el plan de minado.

## REFERENCIAS

- 1 Tesis denominada: "MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN MINERA A CIELO ABIERTO", elaborado por: LINDA MARCELA CASTILLO DELGADO; para optar el título de Ingeniero de Minas de la UNIVERSIDAD DE CHILE, EN EL AÑO 2009. PAG. 05.
- 2 Tesis denominada: " MEJORAMIENTO CONTINUO EN LA GESTIÓN DEL CICLO DE ACARREO DE CAMIONES EN MINERÍA A TAJOS ABIERTOS EN ANTAMINA, CERRO VERDE, TOQUEPALA, CUAJONE, YANACOCCHA, ALTO CHICAMA, LAS BAMBAS, CERRO CORONA, ANTAPACAY Y PUCAMARCA.", elaborado por: ING. GERARDO WILLIAM MAURICIO QUIQUIA; PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN MINERA la UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA, EN EL AÑO 2015. PAG. 15
- 3 Extraído del boletín Ciencias de la Tierra denominada: " PLANEAMIENTO DE MINAS A CIELO ABIERTO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN ESTOCÁSTICA", Bol. Cienc. Tierra, Número 31, p. 107-113, 2012. ISSN electrónico 2357-3740. ISSN impreso 0120-3630.
- 4 Carvajal L. (2008), Metodología de Investigación. Universidad del Valle Santiago de Cali. 28 ed. USC, Cooprusaca, Poemia. 2006. ISBN 978-958-30-9. 150 p.
- 5 Correa D.A., Santillán L.(2016) Tesis “Factibilidad económica de la explotación de roca caliza para producir óxido de calcio en la concesión minera no metálica José Gálvez, de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería de Minas, Bambamarca- Cajamarca.
- 6 Rodríguez C. J., Morales. C. D U. y Paredes L. L. (2011) en Evaluación de la estabilidad de taludes en la Mina Lourdes de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Facultad de Ingeniería de Minas, La mina Lourdes,

- 7 Abreu G. Juan C. (2002), en tesis titulado Diseño de un plan de explotación yacimiento de caliza, cantera la gamarra Magdaleno, Estado Aragua de la Universidad Central de Venezuela. Caracas –Venezuela.
- 8 Alvear G. C., López M. M., Pindo M. J., Proario C. G. (2010), Artículo Científico titulado Diseño y análisis económico de la explotación a cielo abierto de un yacimiento de caliza, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingenierías en Ciencias de la Tierra. Guayaquil – Ecuador
- 9 Según Urday P., Diego A. M. (2012), tesis Diseño de una planta móvil de trituración de caliza para una capacidad de 50 TM/h”, Pontificia Universidad Católica del Perú Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima-Perú.
- 10 Siguenza A. F. (2010), Extracción de mármol de comarca de Macael.Almeria-Andaluica. Macael –España.P.23.24.
- 11 Carreño B. P. E. S., Simoni R.J. M. (2007), Plan de negocios para la instalación de una fábrica de Cal en el sur del Perú. Universidad ESAN, p159.Lima-Perú.
- 12 Extraído de la tesis denominada: ""OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MINADO DE CANTERA DE CALIZA LA UNIÓN DISTRITO DE BAÑOS DEL INCA - CAJAMARCA" 2015", elaborado por: Demetrio Piérola Vera; para optar el título de Ingeniero de Minas de la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, en el año 2015. pag. 11-52