



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAS REALIZADAS EN LA
OPERACIÓN DE UNA CANTERA DE
CALIZA EN IZUCAR DE MATAMOROS,
PUEBLA.**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero de Minas y Metalurgista

P R E S E N T A

José Arturo Acosta Hernández

ASESOR(A) DE INFORME

Ing. Manuel Becerril Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Mejoras realizadas en la operación de una cantera de roca en caliza Izúcar de Matamoros, Puebla.

Resumen

La cal($\text{Ca}(\text{OH})_2$) es un compuesto inorgánico fino de color blanco que se obtiene de la calcinación y posterior hidratación de la roca caliza(CaCO_3). Tradicionalmente se utiliza en la industria de la construcción como un conglomerante o como un aditivo en la elaboración de concretos; se emplea de igual manera en la fabricación de morteros mixtos a los cuales les brinda mejoras como: una mayor plasticidad a la mezcla, absorbe la humedad, permite crear acabos finos para el caso de uso en repellados.

La roca caliza es extraída tradicionalmente de operaciones mineras a cielo abierto llamadas canteras, el manejo de estas canteras involucra varias áreas de trabajo como: el diseño, desarrollo de obras, operación del minado, trituración, mantenimiento, etc.

Las voladuras en roca son el primer eslabón de la cadena de producción para la obtención de la cal, por lo que es importante analizar de manera correcta el diseño y la ejecución de las mismas. Las modificaciones realizadas en una plantilla de perforación repercuten de manera importante en los costos de operación y el desenvolvimiento de los demás procesos de producción.

En este trabajo se presenta el análisis realizado en una cantera de explotación de roca caliza para la fabricación de cal que es requerida en la industria de la construcción, se describen las modificaciones realizadas y los resultados obtenidos.

Resumen

Índice

Índice de Ilustraciones.

I. Introducción y objetivo	<u>5</u>
II. Descripción de la empresa	<u>5</u>
II.1 Ubicación	<u>6</u>
II.2 Descripción del puesto desempeñado.	<u>6</u>
III. Antecedentes.	<u>7</u>
III.1 Tipo de roca	<u>7</u>
III.2 Proceso de fabricación de cal.	<u>8</u>
III.2.1 Perforación y voladura.	<u>8</u>
III.2.2 Trituración primaria y cribado.	<u>9</u>
III.2.3 Calcinación	<u>9</u>
III.2.4 Cinemática de la calcinación.	<u>10</u>
III.2.5 Trituración de óxido.	<u>11</u>
III.2.6 Hidratación.	<u>11</u>
III.2.7 Clasificación.	<u>12</u>
III.2.8 Trituración secundaria de óxido.	<u>12</u>
III.2.9 Envase	<u>12</u>
III.3.10 Trituración secundaria de caliza.	<u>12</u>
III.3 Usos de la cal	<u>12</u>
IV. Definición del problema.	<u>14</u>
IV.1 Deformación del proyecto de rampa.	<u>14</u>
IV.2 Manejo de cavidades.	<u>15</u>
IV.3 Ciclo incorrecto de producción.	<u>16</u>
IV.4 Cercanía de casas a la zona de voladuras.	<u>16</u>
IV.5 Roca sobre tamaño.	<u>17</u>
V. Metodología usada.	<u>17</u>
V.1 Controles.	<u>17</u>
V.1.1 Registros de perforación	<u>18</u>
V.1.2 Check List	<u>19</u>
Disponibilidad	<u>19</u>
Utilización.	<u>19</u>

V.1.3 Control de acarreo.	<u>20</u>
V.1.4 Reportes de campo de voladura.	<u>20</u>
V.2 Modificaciones realizadas después del análisis.	<u>23</u>
V.2.1 Reducción de carga de fondo.	<u>23</u>
V.2.2 Rediseño de plantillas de perforación.	<u>24</u>
V.2.3 Nivelación.	<u>25</u>
V.2.4 Cambio de acero de perforación.	<u>26</u>
V.2.5 Rediseño de proyecto rampa.	<u>28</u>
V.2.6 Manejo de cavidades y discontinuidades.	<u>28</u>
V.2.7 Profundidad de barrenos.	<u>29</u>
V.2.8 Estudio de tiempos y movimientos.	<u>29</u>
V.2.9 Nuevo banco.	<u>30</u>
V.2.10 Nuevo camino e servicio.	<u>30</u>
VI. Resultados y conclusiones.	<u>32</u>
VI.1 Conclusiones	<u>35</u>

Anexo I Vibraciones

Anexo II Brocas

Anexo III Fragmentación.

Anexo IV Formatos de Control.

Índice de ilustraciones.

Ilustración 1 Ubicación de la cantera	<u>6</u>
Ilustración 2 Diagrama proceso de fabricación de Cal	<u>8</u>
Ilustración 3 Esquema de calcinación de roca caliza.	<u>10</u>
Ilustración 4 Proyecto de rampa para apertura de nuevo banco.	<u>14</u>
Ilustración 5 Bancos improvisados.	<u>15</u>
Ilustración 6 Esquema deslizamiento de bloques.	<u>17</u>
Ilustración 7 Consideraciones geológicas en el cargado de voladura.	<u>19</u>
Ilustración 8 Granulometría de producto de voladura.	<u>21</u>
Ilustración 9 Moneo y plasteo.	<u>21</u>
Ilustración 10 Desplazamiento de material de voladura.	<u>22</u>
Ilustración 11 Desplazamiento para cargado con cargador frontal	<u>22</u>
Ilustración 12 Desplazamiento para cargado con excavadora hidráulica	<u>22</u>
Ilustración 13 Control de deslizamiento de bloques.	<u>25</u>
Ilustración 14 Nivelación.	<u>25</u>
Ilustración 15 Nivelación con perforación.	<u>26</u>
Ilustración 16 Modificación de proyecto rampa.	<u>28</u>
Ilustración 17 Control de cavidades.	<u>29</u>
Ilustración 18 Nuevo Banco de Explotación.	<u>30</u>
Ilustración 19 Propuesta camino de servicio.	<u>31</u>

I. Introducción y objetivo

El uso de la cal tiene miles de años, fue uno de las primeras técnicas de construcción y permitió el crecimiento de muchas civilizaciones. En la actualidad tiene usos más diversos como: rehabilitación de estructuras antiguas y de esculturas, en la geo mecánica como estabilizador de suelos húmedos, en la agricultura como estabilizador del PH de los suelos a sembrar e inclusive se utiliza en la industria de la fabricación de papel.

A pesar de las nuevas técnicas y estilos de diseño en la construcción, la cal continúa siendo un elemento importante en la industria. En la región suroeste del estado de Puebla existe un mercado importante de la industria de la cal, es por ello que durante más de 60 años ha existido una planta productora de cal en la ciudad de Izúcar de Matamoros para abastecer la demanda de la región de la mixteca, dicha empresa preocupada por mejorar la operación de su cantera optó por realizar una evaluación en sus procesos y buscar mejoras en sus actividades.

La compañía calera Globocal había presentado problemas para abastecer de materia prima a su planta productora de cal en Izúcar de Matamoros en el estado de Puebla. La materia prima requerida consiste en roca caliza triturada y clasificada con una granulometría entre 25 y 40 cm, obteniéndose de una cantera (también propiedad de la compañía) ubicada a 11.8 km de la planta productora, sin embargo, debido diversos factores no había sido posible lograrlo. La falta de producción fue atribuida por los encargados de la operación a la pobre eficiencia de las voladuras realizadas por parte del personal. Es por ello que se llevó a cabo una evaluación de la operación de la empresa y se presentan en este informe las mejoras propuestas.

Este informe tiene como objetivo presentar el resultado de la evaluación realizada a la operación de la cantera de roca caliza y presentar las actividades ejecutadas para lograr incrementar la productividad en las voladuras realizadas en el banco de roca caliza con el fin de aumentar la producción de la cantera sin elevar el costo de operación de manera innecesaria. Se describe el análisis técnico económico que se realizó para justificar la realización de las modificaciones propuestas, analizar los resultados posteriores y evaluar la efectividad de estas.

Describir un breve análisis de un estudio de vibraciones que se realizó en la operación de la cantera en atención a quejas presentadas a residentes de la comunidad cercana al sitio de donde se realizaban las voladuras.

II. Descripción de la empresaⁱ

Empresa fundada en el año 1962 dedicada a la extracción, molienda, y calcinación de carbonato de calcio. Surge nuestra empresa como pionera en la elaboración de cal hidratada, con la finalidad de brindar al cliente un producto que garantice firmeza permanente en sus construcciones

Se dedica a la extracción, calcinación y molienda de roca caliza bajo estrictos procesos de calidad garantizando productos de alto rendimiento. Se cuenta con el personal competente y la infraestructura necesaria para el logro de objetivos principales; satisfacción de los clientes, proveedores y personal de la empresa.

II.1 Ubicación.

La cantera se localiza a 8.1 km del centro de Izúcar de matamoros, Puebla; ubicada sobre la carretera Izúcar de matamoros a Tepexi de Rodríguez en el kilómetro 8, dentro de la comunidad de San José de las Bocas en el mismo municipio. Dicha comunidad cuenta con 628 habitantes, cuenta con servicios básicos de urbanización, escuelas nivel preescolar, primaria y secundaria. Las principales actividades económicas son el cultivo de riego de maíz, cebolla, chile, alfalfa, etc.; la cría de ganado caprino y el comercioⁱⁱ. El 70 % del personal contratado en la cantera pertenece a esta comunidad y fueron capacitados por la empresa a lo largo de años de operación.

La cantera cuenta con todos los permisos de operación requeridos, pertenece a la compañía denominada Globocal S. A. de C. V.

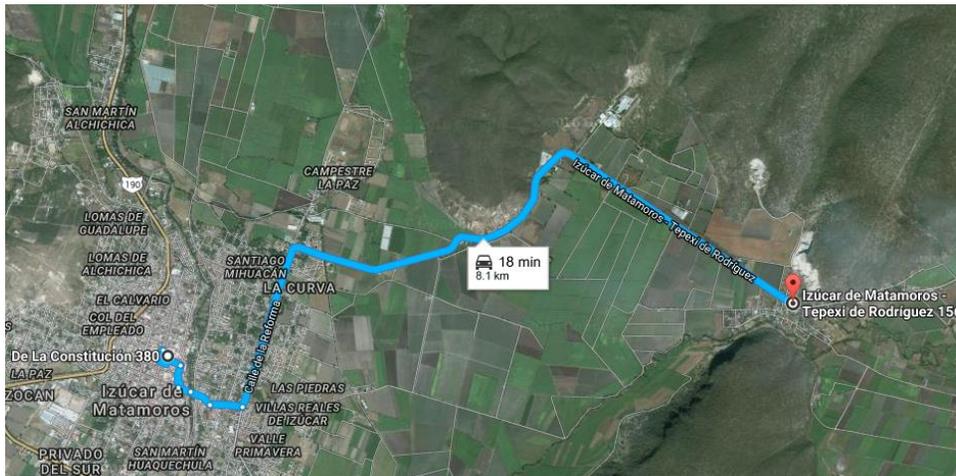


Ilustración 1 Ubicación cantera

II.2 Descripción del puesto desempeñado

Un inicio me desempeñé como asesor externo en el manejo de voladuras y operación de cantera, teniendo como función principal la evaluación de las actividades de la cantera principalmente el diseño de las plantillas de perforación, la supervisión y registro de las perforaciones, así como el cargado de las voladuras. Realice evaluaciones de las actividades de la cantera como: estudios de tiempos y movimientos, mantenimiento preventivo de maquinaria pesada a través de un programa de servicios, evaluación de las condiciones de maquinaria y equipo de trituración.

En una etapa posterior me integré a la plantilla laboral de la empresa como supervisor de la cantera conservando las mismas actividades que tenía como asesor, así mismo se integraron a mis responsabilidades las funciones de: manejo de la documentación de la SEDENA, mantenimiento preventivo y correctivo de maquinaria pesada, mantenimiento preventivo y correctivo de unidades de transporte para el reporte de producto terminado, control de inventario de producción de Cal.

III. Antecedentes

Durante varios meses la producción de la cantera “Las bocas” se vio reducida debido a diversos factores, principalmente el desempeño de voladuras, dicha cantera tiene como principal producto la roca caliza con una granulometría de 25 a 40 cm para abastecer los hornos de calcinación para la producción de cal que se ubican en la planta en Izúcar de Matamoros.

En una primera etapa, se tenía en operación un horno vertical de calcinación, el consumo de dicho horno de cal es de 60 m³ por día; la producción de la cantera era de 50 m³ diarios significaba un déficit de 10 m³ diarios y se considera que los días sábado se labora medio turno y el domingo no se labora en la cantera se puede considerar que existía un déficit semanal de:

$$(10\text{m}^3/\text{día} * 5 \text{ días}) + (35 \text{ m}^3 \text{ sábado}) + (60 \text{ m}^3 \text{ domingo}) = 145 \text{ m}^3 \text{ déficit de roca por semana.}$$

Posteriormente la demanda de cal en el mercado se incrementó, debido a lo cual se tomó la decisión de la puesta en marcha de un segundo horno, lo que aumento la demanda total semanal de roca a:

$$2 \text{ hornos} * 7 \text{ días} * 60 \text{ m}^3/\text{día} = 840 \text{ m}^3 \text{ de roca por semana.}$$

Esto derivó en la necesidad de aumentar la producción sin embargo al no poder lograrlo en un inicio se comenzó a comprar roca de otras canteras, lo que representaba un aumento en los costos de operación ya que no existen bancos de materiales cercanos con los contenidos de carbonato de calcio (CaCO₃) requeridos para el proceso de la fabricación de Cal, inclusive la roca que se adquiría era de una calidad inferior a la posee el banco propiedad de la empresa(95% de CaCO₃) y esto se veía reflejado en los procesos de calcinación e hidratación.

III.1 Tipo de roca.

Las calizas son rocas sedimentarias de origen fundamentalmente químico u organógeno, formadas al menos por un 50% de carbonato cálcico. Las de origen bioquímico se forman por la acción de los seres vivos. Estos fijan el calcio disueltos en el agua y lo utilizan para construir sus esqueletos en forma de calcita o aragonito, cuando estos mueren, sus esqueletos darán unas calizas formadas por calcita, siempre el aragonito es inestable y se transforma en calcita, también se depositan calizas en los fondos marinos como consecuencia indirecta del metabolismo de los seres vivos. Así las algas al realizar la fotosíntesis consumen bióxido de carbono (CO₂); este consumo de bióxido de carbono varía las características del medio con la consiguiente precipitación del carbonato cálcico. La caliza tiene gran interés económico ya que constituye la materia prima del cemento; se utiliza parte en la construcción y como fundente en la industria siderúrgica. Las rocas calizas a pesar de que frecuentemente están recristalizadas o han sufrido reemplazo en grado variable, son designadas con nombres basados siempre en las texturas tanto de superficies frescas como en superficies ligeramente atacadas por intemperismo.

La coloración de las calizas ricas en calcio y las calizas dolomíticas son blancas cuando son puras, pero cambia de color entre el gris y el negro a consecuencia de las impurezas carbonosas que contienen; el óxido férrico da a la caliza 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 atmosféricos, dando un color rojizo. Para la construcción de monumentos o la edificación, el color de la caliza es una propiedad importante. Las cales comerciales tienen color blanco o débilmente gris.ⁱⁱⁱ

III.2 Proceso de fabricación de cal

Para comprender mejor las necesidades de la empresa es necesario conocer el proceso productivo de la empresa contratante para poder brindar las mejoras más adecuadas, cada empresa tiene procedimientos que se adaptan a sus instalaciones en particular. Se describe de manera somera el proceso productivo para la elaboración de cal.

Descripción

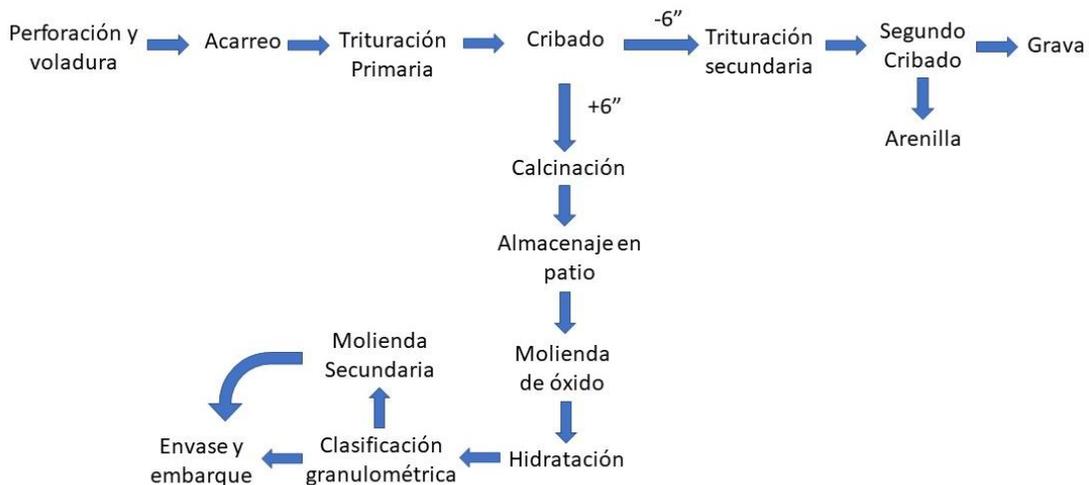


Ilustración 2 Diagrama proceso de fabricación de cal

III.2.1 Perforación y voladura.

La perforación se lleva a cabo con equipo de perforación neumática tipo Track drill modelos CM350 y ECM 350, se realizan en bancos que van de los 10 a los 15 metros de alto.

La plantilla que se utiliza es de 4 metros de bordo y 4.5 metros de espaciamento con un diámetro de broca de 3 ½ pulgadas

Las voladuras se realizan utilizando iniciadores pirotécnicos del tipo EZ Det de la marca Orica, se maneja el modelo más comercial que es el de 25/500 ms. Es un iniciador de doble retardo, con un fulminante del número 12 con retardo de 500 ms en el fondo del barreno y un fulminante del número 8 con retardo de 25 ms en la parte alta del barreno y sirve para iniciar el siguiente barreno.

Se utiliza como carga de fondo emulsión de la marca Senatel magnafrac de medida 2 x 16 pulgadas, como carga de columna se utiliza Anfo de la marca Anfocal.

Las voladuras se rezagan con una excavadora 320 D con un bote de 0.75 m³ con una capacidad de rezague de 80 m³ / hora. Se acarrea con camiones de 6 m³ para llevarlos al proceso de trituración.

III.2.2 Trituración primaria y cribado

El producto de las voladuras pasa por una trituradora de quijada de 18 x 24" alimenta con un alimentador de cadena para después ser cribado en una parrilla estática de rieles con abertura a 6", el producto grueso se envía a los hornos de calcinación, el producto fino es enviado a un circuito de trituración secundaria y cribado.

Dependiendo de la zona que se está trabajando dentro del banco, el material puede presentar impurezas en los finos que pueden ser materiales como tierra, caliche o materia vegetal; estas impurezas se vuelven agravantes en época de lluvia, debido a que se humedecen demasiado y generan atascos en las descargas de la trituradora de quijada y en la criba estática de rieles. Cuando se presenta el caso de tener demasiadas impurezas se considera desechar el producto fino obtenido de la clasificación del riel. Es importante llevar un registro de los bancos que generan mayor número de impurezas para prevenir los atascos en los equipos y programar bancos limpios

III.2.3 Calcinación.

Para la calcinación la empresa cuenta con un horno vertical, el cual consiste en una estructura metálica tubular de acero de 15 metros de altura y 6 de diámetro, montada sobre una base de roca volcánica y concreto, está recubierto con una capa de material refractario con un espesor de 80 cm, lo que reduce el diámetro efectivo del horno a 4.5 m. El horno utiliza como combustible coque que es insuflado con extractores industriales, cuenta con 6 hornillas por donde el coque insuflado llega a quemadores donde inicia la flama, el proceso de calcinación para este horno se alcanza con temperatura entre 1000 y 1300 °C.



EL CO₂ es extraído por la parte superior del horno mediante extractores de mayor capacidad, es importante mantener una extracción constante del CO₂ mediante extractores de paletas para evitar una re-carbonatación de la roca, de ahí la importancia de mantener un tamaño adecuado de roca ya que roca pequeña cierra los espacios para poder liberar el CO₂.

Durante el proceso de calcinación se pierde el 44 % de peso en la roca debido a la liberación del CO₂, esta liberación forma teóricamente una porosidad del 52% aproximadamente respecto al volumen de roca caliza de base, el óxido obtenido tiene una tonalidad mucho más blanca y deleznable que la roca caliza, es importante cuidar el manejo del óxido antes de entrar al proceso de trituración debido a que la fragmentación de la roca produce muchos finos que pueden llegar a volarse con el aire ocasionando pérdidas y problemas ambientales. Es necesario procurar que la roca no absorba la humedad del medio ambiente por que ocasiona una hidratación no controlada que puede generar atascamientos en el proceso previo a la hidratación.

Los procesos químicos que se desarrollan durante la cocción se determinan en diversos grados por el aporte de calor generado por la combustión, transferencia de calor del horno al material de cocción y el transporte de gas y la materia. La descomposición hacia la cal viva es un proceso fuertemente endotérmico, es decir, requiere una cantidad considerable de energía térmica con el aumento de la temperatura en el material de cocción, y consta de una serie de procesos físicos y químicos, sobre todo interconectados entre sí.^{iv}

Las cales deben ser blancas y libres de materias extrañas, deben rebasar el 92% en su contenido de Oxido de calcio (CaO), con un porcentaje de menos de un 4 % de anhídrido carbónico (CO₂), cuando son producidas y no más del 7% cuando se encuentra en su destino; la Sílice (SiO₂) en no más del 2 %, el Hierro y el Aluminio en su forma de óxido (Fe₂O₃ y Al₂O₃), en el 1% máximo; la Magnesia (MgO) en el 1.75% y el Azufre en (S) y el Fósforo (P₂O₅) en 0.20 y 0.05% en su máxima cuantía.

III.2.4 Cinemática de calcinación^v

En cuanto al aspecto cinético de la calcinación de la cal, puede observarse que el curso de la reacción de disociación del carbonato de calcio se produce en un frente de descomposición dentro del cual se encuentra el núcleo sin disociar de carbonato de calcio. Esquemáticamente un pedazo de piedra caliza se puede representar como una esfera: durante la cocción el calor se trasmite del ambiente del horno a la superficie externa de la esfera y esto se va extendiendo hacia el interior.

Al mismo tiempo, el frente de descomposición se desplaza de la superficie externa de la esfera hacia el centro de la misma a una cierta velocidad y el dióxido de carbono es liberado al medio ambiente, a través de los huecos que ha creado. La transformación del carbonato en óxido de calcio se desarrolla a través de las siguientes cinco etapas, tal y como muestra la siguiente figura, donde dpo es el diámetro inicial, y la diferencia de éste con el diámetro del núcleo aún sin reaccionar o dpf supone el grueso de cal calcinada (Rattazzi, 2007).

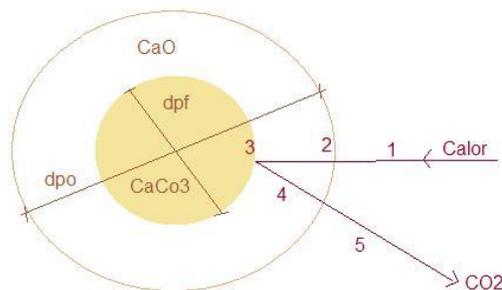


Ilustración 3 Esquema de calcinación de roca caliza.

1. La transmisión del calor del ambiente hacia la superficie de la partícula, sobre todo por convección.
2. Conducción del calor a través de la capa ya disociada (CaO) a la zona de la reacción.
3. Reacción química en la zona de reacción, con la cantidad de consumo y el calor resultante se desarrolla el dióxido de carbono, así como la formación, crecimiento y recristalización del óxido de calcio.
4. La difusión de dióxido de carbono a través de la capa porosa de óxido de calcio a la superficie

externa de las partículas.

5. El transporte de la materia (CO₂) de la superficie externa de las partículas al ambiente.

La velocidad global del proceso depende de la de cada una de estas etapas, y los principales factores que influyen son:

- Temperatura alcanzada por la piedra caliza*
- El tamaño y la forma de la piedra caliza*
- La densidad de la piedra caliza*
- El coeficiente de transmisión de calor de la piedra caliza*
- El coeficiente de conductividad térmica de la cal viva*
- La presión parcial, ya sea de equilibrio o actual, del dióxido de carbono*
- La densidad del gas del horno*
- La proporción de carbonato de calcio en el material calcinado*

En ocasiones se presenta roca sin cocer unida a roca de óxido, lo que ocasiona mayor desgaste en las piezas de los equipos de trituración de óxido y tolvas metálicas.

III.2.5 Trituración de óxido

El óxido es molido por un triturador de martillos el cual reduce el óxido a un tamaño a aproximado de 1/8" hasta malla 75, después de pasar por el triturador es llevado a los silos de almacenamiento de óxido por medio de un elevador de canchales para posteriormente pasar a la etapa de hidratación.

El óxido tiene un grado de abrasión importante, por lo que el monitoreo del desgaste de los martillos de impacto es una labor importante del operador del triturador de óxido, cuando se tiene un desgaste excesivo el triturador deja pasar granos gruesos de óxido los cuales no se hidratan de manera correcta durante la siguiente etapa produciendo mayor material a la trituración secundaria. En ocasiones el óxido es alimentado al poco tiempo de haber salido del horno de calcinación lo que significa que el triturador estará trabajando a temperaturas considerables alrededor de 60 grados centígrados.

III.2.6 Hidratación

El óxido ya triturado es mezclado con agua en una hidratadora horizontal la cual cuenta con una paleta para revolver uniformemente el material y lograr un mezclado homogéneo. Para convertirse en hidróxido de calcio, este proceso viene acompañado con una importante reacción química que produce calor y una emisión considerable de vapor de agua al ambiente:



Hay que controlar el calor que se produce en la hidratación ya que puede incrementar la temperatura en el hidratador y no se llegue a apagar totalmente la cal, sobre todo si no es un producto uniforme. La operación de apagado es fundamental, ya que de este proceso van a depender mucho las propiedades hidráulicas. El apagado o hidratación se suele realizar por aspersion y por capas

consiguiendo de este modo no sobrepasar la temperatura de 120°C. De este modo evitamos la hidratación de los silicatos y aluminatos, que conllevaría a la pérdida de las propiedades hidráulicas del producto, que recibe el nombre de cal ahogada.^{vi}

Los hidróxidos de calcio o cales apagadas, además de reunir las condiciones señaladas en las propiedades de los óxidos, deberán tener un mínimo de 68 a 70% de óxido de calcio aprovechable, y más del 90% de hidróxido de calcio (OH)₂Ca.^{vii}

III.2.7 Clasificación

Mediante un extractor el material fino que sale de la hidratadora es clasificado por un ciclón en donde el fino se manda a un silo de almacenaje mediante un extractor mecánico para su posterior envase y embarque. En el clasificador se genera una corriente de aire que extrae el polvo fino con el aire se genera agitación en la parte baja del clasificador lo que ocasiona mayor cantidad de polvo. Los grados normales de hidrato usado con fines químicos son, en la mayoría de casos, más finos que 75 µm.

III.2.8 Trituración secundaria de oxido

El material grueso del ciclón es enviado a un molino tipo Raymond para su remoliendo para llegar a menos 75 mallas mediante un extractor de aire el fino ya molido se regresa al circuito principal para su envase. Se tiene una tolva para almacenar el material menor a malla 100 que se produce, y se da la opción al cliente de cargar cal a granel en sacos de 1000 kg.

III.2.9 Envase

El material seco se envía a una tolva receptora con dosificadores en la parte inferior en donde se lleva a cabo el envase de la cal en bolsa de papel de 25 kg, las bolsas se colocan en una báscula mecánica y se llenan hasta la marca de 25 kg. Una vez lleno se deslizan hacia una banda transportadora la cual llega hasta donde están los camiones de reparto.

III.2.10 Trituración secundaria de caliza

El material fino que se obtiene de la clasificación posterior a la quebradora de quijada 18 x 24" se envía a un proceso de trituración secundaria. En el circuito de trituración secundaria, la roca pasa por una trituradora de rodillos y posteriormente por una criba de dos camas de 1.8 x 3 m para producir arenilla y grava de ½", existe otro circuito alternativo con otro triturador de rodillos y una criba para producir arena y grava de 3/4".

III.3 Usos de la cal

Uno de los usos más comunes en México para la cal es el de la elaboración de morteros mixtos para la construcción. Se utiliza en la elaboración de ladrillos, aplicación de repellados con acabado fino, brinda plasticidad al mortero en el que se aplica, lo que facilita su tendido en el pegado de blocks y en la aplicación de los acabados en paredes. En la industria agrícola se usa para regular el PH de los suelos.

Se utiliza en la construcción en la estabilización de terrenos húmedos en la elaboración de carreteras, los aditivos como la cal reaccionan químicamente con la fracción de arcilla presente en el suelo, para producir cambios deseables en las propiedades ingenieriles como la plasticidad, trabajabilidad, potencial expansión-contracción, y resistencia de suelos. El grado de mejora depende de factores tales como el tipo de suelo, porcentaje de cal, tiempo de curado, temperatura del suelo y las condiciones de humedad durante el tiempo de curado. El éxito que tenga la estabilización con cal depende de la reacción que se dé entre suelo-cal, lo cual depende en gran medida de la fracción de arcilla que tenga el suelo; en promedio, de 15 a 20% de arcilla es necesaria para asegurar la reacción. En suelos granulares como limos, arenas y gravas, la fracción de arcilla es tan pequeña y la reacción suelo-cal es despreciable; lo cual trae como consecuencia que no se mejoren las propiedades del suelo.^{viii}

En minería se usa para regular el PH de los patios para irrigación para la lixiviación de oro. El hidróxido de calcio tiende a disminuir la lixiviación de oro en el medio de manera más significativa que el hidróxido de sodio, pero en la práctica se usa universalmente debido a su bajo costo. Si se incrementa el nivel de PH de 10.5 a 12 se disminuye la solución de oro en presencia de hidróxido de calcio, debiendo estar el PH aproximadamente en 10.5. La adición de cal regula adecuadamente el PH previniendo la pérdida de cianuro por hidrólisis o por reacciones secundarias con sustancias presentes en el medio como dióxido de carbono, bicarbonatos, ácidos contaminantes del agua y la mena.^{ix}

Estos son algunos otros de sus usos:

- Usos de la cal para tratamiento de residuos peligrosos
- Usos de la cal en remediación de suelos contaminados
- Usos de la cal en rellenos sanitarios
- Usos de la cal en tratamiento de agua potable
- Estabilización con cal de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales
- Aplicación en terrenos agrícolas de lodos estabilizados con cal

La cal es vinculada en el tratamiento de agua potable e industrial, el tratamiento de aguas del alcantarillado y sus lodos de recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos y solventes químicos, desulfuración de los gases de combustión, tratamiento de los residuos sólidos e indirectamente la estabilización o transformación de suelos inestables y expansivos en suelos aptos para servir de base de pavimentos. Dentro de la agricultura ayuda a aumentar el pH, precipitar los metales pesados y convertir los peligrosos lodos de las aguas del alcantarillado, en alternativos productos para la agricultura.

Por lo que su uso e importancia ambiental ha crecido en los últimos años, constituyendo una respuesta efectiva a la necesidad de encontrar soluciones buenas y de bajo costo para los problemas medioambientales señalados. Haciendo que su aplicación cada vez sea más popular.^x

IV. Definición del problema

El problema de suministro de roca fue atribuido por el encargado de producción al bajo desempeño de las voladuras las cuales presentaban una alta producción de roca sobre tamaño, una muy baja productividad e inclusive roca en vuelo en condiciones inseguras.

Con el objetivo de prolongar la vida útil de la cantera y solucionar sus problemas de abasto de roca, la compañía Globocal decidió desarrollar un nuevo nivel de explotación lo cual se lograría por medio de la construcción de una rampa positiva de 20 m de ancho por 300 metros de largo para posteriormente tener un banco de 10m de alto. Sin embargo, la mala planeación de la operación de la cantera llevó a generar más problemas de los esperados.



Ilustración 4 Proyecto de rampa para apertura de nuevo banco.

Después de una evaluación de la operación determine como problemas principales los siguientes:

IV.1 Deformación de la rampa.

Se comenzó a percibir imposible mantener la producción al mismo tiempo que se desarrollaba la rampa, ocasionando que se improvisaran bancos pequeños a lo largo del desarrollo de dicha obra, teniendo como consecuencia que se deformaran las dimensiones planeadas de la rampa. A pesar de ello no fue posible alcanzar los niveles de producción esperados, ya que los bancos improvisados carecían de las dimensiones necesarias.



Ilustración 5. Bancos improvisados

El manejo de los bancos improvisados trajo consigo otro problema importante, se destruyó un camino de servicio que conducía al equipo de perforación dejándolo confinado en la parte alta del cerro, esto ocasionaba que todos los insumos (refacciones, diesel, explosivo, aceites, etc.) se tuvieran que subir cargando, lo que representaba un esfuerzo excesivo para los trabajadores y demasiados retrasos en los trabajos de perforación.

Como parte del proyecto que ya se tenía por parte de la empresa, se contemplaba el uso de la rampa de producción como una rampa de servicio para dar acceso al equipo de perforación, fue viable a mediano plazo, ya que los primeros días de operación el camino se tapaba con las voladuras de producción dificultando el acceso de los insumos.

IV.2 Manejo de cavidades.

El perforista presentaba problemas para el manejo de abras y discontinuidades durante la perforación de los barrenos; a lo largo del desarrollo de los bancos de producción se encontró con una zona kárstica, que ocasionó diversos problemas con las voladuras como: generación de roca sobre tamaño, roca en vuelo, atascos de acero de barrenación y mucha voladura secundaria (moneo y despate). Cuando se encontraba con drusas, cavidades grandes o discontinuidades se optaba por rellenar el resto del barreno con material estéril, sin importar que se rellenara más del 50 % de la longitud del mismo.

Se observa que en el área del banco de explotación existió un escurrimiento importante de agua, existen marcas de arrastre señalando posibles zonas cavernosas, dichas zonas viene acompañadas por zona de roca degradada, más deleznable y con menores contenidos de CaCO_3 .

Si no se manejan adecuadamente las discontinuidades, se corre el riesgo que se estas se rellenen de explosivo y generen voladuras con mucha roca en vuelo e inclusive pudiera provocar daños materiales.

Sobre un terreno fracturado y con zonas cavernosas es más difícil de perforar cuando se tiene un equipo de perforación del tipo “Martillo en cabeza”, se corre el riesgo de atasco de la broca ocasionando demoras en la perforación, esto representa también un incremento en el tiempo de perforación y por ende en el consumo de combustible.

Se identificó que algunas de las discontinuidades detectadas eran provocadas por las voladuras anteriores, debido a sobre excavación de los límites de las voladuras, el talud dejado después del rezago del material producto de la voladura quedaba con severas fracturas. El uso excesivo de carga de fondo en los barrenos provocaba dicha sobre excavación el talud provocando roca suelta en las voladuras posteriores, todo el talud dejado por las voladuras presentaba fracturamiento provocado por el efecto del explosivo, en ocasiones inclusive abría plano de falla dejando roca colgante que se convertirían en sobre tamaño en la voladura siguiente.

IV.3 Ciclo Incorrecto de producción.

Se estaba trabajando un ciclo incorrecto de producción, el cual consistía tener voladuras secundarias de manera constante (moneo y despate), debido a que la longitud de los iniciadores era insuficiente, en un banco de 15 metros de alto se barrenaba hasta 13 m el resto del banco se tumbaba con perforadora manual mediante las mencionadas voladuras secundarias. Este ciclo, generaban retrasos en la producción, ya que no permitía el uso constante del track dril pues este equipo es el que genera mayor producción.

Se cuenta únicamente con un banco de producción, debido a que tenían los patios llenos de roca sobre tamaño daba una sensación de no tener alternativas para producir. Tener dos bancos de producción te permite crear un ciclo de producción alternado.

IV.4 Cercanía de casas a la zona de voladuras.

Una de las preocupaciones del perforista, es la proximidad de casas del pueblo vecino a los límites de la cantera, estas se encontraban a una distancia aproximada de 300 metros. Comenta que han sucedido accidentes con daños materiales, es por dicha razón que se pretende realizar voladuras controladas minimizando la roca en vuelo y las vibraciones. Debido a esta preocupación De manera errónea se había estado manejando plantilla de barrenación demasiado pequeñas pensando que esto reduciría el riesgo, pero no siempre fue así, por otro lado, el manejo de voladuras cada vez más pequeñas llevo al decaimiento de la producción, cayendo prácticamente en el desuso del track dril y aumentando el uso de la perforadora manual.

Se explicó que la roca en vuelo se debe a diversos factores como la distribución de los barrenos, la carga de estos, la fracturación del terreno etc.

IV.5 Roca sobre tamaño.

Se notó una excesiva producción de roca sobre tamaño provocada por diversos factores, uno de ellos la existencia de un plano de falla natural cercano a la corona del talud del banco, al detonar las cargas el efecto del explosivo provocaba un deslizamiento sobre el plano de falla detectado, provocando que la parte superior del banco no detonara igual que la parte inferior.

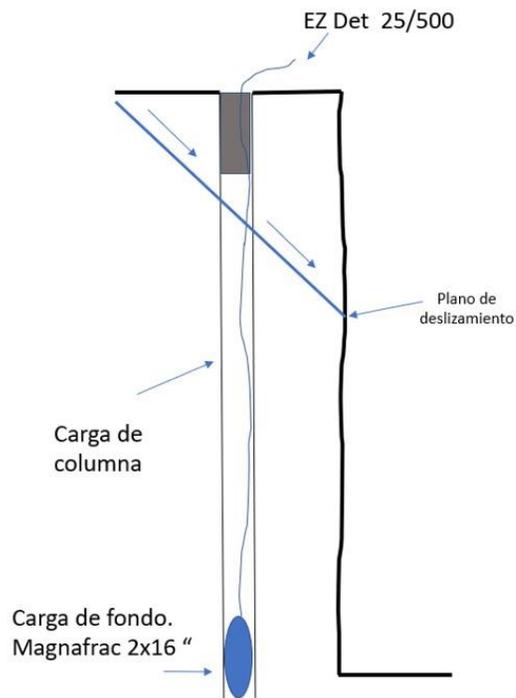


Ilustración 6 Esquema de deslizamiento de bloques.

V. Metodología utilizada

Como todo proceso profesional, el primer paso a realizar para poder dar resolución a un problema es el diagnóstico, el cual implica conocer y evaluar las condiciones en la que se está operando la cantera, dichas condiciones involucran aspectos geológicos, operativos, mantenimientos, administrativos por citar algunos.

V.1 Controles

Para lograr un diagnóstico más acertado es necesario primero determinar los parámetros a evaluar, éstos deberán describir de la manera más detallada posible la operación de la cantera y abarcar el mayor número de actividades posible, con controles adecuados el gerente o director puede monitorear y conocer las condiciones que se está laborando e identificar posibles fallas dentro de la operación.

Es importante aplicar herramientas diarias que nos permitan monitorear más a detalle el desempeño de las labores específicas que se realizan, dichas herramientas son los formatos de control, que nos permiten tener información de primera mano de como se está trabajando en todas las actividades.

En cada área de trabajo se implementaron formatos de control que permitiera brindar información de las labores que día a día se llevaban a cabo; para el caso de las voladuras en roca dicha herramienta utilizada fue la de formatos de registros de perforación, para el manejo de movimientos materiales nos apoyamos en los registros de tiempos y movimientos, para el manejo de mantenimiento de equipo fue útil la implementación de check list de operación, se adjuntan en el Anexo IV los formatos propuestos. Se describe a continuación la función principal de cada una de ellos.

V.1.1 Registros de perforación

Es una herramienta que nos proporciona una visión más amplia de las condiciones del terreno en su interior que no se aprecian a simple vista, nos sirve para identificar las discontinuidades que existen dentro del macizo rocoso que se está trabajando.

Los datos proporcionados por los registros de perforación son fundamentales para el cálculo de explosivo y el diseño de la secuencia de disparo de una voladura. El diseño de una voladura no se limita a la distribución de los barrenos, el 50 % del éxito se determina por el cargado del explosivo y la distribución de los tiempos de disparo.

Los datos obtenidos son útiles de igual manera para evaluar la eficiencia del acero de barrenación que se utiliza. Se registra el acumulado de los metros lineales barrenados en cada voladura y se monitorea el desgaste que presenta la herramienta de perforación para calcular la vida útil real que tiene el acero y pueda compararse con la información proporcionada por el proveedor, puede darse el caso que el desgaste sea apresurado lo que pudiera significar que no se está utilizando la broca correcta para el tipo de roca que se perfora.

Con el registro de perforación podemos identificar los diferentes tipos de roca que se localizan en el terreno que estamos trabajando, la experiencia del operador es bastante útil para identificar la dureza de la roca que se está perforando, la velocidad con la que penetra la broca al realizar el barreno tiene que ver con la consistencia de la misma. Dada las condiciones del terreno se tiene que realizar la distribución y la cantidad de explosivo que se va a usar, por ejemplo: en terrenos suaves o que presentan comportamiento plástico requieren mayor energía para fragmentar la roca que terrenos duros y continuos. Ejemplo ilustrativo.

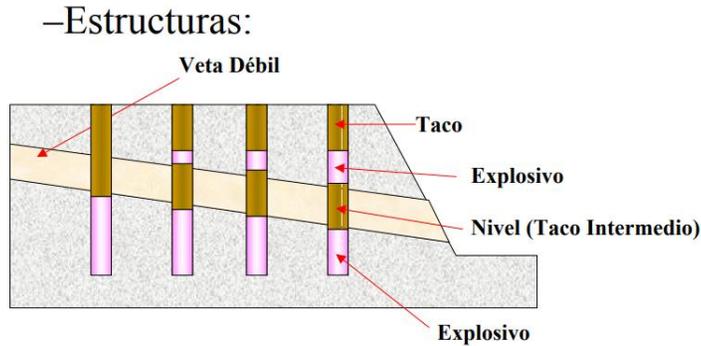


Ilustración 7 ^{xi} Consideraciones geológicas en el cargado de voladuras.

V.1.2 Check list

Los check list es una herramienta básica en toda operación que involucre el manejo de maquinaria pesada, debe contar con un formato que permita mantener los equipos en condiciones óptimas para evitar paros no programados. Sirven para programar mantenimientos preventivos y correctivos de los equipos.

Al usar este formato aseguramos que el operador del equipo verifique que los niveles de aceites del equipo que va a operar estén en condiciones de usarse, sirven también como reportes de fallas y daños en el equipo.

El control de los hodómetros nos facilita la comprensión del tiempo efectivo de trabajo de una máquina, nos permite programar a tiempo los cambios de aceite y demás medidas correctivas que se realizan a cada equipo dependiendo de sus funciones específicas. Dentro de los datos arrojados en los registro de los horómetros destacan dos parámetros importantes que toda operación debe tomar en cuenta.

Disponibilidad. Se refiere al porcentaje de horas de trabajadas respecto a las horas totales de la jornada laboral que el equipo es susceptible de utilizarse sin riesgo a paros no programados por falta de mantenimiento o falla mecánica. Una maquina con baja disponibilidad indica que la maquina no se encuentra en condiciones mecánicas óptimas para cumplir con las necesidades operativas de la empresa, al notar una disponibilidad baja de un equipo periódicamente es importante evaluar si el mantenimiento que se le está de dando es el correcto o inclusive analizar si es conveniente invertir en mantenimiento mayor o reemplazar el equipo con uno nuevo.

Utilización. Es el porcentaje de horas trabajadas respecto al total de horas de la jornada laboral en la maquina está operación. El análisis de este parámetro es importante para la planeación de movimientos dentro de la operación de la cantera, ayuda a controlar gastos de operación. Por ejemplo, cuando una maquina tiene una baja utilización es posible que sea una máquina que no necesitas en tu operación y puedas usarla en otra área donde se aproveche mejor; de igual manera puede significar que, en conjunto los equipos no están

coordinados entre sí y se generan tiempos muertos en la operación, muy común en cuestiones de acarreo de roca.

V.1.3 Control de acarreo.

Herramienta útil para determinar la capacidad de acarreo de las máquinas de rezagado y vehículos de acarreo, se pueden identificar cuellos de botellas. El análisis de dichos formatos puede variar dependiendo de las necesidades de información de cada empresa, el encargado de la operación define los ciclos de trabajo que desee medir. Puede ser: tiempo de llenado del vehículo de acarreo, tiempo de vaciado, tiempo en recorrer la distancia desde la voladura hasta el equipo de trituración primaria.

Existen sistemas operativos que registran el movimiento de los equipos de acarreo, nos brindan información en tiempo real los volúmenes de material que se están desplazando a lo largo de la jornada.

V.1.4 Reportes de campo de voladuras.

Es una herramienta útil cuando se trata de evaluar el resultado de las voladuras, es el primer análisis que se realiza en campo, nos brinda información de primera mano respecto al desempeño del explosivo, esta recopilación de datos es fundamental para poder implementar mejoras en la operación, sirve para deducir los posibles motivos de falla para corregirse en los siguientes eventos. Es bastante útil manejar un archivo fotográfico y una filmografía del antes y después de la voladura para analizar los resultados.

Parámetros a evaluar en campo en una voladura:

Fragmentación.

El tamaño de la roca que va a obtener va a depender de las características del equipo de trituración primaria y de los equipos de rezagado. Un tamaño adecuado de roca facilita los trabajos de rezagado y disminuye el costo de equipos secundarios como el martillo hidráulico o inclusive las voladuras secundarias como son el moneo y plasteo.



Ilustración 8 Granulometría producto voladura.

El moneo consiste en perforar nuevamente la roca de sobre tamaño con un equipo de perforación manual y adherir una carga pequeña para ser detonada. Esta actividad es más riesgosa debido a la dificultad de calcular la cantidad exacta de explosivo a utilizar. De igual manera incrementa los costos de producción ya que se tiene que gastar en el jornal del perforista y el diesel que consume el compresor.

El plasteo consiste en aplicar una carga pequeña en la superficie de la roca la cual se requiere reducir su tamaño y esta carga normalmente es cubierta con una capa de lodo para darle confinamiento al explosivo.

Se adjunta un anexo con un ejemplo de uno de los estudios de fragmentación.

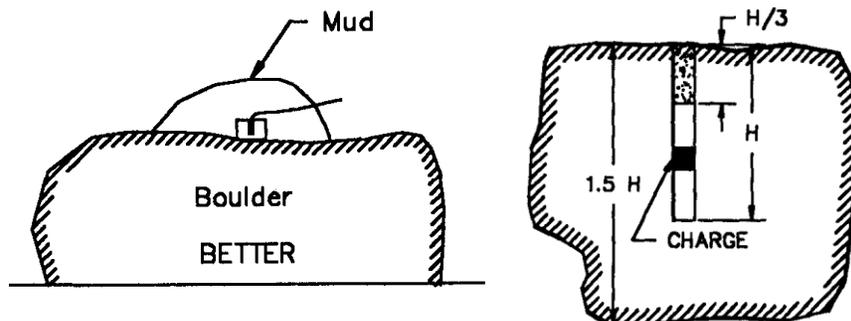


Ilustración 9^{xii} Moneo y plasteo.

Desplazamiento.

Se entiende como la distancia que abarca la pila de material obtenido medida desde la parte inicial de la pila de material hasta el talud dejado del banco.



Ilustración 10 Desplazamiento de material de voladura.

Un desplazamiento largo es útil cuando se rezaga con un cargador frontal. La pila de material está dispersa, por lo que el equipo puede requerir más tiempo para recoger el material, es por ello que un cargador de ruedas es la mejor opción para este tipo de pila de rezagado.

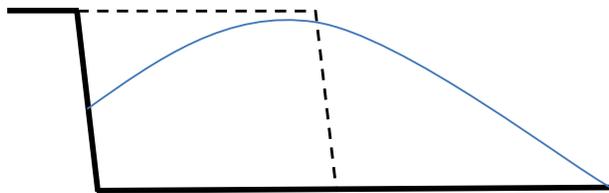


Ilustración 11 Desplazamiento para cargado con cargador frontal

Un desplazamiento compacto es más útil cuando se está rezagando con excavadora, el equipo de rezagado tiene menor dificultad para recoger toda la pila de material.

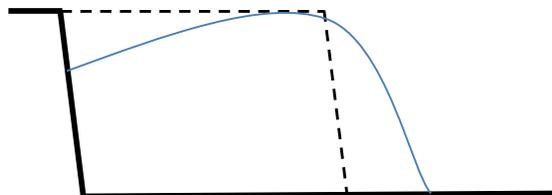


Ilustración 12 Desplazamiento para cargado con excavadora hidráulica.

Vibraciones.^{xiii}

Al producirse la detonación del explosivo se produce en el entorno de la carga una onda, debida a la liberación de gases y aumento de la temperatura.

La pendiente inicial de esta onda de compresión depende sólo del gradiente de la liberación de gases, esto es, de la velocidad de detonación del explosivo. Al aumentar su valor, esta onda de compresión produce una pulverización del material en el entorno de la carga y la apertura de grietas radiales, amortiguando la energía y disminuyendo la pendiente de la onda de presión.

Al transmitirse la onda por el medio llega a la superficie libre (superficie horizontal en el caso de voladuras en crater o superficie vertical en las voladuras en banco), en donde se refleja pasando a onda de sentido de avance inverso al de la onda incidente.

Como la resistencia a tracción del medio es muy inferior a la de compresión, la onda de tracción produce la rotura de la roca, disipando la mayor parte de la energía acumulada.

Así pues, la rotura del terreno se produce por las siguientes causas:

- *Pulverización por efecto de la onda de compresión.*
- *Agrietamiento radial por tracciones, debido a la onda de compresión.*
- *Rotura en frente o en cráter por las tracciones inducidas por la onda reflejada.*
- *Roturas a cortante por efecto de las ondas de compresión y de tracción.*

Cada rotura o grieta implica una acumulación de energía elástica primero, y posteriormente su disipación dinámica en el trabajo de rotura y, por tanto, en la generación de una onda.

Las vibraciones se producen principalmente por el tipo de roca que existe y su naturaleza para transmitir la onda; de la cantidad de explosivos detonado de manera simultánea; de la distancia desde la cual se realiza la medición; el tipo de retardo usado entre barrenos.

Se adjunta un anexo con un ejemplo de uno de los estudios de control de vibraciones.

Roca en vuelo.

Se considera roca en vuelo cuando existan fragmentos de roca que se alejan de manera excesiva y con alta velocidad del área de la voladura, siempre es necesario tomar medidas necesarias para evitar este tipo de rocas.

Es muy difícil medir el porcentaje de roca en vuelo, se puede analizar los videos tomados sin embargo no deja de ser un análisis subjetivo al momento de cuantificarse. Lo más importante es mantener el factor de seguridad para no sufrir algún tipo de accidente o incidente.

Son varios los factores que pueden provocar la existencia de roca en vuelo. Los cuales poder ser: Bordo muy delgado, Taco muy corto o de material inadecuado, tiempos de retardo muy rápidos entre líneas.

V.2 Modificaciones resultantes al análisis.

Una vez que se pusieron en marcha las herramientas para la evaluación de la operación de la cantera se analizaron los resultados obtenidos y se llevaron a cabo modificaciones tanto en el diseño y cargado de voladuras como en desarrollo de la cantera, estas son las modificaciones más relevantes.

V.2.1 Reducción de la carga de fondo por barreno.

Se redujo a 1 kg de alto explosivo por barreno, esta acción trajo consigo beneficios económicos y redujo además los daños provocados a los taludes posteriores a la detonación. Se detectó que, al tener un menor daño en el talud, las barrenaciones posteriores se realizaban con menor número de atrasos y por lo tanto consumo de combustible. Anteriormente se generaban atascos y derrumbes de barrenos debido a la alta fracturación de los macizos rocosos sobre los cuales se estaba

trabajando, sin embargo, se observó que no era fracturación in situ únicamente, también estaban la fracturas que era provocadas por el efecto de la detonación de la voladura anterior.

Los efectos inmediatos de las voladuras son los derivados de las características de la onda que se propaga y de los gases que se originan. Pueden actuar como desencadenantes de los movimientos, condicionando y disminuyendo la estabilidad de los macizos rocosos.

El comportamiento del terreno, como medio transmisor, depende principalmente de sus características resistentes a la tracción, existencia de discontinuidades que supongan superficies de reflexión de la onda, contenido en agua, etc.

La onda de compresión origina la apertura de grietas radiales alrededor de la carga y la tracción fragmenta el material. También se pueden producir plastificaciones del mismo.

Las vibraciones producidas actúan como pequeños sismos y pueden darse proyecciones de diversos tamaños de material.

Como consecuencia se amplía la red de fracturación preexistente en el terreno creando nuevas superficies potenciales de deslizamiento.

El impacto de los mayores fragmentos puede ocasionar inestabilidades puntuales en zonas próximas.^{xiv}

El factor de carga de las voladuras se redujo de 410 g/m³ a 330 g/m³.

V.2.2 Rediseño de las plantillas de perforación.

Aumentó de manera progresiva el número de barrenos a detonar, comenzando a de 5 hasta 18 barrenos, aumento de líneas de barrenos, nivelación, registros de perforación. Aumentó el volumen de material tumbado por voladura y se mejoró el acarreo a la trituradora.

Dentro de los cambios significativos del diseño de las voladuras fue el uso de cargas satélites para eliminar el problema del deslizamiento de bloques en la parte superior del talud, se usó una porción de la carga de fondo calculada para no modificar el factor de carga por voladura.

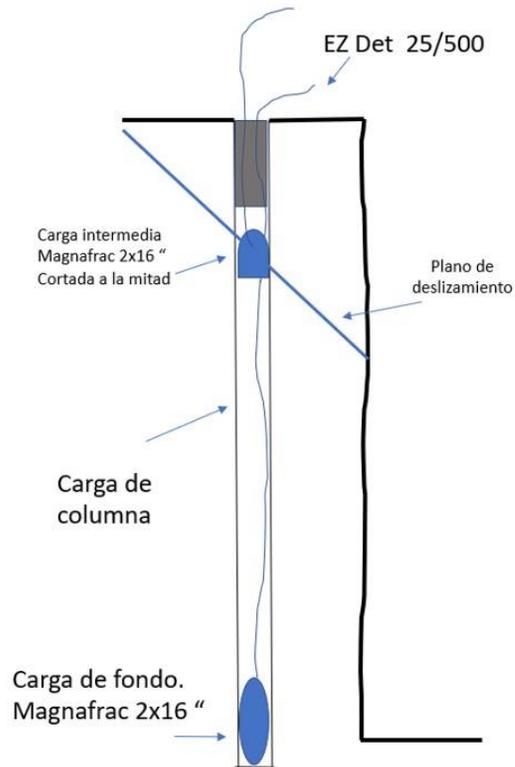
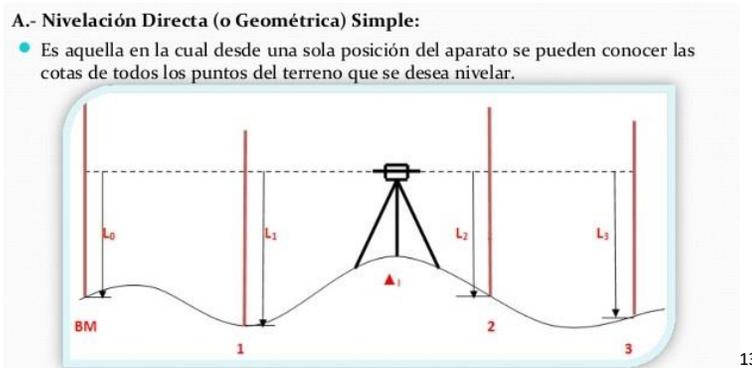


Ilustración 13 Control de deslizamiento de bloques.

V.2.3 Nivelación.

La nivelación es el procedimiento mediante el cual se determina: el desnivel entre dos (o más), hechos físicos existentes entre sí y la relación entre uno (o más), hechos físicos y un plano de referencia. El primer caso constituye la forma más común de nivelación, se comparan varios puntos o planos entre sí y se determina su desnivel en metros o centímetros. En el segundo caso se establece un nuevo "valor" llamado cota, que relaciona individualmente a cada uno de los hechos físicos que forman parte de la nivelación, con otro que se toma como referencia, por ejemplo, el nivel del mar.^{xv}



13

Ilustración 14 Nivelación.

Una condición indeseable dentro de la operación de una cantera, es la existencia de remanentes de roca sin detonar en la base del talud resultante de la voladura, esta condición se conoce comúnmente como "pata" la cual representa retrasos en la operación y provoca esfuerzo excesivo de los equipo que están rezagando el producto de la voladura.

Existen varios motivos por los cuales se produce el remanente de roca, siendo uno de los más comunes, la incorrecta nivelación del terreno. Dada la topografía del terreno la longitud de los barrenos puede variar entre sí con el fin que el resultado del corte sea tener un piso horizontal en la base del corte realizado por la voladura. Barrenos con una mayor elevación sobre el nivel del mar deberán tener una profundidad mayor que lo barrenos que tienen una elevación más baja.

En el caso de la cantera las bocas el terreno natural tiene una pendiente moderada en algunas zonas, sin embargo, si fue necesario llevar a cabo nivelación del terreno para facilitar el tránsito posterior de los equipos de acarreo.

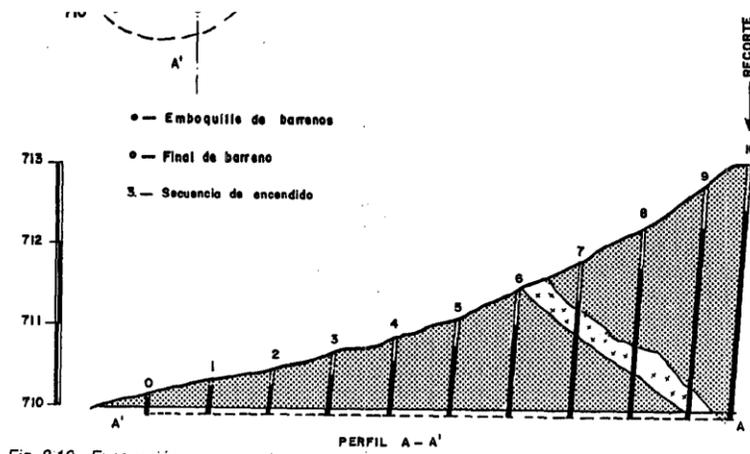


Ilustración 25^{xvi} Nivelación con perforación.

V.2.4 Cambio en el acero de perforación.

Se realizó un cambio en el acero de perforación para ajustarse a la capacidad adecuada del track drill se estaba usando un zanco de cuerda T38 y un cople adaptador para usar barras R32 y coples y una broca convencional de 2 ½" con botón redondo; se cambió por una broca retráctil de 3 ½" con botones mixtos, botón semibalístico en las orillas y botón redondo en la punta.

El botón redondo nos brinda penetración en la roca y el botón semibalístico en las orillas brinda velocidad en perforación del barrero.

Anteriormente la compañía contaba con un track drill modelo YD90 marca Ingersoll Rand, el cual estaba diseñado para trabajar con barras R32, alimentado con un compresor de 600 CFM. Posteriormente por problemas de mecánicos se dejó de usar este equipo y se adquirió un track Drill CM350 Ingersoll Rand con zanco de rosca T38 alimentado con un compresor 750 cfm Ingersoll Rand, en su momento el proveedor de acero de perforación propuso el uso de un cople adaptador de T38

a R32 para poder usar el acero de perforación que se tenía en almacén y continuar usando el compresor 600 cfm. La compañía se acostumbró a trabajar con este acero lo que tiempo después provocó atascos e inclusive pérdida de la sarta de perforación, durante 18 meses en la empresa, se perdieron 8 barras de extensión de 3 metros debido a atascos y a roturas. Por dicha razón propuse el cambio de acero a un tamaño para el cual el track drill fue diseñado, así mismo un cambio de broca a una broca más resistente para cuando nos acerquemos a zonas kársticas.

Comparativa en diseños de plantilla con un cambio de broca:

	Broca 2 1/2"	Broca 3 1/2"	
Diseño			
Numero de barrenos	10	10	
Bordo	2.5	4	M
Espaciamiento	2.7	4.4	M
Longitud de barreno	13	13	M
Sub barrenación	0.6	1	M
Taco	1.8	1.8	M
Metros lineales	130	130	
Volumen a desplazar	837	2112	
Consumo explosivo			
Alto explosivo	10	10	Kg
Agente explosivo	336	694.4	Kg
Ez Det	10	10	Pieza
Fulminante	2	2	Pieza
Mecha	4	4	M
Factor de carga	0.41	0.33	

Tabla 1 Rediseño de plantilla de perforación

El aumento del diámetro de perforación provocó un aumento de aproximadamente del 20 % en el consumo de Diesel, debido a que el compresor requiere mayor potencia para el desalojo del detrito de perforación, sin embargo, como se observa en la tabla 1 el volumen producido con la plantilla ampliada compensa y justifica el cambio de acero ya que se produce más del doble de roca con el mismo número de barrenos.

Teóricamente la plantilla que se está proponiendo se consideraría demasiado amplia para el diámetro de la broca que se está usando, sin embargo, dados los resultados de estudios de fragmentación, el tipo de roca permite ampliar la distancia entre barrenos, dado que el producto buscado es una roca de mayor de 6" de diámetro, todo material obtenido a una granulometría menor se considera retrasos en la producción, a pesar de que la grava si representa un ingreso importante para la compañía, el principal objetivo de la cantera el abastecer a los hornos de calcinación por lo que un excedente de finos como resultado de las voladuras no es conveniente.

Otra medida para reducir la producción de finos puede ser el uso de un agente explosivo de menor densidad, esta medida no pudo ser puesta a prueba debido a que el proveedor de explosivos no contaba con el stock suficiente para abastecer dicho explosivo a la compañía.

V.2.5 Rediseño de proyecto rampa.

Se ampliaron las dimensiones de la rampa a 35 metros de ancho, con el objetivo de tener material suficiente para abastecer los hornos sin verse afectado el desarrollo de la rampa. Con las nuevas dimensiones de la rampa permitía ampliar el ciclo de producción, permitía más voladuras con el track drill, lo que le daba más espacio a la perforadora manual para trabajar sin la presión de la producción.



Ilustración 16 Modificación de proyecto rampa.

V.2.6 Manejo de cavidades y discontinuidades.

Se implementaron nuevas técnicas para tratar de manera diferente el manejo de abras y discontinuidades. Para el caso de las cavidades se llevó a cabo el relleno de estas con grava, tierra, detrito de perforación o cualquier material inerte disponible, cuando la cavidad era muy grande, se usaron tapones de PET e hilo para tapar las aberturas usando un taco intermedio. Dependiendo de la profundidad de donde se ubica la cavidad se usa la segunda carga o no, la segunda carga consiste en medio bombillo de 2 x 16" cebado con un segundo EZ det. Se implementó el uso de registros de perforación para identificar plenamente cuales eran los barrenos con cavidades y a que profundidad se entraban.

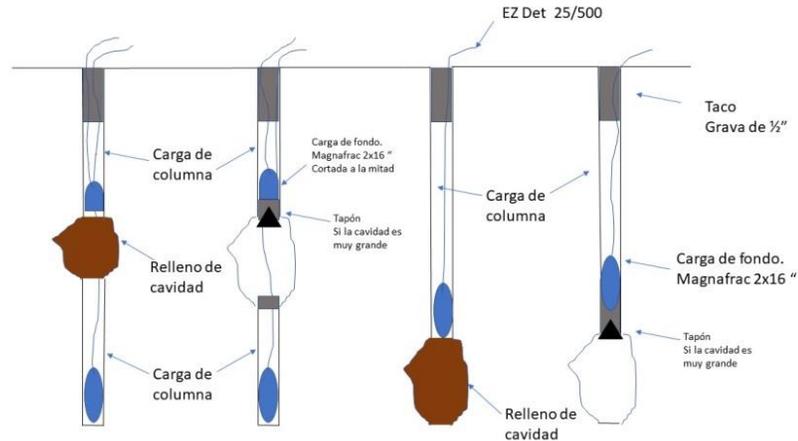


Ilustración 37 Manejo de cavidades.

V.2.7 Profundidad de barrenos.

Se modificó la profundidad de los barrenos a 15.5 metros para eliminar la aparición del pateo. La empresa estaba acostumbrada a usar iniciadores de 15 metros (50'), al aumentar la profundidad de los barrenos las cargas de fondo quedaban colgadas, se comenzó a calzar el fondo del barreno con explosivo pero no se tenían los resultados deseados, después se cambió la longitud de los iniciadores (EZ Det) a 18 metros (60'), lo que provocó la reducción aun mayor de la pata. Debido a la topografía comencé a reducir la profundidad de los barrenos periódicamente hasta llegar a los 10 metros. Una vez alcanzado el nivel deseado para el banco de explotación se comenzó con la apertura de éste, se ampliaron las dimensiones del camino hasta dar con un banco que nos permitiera tener voladuras más productivas.

V.2.8 Estudio de tiempos y movimientos.

Se realizó un estudio de tiempos y movimientos para determinar la capacidad real de la quebradora. Pude determinar que se estaba trabajando por debajo de la capacidad real, el estudio consistió básicamente en medir la hora en que los camiones descargaban en la quebradora para determinar el tiempo de recorrido de cada vuelta, de igual manera sirvió para identificar tiempos muertos de la operación y buscar maneras de corregirlos con el fin de aumentar la producción. Resumen del estudio:

Tipo de transporte:	Camión de volteo
Volumen transportado:	6m ³
Volumen diario acarreado promedio:	180 m ³
Tiempo promedio de vuelta:	25 minutos
Tiempo de cargado:	6 minutos
Volumen desplazado por hora:	24 m ³

Tabla 2 Acarreo a trituradora

V.2.9 Nuevo Banco

Propuesta de nuevo banco con una cara libre de 35 metros para poder obtener el volumen de material que se desee. El nuevo banco se comenzará a partir de la parte media de la rampa desarrollada, permitiendo tener dos bancos operativos dentro de la cantera.

Una vez alcanzado el nivel deseado con la rampa se amplió el banco principal y se amplió en ancho de la rampa, lo que permitió la apertura de un nuevo banco de explotación en la parte media de la cantera, esto permitió tener una mayor producción y la ventaja más significativa es que en esta zona la roca presenta menor grado de intemperismo, esto significa que la calidad de la roca es mejor en este banco, tiene mayor contenido de CaCO_3 y una tonalidad más blanca lo que es bastante benéfico para el proceso de producción. Del mismo modo existe una menor cantidad de arcilla y materia vegetal lo que reduce la cantidad de paros por atasco en la trituradora primaria y permite trabajar de mejor manera inclusive cuando el material esta mojado.

De igual manera, se reactivaron bancos que habían sido abandonados por tener demasiada roca sobre tamaño o “pateo” quedado en años anteriores, permitiendo alternar los ciclos de trabajo de los bancos de producción.



Ilustración 18 Nuevo banco de explotación.

V.2.10 Nuevo Camino de servicio.

Se presenta la propuesta de otro proyecto para desarrollar otra rampa de servicio ubicada en el lado norte con el objetivo de ampliar las dimensiones de los bancos de producción sin que se pierda el acceso a la parte alta de banco. Este acceso nos permitirá desarrollar bancos nuevos en un futuro

de manera más rápida. De llevarse a cabo esta obra se podrán tener hasta 4 bancos de producción para el próximo año.

Hoy en día se puede usar la rampa de acarreo para dar acceso a la zona de perforación y poder llevar insumos para los equipos de perforación y llevar el explosivo, sin embargo, cuando se lleva a cabo una voladura este camino es obstruido por el material resultante ocasionando que se tenga que volver a acarrear los insumos a pie, generando retrasos y cansancio excesivo al personal.

Actualmente, el acondicionamiento de los accesos al track drill en la parte alta de los bancos se realiza manualmente, es por ello que existen dos zonas que fueron abandonadas debido a que el terreno estaba muy disperejo y la limpieza de ese lugar tomaría un tiempo considerable. De existir la rampa de servicio se pudiera acceder con maquinaria pesada para llevar a cabo una mejor limpieza.

La autorización del proyecto continúa pendiente.



Ilustración 4 Propuesta Camino de servicio.

La topografía sobre el trazo es la más accesible, el camino puede ser construido usando únicamente la excavadora 320 C que cuenta con el kit para martillo hidráulico. Los volúmenes de corte de material son reducidos.

VI. Resultados y conclusiones

Después de poner en marcha las modificaciones propuestas se observaron resultados positivos en el desempeño de las voladuras de la cantera, entre los que destacan: reducción de costos de producción de material, mayor rendimiento de las voladuras, reducción significativa de piedra sobre tamaño.

Cálculo de costo de producción por metro cúbico considerando el diámetro de broca, tomando en cuenta los datos que aparecen en la tabla 1 del capítulo V.2.4.

Para una broca de 3 ½"

Costo del explosivo

Tipo de cambio	19.56	Pesos		
	Cantidad	Precio Unitario	Total	
Alto explosivo	10	\$ 80.2	\$	801.7
Agente explosivo	694.4	\$ 23.6	\$	16,369.6
Ez Det	10	\$ 231.2	\$	2,312.0
Fulminante	2	\$ 7.2	\$	14.5
Conector 42 ms	1	\$ 148.9	\$	148.9
Mecha	4	\$ 11.7	\$	46.9
			\$	19,693.6

Tabla 3 Costo Explosivo broca 3 1/2

Costo de acero de perforación.

Vida Útil acero	10,000.00	MI	Factor	0.013
Tipo de cambio	19.56	Pesos		
	Cantidad	Precio	Total	Costo Voladura
Broca	1.00	\$ 4,303.20	\$ 4,303.20	\$ 55.94
Barra extensión	4.00	\$ 6,259.20	\$ 25,036.80	\$ 325.48
Precio Zanco	1.00	\$ 3,716.40	\$ 3,716.40	\$ 48.31
Precio Cople	4.00	\$ 1,545.24	\$ 6,180.96	\$ 80.35
			\$ 39,237.36	\$ 510.09

Tabla 4 Costo acero para broca 3 1/2

Costo de mano de obra

	Jornales	Salario	Total
Perforista	3.00	\$ 280.00	\$ 840.00
Ayudante	3.00	\$ 200.00	\$ 600.00
Compresorista	3.00	\$ 200.00	\$ 600.00
		Total	\$ 2,040.00

Tabla 5 Costo mano de obra broca 3 1/2

Costo de lubricantes

	Cantidad	Precio	Total
Aceite de motor	5	\$ 44.74	\$ 223.68
Aceite Neumático	10	\$ 36.84	\$ 368.42
Grasa	2	\$ 62.50	\$ 125.00
	Total		\$ 717.11

Tabla 6 Costo lubricantes broca de 3 1/2

Costo Combustible

Horas trabajados	20
Consumo l/h	30
Consumo total	600
Precio Diesel	\$ 21.03
Costo Total	\$ 12,618.00

Tabla 7 Costo combustible broca 3 1/2

Resumen

	Total	Precio por m3
Explosivo	\$ 19,693.57	\$ 9.32
Personal	\$ 2,040.00	\$ 0.97
Acero	\$ 510.09	\$ 0.24
Diesel	\$ 12,618.00	\$ 5.97
Aceites y grasa	\$ 717.11	\$ 0.34
	\$ 35,578.76	\$ 16.85

Tabla 8 Resumen de costo broca 3 1/2

Para una broca de 2 1/2"

Costo del explosivo

Tipo de cambio	19.56	pesos	
	Cantidad	Precio Unitario	Total
Alto explosivo	10	\$80.20	\$802.00
Agente explosivo	336	\$23.60	\$7,929.60
Ez Det	10	\$231.20	\$2,312.00
Fulminante	2	\$7.20	\$14.40
Conector 42 ms	1	\$148.90	\$148.90
Mecha	4	\$11.70	\$46.80
			\$11,253.70

Tabla 9 Costo de explosivos para broca de 2 1/2

Costo Acero de barrenación

Vida Util acero	10,000.00	MI	Factor	0.013
Tipo de cambio	19.56	Pesos		

DESCRIPCIÓN	CANT.	P/U	IMPORTE	Costo Voladura
COPLE 1 1/4" R-32	4	\$ 1,087.54	\$ 4,350.16	\$ 56.55
COPLE 1 1/2" T-38	1	\$ 1,454.27	\$ 1,454.27	\$ 18.91
BROCA DE BOTON TIPO B 2 1/2" R-32	1	\$ 3,060.29	\$ 3,060.29	\$ 39.78
ZANCO 1 1/4" R-32 4 OREJAS	1	\$ 3,664.75	\$ 3,664.75	\$ 47.64
BARRA DE EXTENSIÓN CT R-32 TANDEM 2030MM LONG.	4	\$ 3,711.54	\$ 14,846.16	\$ 193.00
			\$ 27,375.63	\$ 355.88

Tabla 10 Costo de acero para broca de 2 1/2

Costo de mano de obra

	Jornales	Salario	Total
Perforista	3.00	\$ 280.00	\$ 840.00
Ayudante	3.00	\$ 200.00	\$ 600.00
Compresorista	3.00	\$ 200.00	\$ 600.00
	Total		\$ 2,040.00

Tabla 11 Costo de mano de obra para broca de 2 1/2

Costo de lubricantes

	Cantidad	Precio	Total
Aceite de motor	5	\$ 44.74	\$ 223.68
Aceite Neumático	10	\$ 36.84	\$ 368.42
Grasa	2	\$ 62.50	\$ 125.00
	Total		\$ 717.11

Tabla 12 Costo de mano de obra

Costo Combustible

Horas trabajados	20
Consumo l/h	25
Consumo total	500
Precio Diesel	\$ 21.03
Costo Total	\$ 10,515.00

Tabla 13 Costo combustible para broca de 2 1/2

Resumen

	Total	Precio por m3
Explosivo	\$ 11,244.75	\$ 13.43
Personal	\$ 2,040.00	\$ 2.44
Acero	\$ 355.88	\$ 0.43
Diesel	\$ 10,515.00	\$ 12.56
Aceites y grasa	\$ 717.11	\$ 0.86
	\$ 24,872.74	\$ 29.72

Tabla 14 Resumen de costo para broca de 2 1/2

Comparativa

Broca	Costo por tonelada
2 ½" Normal Botón redondo	\$29.72
3 ½" Retráctil Botón mixto	\$16.85

Tabla 15 Comparativa de costo de voladura

Se puede apreciar que el cambio de broca propuesta genera una disminución bastante considerable en el costo de producción.

VI.1 Conclusiones.

El banco de materiales conocido como canteras "Las bocas" es un banco con mucho potencial a futuro debido a que los trabajos de desarrollo y explotación ya están bastante avanzados y ya se accedió a una zona con una topografía más amigable para trabajar con los equipos de trabajo.

La pureza de la caliza es un factor que le da una mayor plusvalía a la cantera, a pesar de que existen zonas con roca bastante alterada, zona arcillosa o con caliche; la mayor parte del banco se conforma por roca sólida con contenidos de por lo menos 95% de CaCO₃. Considero que con un estudio adecuado pudiera convertirse en una oportunidad alternativa de negocio para la compañía.

El nuevo banco de explotación abierto aumentará la vida productiva de la cantera las bocas en por lo menos 25 años más.

A pesar de que la línea de negocio de la compañía es la producción de cal, considero que se debe poner más atención en la producción de grava y arena ya que en los últimos meses ha decaído la calidad de esta, el ingreso que genera la venta de grava es vital para la operación de la cantera y reduce considerablemente los costos de la producción de cal. Resulta necesario realizar un modelo de negocio por separado al de la producción de cal.

Es recomendable realizar constantemente estudios de fragmentación para evaluar la distribución granulométrica del material proveniente de las voladuras. Si se toma en cuenta que material muy fino (menor a 4") no es rentable para la operación debido a que se genera un excedente de grava y un déficit de roca para abastecer el horno, podemos utilizar los estudios de fragmentación para

Mejoras realizadas en la operación de una cantera de roca caliza.

llevar a cabo modificaciones mínimas pero significativas en el diseño de la plantilla de perforación, con el fin de obtener el máximo rendimiento de la roca para el horno de cal. La densidad de la roca varía en los distintos bancos de la cantera que se están manejando lo que nos puede permitir modificar las plantillas de perforación dependiendo del lugar donde se esté trabajando dentro de la cantera.

Anexo 1 Vibraciones

Debido a la cercanía de las viviendas de la comunidad “las bocas” a las actividades las voladuras se realizaban de manera controlada, tratando de producir la menor cantidad de vibraciones y ruido posibles para no perturbar la paz de los habitantes de la comunidad aledaña. Desafortunadamente no se contaba con sismógrafo de manera continua por lo que solo se hacían los cálculos y se registraban los eventos de manera empírica.

Parámetros de la vibración

Desplazamiento. La distancia que una partícula de roca se mueve de su posición de reposo.

Velocidad. La velocidad con que una partícula de roca se mueve cuando deja su posición de reposo. Empieza en cero llega a un máximo y regresa a cero. A mayor velocidad mayor vibración.

Aceleración. La razón a la que la velocidad de una partícula cambia,

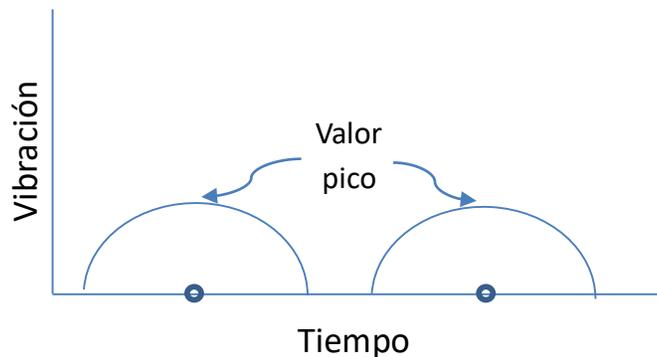
Frecuencia. El número de vibraciones u oscilaciones sucedidos en un segundo, llamados Hertz (Hz)

Existen varios factores que afectan las vibraciones provocadas por una voladura, los más comunes de identificar son: tiempos de retardo por disparo, la distancia de la voladura a la zona de interés y la carga dentro del barreno.

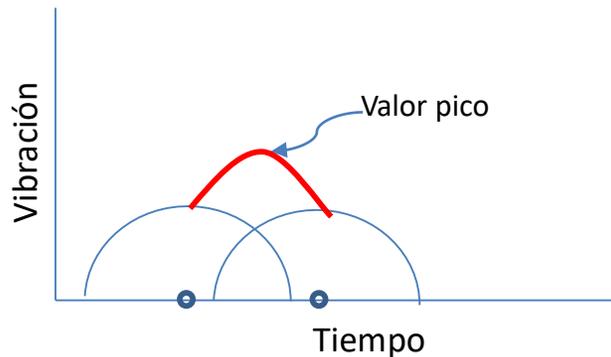
Tiempos de retardo.

Cuando se detonan dos cargas con periodos de retardo muy cortos entre sí o de manera simultánea las ondas provocadas tienden a sobreponerse y provocar mayor vibración, el tiempo entre barrenos debe ser adecuado para que permita la correcta liberación de las ondas entre sí.

Propagación de onda disparadas en tiempos diferentes, no existe empalme de vibraciones.



Propagación de ondas cuando los barrenos tienen periodos cortos de retardo y existe empalme de ondas, se acumula la vibración produciendo pico de mayor intensidad.



Uso del método de distancia escalada para control de daños.

La distancia escalada es un método que correlaciona la distancia que existe entre la voladura y las zonas de interés a proteger con la carga de explosivo usada en un periodo de disparo determinado (para considerarse carga separadas se requiere 8 ms de retardo entre cargas). Entre mayor sea el valor de distancia escalada reduce las posibilidades de causar daño a las estructuras cercanas.

Tomando en cuenta la ecuación de distancia escala proporcionada por los manuales más comunes de uso de explosivos se calcularon distancias de la zona de voladura a las casas más cercanas y se calculó la de cantidad de carga máxima de explosivo que podíamos usar.

Distancia escalada

$$Ds = \frac{D}{\sqrt{W}}$$

Donde:

Ds = es la distancia escalada, para el calculo se tomará un valor de 60, el cual es el valor recomendado por el USBM¹ es la distancia adecuada para no provocar daños a las estructuras cercanas.

D = distancia de la voladura a la estructura más cercana en pies.

W = carga que detonan de manera simultánea en libras.

Despejamos la ecuación para obtener los valores de carga por tiempo de disparo.

¹ Konya Calvin J. "Rock Blasting and Overbreak Control, Third edition, US Department of Transportation. 2006

$$W = \left[\frac{D}{D_s} \right]^2$$

Sustituimos el valor elegido de $D_s = 60$ para conocer la carga segura buscada:

$$W = \left[\frac{D}{60} \right]^2$$

Posteriormente se asignan valores de la distancia de los bancos a las estructuras más cercanas hacia la zona sur, obteniéndose la siguiente tabla.

Zona	Sur			
	Distancia		Carga	
	Metros	Pies	Libras	Kg
Banco 1	231	757.68	159.47	71.76
Banco 2	171	560.88	87.39	39.32
Banco 3	187	613.36	104.50	47.03
Banco 4	270	885.6	217.86	98.04

Cálculo de cargas para la zona Este

Zona	Este			
	Distancia		Carga	
	Metros	Pies	Libras	kg
Banco 1	85	278.8	21.59	9.72
Banco 2	110	360.8	36.16	16.27
Banco 3	186	610.08	103.39	46.52
Banco 4	250	820	186.78	84.05

Las tablas obtenidas proporcionan una herramienta útil para decidir qué tamaño de broca utilizar para cada banco y programar las voladuras subsecuentes de manera segura.

Para el banco 1 (actualmente en desuso) será necesario trabajarlo con perforadora manual con broca de 38 mm (1 1/2") debido a la cercanía del barreno a las casas vecinas hacia la zona Este

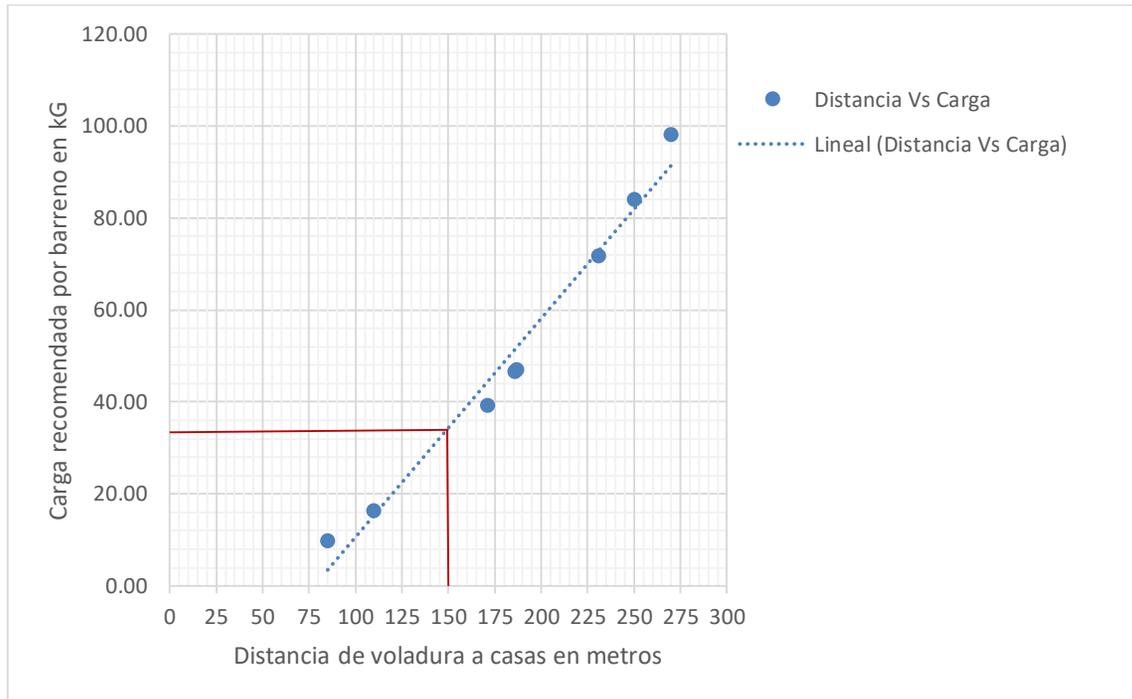
El banco 2 se puede usar la broca de 64 mm (2 1/2") sin causar daño en las casas vecinas.

Los bancos 3 y 4 se puede usar la broca de 89 mm (3 1/2") aprovechando una mayor productividad de los equipos de barrenación de manera segura.

Mejoras realizadas en la operación de una cantera de roca caliza.

Se graficaron los datos obtenidos para tener otra herramienta practica para calcular la carga máxima por barreno para usar de manera segura el explosivo. Esta grafica será bastante útil para cuando se requiere abrir un nuevo banco o se trabaje en zonas distintas dentro de la cantera.

Si se conoce la distancia a las casas solo se requiere extender una línea recta en vertical y al tocar la línea se extiende una línea recta en horizontal para conocer la carga recomendada.



Existen otros factores importantes que afectan el desempeño de la voladura en cuanto a vibraciones se trata estos son:

1. Bordo
2. Espaciamiento
3. Sub barrenación
4. Profundidad de taco
5. Tipo de material para el taco
6. Altura de banco
7. Numero de barrenos.
8. Longitud de carga de columna.
9. Tipo de roca
10. Propiedades físicas de la roca
11. Energía de explosivo
12. Numero de cebos.
13. Composición de carga de fondo.
14. Factores geológicos.
15. Numero de barrenos por línea
16. Número de líneas.
17. Tipo de iniciador
18. Retardos entre líneas.
19. Precisión del iniciador
20. Angulo de efecto de voladura respecto a una estructura.

Estudio sísmográfico

La compañía proveedora de explosivos Equipos y Explosivos del Noreste S. A. de C. V., se acercó a nosotros a tomar mediciones para realizar estudios de fragmentación y mediciones con el sísmógrafo, lo que corroboró que los cálculos realizados eran correctos. Se anexan los resultados del estudio de sísmógrafo proporcionado por la compañía proveedora.



EVENT REPORT



Date/Time Long at 12:30:05 PM August 02, 2019
Trigger Geo: 0.0400 inc/s, Mic: 132 dB(L)
Range Geo: 5.00 inc/s
Record Time 2.0 sec at 1024 sps

Serial Number 4809 V 2.61 MiniMate
Battery Level 6.4 Volts
Unit Calibration April 11, 2019 by Instantel
File Name F809HP5Y.GSO

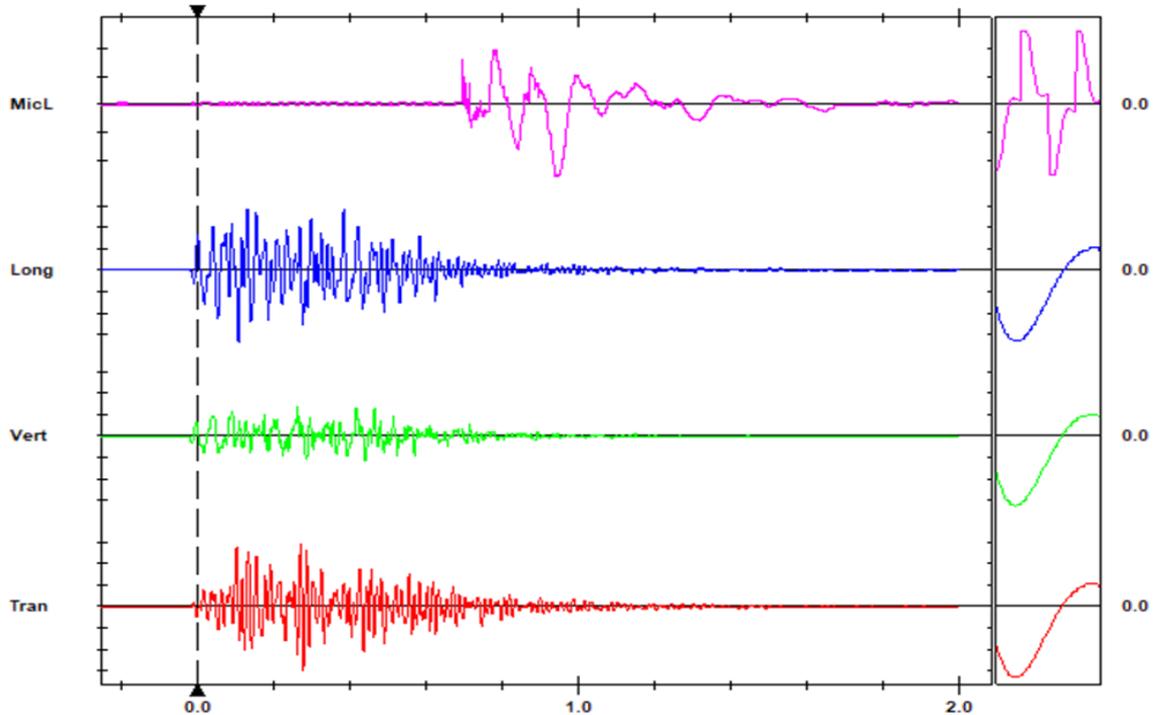
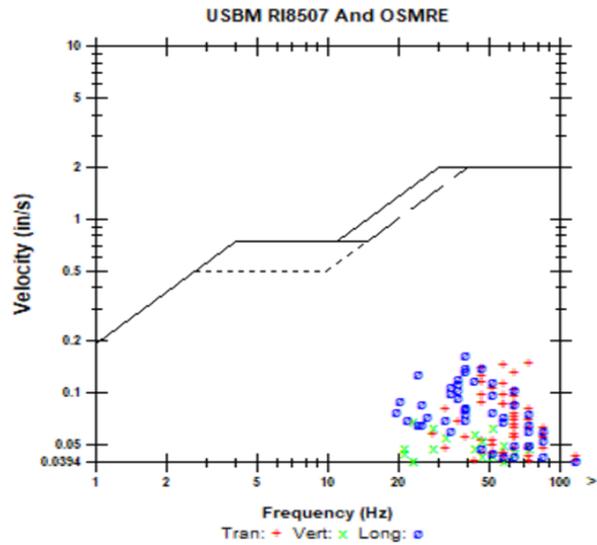
Notes
Location: 18°36'24.8"N 98°24'44.0" W
Client: INDUSTRIAL HERZAN AS DE CV
User Name: EYENESA CVA
Converted: August 05, 2019 16:34:13 (V10.60)

Extended Notes
 MONITOREO SISMOGRÁFICO

Microphone: Linear Weighting
PSPL 132.9 dB(L) 0.0128 psi(L) at 0.942 sec
ZC Freq 8.0 Hz
Channel Test Passed (Freq = 20.0 HZ Amp = 474 Mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	0.148	0.0675	0.165	inc/s
ZC Freq	73	23	43	Hz
Time (Rel. to Trig)	0.281	0.265	0.110	sec
Peak Acceleration	0.166	0.0663	0.133	g
Peak Displacement	0.00043	0.00037	0.00068	inc
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	8.0	8.0	7.7	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.7	3.6	

Peak Vector Sum 0.184 inc/s at 0.280 sec



Del registro de los niveles de Vibración y Golpe de Aire realizado el día 02 de agosto de 2019 se obtuvieron los siguientes resultados:

PARÁMETRO	SISMÓGRAFO
Voladura:	02
Fecha:	02:08:201
Hora:	12:30:05 p.m.
Localización del sismógrafo:	Diagonal a la voladura
Distancia de la voladura al Sismógrafo, en metros:	400 m.
Sistema de Iniciación: (EZDET)	Del tipo silencioso No eléctrico
Máxima carga detonada en un solo tiempo:	11 Barrenos
Velocidad de partícula:	<u>0.1650 inc/s = 4.191 mm/s</u>
Suma vectorial pico de vibración:	<u>0.184 inc/s en 0.280 sec</u>
Posibilidad de daño según USBM:	NINGUNA.
Sobrepresión de aire (dB):	<u>132 dB</u>
Posibilidad de daño según USBM Por golpe de aire:	NINGUNA

Nota: la detonación no excedió los criterios de seguridad establecidos por el USBM.

Estando en el sitio del evento se indica la ubicación donde se requiere el monitoreo del sismógrafo el cual queda a 400 m del lugar de la voladura. A las 12:25:40 p.m. se da inicio la alarma de detonación y unos minutos después es detonado y registrado el evento, para verificar el funcionamiento del aparato se deja este unos minutos antes para registrar el paso de cualquier evento y comprobar el funcionamiento del sismógrafo.

El permisionario **INDUSTRIAL HERZAN SA DE CV**, cumple con todos los parámetros de seguridad establecidos en esta voladura de acuerdo al USBM, según registro presentado.

Anexo II Brocas

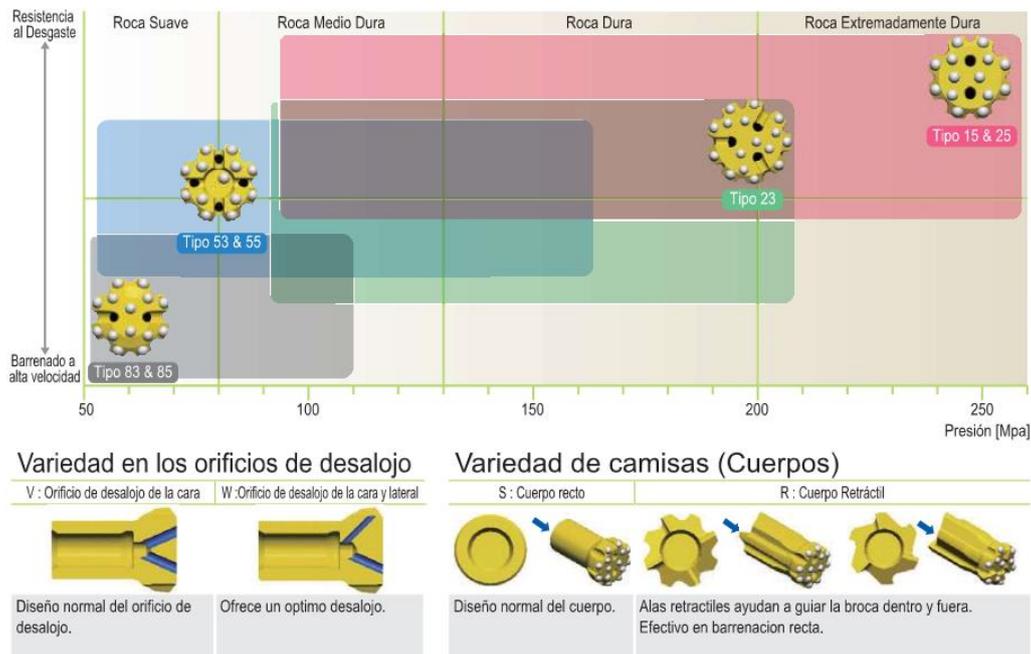
Se llevó a cabo un análisis del desempeño del equipo de perforación tomando en cuenta las condiciones del terreno, la velocidad de penetración que tenía la broca dentro del terreno que se estaba laborando, el desalojo de detrito de perforación, se llegó a la conclusión que era conveniente realizar un cambio de broca de convencional a retráctil.

Brocas retractiles

Se usan en aquellas formaciones rocosas donde las paredes de los barrenos tienden a desmoronarse y, por lo tanto, es preciso evitar atrapamiento y pérdidas del varillaje. Para esto disponen de estrías y dientes por detrás del frente que permiten realizar la perforación en retroceso. Una variante de esta broca es la broca retráctil de faldón largo. Con este diseño el corte en retroceso es más intenso y al tener un diámetro constante en todo su cuerpo se consiguen barrenos más rectos¹⁷

Selección de la broca adecuada¹⁸

De acuerdo con las tablas proporcionadas por el catálogo de acero de perforación de Mitsubishi la broca más adecuada al terreno es la del tipo 23, que brinda mayor resistencia y velocidad al perforar.



Guía de Selección

Brocas para banqueo y barrenación larga (T38, T45, T51, ST58, ST68)

Tipo		Tipo 15 & Tipo 25	Tipo 23	Tipo 53 & 55	Tipo 83 & 85
Configuración de la Cara					
Dureza de la Roca	Dura	○	○	○	○
	Medio Dura	○	○	○	○
	Suave			○	○
Característica	Barrenado a alta velocidad		○		○
	Resistencia al Desgaste	○	○	○	
	Rectitud			○	
		Broca resistente al desgaste para formaciones de roca media-dura. Tipo 25 es recomendado para brocas grandes.	Barrenación de alta velocidad para formaciones de roca media-dura.	Broca con resistencia al desgaste para formaciones de roca medio-dura. Recomendada para la eliminación de desviación del barrenado.	Barrenación de alta velocidad para formaciones de roca suave.

Tipo		Tipo 14	Cruz
Configuración de la Cara			
Dureza de la Roca	Dura	○	○
	Medio Dura	○	○
	Suave	○	○
Característica	Barrenado a alta velocidad	○	
	Resistencia al Desgaste		
	Rectitud		○
		Dedicado a un drifter de baja potencia.	Rectitud en el barrenado de la broca. *Barrenado a baja velocidad.

Variedad de Formas del Carburo

R: Redonda	BB: Semi-balística	B: Balística	SA: Cónica
Forma del Carburo: Configuración fuerte contra la fractura del carburo.	Combina la resistencia al desgaste con la penetración rápida. Recomendado para roca media-dura con moderada abrasividad.	Más alta velocidad de penetración que la Semi balística. Recomendada para roca suave.	Para la más rápida barrenación. *Trigi configuración contra la fractura del carburo. Recomendada para roca suave-medio dura.

Fractura del Carburo



Al llevar a cabo el cambio de broca se corroboró su efectividad al reducir los atascos y mejorar la velocidad de perforación, al tener una mayor velocidad de perforación se reduce considerablemente el consumo de diesel de los compresores.

Roscas¹⁹

Tipo "R" Ventaja: " Buena resistencia al desgaste" Desventaja: "No son fáciles de desenroscar" Aplicación: - Dónde se usa solamente una barra y no se requiere estar desacoplado constantemente como en perforación subterránea con Jumbo.

- Tipo "C" Roscas tipo "C" (o T y HM) -Excelentes propiedades de resistencia y fácil de desenroscar. -Recomendable para usar en perforación con extensiones con varias barras.



Barra de Extensión Ligera



Cuerda	Hex		Largo (L)		Peso [Kg]	Numero de Parte
	[mm]	[in]	[mm]	[ft/in]		
T38 - T38	32	1 1/4"	3050	10'	18.4	EH32M38-3050
			3660	12'	22.1	EH32M38-3660

Barra de Extensión Redonda



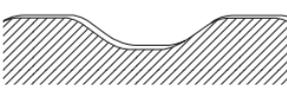
Cuerda	Diámetro Exterior		Largo (L)		Peso [Kg]	Numero de Parte
	[mm]	[in]	[mm]	[ft/in]		
T38 - T38	38	1 1/2"	3050	10'	24.7	ER38M38-3050
			3660	12'	29.4	ER38M38-3660
			4270	14'	34.7	ER38M38-4270
			4880	16'	39.7	ER38M38-4880
			5490	18'	44.6	ER38M38-5490

Barra Macho / Hembra



Cuerda	Diámetro Exterior		Largo (L)		Peso [Kg]	Numero de Parte
	[mm]	[in]	[mm]	[ft/in]		
T38 - T38	38	1 1/2"	900	3'	8.0	ER38M38MF-900
			1220	4'	9.7	ER38M38MF-1220
			1525	5'	13.3	ER38M38MF-1525
			1830	6'	16.0	ER38M38MF-1830
			2440	8'	21.3	ER38M38MF-2440
			3050	10'	25.9	ER38M38MF-3050
			3660	12'	30.7	ER38M38MF-3660

Compatibilidad de la Cuerda Mitsubishi

Forma de la Cuerda	Tipo rosca	Cuerda Mitsubishi
Cuerda de Soga 	R25	R25
	R28	R28
	R32	R32
	R35	R35
	R38	R38
Cuerda T (Cuerda M) 	T38	M38
	T45	M45
	T51	M51
Cuerda ST (Cuerda WD)  	ST58	WD58
	ST68	WD68

Anexo III Fragmentación

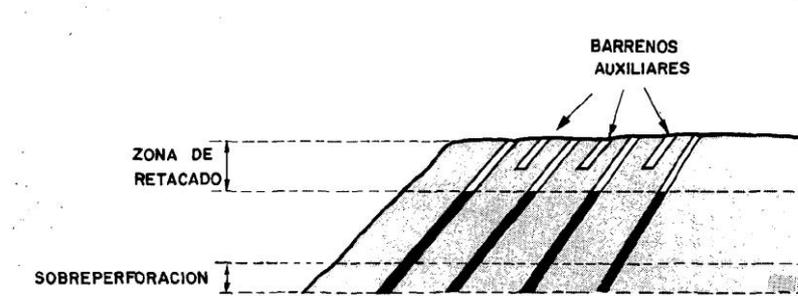
Se entiende como fragmentación a la distribución granulométrica obtenida de la roca, una vez efectuada la voladura, La granulometría requerida del material obtenido de una voladura dependerá de las dimensiones del equipo que se utilice para el rezagado y el equipo utilizado para la trituración.

Cuando se diseña una plantilla de perforación se debe tomar en cuenta la posición de los barrenos y la ubicación de las cargas explosivas a modo de lograr un uso de la energía más eficiente, la ubicación de los barrenos respecto a la cara libre puede hacer que se produzcan cantidades distintas de roca y granulometrías diferentes con un mismo patrón de diseño. De igual manera el tiempo de detonación influye en la fragmentación de la roca.

Son numerosas las variables que intervienen en la fragmentación que van desde las características geo mecánicas del macizo rocoso a las elegidas por el diseño del propio esquema de perforación y voladuras:

De una forma general puede indicarse que:

- *La fragmentación, es mayor cuando se utilizan diámetros pequeños.*
- *La fragmentación, está condicionada por la cuadrícula de perforación.*
- *La utilización de grandes diámetros, con cargas concentradas produce bloques de gran tamaño, y un importante porcentaje de materiales de fina granulometría.*
- *Manteniendo constante el esquema de perforación, un incremento de la carga específica produce un aumento de la fragmentación.*
- *Una estratificación muy acusada origina unos tamaños de bloque de geometría singular.*
- *Los parámetros resistentes de la roca, tienen una gran influencia en la fragmentación a conseguir.*
- *Al aumentar la concentración de carga, aumenta también la fragmentación.*
- *La perforación de barrenos auxiliares dentro de un esquema, favorece la fragmentación.*

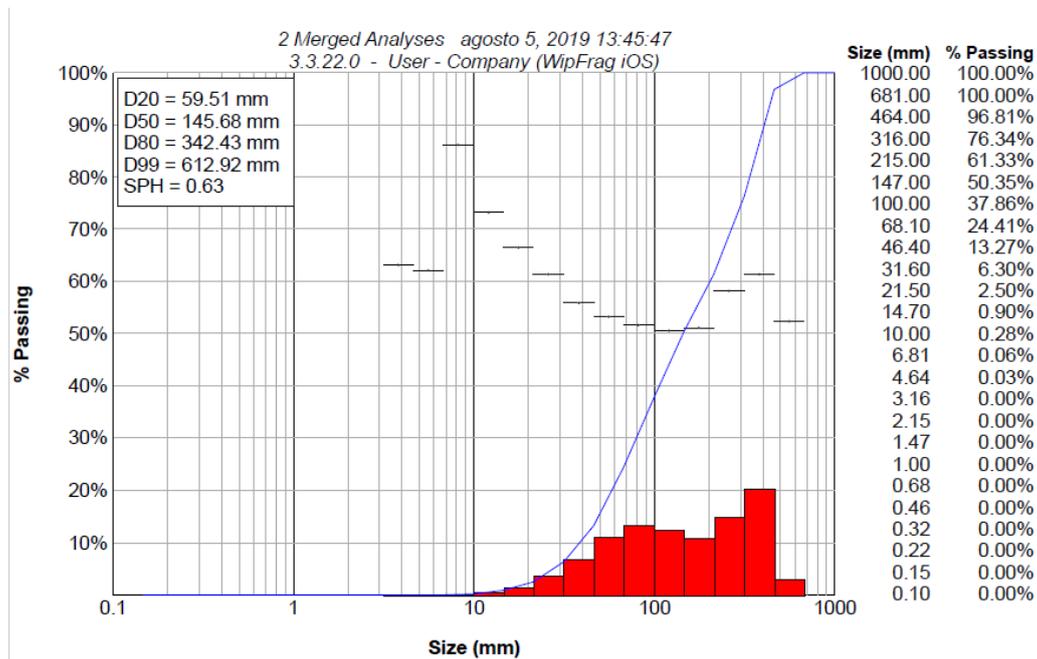


- *Se obtiene una mejora en la fragmentación, cuando el esquema adoptado de barrenos es al tresbolillo²⁰*

La precisión de los iniciadores es importante para lograr mejoras en la uniformidad del tamaño de roca, actualmente es muy popular el uso de iniciadores electrónicos que proporcionan una distribución granulométrica más uniforme del producto obtenido, de igual manera producen reducción en la vibración que se produce.

Dada las dimensiones de quebradora de la quijada que se utilizan en la cantera, el tamaño máximo de roca que se podría alimentar a la quebradora es de 36" es decir 90 cm

Se realizaron estudios de fragmentación donde se puede apreciar el porcentaje de roca procedente de las voladuras que se podrá utilizar en la producción de piedra para el horno y que porcentaje se transformará en grava.



Fotos para realizar estudios de fragmentación mediante software.



El software usa una referencia visual que en este caso es la barra naranja para determinar el tamaño promedio de la fragmentación de la roca resultante. Muchos proveedores de explosivo ofrecen el servicio de análisis granulométrico para que sus clientes aprovechen al máximo sus productos.

Considerando la tabla de distribución en el ejemplo propuesto nos arroja que antes de entrar a la quebradora la existe un porcentaje de 50.34 % de material que a es menor a la abertura de 6" que se tiene en la criba estática a la descarga de la quebradora de quijada. Este análisis os da una referencia para determinar que se puede modificar la plantilla de perforación con el afán de producir un material más grueso y tener un mayor aprovechamiento mayor de la roca para el horno.

Algunas técnicas para reducir la producción de los finos son:

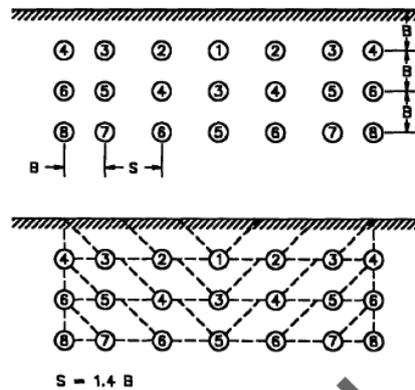
Ampliar la plantilla de perforación, se puede ampliar el bordo de perforación.

Reducir la densidad de anfo.

Un anfo de menor densidad no puede ayudar a que no se genere un material tan fino, el cual representa retrasos en la operación dentro de la producción de cal.

Evitar detonar con la configuración en forma de V.

Como se ha mencionado previamente, el tiempo de disparo de los barrenos es un factor importante que determina la fragmentación, podemos hacer variar la granulometría deseada dependiendo del tipo de salida que se le asigna a cada perforación. Una salida en V provocaría que en el instante del disparo exista colisión entre los fragmentos de roca expulsados provocando mayor fragmentación, además que dada la limitación de los iniciadores pirotécnicos es muy probable que se tengan cargas que se disparan de manera simultánea, lo que significa que se produce una doble liberación de energía.



21

Reporte de voladura en campo

Banco: _____ Número de reporte _____ Fecha: _____

Número de barrenos _____ Taco _____ m

Diámetro _____ Pulgadas Tipo de material para taco _____

Profundidad de barreno _____ M Altura de banco _____ m

Bordo: _____ m. Espaciamiento: _____ m.

Numero de filas _____ Sub barrenación: _____ m.

Retardos usados (Entre líneas) _____ Cantidad _____

Retardos usados (En barrenos) _____ Cantidad _____

Fragmentación	Excelente	Buena	Suficiente	Pobre
Daño en paredes de banco	1m	2m	3m	4m o más

Explosivos usados	Cantidad (kg)

Total: _____ kg

Volumen de material obtenido _____ m³

Factor d carga _____ Kg/m³

Observaciones

Dibujo patrón de barrenos

Perforista **Check list** Fecha: _____

Equipo _____

Operador _____

Horometro inicial _____ Horometro Final _____

Niveles	B	M		B	M
Aceite Motor			Aceite unidad Compresora		
Aceite HCO Track Drill			Anticongelante		
Aceite Perforadora			Nivel de Combustible		
Aceite motores de transito					
Condiciones					
Mangueras HCO			Engrasado de perforadora		
Mangueras Aire			Engrasado de roles de cadena		
Cuerdas de barras			Tensión de cadena de transito		

Fallos Observados _____

Firma Firma Supervisor

Operador

_____ _____

Operador Excavadora **Check list** Fecha: _____

Equipo _____

Operador _____

Horometro inicial _____ Horometro Final _____

Niveles	B	M		B	M
Aceite Motor			Engrasado de brazo Maroma		
Aceite Hidráulico			Engrasado de tornamesa		
Anticongelante			Nivel de Combustible		
Condiciones					
Mangueras HCO			Engrasado de brazo arrastre		
Condiciones Cabina			Engrasado de brazo levante		
Desgaste en roles de transito			Tensión de cadena de transito		

Fallos Observados _____

Firma
Operador

Firma Supervisor

Operador Cargador **Check list**

Fecha: _____

Equipo _____

Operador _____

Horometro inicial

Horometro Final

Niveles

B M

Aceite Motor

Desgaste de puntas de bote

Aceite Hidráulico

Anticongelante

Nivel de Combustible

Condiciones Mangueras HCO

Engrasado de barras levante

Condiciones Mangueras Aire

Engrasado de sistema volteo

Condiciones llantas

Condiciones Cabina

Fallos Observados

Firma
Operador

Firma Supervisor

Soldador **Check list**

Fecha: _____

Equipo _____

Soldador _____

Equipo de corte

B M

Condiciones de manguera

Condiciones de manómetros

Condiciones de conexiones

Condiciones mezcladora

Máquina de soldar

Condiciones de cables

Condiciones de porta electrodos

Condiciones de interruptores

Condiciones de pinzas de tierra

B M

Esmeriladora

Condiciones Válvula de gases

Condiciones de cable

Condiciones Boquilla

Condiciones seguro de discos

Condiciones interruptor de equipo

Fallos Observados

Firma
Soldador

Firma Supervisor

Control acarreo

Fecha:

Viaje	Hora de llegada	Camión	Viaje	Hora de llegada	Camión	Viaje	Hora de llegada	Camión
1			21			41		
2			22			42		
3			23			43		
4			24			44		
5			25			45		
6			26			46		
7			27			47		
8			28			48		
9			29			49		
10			30			50		
11			31			51		
12			32			52		
13			33			53		
14			34			54		
15			35			55		
16			36			56		
17			37			57		
18			38			58		
19			39			59		
20			40			60		

Referencias

-
- i <http://www.calgloria.com/empresa.html>
- ii https://es.wikipedia.org/wiki/Iz%C3%BAcar_de_Matamoros
- iii Rocas calizas: Formación, ciclo del carbonato, propiedades, aplicaciones, distribución y perspectivas en la Mixteca Oaxaqueña Universidad Tecnológica de la Mixteca 2001
<http://www.utm.mx/temas/temas-docs/ensayo1t14R.pdf>
- iv Forum Ibérico de la cal <http://www.fical.org/la-cal-como-material-3/origen-y-evolucion/5-ciclo-de-la-cal>
- v Forum ibérico de la cal <http://www.fical.org/la-cal-como-material-3/origen-y-evolucion/5-ciclo-de-la-cal>
- vi Forum ibérico de la cal <http://www.fical.org/la-cal-como-material-3/origen-y-evolucion/5-ciclo-de-la-cal>
- vii Ecu Red enciclopedia cubana <https://www.ecured.cu/Cal>
- viii **Evaluación del óxido de calcio (estabilical) como estabilizador de suelos;** Natalia Pérez García, Alfonso Pérez Salazar, Paul Garnica Anguas. Publicación Técnica No. 560, Instituto Mexicano del Transporte. Sanfandila, Qro, 2019
- ix “Modelo de la pre aireación en concentrados de oro piritico, para la optimización del proceso de cianuración Utilizando el Programa Estadístico Plus”, Aramburú Rojas, Vidal Sixto, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
- x <https://calidra.com/tag/usos-de-la-cal/>
- xi Diseño de Voladuras a Cielo Abierto, Ing. Cesar Ayabaca P.
<https://www.aimecuador.org/documentos/capacitacion/curso-de-explotacion-de-canteras-octubre-2003/4-voladura-a-ca/file.html>
- xii Rock Blasting and Over Break Control, Konya J. Calvin, U. S. Department of Transportation. 1991
- xiii Manual para el Control y Diseño de Voladuras en Obras de Carreteras, Dr José Luis Saenz Contreras , Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, España.
- xiv Manual de taludes, Instituto Geológico y Minero de España, España 1985
- xv Topografía 2018 Peter Zurita Siles, <http://topografiaconproyeccion.blogspot.com/2018/06/tema-6-nivelacion.html>

^{xvi} Manual para el Control y Diseño de Voladuras en Obras de Carreteras, Dr José Luis Saenz Contreras ,
Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, España

17 ACEROS DE PERFORACION ROTOPERCUTIVA Basado en el Manual de Perforación y Voladura de Rocas Instituto Tecnológico Geominero de España
https://www.academia.edu/13020508/Presentacion_Clase_6_Aceros_de_Perforacion

18 Catalogo Digital Acero de barrenación Mitsubishi Materials
http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/4315/0786/1677/RT01D-M_ROCK_TOOLS_SPANISH_201709.pdf

19 Perforación Percusiva y Manejo de los Aceros. Robit HTG series. <https://kauppayhdistys.fi/wp-content/uploads/sites/11/2014/09/07robit-rocktools-practicas-de-barrenacion.pdf>

²⁰ Manual para el Control y Diseño de Voladuras en Obras de Carreteras, Dr José Luis Saenz Contreras ,
Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, España

²¹ Rock Blasting and Over Break Control, Konya J. Calvin, U. S. Department of Transportation. 1991