



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN DE LA MINA DE FOSFORITA “LA NEGRA” UBICADA EN PACULA, HGO., Y PROPUESTA PARA LA SISTEMATIZACIÓN Y CONTROL DE LAS OPERACIONES.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA

P R E S E N T A:

FRANK JIMÉNEZ ROMUALDO

DIRECTOR DE TESIS

ING. JUAN JOSÉ OBREGÓN ANDRÍA



MÉXICO, D.F., CD. UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2014

*“Todos somos muy ignorantes.  
Lo que ocurre es que no todos  
ignoramos las mismas cosas.”*

*Albert Einstein*

*A Bon por ser mi razón para  
continuar, cuando parecía que  
me iba a rendir, muchas gracias  
por estar junto a mí en estos  
momentos tan importantes; esto  
es para ti!!!*

*Frank*

## AGRADECIMIENTOS

Sin duda este trabajo no habría sido posible sin la ayuda de la empresa Fosforita de México S.A. de C.V. que me brindó su apoyo en todo momento, en especial al Ing. Manuel Alvídrez por sus enseñanzas y recomendaciones.

A todo el personal que labora en la mina y planta, gracias por su apoyo, experiencias e información que me proporcionaron y explicaron, en especial a los ingenieros Roy Zavala, Fernando Salazar, Roberto Canales, Víctor Gallegos y Miguel Ángel Matehuala, por su paciencia y sobretodo recordarme la importancia de trabajar en equipo. A Silvestre, por su humor y anécdotas que hicieron que los días fueran más rápidos en mina. A Carolina, Javier, Marcos, Adrián, Don Juan, Don Berna por su apoyo y compartir sus experiencias y conocimientos.

A mi director de tesis y sinodales, Ing. Juan José Obregón, Maestro José Santos, Maestro Gabriel Ramírez, Ing. Mauricio Mazari, Ing. Carlos Altamirano. Por el tiempo que se dieron para revisar y hacer observaciones que me sirvieron para mejorar este trabajo, gracias por compartir sus conocimientos, enseñanzas y recomendaciones.

A mi familia por la confianza, paciencia y amor en cada decisión que tome: a mis padres por todo su esfuerzo, confianza, y consejos, sé que no fue fácil, pero lo logramos. Madre, Padre gracias por ser parte de este triunfo, los quiero. A mi hermana por su apoyo incondicional, por estar siempre; a mi hermano por su apoyo a pesar de la distancia.

Al Comité de Damas de AIMMGM por su gran apoyo que me impulso para terminar la carrera, muchas gracias.

A todos mis profesores por compartir su conocimiento, experiencias, ayuda y paciencia, en especial al Lic. Bernal Esponda y su familia por su apoyo.

A mis amigos de generación: Cecilia, Toño, Angélica, Isabel, Jorge, Juan, por su apoyo, compañía, tolerancia y locuras, en estos 5 años, gracias por brindarme su amistad. A mis amigos mineros, gracias por todas esas experiencias que compartimos: las risas, las frustraciones antes y después de los exámenes, las largas noches en vela. A la banda de geólogos; en especial a Maribeth por tu apoyo y consejos en este trabajo; y a Fernando por ser un gran amigo y geólogo.

A mis amigos: Liz, Edi, Jos, Edgar, Akemi, Daniel, Hugo, Claudia, José, Antonio, Alberto, por todas esos días de risas y llanto, gracias por su amistad.

A la UNAM, y Facultad de Ingeniería que me han dado tanto y que jamás podré pagar.

Por eso y mucho más, gracias!!!

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>X</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XI</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>XII</b>
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	XII
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1 UBICACIÓN	1
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR	2
1.3 INFRAESTRUCTURA	3
1.4 ACTIVIDAD ECONÓMICA	4
1.5 MEDIO FÍSICO	5
1.6 DESCRIPCIÓN DE LA PROPIEDAD	5
<b>2. GEOLOGÍA</b>	<b>6</b>
2.1 ROCA FOSFÓRICA	7
2.2 FOSFORITA	9
2.2.1 <i>Formación de las fosforitas</i>	9
2.3 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	10
2.4 MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE LA MINA	13
2.4.1 <i>Estratigrafía</i>	14
<b>3. ESTUDIO DE MERCADO</b>	<b>16</b>
3.1 ROCA FOSFÓRICA	16
3.2 FOSFORITA	17
3.2.1 <i>Mercado nacional</i>	18
3.2.2 <i>Comercio Exterior</i>	19
3.2.3 <i>Exportaciones e importaciones</i>	20
3.3 PRINCIPALES USOS	21
3.3.1 <i>Fertilizantes</i>	21
3.3.2 <i>Alimentos</i>	21
3.3.3 <i>Productos químicos</i>	21
3.3.4 <i>Farmacéutica</i>	22
3.3.5 <i>Otras aplicaciones</i>	22
3.3.6 <i>Aplicación Directa</i>	22
<b>4. CONDICIONES ACTUALES DE LA EMPRESA (JUNIO 2012)</b>	<b>24</b>
4.1 PROCESO DE EXPLOTACIÓN-MINA	25
4.1.1 <i>Barrenación</i>	29
4.1.2 <i>Cargado y voladura</i>	30
4.1.3 <i>Acarreo de material estéril y mineral</i>	31
4.2 PROCESO DE BENEFICIO-PLANTA	32
4.2.1 <i>Productos</i>	35

4.3	MAQUINARIA Y EQUIPO DISPONIBLE EN MINA	36
4.4	ESTRUCTURA DE COSTOS	37
4.4.1	<i>Costos sociales y ambientales</i>	39
4.5	EXPLOTACIÓN DEL ÁREA 2 SUR (ENERO 2013)	40
<b>5.</b>	<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN</b>	<b>43</b>
5.1	CAPACIDAD INSTALADA DEL EQUIPO	44
5.2	MUESTREO	50
5.3	DISEÑO DEL TALUD	50
5.3.1	<i>Altura óptima de los bancos</i>	51
5.3.2	<i>Ancho de la plataforma de trabajo (Remoción de material estéril, barrenación, explotación)</i>	52
5.3.3	<i>Caminos y rampas de acceso</i>	53
5.3.4	<i>Distancias de acarreo</i>	53
5.3.5	<i>Ángulo del banco</i>	53
5.4	CICLO DE MINADO	54
5.4.1	<i>Remoción de material estéril</i>	55
5.4.2	<i>Barrenación</i>	56
5.4.3	<i>Cargado y voladura</i>	59
5.4.4	<i>Acarreo y transporte</i>	61
5.5	MANTENIMIENTO DE CAMINOS	62
5.6	ALMACENAMIENTO DE MINERAL	64
5.7	PLANEACIÓN DEL ÁREA 2 NORTE	66
5.8	SEGURIDAD E HIGIENE	74
5.9	CIERRE Y ABANDONO DE LA MINA.	75
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>79</b>
	CONCLUSIONES	79
	RECOMENDACIONES	80
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>82</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>86</b>
	ANEXO 1 MEMORIA DE CÁLCULO: COSTOS DE EXPLOSIVOS	86
	ANEXO 2 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL	89
	ANEXO 3 TABLAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERIÓDICO	90

## Relación de figuras

<i>Figura I- 1 Ubicación de la Mina La Negra</i>	1
<i>Figura I- 2 Ubicación de la mina y comunidades aledañas.</i>	2
<i>Figura II- 1 Representación del ciclo del Fósforo en la naturaleza (Duvigneaut, 1978).</i>	6
<i>Figura II- 2 Depósitos económicos y potencialmente económicos de fosfatos en el mundo.</i>	8
<i>Figura II- 3 Abundancia estimada en toneladas en los distintos períodos geológicos (Cook y McElhinny, 1979).</i>	8
<i>Figura II- 4 Ambientes de formación de las fosforitas a partir del esquema de Glenn et al. 1994.</i>	10
<i>Figura II- 5 Mapa geológico de la región de Zimapán. Estados de Hidalgo y Querétaro (Suter y Carillo, 1982).</i>	11
<i>Figura II- 6 Mapa geológico a detalle de la mina La Negra (Garrido, 2013), basado en el mapa de Suter y Carillo (1982).</i>	13
<i>Figura II- 7 Columna estratigráfica para la mina La Negra (Garrido, 2013). Claves de facies carbonatadas propuestas por Vera (1994).</i>	14
<i>Figura III- 1 Producción de fosforita en México 2005-2011. Fuente Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada. SE.</i>	18
<i>Figura III- 2 Volumen y valor de la producción de fosforita. Fuente: INEGI.</i>	18
<i>Figura III- 3 Consumo Nacional Aparente de Fosforita 2005-2011 (Toneladas).</i>	19
<i>Figura III- 4 Balanza comercial de la fosforita 2005-2011 (Dólares). Fuente: Sistema de Información Comercial de México. SICM</i>	20
<i>Figura III- 5 Exportaciones e Importaciones de fosforita. Fuente: Sistema de Información Comercial de México. SICM</i>	20
<i>Figura IV- 1 Croquis de la mina La Negra.</i>	24
<i>Figura IV- 2 Extracción manual del mineral.</i>	26
<i>Figura IV- 3 Guatos explotados en diferentes niveles.</i>	27
<i>Figura IV- 4 Afectaciones por el clima. La neblina no permite ver más allá de 3 metros, en los caminos de genera encharcamientos.</i>	28
<i>Figura IV- 5 Ciclo de minado.</i>	29
<i>Figura IV- 6 Barrenación con maquina neumática.</i>	30
<i>Figura IV- 7 Proceso de Cargado.</i>	31
<i>Figura IV- 8 Diagrama de operación del área de trituración.</i>	33
<i>Figura IV- 9 Diagrama de operación del Horno 1.</i>	34
<i>Figura IV- 10 Diagrama de operación del Horno 2.</i>	35
<i>Figura IV- 11 Trabajos de explotación del área 1. La figura muestra las condiciones de trabajo, falta de una configuración geométrica del área y las condiciones que presenta la plataforma de trabajo.</i>	40
<i>Figura IV- 12 Explotación del área 1. Nuevamente la figura muestra la falta de bancos y la gran cantidad de material estéril que presenta el área.</i>	41

*Figura IV- 13 Área 2. Esta área ya presenta una geometría más uniforme, sin embargo no existe una continuidad del área sur con la norte por la obstrucción que ha generado el material estéril, los bancos en ciertas áreas alcanzan los 25 metros.* 42

*Figura V- 1 Área norte del área 2. La imagen muestra las condiciones en que se encuentra el área, los niveles muestran la acumulación de material estéril que obstruye la continuidad de los mismos en la mayoría de los casos, además de las diferentes alturas de los mismos, así como guatos que no están rellenos y que pueden generar accidentes.* 43

*Figura V- 2 Parámetros geométricos en el diseño de explotación a cielo abierto.* 51

*Figura V- 3 Área de trabajo, considerando el espacio necesario para las maniobras del equipo de cargado y acarreo.* 52

*Figura V- 4 Ciclo de minado.* 55

*Figura V- 5 Propuesta de la nueva plantilla de barrenación, tresbolillo.* 58

*Figura V- 6 Esquema de la carga de barrenos.* 59

*Figura V- 7 Dimensiones de los equipos principales.* 62

*Figura V- 8 Trascabo construyendo un camino.* 63

*Figura V- 9 Esquema del ancho de los bancos.* 64

*Figura V- 10 Patio de mineral.* 65

*Figura V- 11 Plano del patio de mineral.* 66

*Figura V- 12 Plano general* 67

*Figura V- 13 Perfil transversal de la explotación longitudinal.* 68

*Figura V- 14 Sección A-'A.* 68

*Figura V- 15 Sección B-'B.* 69

*Figura V- 16 Sección C-'C.* 69

*Figura V- 17. Construcción del nivel A208 a lo largo de las tres secciones.* 70

*Figura V- 18. Desarrollo de los tres bloques de trabajo.* 71

*Figura V- 19. Rehabilitación del nivel A207 con un ancho de 8 metros y un ángulo de 75°.* 72

*Figura V- 20. Proyección de los niveles A201, A202 y A203.* 72

*Figura V- 21 Proyección geométrica del talud al finalizar las 4 etapas.* 74

## **Relación de tablas**

*Tabla I-1 Comunidades más importantes de Pacula* 4

*Tabla III- 1 Producción mundial de fosforita. Fuente: Mineral Commodity Summaries, 2012.* 17

*Tabla IV- 1 Tipo de explosivo y su precio en dólares.* 30

*Tabla IV- 2 Productos actuales de la planta de beneficio.* 35

*Tabla IV- 3 Precios del mineral de acuerdo a sus características químicas.* 38

*Tabla IV- 4 Cantidad de explosivo y accesorios de la plantilla actual y la que se propone.* 38



<i>Tabla V- 1 Tiempos de operación, acomodo y descarga.</i>	44
<i>Tabla V- 2 Tiempos del ciclo de operación de cargador frontal sobre orugas CAT 977 L.</i>	45
<i>Tabla V- 3 Resumen de los tiempos promedios de los cargadores y excavadoras.</i>	46
<i>Tabla V- 4 Datos para determinar el tiempo de transporte.</i>	46
<i>Tabla V- 5 Resultados de los tiempos de transporte.</i>	47
<i>Tabla V- 6 Capacidad de los equipos en m<sup>3</sup> y ton.</i>	48
<i>Tabla V- 7 Equipo y personal para la limpieza.</i>	56
<i>Tabla V- 8 Equipo y personal para la barrenación.</i>	56
<i>Tabla V- 9 Factor de carga lineal de ANFO.</i>	60
<i>Tabla V- 10 kilogramos de explosivo necesario por barreno.</i>	61
<i>Tabla V- 11 Precio en dólares de los accesorios para el nuevo sistema de iniciación de la voladura.</i>	61
<i>Tabla V- 12 Equipo y personal para el acarreo.</i>	61
<i>Tabla V- 13 Ancho de los niveles.</i>	73
<i>Tabla V- 14 Altura de los bancos.</i>	73
<i>Tabla V- 15 Ángulos de los bancos.</i>	73
<i>Tabla V- 16 Impactos ambientales sobre el medio físico.</i>	76
<i>Tabla V- 17 impactos ambientales sobre el medio biótico.</i>	77
<i>Tabla V- 18 impactos ambientales sobre el medio antrópico.</i>	77
<i>Tabla Anexo I- 1 Costos en Dlls.. del explosivo y accesorios.</i>	86
<i>Tabla Anexo I- 2 Explosivo, accesorios y costos para la plantilla actual.</i>	87
<i>Tabla Anexo I- 3 Explosivo, accesorios y costos de la plantilla propuesta.</i>	88
<i>Tabla Anexo I- 4 Comparación de los costos de ambas plantillas.</i>	88

## RESUMEN

Mina La Negra de Fosforita de México, S.A. de C.V. ubicada en Pacula, Hidalgo, es una mina a cielo abierto que explota fosforita con una producción de 6,000 toneladas mensuales con un contenido de  $P_2O_5$  superior al 30%.

Actualmente los dos principales clientes de la empresa son Agrogen y Nutrientos Minerales, los cuales a su vez fabrican fertilizantes.

Uno de los objetivos para la empresa es la búsqueda de nuevos mercados y no sólo depender de los dos compradores que se tiene y de ser posible eliminar intermediarios en la venta del producto final obteniendo una mejor utilidad para la empresa.

La configuración geométrica que presentaba la mina hasta el año 2013 y los equipos sobre-trabajados generaban un problema en la operación de la mina, ante estos problemas se evaluó el ciclo de operación con el fin de optimizarlo.

Para realizar la optimización del ciclo de operación y de los equipos, se tomaron los tiempos de operación, se analizaron las dificultades respecto a la geometría del talud y de la operación minera, como resultado la geometría del talud está definida garantizando la seguridad del personal y de los equipos, se rehabilitaron áreas de trabajo y accesos que antes estaban obstruidas por material estéril. Con el correcto aprovechamiento de los equipos la producción que puede ser explotada es de 3,226 toneladas por día generando una disminución en los costos de producción.

La empresa cubre costos de supervisión y explosivos para los contratistas los cuales no se pueden eliminar, sin embargo se buscan alternativas en otras áreas con el objetivo de disminuir a un más los costos de producción, sin afectar a los contratistas.

## INTRODUCCIÓN

Fosforita de México S.A. de C.V. se ha dedicado a la explotación y procesamiento de roca fosfórica en el municipio de Pacula, Hidalgo, en tres periodos, la explotación se realiza en mina La Negra perteneciente a la empresa, la cual es una mina a cielo abierto, sin embargo, por los problemas relacionados con la concesión minera la empresa ha tenido que lidiar con los dueños de la tierra donde se encuentra el yacimiento de roca fosfórica. Además los bajos precios en el mercado de la roca fosfórica y la demanda de la misma han generado el cierre de las operaciones mineras y de la planta de beneficio en dos ocasiones anteriores.

En 2008 Minerales Industriales pone en marcha nuevamente la operación de la mina y la planta, con una producción mensual de 6,000 toneladas, además de establecer una mejor relación con los contratistas, dando la pauta para tener un ingreso y una oportunidad de trabajo, y obteniendo la producción.

Por las características geológicas del yacimiento, la fosforita se extrae de cavidades cilíndricas llamadas guatos por los lugareños, hasta la fecha es difícil explicar realmente cómo se originó el yacimiento de fosforita, pero la experiencia y la observación de los ingenieros que han desarrollado la explotación han determinado un patrón de repetición de los guatos y la expansión y unión de los mismos a mayores profundidades, dando la teoría que en cierta profundidad se encuentre un manto relativamente uniforme.

En este nuevo periodo Minerales Industriales explota el área 2 norte de la mina, en donde ha tenido que resolver problemas para poder tener acceso al área, el principal es la remoción del material estéril que en los periodos anteriores no se depositó en los tiraderos, ocasionando obstrucciones en los caminos y accesos, e incrementando la relación de descapote, además de que los bancos no cuentan con una configuración geométrica uniforme generando riesgos en la operación. Es por ello que en el presente trabajo se analizará la operación minera con el fin de tener una mejor planeación y como resultado mejorar la explotación de la fosforita.

A pesar de que los minerales no metálicos tienen una mejor estabilidad en el precio versus los minerales metálicos, la empresa se enfrenta a un problema, el mercado, actualmente la empresa cuenta con dos clientes principales que se dedican a la fabricación de fertilizantes, y esporádicamente diversos clientes compran varias toneladas de mineral, por este problema se busca nuevos mercados a nivel nacional para la roca fosfórica y/o fabricación de un producto propio que evite a terceros en la comercialización.

La roca fosfórica que explota la empresa es de origen sedimentario a la cual se le denomina fosforita, en México el principal productor es el estado de Baja California Sur por la empresa ROFOMEX pero actualmente se están explotando otros yacimientos en los estados de Zacatecas, Nuevo León, Coahuila, Querétaro y San

Luis Potosí, estos yacimientos se encuentran en etapas de estudio para su futura utilización, ya sea como fertilizante de aplicación directa o bien como materia prima en la elaboración de productos para la industria química.

Hoy en día la fosforita tiene su mayor aplicación en la industria de los fertilizantes, debido a la necesidad de alimentos que demanda la creciente población mundial, dicho mercado representa el 90%, y el porcentaje restante se utiliza en la fabricación de alimentos balanceados, y productos químicos.

La fosforita es muy importante ya que representa la principal fuente de obtención de fósforo, el cual es un elemento nutricional esencial para las plantas, animales, y por ende de la sociedad.

## OBJETIVO GENERAL

Estudiar el sistema de explotación de la mina La Negra ubicada en Pacula, Hidalgo. Y proponer una operación minera con mayor control y mejor aprovechamiento de los recursos.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de mercado de la fosforita para evaluar las oportunidades que tiene la empresa.
- Realizar un balance de los equipos para conocer la capacidad de producción que se podría tener.
- Analizar el ciclo de operación que se tiene para proponer mejoras en el ciclo y tiempos de operación.
- Definir un nuevo sistema de explotación para lograr un mayor control y sistematización.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 UBICACIÓN

Mina La Negra se ubica en el municipio de Pacula, Hidalgo, a 45.4 km al NE de Zimapán Hidalgo. Geográficamente se encuentra en el paralelo 20°58´ de latitud norte y el meridiano 99°21´ de longitud oeste, con una altitud promedio sobre el nivel del mar de 1850 m.

Sus colindancias son: al norte con el estado de Querétaro, al sur con el municipio de Zimapán, al Oeste con el estado de Querétaro y al Este con el municipio de Jacala.



Fuente: Consejo Estatal de Ecología estado de Hidalgo 2004

### SIMBOLOGÍA

- ÁREA PROTEGIDA
- ★ CAPITAL
- CABECERA MUNICIPAL
- Mina La Negra

Figura I- 1 Ubicación de la Mina La Negra

Para llegar a la mina el traslado se realiza por la carretera 085 Tasquillo Jacala, girando a la izquierda en el entronque de la carretera Estancia-Pacula y nuevamente se gira a la izquierda al llegar al entronque con el camino que lleva a las comunidades de El Fraile, El Baile y San Francisco, en donde después de 1.5 km. se encontrarán las oficinas y la mina.

Siendo la carretera Estancia-Pacula su principal vía de comunicación, la Mina La Negra cuenta con los servicios básicos (electricidad, agua potable, drenaje e Internet), se encuentra en medio de las comunidades Milpas Viejas 4.5 km, Saucillo 2.8 km, Jiliapan 7.8 km, San Francisco 4.2 km, El Fraile 6.2 km, y El Baile 9.4 km.; sus principales empleados y obreros provienen de estas comunidades.

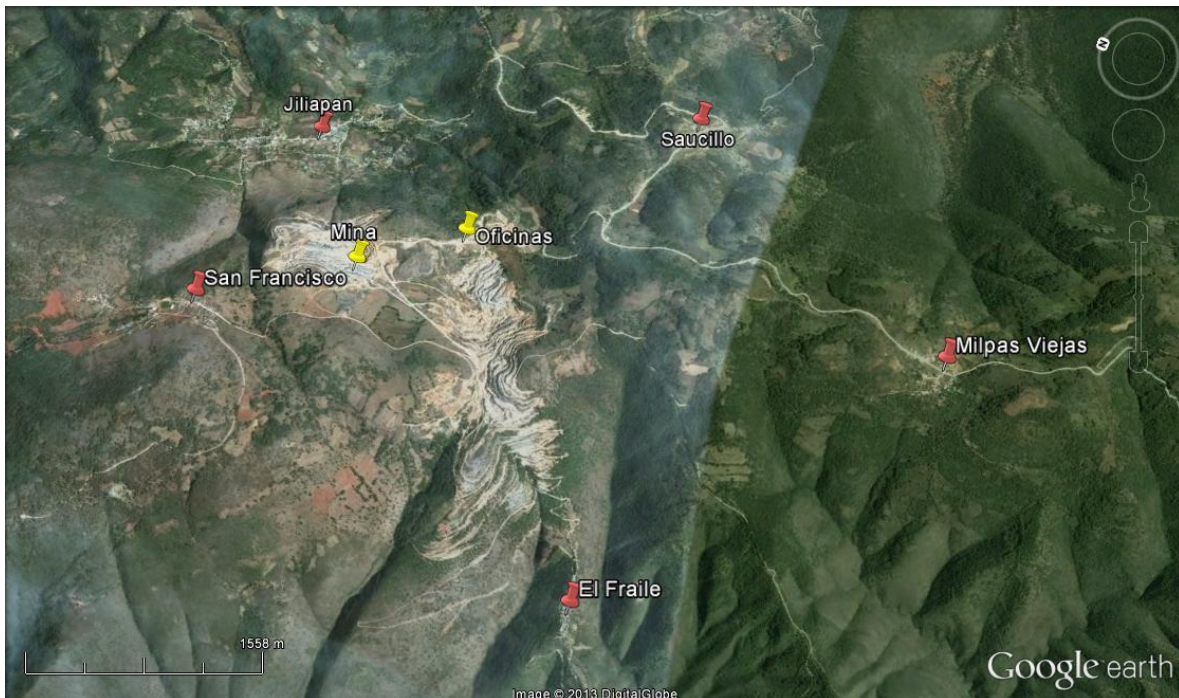


Figura I-2 Ubicación de la mina y comunidades aledañas.

Las vías de comunicación de las comunidades a la mina son caminos de terracería, en cuanto a la población Milpas Viejas cuenta con 196 habitantes, Saucillo 152 habitantes, Jiliapan 575 habitantes, San Francisco 240 habitantes, El Fraile 73 habitantes y El Baile 235 habitantes.

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR

El clima en la región es seco con una precipitación pluvial media de 670 milímetros por año siendo su periodo de lluvias los meses de mayo a septiembre, teniendo como consecuencia una vegetación de tipo pino-encino alrededor de la mina.

El municipio cuenta con una flora muy variada, entre las especies de árboles que se pueden encontrar son el pino, el cedro y el enebro; con los cuales los habitantes de la región elaboran muebles rústicos. También se pueden encontrar flores de ornato como azucenas, rosas, margaritas, hortensias, azaleas, geranios, entre otras.

Entre la fauna con la que cuenta el municipio de Pacula se tienen venados, liebres, conejos, ardillas, coyotes, zorras, tlacuaches; víboras como cascabel y coralillo, aves como: correcaminos, codornices, calandrias, tecolotes, zopilotes, águilas, cuervos, lechuzas, jilgueros, cardenales, cenizotes e insectos como abejas, chapulines, luciérnagas, hormigas y grillos.

### 1.3 INFRAESTRUCTURA

Acerca de los servicios generales con los que cuenta Pacula, se encuentran vías de comunicación, servicios básicos, educación, salud y vivienda.

Pacula cuenta con su acceso principal vía carretera federal y tiene 87.5 km de caminos rurales, tiene 1,290 tomas de energía eléctrica, todas de uso domiciliario cubriendo 12 de las 13 localidades que forman parte de este municipio. Cuenta con 9 sistemas de agua potable, con 596 tomas domiciliarias, atendiendo con este servicio a 10 localidades.

El municipio cuenta con educación inicial, básica y medio superior, las cuales se clasifican por el tipo de programa que desarrollan (CONAFE, general e indígena), la mayoría de las comunidades cuenta con educación inicial y básica, sin embargo la educación media superior sólo se encuentra en Jiliapan con un centro de educación media superior a distancia.

Para atender la salud de la población de Pacula el municipio cuenta con 4 instalaciones, 1 del IMSS Oportunidades y 3 de la SSAH, además de contar con 16 casas de salud que atienden en diferentes comunidades, canalizando a quienes lo necesiten a la cabecera municipal donde las instalaciones son más completas.

En cuanto al número de comunidades, el municipio cuenta con 33 comunidades, en la siguiente tabla se muestran las comunidades más importantes del municipio.

Tabla I-1 Comunidades más importantes de Pacula

<b>NOMBRE DE LA LOCALIDAD</b>	<b>POBLACIÓN TOTAL</b>	<b>POBLACIÓN TOTAL MASCULINA</b>	<b>POBLACIÓN TOTAL FEMENINA</b>
<b>Milpas Viejas</b>	196	81	115
<b>El Baile</b>	235	115	120
<b>Potrerosillos</b>	236	103	133
<b>San Francisco</b>	240	95	145
<b>La Mohonera</b>	376	173	203
<b>Pacula</b>	512	238	274
<b>Vicente Guerrero (Presidio)</b>	535	270	265
<b>Jiliapan</b>	575	257	318

## 1.4 ACTIVIDAD ECONÓMICA

La población de Pacula se dedica principalmente a la agricultura, y ganadería, de igual forma al comercio, turismo y minería en menor proporción. Respecto de la agricultura las tierras son de temporal y se cultivan maíz, garbanzo, alverjón y frijol, en 2010 se sembraron 535 hectáreas de maíz y 185 hectáreas de frijol.

En cuanto a la ganadería se cría ganado bovino, ovino, porcino y caprino, aves de postura y engorda, también se produce miel y cera de abeja.

El comercio es una actividad que se inició en 1974 con un pequeño tianguis todos los domingos en Jiliapan, posteriormente los sábados en Vicente Guerrero y Pacula, donde hasta la fecha se siguen ofreciendo productos de la canasta básica.

El turismo es otra de las actividades económicas de Pacula, por encontrarse en la sierra hidalguense, es un lugar que ofrece diversos paisajes, siendo un buen lugar para pasear, o realizar actividades como acampar.

Con la apertura en la región de la mina La Negra las poblaciones aledañas se han visto beneficiadas, dando la oportunidad a las comunidades de tener otros ingresos y no depender solamente de la agricultura o ganadería. El personal que actualmente labora en mina La Negra es de Zimapán, Milpas Viejas, Saucillo, El Fraile, San Francisco y Jiliapan por ser las comunidades más cercanas a la mina.



## 1.5 MEDIO FÍSICO

El municipio tiene una superficie de 385.10 km<sup>2</sup> lo que representa un 1.85% de la superficie del estado.

Su orografía está compuesta por elevadas mesetas y profundas cañadas, existen montañas constituidas de roca caliza. El municipio de Pacula se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental en un 90%, constituida por pendientes mayores al 15% y una pequeña parte de su provincia es perteneciente a la Huasteca con llanuras e intermontaña con lomeríos.

Al municipio de Pacula lo cruza el río Pánuco y forma parte de la cuenca del río Moctezuma, con 102 cuerpos de agua. Este municipio también está favorecido con una gran variedad de arroyos, 60 pozos y un depósito de agua que se construyó en 1974, con la cooperación de los vecinos, la tubería y la instalación fue proporcionada por la SARH.

La clasificación y uso de suelo en el municipio está de la siguiente manera: 63,380 hectáreas son terrenos ejidales y 25,710 corresponden a la pequeña propiedad, dando como resultado un total de 86,090 hectáreas que comprenden el municipio. Los habitantes del lugar cultivan maíz, frijol, garbanzo y alverjón.

## 1.6 DESCRIPCIÓN DE LA PROPIEDAD

La propiedad de Mina La Negra se encuentra concesionada a la empresa Fosforita de México S.A. de C.V. sin embargo la empresa sólo puede tener acceso a los terrenos que son de su propiedad, ya que por falta de conocimiento de los dueños de los demás terrenos no permiten que la empresa explote sin obtener un beneficio a cambio, es por esta razón que los propietarios de los terrenos toman la función de contratistas, ellos tienen su propio equipo y maquinaria, con la que extraen el mineral que es vendido exclusivamente a Fosforita de México S.A. de C.V.

## 2. GEOLOGÍA

La materia prima para obtener todos los derivados del fósforo se obtiene de minerales con base de fosfato tricálcico que se encuentra en la naturaleza en yacimientos de distintos tipos. Siendo los depósitos sedimentarios los más abundantes sobre la corteza terrestre.

El fósforo (P) es un elemento vital para la vida en general, porque compone todas las cadenas alimenticias, pasando de un organismo a otro. El ser humano adquiere el fósforo de las plantas, directamente o indirectamente a través de los animales (figura II-1).

El fosforo como tal se encuentra normalmente en los suelos donde las plantas lo absorben, pero a veces este es insuficiente para suplir la demanda de los cultivos, por esta razón se debe aplicar en forma de fertilizantes para reponer el fósforo (P) que se extrae en las cosechas y de esta forma asegurar la producción de alimentos para la humanidad, la población futura dependerá de los fertilizantes para poder obtener alimentos de calidad.

De igual manera el fósforo (P) está asociado a minerales con calcio, flúor, aluminio, magnesio y metales pesados como el cadmio y radionucleidos como el uranio. La recuperación económica se limita a los depósitos donde se haya producido una concentración natural.

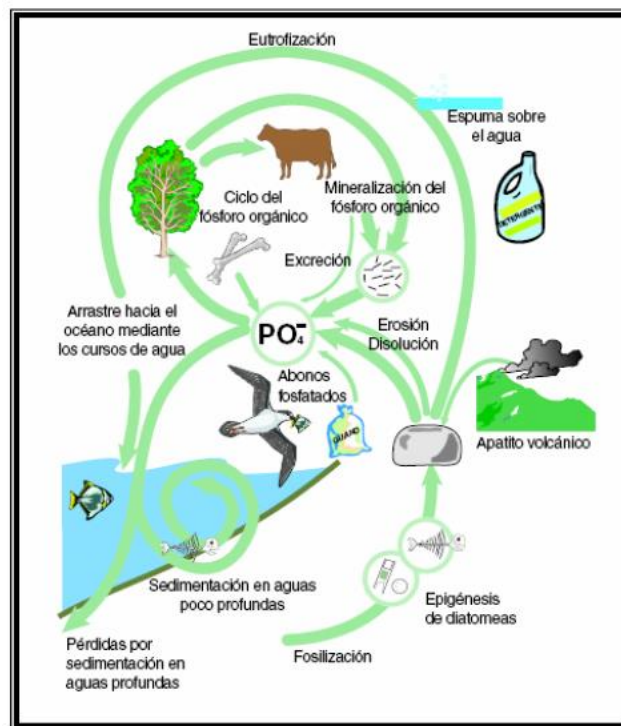


Figura II- 1 Representación del ciclo del Fósforo en la naturaleza (Duvigneaut, 1978).

## 2.1 ROCA FOSFÓRICA

Se denomina roca fosfórica a las unidades litológicas y compuestos químicos que representan alta concentración de minerales fosfatados por procesos naturales, usualmente de la serie apatito – francolita (FAO, 2007; Camacho, 2002). El contenido de  $P_2O_5$  es variable en todos los yacimientos, sin embargo se buscan aquellos que cumplan con un mínimo de 30% de  $P_2O_5$ , como la roca fosfórica de La Negra, para la fabricación de fertilizantes fosfatados y productos químicos.

Las rocas fosfóricas se dividen en dos grupos, que están asociadas a su composición mineralógica, las que contienen menas de apatito (rocas ígneas y metamórficas), y las que albergan menas sedimentarias llamadas fosforitas principalmente como francolita y colofanita. Nothold et al, (1989) divide los depósitos explotables de fósforo en tres tipos:

1. Depósitos sedimentarios marinos o fosforitas, tales como las del Cretácico – Eoceno del Norte de África y Medio Oriente y las del Mioceno del SE de Estados Unidos.
2. Depósitos ígneos, particularmente carbonatitas y otras rocas alcalinas como la Península de Kola en el NW de Rusia, Goiás y San Paulo en Brasil, y Palabora en Sud África.
3. Depósitos insulares (Guano) como los de las islas tropicales del Pacífico y del océano Índico.

La fosforita es la más importante, con más de un 70 % del consumo mundial. El contenido de fosfato de una roca fosfórica se expresa como porcentaje de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ), el cual es un indicador de la pureza del mismo.

Los depósitos de rocas fosfóricas se encuentran alrededor del mundo, y corresponden a distintos modelos genéticos, mencionados anteriormente. El siguiente mapa ilustra los depósitos económicos y potencialmente económicos de fosfatos en el mundo.

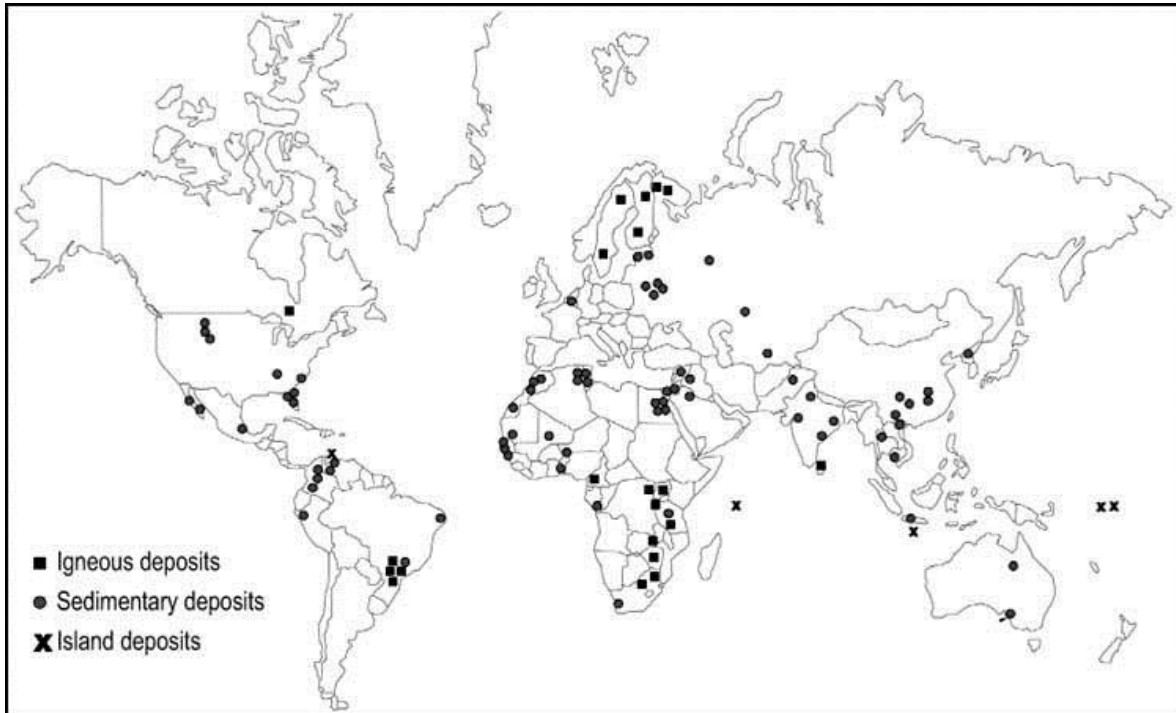


Figura II- 2 Depósitos económicos y potencialmente económicos de fosfatos en el mundo.

La búsqueda de rocas fosfóricas está condicionada por factores paleoambientales relacionados a su vez con la posición de los continentes en determinado tiempo geológico, las características físico-químicas presentes en el área de sedimentación, la profundidad y la temperatura del agua y condiciones particulares de pH, Eh y biota; conociendo dichas características se tendrá un mejor resultado en los yacimientos a explotar.



Figura II- 3 Abundancia estimada en toneladas en los distintos períodos geológicos (Cook y McElhinny, 1979).

## 2.2 FOSFORITA

Las fosforitas se denominan como una formación sedimentaria compuesta por diferentes minerales entre los cuales se encuentran el cuarzo, carbonatos (calcita y dolomita), materiales arcillosos (illita, caolinita y esmectita) y fosfatos, estos últimos representados por fluorapatito criptocristalino, apatito o algún otro mineral que contenga fósforo. El contenido de  $P_2O_5$  es de al menos 18% y puede llegar al 40%.

Su composición es aproximadamente a la fórmula  $Ca_5(PO_4)_3X$ , donde X puede ser sustituido por:  $F^-$ ,  $Cl^-$  u  $OH^-$ , el calcio puede ser parcialmente sustituido por el magnesio, hierro y aluminio, y el grupo  $(PO_4)$  por  $(SiO_3)$ ,  $(CO_3)$  o uranato. En el caso que hayan tenido lugar estas sustituciones, con contenido de  $F > 1\%$  y apreciables cantidades de  $CO_2$  reciben el nombre de francolitas (McConnell, 1973). Las impurezas que pueden llegar a contener principalmente son materia orgánica, sílice, arcillas y caliza.

La francolita es el principal mineral de las fosforitas sometidas a explotación, sin embargo su composición y propiedades no son bien conocidas ya que se presentan como cristales submicroscópicos de composición poco homogénea y su estructura admite gran cantidad de sustituciones, lo que aumenta la complejidad.

Los grandes depósitos de fosforitas se encuentran en muchas regiones del mundo, se produjeron en zonas marinas pocas profundas, en plataformas cerca de la costa.

### 2.2.1 Formación de las fosforitas

Glenn et al, (1994) menciona que la mayoría de las fosforitas fueron depositadas en aguas relativamente someras en márgenes continentales, convergentes, pasivos, con o sin corrientes ascendentes o bien en mares epicontinentales. En el mar el fósforo es esencial para la formación de fitoplancton, que al ser la base de la cadena alimenticia marina, multiplica la vida, de organismos superiores como los peces. Tanto el fitoplancton como los peces al morir se depositan en el fondo de la plataforma marina, sufriendo una degradación que supone la acumulación de sus esqueletos, los cuales sufren una transformación en hidroxapatito y fluorapatito, como consecuencia del continuo reflujó de fósforo por las elevaciones de corrientes frías. También pueden formarse como consecuencia de procesos diagenéticos de reemplazamiento de caliza por el apatito, por sustitución del anión carbonato por el fosfato.

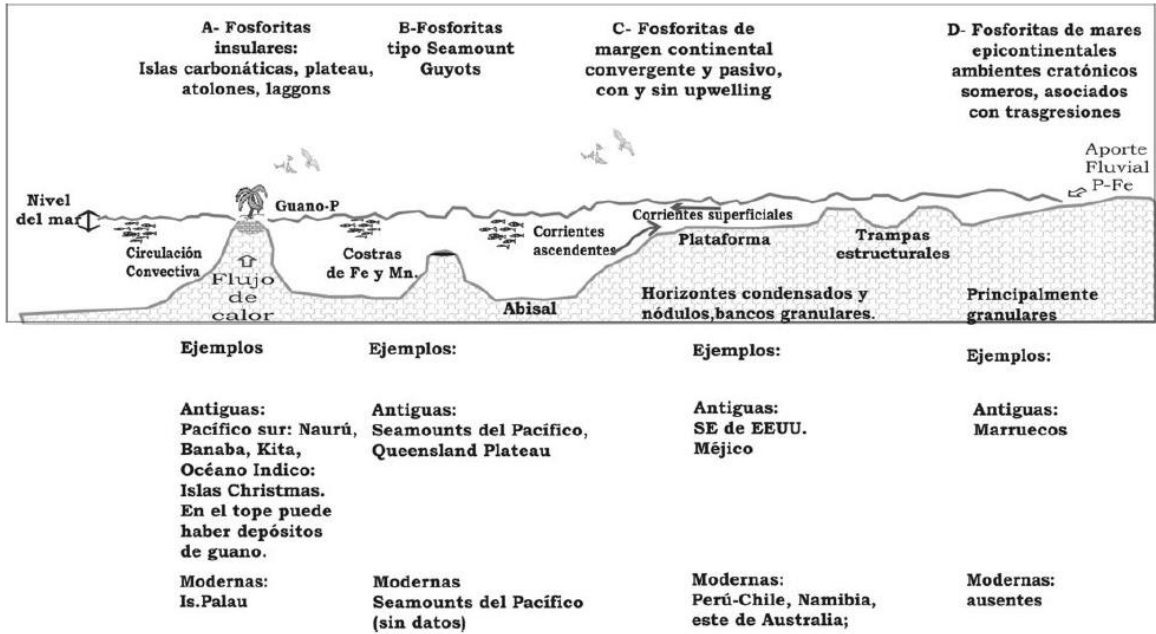


Figura II- 4 Ambientes de formación de las fosforitas a partir del esquema de Glenn et al. 1994.

Las glaciaciones y el enfriamiento global pueden aumentar la circulación oceánica vertical, con la consecuente liberación de fósforo de su estadio primario en profundidad (Sheldon, 1980) y también la conjunción de transgresión con calentamiento global origina un aumento en la meteorización química y el desarrollo de extensos sectores de agua pobre en oxígeno (Arthur y Jenkins, 1981) lo que permite un ambiente propicio para la formación de grandes yacimientos de fosforitas.

Los yacimientos de fosforita pertenecen al grupo de las fluorcarbonato apatitos o francolitas que frecuentemente se encuentran como depósitos de pellets oscuros, compactos, o como nódulos y guijarros de colores claros en una matriz arenosa fosfática en cuerpos estratificados, formando horizontes condensados.

## 2.3 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Para hablar de la geología regional se utilizaron documentos acerca de la geología de Zimapán, por ser un área de estudio más común y por ende con mayor información disponible, además de las cercanía con la mina La Negra. Zimapán, se localiza en la sierra Madre Oriental, que es una cordillera formada por rocas sedimentarias marinas del Mesozoico, que fueron deformadas por acortamiento durante la orogenia Laramide, su actividad produjo pliegues y cabalgaduras, cuya edad no está bien definida, pero en las cercanías de Zimapán abarca probablemente desde el Cretácico Tardío (Suter, 1990), hasta el Paleoceno Temprano (Gray et al., 2001).

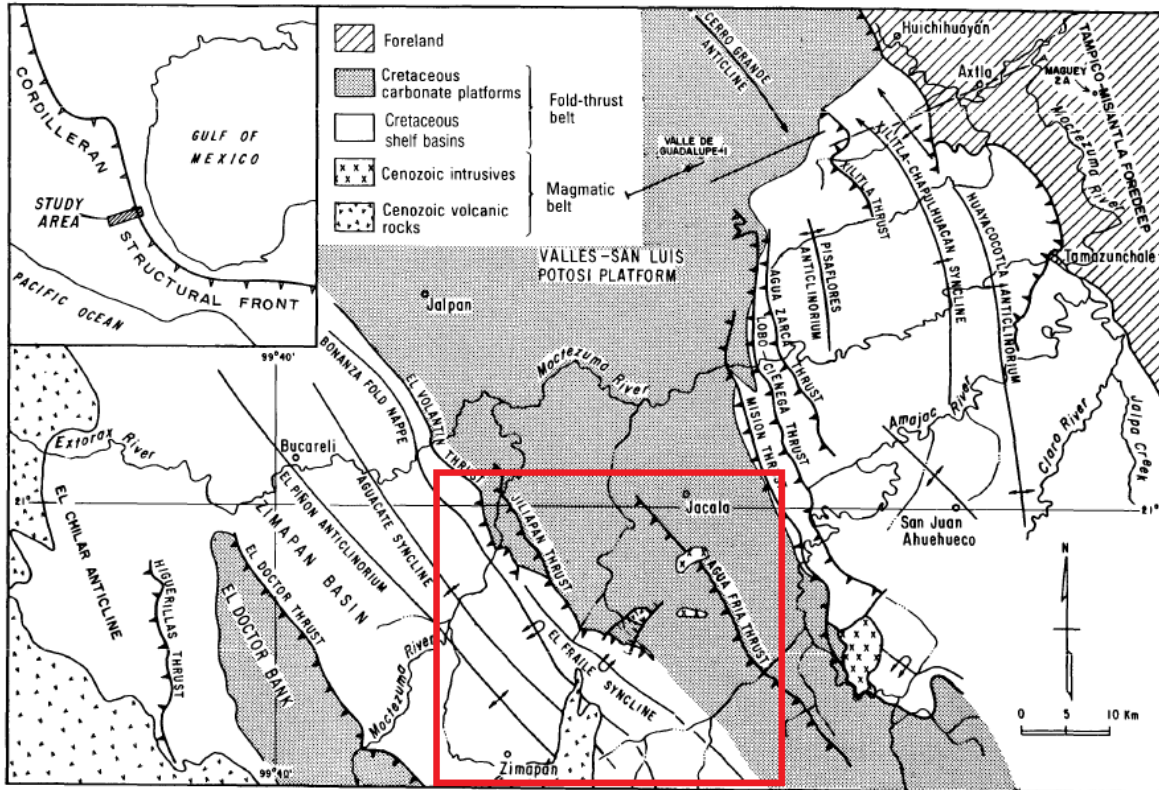


Figura II- 5 Mapa geológico de la región de Zimapán. Estados de Hidalgo y Querétaro (Suter y Carillo, 1982).

En la figura II-5 se pueden observar formaciones de origen ígneo y marino de periodos del Cretácico y Cenozoico. Se describirán las formaciones más representativas; Formación Trancas, El Doctor, Formación Soyatal-Méndez, Plataforma de Valles-San Luis Potosí, Formación El Abra, Formación El Morro, y la Formación Las Espinas.

Las rocas más antiguas datan del Jurásico-Cretácico, las cuales pertenecen a la Formación Trancas, formada por capas de 1 a 2 m de micrita fosilífera con radiolarios, intercaladas con lutitas calcáreas y limonitas ligeramente apizarradas. Su color es grisáceo amarillento, con algunas capas de arenisca gruesa, color café rojizo que consisten en litarenita feldespática con detritos de rocas ígneas y metamórficas (Simons y Mapes, 1957).

Carrillo-Martínez toma como referencia la descripción de la Formación El Doctor descrita por Wilson et al. 1955, la cual consiste de caliza wackestone con rudistas y gasterópodos en estrados de 40 cm a 2 m, de color gris medio, se estima un espesor total de más de 1,000 m.; las características paleontológicas y litológicas de la unidad indican un ambiente de plataforma lagunar en la cual se desarrollaron bancos de rudistas y gasterópodos. Es una plataforma con 4 cambios de facies: La Negra, San Joaquín, Socavón y Cerro Ladrón, formada en el Cretácico Temprano.

La formación Soyatal-Méndez consiste en una secuencia de calizas y margas en la base, con fósiles que van del Turoniano al Maastrichtiano. Estas formaciones aparecen con un espesor máximo aproximado de 1,000 m.

Aguayo (1998) encontró que la plataforma de Valles-San Luis Potosí se caracteriza por un conjunto de rocas carbonatadas del Cenomaniano Inferior, formada en un ambiente donde se rodeaba de mares de aguas profundas, la edad está basada en el estudio de rudistas y algunas amonitas. Trabajos anteriores como el de Quintus (1982) relaciona la plataforma de Valles-San Luis Potosí y la formación Abra con la minería, en particular con el depósitos de roca fosfórica de mina La Negra; estudió la zona de San Francisco, localizada a 49.5 km de Zimapán, Hidalgo, en rocas de la Formación El Abra; según él la presencia de la fosforita de San Francisco es consecuencia de la disolución de los fósiles por exposición subaérea, por otra lado Carrillo (2000) dice: “ se trata de un yacimiento situado en una uvala desarrollada en las facies del borde occidental de la plataforma carbonatada de Valles-San Luis Potosí. El mayor volumen de fosforita es arena, producto de la alteración de la fosforita negra sumamente porosa y yace en el fondo de la uvala con espesores muy variados”.

La formación el Morro está constituida por una secuencia de rocas sedimentarias continentales conglomeráticas, su distribución geográfica está restringida al oeste y noroeste de Zimapán. La localidad tipo en el cerro El Morro está situada en una franja orientada NW-SE de aproximadamente 11 km de largo y anchuras de entre 3.0 y 0.5 m, su orientación corresponde con las alineaciones de las estructuras plegadas mayores del área. Una segunda franja se localiza al oeste de la anterior con una longitud de 4 km y menos de 1 km de ancho. Estas franjas corresponden con la formación de cuencas intermontañas, que se construyeron en las depresiones estructurales entre las montañas, configurando calles rellenas por sedimentos aluviales y fluviales.

De acuerdo con Simons y Mapes (1957) el espesor de la formación EL Morro es variable, desde unos cuantos metros hasta cerca de 400 m, y descansa en forma discordante sobre calizas y lutitas del Cretácico Superior, o sobre las calizas del Cretácico inferior.

La Formación Las Espinas está formada por tobas y lavas andesíticas, las cuales alcanzan un espesor de 250 m en el cerro de Las Espinas, situado al oeste del Cerro del Morro. La litología de las rocas de la Formación Las Espinas son principalmente rocas andesíticas, con menor proporción de lavas basálticas, formadas en varios pulsos magmáticos distintos del Oligoceno tardío al Plioceno.

Los depósitos más recientes del Cuaternario se formaron por actividad volcánica de ese periodo, por lo que formaron conos cineríticos por fisuras.



### 2.4 MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA DE LA MINA

Garrido (2013), generó un mapa geológico a detalle del área de la mina, con una escala de 1:25,000, figura II-6, además, de emplear la simbología, litología y una sección representativa, de esta manera representa la sucesión de eventos geológicos ocurridos que dieron origen a los afloramientos en esta zona de estudio. Se considera también que las trazas de los planos de fallas cambiaron con respecto del mapa geológico tomado de referencia (hoja Zimapán, Carrillo 1997) debido a la escala utilizada, dando como resultado un cambio entre los contactos de las litologías que no afloran en la mina.

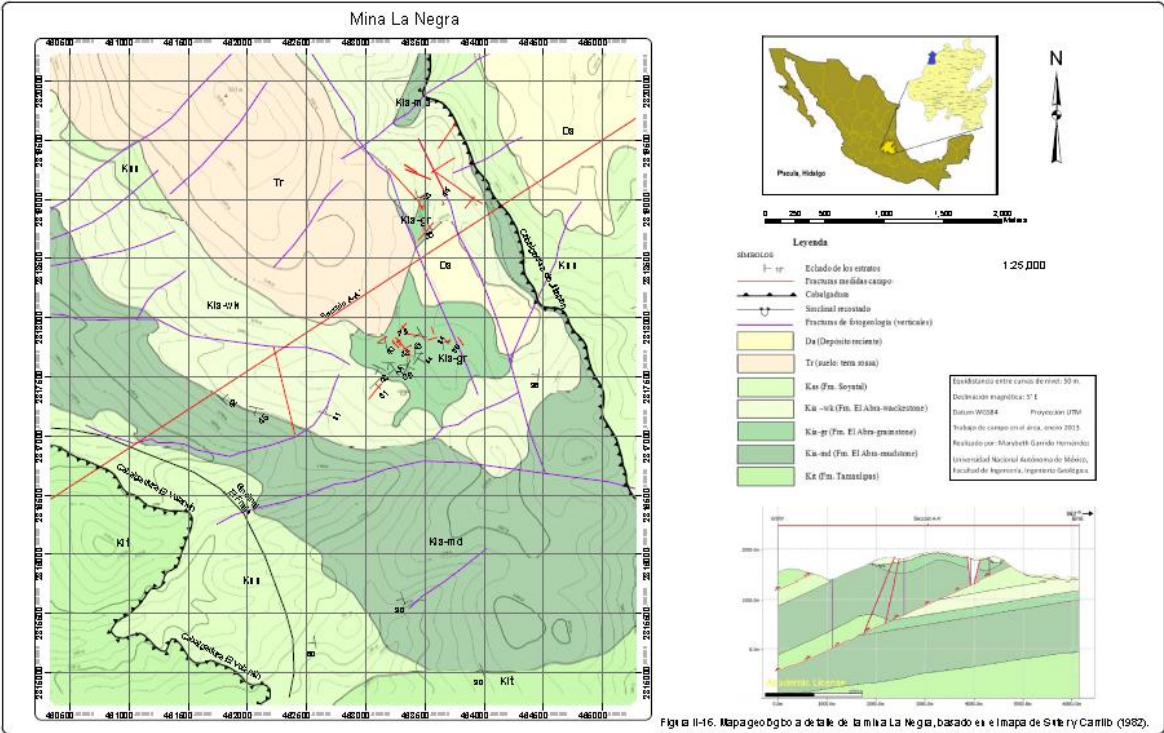


Figura II- 6 Mapa geológico a detalle de la mina La Negra, basado en el mapa de Suter y Carillo (1982).

2.4.1 Estratigrafía

Garrido (2013) construye la siguiente columna estratigráfica con datos obtenidos en campo, observaciones directas y láminas delgadas de diversas muestras de rocas, de igual manera utilizando información de la hoja Zimapán (Carrillo Martínez, 2000).

Formación	Clave de facies	Espesor (m)	Litología	Fósiles	Características
Da		10			Terreros, población, sembradíos
Tr		5			Suelo, terra rossa
Kss	M2	1000		algas gasterópodo rudistas	Plataforma activa
Kia (wk)	Wb	300		foraminífero	Plataforma activa, fosforita en carst
Kia (bs)	Bl	1			Plataforma activa, fosforita
Kia (gr)	Gr	200			Arrecife, fosforita
Kia (md)	Mp	1000		?	Plataforma (zona lagunar)
Kit	W-P-SS	400			Cuenca y talud

Figura II- 7 Columna estratigráfica para la mina La Negra (Garrido, 2013). Claves de facies carbonatadas propuestas por Vera (1994).

La columna estratigráfica muestra 3 principales formaciones: la formación Tamaulipas inferior (Kit), la formación El Abra (Kia), y la formación Soyatal (Kss); los depósitos recientes se dividen en un suelo (Tr) y depósito reciente (Da).

La formación Tamaulipas inferior se caracteriza por depósitos de cuenca y talud, el tipo de roca de esta formación son calizas con nódulos de pedernal y fósiles de tipo foraminíferos. Esta formación no aflora en el área de la mina, pero se considera que su espesor es de 400 metros aproximadamente. Las claves de facies representan wackestones (w), packestones (P) y arenas finas (SS).

La formación El Abra está compuesta por un depósito de aguas someras, en donde se encuentra el mayor contenido de fósiles provenientes del arrecife, es esta la formación que aflora en la mina y que contiene el mineral fosfatado que se extrae para su beneficio, el espesor considerado es de 1,500 metros, para una descripción más adecuada se describió en 4 litofacies principales:

- Facies de mudstone (Kia-md). Estratos de mudstone de la zona de aguas someras cercanos a la plataforma; los estratos tienen espesores que van de a 10 a 20 centímetros y es la unidad más plegada de la formación.
- Facies de grainstone (Kia-gr). Estratos de grainstone de la parte arrecifal, se encuentra en las áreas de mayor altitud, pero su extensión vertical no sobrepasa los 200 metros y lateralmente no parece aflorar al estar cubierta por depósitos recientes, la estratificación varía entre 1 y 3 metros.
- Facies de bindstone (Kia-bs). Son calizas que tienen un contenido algáceo y se distinguen como laminaciones irregulares en la roca, generadas por el movimiento de corrientes de agua durante su depósito. El espesor no excede los 2 metros y su localización fue en los horizontes donde terminaba el contacto entre grainstones y mudstones.
- Facies de wackestones (Kia-wk). Son las rocas de mayor exposición en los tajos, sus espesores varían entre los 40 y 70 centímetros, se encuentra en contacto directo con las mudstones, es decir, son parte del borde de plataforma mientras se formaba el arrecife.

La formación Soyatal (Kss) está formada por calizas intercaladas con margas y bandas de pedernal, no se encuentra expuesta en el área de la mina pero se considera que estuvo sobre la formación El Abra, el espesor total de esta unidad es de 1,000 metros.

Finalmente los depósitos recientes se dividen en dos: un suelo (Terra rossa, Tr) y un depósito generado por el hombre.

- Terra rossa (Tr). Es un suelo de color rojizo por el contenido de hematita formada de restos insolubles de los carbonatos, es arcilloso y funciona como relleno de formas cársticas de las unidades de grainstones y wackestones. El espesor es de 5 metros pero es variado en toda la extensión.
- Depósito reciente (Da). Son depósitos generados por los terreros de la mina, creando niveles de depósito durante todo el tiempo que ha estado en operación la misma.

### 3. ESTUDIO DE MERCADO

Fosforita de México S.A. de C.V. se enfrenta a un problema, a pesar de que tiene una lista amplia de compradores solamente dos son los que mantienen una compra constante, mensualmente, dependiendo prácticamente de ellos.

Actualmente el uso de la roca fosfórica en diversas industrias como la agrícola, ganadera, industria química, médica, siderurgia, colocan a la roca fosfórica como un producto importante, pero las diferentes industrias piden leyes superiores al 30 por ciento de  $P_2O_5$ .

Mina La Negra extrae diferentes materiales con diferentes leyes de  $P_2O_5$  siendo las superiores a 30% las que comercializan en la actualidad, separando el material que no cumpla con esta ley.

Por esta razón se busca un mercado en el cual tenga lugar el material menor a 30% de  $P_2O_5$ , obteniendo un ingreso por dicho material que finalmente generó un costo de producción, de esta forma se busca que los costos de producción por tonelada se reduzcan.

El estudio de mercado justificaría los estudios de factibilidad, que favorezcan las decisiones, unidos a nuevas vías para la introducción de nuevos productos en el mercado nacional e incluso en el mercado internacional.

Con lo anterior se busca caracterizar muy bien los diferentes materiales que se tienen y ofrecer a las industrias un producto de calidad generando una mayor competitividad para la empresa en el mercado.

#### 3.1 ROCA FOSFÓRICA

Los principales productores a nivel mundial son: China, Estados Unidos, Marruecos y Sahara Occidental.

Cerca del 90% de la producción mundial es utilizada para la fabricación de fertilizantes, y el resto para alimentos balanceados, detergentes y productos químicos (FAO 2007).

Se prevé que la capacidad de producción de roca fosfórica en el mundo aumente en casi 20% para 2015. En 2011 totalizó 215 millones de toneladas y se estima que para 2015 llegue a 256 millones de toneladas (CAMIMEX 2011).

El precio de la roca fosfórica a nivel mundial, a principios de 2010 era de US \$90 y al final del último cuatrimestre de 2010 se cotizó la tonelada en US \$150, en comparación con el cuarto trimestre de 2011 la tonelada alcanzó un precio de US \$200, esto por las constantes interrupciones por cuestiones legales vinculadas a

la producción por parte de la empresa Mosaic del Sur en Fort Meade, y la inestabilidad política en Túnez y Siria.

El producto comercial es la roca fosfórica beneficiada con el contenido de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) adecuado para la producción de ácido fosfórico que se utiliza como materia prima para la producción de fertilizantes granulares y líquidos así como para la fabricación de alimentos balanceados. En el caso de México, se importa  $P_2O_5$  en concentrado de roca fosfórica con contenidos mayores al 30%, procedente de Marruecos.

### 3.2 FOSFORITA

Datos de la CAMIMEX e INEGI determinan que a nivel mundial se produjeron 191 millones de toneladas de fosforita, dejando a México en la posición décimo quinta con una producción de 1.69 millones de toneladas durante el 2011.

Tabla III- 1 Producción mundial de fosforita. Fuente: Mineral Commodity Summaries, 2012.

País/Año	2010	2011
	MT (Miles de Toneladas)	
<b>China</b>	68,000	72,000
<b>Estados Unidos</b>	25,800	28,400
<b>Marruecos y Sahara Occidental</b>	25,800	27,000
<b>Rusia</b>	11,000	11,000
<b>Túnez</b>	7,600	5,000
<b>Brasil</b>	5,700	6,200
<b>Jordania</b>	6,000	6,200
<b>Egipto</b>	6,000	6,000
<b>Israel</b>	3,140	3,200
<b>Siria</b>	3,000	3,100
<b>Australia</b>	2,600	2,700
<b>Sudáfrica</b>	2,500	2,500
<b>Argelia</b>	1,800	1,800
<b>México</b>	1,510	1,620
<b>India</b>	1,240	1,250
<b>Senegal</b>	950	950
<b>Tongo</b>	850	800
<b>Perú</b>	791	2,400
<b>Canadá</b>	700	1,000
<b>Otros</b>	6,019	7,880
<b>Total</b>	181,000	191,000

3.2.1 Mercado nacional

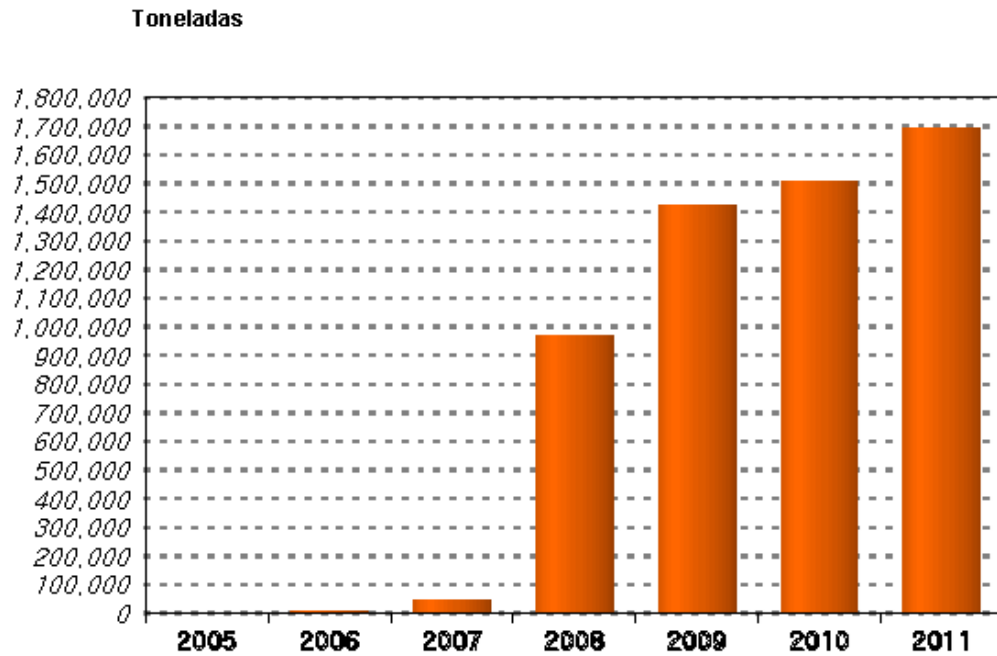


Figura III- 1 Producción de fosforita en México 2005-2011. Fuente Anuario Estadístico de la Minería Mexicana Ampliada. SE.

Datos obtenidos de la Secretaría de Economía mencionan que la producción nacional de fosforita en 2011 fue de 1'690,606 toneladas, dicha cifra representó un valor de 1,108.7 millones de pesos. Considerando únicamente a Baja California Sur como el único productor de fosforita en nuestro país.

La figura III-2 muestra el volumen y valor de la producción de la roca fosfórica, en la que se puede observar un incremento del 12% en el año 2011 respecto del 2010, pero también se observa una disminución del 13% en el año 2011 respecto del 2010 en los precios de la roca fosfórica.

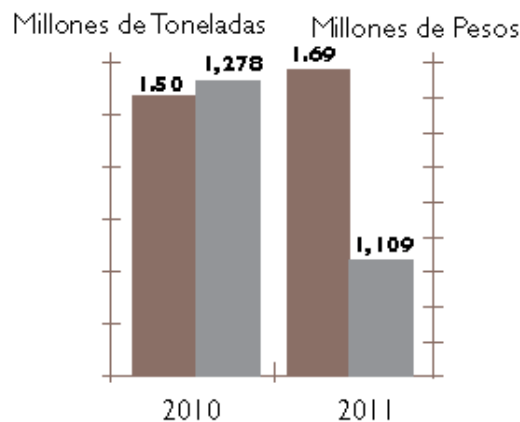


Figura III- 2 Volumen y valor de la producción de fosforita. Fuente: INEGI.

Los precios de los fertilizantes dependen en gran medida de los de las materias primas en el mercado internacional, que fueron afectadas por la crisis de 2009. Otros factores como el descenso del precio del petróleo, gas natural y los precios de los productos agrícolas han determinado la caída de los precios de los fertilizantes.

Durante los años 2002-2006 el principal productor de fosforita en México no produjo debido a los problemas originados por el huracán Juliette que causó daños en Baja California Sur. En este periodo los estados de Nuevo León y San Luis Potosí fueron los únicos productores.

En los últimos años la producción ha ido a la alza, las importaciones entre el periodo 2005-2008 se mantuvieron en un rango de 800,000 a 1'000,000 toneladas aproximadamente, sin embargo para el año 2009 cayeron de manera importante debido al incremento de la producción nacional, pero nuevamente en el 2010 las importaciones tienen un repunte para caer levemente en el 2011.

El 2011 representó una producción de 66% y las importaciones 33% del consumo nacional aparente de fosforita para el periodo 2005-2011.

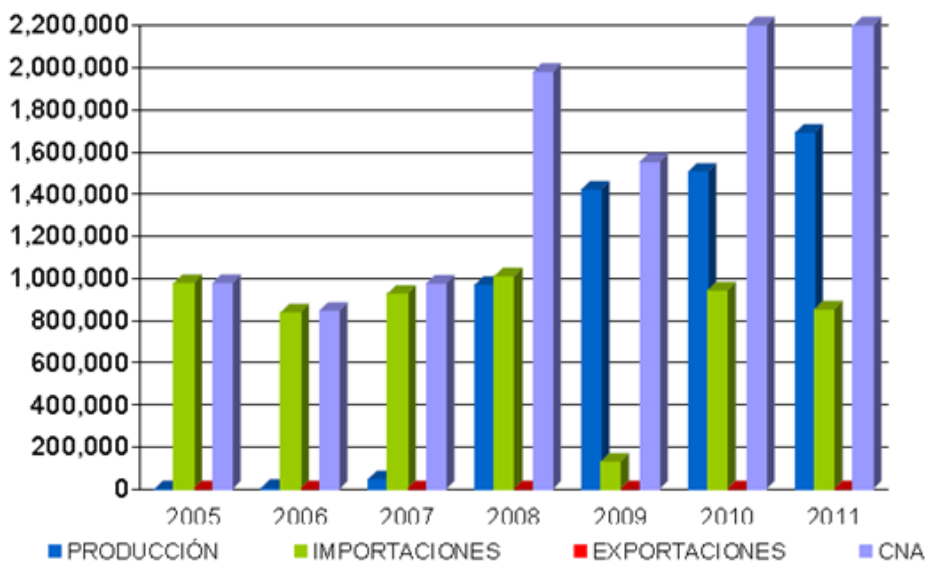


Figura III- 3 Consumo Nacional Aparente de Fosforita 2005-2011 (Toneladas).

### 3.2.2 Comercio Exterior

La figura III-4 muestra la balanza comercial de fosforita del periodo 2005-2011 en la cual se puede observar saldos negativos, esto debido a que las importaciones se han realizado en montos de varias decenas de millones de dólares respecto de las exportaciones que sólo han sido de algunos miles de dólares. Lo anterior debido a

que la producción que genera el país es insuficiente para satisfacer la demanda nacional de fosforita (Secretaría de Economía).

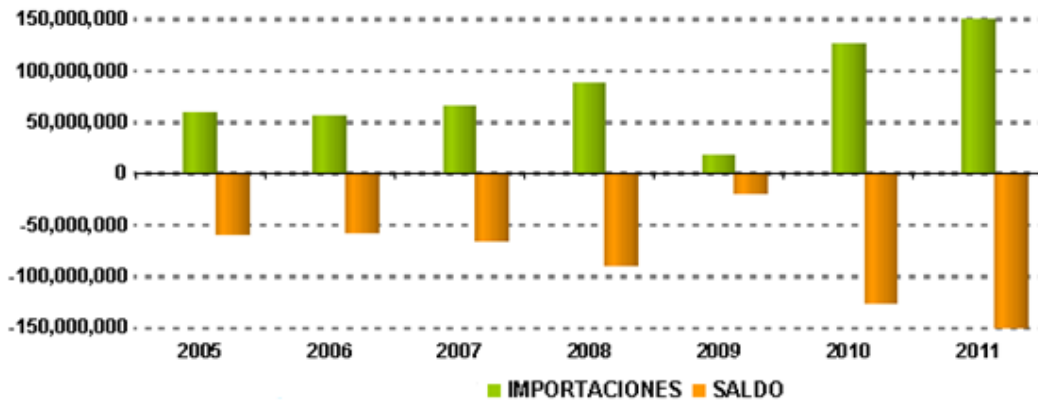


Figura III- 4 Balanza comercial de la fosforita 2005-2011 (Dólares). Fuente: Sistema de Información Comercial de México. SICM

### 3.2.3 Exportaciones e importaciones

Las exportaciones de fosforita son enviadas primordialmente a Costa Rica y Argentina, en el 2011 representaron un volumen de 13 toneladas, lo que significó 12,563 dólares.

A diferencia de la exportaciones las importaciones de fosforita sumaron 149.9 millones de dólares para el 2011, en términos de volumen sumaron 852,977 toneladas, como ya se ha mencionado anteriormente la fosforita importada proviene principalmente de Marruecos, el tercer productor de fosforita a nivel mundial, de Perú, Jordania y Estados Unidos.



Figura III- 5 Exportaciones e Importaciones de fosforita. Fuente: Sistema de Información Comercial de México. SICM



## 3.3 PRINCIPALES USOS

### 3.3.1 Fertilizantes

El uso principal de la roca fosfórica es en la producción de fertilizantes químicos, así como en la fabricación de insecticidas, debido a que el fósforo actúa como nutriente de las plantas, que estimula el desarrollo del sistema radicular y el establecimiento temprano de las plantas.

El fósforo es muy importante en la función reproductiva de las plantas además de complementar su ciclo normal de producción, durante los procesos de fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división celular, alargamiento celular y muchos otros, también es un nutriente vital para la formación de semillas y permite a las plantas soportar inviernos muy fuertes.

Las rocas fosfóricas tienen escasas oportunidades de sustitución o reciclado (FAO 2007) por esta razón la industria de los fertilizantes consume cerca del 90% de la producción mundial de roca fosfórica.

### 3.3.2 Alimentos

Otra de las grandes industrias que requieren el fósforo son los alimentos que abarcan el procesamiento de gelatina, polvos para hornear, como acondicionador de sal comestible, refinación de azúcar. El ácido fosfórico es usado en la manufactura de fosfatos de calcio para alimentos de animales.

En la industria de los lácteos y embutidos se utiliza en su forma  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  para la fabricación de quesos y como emulsionante, como aditivo en el jamón evita la pérdida de agua.

En la panadería se utiliza en forma de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  para las levaduras artificiales que hacen más ligeras a las masas. También se utiliza en forma de  $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$  como acidulante para la preparación de la masa del pan.

Para el tratamiento de carnes de pollo y pescado se utiliza como fosfatos de sodio, en mezclas para hornear como acidulantes, y en el procesamiento de la papa como pirofosfatos.

### 3.3.3 Productos químicos

En la industria química se emplea para la fabricación de cerillos, fuegos artificiales y como retardadores de fuego en ropa, alfombras y cortinas, también se utiliza en artículos para el hogar como en la elaboración de limpiadores y detergentes, el ácido fosfórico es usado en la manufactura de pólvora.

El trifosfato se utiliza como dispersante en fabricación de cementos y ladrillos y disminuye la cantidad de agua para hacer las pastas.

Otra aplicación en esta industria es para el fosfatizado de las superficies metálicas, esto reduce los riesgos de corrosión de los metales, los aísla eléctricamente y mejora el pintado de los metales, así como para la limpieza de los mismos y para la manufactura de láminas metálicas magnéticas.

#### 3.3.4 *Farmacéutica*

Se utiliza en la fabricación de antibióticos y otros productos médicos y dentífricos, en este último, el  $\text{CaHPO}_4$  se utiliza como abrasivo en pastas de dientes y en forma de  $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$  (pirofosfato de calcio) se añade en pasta de dientes con flúor, por no interferir en compuestos que contienen flúor.

#### 3.3.5 *Otras aplicaciones*

Se emplea en el tratamiento de agua; para la elaboración de suavizadores de agua y en el tratamiento de la misma, su uso previene la formación de incrustaciones, controla los fenómenos del agua negra y el agua roja. Para la fabricación de detergentes y jabones, para ablandar el agua ya que forma complejos solubles con  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Fe}^{+3}$ . Evita que se formen espumas insolubles de jabón cuando se lava con aguas duras.

En las bebidas el ácido fosfórico es utilizado como acidulante, en la metalurgia para la limpieza de metales y anticorrosión. En la industria petrolera se utiliza para la elaboración de lodos de perforación y líquidos hidráulicos, siendo el trifosfato el que mejora las propiedades mecánicas de los suelos.

En la industria de los lubricantes se utiliza en aditivos para lubricantes y plastificantes, en la pirotecnia para la elaboración de cortinas de humo y gases lacrimógenos, en la industria textil en el tratamiento de sedas, en productos metálicos, para hacer balas, bombas incendiarias y granadas de mano.

#### 3.3.6 *Aplicación Directa*

Estudios recientes buscan mejorar las técnicas de agricultura a nivel global, mejorando la calidad de los suelos, dichas técnicas consisten en ser accesibles a los agricultores que no cuenten con los recursos suficientes para la compra de fertilizantes comerciales.

Una alternativa es la aplicación directa de roca fosfórica en los campos de cultivo, que no cumplan las normas de calidad requeridas para la producción de fertilizantes o bien que los yacimientos sean muy pequeños para justificar su explotación minera y su procesamiento.

Diversos autores han indicado que las rocas fosfóricas son adecuadas para la aplicación directa, siendo las rocas fosfóricas de origen sedimentario las más aptas para este método, porque consisten de agregados de microcristales ampliamente abiertos y débilmente consolidados, con un área específica relativamente grande.

Entre las ventajas de esta práctica se tiene un mínimo procesamiento y por ende una disminución de contaminantes por su proceso de beneficio, protegiendo al medio ambiente de la contaminación industrial. En cuanto a los costos, la aplicación directa resulta ser más económica que la utilización de fertilizantes. Por su composición química la roca fosfórica no sólo aportaría a las plantas fósforo sino varios elementos nutritivos.

Es necesario mencionar que dicha práctica está en vías de desarrollo pero que sin duda representa una gran oportunidad para las rocas fosfóricas que actualmente no cuentan con los requerimientos comerciales además de ofrecer una gran oportunidad para generar una agricultura sostenible para muchos países.

## 4. CONDICIONES ACTUALES DE LA EMPRESA (JUNIO 2012)

Mina La Negra ha estado en operación cerca de 40 años, desde 1971, sin embargo ha tenido que interrumpir sus operaciones, debido principalmente a circunstancias económicas, pero finalmente en el año 2008, se pone en marcha nuevamente la explotación para obtener una producción mensual de 6,000 toneladas de fosforita, la cual es procesada para alcanzar el contenido de  $P_2O_5$  que requieren sus dos principales compradores, 33%.

La figura IV- 1 muestra el croquis de la mina, donde se pueden ver las 4 áreas de explotación, los tiraderos, el patio de mineral, el taller mecánico, las oficinas y los polvorines.

En 2008 la empresa inicia la explotación en el área 1, sin embargo, por condiciones de estabilidad deja esta área para trasladar la explotación al área 2 a inicios del 2013. Las áreas 3, 4 y parte del área 1 son explotadas por los diversos contratistas que venden el mineral extraído de estas áreas a la empresa.

Los contratistas son los dueños de los terrenos donde se encuentra el mineral y por esta razón ellos son los que explotan y venden el mineral de sus terrenos a la empresa, los precios son variados los cuales están en función del contenido de  $P_2O_5$ , por ahora el costo por la compra por tonelada de mineral de los contratistas es menor que el costo de producción por tonelada de la empresa, por lo que se busca que los costos de producción disminuyan.

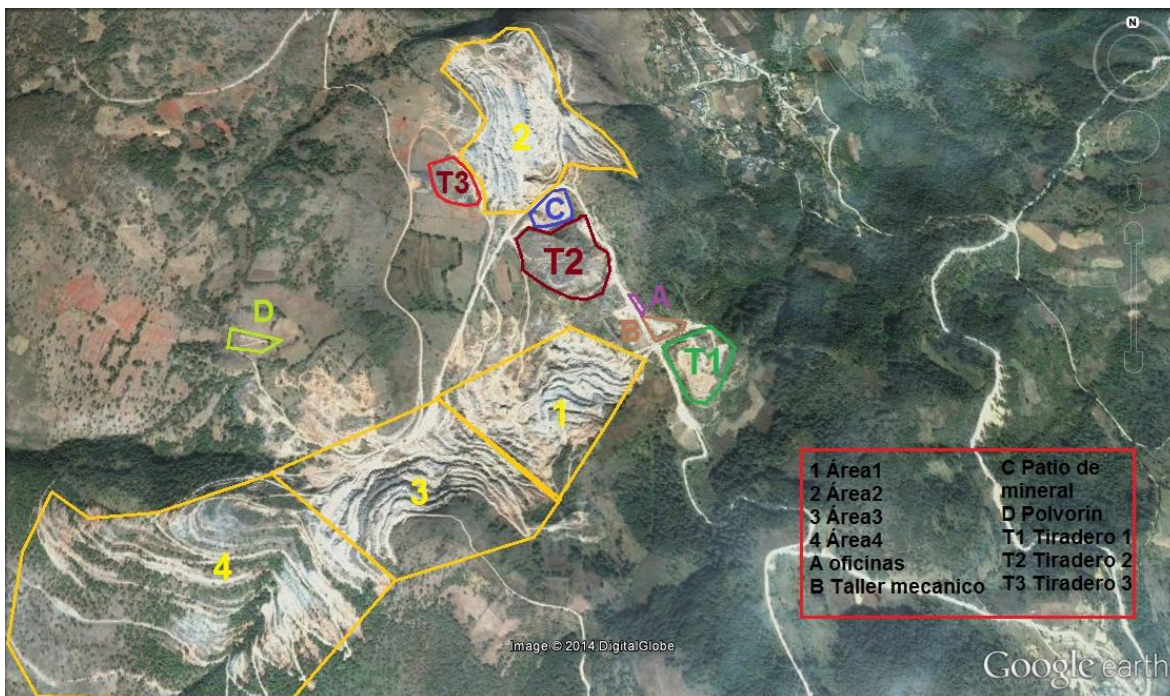


Figura IV- 1 Croquis de la mina La Negra.

La Mina cuenta con la infraestructura requerida para poder operar diariamente, oficinas, taller mecánico, laboratorio, comedor, dormitorios, de la misma forma cuenta con los servicios básicos (electricidad, agua potable, drenaje, e Internet), pero, debido a los años en lo que se vio interrumpida la operación, la Mina quedó abandonada, ocasionando daños tanto en la infraestructura como en los servicios básicos.

Con la nueva administración a partir de 2008, a dichos problemas se les ha dado solución, generando un mejor ambiente de trabajo, sin embargo las tareas aún continúan. El taller mecánico, es un ejemplo de ello, en el cual el superintendente de mantenimiento mina y el jefe de taller trabajan en acondicionarlo de manera adecuada para poder proporcionar el servicio necesario a los equipos existentes, de la misma forma trabajan en los programas de mantenimiento preventivo y correctivo. Sin embargo aún se enfrentan a problemas como: la falta de herramienta y refacciones, lo que genera falta de espacio en el taller para los equipos que están en operación y que llegan a necesitar servicio.

Mina La Negra también cuenta con un laboratorio de análisis químico, el cual se encarga de realizar los muestreos del material a embarcar, tanto para los contratistas como para el mineral propio, con la función específica de garantizar que el material que sea enviado a la planta contenga como mínimo 30% de  $P_2O_5$ .

El laboratorio cuenta con un área muy amplia, otro de los cambios que se están realizando es darle un mantenimiento adecuado a los equipos, como resultado ahora los análisis son más confiables.

En cuanto a las oficinas, comedor y dormitorios son espacios que se han recuperado y acondicionado de forma óptima en beneficio de todos los trabajadores.

## 4.1 PROCESO DE EXPLOTACIÓN-MINA

En mina La Negra la fosforita se encuentra en cavidades cilíndricas llamadas por los trabajadores como “guatos”, dichas estructuras varían en dimensiones y características físicas de la fosforita, generando un problema para su extracción, por el hecho de que los guatos pueden llegar a ser muy angostos o profundos donde el equipo con el que se cuenta no puede utilizarse por la diferencia de dimensiones, por lo que, se tiene que recurrir a extraerlo de forma manual (pala y carretilla), otro problema al que se han enfrentado los ingenieros de la mina es la geología, pues lo que se conoce de geología hasta el momento ha sido por observación directa durante la operación, debido a falta de un estudio geológico que explique la formación de los guatos.



*Figura IV- 2 Extracción manual del mineral.*

Garrido (2013) realizó el trabajo más actual para construir un modelo geológico, donde hace la observación que los guatos tienen un patrón de repetición y orientación, de la misma forma menciona que es difícil conocer las dimensiones de los guatos sin un estudio geofísico del área.



*Figura IV- 3 Guatos explotados en diferentes niveles.*

Dadas las condiciones que en un principio se encontraba el mineral, el método de explotación seleccionado fue a cielo abierto el cual se continúa hasta la fecha, generando bancos con una altura aproximada de 10 metros, pero en otras zonas las alturas superan los 10 metros esto debido a que su explotación se lleva con una dirección E-W, es decir que el banco anterior al que se explota se pierde generando una pared de hasta 20 metros de altura o más. El ancho de los bancos tiene como mínimo 5 metros, para el acceso de los equipos. El ángulo de los bancos es de aproximadamente 60 grados.

La roca encajonante es caliza que presenta fracturamiento, pero a pesar de esto ha permitido que la estabilidad de la mina se considere alta. También se encuentra material arcilloso el cual genera un problema para el mineral pues diluye el contenido de  $P_2O_5$ .

Los caminos de acceso también tienen como mínimo 5 metros de ancho, lo suficiente para el acceso de los equipos, pero se pretende que aumente el ancho por cuestiones de seguridad, de la misma manera se planea disminuir la pendiente en algunos casos.

Otro factor importante a considerar es el clima, por el hecho de que en temporadas de lluvias la explotación se ve afectada por el agua, reduciendo la productividad en

un 50 por ciento, además de generar condiciones inseguras en toda la operación, por la falta de visibilidad y las condiciones de los caminos por el material arcillooso.



*Figura IV- 4 Afectaciones por el clima. La neblina no permite ver más allá de 3 metros, en los caminos de genera encharcamientos.*

La mina cuenta con 4 tiraderos, el tiradero 1 se encuentra al entrar a la mina, el cual ya se encuentra en una etapa de forestación, el tiradero 2 y 3 son los que actualmente están en operación y el tiradero 4 está en la parte norte de área 2, en abandono.



El proceso de explotación es el siguiente:



Figura IV- 5 Ciclo de minado.

#### 4.1.1 Barrenación

A diferencia de una barrenación normal, en la cual se tiene un diseño donde se busca una fragmentación y desplazamiento adecuado del material, en Mina La Negra la barrenación se realiza sin seguir una distribución ordenada ya que sólo se busca fragmentar la roca para su posterior acarreo. La granulometría que se puede observar después de la voladura es de  $\frac{1}{4}$ " hasta 100", y por la dimensiones de dichas rocas se tiene que realizar una voladura secundaria (moneo), para que el equipo puede realizar el acarreo.

La barrenación se realiza con máquinas neumáticas a profundidades de 0.8 m hasta 3 m, con un diámetro de 1.5". La profundidad del barreno estará en función de la calidad de la roca, en ocasiones se encuentra muy fracturada lo que ocasiona que las barras se atoren o se pierdan, por lo que los barrenos no alcanzan los 3 m de profundidad.



Figura IV- 6 Barrenación con maquina neumática.

#### 4.1.2 Cargado y voladura

El cargado se realiza los días jueves de cada semana, es de forma manual, consiste en introducir el alto explosivo con el fulminante y la cañuela, posteriormente el barreno se llena con el ANFO. Una vez que todos los barrenos estén cargados, se procede a realizar la voladura, se realiza en la hora de la comida para tener la menor cantidad de personal en las áreas a volar, normalmente se enciende un promedio de 60-80 barrenos para lo cual se dispone de 6 trabajadores que lo realizan de forma manual.

El tipo de explosivo que tiene permitido la empresa es el siguiente:

Tabla IV- 1 Tipo de explosivo y su precio en dólares.

Explosivos y Artificios	Unidad de Medida	Costo USD
Amex UG (ANFO)	kg	0.88
Magnafrag 1 1/2"X8"	kg	2.89
Magnafrag 1"x8"	kg	2.71
Cañuela	m	0.31
Fulminante	pza	0.25



*Figura IV- 7 Proceso de Cargado.*

#### *4.1.3 Acarreo de material estéril y mineral*

Posteriormente a la voladura la maquinaria (excavadoras) se encarga de estabilizar el terreno y amacizar la pared del banco para evitar desprendimientos de roca que puedan ocasionar un accidente.

Utilizando los 4 camiones TEREX TA30 y la excavadora CAT 330C L se realiza el acarreo del material estéril a uno de los tiraderos, y del mineral a un patio en el cual un grupo de trabajadores se encarga de eliminar los excedentes de roca caliza que puedan generar hasta una dilución del 10% y aumentar el tonelaje, además de orear el mineral para perder un poco de humedad.

El acarreo se realiza en un tiempo de 15 minutos considerando el ciclo de operación de la excavadora y de los camiones, obteniendo 98 ton/h por unidad.

En el patio se clasifica el mineral y se generan los compósitos que posteriormente serán transportados a la planta de beneficio.

El transporte a la planta se realiza con camiones tipo Torton de 22 toneladas y camiones tipo Rabón de capacidad 11 toneladas. Estos camiones pertenecen al sindicato nacional de transportistas, de las secciones 69 y 156.

## 4.2 PROCESO DE BENEFICIO-PLANTA

El proceso de beneficio inicia con la recepción del mineral, el cual es pesado y colocado en los patios de la planta, inmediatamente de la recepción, es muestreado y clasificado para determinar la calidad y la humedad.

Con ayuda de un cargador frontal se extiende con el propósito de eliminar humedad y material estéril, este proceso dura aproximadamente 4 horas, reduciendo la humedad a un 10 %, en los meses de precipitación pluvial se genera un problema para esta operación pues el material se moja, lo que provoca una baja eficiencia en el área de trituración. Este proceso se debe llevar a cabo, por las características físicas que presenta el mineral, su tratamiento resulta difícil si el porcentaje de humedad fuera mayor, provocando problemas en el área de trituración obstruyendo las cribas y trituradoras además del incremento de combustible en los hornos.

Posteriormente el material es rezagado al área de trituración con otro cargador frontal, donde se reduce a un tamaño aproximado de  $-1 \frac{1}{2}$ ". El área de trituración consta de dos etapas, una trituración primaria y otra secundaria. En la etapa primaria se emplea una quebradora de quijada, con ayuda de una criba el mineral es clasificado, el mineral que ya esté con un tamaño inferior a  $-1 \frac{1}{2}$ " es enviado a la tolva que alimenta al camión que transporta el mineral a uno de los dos hornos, el mineral que esté por encima de dicha granulometría es enviado a la trituración secundaria, quebradora de rodillos, una vez triturado es recirculado a la criba, para clasificarlo nuevamente.

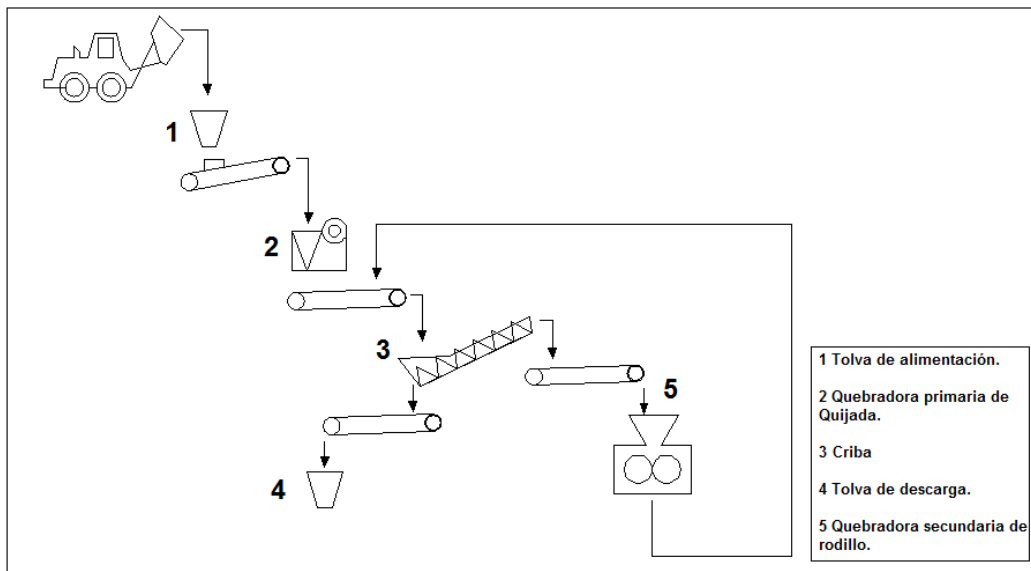


Figura IV- 8 Diagrama de operación del área de trituración.

El proceso continúa con el secado, el cual se lleva a cabo en los dos hornos, con su respectiva área de trituración para obtener un producto con el 2% al 3% de humedad y un tamaño de  $- \frac{1}{2}$  ".

Actualmente los dos hornos no trabajan simultáneamente, es decir, en una semana, sólo un horno trabaja 16 horas (2 turnos) durante 3 días, los factores para determinar qué horno es el que va a estar en operación, son la disponibilidad del combustible, el mantenimiento preventivo y correctivo, o algún problema durante la operación del horno en funcionamiento.

El horno 1, tiene una extensión de 27 m y opera en contraflujo, el quemador lo tiene en el extremo opuesto a la alimentación lo que permite que el secado del material sea el óptimo. El sistema de alimentación es por medio de un sistema compuesto por una tolva y banda, su funcionamiento es con base en combustóleo teniendo un consumo de 13 litros por tonelada en temporada de lluvias y 10 litros por tonelada en temporada seca. Este horno cuenta con un sistema que permite la absorción de los polvos hacia el extractor y al encontrarse con el material de alimentación se aglomera en forma de pellets disminuyendo la descarga de finos y aumentando la granulometría de la descarga, +60 mallas, requerimiento de los clientes.

Dicho horno descarga en una criba para clasificar el material que ya cumpla con la granulometría de  $- \frac{1}{2}$  ", el material de sobre tamaño es alimentado a una quebradora de rodillos y se recircula a la alimentación de la criba.

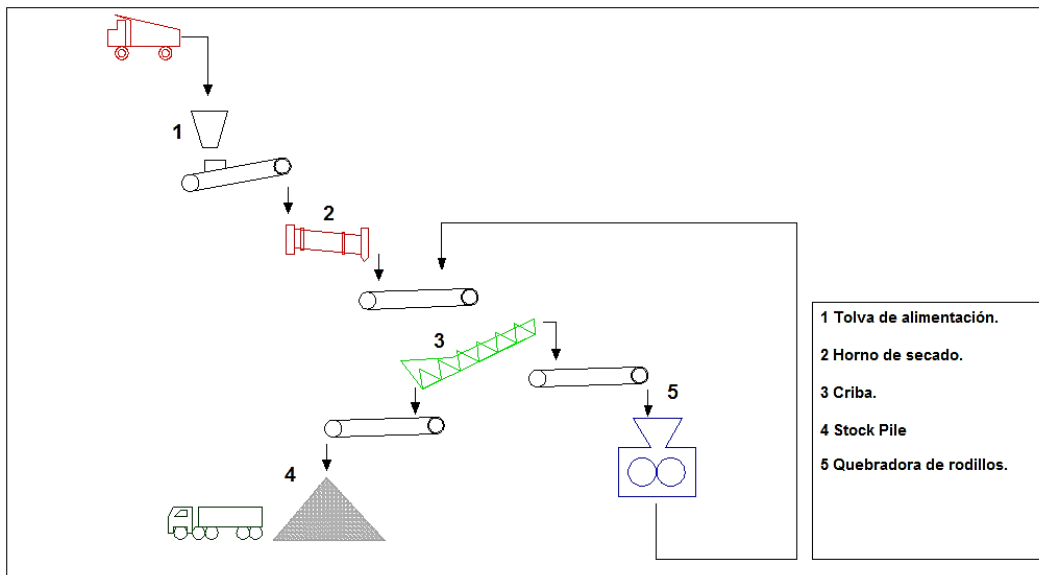


Figura IV- 9 Diagrama de operación del Horno 1.

El horno 2, tiene una longitud de 40 metros, a diferencia del horno 1, este tiene el quemador del mismo lado que la tolva de alimentación y cuenta con un sistema automático para controlar la inyección del combustible. El combustible utilizado en este horno es una combinación de coque y diésel a razón de 11 kg de coque y 5 litros de diésel por tonelada de mineral. El problema que genera este horno es que los elevadores del horno trabajan como medios de molienda reduciendo aún más la granulometría del producto final y generando más finos de lo que se esperan. La descarga de este horno es sobre una banda que alimenta una criba, el material que cumpla con la granulometría es enviado a la bodega donde se almacena el mineral antes de ser embarcado; por otro lado, el material que no cumpla con la granulometría es alimentado a una quebradora de impacto y recirculado a la criba nuevamente.

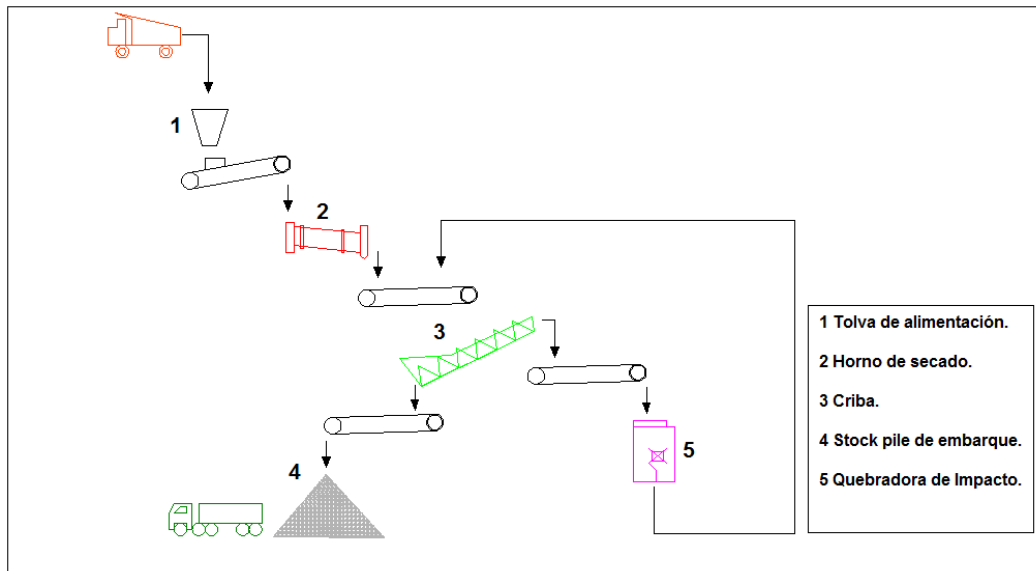


Figura IV- 10 Diagrama de operación del Horno 2.

El producto es almacenado en bodegas de mineral, finalmente el producto es embarcado para los clientes, principalmente Nutrimientos Minerales y Agrogen.

#### 4.2.1 Productos

La planta genera 4 productos, en función del contenido de  $P_2O_5$ , en el año 2012 la producción fue la siguiente:

Tabla IV- 2 Productos actuales de la planta de beneficio.

Ley	Toneladas
>30	59,344.77
29.9 - 29	24,761.21
28.9 - 28	12,265.08
- 27.9	109.79
	96 480.85

Los productos que se manejan son:

1. Producto directo mayor al 30%  $P_2O_5$
2. Producto a granel
3. Finos
4. Jales

Para el primer producto sólo es necesario que cumpla con la granulometría y contenido de humedad necesaria, en función del tonelaje que se tenga se puede utilizar para generar el compósito final con los materiales menores al 30% de  $P_2O_5$ . El producto número 2 es un compósito del material de 28 a 29.9%  $P_2O_5$ , el cual es procesado, y enriquecido con el material mayor a 30% para poder subir el contenido de Pentóxido requerido por los compradores. Los finos son producto del área de secado y su contenido de  $P_2O_5$  es mayor a 30%, sin embargo, sólo se venden bajo un pedido especial porque no cumplen con la granulometría requerida por los actuales compradores. Los jales son resultado de un proceso de lavado que se empleaba hace unos años, su contenido mínimo de  $P_2O_5$  es de 24%, y de igual manera que los finos, los jales se venden esporádicamente por pedidos especiales.

De todos los productos, los jales son lo que proporcionan mayor utilidad por el hecho de que no son sometidos a ningún proceso y se venden directamente.

### 4.3 MAQUINARIA Y EQUIPO DISPONIBLE EN MINA

Actualmente la mina cuenta con el siguiente equipo:

- Excavadora CAT 330C L: capacidad del cucharón de la excavadora 2.3 toneladas.
- Tractor D7-F
- Tractor D8-K
- Trascabo CAT 983: Capacidad del cucharón del cargador 4.6 toneladas.
- Cargador Frontal CAT 988-B: Capacidad del cucharón del cargador 8 toneladas
- 4 Camiones Terex TA30: Capacidad de la caja del camión 30 toneladas.
- Cargador sobre orugas CAT 977-L 3.5 toneladas.
- Camión Euclid R22: Capacidad de la caja del camión 25 toneladas.
- Compresores Atlas Copco XAS300
- 3 Perforadoras neumáticas RH571-5L de Atlas Copco
- Compresor Atlas Copco XATS375
- Track Drill T-1700 Ingersoll-Rand

Para la operación de la mina se emplean los camiones, las excavadoras, el trascabo, los cargadores frontales, los compresores, las perforadoras, en las diferentes áreas de operación. El empleo de los tractores es básicamente para apoyo a las comunidades que lo requieran y de ser muy necesario para operaciones auxiliares en mina.



En términos generales el proceso de minado empieza con la barrenación, la cual se realiza empleando las 3 perforadoras neumáticas y el compresor XAS300, por semana se realiza un promedio de 63 barrenos con una profundidad de 2.4 m. El cargado y la voladura se realizan empleando alto explosivo y ANFO, con un sistema de iniciación manual, como no se tiene una plantilla definida el tonelaje a obtener de material estéril y mineral es muy variado; posteriormente de la voladura la excavadora se encarga de estabilizar el banco para evitar desprendimiento de roca evitando accidentes, en seguida se realiza el acarreo del material estéril y mineral para ello se emplea la excavadora CAT 330C L y 3 o 4 camiones Terex TA30. La forma de trabajar consiste en alternar los camiones, es decir la excavadora carga un camión de material estéril y el siguiente de mineral, hasta que el área quede totalmente limpia, de esta forma los camiones tienen la capacidad de acarrear 98 ton/hora con el ciclo de operación que se tiene actualmente.

El trascabo CAT 983 y cargador frontal CAT 988-B se emplean para las operaciones auxiliares; el primero se emplea para nivelar y limpiar los caminos de acceso, el segundo para orear y generar los compósitos en el patio de almacenamiento y a su vez para cargar los camiones tipo torton y rabón para el transporte del mineral hacia la planta de beneficio.

#### 4.4 ESTRUCTURA DE COSTOS

La empresa cubre diferentes costos tanto en mina como en planta, para obtener un costo final de producción por tonelada de mineral. Uno de los objetivos de la empresa es reducir el costo, mejorando las condiciones de explotación y beneficio del mineral con el fin de aprovechar todo el mineral explotado.

Actualmente los costos de mina son mayores que los de planta, las razones principales son: la baja producción que se tiene, la sobre-utilización de los equipos, la compra del mineral a los contratistas, el apoyo a los mismos y el flete del mineral mina-planta.

Para poder reducir los costos de producción de mina, en principio se debe realizar un cálculo de costos por área, de esta forma analizar en qué áreas se tiene la oportunidad de reducir los costos, sin embargo no se tiene acceso a toda la información requerida para poder realizar un balance confiable, dejando esta tarea como un área de oportunidad.

Los costos que cubre la empresa (explosivos y supervisión), referidos al apoyo a los contratistas son indispensables, pero se buscan alternativas para no afectar a los contratistas y reducir los costos.

La tabla IV-3 muestra los precios que cubre la empresa por el mineral de los contratistas.

Tabla IV- 3 Precios del mineral de acuerdo a sus características químicas.

	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Precio \$ pesos/Ton
<b>Mineral negro</b>	>31	150.00
<b>Mineral negro 2</b>	30-31	120.00
<b>Mineral rojo</b>	29-30	80.00

Otra alternativa para reducir los costos de producción para la empresa es cubrir los costos de remoción de material estéril de las áreas al 50% dejando que el otro 50% lo cubran los contratistas.

En una forma más específica los costos que se manejan en mina son: mano de obra directa, mano de obra indirecta, insumos, electricidad, mantenimiento y conservación de equipo, análisis químico, flete, y compra del mineral.

Respecto de los costos de la planta se consideran: la mano de obra directa e indirecta, electricidad, combustibles (equipos, hornos), insumos, mantenimiento y conservación, análisis químico, y flete.

Como ejemplo, a continuación se muestran los costos en cuanto a explosivos que se tienen actualmente y los que se tendrían cambiando el sistema de iniciación de la voladura con la nueva plantilla de barrenación que se ilustra en el capítulo 5. La memoria de cálculo se puede observar en el anexo 1

Para una plantilla de 48 barrenos actualmente se utilizan:

Tabla IV- 4 Cantidad de explosivo y accesorios de la plantilla actual y la que se propone.

	Barreno 1 ½ in	Barreno 3 in
<b>kg ANFO</b>	213	1235.52
<b>Alto explosivo (kg)</b>	11.42	12.82
<b>Accesorios</b>		
<b>Cañuela (m)</b>	292	2
<b>Fulminante (pza)</b>	48	2
<b>Nonel Mg (pza)</b>	0	48
<b>Conector (pza)</b>	0	2
<b>Cortex (m)</b>	0	60

Revisando los precios de los explosivos en las tabla IV-1 y V-11 se tiene que el costo por tonelada utilizando barrenos de 1 ½” es de \$4.68 pesos/tonelada, mientras que utilizando barrenos de 3” es de \$2.99 pesos/tonelada. Obteniendo un ahorro del 36% en los costos del explosivo, además las condiciones de seguridad son significativas empleando el sistema de iniciación que se propone en el capítulo 5.

Al igual que este ejemplo se debe trabajar por área para poder reducir los costos de producción, este trabajo de tesis no pudo llevar a cabo dicha tarea por no tener acceso a la información que maneja la empresa.

#### *4.4.1 Costos sociales y ambientales*

Además de los costos de mina y planta, la empresa está consciente de otros costos que debe considerar a mediano y largo plazo, en el ámbito ambiental y social una vez que las reservas de mineral sean agotadas y las etapas de cierre y post-cierre sean ejecutadas.

Estos costos se deben considerar en función de un análisis más detallado, normalmente los porcentajes están alrededor del 2.5% y 3% respectivamente sobre la utilidad neta de la empresa. Dentro de los puntos a cubrir en el ámbito ambiental representa, el transporte de material para la reconstrucción de la topografía original, acondicionamiento de áreas para la restauración, reforestación, protección de especies animales, como lo establecen las normas legales.

Respecto de la parte social estaría la generación de infraestructura como, mantenimiento de caminos, construcción de carreteras, servicios en beneficio de la comunidad para llevar un desarrollo sustentable.

#### 4.5 EXPLOTACIÓN DEL ÁREA 2 SUR (ENERO 2013)

Al inicio de las operaciones en 2008 la empresa decide realizar la explotación de la fosforita en el área 1, sin embargo por las condiciones de estabilidad en el área, las distancias de acarreo y la existencia de material estéril de operaciones anteriores, dificultaban cada día más la explotación en el área. En 2013 la empresa toma la decisión de comenzar la explotación en el área 2 sur, donde se tenían ciertas ventajas respecto a las distancias de acarreo y rezagado, y la estabilidad.



*Figura IV- 11 Trabajos de explotación del área 1. La figura muestra las condiciones de trabajo, falta de una configuración geométrica del área y las condiciones que presenta la plataforma de trabajo.*



*Figura IV- 12 Explotación del área 1. Nuevamente la figura muestra la falta de bancos y la gran cantidad de material estéril que presenta el área.*

Para llevar a cabo la explotación en el área 2 sur, se rehabilitaron y construyeron accesos, con ayuda del área de topografía se realizó el levantamiento de toda la zona generando un plano (figura \*\*\*), el cual se actualiza semanalmente después de la voladura.

Con el plano topográfico se delimitaron caminos y accesos, niveles y bancos. El área 2 tiene una longitud lineal total de 720 metros. La explotación en esta área consistió en rehabilitar y explotar los primeros 400 metros, denominada área 2 sur.

El sistema de explotación consistió en tener 3 bloques de explotación, alternado el ciclo de minado en estos tres bloques, con lo que se logró recuperar y conectar bancos que en determinadas áreas estaban obstruidos o discontinuados, este sistema de explotación se explicara en el capítulo 5 con la planeación del área 2 norte, con el objetivo de conectar ambas áreas. Los trabajos de explotación aún continúan en el área 2 sur, presentando una notable mejoría donde se ve claramente el trabajo de ingeniería.



*Figura IV- 13 Área 2. Esta área ya presenta una geometría más uniforme, sin embargo no existe una continuidad del área sur con la norte por la obstrucción que ha generado el material estéril, los bancos en ciertas áreas alcanzan los 25 metros.*

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE EXPLOTACIÓN

Después de observar las condiciones en las cuales se explota el mineral de la mina, se propone hacer un diseño completo del sistema de explotación con el fin de buscar el aprovechamiento racional, permitiendo la máxima recuperación de mineral y de la misma forma tener un mayor control y mejor aprovechamiento de los recursos.

Con este nuevo diseño se podrán prever consideraciones de flexibilidad operacional, de tal manera que permitan el aumento o disminución de la producción de acuerdo con la oferta y demanda del mineral y situaciones de contingencia.

La zona de explotación será evaluada para determinar la dirección del avance, y de la misma forma determinar el número y dimensiones de bancos a explotar, para ello se deberá trabajar en un constante levantamiento topográfico y de ser posible un diseño tridimensional, con la información disponible.

Con ayuda del plano topográfico se hará una clasificación, para determinar los bancos, los cuales también deberán estar en función del equipo disponible, es decir, los bancos deberán tener las dimensiones adecuadas para las maniobras del equipo.

Para el caso del área 2 la explotación será de manera descendente esto con el fin de remover el material estéril que se encuentra sobre los bancos y tener una configuración geométrica más apropiada del talud, para que en un futuro no se originen derrumbes de material estéril sobre los niveles inferiores, ocasionando problemas durante la explotación en dichos niveles.



*Figura V- 1 Área norte del área 2. La imagen muestra las condiciones en que se encuentra el área, los niveles muestran la acumulación de material estéril que obstruye la continuidad de los mismos en la mayoría de los casos, además de las diferentes alturas de los mismos, así como guatos que no están rellenos y que pueden generar accidentes.*

De la misma forma, se tendrán 3 áreas de trabajo a lo largo de los bancos, partiendo del nivel A209 (ver plano), en los cuales el ciclo de operación será alternado, es decir tener una operación cíclica. El proceso de minado consistirá en la preparación (mantenimiento y remoción de material estéril de los bancos y caminos de acceso), barrenación y voladura, cargado, acarreo y transporte.

## 5.1 CAPACIDAD INSTALADA DEL EQUIPO

Para poder optimizar el ciclo de minado se tomaron los tiempos de operación de los equipos (camiones, retroexcavadoras, y cargadores); los tiempos se tomaron empleando un cronometro, durante la operación en las frentes de trabajo en diferentes periodos no programados, registrándolos en una bitácora. Los tiempos medidos fueron de cada etapa de los ciclos de operación de los equipos, para el caso de los camiones, Terex y Euclid, el ciclo de operación está compuesto por 5 etapas:

1. Acomodo
2. Carga
3. Transporte
4. Descarga
5. Regreso

Para el caso de las excavadoras y cargadores frontales, los ciclos están compuestos por 4 etapas:

1. Carga
2. Giro con carga
3. Descarga
4. Giro sin carga

Con los datos obtenidos se generaron las siguientes tablas:

*Tabla V- 1 Tiempos de operación, acomodo y descarga.*

Terex		Euclid	
Acomodo (min)	Descarga (min)	Acomodo (min)	Descarga (min)
1.033	0.733	1.000	0.700
0.600	0.667	0.567	0.917
0.817	0.883	0.767	0.567
0.533	0.850	0.600	0.867
0.767	0.583	0.700	0.933
0.867	0.917	0.850	0.683
0.683	0.967	0.667	0.600
0.700	0.800	0.700	0.817
0.717	0.683	0.667	0.983



0.617	0.667	0.633	0.883
1.250	0.800	1.083	0.767
0.683	0.867	0.617	0.517
0.633	0.767	0.650	0.967
0.833	0.550	0.733	0.650
0.717	0.950	0.783	0.700
1.167	1.000	1.050	0.967
Promedios			
0.789	0.793	0.782	0.754

Tabla V-2 Tiempos del ciclo de operación de cargador frontal sobre orugas CAT 977 L.

Cargador frontal sobre orugas CAT 977 L				
	Carga (min)	Giro con carga (min)	Descarga (min)	Giro sin carga (min)
<b>Ciclo 1</b>	0,183	0,267	0,083	0,200
<b>Ciclo 2</b>	0,200	0,167	0,100	0,183
<b>Ciclo 3</b>	0,233	0,233	0,117	0,200
<b>Ciclo 4</b>	0,183	0,217	0,100	0,217
<b>Ciclo 5</b>	0,233	0,217	0,083	0,233
<b>Ciclo 6</b>	0,183	0,217	0,083	0,183
<b>Ciclo 7</b>	0,250	0,017	0,117	0,217
<b>Ciclo 8</b>	0,267	0,200	0,117	0,183
<b>Ciclo 9</b>	0,217	0,233	0,083	0,250
<b>Ciclo 10</b>	0,183	0,250	0,083	0,133
<b>Ciclo 11</b>	0,200	0,167	0,100	0,200
<b>Ciclo 12</b>	0,217	0,200	0,117	0,200
<b>Ciclo 13</b>	0,233	0,200	0,117	0,250
<b>Ciclo 14</b>	0,217	0,267	0,067	0,183
<b>Ciclo 15</b>	0,167	0,183	0,083	0,200
<b>Promedio (min)</b>	0,211	0,202	0,097	0,202

Las tablas V-1 y V-2 muestran los tiempos de operación de 3 equipos, de igual manera se realizó el mismo procedimiento para el resto de los equipos, la siguiente tabla muestra un resumen de los tiempos de operación promedio, del ciclo de operación de cada equipo.

Tabla V- 3 Resumen de los tiempos promedios de los cargadores y excavadoras.

Equipo	Tiempo promedio (min)
Trascabo CAT 983	0,717
Cargador frontal CAT 988 B	0,983
Cargador frontal sobre orugas CAT 977 L	0,712
Excavadora CAT 330C L	0,250
Excavadora JCB JS200 LC	0,333

Para obtener los tiempos de carga de los camiones se considerarán los equipos con los que se realice (trascabos y/o excavadoras), porque está en función de dichos equipos.

Y para los tiempos de transporte y regreso se empleará la fórmula:

$$t = \frac{d}{v} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

$t$  es el tiempo en horas.

$d$  es la distancia a recorrer, la cual se obtiene del plano topográfico, en km.

$v$  es la velocidad promedio de los camiones.

Las velocidades promedio que serán consideradas serán: 12 km/h para los camiones cargados y 16 km/h para los camiones vacíos, en condiciones óptimas de operación lo que significa que en tiempo de precipitación pluvial y por condiciones de seguridad las velocidades se reducirán a la mitad, 6 y 8 km/h respectivamente. Hay que aclarar que las velocidades que se están considerando para el acarreo en gran medida son por cuestiones de seguridad para los trabajadores así como para el transporte privado y público, por las vías de acceso a tres comunidades que atraviesan la mina.

Utilizando una distancia promedio de 0.7 km (área norte-tiradero), tanto para los camiones Terex TA30 como el Euclid R22 utilizando la fórmula (1). De igual manera se utilizarán los tiempos promedios de los ciclos de los cargadores y las excavadoras.

Tabla V- 4 Datos para determinar el tiempo de transporte.

Datos	
Distancia	0.7 km
Velocidad transporte	12 km/h
Velocidad de regreso	16 km/h

$$t_{transporte} = \frac{0.7 \text{ km}}{12 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0.058 \text{ h} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 3.48 \text{ min} \approx 3.5 \text{ min}$$

$$t_{regreso} = \frac{0.7 \text{ km}}{16 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 0.044 \text{ h} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 2.64 \text{ min} \approx 2.6 \text{ min}$$

Tabla V- 5 Resultados de los tiempos de transporte.

Resultados	
Tiempo de transporte	3.5 min
Tiempo de regreso	2.6 min
Tiempo total	6.1 min

A inicios del año 2013 la empresa realizó la adquisición de una excavadora modelo JCB JS200 LC con capacidad de cucharón de 1.2 m<sup>3</sup> y una retroexcavadora JCB 4CX 14ECO con capacidad del cucharón 1.1 m<sup>3</sup> aumentando de esta manera las cuadrillas de equipos.

Como se ha mencionado anteriormente se cuenta con 5 camiones de acarreo (4 Terex TA30 y 1 Euclid R22), y 4 cargadores frontales, con los cuales se pueden realizar varias combinaciones que permitan obtener una mayor productividad, además de poder programar el mantenimiento preventivo para los equipos, lo que genera como resultado el aumento de la disponibilidad mecánica.

Para realizar una optimación de los equipos disponibles se realizó un análisis de los equipos de carga y acarreo, con el fin de que los equipos no sean sobre - trabajados o subutilizados y de esta forma evitar su deterioro a corto plazo.

En un análisis previo se determinó la capacidad instalada de todos los equipos, para ello se formaron 5 diferentes sistemas (camiones-cargador), de este análisis se obtuvo que el sistema conformado por los 4 camiones Terex TA30 con la excavadora CAT 330C L, se generaba la mayor producción, además de tener el mayor rendimiento y disponibilidad mecánica.

A partir de la selección de este sistema, se hizo un análisis para su optimización. Por las características de densidad casi similares entre el mineral y del material estéril, 1.6 y 1.7 g/cc respectivamente, se utilizará un promedio, es decir 1.65 g/cc para fines prácticos.

Tabla V- 6 Capacidad de los equipos en m<sup>3</sup> y ton.

Equipo	m <sup>3</sup>	Toneladas
Camión TA30 Terex	17.5	28.8
Camión Euclid R22	14	23
Excavadora CAT 330C L	1.4	2.31
Excavadora JCB 220 L	1.2	1.98
Trascabo CAT 983	2.8	4.62
Cargador frontal CAT 988 B	4.9	8
Cargador frontal sobre orugas CAT 977 L	2.1	3.46
Retroexcavadora JCB 4CX 14ECO	1	1.65

El resultado del análisis del sistema seleccionado fue el siguiente:

Calculando el número de pasadas:

$$\text{número de pasadas: } \frac{28.8 \text{ ton}}{2.31 \text{ ton}} = 12.46 \approx 12 \text{ pasadas}$$

Considerando que el tiempo promedio de carga es de 0.250 min por pasada, se tiene:

$$t_{\text{ciclo de cargado}} = 12 \text{ pasadas} * 0.250 \text{ min} = 3 \text{ min}$$

Contando el tiempo total de acarreo se tiene:

$$t_{\text{total de acarreo}} = t_{\text{acomodo}} + t_{\text{carga}} + t_{\text{transporte}} + t_{\text{descarga}} + t_{\text{regreso}}$$

$$t_{\text{total de acarreo}} = 0.789 \text{ min} + 3 \text{ min} + 3.5 \text{ min} + 0.793 \text{ min} + 2.6 \text{ min} = 10.682 \text{ min}$$

Calculando el número de camiones para el sistema:

$$\text{número}_{\text{camiones para el sistema}} = \frac{10.682 \text{ min}}{3 \text{ min}} = 3.56 \approx 4 \text{ camiones}$$

Para calcular el número de ciclos/hora efectivos de los camiones se obtuvo el número de ciclos por hora y posteriormente se ajustó por los siguientes factores:

Habilidad del operador: 0.9 (90 %)

Factor de disponibilidad: 0.95 (95 %)

Factor de eficiencia: 50 min = 0.83 (83 %)

Tiempo del ciclo: 10.682 min

$$\frac{60 \text{ min}}{10.682 \text{ min}} = 5.616 \approx 6 \text{ ciclos}$$

Afectando por los factores, se tiene:

$$\text{ciclos efectivos por hora} = 6 * 0.9 * 0.95 * 0.83 = 4.258 \approx 4 \text{ ciclos}$$

Considerando 7 horas laborales y el número de camiones en el sistema:

$$7 \text{ horas laborales} * 4 \text{ ciclo} = 28 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}}$$

$$28 \frac{\text{ciclos}}{\text{día}} * 4 \text{ camiones} = 112 \text{ ciclos por día}$$

$$112 \text{ ciclos por día} * 28.8 \text{ ton} = 3,225.6 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

Del análisis anterior se puede observar que la capacidad de producción real del sistema es de 3,226 toneladas por día, el cual está muy por arriba de la producción actual. Sin embargo, por la falta de mercado para el mineral de fosforita el sistema se puede ajustar a la producción mensual de 6,000 ton, y distribuir la capacidad total del sistema, una parte en producción y otra en preparación, con lo cual se estaría haciendo un uso más eficiente del equipo. Cuando se cuente con nuevos mercados la producción aumentará y por tanto se podrá hacer uso de la capacidad real e los equipos para cubrir las nuevas necesidades de producción.

Por lo anterior, el sistema de producción propuesto estará conformado por una excavadora y dos camiones para el acarreo de mineral, pero de ser necesario se empleará un tercer camión. La forma de trabajo en este sistema consistirá en emplear una de las excavadoras después de la voladura para estabilizar el banco con el fin de evitar algún desprendimiento de roca, y el cargado de los camiones, los cuales serán alternados, es decir uno se empleará para el acarreo de mineral y otro para el acarreo de material estéril.

El sistema de limpieza y preparación, de igual forma estará conformado por 2 camiones y una excavadora. El número de camiones estará en función de la cantidad de material estéril que se tenga que remover del sitio en operación. La forma de trabajo consistirá en utilizar la excavadora para remover y estabilizar los bancos, posteriormente, se empleará el cargador frontal para nivelar el banco y generar un montón de acopio de material estéril, que finalmente cargará a los camiones para su acarreo.

## 5.2 MUESTREO

Sabiendo que el muestreo es una actividad de suma importancia para todas las minas, para la toma de decisiones a corto y largo plazo durante la planeación de las obras, así como el destino de los materiales extraídos, este se debe llevar a cabo de una forma correcta. En resumen las decisiones tomadas por los resultados del muestreo se traducen en dinero que gana o pierde la mina.

Dado que en la mina se presentan variedades de mineral, tanto en su estructura física (color, textura, peso específico) como en su composición química (% de  $P_2O_5$ ) es necesario tener un control adecuado del mineral extraído, ya que uno de los objetivos de la mina es generar un compósito que cumpla con un mínimo del 30% de  $P_2O_5$  que será enviado a la planta para su procesamiento. Por esta razón se propone la implantación de un muestreo sistemático, el cual consistirá de muestrear las frentes de trabajo, el compósito generado en mina, y el generado por los contratistas.

El mineral será muestreado en las frentes de trabajo para determinar su ley, y poder hacer una clasificación del mismo en primera instancia, una vez que todo el mineral esté clasificado en el patio de almacenamiento se procederá a realizar el compósito el cual deberá ser muestreado para verificar la ley.

El muestreo también se debe llevar a cabo en zonas donde se espera encontrar mineral, e ir recabando la información de los muestreos en una bitácora y un plano topográfico que ayudarán a la planeación de explotación del mineral.

Lo que se busca con esta propuesta es clasificar todo el mineral por su contenido de  $P_2O_5$  y con ello elaborar el compósito utilizando la mayoría del mineral, el mineral que esté por debajo de un 29% de  $P_2O_5$  se almacenará para futuros mercados para los cuales cumpla por sus características.

## 5.3 DISEÑO DEL TALUD

Como ya se ha mencionado anteriormente las condiciones en las que se encuentra geométricamente la mina no es la adecuada, por ello se realizó un análisis de los parámetros básicos del diseño de la mina, con el fin de optimizar el tajo y llevar a cabo una planeación correcta de la operación minera.

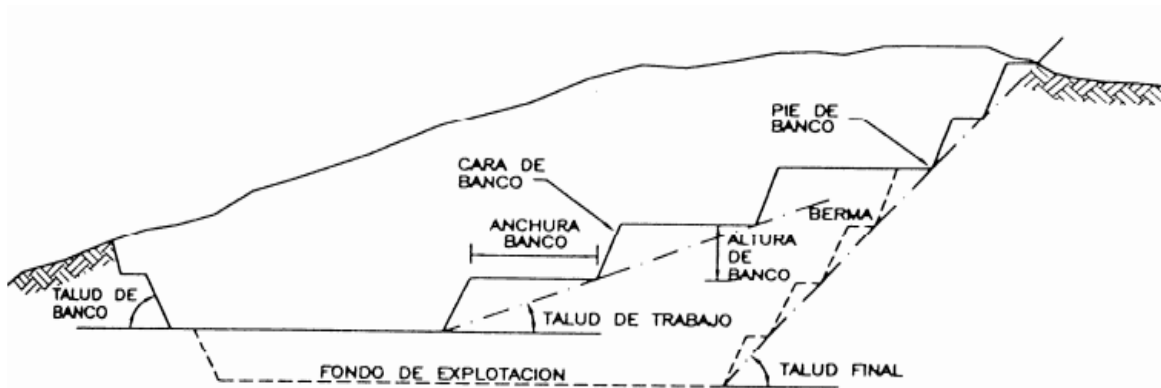


Figura V-2 Parámetros geométricos en el diseño de explotación a cielo abierto.

Los parámetros a ser evaluados para la construcción y/o rehabilitación de los bancos serán los siguientes:

- Altura óptima de los bancos.
- Ancho de las plantillas.
- Caminos y rampas de acceso.
- Angulo de banco.
- Distancias de acarreo y rezagado.

### 5.3.1 Altura óptima de los bancos

La altura de los bancos está en función del tamaño del equipo de carga (excavadoras), de las dimensiones de barrenación y las características del macizo rocoso. Si bien la altura óptima de los bancos puede estar en función del alcance de la barrenación, y además con las excavadoras con las que se disponen puede trabajar bancos con alturas de hasta 15 m o más, la selección de la altura se determinó por las características que presenta el macizo rocoso (fracturas y fallas), por lo que se propone una altura baja.

Revisando las hojas técnicas de ambas excavadoras se tiene que la JCB JS200 CL tiene un altura máxima de corte de 8.95 m mientras que en la CAT 330C L es de 10.81 m, además de considerar las ventajas de optar por bancos grandes versus bancos pequeños y las condiciones que presenta el macizo rocoso, se seleccionó la altura que puede generar la JCB JS200 CL.

Para garantizar la seguridad se empleara un factor de seguridad del 10 % para trabajar de manera adecuada, por lo que se obtiene:

$$8.95 * 0.9 = 8.055 \approx 8 \text{ m}$$

Por lo tanto la altura máxima de los bancos será de 8 m, generando mejores condiciones de seguridad para el personal y la maquinaria, mejor control en la barrenación evitando las desviaciones de los barrenos, durante y después de la voladura las ventajas son: menores niveles de vibración al ser cargas más pequeñas, mayor control sobre la fragmentación de las rocas, y respecto a la restauración y remediación del talud final se obtienen mejores condiciones.

### 5.3.2 Ancho de la plataforma de trabajo (Remoción de material estéril, barrenación, explotación)

Se define como el ancho mínimo de la plantilla de trabajo a la suma de espacios necesarios para el movimiento de la maquinaria que trabaja en ellos simultáneamente.

Para la barrenación el ancho mínimo de operación está dado por el área sometida a la barrenación, sin embargo, después de la voladura el ancho de trabajo estará en función de otros parámetros geométricos (cargado y acarreo). Por esta razón las plataformas de trabajo tendrán como mínimo un ancho de 15 m, como se muestra en la siguiente figura V-3, considerando que la excavadora generara una plataforma del mismo material, posterior al amacice del talud, con el fin de que el cargado sea más productivo.

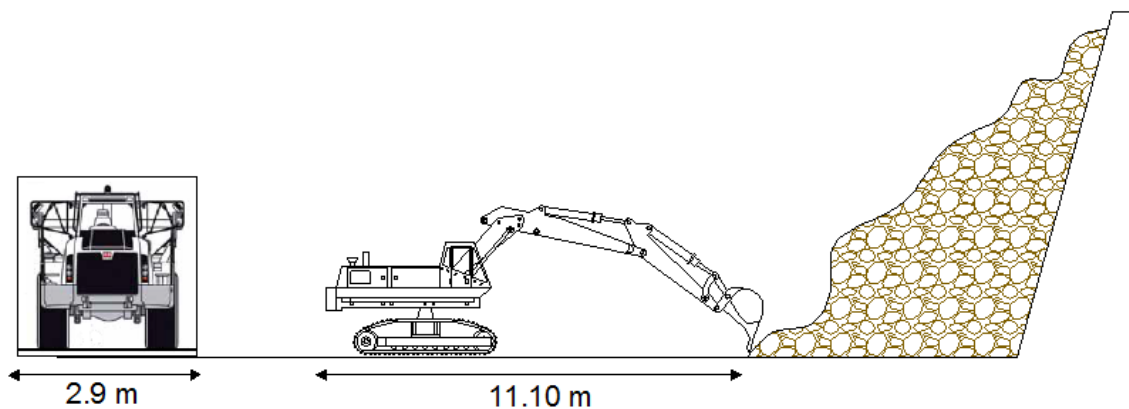


Figura V- 3 Área de trabajo, considerando el espacio necesario para las maniobras del equipo de cargado y acarreo.



### 5.3.3 Caminos y rampas de acceso

La construcción de caminos y rampas de acceso a los bancos debe estar coordinada con las actividades productivas diarias, las cuales deben satisfacer las siguientes restricciones:

- Permitir el acceso libre y seguro a la zona determinada.
- Permitir el acceso a tiempo a la zona determinada, de acuerdo con el programa de producción.
- Cumplir con las restricciones geométricas de los equipos y las actividades.
- Permitir la realización de actividades paralelas en completa seguridad.

Esta tarea debe programarse de tal modo que genere el menor impacto negativo con el resto de la operación, considerando que es una actividad clave.

Con la construcción de los nuevos niveles los caminos y rampas de acceso se irán construyendo con el objetivo de reducir los tiempos de acarreo, de igual manera se rehabilitaran los existentes.

Es importante que la construcción de los accesos cumpla con las restricciones geométricas de modo de garantizar que los equipos que por ellos circulen lo hagan en condiciones adecuadas para su operación, evitando el deterioro prematuro de los equipos y la ocurrencia de accidentes.

Hablando de las rampas, se recomienda que tengan como máximo un 10% de pendiente, aunque los equipos tengan la capacidad de inclinaciones mayores, esto debido a los meses de precipitación pluvial donde una pendiente mayor puede ser un factor de riesgo para el personal y para los equipos.

### 5.3.4 Distancias de acarreo

Uno de los objetivos, es minimizar los costos de transporte asegurando las condiciones operativas, por ello es necesaria la construcción de nuevos caminos y acondicionar existentes.

En estos momentos la construcción de caminos de dos vías no es necesaria, sin embargo para un futuro se debe considerar al incrementar la producción y por ende el número de camiones que se empleen en los diferentes ciclos de operación.

### 5.3.5 Ángulo del banco

Uno de los parámetros geométricos más significativos en la explotación a cielo abierto es el ángulo de los bancos, ya que en la explotación misma una de las restricciones más relevantes es garantizar la estabilidad de cada uno de los sectores comprometidos, para lo cual se requiere tener una geometría de diseño óptima, es

decir que permita un máximo beneficio económico en función de un mínimo factor de riesgo de que ocurra algún siniestro geomecánico.

El ángulo de los bancos está en función de la altura del banco y el macizo rocoso. Entre más competente sea la roca y más bajo sea el banco, el ángulo de los bancos puede ser más vertical. Como ya se determinó que la altura óptima del banco es de 8 metros, permite tener un ángulo alto, además de tener una roca semicompetente, la cual permite ángulos entre 60° y 75°, la tabla V-14 muestra los ángulos actuales de los bancos existente, por ejemplo en la sección B-'B el banco A203 tiene una altura de 21 m. con un ángulo de 64°, a pesar de dicha altura la estabilidad del banco es buena, por esta razón y considerando además factores de seguridad y eficiencia se considera un ángulo de 75° para los bancos.

## 5.4 CICLO DE MINADO

Para hacer una correcta planeación del ciclo de minado se realizó un levantamiento topográfico de la mina, para realizar las proyecciones de los caminos, rampas de acceso, bancos, zonas de limpieza, y frentes de explotación.

De la misma forma se tomaron datos *in situ*, es decir los tiempos de operación en casa una de las áreas de trabajo, con el fin de optimar el equipo y evitar tiempos muertos en la operación.

Uno de los problemas a los que se enfrenta la empresa es el material estéril sobre los bancos existentes que se acumuló por años por la mala disposición del mismo en áreas específicas durante la explotación del mineral. Esto ocasionó que los guatos explotados se rellenaran con material estéril o éste se colocara sobre los bancos obstruyendo el acceso, y años más tarde se tuviera que remover nuevamente este material para la extracción de mineral en la parte inferior, ocasionando una relación de descapote de 1/10 e incrementado los costos de producción.

El diseño del ciclo de minado empieza con la remoción del material estéril de los bancos, para continuar con la barrenación, cargado, voladura, acarreo y transporte, y como operación auxiliar el mantenimiento de los caminos.

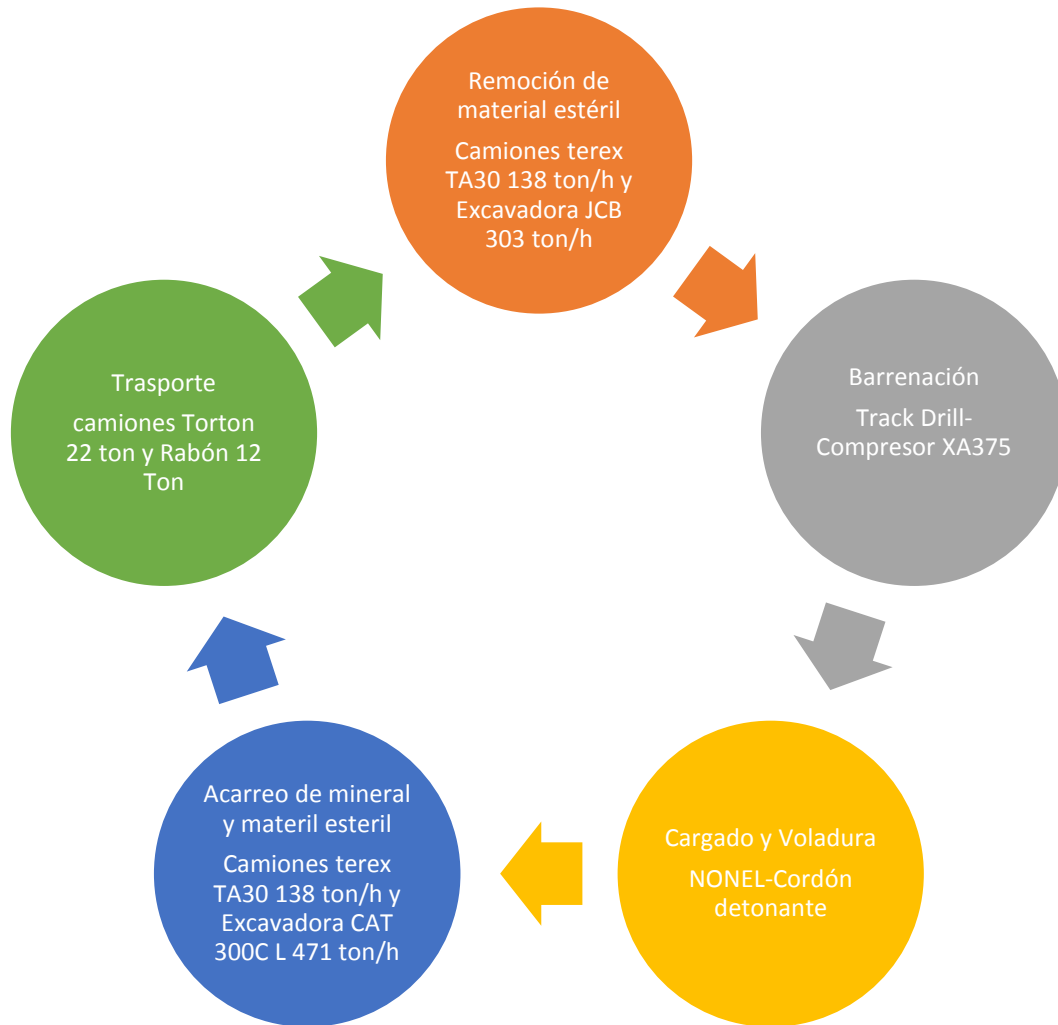


Figura V- 4 Ciclo de minado.

#### 5.4.1 Remoción de material estéril

La factibilidad de la explotación a cielo abierto está en función de la relación de descapote, para ello es necesario cuantificar el material estéril que se requiere mover para obtener una tonelada de mineral, sin embargo por las condiciones geológicas existentes en mina La Negra, realizar esta tarea es una área de oportunidad para los geólogos y topógrafos con estudios de exploración a detalle.

Por ello una obra de preparación importante en el ciclo de minado es la remoción del material estéril sobre los niveles existentes. Esta actividad tendrá como objetivo eliminar el material estéril sobre los bancos y dar acceso a los mismos y generar nuevos caminos de acceso.

En este último periodo de operación, la remoción de material estéril ha sido un problema, que la empresa ha tenido que solucionar, para poder llevar a cabo el

desarrollo de las futuras obras de trabajo, uno de los problemas principales de dicha actividad es el incremento en la relación de descapote y con ello un aumento en los costos de producción.

Al ser conscientes de este problema, todos los niveles existentes deben ser limpiados, para lo cual se dispondrá del siguiente equipo para esta tarea.

*Tabla V- 7 Equipo y personal para la limpieza.*

Equipo	Personal
<b>2 Camión Terex</b>	2
<b>Excavadora CAT 330C L</b>	1
<b>T o t a l</b>	3 personas

La selección del equipo anterior (cuadrilla), fue principalmente por la disponibilidad del mismo, además de factores como la capacidad (tonelaje), el área de trabajo (espacio de carga) y la geometría de los bancos.

Considerando los datos de la sección 5.1 y la distribución de los equipos para esta tarea, esta cuadrilla tiene la capacidad de remover 1,613 toneladas al día.

#### 5.4.2 Barrenación

Con el objetivo de mejorar la explotación de los bloques y sabiendo que la barrenación es una operación importante para el avance de la obras, se propone una plantilla de barrenación a tresbolillo, además de la implementación de un sistema con NONEL y cordón detonante para iniciar la voladura, generando esta operación más segura y eficiente.

Para llevar a cabo la barrenación se emplearán el Track Drill modelo T-1700 de la marca Ingersoll Rand, las tres perforadoras neumáticas manuales se emplearan para realizar barrenación secundaria (moneo) de ser necesario. Empleando el Track Drill la longitud de barrenación será de 8 m con un diámetro de 3”.

*Tabla V- 8 Equipo y personal para la barrenación.*

Equipo	Personal
<b>Perforadora neumática manual</b>	1
<b>Track drill Ingerson Rand T-1700</b>	1
<b>Compresor Atlas Copco 375</b>	0
<b>T o t a l</b>	2

Con este equipo se calculó y con las fórmulas de Konya se diseñó la siguiente plantilla de barrenación:

Bordo:

$$B = 0.012 \left( \frac{2\rho_e}{\rho_r} + 1.5 \right) * d$$

donde

B bordo en m

$\rho_e$  densidad del explosivo

$\rho_r$  densidad de la roca

d diámetro de la carga (mm)

$$B = 0.012 \left( \frac{2(0.85)}{2.72} + 1.5 \right) * 76.2 \text{ mm}$$

$$B = 1.94 \text{ m}$$

Espaciamiento:

Por las características del explosivo se utilizará la fórmula para barrenos secuenciados.

$$H < 4B; S = \frac{H + 7B}{8}$$

$$H \geq 4B; S = 1.4B$$

Donde

H altura

B bordo

$$3 < 4 * 1.94$$

$$3 < 7.76$$

Por lo tanto

$$S = \frac{8 \text{ m} + (7 * 1.94\text{m})}{8}$$

$$S = 2.70 \text{ m}$$

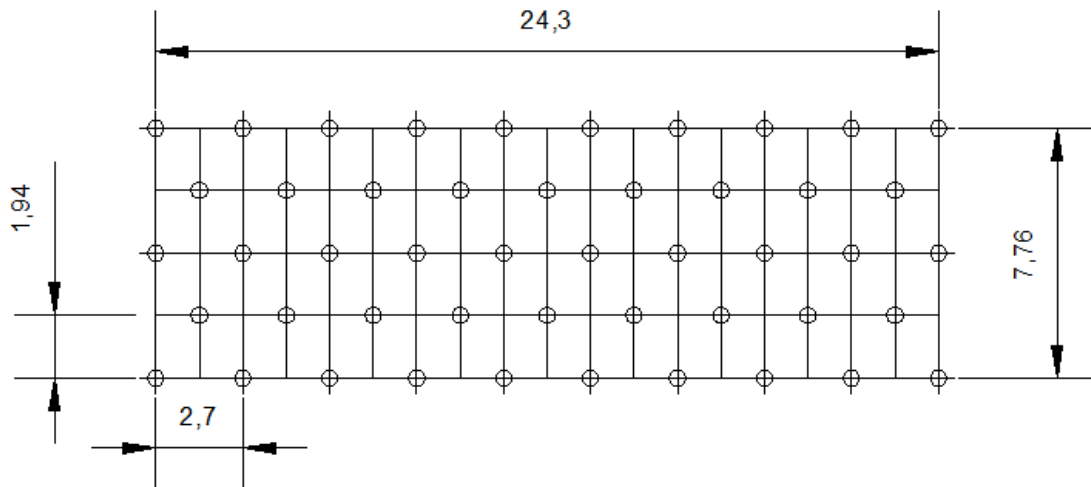


Figura V- 5 Propuesta de la nueva plantilla de barrenación, tresbolillo.

Con dicha plantilla se obtendrá el siguiente tonelaje:

$$B * S * \rho_r = \frac{ton}{m} \text{ barrenado}$$

$$1.94 \text{ m} * 2.7 \text{ m} * 2.72 \frac{kg}{m^3} = 14.25 \frac{ton}{m}$$

Entonces por un barreno de 8 metros se producirán

$$14.25 \frac{ton}{m} * 8 \text{ m} = 114 \frac{ton}{\text{barreno}}$$

$$48 \text{ bnos} * 114 \frac{ton}{\text{barreno}} = 5472 \text{ toneladas}$$

Cabe mencionar que esta plantilla es una propuesta con la que se espera que la fragmentación y desplazamiento del material se optimicen, sin embargo se tendrá que poner en práctica, y de ser necesario realizar los ajustes necesarios. Tanto las dimensiones y respectivamente el número de barrenos estarán en función de las zonas a volar y el avance que se necesite, sin perder la configuración.

En el ajuste de la voladura se deben tomar en cuenta los siguientes factores: la fragmentación, roca en vuelo, la vibración del terreno y la sobrepresión de aire, como regla general entre más grande sea el diámetro de la barrenación mayor serán los problemas que presenten dichos factores, por ello es necesario considerar la relación de rigidez que se define como: la relación de la altura del banco entre la distancia del bordo.

$$r = \frac{\text{Altura de banco}}{\text{bordo}}$$

$$r = \frac{8 \text{ m}}{1.94 \text{ m}} = 4.12$$

La relación de rigidez para la plantilla propuesta es de 4.12, la bibliografía menciona que a partir de una relación de rigidez superior a 4 los resultados sobre los factores serán excelentes. Por lo anterior, en teoría la voladura será de buena calidad, obteniendo los resultados esperados.

### 5.4.3 Cargado y voladura

El éxito de una voladura, no depende solamente de la plantilla de barrenación, también depende de la cantidad de explosivo por barreno, por dicha razón a continuación se menciona la cantidad de explosivo necesario en la plantilla propuesta en el apartado anterior, y de igual forma los nuevos accesorios y precios de los mismos.

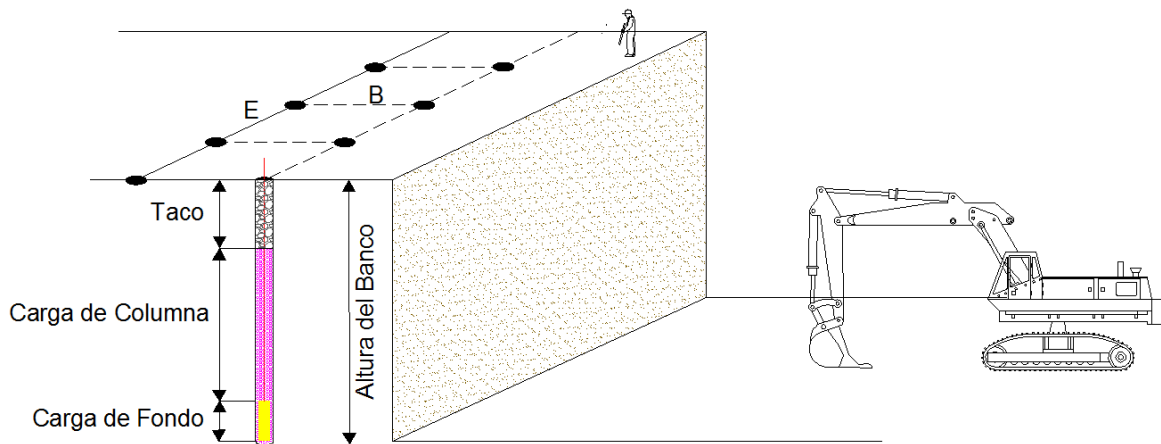


Figura V-6 Esquema de la carga de barrenos.

Taco: para obtener la longitud del taco se considera 0.7 del bordo es decir:

$$T = 1B$$

$$T = 1 * 1.94 = 1.94 \text{ m}$$

Columna: para la carga de columna simplemente es la longitud del barreno menos el taco:

$$\text{columna: Longitud del barreno} - \text{taco}$$

$$\text{columna: } 8 \text{ m} - 1.94 \text{ m} = 6.06 \text{ m}$$

Con estos datos se calcular la cantidad de ANFO requerido por barrenos:

$$kg \text{ ANFO} = (\text{columna}) \left( \text{factor} \frac{kg}{m} \right)$$

Donde el factor kg/m es la cantidad de ANFO que cabe en un metro lineal de barrenación, por lo que varía con el diámetro de barrenación y la densidad del ANFO. Este factor lo proporciona cada fabricante, este caso Orica.

Tabla V- 9 Factor de carga lineal de ANFO.

<b>TABLA DE CARGADO DE EXPLOSIVOS</b>					
Cantidad de Explosivo* en Kilogramos por Metro Lineal para Diferentes Diámetros de Barrenación					
* considerando un explosivo con densidad de 1.0 gr/cm <sup>3</sup>					
Diámetro de Barrenación		Carga de Explosivos kg/m	Diámetro de Barrenación		Carga de Explosivos Kg/m
pulg.	mm.	kg/m	pulg.	mm.	kg/m
3/4	19	0.28	6 1/2"	165	21.40
7/8	22	0.39	6 3/4"	171	23.08
1"	25	0.51	7"	178	24.82
1 1/8"	29	0.64	7 1/4"	184	26.6
1 1/4"	32	0.79	7 1/2"	191	28.5
1 3/8"	35	0.96	7 7/8"	200	31.4
1 1/2"	38	1.14	8"	203	32.4
1 5/8"	41	1.34	8 1/4"	210	34.5
1 3/4"	44	1.55	8 1/2"	216	36.6
1 7/8"	48	1.78	8 3/4"	222	38.8
2"	51	2.03	9"	229	41.0
2 1/4"	57	2.56	9 1/4"	235	43.3
2 1/2"	64	3.17	9 1/2"	241	45.7
2 3/4"	70	3.83	9 7/8"	251	49.4
3"	76	4.56	10"	254	50.6
3 1/4"	83	5.35	10 1/4"	260	56.2
3 1/2"	89	6.20	10 1/2"	267	55.8
3 3/4"	95	7.12	10 5/8"	270	57.2
4"	102	8.10	11"	279	61.3
4 1/4"	108	9.15	11 1/4"	286	64.1

Entonces:

$$kg \text{ ANFO} = (6.06 \text{ m}) \left( (4.56 * 0.85) \frac{kg}{m} \right) = 23.5 \text{ kg}$$



Tabla V- 10 kilogramos de explosivo necesario por barreno.

Barreno 3 in	
<b>Kg ANFO</b>	23.5
<b>Alto explosivo (kg)</b>	0.267
<b>Total por barreno</b>	23.78

Obteniendo un factor de carga de:

$$FC = \frac{kg \text{ explosivo}}{tonelaje}$$

$$FC = \frac{26 \text{ kg}}{114 \text{ ton}} = 0.23 \frac{kg}{ton}$$

Tabla V- 11 Precio en dólares de los accesorios para el nuevo sistema de iniciación de la voladura.

Explosivos y Artificios	Unidad de Medida	Costo USD
<b>Cortex</b>	m	0.39
<b>Conector</b>	pza	0.21
<b>Nonel Mg</b>	pza	2.01

#### 5.4.4 Acarreo y transporte

Después de la voladura es necesario realizar el acarreo de material estéril y de mineral, para esta operación se dispondrá del siguiente equipo y personal.

Tabla V- 12 Equipo y personal para el acarreo.

Equipo	Personal
<b>Camión Terex</b>	1
<b>Camión Euclid R22</b>	1
<b>Excavadora</b>	1
<b>Total</b>	3

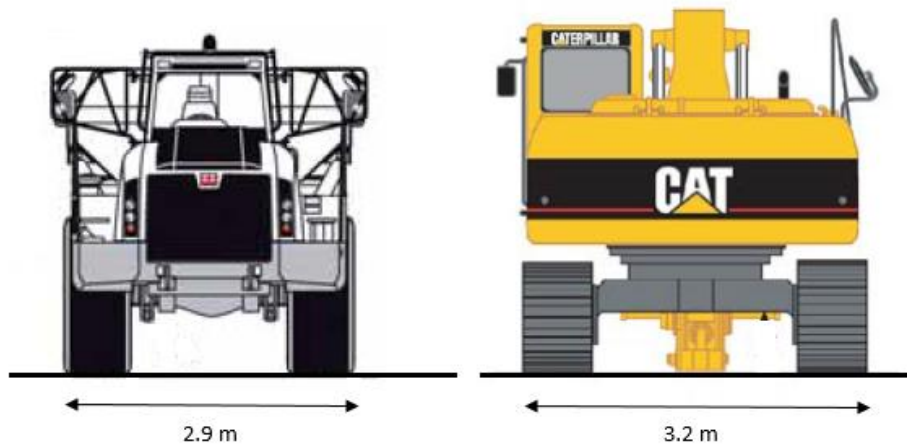
La excavadora rasgará el área con la finalidad de estabilizar y evitar desprendimientos de la zona y cargara los camiones Terex y Euclid R22.

Para evitar los tiempos muertos de la excavadora, esta realizará un montón de acopio ya sea de mineral o de material estéril para agilizar la tarea de acarreo, el material estéril será acarreado al tiradero número 2 y el mineral al patio de almacenamiento donde se realizara un muestreo, clasificara, limpiara, y se generará

el compuesto final para ser transportado a la planta de beneficio, empleando camiones tipo torton o rabón de 22 y 12 toneladas respectivamente.

## 5.5 MANTENIMIENTO DE CAMINOS

Por las dimensiones del equipo con el que se dispone, los caminos se deben diseñar para evitar paradas, accidentes, choques, y de la misma forma reducir las distancias de rezagado y acarreo, generando como ventaja la reducción de costos en la producción.



*Figura V- 7 Dimensiones de los equipos principales.*

Para garantizar la seguridad de los equipos y que el transporte sea el adecuado, el ancho de los caminos deberán tener como mínimo 5 m, lo que significa que serán de un solo carril, espacio suficiente para hacer maniobras necesarias con una pendiente máxima del 10%. De igual manera para evitar problemas en el tránsito de los camiones en contraflujo se construirán nichos.



*Figura V- 8 Trascabo construyendo un camino.*

La construcción de nuevos caminos debe estar enfocada a la planeación y reducción de costos, es decir, reducir las distancias de transporte hacia los tiraderos o el patio de mineral, además de tener mejor accesos a los diferentes niveles de explotación y preparación.

Considerando el ancho de los equipos de mayor dimensión y las funciones como: áreas de protección, accesos, y transporte en el talud, el ancho mínimo de los bancos será de 8 metros con lo que se logra tener una estabilidad del talud y evitar riesgos de volcaduras, principalmente en temporadas de precipitación fluvial cuando es afectada la visibilidad por la neblina.

Para esta actividad se dispondrá de los tractores o de un trascabo que no esté en servicio de carga, se debe considerar esta actividad como prioridad porque de esto depende que los camiones no sufran dificultades para el transporte así como los demás equipos que operan.

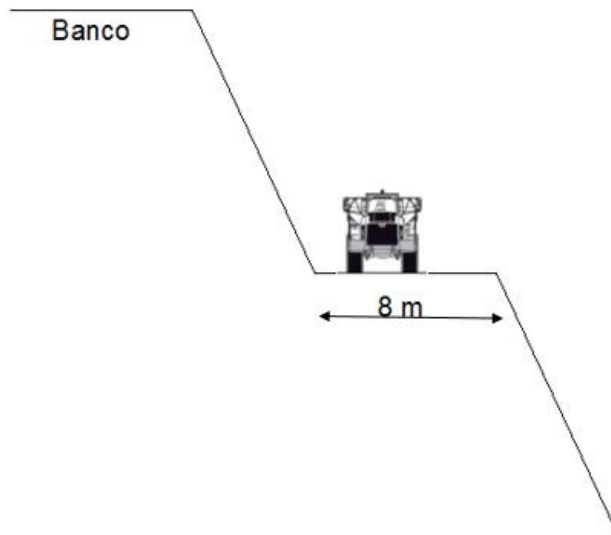


Figura V- 9 Esquema del ancho de los bancos.

## 5.6 ALMACENAMIENTO DE MINERAL

Para el almacenamiento del mineral se acondicionará un nuevo patio con una superficie de  $6,830 \text{ m}^2$ , el cual fue seleccionado por las condiciones de espacio y cercanías con las frentes de explotación, este patio tendrá la capacidad de almacenar el mineral y hacer una clasificación del mismo por su contenido de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Dadas las dimensiones de este nuevo patio se podrá almacenar la producción de una semana, lo que podrá generar tener un montón de almacenamiento para asegurar el envío de la producción semanal a la planta de beneficio.

Para el acondicionamiento del área se utilizará la motoconformadora para nivelar y generar un piso firme y limpio.

Por las características del mineral se considera que  $1 \text{ m}^2$  aloja 3 toneladas de mineral, por lo que para la producción de una semana, 3,226 toneladas, se requieren  $1,076 \text{ m}^2$ , lo que significa que el nuevo patio tiene la capacidad de almacenar 20,490 toneladas de material en sus diferentes porcentajes de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .



*Figura V- 10 Patio de mineral.*

Por las dimensiones del nuevo patio el equipo tendrá el espacio suficiente para realizar las maniobras de operación (remoción de calizas, orear el mineral, generar el compósito), y el muestreo de una forma uniforme. Además de que se reduce significativamente la distancia de las frentes de trabajo al patio de almacenamiento (200 m) y como resultado un ahorro en tiempo, recursos y servicios para los equipos. Para esta actividad, es muy recomendable utilizar un cargador frontal CAT 988 B, por la capacidad que puede mover en una pasada y de esta forma orear el mineral de forma constante y rápida.

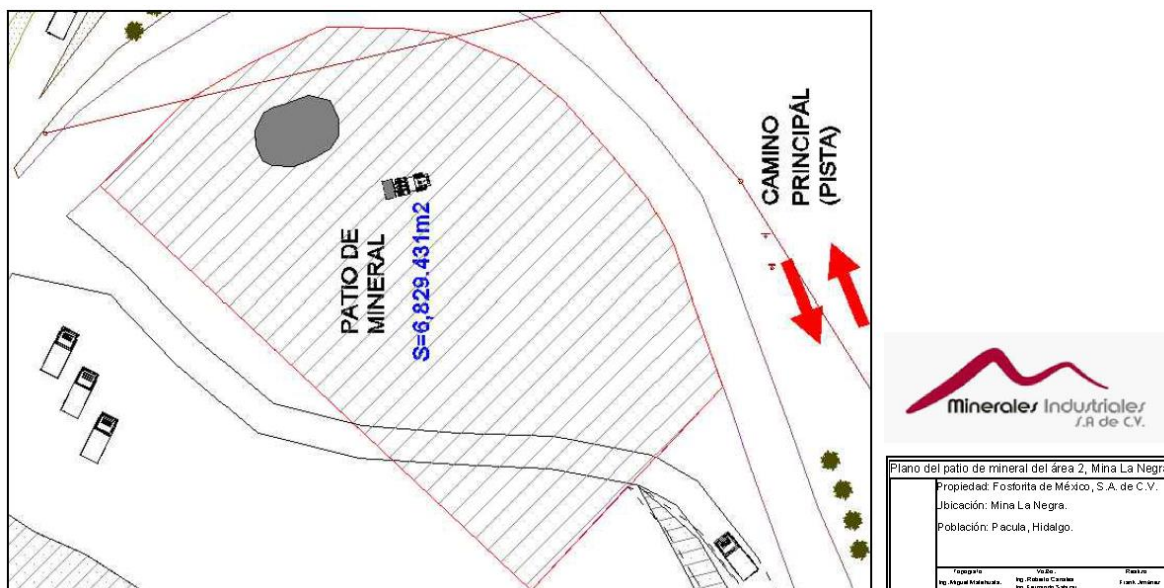


Figura V- 11 Plano del patio de mineral.

## 5.7 PLANEACIÓN DEL ÁREA 2 NORTE

El área 2 norte actualmente se encuentra sin operación, por lo que se realizará la planeación para conectar el área 2 sur con el área 2 norte, así como su explotación.

La secuencia de trabajo en esta zona consistirá en tener tres bloques de trabajo, los cuales estén alternados a la semana partiendo de los miércoles, día de la voladura, el primer bloque consistirá en la barrenación y voladura, el segundo bloque estará en rezagado y acarreo y finalmente el tercer bloque estará en preparación (marcar plantilla de barrenación). De igual manera las operaciones auxiliares, remoción de material estéril y mantenimiento de caminos, serán constantes, junto con la operación de los tres bloques.

Por la configuración que presenta la zona, la explotación se llevará de manera descendente y longitudinal, lo que significa llevar la explotación en dos niveles paralelos, el ataque se llevara a cabo en dirección E-W de forma escalonada con una dirección de avance S-N. La operación empezará en el banco A209, una vez que le banco haya avanzado una distancia que se estime como suficiente en el bloque A, se iniciará el arranque del bloque B y B1 en el segundo banco (A208), y así sucesivamente hasta llegar al fondo, respetando la geometría de los taludes.

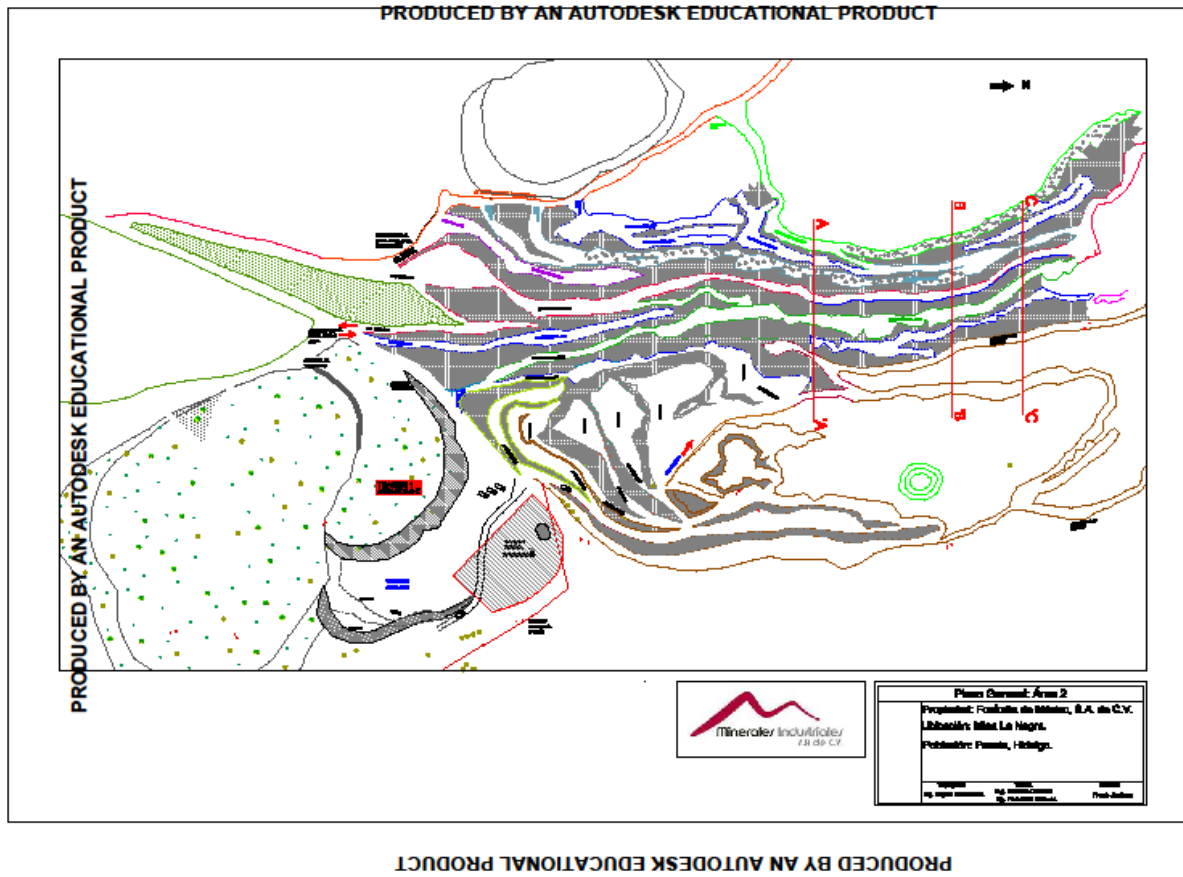


Figura V- 12 Plano general

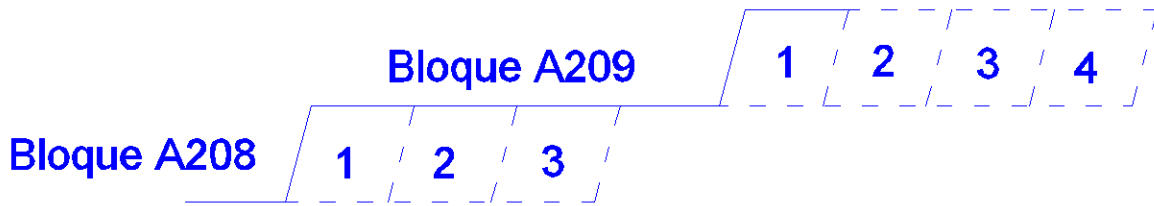


Figura V- 13 Perfil transversal de la explotación longitudinal.

Con el plano topográfico se generaron tres perfiles del área (A-A', B-B' y C-C'), para ilustrar las condiciones en las que se encuentra actualmente la zona. A continuación se muestran los tres perfiles y con ello poder realizar la planeación de las actividades para optimar la explotación del mineral.

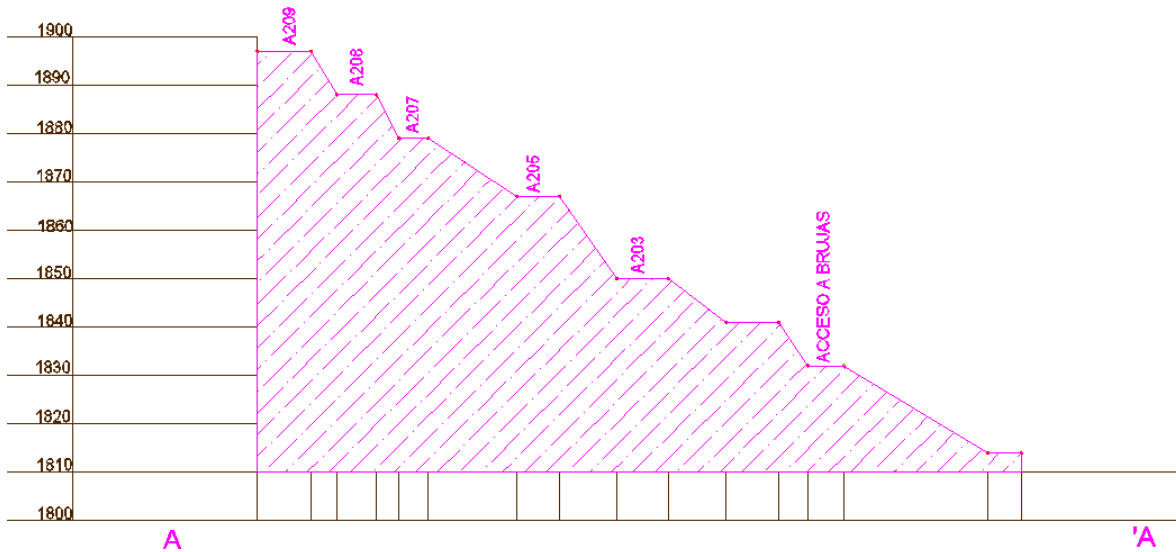


Figura V- 14 Sección A-'A.



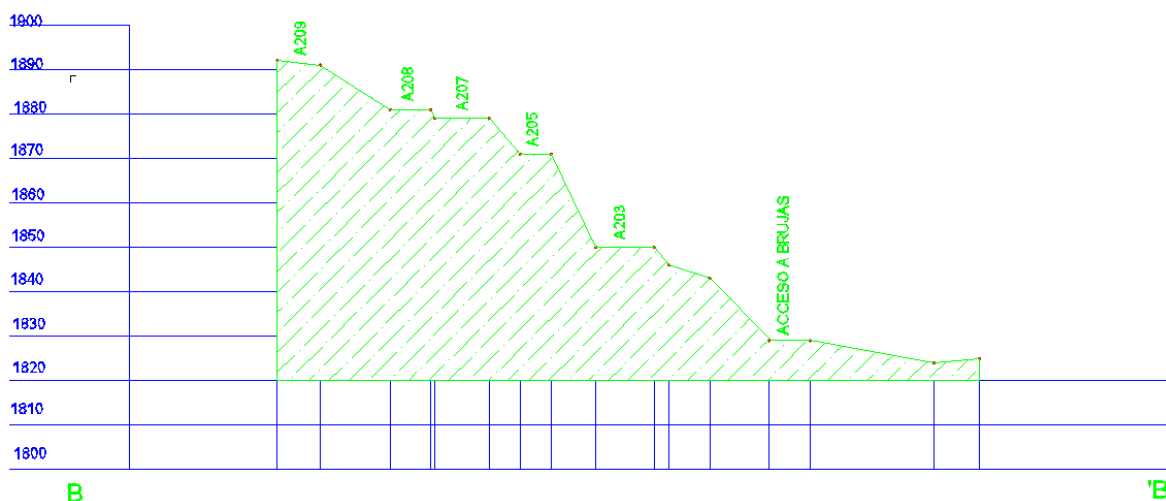


Figura V- 15 Sección B-'B.

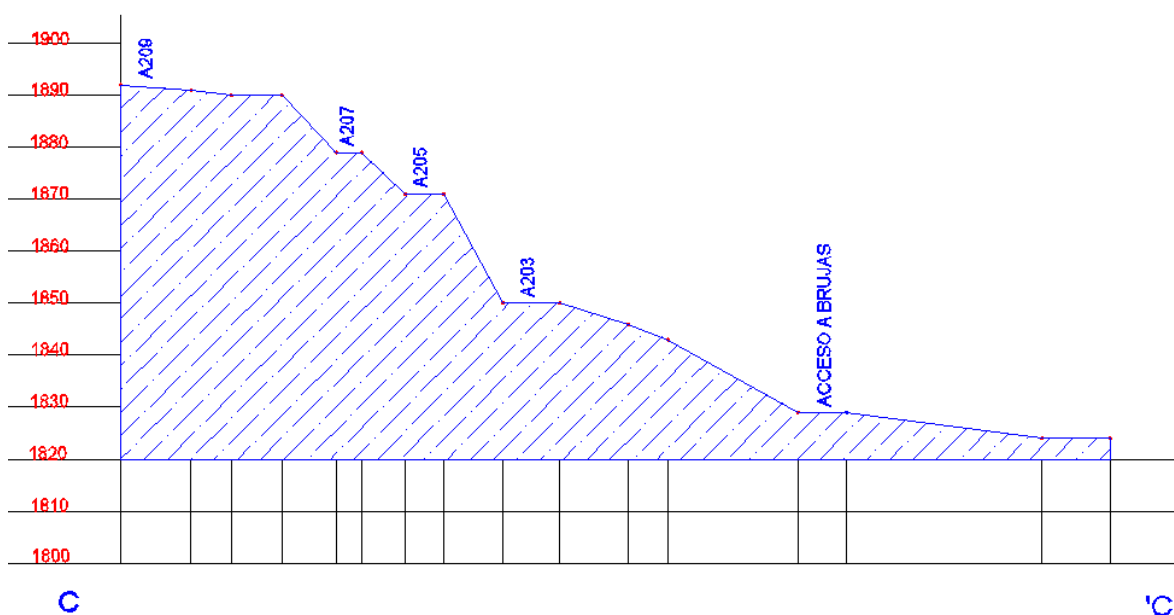


Figura V- 16 Sección C-'C.

Como se muestra en los tres perfiles ya se tienen delimitados niveles y accesos, aunque en ciertos puntos del área se encuentran obstruidos o las dimensiones y condiciones no son las adecuadas para el equipo. Los niveles A207, A205 y A203 son los que actualmente tienen una continuidad con el área 2 sur, por lo cual serán los principales accesos al área 2 norte, además del acceso a Las Brujas, aprovechando esta circunstancia se propone rehabilitar la zona para dar continuidad de la explotación en ambas zonas.

La rehabilitación del área 2 norte consistirá en diversas etapas, con el objetivo de unir las tres secciones, dichas etapas deberán cumplir con los objetivos específicos que finalmente generen un trabajo general de planeación.

La primera etapa consistirá en la rehabilitación de los niveles A209 y A207, y la construcción del nivel A208 a lo largo de las 3 secciones. Los trabajos que se realizarán en los bancos A209 y A207 básicamente serán la remoción de material estéril, posteriormente se empezara su explotación junto con la construcción y explotación del nivel A208.

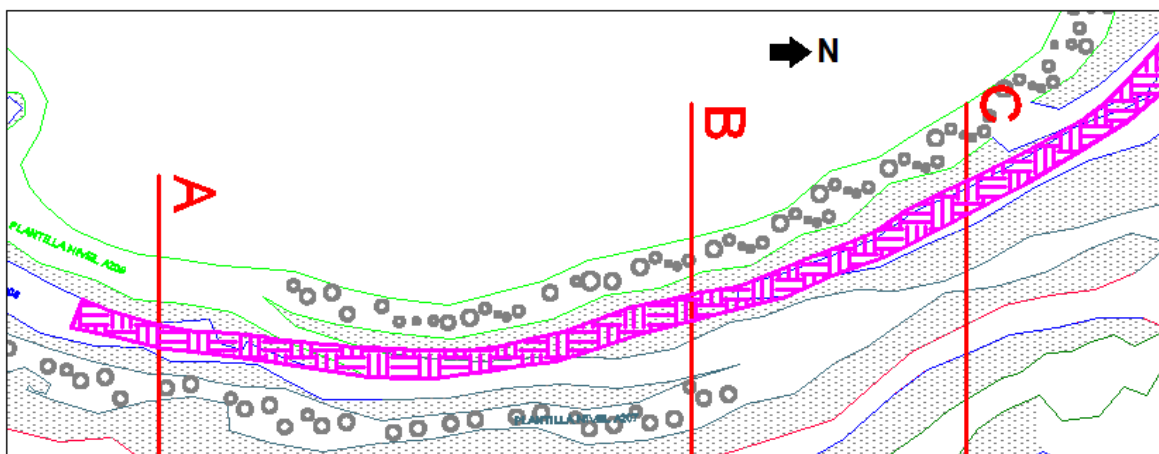


Figura V- 17. Construcción del nivel A208 a lo largo de las tres secciones.

La remoción de material estéril se llevará a lo largo del nivel A209 con la posibilidad de chorrear el material estéril al nivel A207, ya que la distancia de acarreo en este nivel al tiradero es más corto, de esta forma también el nivel A207 se llevará a cabo la remoción de material estéril, los bloques de barrenación, rezagado y acarreo estarán en el área 2 sur.

Una vez que el mantenimiento y acondicionamiento de los niveles A209 y A207 se encuentre en una fase avanzada en la sección A-'A, se procederá a la explotación del primer bloque, A, sobre el nivel A209 esto se realizara por cortes, alternando el ciclo de operación y movimiento de equipo entre el bloque B y el bloque B1, es decir, mientras el bloque A se encuentre en la etapa de acarreo de material estéril y de mineral, empleando dos camiones Terex TA30 y la excavadora JCB, el bloque B se encontrara en barrenación y el Bloque B1 estará en preparación para la construcción del nivel A208, de esta forma, en esta etapa se tendrán los tres primeros bloques de operación (A, B, B1), al concluir la explotación en el bloque A, las frentes de trabajo serán los bloque B, B1 y C, siempre respetando los parámetros geométricos establecidos.

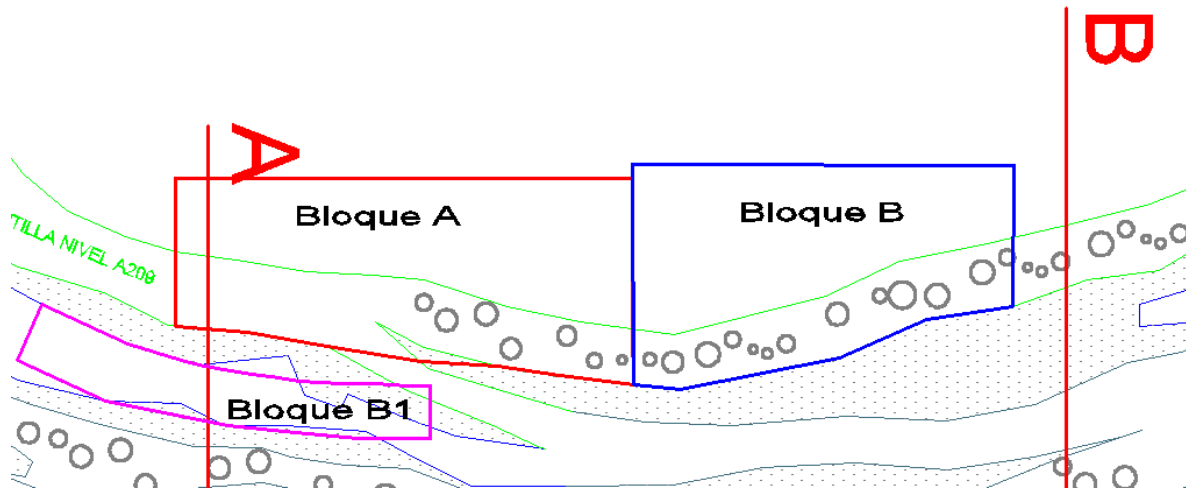


Figura V- 18. Desarrollo de los tres bloques de trabajo.

El sistema de secuencia y arranque consistirá en delimitar los tres bloques; 2 de preparación y uno en explotación, definiendo la secuencia de trabajo para optimar los tiempos y recursos necesarios.

El bloque A estará en producción empleando una de las excavadoras para estabilizar el banco, y la carga de los camiones. Para el transporte se emplearán dos camiones, mismos que alternarán su ciclo de trasporte para el acarreo de material estéril y de mineral.

El bloque B estará en preparación en su etapa de barrenación donde se emplearán el compresor AtlasCopco XATS375, con el Track Drill, lo que permitirá el avance sobre el nivel A209.

El bloque B1 estará también en su etapa de preparación, marcado de la plantilla de barrenación para la construcción y avance del nivel A208. De este bloque se encargará el área de topografía.

Para el caso de niveles existentes la limpieza se llevará a cabo empleando la otra excavadora, un cargador frontal junto con uno o dos camiones, (2 Terex y/o 1 Terex-1Euclid).

La etapa 2 se desarrollará en los bancos A207 y A205, por la altura del banco A207 ya no es posible generar otro banco entre estos, pues cumple con la altura máxima, sin embargo se trabajará para que el ancho sea de 8 metros y el ángulo de 75°.

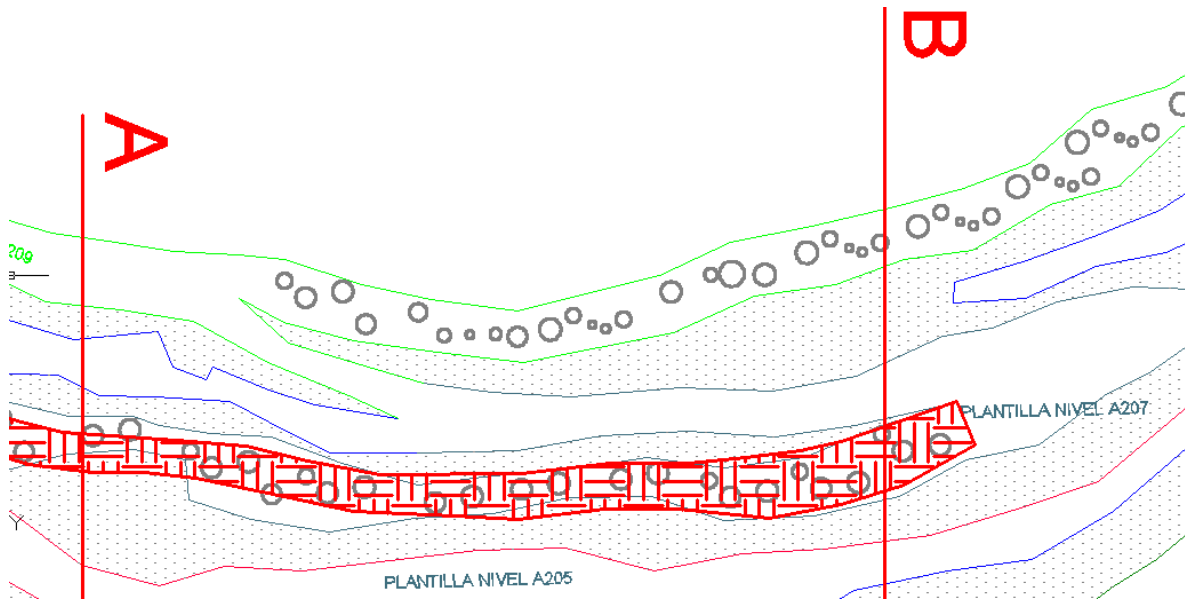


Figura V- 19. Rehabilitación del nivel A207 con un ancho de 8 metros y un ángulo de 75°.

La secuencia de trabajo se proyectará posteriormente entre el banco A205 y el banco A203 (etapa 3), donde se construirán dos nuevos bancos: el A204 y A204 Intermedio, para reducir la pared que actualmente se tiene, siendo el banco A205 el que se encontrará en la etapa de remoción de material estéril, y con la construcción de los nuevos bancos, el nivel A205 terminará con una altura de 5 metros.

La tabla V-13 muestra la altura de los bancos, para el banco A203 se tiene una altura de 21 metros por lo que al terminar la cuarta etapa de operación, se tendrán dos niveles nuevos el A201 y A202 con una altura de 8 metros respectivamente, dejando el banco A203 con un altura de 5 metros y respetando un ángulo de 75° para todos los bancos.

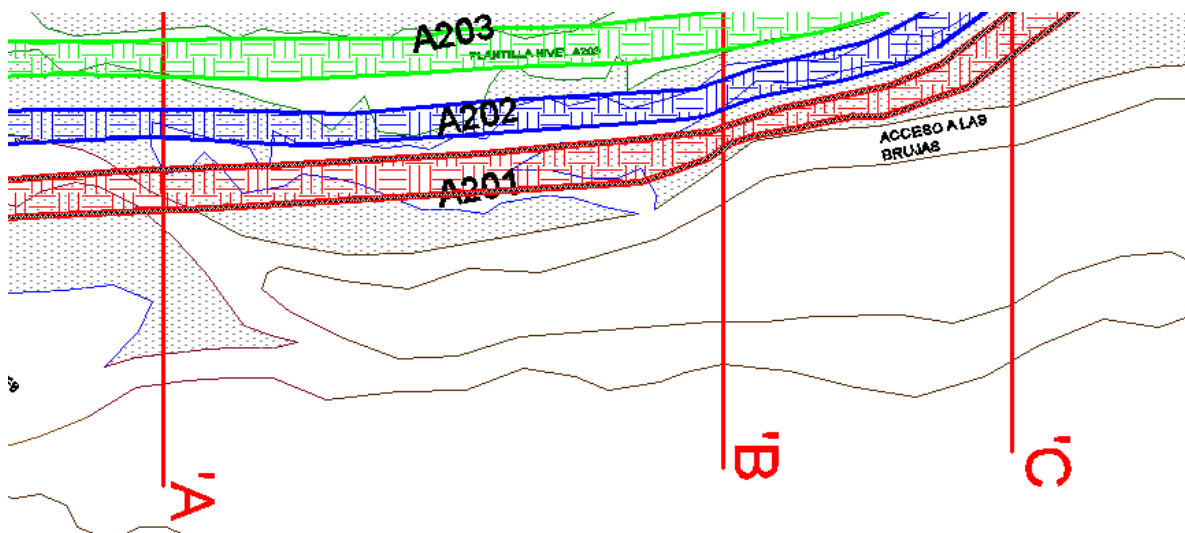


Figura V- 20. Proyección de los niveles A201, A202 y A203.

La cuarta etapa consistirá en rehabilitar el acceso a Las Brujas a lo largo de las 3 secciones, así como la construcción de los niveles A201 Y A202. La tabla V-12 muestra los anchos de los niveles a lo largo de las tres secciones por lo cual, los trabajos que se realizarán en esta etapa consistirán básicamente en la remoción de material estéril del acceso a Las Brujas y del nivel, así como de generar que el acceso a Las Brujas tenga un ancho de 10 m a lo largo de las tres secciones.

Tabla V- 13 Ancho de los niveles.

	A-'A	B-'B	C-'C
<b>Acceso a Brujas</b>	7.37	9.37	9.33
<b>A203</b>	10.64	13.05	10.95
<b>A205</b>	8.75	6.96	7.25
<b>A207</b>	6.09	12.31	4.82
<b>A208</b>	8.14	9.05	9.78
<b>A209</b>	11.15	9.63	13.51

Tabla V- 14 Altura de los bancos.

	A-'A	B-'B	C-'C
<b>A203</b>	21	21	21
<b>A205</b>	21	21	21
<b>A207</b>	8	8	8
<b>A208</b>	11	2	11
<b>A209</b>	1	10	1

Tabla V- 15 Ángulos de los bancos.

	A-'A	B-'B	C-'C
<b>A203</b>	37°	51°	29°
<b>A205</b>	55°	64°	61°
<b>A207</b>	33°	49°	43°
<b>A208</b>	63°	64°	46°
<b>A209</b>	59°	32°	7°

Las ventajas de esta secuencia de trabajo son:

- Acceso rápido a varias frentes de mineral.
- Facilidad para abrir frentes largos y áreas amplias para maniobras del equipo.
- Mejores condiciones de seguridad para el personal y maquinaria.
- Trabajar con varios bancos al mismo tiempo.

Con un aumento en la producción, se podrán operar más de dos bancos al mismo tiempo, lo que significaría un aumento de equipo y personal, siendo un área de oportunidad en el proceso de producción.

Llevando de esta manera la explotación del área 2 Norte se logrará que las operaciones trabajen de manera simultánea a lo largo de los bancos y no se vean interrumpidas las operaciones por el traslado de los equipos, reduciendo los costos de operación, además de tener la capacidad de incrementar la extracción de mineral.

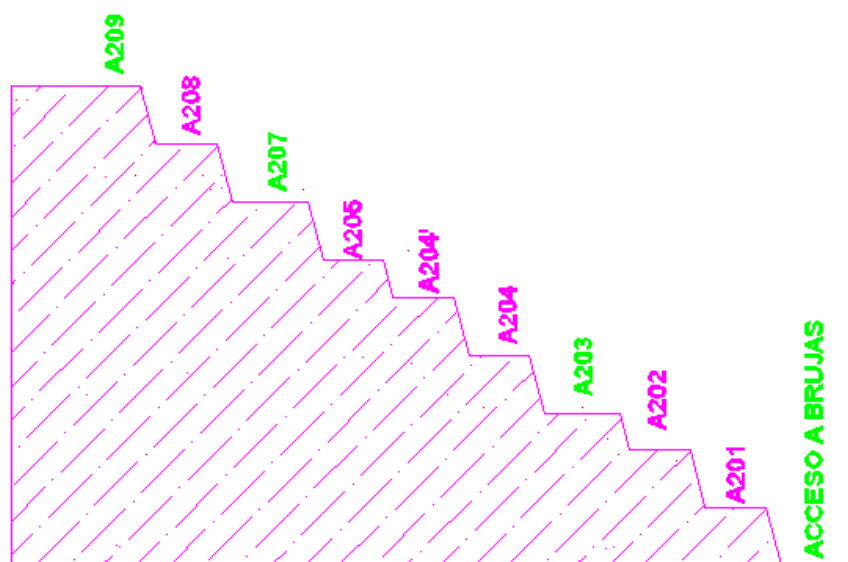


Figura V- 21 Proyección geométrica del talud al finalizar las 4 etapas.

## 5.8 SEGURIDAD E HIGIENE

Los programas de seguridad e higiene son de suma importancia, actualmente existen normas que respaldan y obligan a las empresas mineras a desarrollar e integrar dichos programas con el fin de garantizar la integridad de todos los trabajadores, mejorar las condiciones del ambiente de trabajo, monitoreo y mantenimiento, entrenamiento y capacitación, equipos contra incendio, equipo para la protección personal.

Actualmente la Norma Oficial Mexicana NOM-023-STPS-2003 establece y regula que toda mina cuente con un programa de seguridad e higiene que respalde la integridad de todo el personal en la minería.

La cual establece que es una obligación de la empresa:

- Elaborar un programa de seguridad e higiene en el trabajo que dé cumplimiento a lo establecido en la norma y planear, organizar, dirigir, controlar y registrar su implantación.
- Establecer la frecuencia, procedimiento y registros de revisión sobre el avance de cumplimiento al programa de seguridad e higiene en el trabajo.
- Realizar al menos cada seis meses auditorías del cumplimiento del programa de seguridad e higiene en el trabajo, y reportar por escrito los resultados al patrón y a los trabajadores, o a sus representantes.
- Supervisar que se cuente con las condiciones de seguridad e higiene y que todos los trabajadores cumplan con los procedimientos que en esta materia se establezcan.
- Establecer medidas inmediatas de prevención, protección y control cuando se detecte un riesgo grave e inminente.

Para garantizar la seguridad de todos los trabajadores, deben recibir el equipo de seguridad personal (casco, uniforme, lentes, protección auditiva, guantes, zapato de seguridad, botas, arnés y faja), de acuerdo con el área en la se encuentran. Anexo 2.

Todo el personal debe tener el conocimiento de la importancia del equipo de protección personal, con el objetivo de disminuir los riesgos en sus áreas de trabajo, para ello es necesario que todo el personal deba estar inmerso en la planeación, control y desarrollo de las distintas actividades tales como simulacros, talleres, entre otros, en los que se establezcan medidas de prevención, protección y control, estos programas se pueden implantar en forma de pláticas de forma continua.

Otro punto muy importante es la inspección de las áreas de trabajo de toda la mina y de igual manera del equipo en operación, con la implementación de hojas de seguridad y formas de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos, herramientas y sustancias que se utilicen, con el fin de garantizar un mejor ambiente de trabajo, y seguridad para todo el personal.

Algunos ejemplos de las formas de mantenimiento preventivo y correctivo se pueden observar en las tablas del Anexo 3 de igual manera esto debe funcionar si todo el personal desde el gerente de mina hasta los operadores, hacen de esto una tarea importante sobre los procedimientos de operación.

## 5.9 CIERRE Y ABANDONO DE LA MINA.

El objetivo de esta etapa es devolver o reintegrar la zona al paisaje inicial, buscando minimizar los efectos adversos dejados por la operación minera. Si bien el cierre y abandono puede ser por la extracción total de las reservas de mineral, el cierre debe empezar en zonas fuera de operación como los tiraderos.

Para ello se debe trabajar desde este momento en un plan que permita evaluar los riesgos que conlleva el cierre de la actividad minera, en el cual se incluyan estudios ambientales, económicos y sociales.

Se deben identificar los impactos generados por la actividad minera, dichos impactos deberán ser valorados para medir los efectos que a corto y largo plazo generen al entorno. Siempre considerando todas las alternativas y evaluarlas con el fin de seleccionar la que mejor se ajuste tanto a las necesidades del cierre y abandono de la mina.

Tabla V- 16 Impactos ambientales sobre el medio físico.

Factor ambiental		Acción/ Actividad	Impacto
<b>Clima</b>	Calidad del aire	Barrenación, carga y voladura. Movimiento de material estéril. Terreros	Emisión de gases y polvos a la atmósfera. Emisión de ruidos y vibraciones.
	<b>Hidrología</b>	Aguas superficiales	Excavaciones, barrenación. Derrame de combustibles y lubricantes.
	Aguas subterráneas	Vías de transporte. Infraestructura. Excavaciones y barrenación.	Alteración de la calidad por deposición de sólidos, obstrucción y encenagamiento del río, alteración del nivel freático, aumento de nivel de los sedimentos.
<b>Geología y Geomorfología</b>	Geología regional. Geología local. Topografía.	Residuos estériles. Barrenación y fragmentación. Construcción de taludes. Construcción de caminos.	Contaminación de los acuíferos locales por las aguas residuales.
<b>Paisaje</b>		Remoción de la vegetación. Residuos estériles.	Aumento de los procesos erosivos. Cambio en la topografía.
			Alteraciones de la calidad visual.



		Barrenación, carga y voladura. Abandono de la mina Construcción vial. Infraestructura.	
--	--	---	--

Tabla V- 17 impactos ambientales sobre el medio biótico.

Factor ambiental	Acción/actividad	Impacto ambiental
<b>Flora</b>	Barrenación, carga y voladura. Remoción de la vegetación. Construcción vial. Residuos de estéril. Abandono de la mina. Infraestructura.	Remoción de la vegetación y deforestación.
<b>Fauna</b>	Barrenación, carga y voladura. Remoción de la vegetación. Construcción vial. Excavaciones. Transporte de material. Infraestructura. Residuos de estéril.	Alteración del hábitat natural y desplazamiento de la fauna.
<b>Equilibrio ecológico</b>	Remoción de la vegetación. Barrenación, carga y voladura. Construcción vial. Acarreo de material. Abandono de la mina. Movimiento de tierras.	Alteración del flujo de energía y material de formación. Pérdida de la biodiversidad.

Tabla V- 18 impactos ambientales sobre el medio antrópico.

Factor ambiental	Acción/actividad	Impacto
<b>Económicos</b>	Economía Comercialización Construcción de vías. Infraestructura Transporte	Aumento del empleo Aumento de la demanda por servicios sociales.

<b>Sociales</b>	Vialidad Salud	Construcción de vías. Abandono de la mina Remoción de la vegetación. Infraestructura Transporte Emisión de gases contaminantes.	Incremento en el número de accidentes. Aumento en el número de enfermedades.
<b>Culturales</b>	Cultura	Comercialización.	Enriquecimiento de la diversidad cultural.

El objetivo de este plan puede ser enfocado solamente en términos del simple cumplimiento legal o bien incluir igualmente un serio interés por hacer bien aquello que efectivamente importa. Esto porque los efectos negativos pueden manifestarse décadas después del cierre de las operaciones.

En dicho plan se debe diferenciar entre: la prevención del impacto, que se desarrolla durante la explotación del yacimiento; la restauración del terreno, que consiste básicamente en devolver en lo posible su aspecto original; y la remediación, que pretende solucionar los problemas de mayor impacto, no solucionables mediante la simple restauración.

Por ser una mina a cielo abierto se buscará que el área explotada se recupere empleando reforestación o incluso darle otro uso potencial, acorde con el medio ambiente circundante, como otras minas alrededor del mundo, las cuales han sido de tipo urbanístico o industrial, de recreación pasiva, agrícola o forestal, conservación de la naturaleza, depósito de agua, tiradero, entre otros.

También se debe contemplar la demolición y desmantelamiento de las instalaciones de la mina, así como la clausura de caminos de acceso.

Para este plan, el papel que juegan los trabajadores es muy importante ya que desempeñan un papel fundamental en la restauración de la explotación, pues son los que más directamente están implicados en la ejecución y puesta en práctica de muchas de las medidas establecidas. Ante los trabajadores se debe poner énfasis en: explicar la importancia que tienen las medidas para la empresa y elaborar instrucciones por escrito para la ejecución de las distintas fases.

Con esto se deben cumplir los objetivos que establecen las normas mexicanas, además de realizar un cierre y abandonos responsables.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

La información y datos obtenidos en campo sirvieron para evaluar el sistema de explotación que se tienen actualmente y con ello optimizar el ciclo de operación, con el fin de tener una operación minera con mayor control, para ello fue importante conocer los tiempos de operación de los equipos.

Al analizar la información, la historia de los periodos de explotación, y las consecuencias que los diversos acontecimientos han generado, se demuestra que la planeación de la operación minera es muy importante antes, durante y después de la puesta en marcha de las operaciones, para evitar los problemas que la empresa ha enfrentado.

El mercado para la fosforita es de suma importancia para la supervivencia de la operación, por ello se deben seguir buscando nuevos clientes y opciones, para colocar en el radar a Fosforita de México S.A. de C.V. como un gran productor de fosforita a nivel nacional.

Con la optimización del ciclo de operación, la rehabilitación del tajo podrá llevarse a cabo de forma correcta, donde todos los bancos tengan una configuración geométrica adecuada y de esta forma garantizar la seguridad en la operación, así como el aprovechamiento de todo el mineral en sus diferentes porcentajes de  $P_2O_5$ .

La capacidad instalada de los equipos permiten obtener una producción de 3,226 toneladas por día, lo que significa que la empresa no necesitara adquirir nuevos equipos para incrementar la producción, solamente tendrán que distribuirlos de manera correcta y ajustarlos al incremento de la producción.

El diseño del talud se llevó a cabo considerando principalmente la seguridad tanto para el personal como el equipo, para ello se establecieron parámetros geométricos en función de los equipos y las características del macizo rocoso. Los bancos tienen como máximo una altura de 8 metros con un ángulo de  $75^\circ$ , el ancho máximo de las bancos también es de 8 metros garantizando la seguridad del transporte principalmente en la temporada de precipitación pluvial, los caminos y accesos tendrán una pendiente máxima de 10 %.

Para la planeación del área 2 norte el desarrollando de la explotación será con un avance S-N sobre los bancos de forma descendente se tendrá un mejor control sobre la operación, es decir, se rehabilitarán bancos y accesos, así como recuperar mineral que en su momento no se logró explotar, además de ser más rentable que ir profundizando. El ataque de la explotación sobre los bancos se llevará en dirección E-W con el fin de explotar todo el mineral de los niveles superiores y lograr que la configuración del talud sea el adecuado.

De esta forma el ciclo de minado fue optimizado, garantizando la producción mensual con el quipo disponible, mejorando las condiciones de operación, obteniendo un mejor control en la operación minera.

Fosforita de México S.A. de C.V. es una empresa comprometida con su operación y sus trabajadores, que tiene mucho que dar, considerando el trabajo que se ha realizado desde su apertura, nuevamente tiene la oportunidad de tener una operación con mayor control y sistematización, es claro que es un proceso que no se puede lograr de la noche a la mañana, pero tampoco es imposible.

Al no conocerse las reservas con las que se cuenta, no se puede estimar la vida de la mina, sin embargo, no se debe dejar de trabajar en un programa de abandono y post cierre de la mina, que cumpla con los requerimientos de las normas mexicanas.

## RECOMENDACIONES

Si bien ya se ha comentado la importancia que tiene la geología para poder llevar a cabo la explotación, en este yacimiento por sus características es un tema complejo por la poca información que se tiene además de la forma peculiar del mismo, es difícil determinar el comportamiento y las reservas con las que se cuenta, por dicha razón para enriquecer este trabajo se debe trabajar en un estudio geológico a detalle que pueda dar respuesta a la cantidad de reservas con las que se cuenta y por ende, determinar la vida de la mina.

Es lógico pensar que para determinar las reservas se puede emplear barrenación, pero por los elevados costos de este proceso, pensar en otras alternativas resulta más rentables, como un estudio geofísico que podrá ser más preciso. Aunado a este estudio es necesario realizar un análisis geotécnico para determinar los esfuerzos a los que está sometida la roca y cuidar la cuestión estructural del yacimiento, además de ayudar a determinar la geometría final del talud.

La empresa ha contemplado los costos por tonelada propia y de contratistas determinando un costo mayor en la tonelada producida por la empresa versus contratistas, por lo que se buscan opciones para revertir este hecho sin afectar a los contratistas que dependen de la compra y venta del mineral, que en gran medida dependen de la actividad minera en la zona, dando trabajo y oportunidades a muchas personas de la zona. Una propuesta es en cuanto a los gastos de la remoción de material estéril, los cuales sean cubiertos por ambas partes en un 50%, de esta forma se reducirían los costos de la empresa beneficiando a ambas partes, dado que se rehabilitarían accesos y caminos para el transporte del mineral.

Aunado a lo anterior los costos de producción de la empresa deben reflejar una disminución por la optimización del ciclo de operación, sin embargo la empresa no puede eliminar los costos de explosivos y supervisión de los contratistas, de hacerlo los contratistas no podrán explotar el mineral y se generarían problemas de seguridad por falta de supervisión.

Para conocer las oportunidades económicas con las que puede contar la empresa, se debe trabajar en un análisis financiero a detalle con el fin de conocer la factibilidad económica de la empresa a mediano y largo plazo. Este estudio también debe abarcar en las oportunidades que se tienen en la generación de un producto propio, con la instalación de la infraestructura requerida para la fabricación y comercialización, además de buscar otro proceso de beneficio de la fosforita para aumentar su contenido de  $P_2O_5$ .

También se deben trabajar en aspectos de seguridad e higiene donde todo el personal esté involucrado, es decir, desde los directores del corporativo hasta los empleados de mina y planta, donde se busque un ambiente de trabajo seguro en cada una de las áreas. Esto se debe aplicar con pláticas semanales, cursos de capacitación continua y de ser posible pensar en un curso de inducción similar al de otras minas.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALLTECH. (2013). *Resumen de producción mundial de alimentos balanceados*.
- Altamirano Álvarez, C. (2013). *Apuntes de Temas Selectos de Minería*. México.
- ANACOFER. (2013). *Perspectiva y retos de la industria de fertilizantes en México: "Responsabilidad de todos"*. México.
- Calder N., P. (s.f.). *Tópicos en ingeniería de minas a rajo abierto*.
- CAMIMEX. (2010). *Informe anual 2011: Situación de la minería Mexicana*.
- CAMIMEX. (2011). *Informe anual 2012: Situación de la minería Mexicana*.
- Carrasco Velázquez , B., Martínez Hernández , E., & Ramírez Arriaga , E. (2009). Estratigrafía de la formación El Morro del Paleoceno-Eoceno en Zimapán, Hidalgo. *En Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(3).
- Carrasco Velázquez, B. E. (2011). Evaluación de Paleokarsts en las plataformas clacáreas del Albino Superior en México, Guatemala y Honduras. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XII(2).
- Carrillo Martínez , M. (1981). Contribución al estudio geológico del macizo Calcáreo El Doctor, Querétaro. (UNAM, Ed.) *Instituto de Geología*, 5(1).
- Carrillo Martínez , M. (1989). Estratigrafía y tectónica de la parte centro oriental del Estado de Querétaro. (UNAM, Ed.) *Instituto de Geología*, 8(2).
- Carrillo Martínez , M. (1990). Geometría estructural de la Sierra Madre Oriental, entre Peñamiller y Jalpan, Estado de Querétaro. (UNAM, Ed.) *Instituto de Geología*, 9(1).
- Castro , L., & Melgar , R. (2005). Rocas fosfáticas. En *Minerales para la agricultura en Latinoamérica*. Buenos Aires.
- Caterpillar Inc. (2013). Hoja técnica de la excavadora hidráulica 330C L. Obtenido de [www.cat.com](http://www.cat.com)
- Coordinación General de Minería, Dirección General de Desarrollo Minero. (2012). Perfil de mercado de la fosforita. (S. d. Economía, Ed.) México.
- Departamento de Huila y Zeolitas AFL LTDA. (2008). *Informe final; Selección de la mejor alternativa para la industrialización de la roca fosfórica en el departamento de Huila*.
- Dirección General de Desarrollo Minero. (2012). *Perfil de mercado de la fosforita*. Secretaria de Economía , Coordinación General de Minería, México.
- FAO. (2000). *Fertilizers and their use*. Roma.

- FAO. (2007). Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. *Boletín FAO fertilizantes y nutrición vegetal*(13). Roma.
- Fuentes Pacheco , E., Bohorquez Galvis , I., & Jojoa M., J. (s.f.). *Diseño del método de explotación para la mina de arcilla Asoguayabal*.
- Galli Olivier , C., Garduño , G., & Gamiño, J. (2006). Phosphorite deposits in the Upper Oligocene. San Gregorio formation at San Juan de la Costa, Baja California Sur, Mexico. En *Phosphate deposits of the world: Volume 3 Neogene to modern phosphorites. Part of Cambridge Earth Science Series*.
- Garrido Hernández , M. (Nobiembre de 2013). Tesis; Modelo tridimensional geológico estructural de la mina La Negra de Fosforita de México S. A., en el municipio de Pacula, Hidalgo. UNAM, México.
- Gavi Reyes , F. (2012). Uso de fertilizantes. (SAGARPA, Ed.) México.
- Gobierno del Estado de Hidalgo; Secretaria de planeación, desarrollo regional y metropolitano. (2010). Enciclopedia de los municipios de Hidalgo, Pacula.
- Greystar Resources Ltd. (Diciembre de 2009). Plan de abandono y restauración final. En *Estudios de impacto ambiental – proyecto Angostura*.
- Hartman, H. (1992). *SME Mining engineering handbook* (Segunda ed., Vol. 2). (M. a. Society for Mining, Ed.) Colorado.
- Herrera Herbert , J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. (E. T. Minas, Ed.) Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Hustrulid, W., & Kuchta, M. (1995). Fundamentals. En A. Blakema, Rotterdam, & Brookfield (Edits.), *Open pit mine planning and design* (Vol. I).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*. (2013). Obtenido de <http://www.inegi.org.mx>
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1994). *Manual de perforación y voladura de rocas*. (Segunda ed.). España.
- J C Bamford Excavators Ltd. (2013). Hoja técnica de la excavadora hidráulica JS200. Obtenido de [www.jbc.com](http://www.jbc.com)
- Lapido Loureiro , F. E., Bezerra de Mello Monte , M., & Nascimento , M. (2008). Agrominerais. En CETEM, *Fostato en rochas & minerais industriais – Usos e especificações* (Segunda ed.). Rio de Janeiro.
- León , L. A. (1991). La experiencia del Centro Internacional para el desarrollo de fertilizantes en el uso de rocas fosfóricas en América Latina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 17.

- Mendoza Rosales , C., & Silva Romo , G. (2001). Tectonosomas del Cretácico Superior en la región de Zimapán, Hgo., México. En *Memorias en Cd del XI Congreso latinoamericano de geología*. Montevideo, Uruguay.
- Mining Technologies International Inc. (2013). Tablas de mantenimiento preventivo periódico. Obtenido de <http://www.mti.ca>
- Núñez Escobar, R. (2005). Manifestaciones fosfáticas. En *Minerales para la agricultura en Latinoamérica*. Buenos Aires.
- Oyarzún Muñoz , J. (2008). *Planes de cierres mineros. La Serena* .
- Proyecto Cyted XIII-2. (Noviembre de 2005). Fosfatos. *Minerales para la agricultura en Latinoamérica*. Buenos Aires, Argentina.
- Quintus B., R. L. (1982). Libro guía de la excursión geológica a la región de Zimapán y áreas circundantes, Estados de Hidalgo y Querétaro. En S. G. Mexicana, *Estudio geológico de la zona fosforítica de San Francisco, municipio de Pacula, Estado de Hidalgo*.
- Rodas González , M., & Fernández Barrenechea , J. (2005). Minerales utilizados en agricultura. En S. d. Mineralogía, *Utilización de rocas y minerales industriales. Universidad Complutense de Madrid* (Vol. II). Madrid.
- Romero , A. (Enero de 2013). Falta sembrar cultura de nutrición vegetal. *El Economista*.
- Romero , C., Alfonso, S., Medina , R., & Flores , R. (2013). Evaluación inicial de la fertilización con roca fosfórica en tres especies del género *Brachiaria*. *Zootecnia Trop*, XXI(2), 183-196.
- Roso , L. M. (2011). El mercado de los fertilizantes en México. *Notas sectoriales de la ICEX*. México.
- SAGARPA. (Julio de 2012). Comunicado de prensa: México sexto productor mundial de alimentos balanceados. México.
- Secretaría de Economía. (2010). *Panorama minero del Estado de Hidalgo*.
- SEMARNAT. (2010). *Manifestación de impacto ambiental modalidad particular proyecto minero EVA municipio de Manzanillo*. Colima.
- Servicio Geológico Mexicano. (2007). El Doctor, caliza, Cretácico Temprano, Albiano-Cretácico Tardío, Cenomaniano. En *Léxico estratigráfico de México*. México.
- Servicio Geológico Mexicano*. (2013). Obtenido de <http://www.sgm.gob.mx>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. (2011). Estadística nacional de producción minera por recurso. En *Anuario de la minería de Chile*. Chile.



- Simons, F. S., & Mapes-Vázquez , E. (1957). Geología y yacimientos minerales del distrito minero Zimapán, Hidalgo. *Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales*(40).
- Suter , M. (1987:98). Structural traverse across the Sierra Madre Oriental fold-thrust belt in east-central Mexico. *Geological Society of America Bulletin*(3).
- Unión Temporal GI. Georecursos. (2005). Análisis de la estructura productiva y mercados de la roca fosfórica. En *Informe final; Contrato 1517-08-2005*. Bogotá.
- Unión Temporal GI. Georecursos. (2005). Análisis de la estructura productiva y mercados de la roca fosfórica. En *Informe final; Contrato 1517-08-2005*. Bogotá.

## ANEXOS

### ANEXO 1 MEMORIA DE CÁLCULO: COSTOS DE EXPLOSIVOS

Tabla Anexo I- 1 Costos en Dlls.. del explosivo y accesorios.

Explosivos y Artificios	Unidad de Medida	Costo USD
Amex UG (ANFO)	kg	0.88
Magnafrag 1 1/2"X8"	kg	2.89
Magnafrag 1"x8"	kg	2.71
Cañuela	m	0.31
Fulminante	pza	0.25
Cortex	m	0.39
Conector	pza	0.21
Nonel Mg	pza	2.01

Para la plantilla de 48 barrenos con un diámetro de 1 ½ in se tiene:

L=3 m

B=0.97 m

S=1.2 m

T=0.7 m

Columna=2.3 m

$\rho_r=2.72 \text{ kg/m}^3$

Producción de la plantilla: 463.68 ton.

entonces:

Kg ANFO

$$kg \text{ ANFO} = (\text{columna}) \left( \text{factor} \frac{kg}{m} \right)$$

$$kg \text{ ANFO} = (2.3m) \left( (1.14 * 0.85) \frac{kg}{m} \right) = 2.22 \text{ kg}$$

Alto Explosivo

Se necesitara 1 pieza de Magnafrag 1"X8" por barreno = 0.119 kg.

Accesorios

*Cañuela:* 3 m por barreno más 4 m para realizar la iniciación.

*Fulminante:* 1 pieza por barreno

Los resultados anteriores muestran las cantidades de explosivo y accesorios que se requieren para el cargado y voladura de la plantilla, sin embargo por la longitud de la barrenación se debe repetir el procedimiento una segunda vez para obtener un banco de 6 m. por lo que los resultados anteriores se deben duplicar.

La siguiente tabla muestra los resultados totales así como el costo del explosivo y accesorios.

*Tabla Anexo I- 2 Explosivo, accesorios y costos para la plantilla actual.*

	Barreno 1 ½ in	Costo \$ DLLS
<b>kg ANFO</b>	213	187.44
<b>Alto explosivo (kg)</b>	11.42	30.95
<b>Accesorios</b>		
<b>Cañuela (m)</b>	292	90.52
<b>Fulminante (pza)</b>	96	24
<b>Total</b>		332.91

Para la plantilla de 48 barrenos con un diámetro de 3 in se tiene:

L=8 m

B=1.94 m

S=2.70 m

T=1.94 m

Columna=6.06 m

$\rho_r=2.72 \text{ kg/m}^3$

Producción de la plantilla: 5472 ton.

entonces:

Kg ANFO

$$kg \text{ ANFO} = (\text{columna}) \left( \text{factor} \frac{kg}{m} \right)$$

$$kg \text{ ANFO} = (6.06m) \left( (4.56 * 0.85) \frac{kg}{m} \right) = 23.5 kg$$

### Alto Explosivo

Se necesitara 1 pieza de Magnafrag 1 ½ "X8" por barreno = 0.267 kg.

### Accesorios

*Cañuela*: 2 m para realizar la iniciación.

*Fulminante*: 2 piezas.

*Conectores*: 2 piezas.

*Cortex*: 60 m.

*Nonel Mg*: 48 piezas.

La siguiente tabla muestra los costos del explosivo y accesorios requeridos para la plantilla propuesta.

*Tabla Anexo I- 3 Explosivo, accesorios y costos de la plantilla propuesta.*

	Barreno 3 in	Costo \$ DLLS
<b>kg ANFO</b>	1235.52	1087.26
<b>Alto explosivo (kg)</b>	12.82	37.04
<b>Accesorios</b>		
<b>Cañuela (m)</b>	2	0.62
<b>Fulminante (pza)</b>	2	0.5
<b>Nonel Mg (pza)</b>	48	96.48
<b>Conector (pza)</b>	2	0.42
<b>Cortex (m)</b>	146	56.94
<b>Total</b>		1279.26

Por lo tanto se tiene y considerando \$13.00 pesos como tipo de cambio del dólar:

$$\text{Costo en Dlls} = \frac{332.91 \text{ Dlls}}{927.36 \text{ ton}} = 0.36 \text{ Dlls}$$

*Tabla Anexo I- 4 Comparación de los costos de ambas plantillas.*

	Tonelaje	Costo \$ DLLS/ton	Costo \$psos/ton
<b>Barrenación 1 ½ in</b>	927.36	0.36	4.68
<b>Barrenación 3 in</b>	5472	0.23	2.99

## ANEXO 2 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO DE SEGURIDAD PERSONAL

I	Área de Trabajo									
	Oficina	Taller Mecanico	Topografía	Barrenadores	Operadores de Equipo	Limpiadores	Cargadores	Laboratorista	Muestreros	
Casco	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Uniforme	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Zapato de Seguridad	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Botas			x						x	
Faja		x		x		x	x		x	
Lentes		x	x	x	x	x	x	x	x	
Mascarilla para polvo				x		x	x		x	
Mascarilla para gases								x		
Protección Auditiva		x	x	x				x		
Guantes		x		x		x	x	x	x	
Chaleco			x	x					x	

## ANEXO 3 TABLAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PERIÓDICO



MINING TECHNOLOGIES  
INTERNATIONAL INC.

LT-650 Manual de servicio

**TABLAS DE  
MANTENIMIENTO  
PERIÓDICO**

Esta sección describe las acciones recomendadas por MTI para el mantenimiento preventivo periódico. Cada periodo de servicio tiene sus objetivos descritos en la tabla para facilitar su revisión y lectura.

**Periodo: Cada 8 horas de servicio (Diariamente)**

Fecha: _____		Máquina: _____		N/S: _____	
Ubicación: _____		Horas: _____			
OK	Servicio	Elemento	Servicio		
		Aceite del motor	- Revisar nivel / Agregar según sea necesario		
		Aceite de la transmisión	- Revisar nivel / Agregar según sea necesario		
		Fluido hidráulico	- Revisar nivel / Agregar según sea necesario		
		Sistema de enfriamiento	- Revisar nivel / Agregar según sea necesario		
		Tanque de combustible	- Revisar nivel / Agregar según sea necesario		
		Indicadores e instrumentos	- Inspeccione para detectar defectos		
		Engrasado	- Engrasar todos los puntos de revisión		
		Recorrido de inspección	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Articulación</li> <li>- Cardanes</li> <li>- Fugas / daños / componentes flojos</li> <li>- Luces</li> <li>- Cubeta</li> <li>- Desgaste de las llantas / presión 80 psi</li> <li>- Tuercas de birlos de las llantas (par de apriete de 330 lbs-pie)</li> </ul>		
		Equipo de seguridad (si está instalado)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Supresor de fuego y equipo relacionado</li> <li>- Alarma de reversa</li> <li>- Cinturón de seguridad</li> <li>- ROPS (Sistema de protección contra volcaduras) y sujetadores</li> <li>- Verificar funcionamiento del claxon</li> </ul>		
		Frenos de emergencia y de servicio	- Probar funcionamiento antes de operar la máquina		



**Periodo: Cada 250 horas de servicio**

Orden de inspección de mantenimiento preventivo			
FECHA:		UNIDAD#:	
EQUIPO: LT-650		TIPO de MP: 250 horas	
FECHA DE EMISION:		FECHA DE TERMINACION:	
UBICACION:		LECTURA HOROMETRO:	
<i>Antes de realizar este servicio, complete todos los servicios previamente programados.</i>			
LISTA DE FILTROS			
NUMERO DE PARTE	DESCRIPCION	CANTIDAD	EXISTENCIA
Consulte el Manual de partes	Filtro de aceite del motor		
Consulte el Manual de partes	Filtro de aire principal del motor		
Consulte el Manual de partes	Filtro de aire secundario del motor		
Consulte el Manual de partes	Elemento del filtro hidráulico HP		
Consulte el Manual de partes	Elemento del filtro del retorno hidráulico		
Consulte el Manual de partes	Pre-filtro de combustible del motor		
Consulte el Manual de partes	Elemento separador de combustible / agua		
Consulte el Manual de partes	Filtro de la transmisión		
Consulte el Manual de partes	Banda estriada en V		
<p><b>Nota:</b> La siguiente información puede provenir de los manuales de operación / mantenimiento / servicio. Consulte esas publicaciones para mensajes de seguridad, información adicional y procedimientos para realizar estas funciones.</p> <p>Utilice el procedimiento de bloqueo: instale el bloqueo de la dirección y las cuñas de las ruedas.</p>			
Revisiones de 250 horas		Hecho por:	OK o X (Ver nota)
Registrar ubicación de fugas			
Limpiar a vapor toda la unidad - quitar todas las cubiertas			
Revisar cojines del asiento, suspensión y operación de cinturones de seguridad			

Revisar funcionamiento del acelerador/estrangulador, controles de la transmisión, controles de volteo/izamiento y controles de dirección		
Funcionamiento del claxon		
Todos los indicadores		
Sistemas de advertencia		
Realizar prueba de frenos y registrar resultados (2da velocidad, acelerador a fondo)		
Funcionamiento del freno de servicio		
Funcionamiento del freno de estacionamiento		
Revisar estado de cilindros y pasadores de dirección		
Revisar dirección, cubeta y topes de la pluma		
Extintor de incendios y soportes		
Defensas, cofres y parrilla		
Revisar nivel de aceite en eje delantero		
Revisar nivel de aceite en eje trasero		
Revisar par de apriete tuercas ruedas - todas las llantas:		
Revisar estado del rin		
Presión de llantas: _____ psi		
Altura de las llantas y profundidad del dibujo:     Izq./Del.     Der./Del. Izq./Tra.     Der./Tra.		
Marca de llanta #5: Izq./Del. Der./Del. Izq./Tra. Der./Tra.		
Presión (psi) de aceite del motor:     Ralentí:     Ralentí alto:		
Presión del embrague de transmisión (250 psi ±)		
Sistema de frenos: Entra (1800 a 1900) / Sale (2250 a 2350)		
Presión de dirección (3300 psi)		
Sistema de volteo/izamiento: Pluma levantada - 3300 / Pluma abajo - 1450 Volteo de Cubeta 1200 / Retracción - 3300		
Compensador (ambos 3300 psi)		
Presión en espera del sistema piloto (450 psi)		
<b>BASTIDOR</b>	<b>Hecho por:</b>	<b>OK o X (Ver nota)</b>
Inspeccionar todas las líneas y múltiples de grasa		
Inspeccionar cofres y agarraderas para detectar daños		
Revisar carrocería para detectar daños, grietas		
Inspeccionar cubeta y borde para detectar grietas y desgaste		
Revisar estado y montaje de cortadores laterales		





Registrar tamaño de cubeta (borde) y condiciones (# de cubeta )		
Izq.                  Centro                  Der.		
Inspeccionar pluma para detectar grietas (registrar ubicación)		
Inspeccionar pluma y cubeta - pasadores y bujes (par de apriete pasador pluma 280 lb-pie) (par de apriete perno pasador cubeta - perno ½" 100 lb-pie)		
Inspeccionar pasadores de articulación para detectar desgaste		
Inspeccionar bastidor para detectar grietas (registrar ubicación)		
<b>TREN MOTRIZ</b>	<b>Hecho por:</b>	<b>OK o X (Ver nota)</b>
Revisar niveles de aceite de eje (2)		
Retirar y limpiar respiraderos del diferencial (2)		
Revisar conj. eje para detectar fugas		
Revisar muñones del eje oscilante para detectar grietas, desgaste y pernos flojos		
Inspeccionar todas las juntas universales para detectar el juego y el apriete de pernos		
Revisar cojinetes colgantes para detectar el juego y el apriete de pernos		
Engrasar todas las líneas de impulso y cojinetes colgantes		
Revisar el nivel de aceite de la transmisión		
Revisar apriete de pernos de montaje de transmisión		
Retirar y limpiar respiradero de transmisión y convertidor de par		
<b>MOTOR</b>	<b>Hecho por:</b>	<b>OK o X (Ver nota)</b>
Cambiar aceite y filtros del motor y tomar muestra		
Cambiar filtros de aire y revisar alojamiento		
Revisar todos los tubos de admisión de aire para detectar fugas		
Inspeccionar área del motor para detectar fugas de combustible o de aceite		
Revisar tensión y estado de las bandas		
Revisar campana/soporte del motor en el bastidor para detectar grietas		
Revisar par de apriete de pernos de montaje de bomba hidráulica y detectar fugas		
Revisar soportes, hules y pernos del motor		
Revisar sistema de escape, montajes y fugas		

SIST. ELECTRICO	Hecho por:	OK o X (Ver nota)
Revisar interior de tablero de instrumentos para detectar piezas sueltas o faltantes		
Revisar en busca de cables desgastados, sin aislante o flojos		
Limpia terminales y conexiones de la batería		
Probar gravedad específica de la batería (si aplica)		
Inspeccionar todos los interruptores y conexiones		
Inspeccionar montajes y cableado del motor de arranque y alternador		
250 horas - SIST. HIDRAULICO	Hecho por:	OK o X (Ver nota)
Revisar todas las válvulas y montajes para detectar fugas		
Inspeccionar todos los cilindros y montajes para detectar fugas		
Inspeccionar la protección contra explosión de mangueras del cilindro de volteo (manga de nylon/plástico)		
Revisar conexiones giratorias del cilindro de volteo/dirección/izamiento para detectar fugas		
Pluma baja velocidad		
GENERAL	Hecho por:	OK o X (Ver nota)
Revisar apariencia general de la máquina		
Recorrido de prueba		