

1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES DE
BARRENACION PARA GENERAR UN PROCESO DE
CALIDAD EN EL SISTEMA DE EXPLOTACION
MINERA DE LA CIA. MEXICANA DE CANANEA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA

P R E S E N T A :

ALEJANDRO GUZMAN FLORES

M. en C. JUAN JOSE OBREGON ANDRIA

783753

MEXICO, D. F.

2000





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-1-080

SR. ALEJANDRO GUZMAN FLORES
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M. en C. Juan José Obregón Andría y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero de Minas y Metalurgista :

**ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES DE BARRENACION PARA GENERAR UN
PROCESO DE CALIDAD EN EL SISTEMA DE EXPLOTACION MINERA DE LA CIA.
MEXICANA DE CANANEA**

- I GENERALIDADES
 - II INFORMACION GEOLOGICA
 - III EQUIPO DE BARRENACION
 - IV ANALISIS DE LAS OPERACIONES DE BARRENACION
 - V ANALISIS DE COSTOS
 - VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA
ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

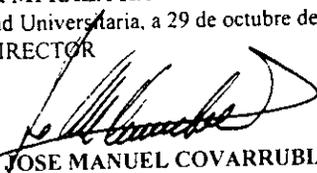
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Ciudad Universitaria, a 29 de octubre de 1997

EL DIRECTOR



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*RR*gtg

Agradezco a Dios la oportunidad a la vida que me dio.

Dedicado:

+

A mi madre Carmelita Flores de Guzmán por su cariño y por 19 años de su preciosa compañía.

A mi padre M. Moisés Guzmán J. Por todo lo bueno que me dio y por crear un origen al que puedo regresar.

A mis hermanos:

Bety

Moisés

Gerardo

Por su apoyo y ejemplo.

A Moni por creer en mi, y por su apoyo incondicional.

A mi Tia Esperanza y a Male que las quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer patente mi agradecimiento al M. C. Juan José Obregón Andría por su apoyo y paciencia que tuvo para el desarrollo de esta tesis.

Igualmente agradezco al M. C. José de Jesús Huevo Casillas, Ing. Carl A. Servin, Ing. Mauricio Mazari Hiriart y Ing Carlos Garnica Hernández por sus valiosos comentarios para la edición de este trabajo.

Agradezco a toda la gente que de una o de otra manera me ayudaron a terminar la tesis que parecía interminable.

Por último a la Facultad de Ingeniería de la UNAM de donde estaré siempre agradecido.

ÍNDICE

I GENERALIDADES

I.1	Localización	1
I.2	Fisiografía	1
I.3	Vías de acceso y comunicaciones	1
I.4	Clima	3
I.5	Servicios	3
I.6	Actividades socioeconómicas de la región	3
I.7	Historia	3

II INFORMACIÓN GEOLÓGICA

II.1	Introducción	6
II.2	Geología histórica	6
II.3	Estratigrafía	7
II.4	Geología estructural	11
II.5	Metamorfismo, alteración y mineralización	13
II.6	Descripción geológica del área de operación minera	17
II.7	Organización del proceso de información geológica para estructurar un sistema de calidad	19

III EQUIPO DE BARRENACIÓN

III.1	Introducción	20
III.2	Teoría básica de barrenación	20
III.3	Descripción general de la perforadora	28
III.4	Sistema de izado y propulsión	30
III.5	Unidad de conducción rotaria	32
III.6	Sistema de aire	32
III.7	Sistema hidráulico	32
III.8	Sistema de inyección de agua	34
III.9	Sistema de energía	34
III.10	Brocas, tubería de perforación y estabilizadores	35
III.11	Operación de la maquinaria de perforación	41

IV ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES DE BARRENACIÓN

IV.1	Introducción	47
IV.2	Estadísticas de barrenación	48
IV.3	Control de tamaño de partícula	52
IV.4	Análisis de las operaciones de perforación para establecer un sistema de calidad	53
IV.5	Operaciones de barrenación	54
IV.6	Análisis de las operaciones de barrenación	60
IV.7	Recursos humanos	75

V ANÁLISIS DE COSTOS

V.1	Introducción	77
V.2	Análisis de costos de barrenación	80
V.3	Ejemplo	83
V.4	Análisis de los costos de barrenación con la finalidad de utilizar ésta información dentro del sistema de calidad	85

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1	Conclusiones	86
VI.2	Recomendaciones	90

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía	92
--------------	----

ANEXOS

Anexo 1 Sistema de despacho y control de carga (dispatch)	94
Anexo 2 Calculo de parámetros de barrenación y voladuras bajo diferentes criterios	96

Índice de figuras

I. 1	Plano de localización	2
II.1	Columna estratigráfica	8
II.2	Fallas principales y diques de la región de Cananea	12
II.3	Plano general de mina	16
III.1	Componentes de la tubería de perforación	29
III.2	Maquinaria de perforación	31
III.3	Broca con insertos de carburo de tungsteno	37
III.4	Tubería de perforación en mal estado	40
III.5	Tránsito de una máquina perforadora	43
IV.1	Croquis de la plantilla de barrenación	56
IV.2	Elementos que forman el cargado de explosivos	58
IV.3	Brocas que presentan roturas de los dientes de carburo	64
IV.4	Brocas que presentan un desgaste no uniforme en los cojinetes	64
IV.5	Broca que presenta baleros destruidos por un mal rodamiento	65

Índice de tablas

II.1	Materiales a mover por banco para un tajo final considerando una ley de corte = 0.40% Cu y \$ 0.85 US dólar / lb de Cu (cifras en miles de toneladas)	14
III.1	Velocidades de remoción de recorte para diferentes diámetros de barreno y diámetros de tubería de perforación, en función del tipo de compresor	27
III.2	Presión de aire que pasa a través de la broca con insertos de carburo de tungsteno, según el tamaño de la tobera	28
IV.1	Producción de toneladas vs material triturad en 1996 (promedio mensual)	49
IV.2	Promedios mensuales de las operaciones de 1991 a 1996 (10 máquinas perforadoras)	50
IV.3	Horas disponibles, horas no disponibles y horas en reparación (promedio mensual)	51
IV.4	Resultados obtenidos en el estudio sobre los parámetros de las plantillas de barrenación	62
IV.5	Rendimientos de las brocas según distintas fuentes y rendimiento por broca en Cananea	63
IV.6	Tipos de fallas más comunes encontradas en las brocas	66
IV.7	Consumo de estabilizadores del tipo rodillos intercambiables durante 1996 (promedio mensual)	66
IV.8	Operadores por turno departamento de barrenación	75
V.1	Costos totales de barrenación (promedio mensual)	78
V.2	Costos de materiales de barrenación (promedio mensual)	81
V.3	Comparación de costo de operaciones propuestas con mejoras en los promedios de metros por broca y utilización de la maquinaria	84

Índice de diagramas y gráficas

III.1	Índice de penetración vs resistencia a la compresión según el tipo de roca para varios diámetros de barreno	22
III.2	Fuerza de empuje (pull down) recomendada vs diámetro de broca	23
III.3	Brocas de carburo de tungsteno en perforación de rocas compactas, indicando sus características principales	36
IV.1	Factores de carga en Cananea durante los años de 1991 a 1996	59
IV.2	Diagrama ¿porqué-porqué? sobre posibles causas de malas voladuras, rocas mayores de 60 pulgadas	68
IV.3	Diagrama ¿porqué-porqué? de las posibles causas de una mala barrenación y quién las realiza	69
V.1	Desglose de costos de la barrenación en Mexicana de Cananea	78
V.2	Costos por pie barrenado con diferentes diámetros de barrenos y tipos de roca	79

I. GENERALIDADES

I.1 Localización

El Distrito Minero de Cananea está situado en la parte norte del Estado de Sonora, en los flancos occidentales de la Sierra Madre Occidental; el municipio posee una superficie de 4141.1 kilómetros cuadrados, que representa un 2.18 por ciento del total estatal. La población más importante es la ciudad de Cananea que actualmente cuenta con 30,000 habitantes y se localiza en las coordenadas 31° 01' 35" de latitud norte y 110 ° 15 ' 56 " de longitud oeste del meridiano de Greenwich, aproximadamente a 250 km de la ciudad Hermosillo, capital del Estado y a 40 km al sur de la línea divisoria internacional con EE UU como se observa en la figura (I.1).

I.2 Fisiografía

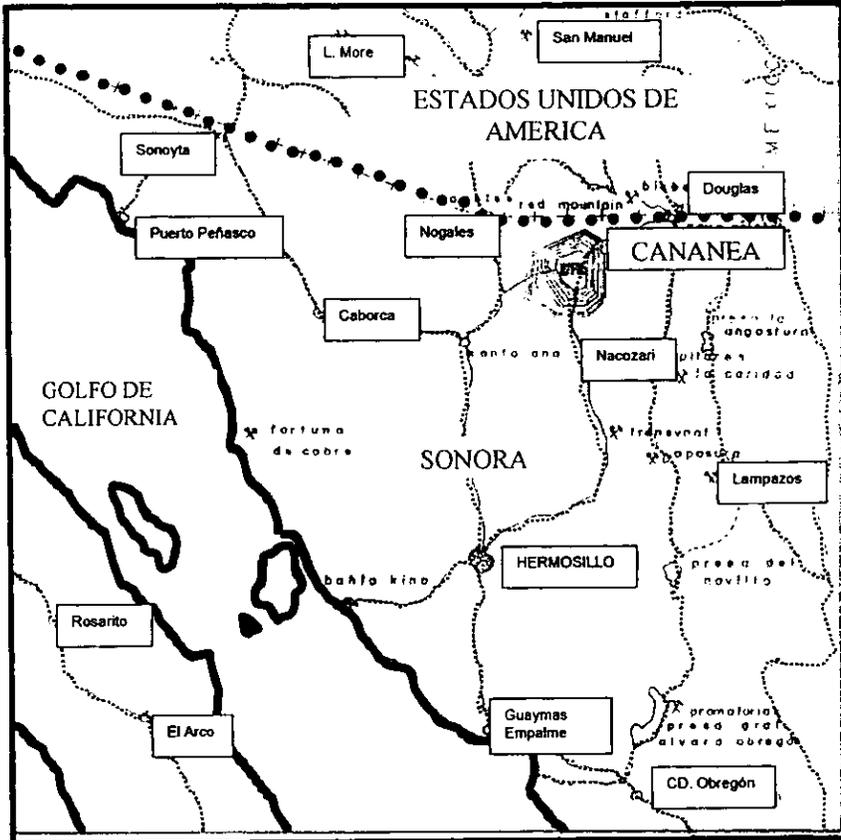
Cananea está asentada sobre las estribaciones occidentales de la Sierra Madre Occidental, con una altitud media que fluctúa entre los 1,600 y 1,650 msnm. Su zona montañosa está representada por una serie de serranías aisladas, orientadas en su mayoría al noroeste, presentándose en su porción occidental los declives más fuertes; el drenaje pluvial corre en su mayor parte hacia el sur y sureste formando parte del Río de Sonora.

I.3 Vías de acceso y comunicaciones

La ciudad de Cananea está comunicada con las ciudades de Imuris y Agua Prieta a través de la carretera Federal número 2, en Imuris se entronca con la carretera Federal número 15 (México-Nogales). La carretera estatal número 52 conecta a Aguaprieta con el estado de Chihuahua.

Esta población cuenta además con un ramal de ferrocarril que une Cananea con Naco, Sonora, en donde se empalma con la línea principal del Ferrocarril del Pacífico y a su vez con todo el sistema ferroviario nacional.

Cuenta con moderno sistema de comunicación vía satélite, fax, telex, correo, telégrafo, dos estaciones de radio AM – FM, dos repetidoras de T V, un aeropuerto municipal con tres pistas de asfalto para aviones de mediano alcance y servicios de radio comunicación y agrupaciones de radio ayuda civil.



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

PLANO DE LOCALIZACION

TESIS PROFESIONAL. ALEJANDRO GUZMAN FLORES

Esc S / E

Septiembre 2000

FIGURA 11

1.4 Clima

Cananea cuenta con un clima semicálido subhúmedo, con una temperatura media máxima mensual de 23.5° C en los meses de junio a septiembre y con una temperatura media mínima mensual de 7.4° C en diciembre y enero; la temperatura media anual es de 15.3° C.

El periodo de lluvias se presenta en el verano en los meses de julio a septiembre, contándose con una precipitación media anual de 545 mm. En invierno las lluvias son de menor intensidad, pero de mayor duración, llamadas equiptas.

1.5 Servicios

La ciudad de Cananea cuenta con servicios de agua potable, distribución local de gas , energía eléctrica . Todos los servicios bancarios, servicios de salud, un sistema de educación que cuenta con preescolar, primaria, secundaria y bachillerato, así como un tecnológico; además existen hoteles, templos, centros recreativos y deportivos.

1.6 Actividades socioeconómicas de la región

La actividad económica de esta ciudad está centrada históricamente en la compañía minera, que es la mayor productora de cobre del país.

La segunda fuente económica, es la cría ganado para producción de carne y leche para exportación. Se ha desarrollado una pequeña industria de maquila que es la tercera fuente de trabajo del municipio.

Existen en el municipio centros comerciales, tiendas de abarrotes, almacenes donde se expenden artículos de primera y segunda necesidad tales como; alimentos, calzado, vestidos, muebles, libros, papelerías y repuestos automotrices. Cananea está localizada a no más de 300 kilómetros de Hermosillo, capital de Sonora y a 294 millas de la ciudad de Phoenix, capital de Arizona. Dado esto, la ciudad obtiene la mayoría de sus recursos de estas dos ciudades.

La población económicamente activa en 1996 fue de 11,403 personas, las cuales están integradas en los tres sectores: industrial, ganadero y de servicios.

1.7 Historia

La historia del mineral de Cananea data del siglo XVIII, aproximadamente hacia el año de 1760 en que misioneros Jesuitas realizan las primeras obras de explotación trabajando la "Mina Cobre Grande", de la cual extrajeron minerales ricos en oro y

plata. Todos estos trabajos fueron esporádicos debido a la falta de buenas técnicas de beneficio y a la falta de medios de transporte y vías de comunicación.

1899. Inicia la explotación integral y sistemática de las minas de Cananea, bajo la dirección de William Cornell Greene, quien fundó la empresa denominada The Cananea Consolidated Copper Company, e instaló una planta concentradora de 600 ton/día y una fundición con hornos de soplo, extrayendo los minerales de cobre de minas subterráneas. A partir de entonces, se presentaron los siguientes acontecimientos :

1906 Huelga de Cananea. El 1o. de junio tuvo lugar la huelga más grande registrada en el mineral. Los huelguistas portaban la Bandera Nacional y un estandarte con un billete de cinco pesos, cantidad que era el salario mínimo solicitado.

1917. The Cananea Consolidated Copper Company "CCCC" fue vendida en su totalidad a The Anaconda Copper Mining Company, hoy Anaconda Company.

1926. Se descubre el yacimiento de "La Colorada" el cual se explotó de manera subterránea ininterrumpidamente hasta el año 1944, extrayéndose un total de 7 millones de toneladas de mineral, con leyes promedio de 6% de cobre y 0.4% de molibdeno.

1944. Se termina la instalación de una concentradora con capacidad de 12,000 ton/día iniciándose la explotación a cielo abierto.

1950. La planta concertadora tiene un aumento de capacidad de 16,000 ton/día, el cobre blister de C.M.C (Copper Mining Compañy), es enviado a la refinería de Cobre de México en el Estado de México.

1953. Inicia la explotación del Tajo Sonora-Hill.

1960. Inicia la explotación del Tajo Cananea.

1964. A partir de este año se regulariza la explotación a tajo abierto, siendo el mineral extraído por este método, quedando atrás el sistema de mina subterránea.

1966. Da inicio la instalación de una quebradora subterránea en el área del Tajo Cananea.

1967. Termina la explotación de Tajo Sonora-Hill.

1969. Da inicio la explotación de Tajo Kino-Sur.

1971. Se mexicaniza la empresa reestructurando el capital social, quedando el 51% en poder de inversionistas mexicanos y el resto de capital extranjero.

1973. Se inicia un programa de modernización de equipo e instalaciones existentes así como técnicas de producción, con el fin de obtener como resultado un incremento en las toneladas de cobre blister del 75%. Da inicio la explotación del Tajo Colorada Veta.

1976. Aumenta la capacidad de fundición a 70,000 ton. métricas al año de cobre blister.

1979. Se inicia la construcción de una planta de extracción por solventes y depositación electrolítica (E.S.D.E.) con capacidad de 40 ton/día. Inicia la explotación de los Tajos Kino-Norte y Colorada Norte.

1980. Termina la explotación de los Tajos Kino - Sur y Cananea.

1981. Inicia la explotación de los Tajos Colorada Sur e incremento I, se inicia la construcción de una Concentradora (Concentradora No. 2) con capacidad de 62,500 ton/día.

1986. Da inicio la operación de la Concentradora No. 2, termina la explotación del Tajo Kino-Norte.

1988. Inicia la construcción de la planta E.S.D.E. II con una capacidad de 60 ton/día. La mina mueve la tonelada mil millones.

1989. Se da la primera voladura en el Tajo Demócrata.

1990. Compañía Minera de Cananea pasa a manos de Mexicana de Cananea y se mueve la tonelada 1,104,000,000 de material

1994. Inicia la operación de quebradora para material lixiviable e inicia la operación del sistema de asignación dinámica de camiones. (DISPATCH)* Anexo 1

II. INFORMACION GEOLOGICA

II.1 Introducción

El distrito minero de Cananea está formado principalmente por rocas de origen ígneo. La alteración y mineralización se extiende principalmente por una franja de 10 km de largo, por 3.5 km de ancho.

El yacimiento tiene la característica de un cobre diseminado de origen hidrotermal, el cual fue originado por un porfido cuarzomonzonítico.

Este distrito es un depósito clásico de pórfidos cupríferos y forma parte de los grandes depósitos de cobre que se localizan a lo largo del continente americano.

II.2 Geología histórica

La historia geológica del distrito de Cananea es algo compleja, debido a la gran variedad de eventos geológicos que se presentaron a través del tiempo en esta región. Así se tiene la presencia de grandes depósitos sedimentarios de rocas químicas y clásticas de edad paleozoica depositados sobre un basamento precámbrico. Posteriormente se desarrolló una intensa actividad volcánica donde las rocas producto de dicha actividad son de composición ácida e intermedia, donde se incluyen eventos efusivos y piroclásticos, además se presenten abundantes cuerpos intrusivos de composición ácida, algunos de los cuales están relacionados con el proceso hidrotermal posterior que originó los yacimientos minerales de cobre de la región.

Por esto las rocas de Cananea pueden caer dentro de las siguientes categorías:

1. Sedimentos Paleozoicos
2. Flujos de tobas y brechas volcánicas de principios de la era Terciaria
3. Algunos tipos de granito cuarcífero que intervinieron más tarde que los volcánicos, durante la parte media de la era Terciaria
4. El dique de diabasa y de pórfidos cuarcíferos que estuvieron presentes a lo largo de toda la era Terciaria.

II.3 Estratigrafía

Rocas plutónicas

Estas son de dos tipos; tipo abisal que son las más profundas y tipo porfídica que son las más cercanas a la superficie.

Su diferencia se encuentra en sus características físicas; textura granular y textura porfídica, por su forma de cuerpos largos e irregulares o pequeños diques y bolsas, que en conjunto forman stocks.

Las rocas del tipo abisal se muestran con una gran variedad en su composición: granodiorita Cuitaca, sienita Torre, diorita Tinaja. Esta variedad se debe a diferentes formas a partir del mismo magma granodiorítico.

Las rocas tipo textura porfídica incluyen diabasa y gabro Campana que usualmente son diques y el pórfido cuarífero Colorada que ocurre como cuerpos irregulares.

La figura (II.1) muestra de manera gráfica la columna estratigráfica, la distribución de los eventos que se fueron dando así como las relaciones que existen entre los diferentes paquetes de roca.

- Granito Cananea: el intrusivo consta de 2 fases:

La primera fase pertenece a una roca pegmatítica de grano grueso, compuesta de fenocristales de ortoclasa de 2 a 3 cm de largo, oligoclasa y cuarzo, con pequeñas cantidades de horblenda, magnetita y apatita.

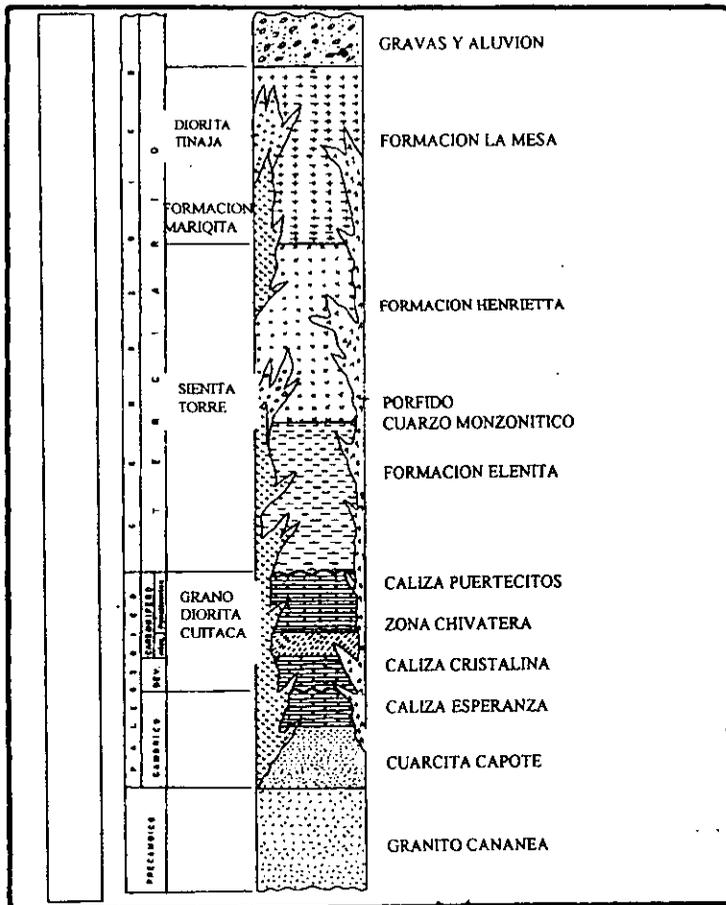
En la segunda fase también se observan fenocristales de ortoclasa, pero su característica es la abundancia de fenocristales de cuarzo redondeados en una fina matriz de cuarzo y feldespatos.

- Sienita Torre

Es una roca de grano medio de color rosado debido a su abundancia de ortoclasa, conteniendo también oligoclasa y horblenda en menor cantidad, biotita y cuarzo; Esta se encuentra en las estribaciones orientales de La Elenita.

- Granodiorita Cuitaca

Es una roca de aspecto granítico de grano medio, de color rosado a gris, está compuesta de ortoclasa, plagioclasa-oligoclasa, andesita a veces zoneada, cuarzo y pequeñas cantidades de ferromagnesianos.



FUENTE: MEXICANA DE CANANEA

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA
COLUMNA ESTRATIGRAFICA		
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES		
Esc S/E	Septiembre 2000	FIGURA II 1

- Diorita Tinaja

Esta unidad fue definida por (Emmons (1910), Valentine (1936)) como un granito porfídico. Valentine (1936) haciendo un estudio mas detallado, la definió como diorita, la cual varía de gabro a anortosita, monzonita y aún granito.

- Formación Mariquita

El período de la formación Mariquita se sitúa entre la extrusión de la formación Henrietta y las volcánicas extrusivas de la formación Mesa. El espesor varía de 200 a 250 mts. y se observa principalmente en la sierra del mismo nombre localizada en la parte norte del distrito. La formación Mariquita incluye varias fases. La primera es una diorita máfica que consiste en labradorita, horblenda, magnetita y es notable por su color verde oscuro y la abundancia de fenocristales de plagioclasa, desarrollando una textura porfídica.

La segunda fase se encuentra en forma de pequeños diques y cuellos volcánicos, consiste de fenocristales anhedrales de labradorita en una matriz fina de andesina y ferromagnesianos, observando una estructura diabásica.

- Pórfidos cuarzo-monzónitico Terciarios

La alteración hidrotermal y la mineralización de sulfuros está relacionada con los intrusivos porfídicos de matriz fina, generalmente afanítica. Los pórfidos considerados como los intrusivos más recientes, generalmente se encuentran como pequeños cuellos volcánicos o apófisis de forma irregular y rodeados por zonas de brechas, lo cual indica la presión a la que fueron inyectados.

Los principales minerales formadores de roca son el cuarzo y la ortoclasa, los cuales se encuentran en forma de fenocristales incluidos en una matriz cuarzo-feldespática con pequeñas cantidades de zircón y biotita. La alteración hidrotermal, principalmente sericita-sílice, ha sido tan intensa en algunas áreas que la textura original de la roca se ha borrado completamente, por lo tanto su diferenciación como roca volcánica o intrusiva se lleva a cabo con base en la abundancia o ausencia de fenocristales reconocibles.

Rocas volcánicas

La gran actividad volcánica que existió en la era Mesozoica y principios del Terciario dieron como resultado el enriquecimiento del depósito, pero a la vez dan a este una complejidad por lo variado de, sus formas. Las rocas volcánicas abarcan la mayor extensión superficial del distrito minero, se conocen tres diferentes formaciones basadas en sus edades relativas así como su composición, que son las formaciones Elenita, Henrietta y Mesa. Las formaciones volcánicas están compuestas por un material con características de volcán de fisura con cambios hacia el oeste, con formación de conos cineríticos.

- Formación Elenita

Está constituida por un grupo de flujos volcánicos y rocas volcanoclásticas. La formación Elenita se encuentra en el flanco oriental de la sierra La Elenita y su espesor probable es de 1800 m, incluye flujos de riolita, andesita, flujos

esferulíticos, aglomerados y tobas intercaladas en areniscas volcanoclásticas, cuarcitas y grauvacas.

- **Formación Henrietta**

Es un conjunto de rocas volcánicas y volcanoclásticas que se divide en 3 unidades:

- a) La serie basal, compuesta de flujos de latita-dacita y aglomerados de tobas finas.
- b) Un espesor grueso de riolita.
- c) La serie superior, compuesta de flujos de traquiandesita y tobas. El espesor estimado por Valentine(1936) es de 1700 m.

- **Formación Mesa**

Se encuentra cubriendo casi toda la parte oriental del distrito, se le ha asignado un espesor medio de 1500 m, la serie comprende la serie basal, flujos de andesitas, traquitas, algunas riolitas, tobas y aglomerados, en sus partes superiores se distingue un miembro de diferente composición andesítica, llamada andesita San Pedro.

Rocas sedimentarias

Las rocas más antiguas reconocidas en el distrito de Cananea son de edad Paleozoica y fueron depositadas sobre un basamento Precámbrico, la formación más antigua corresponde a la cuarcita Capote. Suprayacente y concordante con la cuarcita se encuentra una caliza de la Formación Esperanza.

Sobrepuesta a la caliza se localiza una zona mineralizada "Chivatera" con un espesor de 15 a 30 metros.

- **Cuarcita Capote**

Esta unidad varía gradualmente hacia la cima, de una cuarcita arcósica de grano medio, mal clasificado, con miembros lenticulares conglomeráticos de cuarzo con estratificación graduada y cruzada, a una cuarcita arcósica de grano fino y bien clasificado; su espesor probable es de 190 m, y subyace en contacto transicional a la caliza Esperanza.

- **Caliza Esperanza**

El espesor varía de 90 a 125 m y consiste en una alteración de calizas de estratificación gruesa recristalizada (0.5 a 1.0 m) y calizas de estratificación delgada (10 cm) las cuales presentaron localmente el desarrollo de silicatos como granate, wollastonita y epidota. Se observan también estratos delgados arcillosos. La parte superior se caracteriza por consistir de estratos delgados de caliza parcialmente metamorfozada.

- Caliza Cristalina

La serie consiste de intercalaciones de calizas grises y dolomías en estratos medianos, la parte inferior es una caliza pura con nódulos de sílice y horizontes arcillosos, observándose algunos restos de crinoides y braquiópodos. La parte superior se caracteriza por presentar capas arcillosas y nódulos de calcita y pedernal, el espesor aproximado es de 100 m y su edad corresponde al Devónico-Mississippi.

- Caliza Puertecitos

Esta formación se ha correlacionado con la Formación Horquilla que es la unidad inferior del grupo Naco, por ser de calizas recristalizadas grises con menores cantidades de estratos arcillosos y dolomíticos, comúnmente se encuentran nódulos de sílice, calcita y arcilla en forma irregular.

II.4 Geología estructural

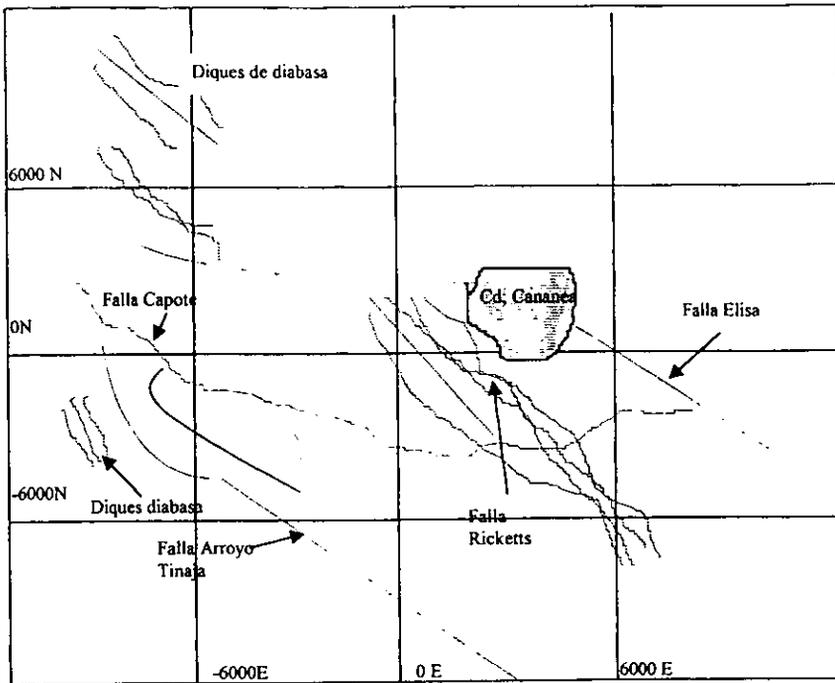
Las estructuras principales que afectan el Distrito minero de Cananea son fallas normales, las cuales se dividen en dos grupos de acuerdo con su orientación y su extensión.

Las primeras presentan un rumbo N 60° W y son las que tienen mayor extensión. Al parecer este grupo de fallas paralelas controló la intrusión porfídica. A este sistema de fallas pertenecen la falla Elisa, la falla Capote y la falla de Arroyo Tinaja, figura (II.2). Las primeras dos fallas forman el límite del granito Cananea y la cuenca Capote; la falla arroyo Tinaja separa las formaciones Elenita y Henrietta; estas fallas tuvieron desplazamientos considerables.

El otro sistema de fallas, el cual se observa en la figura (II.2), a pesar de que es más numeroso en estructuras, estas presentan un menor desplazamiento y extensión con respecto a las anteriores.

A este último sistema pertenece la falla Ricketts con una orientación N 40° W a N 50° W, expuesta en la cuenca Capote, que tiene un desplazamiento aparente de 250 metros, que sirvió como control del intrusivo pórfido cuarífero con mineralización de sulfuros que han contribuido al enriquecimiento supergénico. La mayoría de las fallas son normales, aunque también las hay inversas.

Fracturas complementarias: a lo largo de toda la zona mineralizada se presenta un intenso fracturamiento, su orientación es controlada por el sistema principal y hay una tendencia a formar sistemas de fracturas y juntas. El ángulo que forma la intersección de los rumbos de fracturas y juntas es aproximadamente de 60°



UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA	
FALLAS PRINCIPALES Y DIQUES DE LA REGIÓN DE CANANEA			
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES			
Esc 1 150,000	Septiembre 2000	FIGURA II 2	

II.5 Metamorfismo, alteración y mineralización

En el área de estudio se presentan diferentes etapas y procesos de alteración de los minerales y rocas presentes. Estos procesos se pueden agrupar en tres diferentes etapas:

- 1.- Alteraciones en las rocas encajonantes durante el emplazamiento de los cuerpos intrusivos.
- 2.- Alteraciones provocadas por el proceso hidrotermal que dio origen al yacimiento mineral.
- 3.- Alteraciones secundarias, provocadas por la circulación de agua meteórica, lo cual provoca el proceso de enriquecimiento secundario.

Al primer grupo de alteraciones se relacionan las alteraciones deutéricas de los minerales de cristalización temprana, formados al tiempo de la inyección de los cuerpos intrusivos, y que fueron afectados por el resto de la masa fundida durante la evolución magmática.

Como ejemplos de este tipo de alteración son las transformaciones de olivino a serpentina, de augita a uralita y de hornblenda y biotita a clorita, la mayoría de los cristales de plagioclasa se presentan bordeados por hojuelas de sericita y epidota.

Otros efectos de alteración fueron producidos por los cuerpos intrusivos sobre la roca encajonante en la cual se formó una aureola donde se presentan cambios texturales, básicamente recristalización, sin el desarrollo de las rocas de metamorfismo de contacto típicas como skarn o hornfels. Únicamente en algunos bordes de los intrusivos se lograron desarrollar algunas pequeñas zonas de mineralización.

Durante el desarrollo del fenómeno hidrotermal la mayoría de los minerales sufrieron un intenso ataque por parte de las soluciones mineralizantes con la formación de abundante sericita y silice en forma de cuarzo, con la presencia de abundantes sulfuros que venían formando parte de las soluciones hidrotermales.

Existen algunas guías mineralógicas importantes relacionadas con este tipo de alteraciones como es la presencia de pirita en zonas de intensa silicificación, caolinización y sericitización, así como la presencia de turmalina en forma de mineral accesorio, relacionado con las mismas zonas de sericitización.

Finalmente se presentó el fenómeno de enriquecimiento secundario durante el proceso de intemperismo, producido por acción del agua meteórica. Durante esta etapa se formaron la mayor cantidad de arcillas presentes en las diferentes unidades litológicas, así como la formación de calcocita y covelita, estos últimos formados a partir de los sulfuros de cobre primarios del depósito. El

enriquecimiento secundario es el resultado de la oxidación de los sulfuros de cobre primarios, enriquecimiento que obedece a los procesos naturales de lixiviación.

El yacimiento de Cananea fue originado por un pórfido cuarzomonzonítico y puede considerarse que es un depósito de cobre diseminado de origen hidrotermal, tipo pórfido cuprífero.

El yacimiento mineral cuenta con las propiedades físicas y químicas favorables para una lixiviación, y gracias a los adelantos hidrometalúrgicos en la extracción de minerales se ha podido desarrollar una explotación en la que se aprovechan el mayor número de recursos.

Para poder aprovechar al máximo todas las zonas mineralizadas, Mexicana de Cananea ha contemplado un diseño de minado que desarrolla, un tajo final que incluye todos los tajos que están en explotación y los ya existentes, se observan en la figura (II.3) lo cual llevará de la cota 1980 a la 1110 msnm en la etapa final.

El diseño de minado forma parte del sistema de producción, en el cual es necesario cubicar las reservas que forman el yacimiento mineral, ya que formará la estructura de los procesos necesarios para la extracción del mineral.

La barrenación es el primer sistema del proceso de producción y por lo tanto la distribución de los tipos de material, sirve para ubicar las áreas de trabajo de cada uno de las máquinas, y con esto poder estimar los tiempos de estancia de las máquinas, programar servicios y movimientos necesarios para una producción adecuada.

En la siguiente tabla se presentan una distribución de los materiales que forman los bancos del tajo final, así como su cantidad de mineral para la planta, mineral lixiviable y el tetepate a descapotar.

Tabla (II.1) Materiales a mover por banco para un tajo final considerando una ley de corte =0.40% y \$ 0.85 dólar / lb Cu
(cifras en miles de toneladas, TMS= toneladas métricas secas)

Banco	Mineral TMS	Ley % Cu	Lixiviable TMS	Ley % Cu	Tetepate TMS	Total TMS
1980	0	0	0	0	92	92
1965	0	0	425	0.23	2219	2644
1950	0	0	338	0.23	13603	13941
1935	28	0.43	488	0.25	22932	23448
1920	70	0.52	981	0.25	30453	31504
1905	201	0.45	2514	0.23	38131	40846
1890	545	0.51	4829	0.23	43529	48903
1875	1981	0.56	7963	0.24	46028	55972
1860	1657	0.55	9976	0.24	59365	70998
1845	3047	0.53	16283	0.24	62521	81851

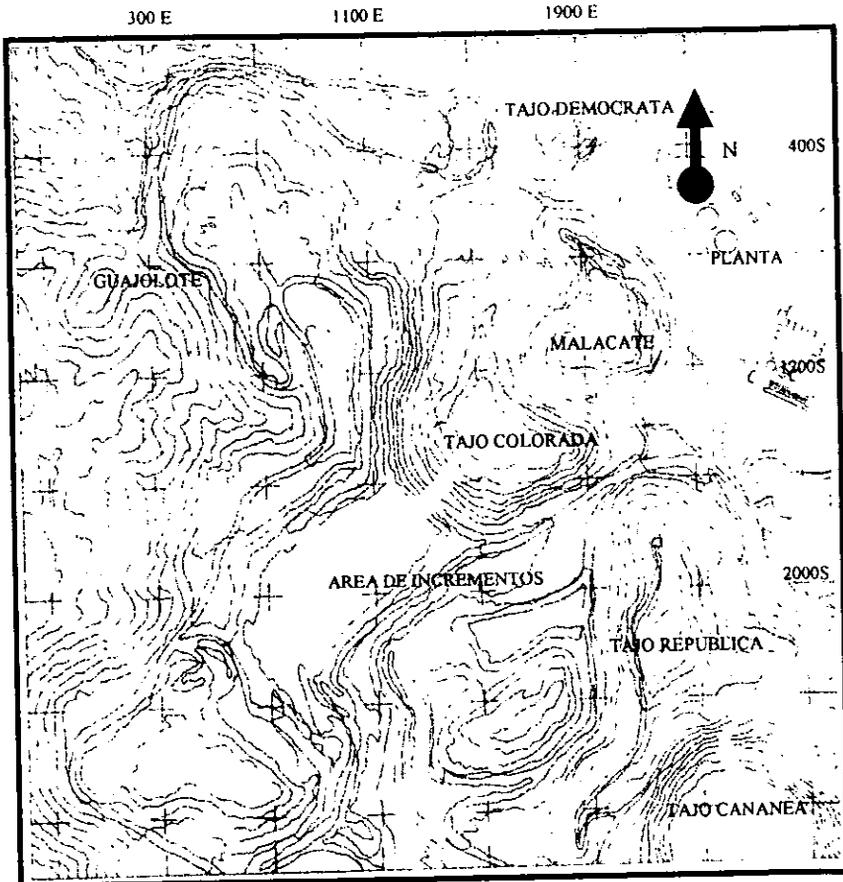
Continúa.....

Tabla (II.1) (cifras en miles de tonelada)

Continúa.....

Banco	Mineral T.M.S.	Ley % Cu	Lixiviable T.M.S.	Ley % Cu	Tetepate T.M.S.	Total T.M.S.
1830	3612	0.54	21733	0.24	64976	90321
1815	6362	0.53	26468	0.24	65594	98424
1800	9741	0.53	33348	0.24	66787	109876
1785	11408	0.55	42835	0.25	63899	118142
1770	14964	0.53	48595	0.25	66798	130357
1755	18774	0.52	53592	0.26	76299	148665
1740	22878	0.53	59651	0.26	81695	164224
1725	30189	0.58	68905	0.26	72790	171884
1710	34568	0.58	75725	0.25	68737	179030
1695	35668	0.29	81105	0.25	64154	180927
1680	33419	0.56	85892	0.26	63278	182589
1665	33419	0.29	81105	0.25	64154	180927
1650	37082	0.56	87024	0.26	56451	180557
1635	40124	0.56	86854	0.27	53658	180636
1620	43511	0.56	84214	0.27	45970	173695
1605	47330	0.56	86483	0.27	38270	172083
1590	48493	0.55	81355	0.27	35274	165122
1575	50142	0.56	75899	0.27	36224	162265
1560	53962	0.57	70620	0.28	31020	155602
1545	56294	0.60	61320	0.26	34113	151727
1530	55605	0.61	53970	0.27	33594	143169
1515	58918	0.61	43755	0.28	37785	140458
1500	58165	0.60	33598	0.28	39902	131665
1485	56499	0.61	29552	0.29	43123	129174
1470	53708	0.60	20725	0.29	44421	118854
1455	55526	0.61	19421	0.28	39981	114928
1440	59936	0.63	10959	0.29	31942	102837
1425	58164	0.63	7840	0.29	17773	83777
1410	58164	0.63	7840	0.29	17773	83777
1395	52579	0.62	7818	0.30	19071	79468
1380	37052	0.62	6344	0.39	26944	70340
1365	37047	0.61	5466	0.30	25177	67690
1350	28830	0.63	4441	0.30	25063	58334
1335	26945	0.63	4264	0.31	26937	58146
1320	25968	0.64	4367	0.31	22755	53090
1305	25767	0.65	3999	0.32	21088	50854
1290	29127	0.65	3684	0.32	10863	43674
1275	29337	0.66	3440	0.30	9078	41855
1260	28704	0.66	2886	0.29	6693	38283
1245	28175	0.66	2310	0.29	5863	36348
1230	22491	0.68	1010	0.22	8898	32399
1215	21804	0.68	868	0.25	8002	30674
1200	20879	0.67	585	0.33	5752	27216
1185	20469	0.67	162	0.35	4881	25512
1170	12070	0.73	72	0.35	1735	13877
1155	11149	0.77	165	0.37	1686	13000
1140	10223	0.78	158	0.37	782	11163
1125	9223	0.76	27	0.36	752	10002
1110	7336	0.74	145	0.32	900	8381
	7270	0.71	116	0.31	423	7809
Total	1,612,582	0.61	1,556,798	0.26	1,957,972	5,127,352

Fuente: Mexicana de Cananea



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

PLANO GENERAL DE MINA

TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES

Esc. 1 15,000

Septiembre 2000

FIGURA II 3

II.6 Descripción geológica del área de operación minera

De acuerdo con las actividades realizadas en las áreas de los tajos Cananea, República y Colorada, figura (II.3) y las áreas de trabajo denominadas Incrementos 1,2, etc. que forman parte del plan de reservas se tendrán operaciones que variarán entre las elevaciones 1,920 y 1,110 msnm.

Para el desarrollo del tajo es necesario realizar trabajos en diferentes elevaciones, a continuación se describen las rocas que forman los bancos para cada uno de ellos.

Las rocas varían a lo largo y ancho del terreno, pero estas se pueden agrupar por las elevaciones en las que se encuentran los trabajos. En Mexicana de Cananea las agrupan por comodidad de la siguiente manera:

Elevación 1920

Se tiene una primera fase de material movido por actividades mineras, que no contemplaba el diseño actual de tajo, de tipo suelos lateríticos que consisten en su mayoría de arcillas y limos, sin consolidar.

Elevaciones 1890 a 1710

Roca volcánica

Roca compacta de fracturamiento moderado-alto de textura afanítica, en ocasiones pequeños fenocristales de cuarzo. La mineralización es principalmente de pirita-calcocita en forma diseminada y en vetillas. La mayor distribución de esta roca es hacia el norte y este del yacimiento. De acuerdo con la alteración predominante en esta roca, se puede considerar de dureza moderada, con un contenido aproximado de 50 % de sílice.

La dirección del fracturamiento predominante es norte-sur con componentes perpendiculares menores.

Pórfido feldespático

Roca compacta de fracturamiento bajo, de textura pórfidica presenta fenocristales de feldespatos en tamaños de 2-5 mm en una matriz cuarzo-pirita. La mineralización es principalmente de pirita-calcocita y se presenta en forma diseminada y en vetillas. El contenido de cobre es moderado, (entre 0.15% y 0.30 % de Cu) en ocasiones alto (mayor de 0.30 % de Cu) debido al contacto con la roca volcánica (zona de contacto). Su localización es hacia la porción centro-este del yacimiento. Considerando el contenido de sílice de 55% se puede considerar esta roca de dureza moderada-alta. En zonas específicas se tiene una alteración en el contenido de sílice hasta de un 60 %, esto hace que la roca tenga una mayor

dureza. El fracturamiento dominante para esta roca es noroeste-sureste con componentes perpendiculares menores.

Pórfido cuarzo-feldespático

Roca compacta de fracturamiento moderado-bajo, de textura porfídica, con fenocristales de cuarzo y feldespatos en tamaños que varían de 2-5 mm, embebidos en una matriz cuarzo-sericita. La mineralización predominante en esta roca es principalmente de óxidos de hierro (hematita-goetita) distribuidos en forma diseminada y vetillas de diferentes tamaños (1-10 mm), donde existe alteración supergénica. La mineralización está dada por una distribución escasa de pirita-calcocita, y en áreas donde la alteración de sílice aumenta es posible encontrar mineralización primaria de calcopirita y trazas de bomita. Por su contenido en sílice se considera una roca de alta dureza.

La distribución de esta roca es hacia la porción centro-oeste y sur del yacimiento. Los patrones de fracturamiento dominantes en esta roca son noreste-sureste con fracturas secundarias paralelas y perpendiculares menores.

Pórfido cuarzo-feldespático grano grueso

Roca compacta, de fracturamiento moderado-bajo, textura porfídica, presenta fenocristales de cuarzo, plagioclasas y feldespatos, estos últimos alcanzan tamaños de hasta 50 cm. de longitud.

La mineralización predominante es de óxidos de hierro (hematita-goetita) en forma diseminada y en vetillas donde existe alteración supergénica. La mineralización es de pirita-calcocita y trazas de calcopirita distribuidas en forma diseminada y en esporádicas vetillas. La distribución de esta roca es hacia la porción centro-sur del yacimiento. Considerando el contenido de sílice en la roca (hasta 60%) se considera a esta roca con una mayor dureza; el fracturamiento predominante es hacia el noroeste-sureste con fracturas perpendiculares menores.

Zona de contacto

Roca compacta de fracturamiento moderado, textura afanítica, presenta fragmentos de pórfido-feldespático. La mineralización es de pirita-calcocita diseminada y en vetillas. Su localización es hacia la porción centro-este. Su dureza de acuerdo con la sílice contenida (55%) es moderada-alta, su fracturamiento preferencial es hacia el NE-SW con algunos sistemas menores en dirección NW-SE.

Localizada hacia el centro-este, representa el contacto entre dos tipos de roca diferentes, es una roca compacta, de fracturamiento moderado y constituye uno de los principales receptores de mineralización secundaria, la cual es de pirita y calcocita en forma diseminada y en vetillas.

Brecha de turmalina

Rodeando a las intrusiones pófidicas y representando una brecha de colapso, la brecha de turmalina se localiza hacia la porción centro del yacimiento y está constituida por fragmentos angulosos a subredondeados de roca volcánica y pófidos cementados por turmalina negra. La mineralización es de pirita en forma diseminada. Por su dirección horizontal no representa una característica uniforme, es decir se ve influenciada por las diferentes alteraciones y patrones de fracturamiento que la cortan.

II.7 Organización del proceso de información geológica para estructurar un sistema de calidad

Con la finalidad de establecer un sistema de calidad se debe contar con la información que sirva como plataforma para tener una operación adecuada de barrenación.

Esta información debe ser tipo general y describir al yacimiento en sus propiedades físicas y químicas, así también como contar con información particular del área en operación.

Para que esta información sirva como una estructura de calidad deberá cumplir con precisión y oportunidad, ya que será la que determine los parámetros de perforación y el tipo de broca más adecuado, dentro de los trabajos del plan de minado general.

El área propia del yacimiento es bien conocida, por lo que es factible tener la suficiente información geológica disponible, para poder anticipar las condiciones en las que va a trabajar cada una de las perforadoras.

En dicha información se pueden distinguir los datos de mayor importancia para la perforación, los cuales son los siguientes:

- Ley de Cu, que determina la zona en la que se distribuyen las máquinas según el plan de minado
- Calidad de roca y cantidad de sílice, que determinarán el tipo de broca y los parámetros de operación más adecuados para perforar esa zona.
- Localización y tamaño de estructuras, que determinarán la orientación de las plantillas.

Es importante recordar que a un mejor conocimiento de los terrenos a perforar, las sorpresas y contratiempos serán los mínimos y en consecuencia se puede obtener una perforación más precisa, rápida y barata, por disminuir contratiempos y tener una producción continua.

III. EQUIPO DE BARRENACION

III. 1 Introducción

Los equipos de barrenación para producción, generan los barrenos de las plantillas de voladuras, como parte de la fase inicial de toda operación minera.

Para ayudar a lograr un óptimo funcionamiento de los equipos, es necesario conocer los diversos aspectos que intervienen en el proceso de barrenación. Se pueden dividir estos aspectos en tres grandes apartados:

- a) Teoría básica de la barrenación
- b) Características de la barrenadora
- c) Operación de la barrenadora

a) Teoría básica de la barrenación; es la síntesis de los conocimientos e investigaciones acumulados a lo largo del tiempo. Esta teoría es el resultado de observar que: el control de la fuerza de empuje, la velocidad de rotación, presión y volumen de aire, la velocidad de remoción de recorte y la refrigeración y limpieza de los cojinetes, más la formulación de teoremas empíricos, acercan a resultados lo más apegados a la realidad.

b) Características de la barrenadora; que indican los límites de trabajo de la maquinaria. Estos límites serán establecidos por el tipo de máquina que se tenga, con la intención de que las operaciones realizadas no excedan las capacidades y se aprovechen al máximo.

c) Operación de la barrenadora; indica la forma adecuada de operación según los límites de trabajo de la maquinaria de una manera segura estandarizada, para realizar el mayor número de barrenos con el menor esfuerzo.

III.2 Teoría básica de barrenación

Las observaciones, conocimientos y experimentaciones acumuladas sobre la barrenación a lo largo del tiempo, han encontrado factores que determinan una perforación correcta, con la finalidad de perforar un mayor número de barrenos, con el menor gasto de la maquinaria y de sus aditamentos de perforación. Se pueden resumir en los siguientes factores:

- a) Fuerza de empuje
- b) Velocidad de rotación
- c) Presión y volumen de aire
- d) Velocidad de remoción de recorte
- e) Refrigeración y limpieza de cojinetes

a) Fuerza de empuje (Pull down)

Es la fuerza que necesita la broca para poder estar en contacto con la roca y perforar, y está en función del diámetro de broca con la cual se desea trabajar.

Si la fuerza de empuje que se aplica es demasiada se puede llegar al punto en que los botones de la broca queden completamente enterrados en el material, dando como resultado una disminución inmediata de la ganancia de penetración.

También se acorta la vida de los cojinetes y estructura del corte de la broca. Pero si no se aplica la suficiente fuerza, se disminuye enormemente el índice de penetración.

En las operaciones de barrenación la importancia de qué tan rápido se barrena y produce con una máquina en una operación minera específica, la productividad y los costos son totalmente dependientes de este factor y sirve como referencia para discutir aspectos importantes en el departamento de perforación, como índices de penetración en función de diámetro de broca, etc. Rayer y Calder, 1979*, investigaron en material duro de mena de hierro una buena correlación entre el índice de penetración y la resistencia de la roca a la compresión, después de muchas pruebas se pudo concluir que el índice de penetración podía ser correlacionado linealmente con el peso que se le ejerce a la broca, diámetro de la broca y con la velocidad de rotación de la tubería, como resultado de ese trabajo se obtuvo la siguiente ecuación empírica:

$$p = [61 - 28(\log_{10} Sc)] [W/D] [rpm/300] \quad \{1\}$$

donde:

p= Índice de penetración, en pies/hora

Sc= Resistencia a la compresión del tipo de roca, en miles de libras por pulgada cuadrada

W= Peso por diámetro de broca, en miles de libras

D= Diámetro de la broca, en pulgadas

rpm= Revoluciones por minuto de la tubería de perforación.

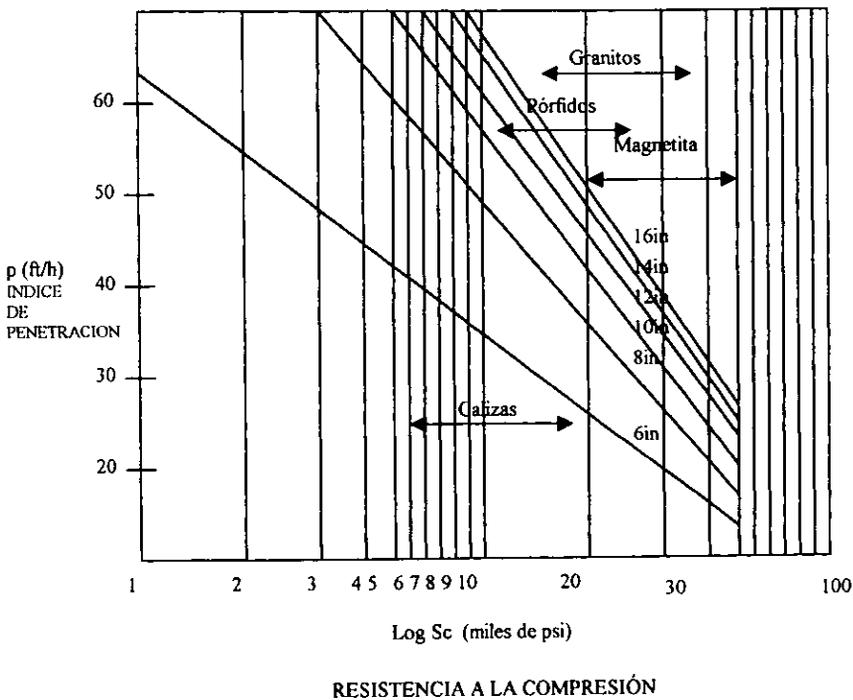
Posteriormente se obtuvieron líneas que relacionaron gráficamente la resistencia a la compresión de las rocas (Sc), y los índices de penetración (p), con diferentes diámetros de perforación. Para formar estas líneas es necesario fijar los valores de velocidad de perforación (rpm), fuerza de empuje y tipo de broca.

El diagrama (III.1) muestra este tipo de líneas, que se forman en perforaciones con brocas de carburo de tungsteno, un diámetro de 6 pulgadas (15.24 cm) a 16 pulgadas (40.64 cm), 75 rpm de velocidad de perforación y 70,000 libras de fuerza en la broca.

*Fuente: Surface Mining Bucyrus Erie, pag. 4.2

De los factores en la ecuación {1}, la resistencia a la compresión en la roca no siempre es controlable, por esto en algunas minas la velocidad y fuerza de empuje (pull down) pueden cambiar como se muestra en el Diagrama (III.1)

Diagrama (III.1) índice de penetración vs resistencia a la compresión según el tipo de roca para varios diámetros de barreno.



Condiciones:

Diámetro de barrenación : 6 in (15.24 cm) a 16 in (40.46 cm)

Velocidad de rotación : 75 rpm

Fuerza de empuje : 70,000 libras

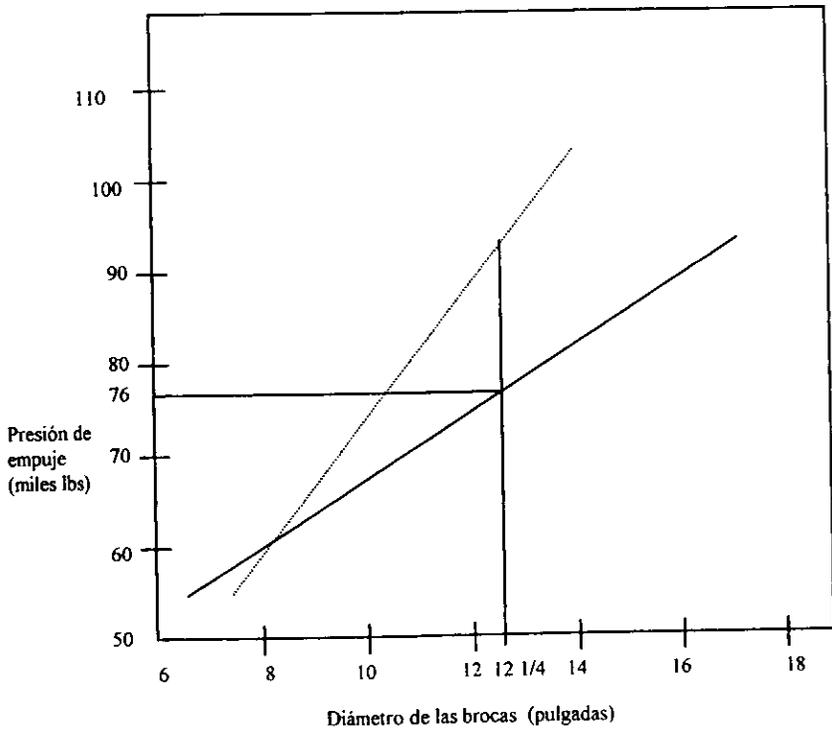
Los proveedores de maquinaria para barrenación y tipos de brocas manejan parámetros en los cuales se recomiendan fuerzas de empuje en función de los diferentes diámetros de las brocas. El rango está entre 70,000 libras y 110,000 libras para los proveedores de perforadora *(Bucyrus Erie e Ingersoll-Rand) y

70,000 libras hasta 98,000 para los productores de brocas *(Baker Hughes y Vare). Estos valores se pueden tomar como base en el inicio de la operación.

En el Diagrama (III.2) se representan las cargas de trabajo recomendadas por los proveedores de brocas y perforadoras, para los diferentes tamaños de brocas.

El tamaño de las cargas depende del tamaño de la broca, y se recomienda trabajar con valores de fuerza de empuje que no dañen la broca, así al aumentar el tamaño de la broca aumenta la fuerza de empuje (pull down). Si el incremento de la fuerza de empuje es demasiado, y se conserva el mismo tamaño de broca el resultado no será aumentar los índices de penetración, sino al contrario, el resultado será aumentar las pérdidas en la vida de la broca.

Diagrama (III.2) Fuerza de empuje (pull down) recomendada vs diámetro de broca



Línea propuesta por productores de brocas
 Línea propuesta por productores de perforadoras



*Fuente: Bucyrus Erie Surface Mining, pag. 4.4....
 *Fuente: Baker Hughes Blast Hole Bit Handbook

b) Velocidad de rotación

Es otra variable importante pues el coeficiente de penetración aumenta con la velocidad de rotación. La tendencia en los últimos años al taladrar en roca dura es operar a la velocidad más alta posible que permita la broca.

Así como con la presión de empuje, existe un punto donde al seguir aumentando las revoluciones por minuto se sobrepasan los límites prácticos, resultando una disminución en el índice de penetración. También una excesiva velocidad de rotación puede causar demasiada vibración, perjudicando al equipo y a la vida de la broca.

La experiencia al perforar recomienda que, si la perforación encuentra una sección de estratos continuos y la variación de roca aumenta, la velocidad de rotación incrementará con respecto al número de contactos, para un mayor índice de penetración

El límite de velocidad máximo será determinado por el calor dentro de la broca, producido por la fricción de los cojinetes de la broca con la roca, para que estos no se desbaraten por la fricción.

El rango de velocidades que generalmente se utiliza se encuentra entre 60 rpm a 90 rpm para materiales duros y mayores velocidades (más de 90 rpm) para materiales menos duros. Los proveedores de brocas proponen ciertos límites de velocidad, así Varel Company (Folletos) tiene un límite superior para la velocidad de 150 rpm y Walker- McDonald (Folletos) tiene un límite superior de 200 rpm.

La limitación de la velocidad de rotación se da en gran proporción al poder del motor de la unidad de conducción rotaria, que será particular para cada maquinaria.

De la siguiente ecuación empírica se puede obtener la velocidad óptima en función de la potencia del motor, según el tipo de roca, el diámetro de la broca y la fuerza de empuje.

$$hp = (K) (rpm) (D) (W^{1.5}) \quad \{2\}$$

donde:

D= Diámetro de broca, (en pulgadas)

W= Fuerza de empuje recomendada para el tamaño de broca (en miles de lb)

K= Constante de dureza relacionada con el tamaño de cilindro de la prueba y según el tipo de roca.

Es de hacer notar que si la resistencia del material decrece, el valor de K se incrementa. Los valores de K son obtenidos de las pruebas de laboratorio.

c) Presión y volumen de aire

En la compra de todas las máquinas se debe fijar la capacidad del compresor (el gasto de aire y presión de salida) con base en la dimensión de los barrenos, los tipos de roca a perforar y la posible producción de barrenos. Durante el proceso de perforación el volumen de aire inyectado sirve para dos funciones:

- Remoción de todo el material triturado (velocidad de remoción del material del barreno)
- Refrigeración y limpieza de los cojinetes de la broca

Aproximadamente el 80% de aire es usado para sacar el material triturado dentro del barreno y el 20% restante tiene la función de enfriar los cojinetes de la broca por medio del flujo de aire y una caída de presión.

La presión y el volumen de aire tienen una importancia fundamental para la perforación, ya que el aire es el encargado de remover el material que va cortando la perforadora (achicar el barreno); si la cantidad de aire no es suficiente para realizar eficientemente el desalojo de las partículas, puede ocasionar los siguientes problemas.

- Pérdida de la superficie de contacto entre la broca y el terreno
- Mayor vibración en la perforación que ocasiona paredes del barreno inestables
- Desgaste de baleros en las brocas y aditamentos de perforación

El volumen y presión de aire son limitados por lo que el control de las fugas o pérdidas de aire tiene que ser cuidado al máximo, es recomendable contar con sistemas de transporte de aire en buen estado, desde el compresor hasta la superficie del barreno.

Por otra parte la pérdida de presión en el flujo de aire que llega a la broca ocasionará un mal enfriamiento de la broca. Si la diferencia de presiones entre la presión del aire que llega a la broca y la presión atmosférica es menor, menor será el intercambio de temperaturas entre la broca y el medio ambiente.

d) Velocidad de remoción de material del barreno (achique)

Puede ser definida como la velocidad media de las partículas que pasan por un punto dado, velocidad expresada en pies por minuto.

Existen tres factores importantes en la velocidad de remoción de material del barreno:

- El gasto proporcionado por el compresor, que es constante para cada una de las máquinas según su capacidad.
- El área anular, que es la relación entre el tamaño de la tubería y el tamaño del barreno.
- Las pérdidas de aire por la tubería, que pueden ser estimadas en 27%. En estas pérdidas de aire también se cuenta la presión barométrica.

Tomando en cuenta estos factores, será posible obtener una velocidad de remoción tal que ayude a mejorar en los siguientes aspectos:

- a) Aumentar la vida de la broca
- b) Buen desalojo de las partículas que permita un rodamiento adecuado de los cojinetes
- c) Perforaciones con mejor contacto en la superficie
- d) Mayores índices de penetración y menor costo por metro barrenado
- e) Disminuir la vigilancia en estabilizadores y tuberías
- f) Disminuir el desgaste en los equipos recolectores de polvo
- g) Reducir el daño de las paredes del barreno en perforaciones de material deleznable

Para determinar la velocidad de la partícula será posible ocupar la fórmula general de los fluidos.

$$Q = V (D^2 - d^2) / 1.27(144) \quad \{3\}$$

donde:

- Q = Volumen de aire circulando, en ft³ / min (m³ / min)
- V = Velocidad de remoción de material (achique), en ft / min
- D = Diámetro de broca, en pulgadas
- d = Diámetro de la tubería, en pulgadas

Ajuste por pérdidas que se puede tomar: 27 %

Existen tablas de los proveedores que muestran las velocidades de desalojo de material en función del diámetro de tubería, tipo de compresor y diámetro de broca en las cuales se observan las posibles velocidades que se pueden alcanzar según el tamaño de tubería. La tabla (III.1) muestra la velocidad de desalojo del material para el tipo de compresor (Allis Chalmers) que es el tipo de compresor en las máquinas de Cananea, tabla que ayuda a escoger el diámetro de la tubería de perforación según la velocidad más adecuada.

Tabla (III.1) Velocidad de remoción de recorte para diferentes diámetros de barreno y diámetros de tubería de perforación, en función del tipo de compresor.

Tipo de compresor: Allis Chalmers. Presión de salida: 40 psi.

Diámetro de tubería	Diámetro de broca	Area anular	Velocidad de remoción de material			
			Miles ft /min			
pulgadas	Pulgadas	Pulgadas Cuadradas	Capacidades del compresor			
			773 cfm	982 cfm	1310 cfm	1550 cfm
9 1/4	10 5/8	21.46	5.187	6.589	8.790	10.400
	12 1/4	50.66	2.197	2.791	3.624	4.406
10 1/8	12 1/4	27.10	4.107	5.218	6.960	8.236
	15	85.95	-	-	2.195	2.596

Fuente: Bucyrus Erie Company 1979 pag.4.7

Una velocidad de remoción de material por encima de los 10,000 ft/min (3,048 m/min) es destructiva para el equipo. Los productores de brocas y tubería de perforación recomiendan las siguientes velocidades:

- 5,000 ft/min (1,524.0 m/min) para roca de baja resistencia a la perforación
- 7,000 ft /min (2,133.6 m/min) para roca de resistencia media a la perforación
- 9,000 ft/min (2,743.2 m/min) para rocas de alta resistencia a la perforación

Para un índice de penetración de 60 ft/hr (18.28 m/hr)

e) Refrigeración y limpieza de los cojinetes de la broca

La limpieza y refrigeración de los baleros en los conos o cojinetes y de todas las partículas que se encuentran en la broca se realiza por medio del flujo de aire y una caída de presión adecuada; esta se varía, mediante la selección entre diversos tamaños de orificios o toberas, hasta obtener la presión adecuada.

La caída de presión adecuada en la broca se obtiene seleccionando el diámetro apropiado de las boquillas de aire, que son unas toberas alojadas en la broca.

En la mayoría de los casos, una caída de presión mantenida de 10 a 5 psi (68.94 a 34.47 kpa) da excelentes resultados; el aumento de caída de presión ya no mejora

los resultados y puede crear otras condiciones adversas, tales como un posible calentamiento del compresor o una rápida erosión de la broca.

La tabla (III.2) ayuda a escoger el diámetro de la tobera en función del tamaño de broca para obtener una caída de presión. Con un gasto de compresor de 1310 ft³ por min y 40 psi de salida.

Tabla (III.2) Presión de aire que pasa a través de la broca con insertos de carburo de tungsteno, según el tamaño de la tobera

Tamaño de la broca	Tamaño de la tobera	Presión de salida de la tobera
pulgadas	Pulgadas	Libras por pulgada cuadrada
9 7/8 a 12 1/4	3/8	77
	7/16	67
	1/2	58
	9/16	50
	5/8	43
	11/16	36
	3/4	31
	7/8	21
	1	14

Fuente: Hughes Tool Compañy. Blast Hole Bit Handbook 1980 pag.18

Para obtener los resultados más adecuados en la operación de barrenación, será recomendable tomar en cuenta todos los parámetros antes mencionados, en conjunto con el tipo de máquina, tipo de roca y la cantidad de producción planeada.

III.3 Descripción general de la perforadora

Las perforadoras 60R Bucyrus Erie con las que cuenta la compañía son del tipo de barrenadoras rotarias. Están diseñadas para perforar barrenos con una profundidad de 50 pies (15.24 metros) y con opción de aumentar a 55, 60, 65 y 150 pies(16.7, 18.3, 19.8 y 45.7 metros).

La descripción de la perforadora se puede iniciar por una broca tricónica que se monta en un extremo de una barra llamada estabilizador, como se puede observar en la figura (III.1). El estabilizador está conectado a la tubería de la perforadora por uniones rotarias de trenzado estándar. La tubería de la perforadora gira por medio de una transmisión de conducción rotaria. La unidad de transmisión rotaria sube y baja por medio de una transmisión de cadena.

Todo el manejo de la tubería es realizado por mecanismos hidráulicos que se controlan desde la cabina del operador. Una parte esencial para el buen



UNION DE TRENZADO

CUERDA DE ROSCA

TUBERIA DE PERFORACION

ESTABILIZADOR

BROCA

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA
COMPONENTES DE LA TUBERIA DE PERFORACION		
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES		
Esc. S / E	Septiembre 2000	FIGURA III 1

funcionamiento de la tubería de perforación es contar con un forro guía que dirige el estabilizador para el rompimiento y durante la perforación.

Estas máquinas cuentan con un compresor rotario tipo paletas y un compresor secundario, que se encargan de surtir aire comprimido para el funcionamiento de toda las operaciones de la máquina y broca.

Existen también varios gatos hidráulicos que se encargan de levantar y manipular los mástiles de levantar y nivelar la maquinaria. Estos gatos hidráulicos se controlan también desde la cabina del operador.

Las perforadoras cuentan con sistemas de aire, gatos hidráulicos y los motores de levante y compresor funcionan por corriente directa, por esto se nombra a este tipo de maquinaria como maquinarias tipo neumáticas, eléctricas e hidráulicas.

El sistema colector de polvos consta de una envoltura que evita que las partículas de roca gruesas y delgadas penetren a la cabina del operador o a su maquinaria

La parte frontal de la maquinaria es el extremo donde se ubica la unidad de fuerza (energía eléctrica), la parte trasera es el extremo donde se localiza el operador. Los lados derecho e izquierdo se determinan de acuerdo con la posición del operador frente al tablero como se observa en la figura (III.2).

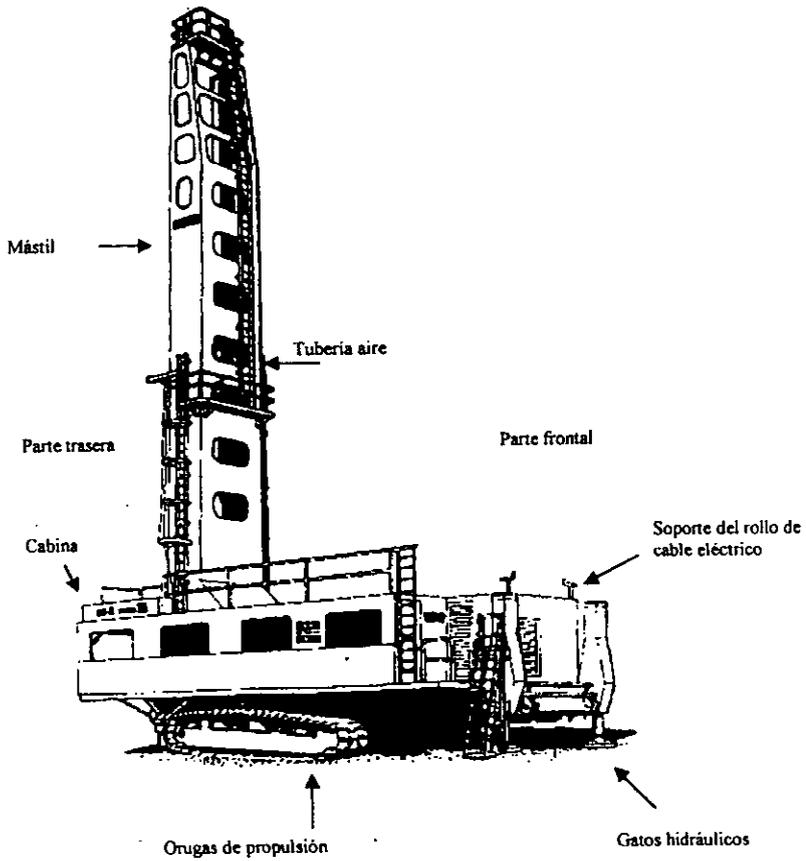
Las principales partes que constituyen la perforadora y que se pueden considerar fundamentales para la operación son:

- Sistema de izado y propulsión
- Unidad de conducción rotaria
- Sistema de aire
- Sistema hidráulico
- Sistema de inyección de agua
- Sistema de energía
- Brocas, tubería de perforación y estabilizadores

A continuación se describe cada uno de ellas, con la finalidad de conocer las partes que las constituyen, para así poder entender mejor los límites de operación con los que se puede trabajar.

III.4 Sistema de izado y propulsión

Este sistema de transmisión dirige la energía de accionamiento del levante o el tren de accionamiento de la propulsión. Hay un motor eléctrico de corriente directa que es usado tanto para el levante como para la propulsión y un motor hidráulico que se usa únicamente para aplicar la presión hacia abajo a la conducción de levante.



2

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA	
MAQUINARIA DE PERFORACION			
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES			
Esc. S / E	Septiembre 2000	FIGURA III 2	

Los controles de izado y propulsión están diseñados para evitar el uso del motor hidráulico para la propulsión. La velocidad y dirección de estas dos funciones son controladas por un reostato, que se encarga de disminuir o aumentar la velocidad según sea lo necesario para cada perforación.

III.5 Unidad de conducción rotaria

Este mecanismo es el que le da giro o rotación a la tubería de perforación. Esta rotación se logra por medio de dos motores de corriente directa de 150 hp cada uno, que están montados verticalmente enfrente de la unidad de conducción rotaria. Estos motores se acoplan a una unidad de reducción de engranes que los mueve hacia arriba o hacia abajo sobre las guías del mástil, con la finalidad de que la unidad de conducción rotaria transmita su movimiento directo a la tubería.

La unidad de conducción rotaria se mantiene alineada por medio de unas zapatas deslizables y una zapata guía ajustable.

También cuenta con una manguera con abastecimiento de aire, que conecta el aire de los frenos y el aire que va hacia la tubería de perforación.

III. 6 Sistema de aire

Abastece de aire comprimido directamente al barreno durante la perforación. Este aire también limpia y enfría los cojinetes de la broca, y alimenta a todos los frenos de seguridad de la maquinaria.

El aire comprimido para la perforación es suministrado por un compresor rotario tipo paleta, refrigerado por agua. Este compresor se mueve por medio de un motor de corriente alterna de 200 hp, con una capacidad de volumen de aire de $1,310 \text{ ft}^3/\text{min}$ ($0.618 \text{ m}^3/\text{min}$) y una presión de salida de 40 psi. (275.8 kpa)

En las máquinas equipadas con motor diesel el compresor se mueve por dicho motor. Un compresor auxiliar con un motor separado suministra el aire para los dispositivos de control. El aire que entra a cada compresor es limpiado por un filtro.

El aire fluye por la tubería principal de aire a la conexión sellada en la transmisión rotaria. Después fluye por la tubería de perforación hasta la broca y de ahí retoma hacia arriba del barreno arrastrando consigo los residuos de cortaduras de mineral o de roca.

III.7 Sistema hidráulico

Se encuentra en un compartimiento cerrado inmediato a la cabina del operador por la parte frontal. Consiste de dos sistemas hidráulicos completos e independientes entre sí. Cada sistema hidráulico es un sistema cerrado para mantener el aceite lo más limpio posible.

Estos sistemas están formados por una bomba doble que se encarga de distribuir el aceite a todos los cilindros, un tanque que está montado en un extremo del motor, un enfriador del aceite, además de un conjunto de válvulas para controlar las bajas y altas presiones del sistema.

La capacidad de los tanques de aceite es de 107 galones (0.435 m^3), son del tipo tanque doble, uno para los cilindros que abastecen la presión hidráulica en la máquina y es de 77 gal (0.291 m^3) y otro de 30 galones (0.113 m^3) para la fuerza de empuje. El enfriador de aceite trabaja por medio de un abanico el cual tiene salida al exterior.

Las bombas hidráulicas son del tipo doble, tienen un motor eléctrico de 30 hp a 1500 rpm, que proporciona la fuerza motriz, lo que hace a estas bombas del tipo electro- hidráulico.

El primer sistema abastece la presión hidráulica para operar varios gatos que dan movimiento a diferentes mecanismos de la máquina, como gatos hidráulicos para levantar cortinas de polvo, herramienta, tenazas para tubería, gatos hidráulicos de compensación de cadenas y el motor hidráulico para el carrete de cable, etc. Las puertas de levante o gatos de nivel así como los demás mecanismos, son alimentadas a través de válvulas de contrabalance de operación directa para evitar deslizamientos.

El otro sistema abastece la presión hidráulica a un motor hidráulico para la fuerza hacia abajo (fuerza de empuje), es del tipo paleta y está montado en una cubierta para transmisión de propulsión y levante.

Su sistema de válvulas consta de válvulas de alivio y un cilindro de compensación por medio de esto es posible manipular una fuerza de presión hacia abajo de un valor inicial de 650 psi ($4,481.59 \text{ kPa}$) a un valor final de 2,000 psi ($13,789.51 \text{ kPa}$). Su válvula principal se encuentra en el tablero de operador, y por medio de esta el operador puede hacer los ajustes para obtener la presión deseada de fuerza hacia abajo.

Esto es cuando el operador inicia la barrenación y la presión hidráulica en las líneas de fuerza comienza a aumentar, el cilindro marca 650 psi (4481.59 kPa) que es la presión mínima en el cilindro, desde ese punto el cilindro equalizador permanece 85 psi adelante de la presión de la fuerza hacia abajo (fuerza de empuje), la presión de fuerza hacia abajo podrá alcanzar 2000 psi. ($13,789.51 \text{ kPa}$). La presión de la fuerza hacia abajo se mide en un manómetro, localizado en el tablero del operador.

III.8 Sistema de inyección de agua

El sistema de inyección de agua provee de agua a la línea principal de aire para aumentar el control de polvo en la barrenación; el sistema consiste de un tanque, bomba eléctrica, válvulas, indicador de flujo, mangueras, interruptor de nivel y presión, el cual apaga la bomba cuando el nivel de agua está bajo.

El tanque se encuentra en la parte trasera de la estructura principal, la bomba está sumergida dentro del depósito. Un manómetro del nivel de agua y una válvula de desalajo están montados a un lado del tanque con una línea de salida.

El indicador de flujo y la válvula de manecillas se encuentran en la cabina de operador. El operador puede ajustar la válvula al flujo deseado.

El agua fluye a través de la válvula y del indicador de flujo, luego por la manguera a la línea principal de aire comprimido, mezclándose con este. El agua es un suministro que es permanente a lo largo de toda la operación, siendo esta un insumo que se tiene que renovar diariamente y la falta de ella ocasionaría una operación descontrolada.

III.9 Sistema de energía

Este sistema está constituido por los siguientes elementos principales:

- a) Unidad de fuerza
- b) Cable de energía
- c) Distribución eléctrica

a) Unidad de fuerza

Un cable eléctrico que se arrastra desde una subestación conduce la corriente alterna a la perforadora. En las máquinas equipadas con motor diesel el mismo motor mueve el conjunto motor generador, el compresor y generador de corriente alterna.

La planta de energía está ubicada en la parte frontal de la máquina, tiene un juego de 3 candados tipo estándar, la máquina cuenta con un carrete para el cable que está montado en la parte delantera de la máquina. Figura (III.2)

Los requerimientos de energía para una máquina estándar 60R son:

3 fases de 60 Hz a 4,160 voltios; energía 290 kW de demanda promedio y 575 kW tope; se requieren 350 kva como capacidad del transformador de energía a la línea de fuerza.

b) Cable de energía

El cable de energía que necesita la máquina es del tipo SH-D3 conductores No. 0000, aislado a 5,000 voltios (también puede usarse cable a 8,000 voltios pero su manejo será mucho más difícil).

c) Distribución eléctrica

Para cubrir la demanda de energía es necesario contar con una red de distribución a lo largo y ancho de la mina que forme circuitos que abastezcan a todas las maquinarias.

III.10 Brocas, tubería de perforación y estabilizadores

Otra parte de fundamental importancia en el desarrollo de la perforación son sus aditamentos, los cuales son la parte de desgaste continuo que se requiere cambiar según las producciones. Obteniendo el conocimiento de sus propiedades físicas y sus parámetros de operación será posible trabajar mejor, estos aditamentos son: figura (III.1)

- a) Brocas con insertos de carburo de tungsteno
- b) Tubería de perforación
- c) Estabilizadores de perforación rotaria

a) Brocas con insertos de carburo de tungsteno

Estos tipos de brocas fueron introducidas inicialmente por Hughes Tool Company para perforar rocas extremadamente duras y abrasivas, tales como: pedernal, cuarcita y taconita. Existen en el mercado otras compañías que producen brocas con sus variaciones pero todas pueden tener una compatibilidad entre sí.

Como la experiencia de campo indicó la versatilidad potencial de este diseño de broca excepcional, se hicieron modificaciones para proveer tipos adicionales con insertos para perforar un rango más amplio de rocas, tales como: minerales de cobre abrasivos y otros minerales metálicos más duros.

En la actualidad existen 5 tipos de brocas disponibles para la perforación minera: HH-33, HH-44, HH-55, HH-77 y HH-99. Las principales diferencias de diseño en la fabricación de cada tipo de broca son para perforar de forma más eficiente rocas específicas. Por ejemplo: la broca HH-44 está diseñada para perforar rocas medianamente blandas a medianamente duras y abrasivas y la HH-99 para las partes más duras y más abrasivas de las rocas duras.

En el diagrama (III.3) se muestra una carta para escoger el tipo de broca más factible para el tipo de roca, en seis diferentes clasificaciones. El relleno del color significa qué tanto funcionan las características según el tipo de broca, así se

observa en el diagrama (III.3) la broca con mayor protección de insertos es la HH-99.

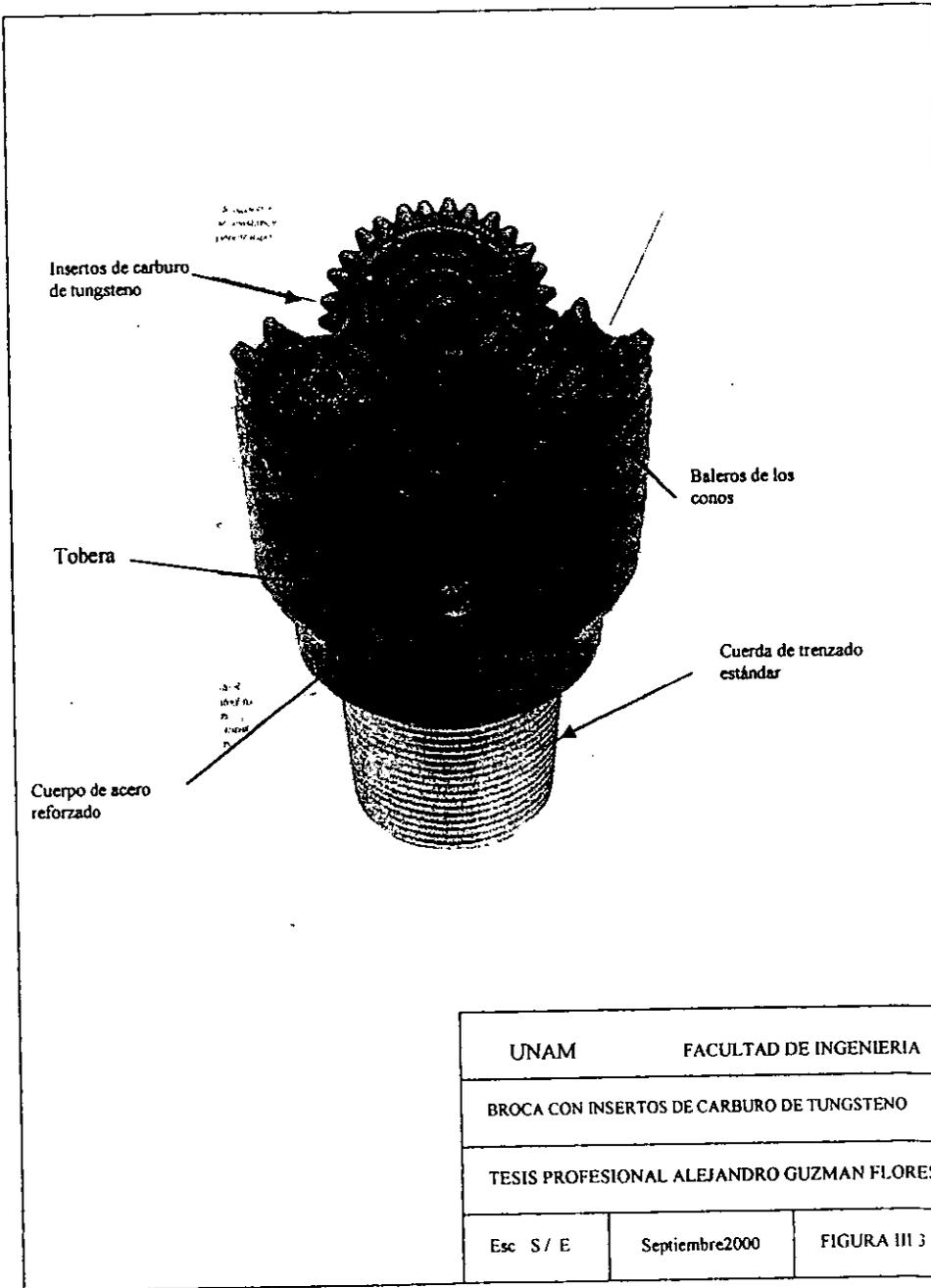
Diagrama (III.3) Brocas de carburo de tungsteno en perforación de rocas compactas, indicando sus características principales

Clasificación de roca	Tipo de broca	Rocas	Funciones de corte		Característica		
			Tamaño de diente	Espacio entre diente	Protección de insertos	Costo de perforado	Facilidad de perforado
Ligera	HH-33	Limos y areniscas	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
Mediana	HH-44	Calizas duras, areniscas silíceas, monzonitas suaves	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
No dura	HH-55	Calizas, dolomitas y granitos no alterados	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Dura	HH-77	Granitos, basaltos y formaciones silíceas	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Muy dura	HH-88	Cuarcita dura, taconita	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo
Extrema	HH-99	Taconita dura	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo	Muy bajo

Fuente: Hughes Tool Company. Blast Hole Bit Handbook 1980 pag.9

Las modificaciones en el diseño de las estructuras de corte se han efectuado con base en los más importantes principios empleados en el diseño de las brocas. Figura (III.3):

- 1.- El espaciamiento de los insertos o dientes es mayor para las formaciones más blandas o más débiles y decrece a medida que la dureza de la formación y su abrasividad aumentan.
- 2.- El número de hileras de insertos y/o el número total de insertos por broca aumentan a medida que aumentan la dureza y abrasividad de la formación.
- 3.- Las profundidades de las acanaladuras y la magnitud del entrelazado son disminuidas a medida que aumenta la dureza de la formación y su abrasividad.
- 4.- La proyección de los insertos en la carcasa del cono es mayor para las formaciones blandas y disminuye a medida que aumenta la dureza y abrasividad de las formaciones.



La broca tipo HH-44 incorpora insertos de perfil o punta en forma de cincel y está diseñada para rocas tales como: calizas, areniscas, dolomitas, monzonitas, etc.

Estos insertos en forma de cincel, permiten una penetración más rápida en las formaciones de rango medio blando a medio duro.

El tipo HH-77 incorpora insertos de carburo de tungsteno de cabeza hemisférica y está diseñada para las formaciones de mayor dureza a las medianamente duras.

El tipo de broca HH-99 incorpora insertos de carburo de tungsteno de cabeza semiesférica y está diseñada para perforar formaciones extremadamente duras y abrasivas, tales como: taconita, cuarcita, basalto, etc.

A estos tres diseños de trépanos (o brocas) con insertos de carburo de tungsteno se incorporan el empleo de insertos en la superficie de los cojinetes y una combinación de insertos y revestimiento en la superficie perimetral del faldón de la broca para aumentar la resistencia al desgaste por abrasión.

El uso de brocas con inserto de carburo de tungsteno en Mexicana de Cananea, ha demostrado que para este tipo de yacimientos las brocas de otro tipo no servirían.

b) Tubería de perforación

Para alcanzar mejores rendimientos en la perforación es necesario conocer las características y límites de la maquinaria además de las características de los aditamentos de perforación.

En la perforación el parámetro que mide el buen o mal uso de estos aditamentos es denominado índice de penetración. Los índices de penetración son determinados por factores importantes tales como: fuerza de empuje (pull down), que es la presión que la tubería y broca ejercen sobre el terreno; velocidad de rotación, (rpm) que son las revoluciones por minuto a las que puede trabajar eficientemente la broca.

Estos parámetros son muy importantes para la adecuada selección de los aditamentos, en función de las características específicas de la maquinaria y las dimensiones de los barrenos requeridos para dar la producción con una operación óptima. Otro parámetro que es de vital importancia en esta selección, es la velocidad de remoción del recorte (achique).

En función del índice de penetración más adecuado, los factores que se involucran para la selección de la tubería de perforación que pueda cumplir con los requerimientos de aire y cumplir las necesidades operacionales son:

1. Tipo de acero
2. Tipo y tamaño de rosca
3. Espesor de la pared del cañón
4. Cantidad de conexiones

Tomando en cuenta los factores anteriores, para una selección de tubería es necesario conocer la velocidad óptima de remoción de recorte, las características particulares de la maquinaria (tipo de compresor, su capacidad y presión de salida) etc.

El buen estado de la tubería de perforación es fundamental para poder alcanzar índices de penetración mayores, porque el contar con tuberías chuecas y cuerdas en mal estado, impide que la broca tenga una superficie homogénea de contacto con la superficie del terreno. La broca en trabajos con estas condiciones tiene desgastes dispares y una gran inestabilidad (vibración). Un ejemplo de tubería en mal estado se presenta en la figura (III.4).

La tubería de perforación además de ser el medio por el que se transmite la energía, también tiene la función de proporcionar un conducto adecuado para el flujo de aire a la broca.

c) Estabilizadores de perforación rotaria

La función de los estabilizadores de perforación es proporcionar a la broca un medio más estable, esto se logra al tener partes de corte a sus costados cuya función es la de triturar la roca que pueda bloquear la vía para el desalojo del material y estabilizar las paredes del barreno conforme avanza la perforación.

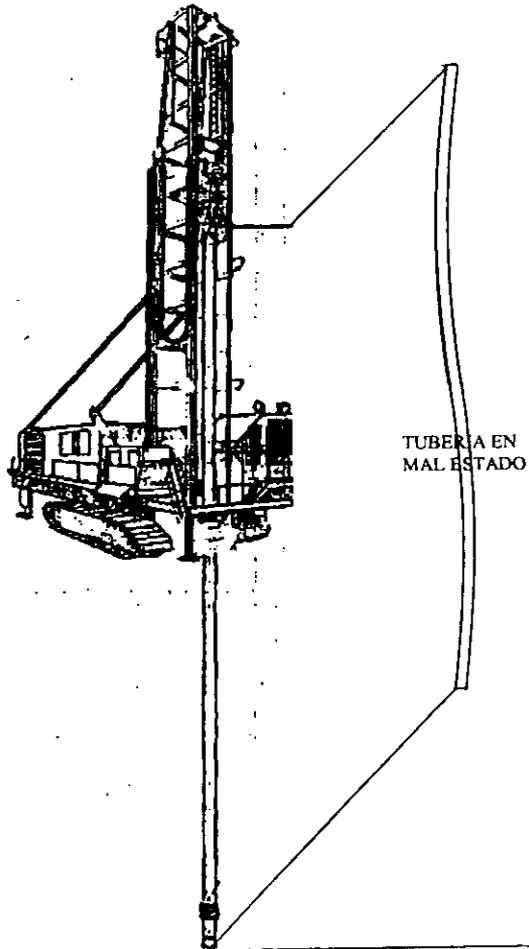
Un buen desalojo de las cortaduras proporciona a la broca una mayor superficie de contacto con el terreno y una menor vibración, es decir un medio más estable.

Existen dos tipos de estabilizadores en el mercado:

- Rodillos intercambiables
- Hojas o Laminas (gavilanes)

En el tipo de rodillos intercambiables, las piezas de desgaste son intercambiables, teniendo la facilidad de ser renovadas cuando sea necesario, aumentando los metros perforados por estabilizador, con el problema de que si los rodillos no son cambiados a tiempo, el estabilizador que los sostiene tendrá que ser cambiado en su totalidad.

El tipo de hojas es sensiblemente más barato en el precio inicial, pero tiene una menor duración. Su vida útil está limitada al buen estado de sus hojas al no poder cambiar el área de desgaste. Su cambio operativo óptimo será cada 30,000 m por pieza o antes si se encuentra en mal estado.



TUBERIA EN
MAL ESTADO

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA
TUBERIA DE PERFORACION EN MAL ESTADO		
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES		
Esc S / E	Septiembre 2000	FIGURA III 4

Los fabricantes recomiendan no usar los estabilizadores de rodillos intercambiables para formaciones duras a formaciones de extrema dureza, por proporcionar una pobre estabilidad con un relativo momento de fuerza y tener una gran vibración.

III.11 Operación de la maquinaria de perforación

La observación metódica del desarrollo en la operación de la maquinaria de perforación rotaria ha sido muy importante para todas las operaciones a cielo abierto en el mundo.

En los Estados Unidos de América se ha observado principalmente el mayor número de operaciones, y se han tratado de normalizar ellas para obtener los mejores resultados de la manera más segura. Por otro lado, se recomienda que antes de iniciar cualquier operación sea necesario contar con la información geológica básica del área, así como todos los servicios (agua, caminos y energía eléctrica) para evitar cualquier contratiempo.

Las operaciones de barrenación se pueden dividir en 4 grupos fundamentales:

- Inspección
- Propulsión o tránsito
- Nivelación
- Perforación

- **Inspección**

Antes de poner a funcionar la maquinaria, debe hacerse una inspección minuciosa y asegurarse que todos los mecanismos estén en buenas condiciones para la operación (sistema de izado y propulsión, unidad de conducción rotaria, revisar que el compresor y la línea de aire esté purgada y sin fugas; para el sistema hidráulico es importante mantener los niveles en los tanques y sellar las fugas de aceite existentes y por último, tener una inspección en las brocas, tubería de perforación y estabilizadores) y comprobar si las orugas tienen grietas o pernos que le falten. También debe evitarse cualquier sedimentación de aceite, grasa o refrigerante que pudiera acumularse debajo de la máquina.

- **Tránsito**

En los movimientos de izado y propulsión se utiliza el mismo motor, a través de un sistema de coronas y embragues. El motor es reversible y de velocidad variable. El interruptor principal es para la dirección y se utiliza un reostato para controlar la velocidad.

Para cualquier tránsito es necesario trabar el mástil y seguir además las siguientes indicaciones. Para una mejor operación de la oruga, siempre que sea posible debe viajar con movimientos de la máquina hacia al frente.

Al transitar una máquina distancias dentro de una misma plantilla, para adelante o para atrás, los giros no deben de exceder de ángulos de 20° , pues si se dan giros mayores a 20° la tendencia será en primer lugar a romper las cadenas y en segundo lugar a maltratar el tren de tránsito.

Cuando los movimientos tengan que ser realizados en la primer línea de un banco tienen que ser más eficientes y realizarse paralelos a la cara libre, tomando en cuenta que el material cercano a la cresta es competente y que el bordo tiene como mínimo 6 metros.

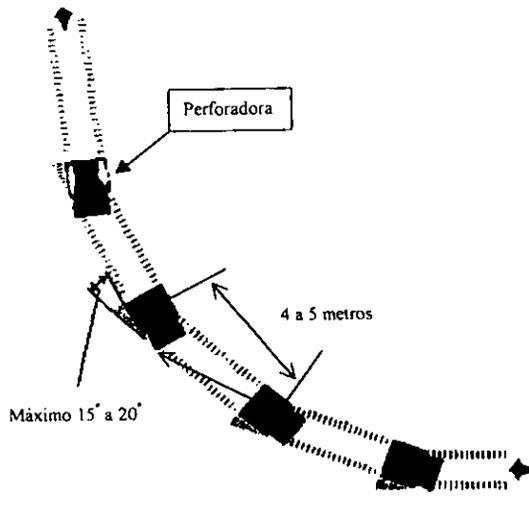
Si esto no es posible, deberá transitarse con movimientos barreno a barreno, en forma perpendicular a la orilla del banco, a una distancia que el terreno sea competente y no peligren las operaciones.

Al transitar la máquina por tramos largos como se muestra en la figura (III.5), los movimientos tienen que ser con giros máximo de 20° , con un tránsito en línea recta de 4 a 6 metros, para continuar con otro giro y tránsito igual hasta llevar la máquina al punto indicado. Si no se observan dichas instrucciones el resultado puede ser romper la cadena de giros o un eslabón o zapato de los orugas.

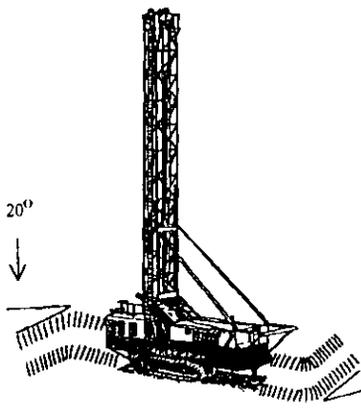
Para el cambio de banco que es una distancia extremadamente larga (distancias mayores a 500 m), a fin de evitar un mayor manejo de cables de energía y consumir menos horas/hombre se prefiere el método de remolque. Este se realiza por la parte frontal de la máquina. En recorridos largos y continuos las orugas se deben engrasar cada 200 m.

Para cualquier movimiento de la maquinaria es necesario tomar en cuenta las siguientes observaciones:

- Al mudarse de sitio, en una zona ya perforada, es de suma importancia cuidar que la maquinaria no arrastre las cortaduras dentro de los barrenos.
- Cuando el tránsito se realice en una pendiente, debe realizarse con el mástil por delante.
- Debe planearse el camino por el cual se llevará a la maquinaria, evitando el mayor número de pendientes.
- El manejo de los cables de energía tiene que ser planeado con anterioridad para evitar accidentes o contratiempos.



DISTANCIAS LARGAS



DISTANCIAS CORTAS

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA	
TRANSITO DE UNA MAQUINA PERFORADORA			
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES			
Esc S / E	Septiembre 2000	FIGURA III 5	

- Nivelación

Para que sea posible la nivelación de la maquinaria en una nueva área, es necesario que el terreno esté limpio y emparejado, eliminando cualquier material que pueda estorbar el uso de la maquinaria de nivelación.

Es necesario también que en el área se encuentre marcada la plantilla de barrenación, definida previamente por los departamentos de geología y planeación. Esta marcación deberá resistir el continuo paso de la maquinaria sin que pierda sus dimensiones originales.

Una buena ubicación y nivelación de la maquinaria, será importante para disminuir los daños en los aditamentos de perforación, para tener una perforación más estable con un control de la vibración, además de disminuir las diferencias entre la plantilla planeada y la real.

Ya preparada el área, hay que transitar y colocar en posición la maquinaria, nivelándola con el conjunto de los gatos hidráulicos y los clinómetros que se encuentran en la cabina.

La maquinaria cuenta con cuatro gatos hidráulicos, dos en la parte trasera de controles independientes, y dos delanteros que funcionan en paralelo con un solo control para facilidad en la nivelación.

Para comenzar el proceso de nivelación es necesario situar los gatos traseros y nivelarlos de cada lado. Después se extienden los gatos delanteros nivelando primero la parte más baja de la máquina, para mantenerla lo más cerca posible al suelo, los clinómetros se deberán calibrar frecuentemente para asegurarse que la unidad está nivelada.

La pesada herramienta colgante de la conducción rotaria también actúa como plomada guía con respecto a la plantilla, que en conjunto con los gatos hidráulicos y clinómetros, indican cuando la maquinaria esté nivelada y centrada. Cuando la máquina llegue al nivel de la herramienta, colgará perpendicularmente al centro de la plataforma y estará alineada con el centro de la marcación.

- Perforación

Los ensayos de laboratorio han mostrado que cuando se perfora con brocas rotativas en rocas homogéneas, la perforación responde de la siguiente manera:

- 1.- La velocidad de penetración es directamente proporcional a la velocidad de rotación.
- 2.- La velocidad de penetración es por lo menos directamente proporcional al peso sobre la broca.

En las actuales prácticas de perforación, es importante notar que hay muchas variaciones en las características de la roca, remoción de los recortes y condiciones de la broca que afectan la penetración; por lo tanto los puntos 1 y 2, solamente sirven como una guía para planificar los requerimientos del equipo de perforación, de acuerdo con el diámetro del barreno a perforar.

La velocidad de rotación y la fuerza de empuje, más parámetros operativos tales como presión de aire, velocidad de remoción de recorte y la refrigeración y limpieza de la broca, tendrán que ser controlados para tener un mejor control en la operación y disminuir los desgastes prematuros de la broca.

En rocas blandas fácilmente perforables, el empleo de grandes fuerzas de empuje pueden ir de 70,000 lb (31,751 kg) a 95,000 lb (4,3091 kg) está restringido debido a la tendencia de la broca a "embolarse" (el peso de la broca hace que los dientes se entierren dentro el terreno), reduciendo por lo tanto su eficiencia.

En este caso se puede aumentar la velocidad de rotación, pues el peligro de quebradura de dientes se reduce en estas rocas de baja dureza. El aumento de la velocidad de rotación está limitado por la presencia de partículas abrasivas en la formación, las cuales bajo velocidades excesivas de rotación podrían erosionar prematuramente la estructura de corte o los rodamientos.

En rocas duras es necesario emplear mayores fuerzas de empuje para vencer la resistencia de la formación. Pero aquí el empleo de velocidades de rotación excesivas podría causar un aumento del desgaste por abrasión, así como crear cargas de impacto demasiado grandes para la estructura cortadora.

La obtención de los parámetros óptimos para cada tipo de roca proporciona una base para el inicio de cualquier operación, una combinación adecuada del tipo de broca y estabilizador, fuerza de empuje, velocidad de rotación y un buen flujo de aire dará como resultado una operación continua y una base concreta con la cual se podrá tener una mejora continua en las operaciones.

Las frecuentes variaciones en las características de la rocas pueden hacer variar los requerimientos de fuerza y velocidades de rotación, por ello la propia experiencia y el conocimiento del terreno son el mejor patrón para determinar la mejor combinación de fuerza de empuje y velocidad de rotación para una operación minera en particular.

Las operaciones de perforación son repetitivas y bien definidas, de forma tal que se pueden realizar con un solo operador, pero este tipo de operaciones trae consigo un grupo de inconvenientes que se citan a continuación.

- Las áreas de trabajo regularmente se encuentran alejadas de los caminos principales y son de difícil acceso, por lo que en caso de algún imprevisto (accidente, incendio, etc.) el aviso no será oportuno.

- Las maniobras de centrado y cambio de barreno no siempre tienen la precisión necesaria para obtener una buena plantilla.
- Los accidentes por pérdida de energía al romper los cables en los movimientos de barreno a barreno.
- Barrenos inconclusos y pasados por la falta de sondeo al final de cada uno de ellos.
- Tiempos largos de maniobras en general.

Es por ello que se recomienda se cuente con un operador y un ayudante por máquina para tener una operación satisfactoria.

IV ANÁLISIS DE LAS OPERACIONES DE BARRENACIÓN

IV.1 Introducción

Para llevar a cabo el análisis de las operaciones es necesario recopilar la mayor cantidad de información. Las estadísticas de producción y cantidad de materiales utilizados, servirán para conocer la situación con la que se trabaja actualmente y serán el punto de partida con el que se podrán comparar las futuras operaciones.

La cantidad y calidad de esta información es de vital importancia, así como establecer el tiempo en el cual se pueda realizar el análisis, con la finalidad de formar un ambiente lo más consistente posible, que refleje las actividades con mayor exactitud.

Las actividades de barrenación en Mexicana de Cananea forman parte de las operaciones de minado, las que proporcionan el material necesario para la planta concentradora, para la planta de trituración del material de lixiviación y para los terreros de lixiviación.

El material para los diferentes destinos tiene un tamaño controlado y este será el control de calidad para las operaciones de barrenación.

Los trabajos de perforación se llevan a cabo con 9 perforadoras eléctricas Bucyrus Erie, modelo 60 - R, y 1 perforadora a motor diesel sobre neumáticos Drilltech, modelo D80K para las operaciones especiales (esta perforadora no tiene una producción continua).

Existen otras actividades necesarias para el desarrollo de la operación, como son los servicios y se realizan de la siguiente manera.

Las demandas de energía se cubren con un sistema de distribución que abarca toda el área de los posibles sitios en los cuales se tiene planeado operar.

Para cubrir todas las demandas de energía se cuenta con una distribución eléctrica formada por circuitos que son alimentados de una subestación principal que se encuentra dentro de la mina, la que a su vez recibe la energía de la línea exterior.

El circuito cuenta con un voltaje de 34.5 kV y distribuye a la mayoría de los equipos en mina operación, para lograr esto se cuenta con una red de subestaciones con una triple función; la primera es reducir el voltaje de la línea principal a 4.16 kV, la segunda transformar la corriente para que sea adecuada para las máquinas, y la tercera ser un interruptor que seccione las áreas de trabajo en caso de un accidente en la línea eléctrica. El control y ubicación de las subestaciones tiene la

finalidad de estar lo más cerca de las operaciones de los equipos, y sus movimientos se planean al mismo tiempo de desarrollo del tajo.

Las operaciones tales como transporte del personal, mantenimiento de caminos, trazo y limpieza de plantillas, transporte de materiales, almacenes y suministro de agua están contempladas dentro de las operaciones secundarias de toda la mina.

Para la realización de las operaciones secundarias se cuenta con equipo auxiliar, el cual consiste en tractores, motoconformadoras, pipas de riego, cargadores frontales, retroexcavadoras y track-drills.

Todos los trabajos son realizados por personal de la misma empresa, tanto del tipo de confianza como sindicalizado, que juntos forman los recursos humanos.

El análisis de las operaciones se basará en lo expuesto en el capítulo anterior y con ayuda de la teoría básica se buscarán parámetros más adecuados. Con lo cual será posible comparar las operaciones y tener un punto de partida para las mejorarlas.

IV. 2 Estadísticas de barrenación

Con los planes de producción que se tienen, y según la totalidad del material a mover (Tabla II.1) con una ley de corte de 0.40% Cu, en total se tienen programadas 1,612,582,000 toneladas a quebrar en el circuito de mineral flotable. A demás 934,079,000 toneladas de material lixiviable que será quebrado por el circuito de lixiviable, cifra que representa el 60 % del material lixiviable total mostrado en dicha tabla.

El total de material a quebrar será entonces la suma del material que vaya a la planta más el material lixiviable, cifra que asciende a la cantidad de 2,546,661,000 toneladas.

De la Tabla (II.1) se observa que 5,127,352,000 de toneladas, constituyen el gran total de material a mover, 2,546,661,000 toneladas será el material que necesita tener un tamaño controlado menor a 60 in (1.52 m), esto representa que casi el 50 % de la producción tenga una granulometría controlada.

El total de material a mover está contemplado en un diseño de tajo que tiene zonas con material suelto o previamente movido, por lo que se tiene que considerar que no todo el material a mover tendrá que ser perforado y volado.

Ahora bien, en el año de 1996 se tuvo una producción de material quebrado equivalente al 41% del total de material acarreado en la mina, este material quebrado se logró sin una nueva planta de triturado de material lixiviable, el que formará terreros de granulometría controlada y aumentará la recuperación de cobre. Se espera que esta planta empiece a funcionar para inicios de 1997 y

aumentará la producción de material quebrado hasta casi un 50 % de la producción total. En la Tabla (IV.1). se aprecia la cantidad de material triturado en 1996.

Tabla (IV.1) Producción de toneladas vs material triturado en 1996
(Promedio mensual)

Producción	Toneladas	Porcentaje del material triturado vs no triturado
Tepetate no triturado	4,337,000	
Lixiviable no triturado	841,000	
Subtotal	5,178,000	59%
Lixiviable Triturado	1,507,000	
Mineral Triturado	2,078,648	
Subtotal	3,585,648	41%
Total	8,763,648	100 %

Fuente : Mexicana de Cananea

El departamento de barrenación tuvo durante 1991 a 1996 un desarrollo de su producción como se presenta en la tabla (IV.2), la que muestra la cantidad de barrenos realizados así como sus índices de penetración, esto en función de los tiempos disponibles.

Estos datos forman el promedio mensual de los tiempos de todas las máquinas (10 perforadoras) y serán la base para el análisis de las operaciones que se realizará en este capítulo, así como punto de comparación con las condiciones que se propongan al final del mismo.

Los parámetros de evaluación que se tengan deben ser significativos y necesitan reflejar con claridad y de manera cuantitativa la historia de las operaciones. Por lo tanto es necesario establecer de una manera concreta los siguientes parámetros.

- Horas relativas: horas disponibles operadas + horas disponibles sin operador + horas en reparación
- Disponibilidad : (horas disponibles sin operador + horas disponibles operadas) / horas relativas
- Utilización: horas disponibles operadas / horas relativas
- Índice de penetración relativo: metros barrenados / horas relativas
- Índice de penetración efectiva: metros barrenados / horas disponibles operadas

Tabla (IV.2) Promedios mensuales de las operaciones de 1991 a 1996
(10 máquinas perforadoras)

Año	Horas disponibles operadas	Horas disponibles sin operador	Horas en reparación	Horas relativas
91	931	2,146	4,223	7,300
92	1,433	1,815	4,036	7,284
93	2,360	2,261	2,678	7,300
94	2,803	1,915	3,161	7,300
95	3,132	1,003	2,989	7,124
96	2,950	1,702	2,648	7,300

Año	Utilización	Disponibilidad	Metros barrenados	Numero de barrenos
91	12.8%	42.1%	17,679	1,070
92	19.6%	44.9%	23,153	1,181
93	32.3%	63.3%	36,916	2,051
94	38.4%	57.0%	41,008	2,148
95	44.0%	58.0%	48,429	2,736
96	40.4%	63.7%	54,222	3,012

Año	Metros barrenados por broca	Indice de penetración relativo(m/h)	Indice de penetración efectiva (m/h)
91	2,977	2.42	18.98
92	3,087	3.18	16.16
93	3,461	5.06	15.64
94	2,576	5.62	14.61
95	2,244	6.80	15.47
96	2,853	7.43	18.35

Fuente : Mexicana de Cananea

Las horas disponibles y no disponibles así como las horas en reparación se distribuyeron como se muestra en la tabla (IV.3) durante el mismo periodo de observación.

Tabla (IV.3) Horas disponibles, no disponibles y horas en reparación
(promedio mensual)

Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Horas operadas	931	1,433	2,360	2,803	3,132	2,950
Mal tiempo	-	14.75	0.58	-	0.17	10
Voladura	-	9.25	21.92	0.25	-	-
Tránsito	-	37.25	48.75	36.92	26.75	50
Sin estacas	-	100.00	139.42	32.42	8.83	10
Sin operador	-	1,456.5	1,588.17	1,454.5	670	1,335
Revisión rutinaria	-	19.83	2.83	-	-	-
Arreglo de piso	-	25.58	44	0.5	-	-
Falta de agua	-	17.58	210.92	165.83	43.17	50
Movimiento de cable	-	-	-	-	4.08	10
Cambio de broca	-	-	-	-	19.5	20
Enlace de turno	-	134.42	204.58	224.42	230.58	217
Horas disponibles sin operador	2,146	1,815	2,261	1,915	1,003	1,702
Total	3,077	3,248	4,621	4,718	4,135	4,652

Continúa.....

Horas en reparación

Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Mecánica	-	1,843.92	1,108.83	1,447.67	1,344.83	1,103.00
Soldadura	-	213.42	202.83	185.00	235.33	230.00
Eléctrica	-	1,617.92	739.33	834.17	582.92	600.00
Servicio	-	159.00	440.42	500.00	463.42	480.00
Sin personal	-	186.92	40.67	0.58	283.33	150.00
Llantas	-	15.67	12.92	24.00	13.75	13.00
Mala operación	-	-	-	-	11.35	12.00
Sin partes	-	-	-	-	36.58	40.00
Accidentes	-	2.33	133.5	-	17.75	20.00
TOTAL	4,223	4,036	2,678	3,161	2,989	2,648

Fuente : Mexicana de Cananea

Nota 1 : Todos los datos son un promedio del mes durante esos años

Nota 2 : - Los espacios en blanco son por no contar con esa información

IV.3 Control de tamaño de partícula

Como se discutió al inicio de este capítulo, el 50 % del material movido según los planes de producción tendrá que pasar por un control de tamaño, este 50% lo componen la suma del total de mineral para flotación y el 60% del mineral lixiviable que tendrá control de tamaño para su lixiviación, el cual será determinado por el tamaño máximo de partícula que puede pasar por las parrillas en las quebradoras; por esto es necesario conocer los posibles destinos a los que llegará el material.

El control de tamaño del material está sujeto al tamaño máximo de apertura de las parrillas de alimentación a las quebradoras en cada uno de los diferentes destinos, parrillas que están en concordancia con el tamaño máximo de entrada de las quebradoras.

Mexicana de Cananea tiene diferentes destinos para sus materiales, ya sea mineral para flotación o mineral lixiviable. De acuerdo con el destino final del material, el mineral extraído del tajo puede ser enviado a alguna de las siguientes plantas de trituración:

- a) Una planta de trituración para el mineral de flotación, que cuenta con dos trituradoras marca Taylor de 60 x 89 pulgadas (1.52 x 2.26 metros) con salida de descarga de 6 ½ pulgadas (16.51 cm) y una capacidad de diseño de 2,500tph cada una. El tamaño máximo de roca que se recibe es de 60 pulgadas (1.52 m).
- b) Una planta trituradora para lixiviable, que cuenta con una quebradora de quijada con entrada de 60 x 89 pulgadas (1.52 x 2.26 metros) con un diseño de 2,000 tph. El tamaño máximo de roca que se recibe es de 60 pulgadas (1.52 m)
- c) Otra planta para el material lixiviable que está ubicada al otro extremo del tajo; se espera iniciar las actividades para fines de 1997 con una capacidad de 2,000 tph. El tamaño máximo de roca que se recibe es de 60 pulgadas (1.52 m)

El otro 50% de material movido está compuesto por el mineral lixiviable restante destinado a terreros sin control de granulometría y por todo el material sin valor económico (tepetate). El tamaño de este material no es controlado y puede ser vaciado en alguno de los siguientes destinos.

- d) Vaciaderos para mineral lixiviable sin control de granulometría, pero a una mayor distancia de acarreo.
- e) Vaciaderos de tepetate sin control de granulometría.

Por eso es necesario examinar los procesos de barrenación y voladuras que determinan el tamaño de roca en el material tronado.

IV.4 Análisis de las operaciones de perforación para establecer un sistema de calidad

Para realizar el análisis bajo un concepto de calidad, y buscar un enlace con el cual se logre un enriquecimiento de los resultados, es necesario contar con información con la cual se pueda realizar un diagnóstico de la situación actual en la que se encuentran las operaciones de barrenación.

Por otra parte conocer bien el equipo con que se va a barrenar, así como sus recursos, capacidades y límites, dará una mayor oportunidad para aprovecharlo mejor.

Los datos necesarios para iniciar el análisis son proporcionados por otros eslabones de la cadena de producción, los departamentos de geología, planeación y mina operación serán los encargados de proporcionar la información.

Los datos que son necesarios recolectar para el inicio del análisis deben de ser:

- Distribución y tonelaje de los bancos a explotar, según el plan de minado general.
- Información geológica general, así como contar con información particular del área de trabajo, como tipo de roca, dureza de esta, cantidad de sílice y estructuras menores que pudieran afectar la barrenación.
- La ubicación de los caminos y suministro de servicios será con base en el plan general de minado, además se podrán obtener los tiempos de estancia de las máquinas en cada banco, de tal manera de programar los tránsitos con anticipación.

Para realizar un diagnóstico adecuado de la maquinaria es necesario conocer las siguientes características básicas de operación.

1. Tipo de energía necesaria para el funcionamiento de la barrenación
2. Forma de propulsión y su funcionamiento
3. Características y potencia del sistema de rotación
4. Capacidad del equipo para ejercer fuerza de empuje
5. Flujo y presión en el sistema de aire
6. Por último, los aditamentos de perforación más adecuados para el tipo de terreno

En la manera que se conozcan mejor las características del equipo con el que se cuenta, los beneficios serán mayores en las operaciones de barrenación.

Contar con bases teóricas sobre las operaciones de barrenación, será de vital importancia para realizar el análisis.

Los parámetros importantes que representan la operación de barrenación son los siguientes:

- Índices de penetración, que indican la eficiencia en la barrenación, y que se producen por el enlace adecuado entre la fuerza de empuje ejercida por la broca en el terreno a perforar, velocidad de rotación y la disponibilidad de la maquinaria.
- De igual manera los índices de penetración están ligados al tipo adecuado de broca y a una adecuada velocidad de remoción de recorte (achique).

La otra parte que dará estructura al análisis, se basará en los datos e información mencionados con anterioridad, como estadísticas de producción, descripción de las operaciones, y por otra parte se obtendrán los parámetros de producción como plataforma de despegue para establecer el sistema de calidad.

Los datos importantes a recopilar de la fuente de datos son:

- Metros perforados por broca
- Tipo de terreno perforado
- Índices de penetración

Con estos datos será posible formar archivos de fácil manejo, con los cuales se podrá ver la tendencia de la barrenación y establecer puntos de partida para los controles de calidad.

Como paso final, será necesario analizar la forma en la que son realizadas las operaciones de barrenación, evaluar las condiciones de las herramientas de perforación y comparar los parámetros de operación con los que actualmente se trabaja con aquellos parámetros obtenidos con la teoría básica de barrenación.

IV.5 Operaciones de barrenación

Las operaciones de barrenación comienzan en el momento que los terrenos destinados a producir se han definido, para esto fue necesario tener los planes de producción así como la cuantificación y el ritmo de las reservas a explotar.

Posteriormente se provee de energía eléctrica, caminos, y un acondicionamiento previo del terreno, que limpie y empareje cualquier material que pueda estorbar las operaciones e impida terminar correctamente la plantilla marcada.

La información geológica de estas zonas se obtiene y en coordinación los departamentos de geología y planeación son los encargados de marcar las plantillas de barrenación. También esta información sirve para seleccionar la broca más favorable para el terreno.

La marcación de las plantillas es realizada con aparatos topográficos con una orientación a favor de las estructuras, un bordo y espaciamiento adecuado a la dureza del material y una distribución cuadrada, rectangular o tresbolillo, la distribución y distancia entre barrenos será determinada por los parámetros de explosivos para las voladuras en ese tipo de roca.

Existen 3 tipos de plantillas dentro de las operaciones de barrenación, con las cuales se pueden ubicar los barrenos de tal forma que las ondas de choque estén uniformemente distribuidas en el área a ser volada.

Las plantillas de barrenación que se utilizan son:

1. Cuadrada (figura IV.1)
2. Rectangular
3. Tresbolillo

El tipo de plantilla será determinado por las condiciones propias del terreno y los planes para cada banco de material. La importancia de la ubicación de cada barreno dentro de la plantilla es vital, pues cada barreno debe de tener su bordo, espaciamiento y profundidad adecuados. La calidad en la fragmentación de roca está supeditada a la relación adecuada entre una plantilla correctamente barrenada y un factor de potencia óptimo.

En las operaciones de barrenación los patrones más comunes son 8 x 8, 8 x 10, y 7 x 8 metros, siendo el último el que se ocupa para los lugares mineralizados y en el que se necesita controlar la granulometría.

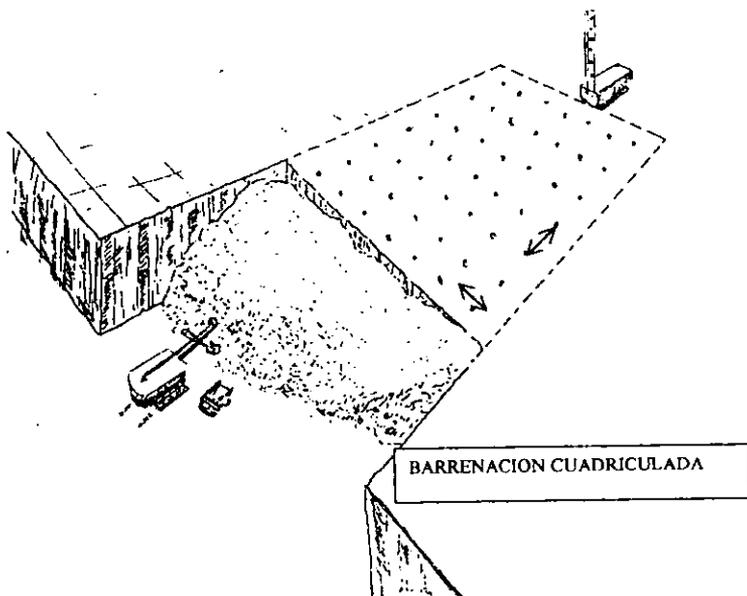
Con estos patrones se forman plantillas con distribución de los barrenos de tipo cuadrado, rectangular y tresbolillo.

La barrenación a tresbolillo es la más utilizada por la versatilidad que se puede tener en la salida. La barrenación cuadrada se puede observar en la figura (IV.1) y da buenos resultados en operaciones con salidas en V.

Los tipos de salidas que se emplean son:

1. Diagonal
2. En V
3. Por líneas

La salida se determinará según las condiciones en las que se encuentre el banco a volar. Las plantillas de barrenación son determinadas tomando en consideración la cantidad de explosivo (factor de carga) y el tipo de terreno.



UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA
CROQUIS DE LA PLANTILLA DE BARRENACION		
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES		
Esc S / E	Septiembre 2000	FIGURA IV 1

Para la obtención de la correcta relación entre los elementos que forman las plantillas de barrenación y los factores de potencia, existen diferentes criterios que proporcionan teóricamente los valores más adecuados. En el Anexo 2 se proporcionan estos factores en función de los criterios de C. J. Konya e ICI-ASA* para así poder comparar los valores con los que se trabaja actualmente.

Los valores obtenidos con base en estos criterios son:

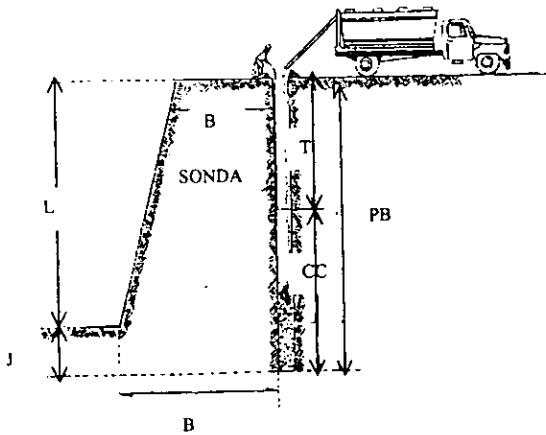
		C. J. Konya	ICI- DUPONT
L	Altura de banco	15 m	15 m
E	Espaciamiento	10.96 m (35.96 pies)	8.01m (26.29 pies)
B	Bordo	8.01 m (26.29 pies)	10.96m(25.43 pies)
J	Sub barrenación	2.39 m (7.84 pies)	2.40m (7.88 pies)
T	Taco	5.60 m (18.37 pies)	7.75m (25.42 pies)
De	Diámetro de barrenación	0.31 m (12 ¼ pies)	0.31m (12 ¼ pies)
CC	Columna de ANFO	11.79m (38.69pies)	9.64m (31.63 pies)
Fc	Factor de carga	216 gr/ t	276 gr/t

*ICI. Primer seminario y taller de alto nivel en explosivos, México D.F. 1995.
ASA. Manual de explosivos. ASA organización industrial Guadalajara México

Lo valores obtenidos de esta manera pueden variar según las condiciones del terreno, pero son un adecuado punto de referencia para los valores con los que se trabaja en la mina. Los valores con los que se trabaja actualmente se presentan a continuación y se observan en la figura (IV.2), así como se pueden observar los incrementos de los valores de factores de potencia ocupados de 1991 a 1996 en la gráfica (IV.1).

L	Altura de banco	15 m
E	Espaciamiento	8 m
B	Bordo	7 m
J	Sub barrenación	3 m
T	Taco	7 m
De	Diámetro de barrenación	0.31m (12.1/4 pulgadas)
C	Carga iniciadora	1kg de tovox primer densidad 1.2 g/cc
CC	Columna de ANFO	11 m
Fc	Factor de carga	315 gr/ t

Fuente: Mexicana de Cananea

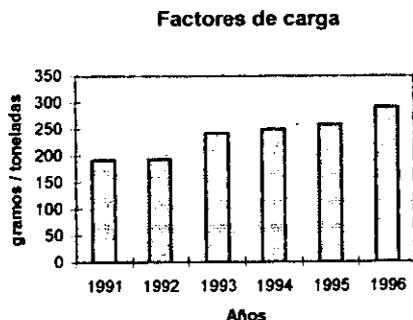


- B = BORDO
- J = SUB BARRENACION
- PB = PROFUNDIDAD DE BARRENO
- L = ALTURA DE BANCO
- CC = COLUMNA DE CARGA
- T = TACO

UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA
ELEMENTOS QUE FORMAN EL CARGADO DE EXPLOSIVOS		
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES		
Esc S / E	Septiembre 2000	FIGURA IV 2

En la gráfica (IV.1) se muestra el aumento de factor de carga de 1991 a 1996. Se observa la tendencia al crecimiento del factor de potencia a lo largo de estos años.

Gráfica (IV.1) Factor de carga en Cananea durante los años de 1991 a 1996



Se puede observar que los valores actuales con los que se realizan las operaciones de voladuras, son acordes con los obtenidos teóricamente, además de tener una tendencia de crecimiento para los factores de carga. Gracias a esto será posible analizar por separado las actividades de barrenación en los resultados de tamaño de partícula.

Ya definido la anterior, la cantidad de áreas en operación será determinada por los planes de producción. De esto dependerá el número y la distribución de los bancos que requieran perforación.

Se establece una planeación racional de la producción y se equilibra la cantidad de metros perforados por máquina, con la intención de prever con anticipación todos los servicios, equipos, tipos de roca, etc. y alcanzar una máxima eficiencia, tomando en cuenta que los movimientos a desarrollarse de las perforadoras son de un alto grado de dificultad, costo y riesgo, por lo que es necesario tener el menor número de movimientos.

El tiempo de estancia de la maquinaria por banco se puede determinar en función del tonelaje estimado por banco, los promedios de metros barrenados o valores estimados para la producción deseada, así por ejemplo se puede determinar el tiempo promedio en un banco.

En las operaciones actuales los bancos tienen un tonelaje de material promedio de aproximadamente 14,000,000 t para una etapa de minado y se planea que sólo una máquina trabaje en este sitio, se puede esperar un tiempo de estancia de:

Datos

Toneladas estimadas por banco	14,000,000 t
Horas totales por mes de una máquina	720 h
Densidad del material	2.56 t/m ³
Plantilla en materiales para triturar	(7 x 8)m
Metros del barreno (PB)	18 m
Altura de banco (L)	15 m
Índice de penetración relativo promedio mensual del departamento	7.29 m/h

Tonelaje por barreno

$$\text{Espaciamiento} \times \text{bordo} \times \text{altura de banco} \times \text{densidad} = (7\text{m}) (8\text{m}) (15\text{m}) (2.56\text{t/m}^3) \\ = 2,150 \text{ toneladas}$$

Barrenos por banco

$$\text{Toneladas por banco} / \text{toneladas por barreno} = (14,000,000 \text{ t}) / (2,150 \text{ t}) \\ = 6512 \text{ barrenos}$$

Metros perforados por banco

$$\text{Barrenos por banco} \times \text{metros por barreno} = (6,512 \text{ barrenos}) (18 \text{ m}) = 117,216 \text{ m}$$

Tiempo de estancia por banco

$$(\text{Metros perforados} / \text{índice de penetración}) / \text{hora reales por mes} = \\ [(117,216 \text{ m}) / (7.29 \text{ m/h})] / (720 \text{ h/mes}) = 22.3 \text{ meses}$$

La experiencia en Cananea muestra que la permanencia de una rotaria en un banco es aproximadamente de 22.3 meses, y que su cálculo se puede estimar de la forma anterior; ya que con esto, se pueden adelantar la mayoría de las acciones a realizarse en la operación.

Es importante recordar que no todo el material movido en Cananea es perforado y volado y hay bancos con material con un manejo previo, que será necesario contemplar para estos movimientos.

IV. 6 Análisis de las operaciones de barrenación

Para la realización del análisis es necesario tener datos que puedan reflejar las operaciones de barrenación de la manera más real posible. El año de 1996 se puede considerar como una operación representativa, en el que se obtuvieron las siguientes condiciones de operación:

Esta operación se puede ejemplificar con la siguiente tabla con datos del promedio mensual durante 1996:

Cantidad de barrenos	3,012
Metros barrenados	54,222 m
Disponibilidad	63.7 %
Horas disponibles operadas	2,950 h
Metros barrenados por broca	2,853 m
Utilización	40.4 %
Índice de penetración efectiva	18.35 m/h
Índice de penetración relativa	7.29 m/h
Operadores por turno	9

El promedio mensual de barrenos producidos por todas las máquinas en el año del 1996, alcanzó la cifra de 54,222 metros, con 2,950 horas operadas y una disponibilidad de 63.7 %. El rendimiento de las brocas consumidas en este año fue de 2,853 m / broca.

En la tabla (IV.8) se muestra que el promedio de operadores en 1996 fue de 9 operadores por turno. En la tabla (IV.2) se puede observar que, con estos operadores se tuvo una utilización del 40.4 % para el total de las máquinas en operación. El índice de penetración relativa fue de 7.29 m/h que fue el mayor durante a 1991 a 1996, pero está por debajo del índice de penetración efectivo 18.35 m/h.

Además este periodo se caracterizó por tener los siguientes problemas, que pueden convertirse en las posibles áreas de oportunidad a mejorar:

- 1.-Desgaste excesivo de brocas
- 2.-Bajos índices relativos de penetración
- 3.-Pisos en mal estado y desnivelados.

Lo que originó:

- Dificultad en las operaciones de perforación, cargado y acarreo
- Desgaste excesivo de maquinaria de perforación
- Desgaste excesivo de maquinaria de cargado
- Desgaste excesivo de maquinaria de acarreo (en llantas y suspensiones)

- 4.-Sobretamaños de roca.

Lo cual ocasionó:

- Pérdidas de tiempo por rocas atoradas en las quebradoras primarias

- 5.-Voladuras secundarias.

Encontrándose:

- Barrenos quedados o rotos, etc.
- Mayor costo y riesgo en los explosivos

Los resultados mostraron que en las voladuras se produjo un 60 % de rocas con sobretamaño, pisos desnivelados y voladuras secundarias y por consiguiente existían tiempos perdidos en la producción en palas, acarreo y quebradoras, que ascendieron en promedio a un 20% aproximadamente.

Con el fin de disminuir estas pérdidas y mejorar el producto de las voladuras, durante el año de 1996 se realizaron dos estudios que relacionaron el mayor número de áreas de oportunidad dentro de las operaciones de barrenación.

En el primero de ellos la Universidad de Sonora en conjunto con Mexicana de Cananea realizó un estudio con el cual se pretendía mejorar la granulometría del material antes de llegar a la primera quebradora, en el cual se observó que las plantillas de barrenación estaban acordes con los terrenos a perforar, pero existía una diferencia entre las plantillas de barrenación planeadas y las plantillas realizadas en el terreno.

Se tomó una muestra de 400 datos en el área de estudio y los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla (IV.4).

Tabla (IV.4) Resultados obtenidos en el estudio sobre los parámetros de las plantillas de barrenación.

Parámetros Barrenación	Medida necesaria (metros)	Medida mínima (metros)	Medida máxima (metros)	Desviación promedio (metros)
Bordo	7	5.98	7.83	1.392
Espaciamiento	8	6.27	8.82	1.274
Longitud	18	17.59	18.96	0.434

Fuente: Universidad de Sonora

El estudio realizado sobre las plantillas de barrenación, indica que el exceso de la desviación promedio *tabla (IV.4) tanto en la ubicación del barreno como de su longitud ocasiona una alta diferencia de lo planeado con lo que realmente se realiza, razón por la cual el patrón de barrenación se ve altamente modificado.

Con este tipo de operaciones descuidadas, los resultados reflejaron sobretamaños de roca.

El segundo estudio se realizó con la finalidad de identificar el desgaste de las herramientas para la barrenación (Brocas y estabilizadores).

La herramienta que se desgasta más y en cuestión de costos es la de mayor importancia, son las brocas; para su mejor observación se analizaron los rendimientos de las brocas en el año de estudio (1996) y se compararon con los rendimientos promedio de los distribuidores en perforaciones de pórfidos cupríferos.

Tabla (IV.5) Rendimientos de las brocas según distintas fuentes y rendimiento por broca en Cananea

Proveedor	Metros/broca
Varel	3,500
Hughes	3,960
W. McDonald	3,667
Cananea promedio 1996	2,853

Fuente :Varel,Hughes, W. McDonald y Mexicana de Cananea

En la tabla (IV.5) se observa que los rendimientos de las brocas en Cananea están muy por debajo de los promedios que alcanzan las brocas de los proveedores en otras minas de cobre en América. Por esto se revisó una muestra aleatoria de 233 brocas, la que arrojó los siguientes resultados.

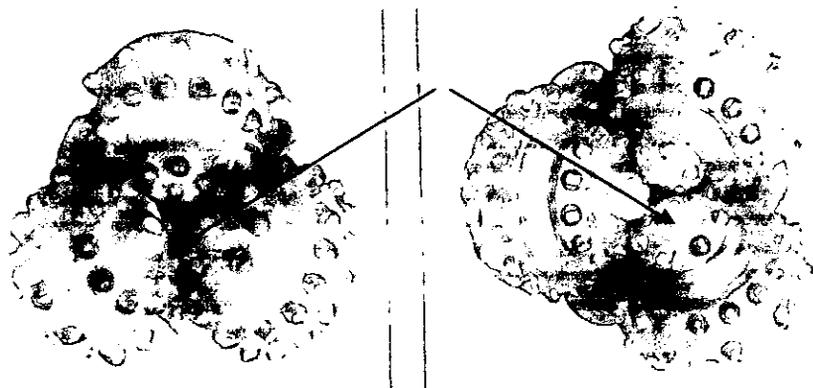
La mayoría de las brocas no presentan desgastes uniformes y sólo unas cuantas llegaron a un desgaste integral de todas sus partes. Los desgastes más comunes se pueden dividir en cuatro tipos que se presentan a continuación, así como su posible causa respectiva:

1. Excesiva rotura de los dientes de carburo
2. Desgaste no uniforme en los cojinetes (faldones o conos)
3. Baleros destruidos por un mal rodamiento
4. Fracturas a lo largo del cuerpo de la broca

1.- Excesiva rotura de los dientes de carburo

Este tipo de desgaste se observa en la figura (IV.3) y puede ser causado por perforaciones con excesivo peso en la broca (fuerza de empuje o pull down), una velocidad de perforación excesiva, una broca inadecuada u operaciones inadecuadas que producen fuertes impactos sobre los dientes al inicio de la perforación, chocando con la roca, o capas con dureza mayor a la que se supone tengan.

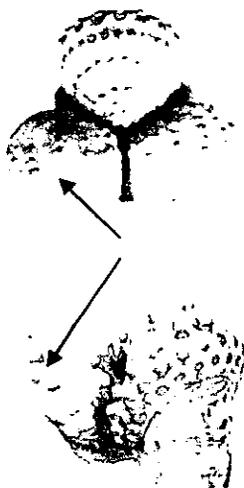
Figura (IV.3) Brocas que presentan roturas de los dientes de carburo



2.- Desgaste no uniforme en los cojinetes (faldones o conos)

La poca precaución al ensamblar la tubería, así como un mal enroscado en los aditamentos y el uso de estabilizadores en mal estado pueden causar muchos problemas, como desgaste no uniforme en los cojinetes, tal y como se muestra en la figura (IV.4). La broca trabaja con una superficie de contacto dispareja reduciendo su forma anticipadamente.

Figura (IV.4) Brocas que presentan un desgaste no uniforme en los cojinetes



3.- Baleros destruidos por un mal rodamiento

Una baja velocidad de desalajo de partículas a la superficie (achique) produce un desgaste de los baleros tal como se muestra en la figura (IV.5) . Este tipo de desgaste es común en operaciones que presenten las siguientes condiciones.

Los flujos de aire no son los suficientes y se debe a obstrucciones en la línea principal o en los aditamentos. Si el flujo de aire no es el suficiente, los baleros se detienen con las partículas que no pudieron ser desalojadas.

Comúnmente en este tipo de perforaciones se presentan casos de temperaturas extremas al fondo del barreno sobre los cojinetes.

Figura (IV.5) Broca que presenta baleros destruidos por un mal rodamiento



4.- Fracturas a lo largo del cuerpo de la broca

Estas fracturas son el resultado de mala operación en el manejo de tubería al hacer cambio de aditamentos y concluir las operaciones, así como prácticas inadecuadas, tales como dejar caer todo el peso de la tubería en la roca al iniciar un barreno, así como descansar la broca al piso por largos periodos.

Ya identificadas las fallas más comunes en las brocas así como sus posibles causas, continuó la investigación del estado físico de las brocas que en esos momentos se encontraban en el patio de desecho.

Se analizaron cuidadosamente un total de 233 brocas que representaron el total de brocas existentes en el patio al final de su vida útil, y aunque se desconoce las condiciones de trabajo de cada una de las brocas, se encontraron desgastes comunes para la mayoría de las brocas. Estos desgastes se agruparán según el tipo, y se pueden observar en la tabla (IV.6):

Los datos fueron tomados directamente del patio de desecho de brocas de perforación ocupadas durante el año de 1996 en Mexicana de Cananea.

Tabla (IV.6) Tipos de fallas más comunes encontradas en las brocas

Tipo de falla	Número de brocas	Porcentaje
Balero	155	66.5
Desgaste de faldones y conos	51	21.8
Rotura de dientes	17	7.3
Desgaste normal	10	4.3

El estudio realizado para las fallas más comunes de las brocas indica que sólo el 4.3 % *tabla (IV.6) de brocas tiene un desgaste homogéneo y en comparación con los rendimientos promedio de las brocas según la tabla (IV.5), indica la posibilidad de aumentar el promedio de metros barrenados por broca y disminuir el costo.

De acuerdo con la descripción geológica de las áreas de trabajo más la consideración que presentó el estudio sobre las fallas más comunes en las rocas tabla (IV.6), con sólo 7.3 % en rotura de dientes, indica que las brocas usadas fueron las correctas.

Del mismo estudio de las fallas más comunes de las brocas, se observó que el mayor desgaste (66.5%) está en la destrucción de los baleros que sostienen los cojinetes de las brocas, teniendo como causa principal la falta de un flujo de aire adecuado, un cambio no oportuno de brocas y estabilizadores, además de una escasa supervisión durante la operación.

Por otra parte es importante recordar que durante 1996 un 21.8 % de las brocas presento un desgaste no uniforme de los faldones, ocasionado por tener una escasa estabilidad en la barrenación y que la mayor parte de los estabilizadores de perforación fueron del tipo de rodillos intercambiables, que tuvieron una duración promedio mensual de 12,049 metros por estabilizador.

El poco rendimiento (12,049 metros) de los estabilizadores tabla (IV.7) del tipo de rodillos intercambiables en comparación con los rendimientos propuestos por los proveedores (30,000 m/pza.), indica que el estabilizador ocupado en esos terrenos no es el adecuado y que continuar con su uso sólo proporciona una escasa estabilidad de la barrenación y aumenta la vibración en la superficie de la broca.

Tabla (IV.7) Consumo de estabilizadores del tipo rodillos intercambiables durante 1996 (promedio mensual)

Numero de estabilizadores	Metros barrenados	Metros por estabilizador
54	650,664	12,049

Fuente: Mexicana de Cananea

Los dos estudios proporcionan información con la cual se pueden analizar principalmente dos áreas de oportunidad para la solución de problemas: la primera es el sobretamaño de las rocas, ocasionado por una mala barrenación o mala distribución de los barrenos y la segunda es el desgaste excesivo en los aditamentos de perforación.

En la búsqueda de las posibles causas que ocasionan el sobretamaño así como la mala distribución de los barrenos se realizaron los siguientes diagramas ¿porqué-porqué?.

El diagrama (IV.2) presenta tres grandes apartados que son: mala voladura, mala operación minera, y mala barrenación. Los dos primeros aunque son parte del problema, serán tratados en otra ocasión por la necesidad de no perder de vista la importancia de las operaciones de barrenación de una forma independiente.

En el análisis de los problemas ocasionados por una mala barrenación para el sobretamaño de partícula, se encuentra que este es ocasionado por la forma en que se realiza el trabajo, con la finalidad de distinguir el problema fundamental se realiza el siguiente diagrama(IV.3) tratando fundamentalmente de encontrar cuáles son las actividades de la operación de barrenación y quién es el encargado de realizarla.

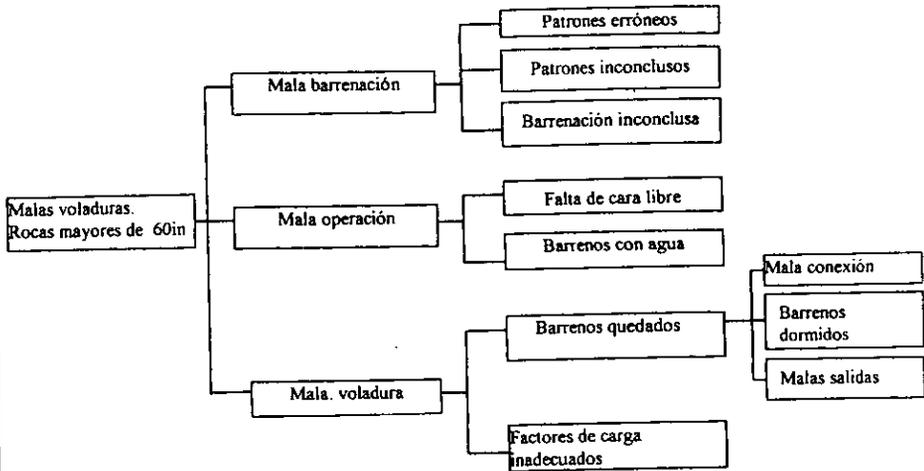
En los diagramas (IV.2) y (IV.3) se observa que la mayoría de las posibles áreas de oportunidad para el mejoramiento de las actividades recae fundamentalmente en las actividades de operación y supervisión; estas dos actividades actúan tanto en forma independiente como en conjunto. El conocimiento y capacidades de los individuos que las desarrollan es de vital importancia para su realización.

En el capítulo anterior, la teoría básica de la barrenación proporcionó las bases para obtener parámetros o factores que pueden ser utilizados como criterios para controlar mejor la barrenación.

Una operación cuidadosa, que cuente con los parámetros óptimos de perforación, ayudará a los operadores y supervisores a desarrollar mejor la barrenación.

Para obtener estos parámetros fue necesario conocer las condiciones en las que se ha operado, ya que esta información proporciona la visión necesaria para identificar las actividades fundamentales en la barrenación; por otra parte, el conocimiento de la maquinaria y los recursos que se tienen, dará un soporte real a las expectativas de mejora que se propongan.

Se ha observado que los parámetros de barrenación están muy ligados entre sí, de este modo no es posible obtener un buen índice de penetración si no se tiene la broca adecuada, y de igual manera no se puede tener un buen rendimiento de broca si no se cuentan con un adecuado flujo de aire y una buena estabilización.

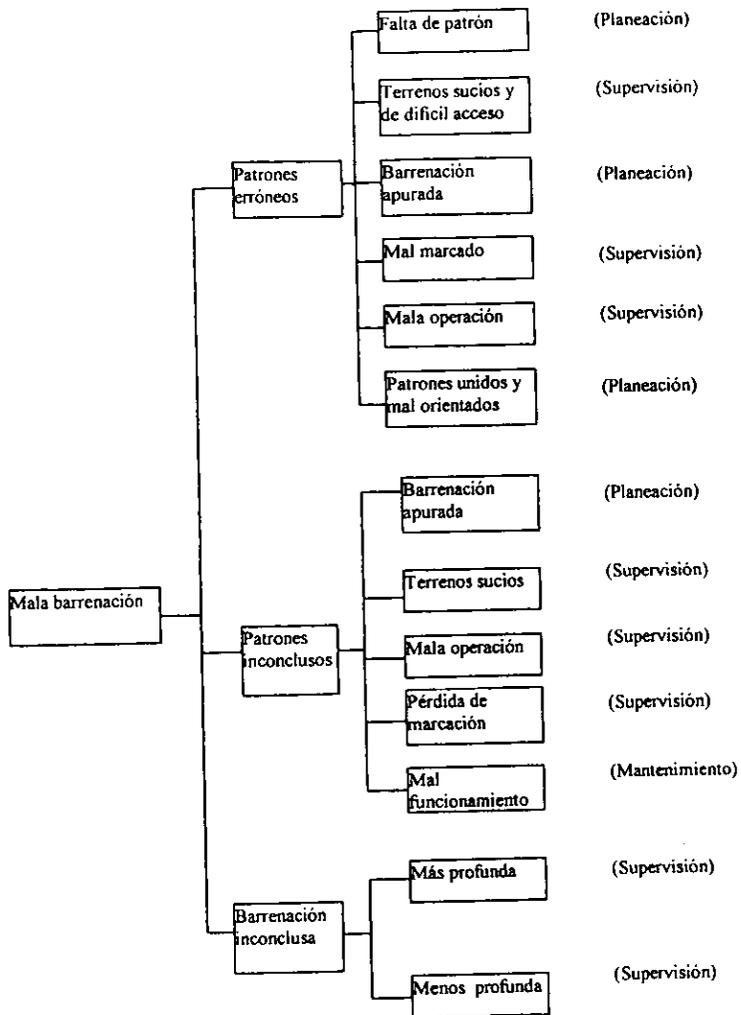


¿ porqué?

¿ porqué?

¿ porqué?

UNAM			FACULTAD DE INGENIERIA		
DIAGRAMA ¿PORQUÉ-PORQUE? SOBRE POSIBLES CAUSAS DE MALAS VOLADURAS, ROCAS MAYORE, DE 60 PULGADAS					
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORES					
Esc. S / E		Septiembre2000		Diagrama IV 2	



¿ porqué? ¿ porqué?

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA		
DIAGRAMA ¿PORQUÉ-PORQUÉ? DE LAS POSIBLES CAUSAS DE UNA MALA BARRENACION Y QUIEN EL ENCARGADO		
TESIS PROFESIONAL ALEJANDRO GUZMAN FLORIAN		
Esc. S / E	Septiembre2000	Diagrama IV :

Para obtener estos parámetros será necesario analizar en primera instancia los materiales de desgaste tales como brocas, estabilizadores y tubería de perforación (aditamentos de perforación).

- Brocas

La geología del terreno, que se describe en el capítulo II indica que en las operaciones de barrenación para explotar las reservas de mineral se pueden generalizar los siguientes tipos de roca.

1. Roca volcánica; su fracturamiento va de moderado a alto, con dirección N-S, dureza moderada y contenido de sílice de 50%.
2. Pórfido feldespático; sin fracturamiento, dureza de moderada a alta, con un contenido de sílice de 60%.
3. Turmalina; Con un fracturamiento moderado, con dureza de moderada y un contenido en sílice de 50%.

Con estas consideraciones, y tomando en cuenta que sólo se tuvo un 7.3% en rotura de dientes en el estudio sobre las fallas más comunes en las brocas tabla (IV.6), se tiene que las brocas usadas para formaciones abrasivas de dureza media y las brocas para formaciones de dureza median fueron las correctas.

- Estabilizadores

El mayor consumo de estabilizadores fue del tipo de rodillos intercambiables en el año de 1996 *tabla (IV.7) los que tuvieron un rendimiento por pieza de 12,808 m. Durante el mismo tiempo se observó que había movimientos en la tubería de perforación así como una escasa superficie de perforación.

Estos movimientos pueden tener las posibles causas:

- a) Estabilizadores en mal estado
- b) Tuberías chuecas por golpes y una fuerza de empuje inadecuada
- c) Roscas en mal estado por un mal cambio de tuberías
- d) Mala nivelación de la maquinaria

Tres de estas posibles causas pueden ser disminuidas con una operación cuidadosa y supervisada. Por otra parte, se observa que los estabilizadores de rodillos que se han ocupado están por debajo de la vida útil promedio de los estabilizadores de lainas y que los cambios de rodillo no se han realizado oportunamente y aunque la roca no tiene una dureza extrema se recomienda el cambio de estabilizador de rodillos por un estabilizador de lainas por tener una menor vibración y proporcionar mejor estabilidad para barrenar.

- Tubería de perforación

La tubería de perforación con la que actualmente se trabaja, es de un tipo de acero que resiste el manejo diario durante las operaciones, además las conexiones del tipo estándar han demostrado ser las adecuadas y es de fácil manejo para este tipo de trabajo.

Para analizar si el tipo de tubería es el adecuado, es necesario tomar en cuenta que el diámetro de tubería de perforación que ha trabajado en las operaciones es de 10.75 in (26.03 cm). Con este diámetro y en función de los diámetros de perforación se tiene una velocidad de remoción de material de 6,960 ft/min (2,121 m/min) (tabla III.1), que es una velocidad adecuada para las operaciones.

- Toberas de la broca

Las perforadoras cuentan con un compresor de tipo paleta con un volumen de aire de 1310 ft³/min y una presión de salida de 40 psi como se describe en el inciso (III.6). Los barrenos a perforar tienen un diámetro de 12.25 in (0.31 m). Con estos datos más la ayuda de tablas tales como la tabla (III.2), se escoge el tamaño óptimo de tobera que provoque la caída de presión de 5 a 10 psi que se recomienda.

De la tabla (III.2) se puede obtener el tamaño de la tobera adecuado para enfriar la broca, este valor será dado en función del flujo de aire, el diámetro de la tubería y el tamaño del barreno a realizar y se recomienda que:

Diámetro de tobera	Presión de salida	Caída de presión provocada
1 1/16 pulgadas	40 a 36 psi	0 a 4 psi
3/4 pulgadas	40 a 31 psi	0 a 9 psi

Ya efectuado el análisis de los aditamentos de perforación es necesario continuar con el análisis de los parámetros de barrenación, que en conjunto son los factores principales para la obtención de altos índices de penetración en la perforación.

Los índices de penetración son la columna vertebral para tener un buen resultado y mejorar las operaciones; en los capítulos II y III se citaron factores que pueden ser determinantes para obtener grandes índices de perforación.

Es necesario recordar que estos factores de perforación (fuerza de empuje, etc.) tienen un vínculo muy fuerte entre ellos, así como con los elementos de desgaste o aditamentos de perforación como brocas y estabilizadores. La mala elección de brocas y malos parámetros de barrenación afectarán de forma independiente la obtención de buenos índices de penetración.

Es común que a lo largo de las barrenaciones no se obtengan buenos índices de penetración por el desconocimiento de factores adecuados de perforación. La falta de información teórica con la que se puedan obtener valores de los factores de perforación, ocasiona que estos valores sean determinados por un criterio práctico de operación, lo cual puede ocasionar operaciones desacertadas.

La obtención de valores teóricos en las actividades claves de la perforación conducen al establecimiento de criterios, con los cuales será posible:

- Conocer un valor inicial de los factores de operación al inicio de cualquier barrenación.
- Tener parámetros de comparación a lo largo de las operaciones para valorar las mismas

Por último, se debe de recordar que es importante la obtención de factores teóricos que sirvan como base para las operaciones, pero es imprescindible no olvidar a las personas que realizan estas, porque al final, de ellas depende una operación correcta.

Como se citó anteriormente, los factores que determinan un índice de penetración adecuado son:

- Velocidad de remoción de partícula (achique)
- Velocidad de rotación
- Fuerza de empuje (Pull down)

Velocidad de remoción de partícula (achique)

El estudio realizado sobre el desgaste de las brocas indica que hay un desgaste prematuro en los baleros de la mayoría de las brocas, con un total de 66.5 % Tabla (IV.6), siendo este el mayor desgaste en todas las brocas y con base en los criterios establecidos en el inciso (III.2), se tiene que las posibles causas de este desgaste son:

- a) Los requerimientos de aire y presión de este no son los suficientes
- b) La velocidad de remoción de partícula no es la adecuada
- c) Falta de supervisión en el manejo y cambio adecuado de brocas
- d) Falta de supervisión en el manejo y cambio adecuado de estabilizadores
- e) Falta de supervisión en el manejo adecuado de tubería

Como se mencionó anteriormente, la velocidad de remoción partícula es un parámetro que se debe de considerar para la perforación. Esta velocidad puede ser estimada conociendo el gasto del compresor de la perforadora, el diámetro del barreno y el diámetro de la tubería de perforación. De la ecuación {3}, se tiene:

$$Q = V (D^2 - d^2) / 1.27(144) \quad \{3\}$$

Por lo que

$$V = (183.3Q) / (D^2 - d^2)$$

donde:

V= Velocidad de remoción de partícula, en pies/min

Q= Volumen de aire del compresor = 1,310 pies cúbicos/min

D= Diámetro de broca = 12.25 pulgadas

d= Diámetro de la tubería = 10.75 pulgadas

$$V = 6,961 \text{ pies / min } (2,121 \text{ metros /min})$$

La velocidad de 6,961 pies/min (2,121 metros/ min) en comparación con la velocidad de 7,000 pies/min (2,133 metros/min) que se recomienda en rocas de dureza moderada a alta, es prácticamente la misma, sabiendo que este valor se encuentra dentro de los estándares recomendados y da un buen resultado en las operaciones actuales de la mina.

De esta manera se puede deducir que las posibles causas de los desgastes en los baleros de las brocas se deben a que los requerimientos de aire y presión de este no son los suficientes y que es necesario una mayor supervisión en los movimientos de herramientas.

Velocidad de rotación

Otro de los parámetros que es importante para la perforación es la velocidad con que se puede trabajar. En el inciso (III.2) se discutió la forma en que se pueden estimar estas velocidades en función del tipo de roca, el diámetro de la broca y la fuerza de empuje ejercida.

De la ecuación {2} se tiene que:

$$hp = (K) (rpm) (D) (W^{1.5})$$

por lo que:

$$rpm = (hp) / (K D W^{1.5})$$

donde:

D= Diámetro de la broca = 12.25 pulgadas (31.11cm)

W= Fuerza de empuje recomendada para un tamaño de broca (en miles de libras) = 75 libras

K= Constante de dureza según tipo de roca para el área de trabajo = 0.000435

Hp= Caballos de fuerza de los motores de la unidad de conducción rotaria
=300 hp.

rpm= 86.67 rpm de la tubería de perforación

La velocidad de rotación de la tubería es uno de los parámetros en que se basan los índices de penetración, así las operaciones pueden tomar este valor como base ya que 86 rpm está dentro de los límites que se sugirieron en el inciso III.2

Fuerza de empuje (Pull down)

El último de los parámetros para el control del índice de penetración es la fuerza de empuje, esta presión puede variar al igual que la velocidad de rotación según el tipo de roca, pero es necesario contar con un valor inicial para una mejor operación.

Para los pórfidos cupríferos se tiene un valor de resistencia a la compresión de 15,000 psi (103.4 Mpa) y para poder alcanzar un índice de penetración efectivo de 60 pies/h (18.28 m/h) que es el promedio obtenido en 1996 es posible determinar la presión de empuje necesaria con base en las criterios discutidos con anterioridad. De la ecuación {1} se tiene que:

$$p = [61 - 28(\log_{10} Sc)] [W/D] [rpm/300] \quad \{1\}$$

por lo que:

$$W = [p D] / [61 - 28(\log_{10} Sc)] [rpm / 300]$$

donde

W = Fuerza de empuje, en miles de libras

P = Índice de penetración = 60 pies/hr

Sc = Resistencia a la compresión de la roca según Bieniawski en miles de psi
= 15 psi (103.4 Mpa)

D = Diámetro de broca = 12.25 in

rpm = Revolución por min de la tubería = 86 rpm

$$W = 91,000 \text{ lb}$$

La fuerza de empuje que se recomienda está dentro de un rango que varía desde 70,000 libras hasta 110,00 libras para terrenos duros. Como se trató anteriormente, la fuerza de empuje depende también del tamaño de broca, siendo 75,000 libras el recomendado para este tamaño diagrama(III.2).

Con base en lo anterior se puede formar un rango de valores de 75,000 libras a 91,000 libras de la fuerza de empuje con los cuales se puede trabajar adecuadamente.

Los valores obtenidos de velocidad de remoción de partícula (achique), velocidad de rotación y fuerza de empuje (Pull down) serán de gran ayuda para mejorar los índices de penetración actuales.

De la tabla (IV. 2) para el periodo 1991 a 1996 se tuvo un índice de penetración efectiva de 16.58 m/h y para el último año de operaciones (1996) un valor de de 60 pies/hr (18.35 m/h). Con la velocidad de 86 rpm es posible alcanzar índices de penetración superiores, de tal manera que es posible tomar como base ese valor en la búsqueda de mejores índices de penetración.

IV.7 Recursos humanos

El departamento de barrenación está formado por un operador por máquina por turno, un mayordomo (de extracción sindical) que coordina todos las operaciones por turno y un supervisor de confianza, como se observa en la tabla (IV.8) la distribución de la asistencia del promedio mensual por turno es de 9 operadores.

En la tabla (IV.8) se muestra el promedio mensual de operadores por turno en el periodo de 1991 a 1996.

Tabla (IV.8) Operadores por turno departamento de barrenación.

Año	Número de operadores por turno
1991	7
1992	10
1993	11
1994	12
1995	10
1996	9

Fuente : Mexicana de Cananea

La función del operador es la de operar la máquina y asistir en todas las operaciones secundarias que se requieran, la del mayordomo es proveer de materiales para los operaciones y realizar los tránsitos largos dentro de un mismo banco, mientras que el supervisor coordina y administra los recursos del departamento.

Los operadores cuentan con un bajo nivel de estudios y la capacitación se ha adquirido a lo largo del tiempo que llevan operando la maquinaria. El mayordomo normalmente es el operador con mayor experiencia y no cuenta con bases teóricas para realizar su trabajo.

Para cumplir con los requisitos de producción la compañía trabaja los 365 días del año. La duración de los turnos está distribuida de manera que se puedan

aprovechar al máximo los recursos y está determinada de común acuerdo entre empresa y sindicato.

Primer turno	6 :30 a 3 :00 h
Segundo turno	3 :00 a 11 :00 h
Tercer turno	11 :00 a 6 :30 h

Los horarios de entrada son media hora antes del turno para tomar la orden de operación y se tiene media hora de comida.

Los metros barrenados promedio por mes se observan en la tabla (IV.2) y en 1996 fueron 54,222 m, con una disponibilidad de maquinaria de 63%, esto indica que en promedio 6 de las 10 perforadoras trabajaron normalmente al día.

En la Tabla (IV.8) se observa que para 1996 hay 9 operadores en promedio por turno, y uno de los nueve tiene la función de mayordomo, si las condiciones a futuro se mantuvieran así, con esto habría un operador por máquina y sólo dos de estas contarán con ayudante para las operaciones.

Como se observó en el análisis de las operaciones, los resultados obtenidos con la operación de maquinaria sin ayudante fueron diferencias entre los patrones de barrenación planeados y los patrones reales, ocasionando con esto sobretamaños en las rocas. De igual forma, otro de los problemas principales ocasionados por operar las perforadoras sin ayudante es el poco rendimientos de las herramientas de perforación obtenido durante esos años y la menor seguridad en los casos de emergencia.

Los requerimientos de una operación precisa y segura indican, que cada una de las maquinas debe contar con un operador y su ayudante, así como asegurar la supervisión en cada uno de los turnos.

Por lo tanto se propone que para cada turno se cuente con el siguiente personal:

- 6 operadores para las máquinas disponibles
- 6 ayudantes para cada una de las máquinas disponibles
- 1 mayordomo de operaciones
- 1 supervisor

Con los recursos actuales y para poder cumplir con esto será necesario contratar a 4 ayudantes más por turno (12 obreros generales) y 1 supervisor por turno (2 supervisores).

V ANALISIS DE COSTOS.

V.1 Introducción

Dentro del análisis de las actividades del departamento de barrenación es necesario realizar un análisis de los costos, para poder identificar los elementos que lo constituyen. Este análisis pretende tres objetivos fundamentales:

- 1.- Encontrar los elementos de mayor importancia en los costos de barrenación
- 2.- Identificar una forma sencilla y precisa de obtener costos unitarios de barrenación
- 3.- Sintetizar los elementos que los conforman

En las operaciones de Mexicana de Cananea se forman listas de costos generales de las operaciones mineras. De esta lista se separó lo concerniente a los costos directos e indirectos derivados de la barrenación, generalizando estos de la siguiente manera:

MANO DE OBRA: personal sindicalizado, personal de confianza y tiempo extra personal sindicalizado.

MATERIALES DE BARRENACION: brocas, refacciones, estabilizadores, tubería y lubricantes.

GASTOS: servicio técnico de terceros, renta de equipo pesado, comedor de trabajadores y otros

SERVICIOS: que representan la parte proporcional que le corresponde a la operación de barrenación por concepto de: transporte de personal, gerencia general, servicios al personal, impuestos, planeación minera, previsión social, exploración minera y almacenes

SUMINISTROS: energía eléctrica y agua

Durante el año de 1996 los metros promedio mensual barrenados por todas las máquinas del departamento fueron 54,222 m, y con un tiempo de barrenación de 2,950 h, esto se generó un costo promedio mensual de 728,445 pesos para todas las actividades de barrenación, y su distribución por concepto se puede observar en la tabla (V.1) y su distribución en la gráfica (V.1).

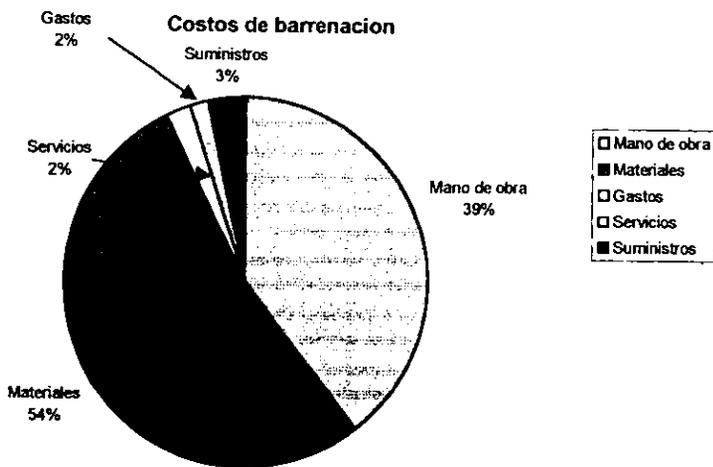
En la gráfica (V.1) se puede observar que los conceptos de materiales para barrenación y mano de obra representan el 54 % y 39 % de los costos de barrenación respectivamente, por lo que son los dos puntos de mayor peso en los costos del departamento.

Tabla (V.1) Costos totales de barrenación (promedio mensual).

Concepto	Pesos (año 1996)	%
Mano de obra	287,412	39.45
Materiales de barrenación	388,030	53.27
Gastos	16,236	2.23
Servicios	12,224	1.68
Suministros	24,543	3.37
Total	728,445	100.00

Fuente: Mexicana de Cananea

Gráfica (V.1) Desglose de costos de la barrenación en Mexicana de Cananea



Es importante destacar que estos costos forman parte de una operación minera que mueve grandes volúmenes y aun así los costos principales son los materiales o herramientas de perforación.

Mantener registros completos y confiables del comportamiento de los materiales de perforación de los metros barrenados por broca, así como de los índices de penetración, será de una gran ayuda para mejorar los índices de penetración. Si no se llevan estos registros será imposible lograr mejores resultados y reducir los costos.

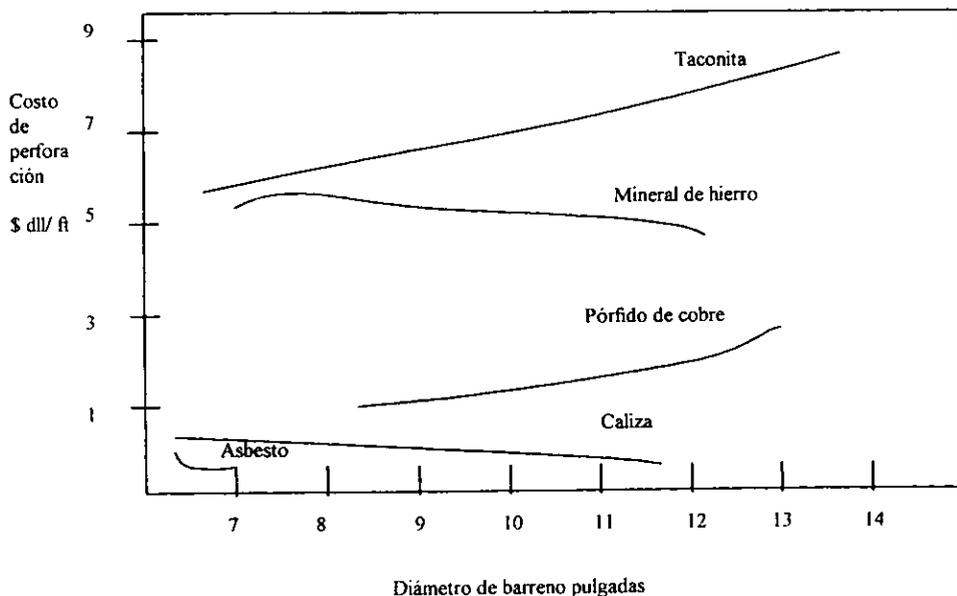
ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

La comparación de los parámetros de perforación registrados tiene como función evaluar el costo asociado con los índices de penetración así como el rendimiento de las brocas, que podrán servir como criterios para evaluar técnica y económicamente las operaciones de barrenación.

La práctica de un control en los registros de costos perforación ha sido realizada hace ya varios años en las operaciones mineras de Estados Unidos de América, con la finalidad de establecer comparaciones que sirvan como soporte de nuevas operaciones mineras.

En Estados Unidos de América se han llevado registros de estos valores y han publicado tablas y gráficas en las que se pueden consultar los costos promedio que se tienen en diferentes operaciones. El diagrama (V.2) muestra los costos de barrenación por pie en diferentes diámetros de broca y tipo de roca.

Diagrama (V.2) Costos por pie barrenado con diferentes diámetros de barrenos y tipos de roca



Fuente: Bucyrus Erie Company 1979 pag. 4.35

Con esto se ha observado que en las operaciones de barrenación tienen comportamientos de costos similares.

Analizando los registros, se observó que es posible obtener el costo de la barrenación por metro perforado. Basándose en los costos de la perforación por hora, los costos de las brocas, de los tiempos de perforación y de los metros barrenados, y estos en función de los índices de penetración.

Los diseñadores de máquinas para perforar (por ejemplo Bucyrus Erie), así como los productores de brocas (por ejemplo Hughes Tool Company) coinciden en que los análisis de costos se pueden determinar en función del costo de operación y del costo de las brocas, de esta manera será posible analizar si la obtención de altos índices de penetración con un alto consumo de brocas es el correcto, o en otro caso tener un bajo consumo de brocas pero con bajos índices de penetración.

Con base en esto, se propuso una relación empírica con la que se determinan los costos de la perforación de una manera sencilla, rápida y que reflejan las operaciones lo más cercano a la realidad;

$$C = [(D) (T)+ B] / F \quad (4)$$

en donde:

C = Costos de perforación por metro

B = Costo de la broca

D = Costo de perforación por hora (Mano de obra, materiales, gastos, etc.)

T = Tiempo de perforación

F = Metros barrenados

Además con esta ecuación será posible realizar análisis para las diferentes actividades de barrenación como: análisis de broca para un mejor rendimiento, análisis de las perforaciones en tiempos y costos, análisis de parámetros como tiempo de perforación y promedio de metros por broca, también se pueden encontrar niveles que sean la base con la que se decida cuándo desechar las brocas y análisis de diferentes índices de penetración, etc.

V.2 Análisis de costos de barrenación

En Mexicana de Cananea se lleva un control estricto de los costos para cada una de las operaciones en la mina.

De esta forma es posible obtener el costo de la barrenación conociendo los metros totales barrenados y los costos generados; en la tabla (V.1) se tienen los costos promedio mensual para 1996. Los detalles de los elementos principales de cada concepto están agrupados para tener un fácil manejo en todas las cuentas.

Es importante recordar que los registros pueden servir como apoyo para establecer criterios para evaluar diferentes operaciones de barrenación. Para lograrlo, es necesario conocer por separado los siguientes costos.

- Costo de perforación por hora
- Costo de las brocas

Dentro de los costos de materiales de barrenación se encuentra cuánto costaron las brocas en este año, así los costos de materiales se pueden apreciar en la tabla (V.2)

Tabla (V.2) Costos de materiales de barrenación (promedio mensual)

Materiales	Pesos m.n.
Brocas	179,658
Estabilizadores	76,830
Barras	4,656
Otras Partes	126,110
TOTAL	388,030

Otras partes = Cables, bujes, partes eléctricas, partes mecánicas, lubricantes, etc.

Para obtener el costo de perforación por hora, es necesario separar el costo de las brocas del costo total de perforación, y conocer el tiempo de barrenación que lo generó.

Así del total de costos de perforación que fue de \$728,445.00 en la tabla (V.1) se resta el costo de las brocas de \$ 179,658.00 de la tabla (V.2). Además las horas relativas (promedio mensual de todas las máquinas.

$T = 7,300 \text{ h}$ se obtiene de la tabla (IV.2).

El costo de perforación promedio mensual en 1996 resulta ser:

$$\$728,445.00 - \$179,658.00 = \$548,787.00$$

Costo de perforación por hora:

$$D = \$ 548,787.00 / 7,300 \text{ h} = \$ 75.18 \text{ h}$$

De la ecuación {4} se pueden calcular los costos de perforación por metro:

$$C = [(D) (T)+ B] / F$$

{4}

Datos

Costo de la broca promedio mensual B = \$179,658
 Metros barrenados promedio mensual F = 54,222 m
 Tiempo de perforación T= 7,300 h
 Costo de perforación por hora D= \$75.18 / h

Costo de perforación promedio mensual en el año de 1996= \$ 13.43 / m

El siguiente aspecto importante de los costos de barrenación es el costo de la mano de obra. El incremento en el personal, tendrá un incremento de los costos totales, por esto es necesario saber cuál sería el costo del incremento del personal propuesto anteriormente, así:

Calculo de costos del incremento de los recursos humanos propuesto en el inciso (IV.6). La supervisión y una buena operación de los parámetros de perforación, son la parte fundamental para tener un mejor control de la calidad de los trabajos y con base en los requerimientos de recursos humanos que se recomiendan en el inciso IV.6 el aumento de los costos de mano de obra será calculado a continuación:

Los costos en Cananea por concepto de supervisión y obreros generales para el año de 1996 contemplando seguro, gastos médicos, vacaciones, etc. fueron los siguientes :

Obrero general integrado	\$ 50.00 / día
Supervisor integrado	\$ 200.00 / día

Fuente : Mexicana de Cananea

El aumento de personal propuesto para cubrir los tres turnos es el siguiente:

2 Supervisores de confianza
 12 Obreros generales

Costo de mano de obra por el aumento de personal al mes:

Costo de personal sindicalizado	
12 obreros generales X \$50.00 /día X 30 días	= \$18,000.00 / mes
Costo de personal de confianza:	
2 supervisores X \$ 200.00 / día X 30 días	= \$12,000.00 / mes
TOTAL	= \$ 30,000.00 / mes

Con este incremento en los costos de mano de obra (\$30,000.00/mes) se incrementarán los costos totales de \$728,445.00 a \$758,445.00 en el mismo tiempo relativo de perforación promedio manejado anteriormente es decir $T = 7,300h$.

El costo por hora de perforación (promedio mensual) con el aumento estimado de la mano de obra en 1996 resultaría ser:

$$\$758,445.00 - \$179,658.00 = \$578,787.00$$

Costo de perforación por hora:

$$D = \$ 578,787.00 / 7,300 h = \$ 79.29 h$$

Siendo el incremento del orden del 5.43 % en el costo por hora de perforación.

V.3 Ejemplo

El cálculo realizado de la manera anterior, puede ser utilizado para establecer comparaciones cuantitativas de los diferentes aspectos enlistados a continuación:

1. Análisis de brocas que tengan mejor rendimiento para las perforaciones.
2. Análisis de parámetros, tales como tiempo de perforación y promedio de metros por broca.
3. Encontrar índices de penetración que sean la base con la que se decida cuándo desechar las brocas
4. Análisis de costos para diferentes índices de penetración

En el capítulo IV el estudio realizado sobre las fallas más comunes de las brocas muestra que sólo el 4.3 % de las brocas tiene un desgaste normal de todo el cuerpo de ella, tabla (IV.6); además los promedios de metros por broca actuales en Cananea están por debajo de los promedios de metros por broca manejado por los proveedores, ver tabla (IV.5). Esto indica que es posible aumentar el promedio de metros por broca en las operaciones de Cananea.

Se observó que un aumento de mano de obra, así como la capacitación de los operadores, abarcan las áreas de oportunidad para mejorar las operaciones, y con esto poder controlar los parámetros de barrenación además de tener una mejora en la calidad de material movido en la operaciones (granulometría), también se obtienen mejoras en los promedios de metros perforados por broca y un posible aumento en las hora operadas (utilización).

Por ejemplo se pueden comparar operaciones con incrementos estimados en el promedio de metros por broca y el índice de penetración relativo, del 10 y 20 %, arrojando los siguientes resultados. (ver la tabla V.3)

Tabla (V.3) Comparación de costo de operaciones propuestas con mejoras en los promedios de metros por broca y utilización de la maquinaria.

Concepto	Condiciones Actuales	Incremento del 10%	Incremento del 20 %
Promedio de metros por broca	2,853 m	3,138 m	3,423 m
Índice de penetración relativo	7.43 m/h	8.17 m/h	8.92 m/ h
Tiempo de perforación (horas relativas) (T)	7,300	7,300	7,300
Índice de penetración efectivo (propuesto)	18.35 m/h	18.35 m/h	18.35 m/ h
Metros barrenados (F)	54,222 m	59,641 m	65,116 m
Horas disponibles operadas	2,950 h	3,250 h	3,548 h
Utilización	40.41 %	44.52 %	48.60 %
Total de brocas	18	19	19
Costo de brocas (B)	\$ 179,658	\$ 190,000	\$ 190,000
Costo de perforación por hora (D)	\$75.18 / h	\$79.29 / h	\$ 79.29 /h
Costo de perforación (C)	\$ 13.43 / m	\$ 12.89/ m	\$ 11.80 / m

Nota : Los siguientes conceptos: metros barrenados, el número de brocas y costo por brocas se modifican en función del aumento de las horas operadas.

El control de los parámetros de perforación puede mejorar los costos por metro barrenado, tal y como se demuestra en la tabla (V.3), así como mejorar la calidad de la roca fragmentada y aumentar la seguridad de las operaciones.

El tipo de análisis de costos en función de los costos de broca y los costos por barrenación tiene una infinidad de usos, tales como sean las necesidades de las operaciones a realizar.

V.4 Análisis de los costos de barrenación con la finalidad de utilizar esta información dentro del sistema de calidad

El sistema de calidad en la barrenación tiene la necesidad de medidas y controles con las cuales se podrá calificar si se han alcanzado los niveles de calidad deseados.

Los puntos de control para establecer un sistema de calidad deben de ser rápidos, oportunos y veraces. Uno de los puntos de control es el producto final de la perforación, por otro lado los índices de penetración con los que se operaron y por último, cuál fue el costo de producción para esa cantidad de barrenos realizados.

Para realizar los controles de calidad será necesario contar con información de las actividades de barrenación, así como una forma adecuada de obtener los costos para la barrenación.

La información se obtendrá de las operaciones registradas en los datos estadísticos de barrenación, así como los costos que generaron a lo largo del tiempo.

Los datos necesarios para realizar esta evaluación son:

- Metros perforados y número de brocas ocupadas
- Tiempo de realización
- Costo total generado por la perforación sin contar el costo de las brocas
- Costo de las brocas

En este capítulo se propuso una manera clara y rápida de poder evaluar diferentes operaciones en función de los costos, de esta forma se podrán establecer límites de tiempo y costo para diferentes operaciones, las cuales también serán evaluadas de una forma física.

Por otra parte y de la misma manera, se podrán obtener costos de operaciones, que podrán ser útiles en la toma de decisiones operativas tales como:

- Obtención de límites para los mejores rendimientos en las brocas
- Análisis de parámetros de perforación de una forma cuantitativa
- Niveles óptimos para el desecho de broca

Hay que tener en cuenta que cualquier evaluación tendrá que ser llevada con un tiempo apropiado para que los resultados sean lo más cercanos a la realidad, y así se pueda llegar a una mejora continua.

VI Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Con base en lo descrito en los capítulos anteriores, se puede concluir que:

El área propia del yacimiento es bien conocida, con la información geológica disponible y suficiente para poder anticipar las condiciones en las que va a trabajar cada una de las perforadoras.

Para la explotación del yacimiento existe un diseño final de tajo que propone mover un total de 5,127,352 mil toneladas, de las cuales 1,612,582 mil toneladas son de mineral para la planta de beneficio, 1,556,798 mil toneladas están destinadas a los procesos de lixiviación, y existen 1,957,972 mil toneladas de material sin valor económico (tepetate).

El conocimiento de bases teóricas puede ser ocupada para formar criterios de valuación en todas las actividades desarrolladas en la barrenación. La teoría básica propone que los parámetros que determinan una operación de barrenación pueden ser:

- a) Fuerza de empuje
- b) Velocidad de rotación
- c) Presión y volumen de aire
- d) Velocidad de remoción de recorte
- e) Refrigeración y limpieza de cojinetes

El conocimiento de las partes fundamentales del funcionamiento de la maquinaria y sus requerimientos de operación será necesario para optimar cualquier operación de barrenación de producción de este tipo.

Las operaciones de perforación son repetitivas y bien definidas, pero es necesario que sean desarrolladas por un operador y un ayudante, para disminuir las diferencias en las dimensiones en las plantillas de barrenación, así como reducir las inconveniencias de las condiciones de trabajo con un solo operador.

Las estadísticas de operación indican que para 1996 5,127,352,000 de toneladas, constituirían el gran total de material a mover, 2,546,661,000 toneladas sería el material que necesita tener un tamaño controlado menor a 60 in (1.52 m), esto representa que casi el 50 % de la producción tenga una granulometría controlada. Además indican que esta operación se realizó con una disponibilidad del 63.7% teniendo como mayores pérdidas de tiempo, las horas en reparación mecánica y eléctrica, y las horas en las que la maquinaria no tenía operador.

Además estas operaciones se caracterizaron por tener los siguientes problemas, que pueden convertirse en las posibles áreas de oportunidad a mejorar:

- 1.-Desgaste excesivo de brocas
- 2.-Bajos índices relativos de penetración
- 3.-Pisos en mal estado y desnivelados.
- 4.-Sobretamaños de roca.
- 5.-Voladuras secundarias.

Los resultados mostraron que en las voladuras se produjo un 60 % de rocas con sobretamaño, pisos desnivelados y voladuras secundarias y por consiguiente existían tiempos perdidos en la producción en palas, acarreo y quebradoras, que ascendieron en promedio a un 20% aproximadamente.

El estudio realizado sobre las plantillas de barrenación indica que el exceso de la desviación promedio tanto en la ubicación del barreno como de su longitud ocasiona una alta diferencia de lo planeado con lo que realmente se realiza, razón por la cual el patrón de barrenación se ve altamente modificado.

Las posibles causas de la modificación de las plantillas de barrenación se analizaron en los diagramas del tipo ¿porqué-porqué? (IV.2 y I V.3), indicando que las áreas de oportunidad a mejorar son, el área de operación de barrenación y la supervisión de esta.

En una operación de este tipo se observa que la mala barrenación también ocasiona tiempos perdidos como lo muestra la tabla (IV.3), la mayor cantidad de tiempos perdidos se encuentra entre composturas mecánicas y eléctricas que se pueden atribuir a una operación descontrolada u operadores con un poco de capacitación.

La posibilidad de aumentar las horas de utilización en función a la necesidad de material tronado, se verá en la medida de reducir los tiempos perdidos por la falta de operador en las máquinas y los tiempos en los que la máquina se encuentra en compostura.

Por lo tanto, si se aumentan las horas efectivas de corte y se controlan los parámetros propuestos es posible mantener un buen índice de penetración y aumentar los metros barrenados.

Con respecto de las brocas se observó que el promedio de metros barrenados por broca en Cananea está por debajo en un 33% aproximadamente de los datos proporcionados por otras operaciones tipo propuestas por los proveedores. Además el estudio realizado para las fallas más comunes de las brocas indica que sólo el 4.3 % tiene un desgaste homogéneo; lo anterior indica la posibilidad de aumentar el promedio de metros por broca y disminuir el costo, aumentando los metros barrenados por broca.

El mismo estudio indica que un 7.3 % de las brocas tuvieron una rotura de dientes, y de acuerdo con la descripción geológica de las áreas de trabajo se deduce que las brocas usadas fueron las correctas.

Las fallas más comunes de las brocas, indican fue que el mayor desgaste está en la destrucción de los baleros que sostienen los cojinetes de las brocas teniendo como causa principal, la falta de un flujo de aire adecuado, un cambio no oportuno de brocas y estabilizadores, además de una escasa supervisión durante la operación.

Por otra parte los sistemas de aire, son parte fundamental para mejorar la velocidad de remoción de partícula, así como la limpieza de la broca, por esto el mantenimiento y supervisión de aquellos son de vital importancia.

Los estabilizadores de rodillos ocupados en las operaciones proporcionaron un medio inestable aumentando la vibración en la superficie de la broca en la perforación, además de tener un rendimiento de 12,049 m que está por debajo de los rendimientos tipo de los estabilizadores de lanas, que tienen una vida estimada de 30,000 m.

Después de analizar por separado todas las actividades realizadas en la barrenación, se identificaron los elementos significativos para los aumentos o reducciones de producción, y se observó que existen parámetros que pueden aumentar los índices de penetración y disminuir los desgastes en los materiales de perforación.

El control en los parámetros de perforación tales como, índice de penetración, velocidad de remoción de material cortado, y presión de empuje, aunado a un cambio oportuno de brocas y una supervisión más estricta podrán ayudar a mejorar los resultados para tener una operación más adecuada.

Los requerimientos de una operación efectiva y segura indican, que cada una de las máquinas debe contar con un operador y su ayudante, así como asegurar la supervisión en cada uno de los turnos.

Con los recursos actuales y para poder cumplir con esto, será necesario contratar a 4 ayudantes más por turno (12 obreros generales) y 1 supervisor por turno (2 supervisores).

Los materiales, la mano de obra y la disponibilidad son parte fundamental para el aumento de la producción y costos; el análisis de costos que se realizó indica que si se aumenta el promedio de metros por broca y el índice de penetración relativo en un 10 % y 20 % es posible disminuir los costos de perforación en el rango de \$0.54 por metro a \$1.63 por metro barrenado, esto es contando el incremento en la mano de obra y sin estimar los ahorros obtenidos por el mejoramiento en las operaciones y en el control de la granulometría.

Es importante hacer notar que existen parámetros tales como velocidad de rotación, fuerza de empuje, etc. que no tienen una relación directa con el costo, pero son de vital importancia en las operaciones y el manejo correcto de tales parámetros pueda generar mejores resultados.

Recomendaciones

Es necesario controlar la producción en el tamaño del material en función de los elementos de control de calidad (partículas menores a 60 in (1.52 m) que determinan el 50% de los destinos de descarga en la producción. Además los costo de mantenimiento, costo de producción de tiempos muertos y costo de trituración se verán reducidos sustancialmente, puesto que el desgaste de equipos (palas, camiones, quebradoras, etc.), los problemas de pisos desnivelados (rompimiento de chasises, amortiguadores), el manejo de piedras grandes (barrenaciones secundarias) y el atascamientos en quebradoras, se verá reducido al mejorar la granulometría de la producción.

Para lograr mejorar el tamaño de partícula, será necesario disminuir las diferencias en las plantillas de barrenación y tener un control en un buen cargado de explosivos.

La maquinaria se puede operar con una sola persona la calidad de estos trabajos es deficiente, siendo necesario la ayuda de otra persona. Además de una supervisión estricta en el control de todas las operaciones y el registro de los parámetros de control.

Es necesario aumentar en total la plantilla de personal en el departamento de barrenación en 12 obreros generales y 2 supervisores para completar los requerimientos de este. El costo estimado arroja un aumento en el costo de mano de obra de \$ 30,000 / mes.

Se observó que los desgastes más severos en las brocas fueron, el desbaratamiento de los baleros que sostienen los cojinetes de la broca. Se recomienda cumplir los siguientes parámetros de operación.

Se recomienda una velocidad de remoción de partícula de 7000 ft/min (2133.3 m/min). Sabiendo que este valor se encuentra dentro de los estándares recomendados y da un buen resultado en las operaciones actuales de la mina. Para poder lograr estas velocidades, además de contar con una presión adecuada para el enfriamiento de la broca, se recomiendan ocupar tamaños de toberas de 11/16 pulgadas (1.74 cm) y 3/4 pulgadas (1.9 cm), y una velocidad de 86 rpm con la que será posible alcanzar índices de penetración hasta de 60 ft/hr (18.28 m/hr).

La fuerza de empuje que se recomienda, con base en el tamaño de la broca y las condiciones de trabajo tiene un rango entre 75000 y 91000 lb en el cual se puede perforar adecuadamente.

Además de estos parámetros, será de vital importancia el control y cantidad del flujo de aire. A continuación se nombran las acciones a tomar que aseguran un buen suministro de aire a la broca

- Contar con los gastos mínimos de aire en todas las máquinas
- Verificar cuidadosamente la presión de aire antes de trabajar
- Asegurar que la presión se mantenga constante a lo largo de todos los barrenos
- Purgar los compresores con regularidad
- Limpiar las obturaciones de la tubería y en los aditamentos de perforación
- Controlar e identificar todas las fugas de aire

En las operaciones de barrenación será necesario disminuir al mínimo la vibración de la tubería y estabilizadores porque de esto dependerá la obtención de mayores índices de penetración.

Se recomienda una estricta supervisión en la preparación de los terrenos y el cambio de estabilizadores de rodillos intercambiables por estabilizadores de lanas, buscando tener un movimiento menor de tubería que produzca un menor daño a las cuerdas de las uniones y a la tubería.

Los estabilizadores de lanas darán una mejor estabilidad a la broca, disminuyendo la vibración, lo que ayudará a aumentar los promedios de metros barrenados por broca teniendo un buen índice de penetración.

Es necesario formar un programa para capacitación de todo el personal, perteneciente al departamento de perforación en función de la teoría básica de las operaciones desarrollada, con la idea que este personal puede comprender y se logre una operación más cuidadosa.

Por último, es importante recordar que si todas las posibles propuestas no son puestas en marcha y con una seria intención de mantenerse, los conceptos de calidad puedan quedar como mera palabrería.

BIBLIOGRAFIA

1. ASA
Manual de explosivos
ASA organización industrial Guadalajara México
2. Blasting operations
Gary B Hemphill
Mc Graw Hill
3. Bucyrus Erie Compañy
Surface Mining Supervisory Training
1979
4. ICI
Primer seminario y taller de alto nivel en explosivos
México D.F. 1995
5. Instituto Sonorense de Cultura
Folleto sobre el municipio de Cananea
Cananea Sonora 1995
6. Instituto Tecnológico Geominero de España
Mecánica de rocas aplicada a la minería subterránea
1990
7. Hughes Tool Compañy
Blast Hole Bit Handbook
1980 y 1997
8. Manufacturing Company
Folletos Walker-Mcdonald
1996
9. Marco Antonio Flores. Tesis profesional
Guía para la planeación de la etapa de producción en la mina la Caridad.
Universidad de Guanajuato 1980
10. Mexicana de Cananea
Plan de desarrollo para el ciclo 1996 a 2010
Cananea Sonora 1996
11. Mining & Industrial
Folletos Vareil Rock Bits
1996

12. Ramón H. Madrid Acuña. Tesis profesional
Asignación dinámica de camiones y control de maquinas de perforación para el incremento de la productividad.
Universidad de Sonora 1996
13. Rotarias Bucyrus Erie
Manual de cuidado , mantenimiento y operación
Bucyrus Erie Company 1970
14. W. G. Valentine
Geology of the Cananea Mountains
Colorado University 1936. Archivos internos del departamento de geología en Mexicana de Cananea

ANEXOS

ANEXO 1 Sistema de despacho y control de carga (DISPATCH)

El sistema dispatch está diseñado para realizar dos funciones fundamentales: la primera es encontrar un balance dinámico entre el cargado y acarreo, para alcanzar la distribución óptima de la producción reduciendo los tiempos de espera al máximo, la segunda es formar una base de datos con las actividades diarias de cada una de las máquinas.

Los elementos en los que se basa el sistema de despacho en el minado a cielo abierto son:

- a) Historial operativo de tiempos y movimientos del equipo.
(peforadoras, camiones, y palas)
- b) Despacho lógico de las unidades, esto es, el sistema escoge la mejor opción para todos los equipos.
- c) Ejecución lógica de las operaciones

En la actualidad existen en operación tres tipos de sistemas dispatch y son:

- a) Sistema manual (Mina de Real de Angeles)
- b) Sistema semiautomático
- d) Sistema de ejecución lógica (Cananea)

Sistema manual

Desde una torre de control con compiladores, registran las entradas y salidas de los camiones. Un observador con dominio de todas las áreas decide las direcciones de los camiones.

Este sistema de tipo manual, trabaja sin el apoyo de un programa de cómputo y tiene como principales características:

- 1.- No se puede tener una localización precisa e inmediata de los camiones
- 2.- La toma de datos es manual, con precisión al minuto.
- 3.- Existen pérdidas de tiempos por el factor humano

Sistema semiautomático

Involucra al observador y a un programa de computación y un sistema de comunicación en las unidades. Sus características principales son:

- 1.- Los datos de registro son transmitidos del operador de la torre de control a las unidades.
- 2.- El observador consulta el programa que estima la posición, para apoyar su decisión visual.
- 3.- La computadora puede dar registros al minuto de las actividades realizadas por la maquinaria.

Sistema automático

Los camiones están equipados con un pequeño cerebro computarizado y un sistema de radio para cada una de las maquinarias.

Un programa computarizado analiza y toma decisiones para los mejores destinos de la maquinaria, tomándole a esta sólo de 3 a 5 segundos.

Además de tomar un banco de datos que registra todas las actividades en el transcurso del día.

El sistema dipatch es un control total de los movimientos de toda la maquinaria y forma una fuente de datos eliminando el factor de error humano.

ANEXO 2 Calculo de parámetros de barrenación y voladuras bajo diferentes criterios.

Para confirmar los parámetros utilizados en las operaciones de barrenación y voladura, se analizarán sus factores principales y se compararán los parámetros con los que se trabaja en la mina.

El análisis está formado por la descripción de las operaciones y por el cálculo de los parámetros de voladuras con dos diferentes criterios.

A continuación se hace una descripción del procedimiento que se sigue al efectuar la voladura, de los factores que determinan el diseño:

- a) Determinación de la producción requerida con base en la estrategia de minado.
- b) Tipo de maquinaria
- c) Información geológica estructural y climática
- d) Tipo de explosivo y cargado
- e) Tipo de conexiones y distribución de retardos

El cálculo de los parámetros se realizará con dos criterios, con los cuales se obtendrá:

- f) Factor de carga
- g) Parámetros de la voladura (espacio, bordo, etc.)

El tamaño de los parámetros de la voladura fue determinado por los planes de extracción del yacimiento, las grandes producciones estimadas dan como consecuencia el uso de maquinaria de gran tamaño, así la altura mínima de las bancos tiene que ser de 49.2 pies (15 m) para que el funcionamiento sea el óptimo.

La barrenación es realizada con un diámetro de broca de 12 ¼ pulgadas (31 cm) para tener un factor de carga adecuado con la profundidad del barreno y el tipo de roca.

Los retardos, el tipo de salida y los explosivos son determinados por las condiciones que se presenten, y tienen las siguientes características;

Tipo de explosivo y cargado

Se enlistan los explosivos utilizados en voladuras primarias así como la función que desempeñan.

ANFO (Nitrato de Amonio + Diesel) 11m de columna, densidad 0.80 a 0.85 para la velocidad de detonación adecuada en el diámetro de 12 ¼ pulgadas (31.1cm).

Tovex primer cebo en el fondo 1 kg. Densidad 1.20 g/cc

Si el barreno contiene agua el barreno es cargado con bolsas de 65.61 pies (20 m) y se ocupa emulsión de nitrato de amonio con alto explosivo en salchichas de 8 kg últimamente se ha cambiado el kg de tovox de carga de fondo o booster para asegurar la eficiencia del cebado.

Tipo de conexiones y distribución de retardos

El sistema de inicio se efectúa con artificios de tipo NONEL. El iniciador es del No. 6 con retardos de 25, 50, 100 ms para cada uno de los barrenos de las líneas. Las conexiones dependen en su totalidad de la cara libre que presente el área a volarse. Esta conexión se realiza asegurando que a todos los barrenos les llegue la energía por lo menos por dos líneas.

El E - Cord y Prima Cord son utilizados en conexiones. Los distribuyen de acuerdo con la posición del barreno respecto de los demás. El retardo de las líneas de salida de la barrenación usa la siguiente regla.

Tiempo de retardo 2 ms/ft al bordo

Para evitar queden zonas sin romper en el piso de la última línea, se ocupa un retardo doble, así se retardarán las líneas 50 ms, la última línea se retardó 100 ms.

Factor de carga

Se entiende por factor de carga la cantidad de explosivo que necesita una tonelada de roca para ser fragmentada. El factor de carga está en función de las características de la roca.

El factor de carga de las operaciones realizadas en Mexicana de Cananea será:

Datos

Densidad del explosivo	Sge = 0.80 gr/cc
Densidad de roca	SGr = 2.53 gr/cc
Altura de banco	L = 15 m (49.21 pies)
Espaciamiento	E = 7.00 m (22.96 pies)
Bordo	B = 8.00 m (26.25 pies)
Sub barrenación	J = 3.00 m (9.84 pies)
Taco	T = 7.00 m (22.96 pies)
Diámetro de barrenación	De = 31.1cm(12 ¼ pulgada)

Para un diámetro 12 ¼ pulgadas y una densidad del ANFO = 0.80 gr/cc se tienen 60.82 kg/m kilogramos de ANFO por metro barrenado, la profundidad de carga es de 11 m para condiciones normales de operación.

60.82 kg/m (11m) = 669 kg/barreno más una carga de fondo de 1kg de tovox con densidad 1.20 gr/ccr por barreno. De tal forma el total de explosivo por barreno será:

$$1\text{kg} + 669.4 \text{ kg} = 670.4 \text{ kg}$$

Ya obtenida la cantidad de explosivo utilizado por barreno será necesario saber el tonelaje obtenido por barreno para conocer el factor de carga.

Para una plantilla 7m x 8m y una altura de banco de 15 m.

$$\text{Volumen de material a volar} = (7\text{m}) (8\text{m}) (15\text{m}) = 840 \text{ m}^3 \text{ (29,664 pies cúbicos)}$$

$$\text{Peso del material volado} = (840 \text{ m}^3)(2.53 \text{ t/ m}^3) = 2,125 \text{ t}$$

$$\text{Factor de carga} = (670.4 \text{ kg/barreno}) / (840 \text{ m}^3 / \text{barreno}) = 798 \text{ gr/ m}^3$$

$$\text{Factor de carga} = (670.4 \text{ kg/barreno}) / (2,125 \text{ t/barreno}) = 315 \text{ gr/ t}$$

La obtención de cualquier factor de carga puede ser realizada de la forma anterior, con esto será posible comparar los factores de carga que resulten de operar con parámetros teóricos obtenidos.

Para el cálculo de los parámetros de voladuras, se consultarán varios autores y se compararán al final con los valores que se trabaja.

Los datos necesarios serán:

S _{Ge}	=	Densidad del explosivo
S _{Gr}	=	Densidad de roca
D _e	=	Diámetro de barrenación
B	=	Bordo
S	=	Espaciamiento
R.E	=	Relación de espaciamiento
L	=	Altura de banco
T	=	Taco
J	=	Sub barrenación

Los proveedores de explosivos como ICI explosivos y DUPONT explosivos (actualmente ASA) recomiendan las mismas fórmulas empíricas para el calculo de los parámetros de voladuras.

Con base en estos criterios se calcularán los parámetros de voladuras para las mismas condiciones:

Bordo (B) =	20 a 40 (De)	=7.75 m (25.43 pies)
Espaciamiento (E) =	1 a 1.8 (B)	=8.13m (26.67 pies)
Taco (T) =	0.7 a 1.3 (B)	=7.75 m (25.42 pies)
Sub barrenación (J) =	0.2 a 0.5 (B)	=2.39 m (7.84 pies)

Fuente: ASA, Manual de explosivos. ASA organización industrial, Guadalajara México .ICI, Primer seminario y taller de alto nivel en explosivos. México D.F. 1995

Con estos valores se obtiene un factor de carga de:

CC	Columna de ANFO	=	9.64m (31.63 pies)
Fc	Factor de carga	=	276 gr/t

Existen otros criterios que se desarrollaron por diferentes autores, *C. J. Konya basándose para la obtención de los parámetros de voladuras, en el diámetro de la perforación y la relación de densidad entre las densidades de la roca y la densidad del explosivo a utilizar;

Bordo

$$B = [(Sge/Sgr)^{1/3}]3.15 De$$

donde;

B = en pies

De = en pulgadas

$$B = [(0.80 / 2.53)^{1/3}]3.15 (12.25)$$

$$B = 8.01m (26.29 pies)$$

Espaciamiento

$$E = [(B)(L)]^{1/2}$$

donde;

B = en pies

L = en pies

$$B = [(26.29) (49.21)]^{1/2}$$

$$E=10.96 m (35.96 pies)$$

*Fuente: Blasting operations, Gary B Hemphill Mc Graw Hill

Taco

$$T=0.70(B)$$

$$T = 0.70 (26.29)$$

$$T = 5.6 \text{ m (18.37 pies)}$$

Sub barrenación

$$J=0.3 (B)$$

$$J = 0.3 (26.29)$$

$$J = 2.39 \text{ m (7.84 pies)}$$

Con estos valores se obtiene un factor de carga de:

CC	Columna de ANFO	=	11.79 m (38.69 pies)
Fc	Factor de carga	=	216 gr/t

Con base a los dos criterios anteriormente citados se formo la siguiente tabla que servirá como punto de comparación de los parámetros de voladuras:

		Konya	ICI- DUPONT
L	Altura de banco	15 m	15 m
E	Espaciamiento	10.96 m (35.96 pies)	8.13m (26.67 pies)
B	Bordo	8.01 m (26.29 pies)	7.75 m (25.43 pies)
J	Sub barrenación	2.39 m (7.84 pies)	2.39 m (7.84 pies)
T	Taco	5.60 m (18.37 pies)	7.75 m (25.42 pies)
De	Diámetro de barrenación	0.31 m (12 ¼ pies)	0.31 m (12 ¼ pies)
CC	Columna de ANFO	11.79 m (38.69pies)	9.64m (31.63 pies)
Fc	Factor de carga	216 gr/ t	276 gr/t

Comparando los resultados obtenidos, con los que se opero en Mexicana de Cananea, es posible observar que los valores utilizados están por arriba de los calculados teóricamente y son los acordes para trabajar.

