



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

"ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA SUSTITUCIÓN Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE PERFORACIÓN Y REZAGADO, UNIDAD MINERA CHARCAS, SAN LUIS POTOSÍ"

TESIS PROFESIONAL QUE PARA
OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA

PRESENTA:

JUAN FRANCISCO HERNÁNDEZ MAGDALENA

DIRECTOR DE TESIS:

ING. MAURICIO MAZARI HIRIART

MÉXICO D.F., 2015



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.

A mi madre por su apoyo incondicional durante todos estos años, este triunfo es tuyo.

Índice

Resumen.....	VII
1. Introducción	1
1.2 Objetivo	2
2. Condiciones actuales de la mina	3
2.1 Ubicación.....	3
2.2 Características del yacimiento (González & Hernández, 1994)	3
2.3 Mineralogía y leyes del yacimiento	4
2.4 Servicios Auxiliares	4
2.5 Dimensiones de las obras.....	5
2.6 Plantilla de barrenación	6
2.7 Sistema de minado.....	7
2.7.1 Obras de desarrollo	7
2.7.2 Obras de preparación.....	7
2.7.3 Producción.....	7
2.8 Ciclo operativo de la unidad Charcas	9
2.9 Ubicación de los rebajes de producción	9
3. Justificación de cambio de equipo	11
3.1 Análisis por depreciación	12
3.2 Análisis de costos de operación y producción	13
4. Selección de equipo	14
4.1 Cálculo de equipo de perforación	14
4.1.1 Análisis de capacidad de producción actual.....	18
4.1.2 Distribución de los equipos de perforación	20
4.1.3 Equipo de perforación disponible en el mercado mexicano.....	22
4.1.4 Comparación técnica.....	24
4.1.5 Selección del equipo de perforación.....	26
4.2 Cálculo del equipo de rezagado	26
4.2.1 Cálculo del equipo de rezagado requerido	30
4.2.2 Distribución de equipos de rezagado en la unidad	31
4.2.3 Equipo de rezagado disponible en el mercado mexicano.....	33
4.2.4 Análisis de tamaño de cucharones.....	35
4.2.5 Comparación técnica.....	36

4.2.6 Selección de equipo de rezagado.....	37
4.3 Cuadro-resumen con el equipo requerido.....	38
5. Análisis financiero	39
5.1 Análisis financiero antes de la propuesta	39
5.2 Análisis financiero una vez puesta en marcha la propuesta.....	41
6. Plan de mantenimiento.....	47
6.1 Tipos de mantenimiento	47
6.1.1 Mantenimiento correctivo	47
6.1.2 Mantenimiento preventivo	48
6.2 Normatividad en mantenimiento.....	49
6.2.1 Norma Internacional ISO 55001:2014.....	49
6.3 Plan de mantenimiento propuesto	50
6.3.1 Programa de mantenimiento de los equipos de rezagado	50
6.3.2 Programa de mantenimiento de los equipos de perforación	56
6.4 Costos de mantenimiento	60
6.4.1 Costos de mantenimiento con esquema actual.....	60
6.4.2 Costos de mantenimiento con esquema propuesto.....	61
7. Conclusiones.....	63
8. Recomendaciones	63
Referencias.....	64
Agradecimientos	65

Lista de figuras

FIGURA 2.1 IMAGEN SATELITAL DE LA UNIDAD CHARCAS, S.L.P.	3
FIGURA 2.2 DIMENSIONES DE LAS OBRAS	5
FIGURA 2.3 SECCIÓN FRONTAL DE LA PLANTILLA DE BARRENACIÓN.....	6
FIGURA 2.4 CORTE Y RELLENO CON PILARES	8
FIGURA 2.5 ISOMÉTRICO DE UN CORTE.....	8
FIGURA 2.6 UBICACIÓN DE REBAJES DE PRODUCCIÓN EN NIVEL 21	10
FIGURA 4.1 DUREZA Y PERFORABILIDAD DE MACIZOS ROCOSOS	14
FIGURA 4.2 TIPOS DE BROCAS DE BARRENACIÓN	15
FIGURA 4.3 VOLUMEN DE VOLADURA.....	16
FIGURA 4.4 TONELAJE A PRODUCIR PROPUESTO	16
FIGURA 4.5 VOLUMEN DE VOLADURA EQUIPO GARDEN DENVER.....	18
FIGURA 4.6 VOLUMEN DE VOLADURA EQUIPOS ATLAS Y SECOMA	19
FIGURA 4.7 JUMBO BOOMER L1 C-DH.....	22
FIGURA 4.8 JUMBO DD311-40C	23
FIGURA 4.9 DIMENSIONES DE EQUIPO	25
FIGURA 4.10 JUMBO R1300G.....	33
FIGURA 4.11 JUMBO LH307	34
FIGURA 6.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	47
FIGURA 6.2 LISTA DIARIA DE PUNTOS DE REVISIÓN	51
FIGURA 6.3 LISTA DIARIA DE PUNTOS DE REVISIÓN	57

Lista de Tablas

TABLA 1-1 EQUIPO DE PERFORACIÓN UNIDAD CHARCAS	1
TABLA 1-2 EQUIPO DE REZAGADO UNIDAD CHARCAS	1
TABLA 3-1 MODELO DE LOS EQUIPOS DE PERFORACIÓN	11
TABLA 3-2 MODELO DE LOS EQUIPOS DE REZAGADO	11
TABLA 3-3 COSTOS DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN ACTUAL	13
TABLA 3-4 COSTOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPO DE REZAGADO ACTUAL	13
TABLA 3-5 DISTRIBUCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	13
TABLA 4-1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN ACTUAL.....	20
TABLA 4-2 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN PRIMER TURNO	20
TABLA 4-3 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS EN SEGUNDO TURNO	20
TABLA 4-4 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO PRIMER TURNO	21
TABLA 4-5 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO SEGUNDO TURNO	21
TABLA 4-6 DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS	24
TABLA 4-7 CARACTERÍSTICAS DE BRAZO DE PERFORACIÓN	24
TABLA 4-8 CARACTERÍSTICAS PARA ELEMENTO DE PERFORACIÓN.....	24
TABLA 4-9 CARACTERÍSTICAS ADICIONALES	25
TABLA 4-10 DIMENSIONES DEL EQUIPO EN CONDICIONES DE OPERACIÓN	25
TABLA 4-11 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO EN PRIMER TURNO.....	31
TABLA 4-12 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO EN SEGUNDO TURNO	32
TABLA 4-13 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO EN PRIMER TURNO.....	32

TABLA 4-14 DISTRIBUCIÓN DE EQUIPO EN SEGUNDO TURNO	32
TABLA 4-15 PESO DEL EQUIPO CON CARGA MÁXIMA Y VACÍO	36
TABLA 4-16 TIEMPOS DE MANIOBRAS.....	36
TABLA 4-17 VELOCIDADES DE AVANCE Y REVERSA	36
TABLA 4-18 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MOTOR	36
TABLA 4-19 SISTEMA DE FRENADO.....	37
TABLA 4-20 DIMENSIONES DE LOS EQUIPOS	37
TABLA 4-21 EQUIPO NECESARIO.....	38
TABLA 5-1 PRODUCCIÓN POR AÑO DE ZINC.....	39
TABLA 5-2 PRODUCCIÓN POR AÑO DE PLOMO	40
TABLA 5-3 PRODUCCIÓN POR AÑO DE COBRE	40
TABLA 5-4 COSTOS DE PRODUCCIÓN POR AÑO.....	40
TABLA 5-5 ESTADO DE RESULTADOS.....	41
TABLA 5-6 RESUMEN DE ANÁLISIS DESPUÉS DE LA PROPUESTA.....	45
TABLA 5-7 ESTADO DE RESULTADOS DESPUÉS DE REALIZADA LA INVERSIÓN Y AMPLIACIÓN	46
TABLA 6-1 PLAN DE MANTENIMIENTO SEMANAS 1-6.....	54
TABLA 6-2 PLAN DE MANTENIMIENTO SEMANAS 7-12	55
TABLA 6-3 PLAN DE MANTENIMIENTO SEMANAS 1-8.....	59
TABLA 6-4 PLAN DE MANTENIMIENTO SEMANA 26.....	60
TABLA 6-5 COSTOS DE MANTENIMIENTO ANUAL	61
TABLA 6-6 COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CADA EQUIPO DE PERFORACIÓN....	61
TABLA 6-7 COSTO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA CADA EQUIPO LHD.....	62

Resumen

El reemplazo de equipo es una actividad que toda empresa lleva a cabo en algún momento, aunque en la mayoría de los casos se realiza de manera empírica, es decir que el personal encargado de hacer estos reemplazos, lo hacen basados en su experiencia. En muchas de las industrias esta práctica ha generado que se tengan equipos con características que son insuficientes para satisfacer las necesidades de dicha industria.

Es por ello que en el presente trabajo se desarrolla un análisis técnico de los equipos de perforación y rezagado con los que se cuenta actualmente en la unidad Charcas, ya que algunos de ellos, superan los 20 años de antigüedad, a partir de la información obtenida se efectúa el cálculo de las unidades que serán necesarias para cumplir con la próxima ampliación en la cantidad de mineral a procesar en la unidad.

Una vez que se tuvo el análisis técnico se procedió a la búsqueda de los equipos que mejor se adaptan a las condiciones actuales de la mina, así como a su ritmo de producción. Por otro lado se efectúa un estudio de tipo económico para comprobar que el proyecto puede ser ejecutado, este nos arroja resultados bastante positivos para la unidad.

Por último, se elaboró un plan de mantenimiento, con el fin de optimizar el rendimiento de los equipos tanto nuevos como los ya existentes en la unidad, la propuesta deriva de la falta de un plan de tipo preventivo, ya que en la actualidad el personal encargado de esta actividad en la unidad, solo se lleva a cabo reparaciones de tipo correctivo en la maquinaria con la que se cuenta hoy en día.

1. Introducción

La unidad Charcas, ubicada en el estado de San Luis Potosí, es un complejo minero metalúrgico que actualmente extrae y procesa 2000[t/d]. Uno de los problemas que se presenta en la explotación del mineral es el paro imprevisto de los equipos de perforación y rezagado, este problema se ve agravado aún más por el tipo de mantenimiento, dichos problemas se describen a continuación.

I. Cantidad y tipo de equipos

En el caso de la unidad Charcas se cuenta con los siguientes equipos para la perforación y el rezagado.

Tabla 1-1 Equipo de perforación unidad Charcas

Cantidad	Características del equipo
4	Atlas Copco de un brazo y barra de perforación de 4.2[m]
1	Atlas Copco de un brazo y barra de perforación de 3.0[m](anclador)
2	Garden Denver de un brazo y barra de perforación de 3.6[m]
1	Eimco Secoma de una pluma y barra de perforación de 4.2[m]

Tabla 1-2 Equipo de rezagado unidad Charcas

Cantidad	Características del equipo
6	Eimco Secoma con capacidad de 3.8[m ³]
3	Wagner con capacidad de 3.8[m ³]

Estos equipos se encuentran distribuidos en los niveles 18-21 de la mina San Bartolo que pertenece a la unidad Charcas. La problemática que se presenta con los equipos anteriormente listados es el hecho que constantemente se requiere dar mantenimiento, principalmente de tipo correctivo, debido a que algunos de los equipos presentan una antigüedad mayor a los 28 años de operación.

II. Plan de mantenimiento

En la unidad se cuenta con un plan de mantenimiento de tipo preventivo y correctivo, en el caso del mantenimiento preventivo se lleva acabo de manera errática, debido a que se ha optado por realizar una disminución de todos los costos de operación entre ellos el mantenimiento de tipo preventivo, teniendo que llevar a cabo solo mantenimiento de tipo correctivo en los equipos antes mencionados.

La antigüedad de algunos de los equipos aunado a la falta de un plan de mantenimiento preventivo eficiente ha provocado que en la unidad se tengan problemas al momento tratar de alcanzar las metas de producción deseadas, además

de lo anterior se suma el hecho de la próxima ampliación en la producción de la unidad, la cual pasara de 2000[t/d] a 4000[t/d].

Es por ello que en el presente trabajo se desarrollará el análisis de tipo técnico para determinar la cantidad de equipos que se requieren para lograr tumbar y rezagar las 4000[t/d] a la que quiere llegar la unidad, para ello se propone un reemplazo de los equipos, además se realiza un análisis de tipo económico para poder comparar el estado actual de la unidad y como será este, una vez que se realice el reemplazo de los equipos de perforación y rezagado.

Además de lo antes mencionado se propone un plan de mantenimiento de tipo preventivo basado en las recomendaciones de los fabricantes, con el fin de garantizar la disponibilidad de los equipos y que esto dé como resultado final la certeza de que se podrán producir las 4000[t/d].

1.2 Objetivo

Llevar a cabo un análisis técnico de los equipos de perforación y rezagado con los que se cuenta actualmente y, a partir de este, realizar el cálculo de los equipos que harán falta para satisfacer las necesidades futuras de producción en la unidad. Una vez que se realizado este, se hará un análisis económico para conocer la viabilidad del proyecto. Por último se hace la propuesta de un plan de mantenimiento, tanto para los equipos actuales como para los propuestos, todo ello con el fin de hacer más eficiente el proceso productivo.

2. Condiciones actuales de la mina

A continuación se mencionan las principales condiciones que se tienen en la unidad y bajo las cuales tendrán que operar los equipos que se pretenden comprar a fin de satisfacer las necesidades de producción a futuro de la unidad.

2.1 Ubicación

El complejo minero de Charcas se ubica a 111 kilómetros al norte de la ciudad de San Luis Potosí en el Estado de San Luis Potosí, México (Figura 2.1). Charcas está conectada a la capital del estado mediante una carretera pavimentada de 130 kilómetros. A 14 kilómetros al sudeste del complejo de Charcas se encuentra la **estación ferroviaria de "Los Charcos"**, que se conecta con el ferrocarril México-Laredo. Asimismo, una carretera pavimentada conecta a Charcas con la ciudad de Matehuala a través de una carretera federal, que comienza al noreste del campamento de Charcas.

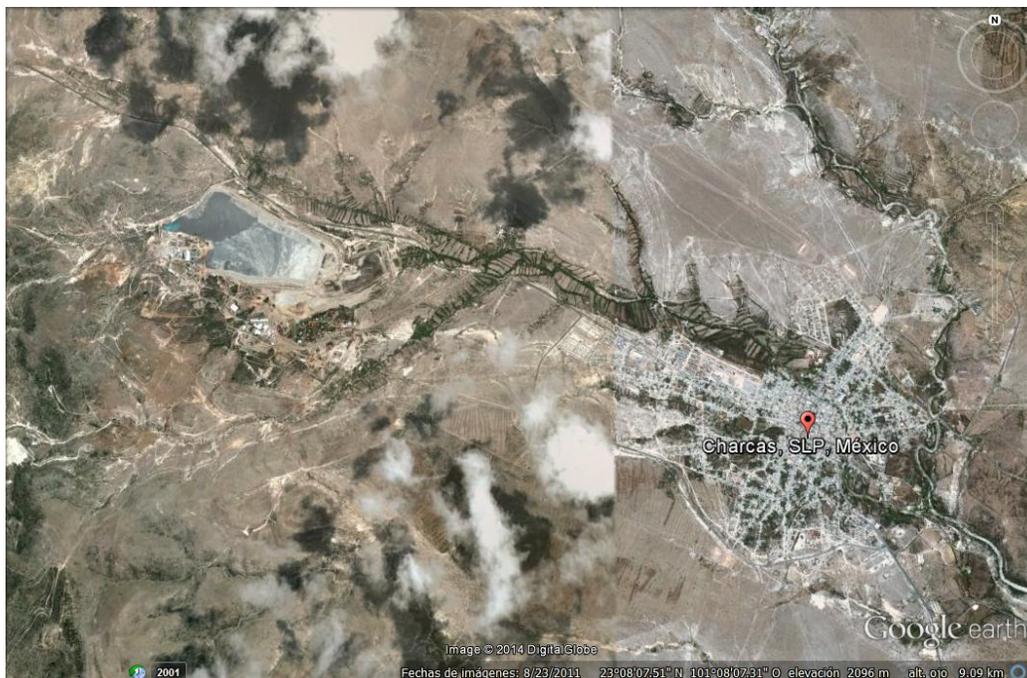


Figura 2.1 Imagen satelital de la Unidad Charcas, S.L.P.

2.2 Características del yacimiento (González & Hernández, 1994)

El distrito minero de Charcas ocupa la parte centro-este de la Meseta Central Mexicana y es parte de la Provincia Metalogénica de la Sierra Madre. Su historia geológica comienza en el Triásico Superior, en donde se depositaron sedimentos arcillo-arenosos. Debido a la emersión que se produjo al inicio del Jurásico Superior, los sedimentos sufrieron una erosión intensa, depositándose sobre sedimentos

continentales. Esta secuencia fue afectada por fuerzas tectónicas, las cuales se plegaron y cayeron sobre este paquete rocoso. Posteriormente, la disposición de las rocas intrusivas originó fracturas que dieron lugar al posicionamiento del yacimiento de mineral. La paragénesis del sitio sugiere que hubo dos etapas de mineralización. Los primeros minerales son ricos en plata, plomo y zinc, con abundante calcita y pequeñas cantidades de calcopirita de cuarzo. Segundo, hay un vínculo de cobre y plata, en donde los minerales característicos son calcopirita, mineral de plomo con contenido de plata, piritita y escasas cantidades de blenda. El mineral con valor económico se encuentra en forma de sulfuros de reemplazo en la roca de carbonatos que los aloja.

2.3 Mineralogía y leyes del yacimiento

La mineralogía del yacimiento está compuesta predominantemente por calcopirita (CuFeS_2), blenda (ZnS), galena (PbS), y minerales de plata como la diaforita ($\text{Pb}_2\text{Ag}_3\text{Sb}_3\text{S}_8$). El mineral con valor económico se encuentra en forma de sulfuros de reemplazo en la roca de carbonatos que los aloja.

Las leyes promedio que se tienen en el yacimiento son las siguientes:

Ley promedio de mineral de zinc: 4.9%

Ley promedio de mineral de plomo: 0.40%

Ley promedio de mineral de cobre: 0.26%

2.4 Servicios Auxiliares

Los servicios auxiliares son todos aquellos suministros con los que la unidad cuenta y que son necesarios para poder llevar a cabo las labores asignadas. Dichos servicios con que cuenta actualmente la unidad Charcas son:

- Suministro de corriente eléctrica: se cuenta con un suministro de corriente eléctrica de 440[volts] en corriente continua, al interior de la mina se cuenta con una red de distribución eléctrica que permite garantizar el suministro de corriente eléctrica a cualquier parte de la mina en donde sea requerida.
- Presión de aire comprimido: se cuenta con un suministro de 7[kg/cm²], suministrada por 6 compresores, y conducida por una red de distribución de aire comprimido, permite llevar a lugar de la mina el aire comprimido.
- Se cuenta con 6 tanques de almacenamiento de diésel al interior de la mina, 2 de ellos ubicados en el nivel 21, con capacidad de 2130[l] de diésel cada uno, estos contenedores están alimentados desde superficie, usados principalmente para el abastecimiento de los equipos de rezagado y perforación.

- Suministro de agua, que es utilizada en las labores de perforación, es conducida por una red de tuberías que permiten llevar dicho insumo a las frentes de trabajo.
- Aunado a los elementos antes mencionados, se cuenta con un taller de mantenimiento en el nivel 21, donde se tienen los espacios necesarios para poder dar mantenimiento de cualquier tipo a los equipos que se encuentran en esa área laborando, ya que los equipos que se pretende comprar serán colocados en el nivel 21.

2.5 Dimensiones de las obras

Tamaño de las obras, tanto de desarrollo como de desarrollo y preparación en las que se tienen equipos de perforación de tipo Jumbo, tienen las siguientes medidas: 4[m] de ancho por 3.5[m] de alto (Figura 2.2).

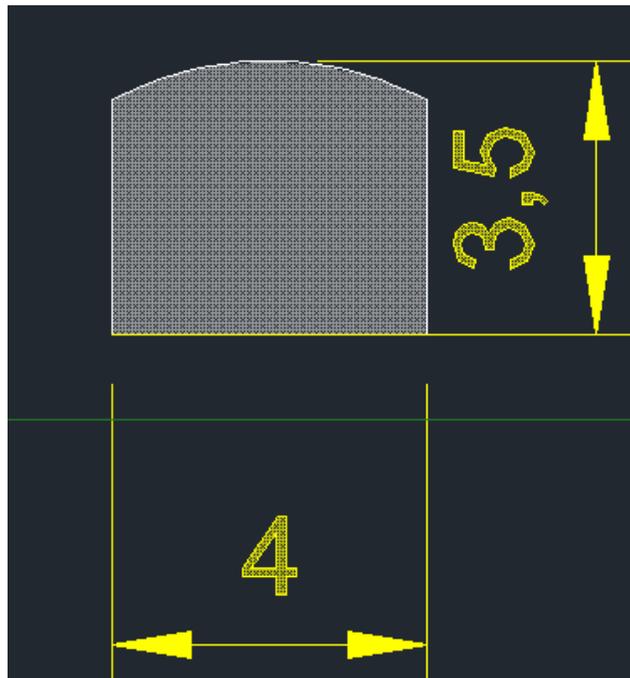


Figura 2.2 Dimensiones de las obras

Estas dimensiones son fijas y no se pueden modificar debido a cuestiones de estabilidad, de modo que los equipos a adquirir deberán tener el tamaño adecuado para caber dentro de la obra y al mismo tiempo alcanzar toda la sección de la misma sin tener la necesidad de mover el equipo.

2.6 Plantilla de barrenación

Para el presente trabajo se contempla la plantilla de barrenación actual, debido a que la empresa pretende seguir trabajando con esta ya que les ha funcionado bastante bien. Es importante el número de barrenos en la plantilla de barrenación debido a que los equipos a utilizar en el área de producción deberán ser capaces de realizar dichos barrenos a lo largo del turno con el fin de no entorpecer la operación.

El número de barrenos necesarios para voladuras de producción está conformada por 50 barrenos, los cuales forman la plantilla de barrenación (Figura 2.3).

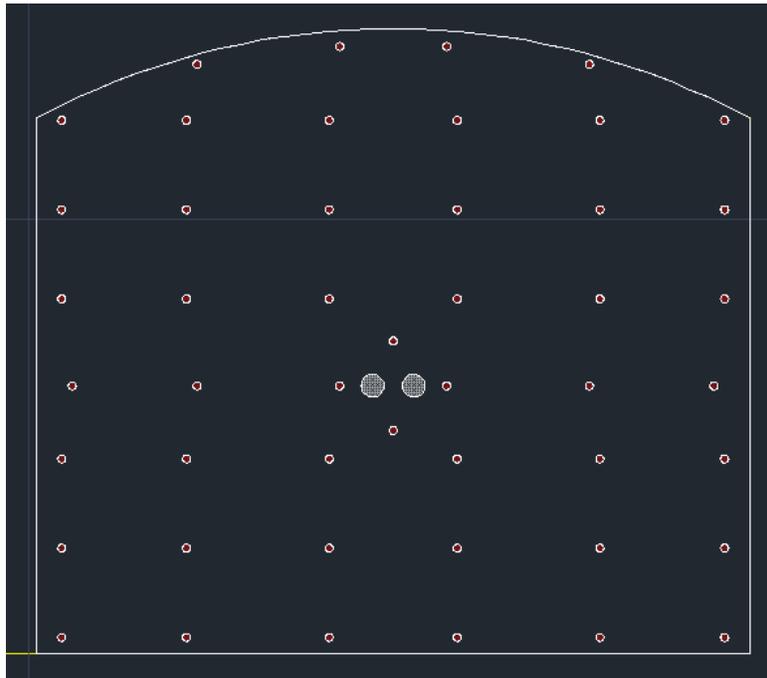


Figura 2.3 Sección frontal de la plantilla de barrenación

- Longitud y diámetro de barras de perforación, en el caso de esta unidad minera se tienen dos tipos de barras de perforación, cuyas características son las siguientes:
 - Barras de perforación para desarrollo, preparación y avance: con una longitud de 4.2 [m](14[ft])con una broca de un diámetro de 4.445[cm](1 ³/₄ [in]). Con esta barra se obtienen barrenos con una profundidad de 3.9 [m].
 - Barras de perforación para desarrollo, preparación y avance: con una longitud de 3.7 [m](12[ft])con una broca de un diámetro de 4.445[cm](1 ³/₄ [in]). Con esta barra se obtienen barrenos con una profundidad de 3.30 [m].

- Barras de perforación para colocación de anclas: con una longitud de 3.09 [m](10[ft]) y una broca con un diámetro de 3.81[cm](1 ½ [in]). Con esta barra se obtienen barrenos con una profundidad de 3.06 [m].

2.7 Sistema de minado

En el caso del minado se tiene un sistema combinado de corte y relleno con pilares debido a que en la zona se tiene un terreno altamente fracturado, dicho sistema de minado se describe a continuación (Figura 2.4).

2.7.1 Obras de desarrollo

El bloque a minar se delimita por dos niveles, habiendo entre ellos una distancia vertical de 60 m, con 2 contrapozos de nivel a nivel con 120[m] de distancia horizontal entre ellos. Además de la delimitación del bloque se cuela una rampa de acceso al bajo de la estructura con pendiente entre 12 y 15 %.

2.7.2 Obras de preparación

A partir del nivel inferior se cuela una frente principal la cual iniciará el Sill (salones de 12x12[m] y pilares de 6x6[m]) y 3.5 [m] de altura, realizando para ello una frente principal y desarrollando cruceros a cada 12 [m] siendo estos últimos perpendiculares a la frente, hasta llegar al límite de la mineralización, una vez llegado a este punto se comienza el desborde hacia los costados del mismo, dando lugar a que se configuren los pilares y los claros, con las dimensiones antes mencionadas (Figura 2.5).

A partir de la rampa de acceso al bajo que se realizó en las obras de desarrollo, se cuelean rampas descendentes con pendiente de -12 % hasta cortar el mineral, después se desborda de cabeza para sacar un segundo y tercer corte, este último acceso quede con pendiente de +12%.

2.7.3 Producción

Una vez que se tiene la rampa de acceso se comienza con la barrenación para tal fin se emplean jumbos electro-hidráulicos para barrenación de la plantilla. La barrenación se lleva a cabo horizontalmente con altura promedio de corte de 3.5 [m] con la finalidad de respetar la disposición de los pilares desde el inicio del sill. Una vez que la zona ha sido minada por completo, se procede a realizar el relleno del rebaje, para ello se utilizan dos tipos de relleno:

- Tepetate; el cual en ocasiones es obtenido de dentro de la mina y dentro del rebaje; mientras que otras puede ser obtenido de dentro de la mina pero fuera del rebaje.

- Relleno hidráulico: el cual es un residuo que se obtiene al final del proceso de concentración, el cual es bombeado desde la superficie hacia el interior de la mina.

En tipo de relleno se escoge dependiendo principalmente de la disponibilidad de uno u otro en el momento de realizar la maniobra, así como de la infraestructura necesaria, ya que en el caso del relleno hidráulico se requiere de la colocación de una red de tuberías que lleven el relleno hasta la zona donde se utilizará, mientras que en el caso del tepetate se requiere de equipos de rezagado y en ocasiones de camiones que puedan llevar el material hasta la zona donde es requerido.

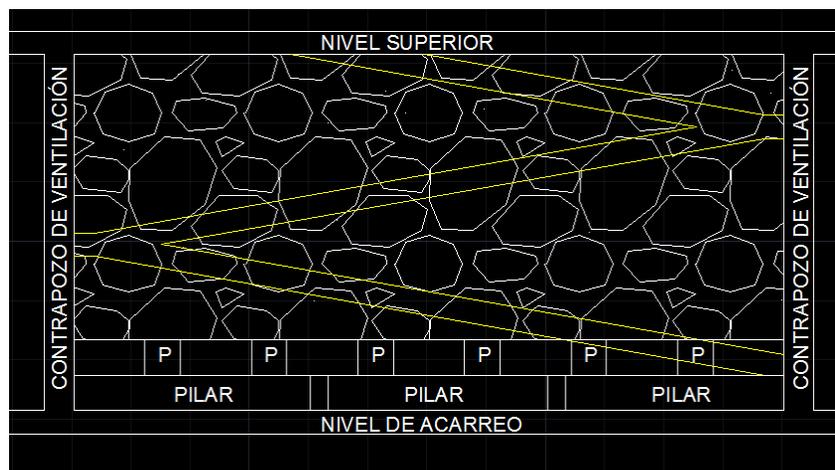


Figura 2.4 Corte y relleno con pilares

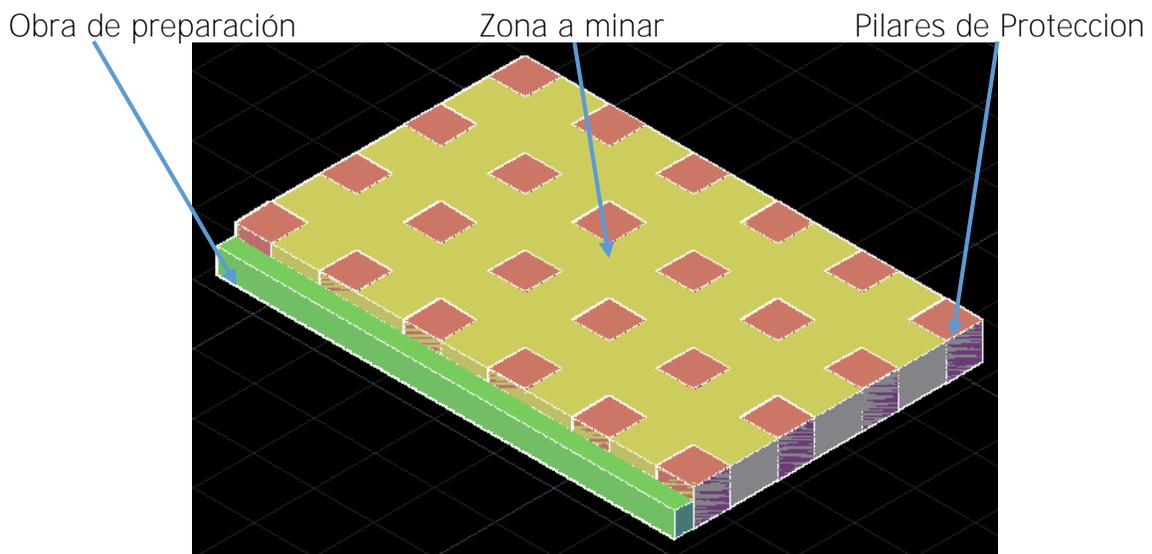


Figura 2.5 Isométrico de un corte

2.8 Ciclo operativo de la unidad Charcas

A continuación se enlistan las tareas realizadas a lo largo del ciclo de minado.

1. Amacice del área.
2. Anclaje del área.
3. Barrenación, ya sea para desarrollo, preparación o avance.
4. Cargado y voladura.
5. Rezagado.

De manera general es así como se lleva la operación en la unidad Charcas.

2.9 Ubicación de los rebajes de producción

Con base en el sistema de minado antes mencionado se tienen 2 zonas donde se realizan labores de explotación de mineral, ubicadas en el nivel 21, a 450[m] y 300[m] de una parrilla la cual cuenta con un martillo hidráulico. En dichos rebajes se tiene una producción conjunta que es de 1600[t/d]. Una vez que el material ha pasado por la parrilla llega por un contrapozo al nivel 23, donde pasa por una quebradora primaria para después ser llevado por bandas transportadoras hasta el tiro con el fin de ser manteado a superficie.

Con la ampliación de la producción en la unidad se requerirá que cada rebaje sea capaz de producir en promedio 1550[t/d].

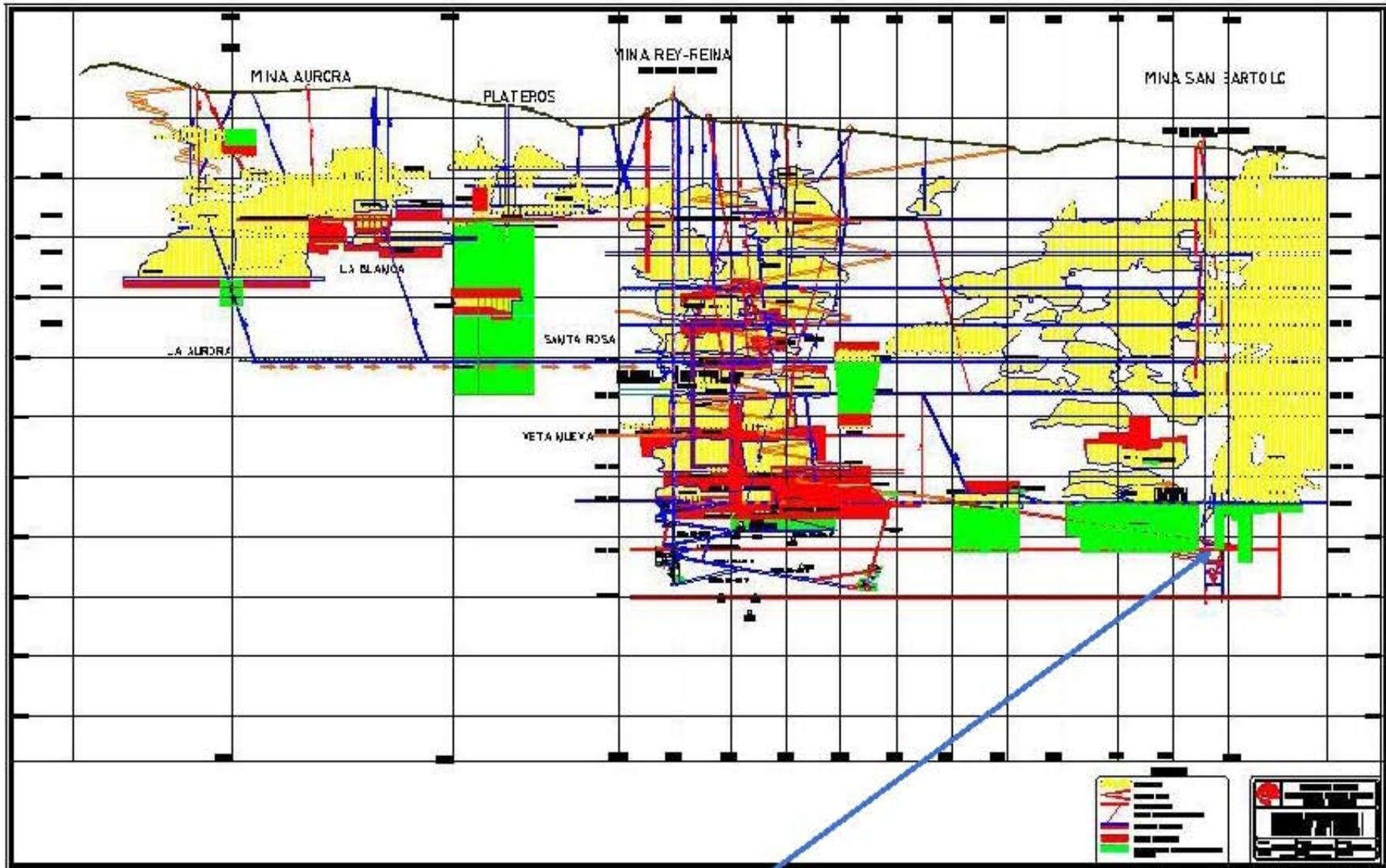


Figura 2.6 Ubicación de rebajes de producción en nivel 21

3. Justificación de cambio de equipo

A continuación se muestra una tabla con los equipos que se cuenta actualmente en la unidad y el año en que fueron adquiridos.

Tabla 3-1 Modelo de los equipos de perforación

Cantidad	Características	Año de adquisición
2	Jumbo Atlas Copco con barra de 4.2[m]	1985
2	Garden Denver con barra de 3.6[m]	1990
1	Jumbo Atlas Copco con barra de 4.2[m]	1995
1	Eimco Secoma con barra de 4.2[m]	1995
1	Jumbo Atlas Copco con barra de 4.2[m]	2003
1	Jumbo Atlas Copco(anclador)	2007

Tabla 3-2 Modelo de los equipos de rezagado

Cantidad	Características	Año de adquisición
3	Eimco Secoma con capacidad de 3.8[m ³]	1992
3	Eimco Secoma con capacidad de 3.8[m ³]	1997
3	Wagner con capacidad de 3.8[m ³]	2001

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, algunos de los equipos de la unidad exceden los 20 años de operación, esto se ha sumado a la falta de mantenimiento preventivo para generar una baja disponibilidad de los equipos, dando como resultado paros de manera imprevista.

Lo anterior ha ocasionado que la operación de producción se vea entorpecida, como consecuencia que se tienen días en los cuales no se llega a la producción estimada por la empresa.

El reemplazo de equipos de perforación y rezagado propuesto en el presente trabajo, se deriva de 3 factores principalmente:

- Mantenimiento excesivo: este se ha brindado a equipos que oscilan entre los 11 y los 28 años de servicio, que se encuentran expuestos a los factores ambientales propios de la mina tales como el polvo y la humedad, sumado al deterioro por el tiempo que han estado en operación, provocando un desgaste acumulativo.
- Reemplazo por insuficiencia: este factor es producto de la próxima ampliación en el número de toneladas que la mina será capaz de producir y procesar, ya que pasaran de 2000[t/d] que actualmente producen a 4000[t/d], esto

provoca que los equipos con los que actualmente cuenta la unidad no sean suficientes para satisfacer las necesidades de producción.

- Por obsolescencia: se debe a que en los equipos, las piezas que se debieran de utilizar para el mantenimiento han sido descontinuadas de producción, o modificadas, debido principalmente al avance tecnológico, dando como resultado se hayan tenido que cambiar piezas completas de los equipos, tal fue el caso del equipo de perforación número 13 (Jumbo Atlas Copco con barra de 4.2[m]), al cual se requirió cambiar todo el brazo de perforación así como el sistema hidráulico, debido a su antigüedad que es de 28 años.

Todos los factores antes mencionados son la razón por la cual, hoy en día se tienen equipos con un alto costo de mantenimiento (ver 3.2 Análisis de costos de operación y mantenimiento), estos se incrementan a medida que pasa el tiempo, mientras que su disponibilidad así como su eficiencia se ha visto disminuida.

Debido a ello se decide realizar un análisis de los equipos que actualmente operan en la unidad Charcas; este se realiza para saber el costo que se deriva de tener dichos equipos actualmente en operación.

3.1 Análisis por depreciación

En caso de maquinaria, equipo y otras unidades para la producción, el porcentaje de depreciación es del 10% anual (Medina y Medina, 2012). Para este análisis se utiliza la depreciación en línea recta la cual arroja los siguientes resultados:

$$\text{vida útil} = \frac{100}{\% \text{ de depreciación anual}} = \frac{100}{10} = 10[\text{años de vida útil}]$$

Esto nos da una vida útil de dichos equipos de 10 [años], antes de que su valor sea cero debido a la depreciación.

Lo anterior es correcto, aunque ello no significa que los equipos al llegar a los 10 años de servicio dejen de ser funcionales, por lo cual se realiza un análisis donde se consideran aspectos de tipo operativo, además de tener en cuenta las necesidades actuales de operación y las que se tendrán presentes en el momento que se lleve a cabo la ampliación de la producción.

3.2 Análisis de costos de operación y producción

Para este análisis se toma en cuenta el costo de continuar operando con los equipos con los que actualmente cuenta la unidad.

Tabla 3-3 Costos de mantenimiento del equipo de perforación actual ¹

Equipos de perforación	Equipos actuales
<i>Costos de mantenimiento anual por cada equipo</i>	32,450 [Dls]
<i>Número de equipos disponibles</i>	8
<i>Costos totales anuales</i>	\$259,600 [Dls]

Tabla 3-4 Costos de mantenimiento de equipo de rezagado actual ²

Equipos de rezagado	Equipos actuales
<i>Costos de operación anual por cada equipo</i>	37,500 [Dls]
<i>Número de equipos disponibles</i>	9
<i>Costos totales anuales</i>	\$337,500 [Dls]

En las tablas anteriores se muestra el costo promedio de mantener los equipos actuales solo con mantenimiento de tipo correctivo, el cual es bastante alto al compararse con los que se tendrían al realizar mantenimiento de tipo preventivo (ver capítulo 6.4 costos de mantenimiento).

Otro de los factores que se suma es la pronta ampliación en la producción de la unidad, ya que su objetivo es llegar a 4000[t/d]; con los equipos antes mencionados la unidad solo es capaz de producir 2000[t/d], es por ello que se realiza un análisis para determinar la cantidad de equipos necesarios para poder alcanzar la producción deseada, así como un plan de mantenimiento que permita garantizar la producción deseada por la empresa.

En la tabla 3-5 se muestra la distribución de los equipos que se tienen actualmente en la unidad.

Tabla 3-5 Distribución de los equipos

Cantidad	Características	Ubicación
1	Jumbo Atlas Copco con barra de 4.2[m]	Desarrollo
2	Garden Denver con barra de 3.6[m]	Rebaje 1
1	Jumbo Atlas Copco con barra de 4.2[m]	Desarrollo
1	Eimco Secoma con barra de 4.2[m]	Rebaje 2
1	Jumbo Atlas Copco con barra de 4.2[m]	Rebaje 2

¹ Datos proporcionados por el Departamento de Planeación, Unidad Charcas S.L.P., enero de 2014.

² Datos proporcionados por el Departamento de Planeación, Unidad Charcas S.L.P., enero de 2014.

4. Selección de equipo

4.1 Cálculo de equipo de perforación

Para el cálculo del equipo de perforación se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

Las condiciones actuales de la mina (mencionados en el capítulo 2).

La mineralización, la cual está compuesta en su mayoría por los siguientes minerales:

- ❖ Esfalerita café oscura, con una dureza promedio de 3.5-4.0 en escala de Mohs.
- ❖ Pirita, con una dureza promedio de 6.0-6.5 en escala de Mohs.
- ❖ Galena, con una dureza promedio de 2.5-3.0 en escala de Mohs.
- ❖ Calcopirita, con una dureza promedio de 3.5-4.0 en escala de Mohs.

Los minerales antes mencionados se encuentran en una matriz de carbonatos, con una dureza promedio de 5 en la escala de Mohs, debido a la distribución que presentan los minerales en el macizo rocoso.

En la tabla 4.1, se describe la dureza de los minerales comparada con el equipo de perforación recomendado para cada caso (EXSA, 2014)

GRADO DE DUREZA - SU INFLUENCIA EN LA PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS				
RELACIÓN ENTRE LA DUREZA DE LA ROCA, EL TIPO Y VELOCIDAD DE PERFORACIÓN				
Roca o mineral	Tipo de perforadora	Dureza Mohs	Se raya con:	Velocidad de perforación
Diamante		10,0	Diamante	Lenta
Carborundo		9,5	"	
Zafiro		9,0	"	
Crisoberilo		8,5	"	
Topacio		8,0	"	
Zirconio	De percusión	7,5	"	Lenta/media
Cuarcita		7,0	"	
Chert		6,5	Cuarzo	
Roca trapeana		6,0	"	
Magnetita		5,5	Vidrio	
Esquistos	Rotatoria	5,0	Navaja	Media
Apatito		4,5	"	
Granito		4,0	"	
Dolomita		3,5	"	
Caliza		3,0	Moneda (cobre)	
Galena	Rotatoria	2,5	"	Rápida
Potasio		2,0	Uña	
Yeso		1,5	"	
Talco		1,0	"	

La dureza de la roca, su grado de abrasividad (contenido mineral) y su estructura afectan de distinta manera a la decisión sobre la técnica de perforación a utilizar. Percusión simple: percusión/rotación; rotación con trituración; rotación con corte por rayado (botones o diamantes) etc. y de las correspondientes brocas a emplear (de bisel, en cruz, tricónica, diamantina, etc.)

Figura 4.1 Dureza y perforabilidad de macizos rocosos

En este caso y debido a las condiciones de la roca que conforma el yacimiento se opta por utilizar un equipo de rotación y percusión que pueda utilizar brocas con corte por rayado (en este caso botones).

En la Figura 4.2 se muestran las diferentes brocas de botones que se pueden utilizar dependiendo del tipo de roca que se tenga en yacimiento (Sandvik & Coromat, 2014)

TIPOS DE CARA		
ROCA	TIPO DE CARA	BENEFICIO
Semidura Homogénea	Cóncavo	 Excelente Soplado. Reduce las desviaciones.
Semidura Dura	Cara Plana	 Apto para terrenos Fracturados.
Muy Dura	Domo	 Máxima protección a Botones periféricos.
Muy Dura y Abrasiva	Domo Doble Calibre	 Máxima protección a Botones periféricos.

Figura 4.2 Tipos de brocas de barrenación

Para el tipo de yacimiento que se está explotando en la unidad Charcas, se decide recomendar una broca de tipo cara plana, ya que es la que mejor se adapta a las necesidades de la explotación.

En el cálculo de los equipos de perforación se pretende estandarizar el tamaño de las barras de perforación, con ello se busca tener un solo tamaño de barras que será de 4.95 [m](16[ft]) de longitud con una broca de un diámetro de 4.445[cm](1 ¾ [in]). A partir del dato anterior, se realiza el cálculo del material que es removido a partir de una voladura, con una eficiencia del 90%.

Con la información anterior se calcula el volumen que se obtendrá de una voladura, dicho modelo será representado en la figura 4.3, con 4[m] de ancho, 4.3 [m] de largo y 3.5 [m] de altura. Obteniendo el volumen de las dimensiones antes mencionadas, se obtiene la cantidad de material removido que es de 57.4 [m³] de mineral.

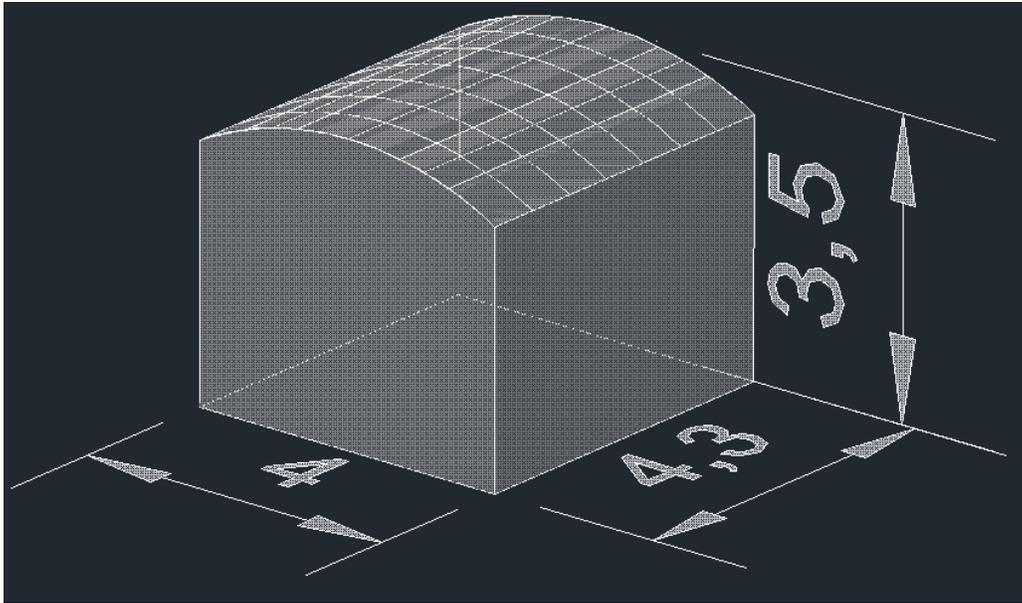


Figura 4.3 Volumen de voladura

Con base en el volumen obtenido, y con la densidad promedio del mineral que es de 3 [t/m³], se obtiene el tonelaje obtenido por cada voladura que es:

$$(57.4[m^3]) \left(3 \left[\frac{t}{m^3} \right] \right) = 172.2[t]$$

Eficiencia de los operadores: es uno de los puntos más importantes, debido a que a medida que los operadores sean más diestros en el manejo del equipo serán capaces de generar un mayor número de barrenos, sin que esto conlleve un excesivo desgaste de dicho equipo, para este rubro se toman datos de campo en donde un operador con suficiente experiencia y destreza es capaz de realizar de 90 a 120[barrenos/turno].

Tonelaje a producir: en estos momentos la producción es de 1600[t/d] de manera conjunta en los 2 rebajes, y se requiere elevar a 3100[t/d], es decir, en esta zona se tendrán que tumbar 1500[t/d] adicionales a lo que se extrae en la actualidad.

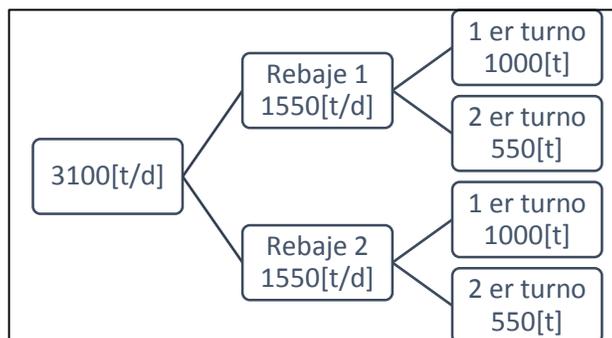


Figura 4.4 Tonelaje a producir propuesto

En el caso de las zonas de producción se tiene lo siguiente:

- Numero de barrenos por plantilla de barrenación= 50.
- Numero de barrenos para anclaje=16 (solo se ancla el cielo).

Para los cálculos realizados, se toma en cuenta que se requiere que el equipo nuevo sea capaz de barrenar en dos zonas diferentes a lo largo de un turno, se toma en cuenta el número de barrenos necesarios para la plantilla de barrenación así como para el anclaje, como resultado, se requiere que un solo equipos se capaz de realizar 132[barrenos/turno], bajo estas consideraciones se realiza el siguiente cálculo:

- ❖ Número de barrenos necesarios para las dos plantillas de barrenación=100[barrenos/turno]

$$(100[\text{barrenos}]) \left(4.3 \left[\frac{\text{metros}}{\text{barreno}} \right] \right) = 470[\text{metros por barrenar}]$$

- ❖ Número de barrenos necesarios para anclas= 32[barrenos/turno]

$$(32[\text{barrenos}]) \left(3.09 \left[\frac{\text{metros}}{\text{barreno}} \right] \right) = 100[\text{metros por barrenar}]$$

- ❖ Eficiencia operacional=42 [min/hora] (70%)

$$(8[\text{horas}]) \left(42 \left[\frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \right] \right) = 336 \left[\frac{\text{minutos efectivos}}{\text{turno}} \right]$$

Se consideran solo 42 [min/hora] efectiva de perforación debido a los tiempos de servicio que se tendrán como el cambio entre barrenos, el cambio del equipo entre rebajes, el arribo y salida de los operadores de la zona de trabajo, así como el tiempo de comida y aseo personal.

- ❖ Velocidad necesaria de perforación= $\frac{\text{metros efectivos por barrenar}}{\text{minutos efectivos por turno}}$

$$\text{velocidad} = \frac{570 \left[\frac{\text{metros}}{\text{turno}} \right]}{336 \left[\frac{\text{minutos}}{\text{turno}} \right]} = 1.7 \left[\frac{\text{metros}}{\text{minuto}} \right]$$

Se obtiene que para realizar los 132 barrenos a lo largo del turno se requiere de un equipo que sea capaz de perforar a razón de 1.7 [metros/min], con este ritmo de perforación el equipo será capaz de producir 344[t] en un turno por cada equipo nuevo.

Dado que es prácticamente imposible realizar la sustitución de todos los equipos antiguos por equipos nuevos, se realiza un análisis de la capacidad de producción del equipo actual, para saber la capacidad de producción real de la unidad, y con ello poder definir con certeza la cantidad de equipos nuevos se requieren para alcanzar la producción deseada.

4.1.1 Análisis de capacidad de producción actual

El siguiente análisis se basa en la capacidad de producción de los equipos actuales debido a que la sustitución se realizará de manera paulatina, siendo los equipos más antiguos los que serán reemplazados primero, siendo estos los equipos Atlas Copco adquiridos en el año 1985.

Considerando que se requieren:

- 50 barrenos para plantilla de barrenación
- 16 barrenos para anclaje.

1. Equipo de perforación Garden Denver

Para el cálculo de estos equipos se consideran barras que será de 3.6 [m](12[ft]) de longitud con una broca de un diámetro de 4.445[cm](1 ¾ [in]). A partir del dato anterior, se realiza el cálculo el volumen de material que es removido a partir de una voladura, con una eficiencia del 90% (figura 4.5).

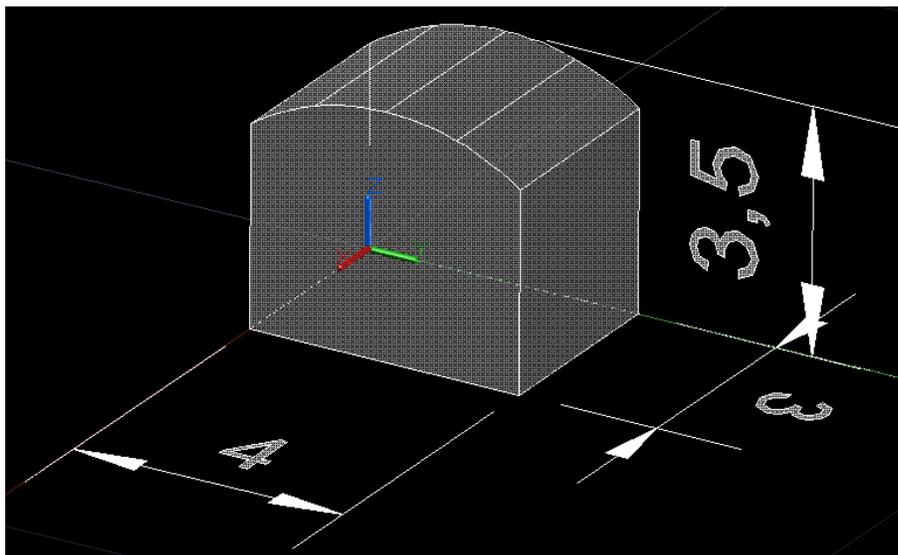


Figura 4.5 Volumen de voladura equipo Garden Denver

Con base en el área de la sección portal que es de 13.2 [m²], multiplicado por la longitud del corte que es de 3[m], se obtiene un volumen de 39.6 [m³], a este se le afecta con la densidad promedio del mineral que es de 3 [t/m³], se obtiene el tonelaje obtenido por cada voladura que es:

$$(39.6[m^3]) \left(3 \left[\frac{t}{m^3} \right] \right) = 118.8[t]$$

2. Equipo de perforación Atlas Copco y Eimco Secoma

Para el cálculo de estos equipos se consideran barras que será de 4.2 [m](14[ft]) de longitud con una broca de un diámetro de 4.445[cm](1 ¾ [in]). A partir del dato anterior, se realiza el cálculo del material que es removido a partir de una voladura, con una eficiencia del 90%.

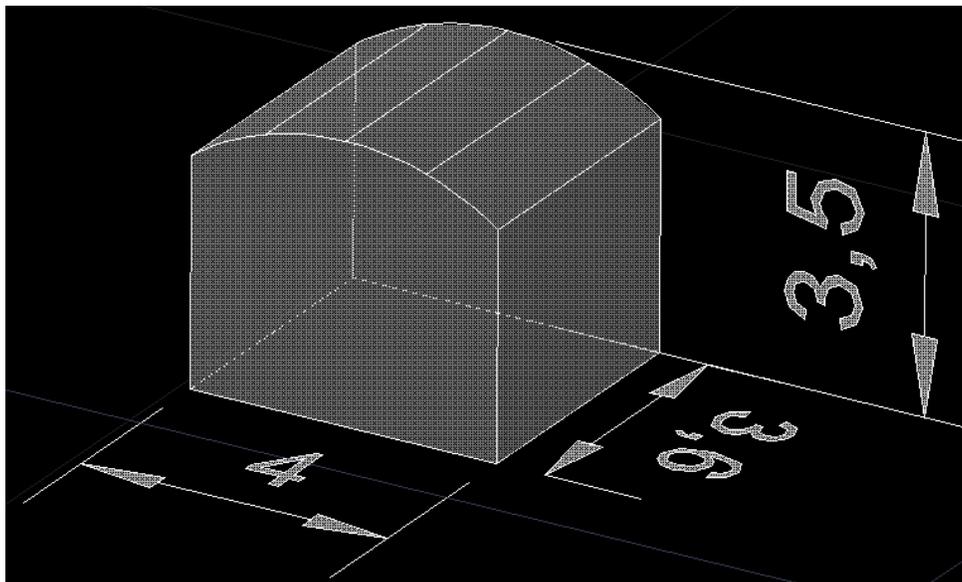


Figura 4.6 Volumen de voladura equipos Atlas y Secoma

Con base en el área de la sección portal que es de 13.2 [m²], multiplicado por la longitud del corte que es de 3.6 [m], se obtiene un volumen de 47.50 [m³], a este se le afecta con la densidad promedio del mineral que es de 3 [t/m³], se obtiene el tonelaje obtenido por cada voladura que es:

$$(47.50[m^3]) \left(3 \left[\frac{t}{m^3} \right] \right) = 142.5[t]$$

De los equipos que se tienen actualmente en la unidad los equipos Garden Denver son los que cuentan con la capacidad de producción más limitada, es por ello que estos equipos serán destinados para obras de desarrollo y preparación; mientras que los equipos de mayor producción que son Atlas Copco y Eimco Secoma se utilizarán en las tareas de producción.

Partiendo de la consideración que cada equipo será capaz de barrenar en dos lugares distintos a lo largo de un turno se tendrá lo siguiente.

Tabla 4-1 Capacidad de producción actual

Cantidad	Características de equipo	Capacidad de producción
1	Atlas Copco con barra de 4.2[m]	285[ton/turno]
1	Atlas Copco con barra de 4.2[m]	285[ton/turno]
1	Eimco Secoma con barra de 4.2[m]	285[ton/turno]

4.1.2 Distribución de los equipos de perforación

Teniendo en cuenta la cantidad de mineral que será necesario tumbar por turno, sumado a la cantidad de mineral que se es capaz de tumbar con los equipos que actualmente se tienen en la unidad, se recomienda comprar tres equipos nuevos, basados en la cantidad de mineral que será posible obtener en cada voladura con los equipos nuevos.

Los equipos nuevos sumados a los ya presentes en la operación, permiten llegar a la producción deseada bajo el siguiente esquema de operación, que es el que más se aproxima a la producción planeada por turno.

Rebaje I

Tabla 4-2 Distribución de equipos en primer turno

Cantidad	Características de equipo	Condiciones del equipo	Capacidad de producción
1	Equipo con barra de 4.9[m]	Nuevo	344[ton/turno]
1	Atlas Copco con barra de 4.2[m]	Presente en la unidad	285[ton/turno]
1	Atlas Copco con barra de 4.2[m]	Presente en la unidad	285[ton/turno]
Total			914[ton/turno]

Tabla 4-3 Distribución de equipos en segundo turno

Cantidad	Características de equipo	Condiciones del equipo	Capacidad de producción
1	Equipo con barra de 4.9[m]	Nuevo	344[ton/turno]
1	Atlas Copco con barra de 4.2[m]	Presente en la unidad	285[ton/turno]
Total			629[ton/turno]

Del rebaje I se obtiene un total de 1543[t/d].

Rebaje II

Tabla 4-4 Distribución de equipo primer turno

Cantidad	Características de equipo	Condiciones del equipo	Capacidad de producción
2	Equipo con barra de 4.9[m]	Nuevo	688[ton/turno]
1	Eimco con barra de 4.2[m]	Presente en la unidad	285[ton/turno]
Total			973[ton/turno]

Tabla 4-5 Distribución de equipo segundo turno

Cantidad	Características de equipo	Condiciones del equipo	Capacidad de producción
1	Equipo con barra de 4.9[m]	Nuevo	344[ton/turno]
1	Eimco con barra de 4.2[m]	Presente en la unidad	285[ton/turno]
Total			629[ton/turno]

Del rebaje II se obtiene un total de 1602[t/d].

Con los 3 equipos de perforación propuestos y los 3 equipos existentes en la unidad, se tendrá una capacidad de producción de 3145[t/d], que es muy cercana a las 3100[t/d] que se requieren producir de dichos rebajes.

El tonelaje restante para llegar a las 4000[t/d], corresponderá al mineral que se tumbara con máquina de pierna, es decir 900[t/d]. Cabe mencionar que el presente trabajo no contempla el reemplazo del equipo de pierna neumática debido a que los alcances del presente trabajo solo se limitan a los equipos electrohidráulicos.

Para la selección de la marca comercial del equipo, se tomaron en cuenta las necesidades de producción, así como las cuestiones de tipo operativa como consumo de energía, dimensiones, longitud de perforación, además de cuestiones de tipo económicas y administrativas como costo del equipo, tiempo de entrega y disponibilidad de refacciones.

A partir de las condiciones antes mencionadas, se realizó la búsqueda de los equipos más idóneos que se encontraran al alcance del mercado mexicano, siendo los más adecuados los que se presentan a continuación.

4.1.3 Equipo de perforación disponible en el mercado mexicano

- Jumbo Modelo: BOOMER L1 C-DH
Proveedor: Atlas-Copco



Figura 4.7 Jumbo BOOMER L1 C-DH

Es un Jumbo capaz de operar de manera eficiente con los servicios que actualmente cuenta la mina, además de ser capaz de cubrir las necesidades operativas que se tienen en la unidad.

Una de las cuestiones que más se tomó en cuenta para la realización de las comparativas en el presente trabajo, fue el costo, tiempo de entrega y disponibilidad de refacciones para dichos equipos, en este caso se tiene lo siguiente:

- Costo: \$904,800 [DIs] (IVA incluido de 16%) para cubrir las necesidades que se tienen en la Mina se requerirá de la compra de 3 equipos de este tipo con una inversión de \$2,714,400 [DIs].
- Tiempo de entrega: se tiene un tiempo de entrega de 7[meses], directamente en la unidad Minera.
- Refacciones: para el caso de las refacciones, la empresa cuenta con un Stock de todas las partes de dicho equipo, que se encuentra ubicado en Calera de V.R. en Zacatecas.
- Capacitación: en este rubro la empresa Atlas-Copco ofrece a sus consumidores es la capacitación del personal, en este caso se ofrece una semana de capacitación para los operarios de dichos equipos, además de asistencia periódica a la unidad Minera.
- Garantía: se ofrece una garantía de 6 [meses] o 2000[horas] de operación, lo que ocurra primero y cubre defectos de materiales, mano de obra y diseño,

siempre y cuando los productos sean utilizados para el propósito para el que fueron diseñados, y si los productos son utilizados y operados, recibiendo un mantenimiento de acuerdo con el manual de instrucciones de Atlas Copco.

- Jumbo Modelo: DD311-40C
Proveedor: Sandvik



Figura 4.8 Jumbo DD311-40C

Este Jumbo al igual que el anterior, es capaz de operar de manera eficiente con los servicios que actualmente cuenta la mina, además de ser capaz de cubrir las necesidades operativas que se tienen en la unidad.

Una vez más se toma en cuenta el costo, tiempo de entrega y disponibilidad de refacciones para dichos equipos, en este caso se tiene lo siguiente:

- Costo: \$892,000 [DIs] (IVA incluido de 16%) para cubrir las necesidades que se tienen en la Mina se requeriría de la compra de 3 equipos de este tipo con una inversión de \$2,676,000 [DIs].
- Tiempo de entrega: se tiene un tiempo de entrega de 8 [meses], directamente en la unidad Minera.
- Refacciones: para el caso de las refacciones, la empresa cuenta con un stock de todas las partes de dicho equipo, que se encuentra ubicado en San Antonio No. 2342 Col. Lomas de San Francisco Monterrey N.L.
- Capacitación: Otro de los servicios que ofrece la empresa Sandvik a sus consumidores es la capacitación del personal, en este caso se ofrece una semana de capacitación para los operarios de dichos equipos, además de asistencia periódica a la unidad Minera.

- Garantía: se ofrece una garantía de 6 [meses] o 2000[horas] de operación, lo que ocurra primero y cubre defectos de materiales, mano de obra y diseño, siempre y cuando los productos sean utilizados para el propósito para el que fueron diseñados, y si los productos son utilizados y operados, recibiendo un mantenimiento de acuerdo con el manual de instrucciones de Sandvik.

4.1.4 Comparación técnica

Además de las consideraciones antes mencionadas se realizó una comparativa de los dos equipos en cuestión, para determinar cuál será el más adecuado para la operación, dicha comparativa solo toma en cuenta los aspectos técnicos de los equipos, siendo presentadas en las siguientes tablas:

Tabla 4-6 Dimensiones de los equipos

<i>Dimensiones</i>	<i>Atlas Copco</i>	<i>Sandvik</i>
Ancho	2.245[m]	1.875[m]
Altura con cabina	3.044[m]	2.920[m]
Largo con brazo de perforación	14.232[m]	13.020[m]

Tabla 4-7 Características de brazo de perforación

<i>Brazo del equipo</i>	<i>Atlas Copco</i>	<i>Sandvick</i>
Largo total	6.50[m]	6.49[m]
Largo de barra de perforación	4.92[m]	4.92[m]
Profundidad del barreno	4.67[m]	4.66[m]

Tabla 4-8 Características para elemento de perforación

<i>Motor de rotación/percusión</i>	<i>Atlas Copco</i>	<i>Sandvick</i>
Potencia de percusión	22[kW]	20[kW]
Presión de percusión	250[bar]	220[bar]
Tasa de percusión	73[Hz]	67[Hz]
Velocidad de rotación	340[rpm]	250[rpm]
Torque	640-1000[Nm]	400[Nm]
Consumo de aire	300[l/min]	250-350[l/min]
Diámetro de barreno min	45[mm]	45[mm]
Peso	170[kg]	210[kg]

Tabla 4-9 Características adicionales

Otros equipamientos	Atlas Copco	Sandvik
Frenos de servicio	Sistema de frenado en 2 circuitos separados	Sistema de frenado en 2 circuitos separados
Frenos de emergencia y estacionamiento	Sistema de frenos de resorte hidráulicamente asistidos	Sistema de discos múltiples inmersos en aceite hidráulico
Velocidad de desplazamiento en plano	14[k/h]	12[k/h]
Velocidad de desplazamiento con una inclinación de 12%	6[k/h]	5[k/h]
Capacidad del tanque de combustible	80[l]	400[l]
Ruido al interior de la cabina en operación	80[dB]	80[dB]
Peso total del equipo	15500[kg]	22000[kg]

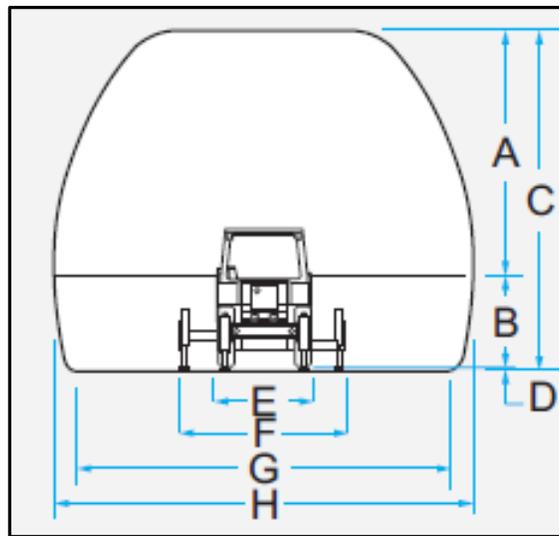


Figura 4.9 Dimensiones de equipo

Tabla 4-10 Dimensiones del equipo en condiciones de operación

Modelo	Unidades	A	B	C	D	E	F	G	H
BOOMER L1 C-DH	[m]	6.317	1.956	8.273	0.400	1.312	2.543	9.555	10.131
DD311-40C	[m]	3.990	1.590	5.830	0.250	1.875	3.070	6.860	7.210

4.1.5 Selección del equipo de perforación

Con base en los elementos considerados anteriormente se toma la decisión de proponer la compra del *Jumbo BOOMER L1 C-DH de Atlas Copco*, con base en los siguientes factores:

- El equipo seleccionado presenta características técnicas superiores a las del equipo DD311-40C de Sandvik, como una mayor potencia, mayor área de cobertura, el peso del equipo es menor.
- Un factor de gran importancia para la selección de dicho equipo es el mantenimiento, ya que ambos proveedores garantizan tener en su stock de piezas, todos los insumos necesarios, pero debido a la mayor cercanía del stock de Atlas Copco ubicado en Zacatecas, se consideró esta opción ya que en comparación con su competidor Sandvik, este tiene su stock de piezas en Monterrey, dicha ciudad se encuentra más alejada.
- Tiempo de entrega que en el caso de Atlas Copco es menor por un mes en comparación con Sandvik.
- La garantía también jugó un papel importante en el proceso de selección ya que Atlas Copco ofrece una garantía más amplia en comparación con su competidor.

4.2 Cálculo del equipo de rezagado

Se consideran dos cálculos debido a que se tienen dos rebajes, además de lo anterior se propone realizar la sustitución de los equipos más antiguos (Eimco Secoma, adquiridos en 1991) y por último de los equipos restantes, se enviarán 2 para realizar labores de rezagado en las obras de desarrollo y preparación.

Rebaje I

La entrada del rebaje I se encuentra ubicado a 450[m] de la parrilla que comunica al nivel 21 con el nivel 23, después de la entrada del rebaje se tiene una rampa de 25[m] con una pendiente de -12%. Cabe mencionar que los caminos se encuentran medianamente aplanillados con material estéril.

Para el cálculo del equipo de rezagado se parte de la producción que se requiere mover del rebaje I que es de 1543[t/d], de las cuales 914[t] se tumbarán en el primer turno y 629[t] en el segundo turno, utilizando para ello se utilizará equipo de bajo perfil conocido como LHD (por sus siglas en inglés Load Haul Dump).

Considerando una velocidad promedio de 10[km/h] en zona recta y con 6[km/h] en zonas de pendiente se tienen los siguientes tiempos que conforman en ciclo:

- Tiempo de acomodo del equipo=12[s]
- Tiempo para cargar el cucharón=5.0 [s]
- Tiempo de traslado(recto)_{ida}=162[s]
- Tiempo de traslado(pendiente)_{ida}=15[s]
- Tiempo para inclinar el cucharón=2.0 [s]
- Tiempo para bajar el cucharón=2.3 [s]
- Tiempo de traslado(recta)_{vuelta}=162[s]
- Tiempo de traslado(pendiente)_{vuelta}=15[s]

Tiempo total del ciclo=375.3 [s]=6.255[*min*]

Después se procede a calcular los ciclos teóricos por hora:

$$\begin{aligned} \text{tiempo de ciclo} &= 6.225 \text{ [min]} \\ \frac{60[\text{min}]}{6.255[\text{min/ciclo}]} &= 9.59[\text{ciclos}] \end{aligned}$$

Se toman en cuenta los siguientes parámetros:

Habilidad del operador= 90%(0.90)

Disponibilidad del equipo=80%(0.80)

Eficiencia operacional=42[*min*] (70%)

$$\text{ciclos} \frac{\text{efectivos}}{\text{hora}} = 9.59(0.90)(0.80)(0.70) = 4.83 \text{ [ciclos/hora]}$$

Considerando que se tiene un turno de 8[horas]:

$$\left(4.83 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}\right]\right) \left(8 \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}}\right]\right) = 38.67 \approx 38 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{turno}}\right]$$

Actualmente se tienen equipos con una capacidad de 3.8 [m³], por lo que se procede a calcular la cantidad de material que se puede mover con dichos equipos.

- Facto de sobrellenado del cucharón de 10%:

$$3.8[\text{m}^3](1.10) = 4.18[\text{m}^3]$$

- Factor de abudamiento del 25%:

$$4.18[m^3](0.75) = 3.135[m^3]$$

- Se considera además un factor se seguridad del 10%

$$3.135[m^3](0.90) = 2.82[m^3]$$

De modo que la capacidad real de carga del equipo será de:

$$2.82[m^3] \left(3 \left[\frac{t}{m^3} \right] \right) = 8.46 \left[\frac{t}{ciclo} \right]$$

Considerando 38 ciclos por turno, se tiene:

$$\left(8.46 \left[\frac{t}{ciclo} \right] \right) \left(38 \left[\frac{ciclos}{turno} \right] \right) = 321.48 \left[\frac{t}{turno} \right]$$

Rebaje II

La entrada del rebaje II se encuentra ubicada a 300[m] de la parrilla que comunica al nivel 21 con el nivel 23, después de la entrada del rebaje se tiene una rampa de 35[m] con una pendiente de -12%. Cabe mencionar que los caminos se encuentran medianamente aplanillados con material estéril.

Para el cálculo del equipo de rezagado se parte de la producción que se requiere mover que es de 1602[t/d], de las cuales 973[t] se tumbarán en el primer turno y 629[t] en el segundo turno, utilizando para ello se utilizará equipo de bajo perfil conocido como LHD (por sus siglas en ingles Load Haul Dump).

Considerando una velocidad promedio de 10[km/h] en zona recta y con 6[km/h] en zonas de pendiente se tienen los siguientes tiempos que conforman en ciclo:

- Tiempo de acomodo del equipo=12[s]
- Tiempo para cargar el cucharón=5.0 [s]
- Tiempo de traslado(recto)_{ida}=108[s]
- Tiempo de traslado(pendiente)_{ida}=21[s]
- Tiempo para inclinar el cucharón=2.0 [s]
- Tiempo para bajar el cucharón=2.3 [s]
- Tiempo de traslado(recta)_{vuelta}=108[s]
- Tiempo de traslado(pendiente)_{vuelta}=21[s]

Tiempo total del ciclo=279.3 [s]=4.655 [min]

Después se procede a calcular los ciclos teóricos por hora:

$$\text{tiempo de ciclo} = 4.655 \text{ [min]}$$

$$\frac{60[\text{min}]}{4.655\left[\frac{\text{min}}{\text{ciclo}}\right]} = 12.88[\text{ciclos}]$$

Se toman en cuenta los siguientes parámetros:

Habilidad del operador= 90%(0.90)

Disponibilidad del equipo=80%(0.80)

Eficiencia operacional=45[min] (70%)

$$\text{ciclos} \frac{\text{efectivos}}{\text{hora}} = 12.88(0.90)(0.80)(0.70) = 6.49 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}\right]$$

Considerando que se tiene 8 [h/turno]:

$$\left(6.49 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{hora}}\right]\right) \left(8 \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}}\right]\right) = 51.96 \approx 51 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{turno}}\right]$$

Actualmente se tienen equipos con una capacidad de 3.8 [m³], por lo que se procede a calcular la cantidad de material que se puede mover con dichos equipos.

- Facto de sobrellenado del cucharón de 10%:

$$3.8[\text{m}^3](1.10) = 4.18[\text{m}^3]$$

- Factor de abundamiento del 25%:

$$4.18[\text{m}^3](0.75) = 3.135[\text{m}^3]$$

- Se considera además un factor de seguridad del 10%:

$$3.135[\text{m}^3](0.90) = 2.82[\text{m}^3]$$

De modo que la capacidad real de carga del equipo de rezagado será de:

$$2.82[\text{m}^3] \left(3 \left[\frac{\text{t}}{\text{m}^3}\right]\right) = 8.46 \left[\frac{\text{t}}{\text{ciclo}}\right]$$

Considerando 51 ciclos por turno, se tiene lo siguiente:

$$\left(8.46 \left[\frac{t}{\text{ciclo}}\right]\right) \left(51 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{turno}}\right]\right) = 431.46 \left[\frac{t}{\text{turno}}\right]$$

4.2.1 Cálculo del equipo de rezagado requerido

Se comienza con un equipo propuesto cuya capacidad es de 2.4 [m³], a partir de este se calcula la capacidad de rezagado para el rebaje II.

- Facto de sobrellenado del cucharón: 10%

$$2.4[m^3](1.10) = 2.64[m^3]$$

- Factor de abundamiento del 25%:

$$2.64[m^3](0.75) = 1.98[m^3]$$

- Se considera además un factor de seguridad del 10%

$$1.98[m^3](0.90) = 1.78[m^3]$$

De modo que la capacidad real de carga del equipo será de:

$$1.78[m^3] \left(3 \left[\frac{t}{m^3}\right]\right) = 5.34 \left[\frac{t}{\text{ciclo}}\right]$$

Además de lo anterior se calcula el número de ciclos que será capaz de realizar, considerando que estará trabajando en el rebaje II.

Considerando una velocidad promedio de 10[km/h] en zona recta y con 6[km/h] en zonas de pendiente se tienen los siguientes tiempos que conforman en ciclo:

- Tiempo de acomodo del equipo=11.0[s]
- Tiempo para cargar el cucharón=5.0[s]
- Tiempo de traslado(recto)_{ida}=108[s]
- Tiempo de traslado(pendiente)_{ida}=21[s]
- Tiempo para inclinar el cucharón=2.0 [s]
- Tiempo para bajar el cucharón=2.3 [s]
- Tiempo de traslado(recta)_{vuelta}=108[s]
- Tiempo de traslado(pendiente)_{vuelta}=21[s]

Tiempo total del ciclo=278.3 [s]=4.638[*min*]

Se procede a calcular los ciclos teóricos por hora:

$$\text{tiempo de ciclo} = 4.638 \text{ [min]}$$

$$\frac{60[\text{min}]}{4.46[\text{min}/\text{ciclo}]} = 12.93[\text{ciclos}]$$

Se toman en cuenta los siguientes parámetros:

Habilidad del operador= 90%(0.90)

Disponibilidad del equipo=90%(0.90)

Eficiencia operacional=42[min] (70%)

$$\text{ciclos} \frac{\text{efectivos}}{\text{hora}} = 12.93(0.90)(0.95)(0.70) = 7.334 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} \right]$$

Considerando que se tienen turnos de 8[h/turno]

$$\left(7.334 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{hora}} \right] \right) \left(8 \left[\frac{\text{horas}}{\text{turno}} \right] \right) = 58.67 \approx 58 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{turno}} \right]$$

Teniendo en cuenta que en cada ciclo es capaz de transportar 5.34 [t/ciclo]

$$\left(58 \left[\frac{\text{ciclos}}{\text{turno}} \right] \right) \left(5.34 \left[\frac{\text{t}}{\text{ciclo}} \right] \right) = 309.72 \left[\frac{\text{ton}}{\text{turno}} \right]$$

4.2.2 Distribución de equipos de rezagado en la unidad

Considerando que se cuenta con cuatro equipos disponibles para rezagado de mineral en el área de producción, se propone que tres de estos sean utilizados para el transporte de mineral del rebaje I, el equipo restante se utilizara para el rezagado del rebaje II junto con 2 equipos nuevos.

Rebaje I

- Primer turno con producción de 914[t]

Tabla 4-11 Distribución de equipo en el segundo turno

Cantidad	Características del equipo	Capacidad de rezagado
3	Eimco Secoma con capacidad de 3.8[m ³]	986.25[ton/turno]

- Segundo turno con producción de 629[t]

Tabla 4-12 Distribución de equipo en tercer turno

Cantidad	Características del equipo	Capacidad de rezagado
2	Eimco Secoma con capacidad de 3.8[m ³]	657.5[ton/turno]

De las tablas anteriores se observa que la cantidad de equipos de rezagado ubicada en el rebaje I es capaz de mover el material tumbado a lo largo del turno anterior.

Rebaje II

- Primer turno con producción de 973[t]

Tabla 4-13 Distribución de equipo en segundo turno

Cantidad	Características de equipo	Capacidad de rezagado
1	Eimco Secoma con capacidad de 3.8[m ³]	431.46[ton/turno]
2	Equipos nuevos con capacidad de 2.4[m ³]	619.44[ton/turno]
Total		1050.88[ton/turno]

- **Segundo turno** con producción de 629[t]

Tabla 4-14 Distribución de equipo en tercer turno

Cantidad	Características de equipo	Capacidad de rezagado
1	Eimco Secoma con capacidad de 3.8[m ³]	435.93[ton/turno]
1	Equipo nuevo con capacidad de 2.4[m ³]	309.72[ton/turno]
Total		745.65[ton/turno]

De las tablas anteriores se observa que la cantidad de equipos ubicada en el rebaje dos es capaz de mover el material tumbado a lo largo del turno anterior.

Con las consideraciones mencionadas en el punto 4.2.3 *Calculo de equipo de rezagado requerido* se realizó la búsqueda del equipo más adecuado, siendo los equipos siguientes los que mejor se adecuan a las necesidades de la operación.

4.2.3 Equipo de rezagado disponible en el mercado mexicano

- Equipo modelo: R1300G
Proveedor: Caterpillar

Este equipo es capaz de cubrir las necesidades operativas de la mina, además de ser el más idóneo para el tamaño de las obras así como de altura de cucharón para el llenado de camiones, en caso de que se requiera.



Figura 4.10 Jumbo R1300G

- Inversión: \$754,000 [Dls] (IVA incluido de 16%) para cubrir las necesidades que se tienen en la Mina se requerirá de la compra de 2 equipos de este tipo con un costo de \$1,508,000 [Dls].
- Tiempo de entrega: se tiene un tiempo de entrega de 5[meses], directamente en la unidad Minera.
- Refacciones: para el caso de las refacciones, la empresa cuenta con un stock de todas las partes de dicho equipo, que se encuentra ubicado en la Ciudad de San Luis Potosí.
- Capacitación: Otro de los servicios que ofrece la empresa Caterpillar a sus consumidores es la capacitación del personal, en este caso se ofrece una semana de capacitación para los operarios de dichos equipos, además de asistencia periódica a la unidad Minera.
- Garantía: se nos ofrece una garantía de 8 [meses] o 2500[horas] de operación, lo que ocurra primero y cubre defectos de materiales, mano de obra y diseño, siempre y cuando los productos sean utilizados para el propósito para el que fueron diseñados, y si los productos son utilizados y

operados, recibiendo un mantenimiento de acuerdo con el manual de instrucciones de Caterpillar.

- Equipo Modelo: LH307
Proveedor: Sandvik

Este equipo, al igual que el mostrado anteriormente, es capaz de cubrir las necesidades operativas de la mina, además de ser el más idóneo para el tamaño de las obras así como de altura de cucharón para el llenado de camiones, en caso de que se requiera.



Figura 4.11 Jumbo LH307

- Inversión: \$768,000 [Dls] (IVA incluido de 16%) para cubrir las necesidades que se tienen en la mina se requerirá de la compra de 2 equipos de este tipo con un costo de \$1,536,000 [Dls].
- Tiempo de entrega: se tiene un tiempo de entrega de 8 [meses], directamente en la unidad minera.
- Refacciones: para el caso de las refacciones, la empresa cuenta con un stock de todas las partes de dicho equipo, que se encuentra ubicado en San Antonio No. 2342 Col. Lomas de San Francisco Monterrey N.L.
- Capacitación: Otro de los servicios que ofrece la empresa Sandvik a sus consumidores es la capacitación del personal, en este caso se ofrece una semana de capacitación para los operarios de dichos equipos, además de asistencia periódica a la unidad minera.

- Garantía: se ofrece una garantía de 8 [meses] o 2000[horas] de operación, lo que ocurra primero y cubre defectos de materiales, mano de obra y diseño, siempre y cuando los productos sean utilizados para el propósito para el que fueron diseñados, y si los productos son utilizados y operados, recibiendo un mantenimiento de acuerdo con el manual de instrucciones de Sandvik.

4.2.4 Análisis de tamaño de cucharones

Se realizó un análisis de tamaños de cucharones disponibles para los equipos seleccionados, siendo el de 2.4 [m³] en el caso de Caterpillar y 2.7 [m³] en el caso de Sandvik, los más cercanos al requerido, estos son afectados por la serie de factores que se consideraron de manera teórica para comprobar cuál es el más idóneo:

En el caso de Sandvik se tiene:

- Factor de sobrellenado del cucharón: 10%

$$2.7[m^3](1.10) = 2.97[m^3]$$

- Factor de abundamiento(dato tomado en campo): 25%

$$2.97[m^3](0.75) = 2.23[m^3]$$

De modo que la capacidad real de carga del equipo de rezagado será de:

$$2.23[m^3] \left(3 \left[\frac{t}{m^3} \right] \right) = 6.68 \left[\frac{t}{ciclo} \right]$$

Para el caso de Caterpillar:

- Factor de sobrellenado del cucharón: 10%

$$2.4[m^3](1.10) = 2.64[m^3]$$

- Factor de abundamiento(dato tomado en campo): 25%

$$2.64[m^3](0.75) = 1.98[m^3]$$

De modo que la capacidad real de carga del equipo será de:

$$1.98[m^3] \left(3 \left[\frac{t}{m^3} \right] \right) = 5.94 \left[\frac{t}{ciclo} \right]$$

4.2.5 Comparación técnica

Al igual que para el caso de los equipos de perforación, se realizó una comparativa de los dos equipos de rezagado, para determinar cuál será el más adecuado para la operación, dicha comparativa solo toma en cuenta los aspectos técnicos de los equipos, siendo presentadas en las siguientes tablas.

Tabla 4-15 Peso del equipo con carga máxima y vacío

Peso	Sandvik	Caterpillar
Carga útil nominal	6,700[kg]	6,800[kg]
En orden de trabajo	19,600[kg]	20,875[kg]
Con carga máxima	26,300[kg]	27,675[kg]

Tabla 4-16 Tiempos de maniobras

Tiempos de cucharón	Sandvik	Caterpillar
Para levantar cucharón	6.5[s]	5.0[s]
Para bajar el cucharón	3.8[s]	2.3[s]
Para inclinar el cucharón	2.0[s]	2.0[s]
Total del ciclo	12.3[s]	9.3[s]

Tabla 4-17 Velocidades de avance y reversa

Velocidad de avance y reversa	Sandvik	Caterpillar
1era	4.8[k/h]	5[k/h]
2da	9.5[k/h]	9.0[k/h]
3era	16.0[k/h]	17.0[k/h]
4ta	26.0[k/h]	24[k/h]

Tabla 4-18 Especificaciones técnicas de motor

Motor	Sandvik	Caterpillar
Modelo	Mercedes Benz OM 906	3306 DITA
Número de cilindros	6 en línea	6 en línea
Potencia	201 [hp]	165 [hp]
Capacidad de combustible	230[l]	295[l]

Tabla 4-19 Sistema de frenado

Frenos	Sandvik	Caterpillar
De servicio	Frenos de multidisco en húmedo, en todas las ruedas	Frenos integrados de discos sumergidos y enfriados en aceite
De estacionamiento y de emergencia	Frenos de multidisco en húmedo, en todas las ruedas	Frenos SAFR™ de discos sumergidos en aceite, aplicados por resorte

Tabla 4-20 Dimensiones de los equipos

Dimensiones	Sandvik	Caterpillar
Largo	8.63[m]	8.61[m]
Anchura(con cucharón)	2.24[m]	2.32[m]
Altura(con capacete)	2.21[m]	2.12[m]

4.2.6 Selección de equipo de rezagado

Al igual que en la selección de los equipos de perforación, se toman todos los factores posibles para lograr tener el equipo que mejor se adapta a las necesidades de la mina, es este caso se decide proponer la compra del equipo R1300G de Caterpillar con base en las siguientes consideraciones:

- El costo del equipo de Caterpillar es menor que el equipo de Sandvik, contra el que fue comparado.
- El tamaño de cucharón es el más cercano al requerido, ya que el equipo que provee Sandvik no cuenta con cucharones de menores dimensiones, lo cual hace que el equipo se vea subutilizado para el caso específico de esta operación.
- El tiempo de entrega es 3 meses menor en el caso del equipo que provee Caterpillar en comparación con el equipo de Sandvik.
- Se tiene un stock de piezas en la capital del estado de San Luis Potosí, además del compromiso adquirido por el proveedor de tener en almacén las piezas que sean requeridas para la realización del mantenimiento de manera adecuada.
- En el caso de la garantía, se tiene que el proveedor Caterpillar ofrece un tiempo de cobertura más amplio que su competidor Sandvik.

4.3 Cuadro-resumen con el equipo requerido

En conclusión, para poder alcanzar las 4000 toneladas diarias que se espera que produzca la unidad se requiere de los siguientes equipos:

Tabla 4-21 Equipo necesario

Tipo de equipo	Unidades necesarias	Costo
Jumbo de perforación	3	\$ 2,714,400 [DIs]
Equipo LHD	2	\$ 1,508,000 [DIs]
Total		\$ 4,222,400 [DIs]

Con los equipos antes listados anteriormente y los que se tienen actualmente en la unidad, se puede llegar a la meta que se ha propuesto la empresa.

5. Análisis financiero

En el presente análisis financiero se realiza con el propósito de saber si la propuesta de inversión es viable, para ello se realizan dos análisis, siendo el primero con las condiciones actuales de la unidad Minera.

5.1 Análisis financiero antes de la propuesta

Se realiza un análisis financiero de las condiciones actuales de la mina, con base en los costos de producción, así como precios de venta para cada producto. Dicho análisis se calculó con un panorama realista, es decir, donde los costos de producción así como los precios de venta son los más aproximados a los actuales.

Con base en la información obtenida durante la estancia profesional realizada en la unidad Charcas, se tienen los siguientes datos:

- Costos de mina \$10.82[Dls/ton]
- Costos de planta \$7.04[Dls/ton]
- Costos indirectos \$12.43[Dls/ton]

Considerando una producción anual de 648,000[t/año] de material tumbado, es decir se tiene una producción de 2000[t/d], con 324 días de trabajo al año, **para el cálculo de los costos de producción se tiene un costo de \$30.29 [Dls/t].**

Tabla 5-1 Producción por año de Zinc

Año	No. Años	Producción [t/año] ³	Precio [dls/lb] ⁴	Ingresos de prod. Anual
2015	1	27,956	\$0.7384	\$25,029,904.4 [Dls]
2016	2	27,956	\$0.7384	\$25,029,904.4 [Dls]
2017	3	27,956	\$0.7384	\$25,029,904.4 [Dls]
2018	4	27,956	\$0.7384	\$25,029,904.4 [Dls]
2019	5	27,956	\$0.7384	\$25,029,904.4 [Dls]
2020	6	27,956	\$0.7384	\$25,029,904.4 [Dls]
	Total	223,648	\$0.7384	\$150,179,434 [Dls]

³ Datos proporcionados por el Departamento de Planeación, unidad Charcas, S.L.P., enero de 2014.

⁴ Datos obtenidos de la Bolsa de Valores London Metal Exchange, marzo de 2014.

Tabla 5-2 Producción por año de Plomo

Año	No. Años	Producción [t/año] ⁵	Precio [dls/lb] ⁶	Ingresos de prod. Anual
2015	1	846	\$1.1	\$1,108,488[Dls]
2016	2	846	\$1.1	\$1,108,488[Dls]
2017	3	846	\$1.1	\$1,108,488[Dls]
2018	4	846	\$1.1	\$1,108,488[Dls]
2019	5	846	\$1.1	\$1,108,488[Dls]
2020	6	846	\$1.1	\$1,108,488[Dls]
	Total	6,772	\$1.1	\$6,647,186[Dls]

Tabla 5-3 Producción por año de Cobre

Año	No. Años	Producción [t/año] ⁷	Precio [dls/lb] ⁸	Ingresos de prod. Anual
2015	1	724	\$2.5	1,388,557[Dls]
2016	2	724	\$2.5	1,388,557[Dls]
2017	3	724	\$2.5	1,388,557[Dls]
2018	4	724	\$2.5	1,388,557[Dls]
2019	5	724	\$2.5	1,388,557[Dls]
2020	6	724	\$2.5	1,388,557[Dls]
	total	5792	\$2.5	\$6,703,748[Dls]

Tabla 5-4 Costos de Producción por año

Año	No. Años	Producción [t/año] ⁹	Costo/ton ¹⁰	Costo de prod. Anual
2015	1	648,000	\$30.29	\$19,627,920[Dls]
2016	2	648,000	\$30.29	\$19,627,920[Dls]
2017	3	648,000	\$30.29	\$19,627,920[Dls]
2018	4	648,000	\$30.29	\$19,627,920[Dls]
2019	5	648,000	\$30.29	\$19,627,920[Dls]
2020	6	648,000	\$30.29	\$19,627,920[Dls]
	total	3888000	\$30.29	\$117,767,520[Dls]

⁵ Datos proporcionados por el Departamento de Planeación, Unidad Charcas, S.L.P., enero de 2014.

⁶ Datos obtenidos de la Bolsa de Valores London Metal Exchange, marzo de 2014.

⁷ Datos proporcionados por el Departamento de Planeación, Unidad Charcas, S.L.P., enero de 2014.

⁸ Datos obtenidos de la Bolsa de Valores London Metal Exchange, marzo de 2014.

⁹ Datos proporcionados por el Departamento de Planeación, Unidad Charcas, S.L.P., enero de 2014.

¹⁰ Datos proporcionados por el Departamento de Planeación, Unidad Charcas, S.L.P., enero de 2014.

Tabla 5-5 Estado de Resultados

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos	\$27,255,061	\$27,255,061	\$27,255,061	\$27,255,061	\$27,255,061	\$27,255,061
Costos de operación	\$19,627,920	\$19,627,920	\$19,627,920	\$19,627,920	\$19,627,920	\$19,627,920
Utilidad de operación	\$7,627,141	\$7,627,141	\$7,627,141	\$7,627,141	\$7,627,141	\$7,627,141
Gastos de administración	\$1,962,792	\$1,962,792	\$1,962,792	\$1,962,792	\$1,962,792	\$1,962,792
Utilidades antes de impuestos	\$5,664,349	\$5,664,349	\$5,664,349	\$5,664,349	\$5,664,349	\$5,664,349
ISR de 30%	\$1,699,305	\$1,699,305	\$1,699,305	\$1,699,305	\$1,699,305	\$1,699,305
Reparto de utilidades 10%	\$566,435	\$566,435	\$566,435	\$566,435	\$566,435	\$566,435
Nuevo impuesto (7.5%)	\$254,896	\$254,896	\$254,896	\$254,896	\$254,896	\$254,896
Utilidad neta	\$3,143,714	\$3,143,714	\$3,143,714	\$3,143,714	\$3,143,714	\$3,143,714
Utilidad neta acumulada	\$3,143,714	\$6,287,428	\$9,431,142	\$12,574,856	\$15,718,569	\$18,862,283

5.2 Análisis financiero una vez puesta en marcha la propuesta

Se realiza un análisis financiero del proyecto una vez que se ha realizado la inversión, lo cual permitirá que operativamente sea posible alcanzar la producción de 4000[t/d], con estas condiciones se evalúa nuevamente el proyecto para saber si la unidad Minera sigue siendo rentable; para ello se utilizan los índices de rentabilidad que se enlistan a continuación:

- Valor presente neto (VPN)

$$VPN = B_k(1 + i)^{-k} - \text{C} \quad (1)$$

Donde:

VPN= valor presente neto.

B_k= ingresos netos.

i= tasa de descuento.

n= número de años.

C= capital

$$VPN = \frac{6,287,428}{(1 + 0.10)^1} + \frac{6,053,085}{(1 + 0.10)^2} + \frac{6,053,085}{(1 + 0.10)^3} + \frac{6,053,085}{(1 + 0.10)^4} + \frac{6,053,085}{(1 + 0.10)^5} + \frac{6,053,085}{(1 + 0.10)^6} - 4,222,400 = 22,353,401 [Dls]$$

- Valor futuro (VF)

$$\sum_{k=0}^{k=n} B_k(1+i)^n - C(1+i)^n \quad (2)$$

Donde:

B_k = ingresos netos

i = tasa de interés

C =capital invertido

n = número de años del proyecto

$$VF = 6,287,428(1 + 0.10)^6 + 6,053,085(1 + 0.10)^5 + 6,053,085(1 + 0.10)^4 + 6,053,085(1 + 0.10)^3 + 6,053,085(1 + 0.10)^2 + 6,053,085(1 + 0.10)^1 - 4,222,400(1 + 0.10)^6 = 43,796,276[Dls]$$

- Serie Anual Uniforme Equivalente (SAUE)

$$SAUE = VPN \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (3)$$

VPN=valor presente neto

i =tasa de interés

$$SAUE = 22,353,401 \left(\frac{0.10(1 + 0.10)^6}{(1 + 0.10)^6 - 1} \right) = 5,132,506[Dls]$$

- Costo Anual Uniforme Equivalente

$$CAUE = VP \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (4)$$

VP= serie anual uniforme equivalente

i =tasa de interés

$$CAUE = 26,575,801 \left(\frac{(1 + 0.10)^6}{(1 + 0.10)^6 - 1} \right) = 61,020,000[Dls]$$

- Equivalente Capitalizado (EC)

$$EC = \frac{A}{i} \quad (5)$$

A=anualidad
i=tasa de interés

$$EC = \frac{1,184,426.88}{0.07} = 16,920,384[Dls]$$

➤ Relación Costo-Beneficio (C/B)

$$C/B = \frac{\sum_{k=0}^{k=n} B_k(1+i)^{-k}}{\mathbb{C}} = \frac{26,575,801}{4,222,400} = 6.294 \quad (6)$$

B_k = ingresos netos
i= tasa de interés
 \mathbb{C} =capital invertido
n= número de años del proyecto

➤ Tasa Interna de Retorno (TIR)
Bajo el criterio pesimista se tiene:

$$TIR = \sqrt[n]{\frac{\sum_{k=0}^{k=n} B_k(1+i)^{-k}}{\mathbb{C}}} - 1 \quad (7)$$

TIR= tasa interna de retorno
 B_k = ingresos netos
i= tasa de interés
 \mathbb{C} =capital invertido
n= número de años del proyecto

$$TIR = \sqrt[6]{\frac{26,575,801}{4,222,400}} - 1 = 0.3587$$

Bajo el criterio optimista se tiene

$$\mathbb{C} = \sum_{k=0}^{k=n} B_k(1+TIR)^{-k} \quad (8)$$

Al realizar las aproximaciones se tiene que:

$$4,222,400 = \frac{6,287,428}{(1 + TIR)^1} + \frac{6,053,085}{(1 + TIR)^2} + \frac{6,053,085}{(1 + TIR)^3} + \frac{6,053,085}{(1 + TIR)^4} + \frac{6,053,085}{(1 + TIR)^5} + \frac{6,053,085}{(1 + TIR)^6}$$

Obteniendo que TIR=1.46

- Periodo de Cancelación (PC)

$$\Phi = \sum_{k=0}^{k=PC} B_k(1 + TIR)^{n-k} \quad (9)$$

$$\Phi = 4,222,400[Dls]$$

$$\frac{6,287,428}{(1 + 0.10)^1} = 5,715,842[Dls]$$

Por lo que se deduce que el periodo de cancelación se tiene el primer año.

- Porcentaje de Ganancias Sobre la Inversión (PGI)

$$PGI = \left(\frac{VPN}{\Phi} \right) 100 \quad (10)$$

$$PGI = \left(\frac{22,353,401[Dls]}{4,222,400[Dls]} \right) 100 = 529.40\%$$

- Porcentaje de Ganancia Anual Sobre la Inversión (PGAI)

$$PGAI = \left(\frac{SAUE}{\Phi} \right) 100 \quad (11)$$

$$PGAI = \left(\frac{5,132,506[Dls]}{4,222,400[Dls]} \right) 100 = 121.554\%$$

- Valor o Costo Nivelado de la Unidad Producida (CN)

$$CN = \frac{\text{costo actualizado}}{\text{producción actualizada}} \quad (12)$$

$$CN = \frac{4,222,400 + 39,255,840(1.1^1) + 39,255,840(1.1^2) + \dots + 39,255,840(1.1^6)}{1,296,000(1.1^1) + 1,296,000(1.1^2) + \dots + 1,296,000(1.1^5) + 1,296,000(1.1^6)}$$

$$CN = 30.67 \left[\frac{Dls}{Ton} \right]$$

Tabla 5-6 Resumen del análisis después de la propuesta

Valor Presente Neto (VPN)	\$22,353,401 [Dls]
Valor Futuro (VF)	\$43,796,276 [Dls]
Serie Anual Uniforme Equivalente (SAUE)	\$5,132,506 [Dls]
Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE)	\$61,020,000 [Dls]
Equivalente Capitalizado (EC)	\$16,920,384 [Dls]
Relación Costo/Beneficio (RC/B)	6.294
Tasa Interna de Retorno (TIR) (pesimista)	0.3587
Tasa Interna de Retorno (TIR) (optimista)	1.4600
Periodo de Cancelación (PC)	se paga en el año 1
Porcentaje de Ganancias Sobre la Inversión (PGI)	529.40%
Porcentaje de Ganancia Anual Sobre la Inversión (PGAI)	121.554%
Valor o Costo Nivelado de la Unidad Producida (CN)	30.67 [Dls/ton]

En la tabla 5-6 se muestran los índices de rentabilidad del proyecto antes calculado, se puede observar que el costo por tonelada ha aumentado en 0.38 [Dls/t], esto se debe a la depreciación de los equipos, aunque hay que tomar en cuenta que con la puesta en marcha de la propuesta la unidad será capaz de producir 4000[Dls/t].

Una vez que se tenga la ampliación de la producción en la unidad se tendrá una capacidad de producción anual de 1,296,000 [t/año] de material tumbado, es decir se contempla una producción de 4000[t/d], con 324 días de trabajo al año.

➤ Periodo de Retorno de la Inversión (PRI)

Se tiene un Periodo de Retorno de la Inversión de 5 años, con una tasa de interés anual del 7%. Se considera dicha tasa de interés porque la empresa debe recuperar la inversión en un lapso de tiempo con beneficios económicos adicionales al de recobrar la inversión inicial.

$$\text{Costo anual de la inversión} = \frac{\text{inversión}(1 + \text{tasa de interés})^{\text{número de años}}}{\text{número de años}}$$

De modo que se tiene lo siguiente:

$$\text{Costos anual de la inversión} = \frac{4,222,400[Dls](1 + 0.07)^5}{5[\text{años}]} = 1,184,426.88 \left[\frac{Dls}{\text{año}} \right]$$

En la tabla 5.7 se muestra el estado de resultados una vez que se tenga la puesta en marcha de la propuesta, en ella se toman en cuenta todos los ingresos y egresos que se tendrán durante los primeros seis años una vez que la compra y puesta en marcha de los equipos sea realizada.

Tabla 5-7 Estado de resultados después de realizada la inversión y ampliación

Año	0	1	2	3	4	5
Ingresos	\$54,510,123	\$54,510,123	\$54,510,123	\$54,510,123	\$54,510,123	\$54,510,123
Costos de operación	\$39,255,840	\$39,255,840	\$39,255,840	\$39,255,840	\$39,255,840	\$39,255,840
Utilidad de operación	\$15,254,283	\$15,254,283	\$15,254,283	\$15,254,283	\$15,254,283	\$15,254,283
Gastos de administración	\$3,925,584	\$3,925,584	\$3,925,584	\$3,925,584	\$3,925,584	\$3,925,584
Depreciación	\$0	\$422,240	\$422,240	\$422,240	\$422,240	\$422,240
Utilidades antes de impuestos	\$11,328,699	\$10,906,459	\$10,906,459	\$10,906,459	\$10,906,459	\$10,906,459
ISR de 30%	\$3,398,610	\$3,271,938	\$3,271,938	\$3,271,938	\$3,271,938	\$3,271,938
Reparto de utilidades 10%	\$1,132,870	\$1,090,646	\$1,090,646	\$1,090,646	\$1,090,646	\$1,090,646
Nuevo impuesto (7.5%)	\$509,791	\$490,791	\$490,791	\$490,791	\$490,791	\$490,791
Pago de inversión	\$1,184,427	\$1,184,427	\$1,184,427	\$1,184,427	\$1,184,427	0
Utilidad neta	\$5,103,001	\$4,868,658	\$4,868,658	\$4,868,658	\$4,868,658	\$6,053,085
Utilidad neta acumulada	\$5,103,001	\$9,971,659	\$14,840,316	\$19,708,974	\$24,577,632	\$30,630,716

6. Plan de mantenimiento

El mantenimiento es una parte fundamental en cualquier industria y en el caso de la minería no es la excepción. Es por ello que en el presente trabajo se plantea un plan de mantenimiento que permita a la empresa poder mantener la calidad del servicio que prestan sus equipos de perforación y rezagado.

6.1 Tipos de mantenimiento

Existen en la literatura diversas clasificaciones en lo que se refiere a tipos de mantenimiento, en este caso se utiliza la clasificación de Dounce (1982), la cual se presenta a continuación:

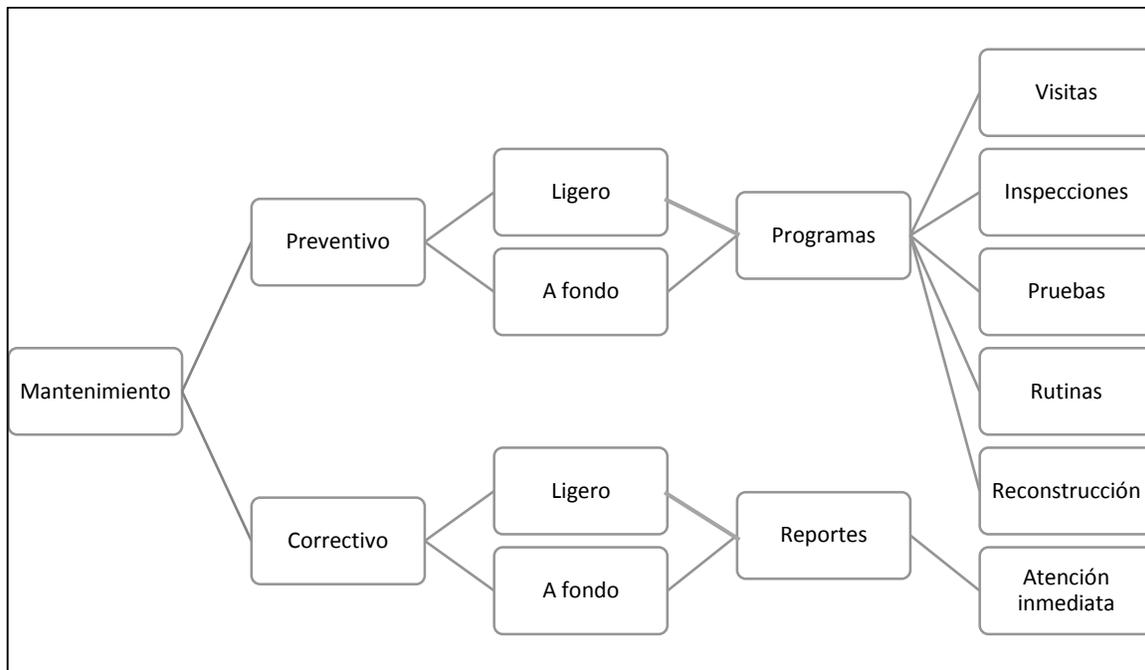


Figura 6.1 Tipos de Mantenimiento

6.1.1 Mantenimiento correctivo

Es aquella actividad en máquinas, instalaciones o edificios, debido a que se ha presentado una falla, la cual impide a dichos elementos realizar las funciones con la calidad del servicio para la cual fueron diseñadas.

Cuando se presentan este tipo de fallas, lo hacen de manera inesperada, es por ello que este tipo de mantenimiento no puede ser programado. Una vez que se ha presentado la falla o desperfecto, se busca que se reestablezca la calidad en el servicio lo más pronto posible, lo que exige su atención inmediata.

Este mantenimiento se divide en dos tipos:

- Ligero: es aquel que podrá ser realizado por personal con escasa preparación, o bien por personal especializado.
- A fondo: es aquel que solo podrá ser realizado por personal especializado.

En este tipo de mantenimiento es importante realizar solo aquellas reparaciones que son indispensables para que el equipo vuelva a funcionar nuevamente, dejando para el mantenimiento preventivo todas a aquellas fallas detectadas mientras se lleva a cabo el mantenimiento correctivo.

6.1.2 Mantenimiento preventivo

Es aquella actividad realizada en máquinas, instalaciones o edificios con el objetivo de asegurar la calidad del servicio que prestan, todo ello con la finalidad de evitar paros innecesarios en el proceso productivo.

En este tipo de mantenimiento la principal prioridad es mantener los equipos funcionando en óptimas condiciones, realizando paros programados con el fin de mantenerlos en las condiciones adecuadas durante un periodo de tiempo conocido.

En este tipo de mantenimiento se tienen diversas variantes las cuales se enlistan a continuación:

- Mantenimiento periódico: es aquel en que se realiza en equipos de vital importancia para el proceso productivo de una empresa, de modo que el equipo se tiene por duplicado. Una vez que se inicia el mantenimiento se pone en operación el segundo equipo de modo que el proceso no se ve interrumpido, estos paros se establecen en un programa, para realizar mantenimiento y cambio de piezas a dicho equipo, sin importar las condiciones de las mismas.
- Mantenimiento progresivo: se aplica en equipos, que si bien son importantes para el proceso productivo, no es necesario que se tengan por duplicado, de modo que este tipo de mantenimiento se realiza en el tiempo ocioso que se tiene en el equipo, es decir aprovecha los momentos que el equipo no se encuentra operando para realizar el mantenimiento.
- Mantenimiento técnico: es una combinación del mantenimiento periódico y progresivo, ya que el mantenimiento se realiza con base a periodos de tiempo preestablecidos que son realizados en los tiempos de ocio de los equipos.

- Mantenimiento analítico: este tipo de mantenimiento se realiza con base en un análisis estadístico de las fallas, así como de las recomendaciones de los fabricantes y la calidad de la mano de obra en la operación. No se tiene un periodo de tiempo preestablecido y se basa solo en el análisis el cual determina en qué momento se tiene la necesidad de realizar mantenimiento a dicho equipo.

6.2 Normatividad en mantenimiento

En el caso específico de México, no se cuenta con normatividad que permita tener un estándar acerca del mantenimiento, es por ello que se recurre a la búsqueda de normatividad internacional, aunque si bien es cierto que no se enfoca únicamente en la cuestión del mantenimiento, es parte fundamental de dicha norma como se verá a continuación.

6.2.1 Norma Internacional ISO 55001:2014

La Norma Internacional ISO 55001:2014, fue diseñada con el fin de ser utilizada como guía para tener el máximo rendimiento de los activos físicos con los cuales cuenta determinada empresa, es cierto que la optimización de activos físicos no solo contempla al mantenimiento, pero sí es parte fundamental para lograr una optimización de los activos físicos con los cuales cuenta determinada empresa.

Hay seis conceptos que sustentan los resultados positivos en la gestión de activos:

1. Un activo físico está hecho de conjuntos de componentes individuales que trabajan como un sistema.
2. Una organización es un sistema para hacer el trabajo valorado por sus propietarios mediante el uso de los conocimientos y el apoyo a los procesos.
3. Procesos y actividades de la organización son los arreglos que se realizan en una serie de pasos secuenciales, donde los resultados exitosos dependen de la calidad.
4. Los errores en los procesos deben ser eliminados para obtener la máxima ganancia.
5. Probabilidad y la incertidumbre existen en todas partes, las cuales pueden causar variación y crear riesgo.
6. Una empresa pretende sobrevivir y generar ganancias, por lo que las estrategias de corto y largo plazo y los activos de la empresa se deben proteger, por el bien del negocio y a su vez esto debe hacer que la empresa crezca.

De los puntos antes mencionados, se tiene que el mantenimiento juega un papel fundamental, ya que de un buen plan de mantenimiento dependerá la que los activos físicos se encuentren en óptimas condiciones para realizar las labores que se les asigne, de lo contrario la producción se verá comprometida.

6.3 Plan de mantenimiento propuesto

Como se ha visto en los puntos anteriores, el mantenimiento es fundamental para lograr tener una operación sin contratiempos, es por ello se propone un plan de tipo preventivo, de manera más concreta será una combinación entre el mantenimiento analítico y el mantenimiento técnico.

Lo anterior se debe a las siguientes condiciones:

- Se realiza el plan de mantenimiento en base a las recomendaciones de los fabricantes.
- Se realizara la calendarización de las actividades de mantenimiento que sean a fondo, es decir, aquellas que requieran de la participación de personal especializado.
- Las actividades de mantenimiento preventivo ligero serán realizadas por personal con escasa preparación, este mantenimiento tendrá lugar en los tiempos de ocio de los equipos.

6.3.1 Programa de mantenimiento de los equipos de rezagado

Con base en las recomendaciones del fabricante se tienen los siguientes puntos que serán sujetos de inspección diaria por los operadores, todos estos puntos deberán ser revisados antes de que el operador inicie sus labores. (Caterpillar, 2011)

1. Lista diaria de elementos a revisar
 - Comprobación del nivel de aceite del motor, nivel de anticongelante, aceite de transmisión, aceite de la caja de transferencia, aceite hidráulico, combustible
 - Comprobación de las bandas del equipo
 - Comprobación de fugas o desperfectos en el motor
 - Comprobación del filtro de aire, tomas de aire, escape
 - Comprobación de las tuercas y las llantas
 - Comprobación del extintor
 - Comprobación de los frenos de estacionamiento y de servicio
 - Comprobación de las luces, bocina y alarma de retroceso

- Comprobación del tablero
- Comprobación del cinturón de seguridad, asiento y espejos

Como se puede apreciar se tiene un número considerable de elementos a analizar, es por ello que se sugiere un formato que el operador deberá llenar antes de iniciar sus labores.

IMMSA Unidad Charcas, S.L.P.	Departamento de mantenimiento	
Programa diario de revisión		
Operador: _____ Fecha: _____ Turno: _____		
Equipo número: _____		
Elemento a revisar	Nivel y/o condiciones	Anotaciones
Nivel del aceite de motor		
Nivel del anticongelante		
Nivel del aceite de transmisión		
Nivel del aceite caja transferencia		
Nivel del aceite de hidráulico		
Nivel del combustible		
Bandas de la transmisión		
Revisión visual del motor		
Filtro del aire		
Toma del aire		
Escape		
Llantas		
Extintor		
Frenos de estacionamiento		
Frenos de servicio		
Luces frontales y traseras		
Bocina		
Alarma de retroceso		
Tablero		
Asientos		
Espejos		
Comentarios:		

Figura 6.2 Lista diaria de puntos de revisión

2. Mantenimiento cada 125 horas

- Lavado de los radiadores
- Intercambiadores de calor
- Limpieza de la toma de aire del motor
- Revisión del apriete de las tuercas en neumáticos
- Limpieza de la cabina de operador
- Limpieza del compartimiento de motor
- Revisión de los circuitos eléctricos
- Revisión del cableado
- Engrasado de los puntos de conexión

Considerando que en promedio se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 10 días, en el cual se da un periodo de ± 12 horas o bien ± 1 día de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

3. Mantenimiento cada 250 horas

- Cambio de los filtros del aceite del motor
- Cambio del aceite de motor
- Cambio del aceite de la caja de transferencia
- Cambio del filtro de combustible
- Cambio del sistema de refrigeración
- Revisión de los soportes de motor
- Revisión de las baterías
- Revisión del alternador
- Cambio del filtro de líquido para frenos
- Revisión de la articulación central
- Lubricación de los pedales y freno
- Lubricación de las bisagras de puerta
- Revisión de los elementos de sistema anti-incendios

Considerando que en promedio se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 20 días, en el cual se da un periodo de ± 12 horas o bien ± 1 día de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

4. Mantenimiento cada 500 horas

- Revisión de las mangueras del sistema de refrigeración
- Drenado del agua en el tanque de combustible
- Revisión de las aspas de radiador

- Revisión visual de los ejes
- Revisión del desgaste en los discos de frenado
- Cambio del filtro de alta presión
- Cambio del filtro de aceite de transmisión
- Revisión de la articulación central

Considerando que en promedio se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 40 días, en el cual se da un periodo de ± 24 horas o bien ± 2 días de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

5. Mantenimiento cada 1000 horas

- Presurizar el sistema de refrigeración en busca de fugas
- Revisión de la potencia de motor
- Revisión de los purificadores de gas del sistema de combustión
- Engrasado del sistema de ventilación
- Revisión de la presión en el sistema de dirección
- Cambio del aceite hidráulico

Considerando que en promedio se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 80, en el cual se da un periodo de ± 36 horas o bien ± 3 día de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

6. Mantenimiento cada 1500 horas

- Afinado del motor
- Revisión de las válvulas
- Revisión de los inyectores
- Cambio de las bandas de transmisión
- Revisión de los extintores

Considerando que se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 120 días, en el cual se da un periodo de ± 48 horas o bien ± 4 día de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

Por lo anterior, a continuación se presenta la distribución de los distintos tipos de mantenimiento a lo largo de 120 días de operación.

Tabla 6-1 Plan del mantenimiento días 1-60

Día 10						
Tipo de mantenimiento	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mantenimiento 125[h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 20						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 30						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 40						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 500 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 50						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 60						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6

Tabla 6-2 Plan del mantenimiento días 70-120

Día 70						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 80						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 500 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 1000 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 90						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 100						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 110						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 120						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 500 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 1000 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6

Como se puede apreciar en las tablas anteriores, en los días donde se tenga más de un mantenimiento programado, se podrán realizar dichos mantenimientos de manera simultánea a fin de optimizar el tiempo que se dispone para realizar dichos servicios.

Cabe señalar que solo se encuentra programado un equipo por día, de modo que, el mantenimiento se realizara comenzando un día lunes con el equipo 1 y terminando el sábado con el equipo 6, todo ello con el fin de que las labores de mantenimiento no se vean entorpecidas unas con otras.

6.3.2 Programa de mantenimiento de los equipos de perforación

Al igual que en los equipos de rezagado, el plan de mantenimiento se basa en las especificaciones del fabricante, dicho plan de servicios se enlista a continuación.

1. Lista diaria de elementos a revisar
 - Lubricación del brazo de perforación
 - Comprobación de los elementos del brazo de perforación
 - Comprobación del nivel de aceite hidráulico, aceite de compresor, aceite del motor, nivel de anticongelante, aceite de transmisión, combustible
 - Comprobación del sistema de agua
 - Comprobación del elemento de conexión a corriente eléctrica
 - Comprobación de fugas o desperfectos en el motor
 - Comprobación del filtro de aire, tomas de aire, escape
 - Comprobación de las tuercas y llantas
 - Comprobación del extintor
 - Comprobación de los frenos de estacionamiento y de servicio
 - Comprobación de las luces, bocina y alarma de retroceso

Como se aprecia en la lista anterior son varios los elementos que son sujetos de revisión antes de que los operadores inicien sus labores, es por ello que se propone una lista de revisión rápida (ver figura 6.3) para saber en qué condiciones se encuentra el equipo antes de comenzar a laborar

Programa diario de revisión

Operador: _____ Fecha: _____ Turno: _____

Equipo numero: _____

Elemento a revisar	Nivel / Condiciones	Anotaciones
Lubricación del brazo		
Nivel del aceite hidráulico		
Nivel del aceite del compresor		
Nivel del aceite del motor		
Nivel del anticongelante		
Nivel del aceite de transmisión		
Nivel del aceite combustible		
Sistema del agua		
Conexión a corriente		
Inspección visual del motor		
Filtro del aire		
Toma del aire		
Revisión de los neumáticos		
Revisión de los frenos de servicio		
Revisión de las luces		
Revisión de la bocina		
Revisión de la alarma de retroceso		

Comentarios:

Figura 6.3 Lista diaria de puntos de revisión

2. Mantenimiento cada 125 horas

- Lubricación del dispositivo de avance en el brazo de perforación
- Revisión de las uniones de pernos
- Revisión de la broca de perforación
- Revisión de las piezas de deslizamiento
- Revisión de los cilindros del brazo de perforación

- Revisión de las articulaciones del brazo
- Revisión de mangueras, válvulas y cilindros.
- Revisión de presión de aceite hidráulico
- Drenado de agua del depósito de aceite hidráulico

Considerando que se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 10 días, en el cual se da un periodo de ± 12 horas o bien ± 1 día de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

3. Mantenimiento cada 250 horas

- Revisión de cilindro hidráulico del brazo
- Revisión de puntos de acoplamiento del brazo
- Revisión de tambor de alojamiento del cable de conexión

Considerando que se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 20 días, en el cual se da un periodo de ± 12 horas o bien ± 1 día de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

4. Mantenimiento cada 500 horas

- Cambio de filtro de aire
- Revisión de acumuladores
- Revisión de neumáticos

Considerando que se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar cada 40 días, en el cual se da un periodo de ± 24 horas o bien ± 2 días de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

5. Mantenimiento cada 1000 horas

- Cambio de filtro de aceite del motor
- Cambio de aceite del engranaje de tambor de alojamiento del cable

Considerando que se tienen 6 horas operativas por turno, este mantenimiento se tendrá que realizar 80 días, en el cual se da un periodo de ± 36 horas o bien ± 3 día de labores del equipo, para realizar dicha maniobra.

6. Mantenimiento semestral

- Revisión de sistema de extinción de incendios
- Cambio de aceite de hidráulico
- Cambio de aceite de motor
- Cambio de anticongelante

Por lo anterior, a continuación se presenta la distribución de los distintos tipos de mantenimiento a lo largo de 120 días de operación:

Tabla 6-3 Plan de mantenimiento días 1-80

Día 10						
Tipo de mantenimiento	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 20						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 30						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 40						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 500 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 50						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 60						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 70						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Día 80						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 500 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 1000 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6

Además de los mantenimientos programados anteriormente se tendrá uno de tipo semestral, es decir cada 180 días:

Tabla 6-4 Plan de mantenimiento día 180

Semana 26						
Mantenimiento 125 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 500 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6
Mantenimiento 3250 [h]	Equipo 1	Equipo 2	Equipo 3	Equipo 4	Equipo 5	Equipo 6

Como se puede apreciar de las tablas anteriores y al igual que en el caso de los equipos de perforación; en los días donde se tenga más de un mantenimiento programado, se podrán realizar dichos mantenimientos de manera simultánea en el mismo equipo a fin de optimizar el tiempo que se dispone para realizar los servicios.

Cabe señalar que en las figuras anteriores se encuentra programado un equipo por día, de modo que, el mantenimiento se realizará comenzando un día lunes con el equipo 1 y terminando el sábado con el equipo 6, con el fin de que las labores de mantenimiento no se vean entorpecidas unas con otras.

6.4 Costos de mantenimiento

6.4.1 Costos de mantenimiento con el esquema actual

Con base en la información obtenida durante la estancia profesional realizada en la unidad Charcas, se tienen los siguientes datos:

- Costos de mina \$10.82[Dls/ton]
- Costos de planta \$7.04[Dls/ton]
- Costos indirectos \$12.43[Dls/ton]

Lo cual nos arroja un costo total de \$30.29 [Dls/ton].

De los costos que se contemplan en mina se tiene que el 25% de los \$10.82 [Dls/ton] es para el pago de mantenimiento que se requiere en interior mina, es decir se pagan \$2.70[Dls/ton]. Actualmente la unidad produce 2000[t/d], considerando que en un año se tienen 324 días laborales, se tiene que al año invierten:

$$2.70 \left[\frac{\text{Dls}}{\text{ton}} \right] \left(2000 \left[\frac{\text{ton}}{\text{día}} \right] \right) \left(324 \left[\frac{\text{días}}{\text{año}} \right] \right) = \$1,752,493 \left[\frac{\text{Dls}}{\text{año}} \right]$$

Estos \$1,752,493 [Dls/año], se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla 6-5 Costos de mantenimiento anual

Concepto	Número de equipos	Costo unitario de mantenimiento(anual)	Subtotal
Máquinas de pierna	60	\$7300[Dls]	\$438,123[Dls]
Jumbos	8	\$32,450[Dls]	\$259,600[Dls]
LHD	9	\$37,500[Dls]	\$337,500[Dls]
Otros equipos			\$717,270[Dls]
Total (anual)			\$1,752,493[Dls]

Los costos antes mencionados se aplican solo a mantenimiento de tipo correctivo, debido a que es el único mantenimiento que se aplica a los equipos.

6.4.2 Costos de mantenimiento con esquema propuesto

Para el caso de los equipos de perforación se tiene:

Tabla 6-6 Costos de mantenimiento preventivo para cada equipo

Tipo de mantenimiento	Numero de eventos por año	Costo unitario de cada evento	Subtotal
Mantenimiento a 125 [h]	36	\$75[Dls]	\$2,700[Dls]
Mantenimiento a 250 [h]	18	\$250[Dls]	\$4,500[Dls]
Mantenimiento a 500 [h]	9	\$320[Dls]	\$2,880[Dls]
Mantenimiento a 1000 [h]	4	\$410[Dls]	\$1,640[Dls]
Mantenimiento a 1500 [h]	3	\$1,125[Dls]	\$3,375[Dls]
Total			\$15,095[Dls]

En el caso del equipo rezagado y acarreo (LHD) se tiene lo siguiente:

Tabla 6-7 Costo de mantenimiento preventivo para cada equipo

Tipo de mantenimiento	Numero de eventos por año	Costo unitario de cada evento	Subtotal
Mantenimiento a 125 [h]	36	\$110[Dls]	\$3,960[Dls]
Mantenimiento a 250 [h]	18	\$310[Dls]	\$5,580[Dls]
Mantenimiento a 500 [h]	9	\$390[Dls]	\$3,510[Dls]
Mantenimiento a 1000 [h]	4	\$490[Dls]	\$1,960[Dls]
Mantenimiento semestral	2	\$2,100[Dls]	\$4,200[Dls]
Total			\$19,210[Dls]

Los costos anteriores son los que se generarán al realizar un mantenimiento de tipo preventivo a los equipos, ya sean nuevos o con los que cuenta actualmente la unidad. En ellos se aprecia que resulta más económico realizar el mantenimiento preventivo comparado con los costos de mantenimiento correctivo indicados en la sección 3.1.

7. Conclusiones

Actualmente la unidad Charcas tiene una capacidad de producción de 2000[t/d], laborando con equipos que tienen una antigüedad mayor a los 20 años. Esto se ha sumado a la falta de mantenimiento preventivo dando como resultado que se tengan paros imprevistos en la producción, entorpeciendo con ello los ritmos de producción se vea entorpeciendo. Todo ello se puede resumir en pérdidas económicas para la empresa.

Las unidades de perforación y rezagado con los que actualmente se cuenta en la unidad son insuficientes para satisfacer la producción que se requerirá en el próximo año, debido a que la unidad Charcas tiene contemplada una ampliación en la producción, que pasará de 2000[t/d] a 4000[t/d], sin que se tenga algún tipo de plan de reemplazo por parte de la unidad.

El mantenimiento de tipo preventivo es inexistente, sólo se desarrolla el de tipo correctivo para los equipos del interior de la mina. Esto se ha visto reflejado en un incremento de los costos si se les compara con las labores de tipo preventivo.

8. Recomendaciones

Se recomienda tomar en cuenta el análisis técnico para poder tomar la decisión de reemplazar la maquinaria de perforación y rezagado más antiguos de la unidad. Además de lo anterior, se sugiere tomar en consideración los equipos que se proponen, ya que con estos se garantiza que la producción deseada podrá ser alcanzada sin problema alguno.

Se recomienda realizar la inversión en la compra de los equipos de perforación y rezagado recomendados en el presente trabajo, debido a que los análisis financieros demuestran que el reemplazo de estos puede ser llevado a cabo, permitiendo que se logre recuperar la inversión requerida en los primeros 5 años posteriores a la inversión.

El aumento en la capacidad, genera que se tenga un aumento en los ingresos netos de la empresa. Si bien es cierto que la inversión inicial es alta, también lo son los ingresos, todo ello se logra con apenas un aumento de \$0.38 [Dls/t] en el costo nivelado, lo cual es otro punto a favor para la puesta en marcha del proyecto.

Otro de los puntos que se tiene a favor del reemplazo, es que se tendrá una inversión menor por concepto de mantenimiento, ya que con el plan de mantenimiento propuesto, se puede garantizar la fluidez de la operación, mientras que por otro lado se evitan las paradas imprevistas de la producción y los costos que ello conlleva.

Referencias

- Bolívar, V. H. (2001). *Elementos para la evaluación de proyectos de inversión*. México, D.F.: Facultad de Ingeniería.
- Caterpillar. (2011). Caterpillar Performance Handbook,. En Caterpillar, *Caterpillar Performance Handbook*,.
- Criswel, J. W. (1987). *Mantenimiento planeado para la producción y la conservación de la energía*. Liburn Georgia: The Fairmont Press.
- Enrique, D. V. (1982). *La administración en el mantenimiento*. México: Compañía Editorial Continental.
- EXSA, S. (3 de abril de 2014). *Manual Práctico de Voladuras*. Obtenido de http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fexsa.net%2Fwp-content%2Fpublicacion%2Fmanual-de-voladura.pdf&ei=7wVJVMv_F8uzyASjiIHIAw&usg=AFQjCNFed43hsGCCirSzB22bcLjcyLQ6QQ&sig2=p5HiccTCKLeP
- González, T., & Hernández, T. (1994). Geología de la sierra de Charcas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 11, 117-138.
- INEGI. (2009 de marzo de 2014). *INEGI*. Obtenido de INEGI: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>
- Manuel, L. A. (2003). *Fundamentos para la explotación de minas*. México, D.F.: Facultad de Ingeniería.
- Martínez Luyando, M. Á. (2000). *Tesis profesional Explotación del cuerpo Las Eulalias, Charcas, SLP*. México, D.F.: Facultad de Ingeniería.
- Medina y Medina, J. A. (15 de agosto de 2012). Parámetros para la estimación de vida útil. *Diario Oficial de la Federación*, págs. 1-3.

México, G. (29 de enero de 2014). *Grupo México*. Obtenido de Grupo México:
<http://www.gmexico.com.mx/files/InformeAnualEspañol2011.pdf>

Sandvik, & Coromat. (3 de abril de 2014). *Métodos de perforación en roca. Teoría y técnica*. Obtenido de
<http://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0CDkQFjAF&url=http%3A%2F%2Fupcommons.upc.edu%2Fpfc%2Fbitstream%2F2099.1%2F8568%2F2%2F01.pdf&ei=qwhJV OuBPcesyATAloKYBA&usg=AFQjCNHDxYGDnr9M-RvtvLqXLmG7wx1oNQ&sig2=OiMZbTle>

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por los conocimientos brindados.

Al Ing. Mauricio Mazari Hiriart por su valioso apoyo en la elaboración de este trabajo.

A mis sinodales por las recomendaciones y aportes para mejorar el presente trabajo.

A mi familia y amigos.