

Universidad Nacional de Ingeniería

Programa Académico de Ingeniería Geológica,
Minera y Metalúrgica



«Estudio de la Perforación Mecánica en la
Explotación de Minerales en la Mina Milpo»

TOMO I

TESIS DE GRADO

para optar el Título de
INGENIERO DE MINAS

Cipriano Colqui Robles

Promoción 1962

LIMA PERU

1971

I N D I C E

	<u>PAGINA</u>
AGRADECIMIENTO	8
PRESENTACION	9
SIMBOLOS EMPLEADOS	13

CAPITULO I

LA MINA MILPO

1.- Ubicación y Accesibilidad	16
2.- Historia de la Explotación	17
3.- Condiciones Climatéricas	19
4.- Geología	20
5.- Minería	23
6.- Concentración de Minerales	25
7.- Fuerza	26
8.- Servicios Generales	27
9.- Organización Administrativa	29

CAPITULO II

LA PERFORACION MECANICA EN LA MINA MILPO

	<u>PAGINA</u>
1.- Generalidades	30
2.- Los Métodos de Tajeado y la Perforación Mecánica	31
2.1.- Corte y Relleno	31
2.2.- Almacenamiento Provisional	33
2.3.- Conjunto de Cuadros	35
3.- Personal y Horario de Perforación	35
4.- Abastecimiento de Aire Comprimido	37
4.1.- Características de las Compresoras	38
4.2.- Volumen Disponible de Aire Comprimido	39
4.3.- Transmisión de Aire Comprimido	44
5.- Abastecimiento de Agua	46
6.- Abastecimiento de Barrenos	51
7.- Reparación de Máquinas Perforadoras	53

CAPITULO III

ANALISIS ESTADISTICO Y DE COSTOS DE LA PERFORACION

MECANICA EN LA MINA MILPO

1.- Generalidades	56
2.- Producción de Minerales	57

	<u>PAGINA</u>
3.- Índice de Perforación	57
4.- Razón de Perforación	58
5.- Tiempo de Perforación	60
6.- Costo de Operación	60
7.- Costo de Reparación	62
8.- Consumo de Barrenos	64
9.- Aire Comprimido	67
10.- Agua de Perforación	69
11.- Tubería	70
12.- Costo Total de Perforación	70

CAPITULO IV

LAS MAQUINAS PERFORADORAS EN LA MINA MILPO

1.- Generalidades	72
2.- Tipos de Máquinas Perforadoras	73
3.- Partes de una Máquina Perforadora	73
4.- Energía de las Máquinas Perforadoras	75
4.1.- Energía Pura	76
4.2.- Energía de Rebote	77
4.3.- Presión de Amortiguamiento en la Cámara Delantera	80
4.4.- Energía Efectiva	82
4.5.- Relación entre "x" y P_t	84

	<u>PAGINA</u>
5.- Número de Impactos por Minuto	87
6.- Consumo de Aire Comprimido	90
7.- Máquinas Perforadoras que se emplean en Milpo	92
8.- Aplicación de las Fórmulas a las Máquinas Perforadoras que se usan en Milpo	95
9.- Resumen de los Resultados	101

CAPITULO V

VIDA ECONOMICA DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

1.- Generalidades	103
2.- Período de Servicio	106
3.- Costo de Inversion	107
4.- Costo de Operación, Mantenimiento y Reparación	107
5.- Costo de Operación, Mantenimiento y Reparación Unitario	110
6.- Costo Promedio Unitario	111
7.- Vida Económica Promedia de cada Modelo de Máquina Perforadora	111

CAPITULO VI

TIEMPO STANDARD DE PERFORACION EN MILPO

	<u>PAGINA</u>
1.- Generalidades	120
2.- Estudio de Tiempos de la Perforación	
Mecánica	122
2.1.- Elementos de la Operación de Perforación	124
2.2.- Ciclo de una Operación de Perforación	126
2.3.- Factor Proporcional de Valoración - Nivelación	127
2.4.- Tolerancias Normales	129
3.- Velocidad de Penetración de cada Modelo de Máquina Perforadora	131
4.- Tiempo Standard para cada Modelo de Máquina Perforadora	132

CAPITULO VII

LAS MAQUINAS PERFORADORAS Y LA RESERVA DE MINERAL

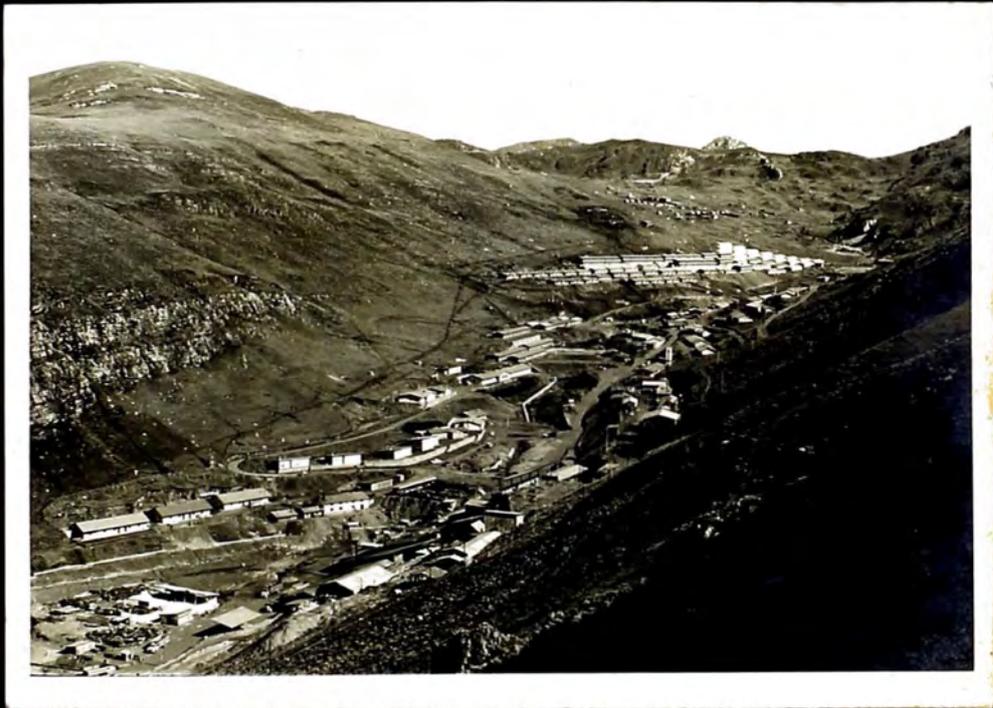
1.- Longitud Total a Perforarse	135
2.- Costo de Inversion por Máquinas Perforadoras	136

	<u>PAGINA</u>
3.- Costo por Consumo de Aire Comprimido	137
4.- Costo de Operación	137
5.- Costo Total	138
6.- Número de Máquinas en Perforación Simultánea Diaria	139
7.- Número de Tajeos en Explotación	140
8.- Número de Taladros a Perforarse Diariamente	141
9.- Costo de Inversión por Barrenos	143
10.- Consumo de Aire Comprimido	144
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 147
 BIBLIOGRAFIA	 153

A N E X O S

(2do. Tomo)

Anexo N° 1	I
Anexo N° 2	II
Anexo N° 3	III
Anexo N° 4	IV



*Vista Panorámica de la
Mina Milpo*

A la Sra. Genoveva Robles Vda. de Col-
qui, que no escatimó esfuerzo ni sacri-
ficio con el único fin de ver la supe-
ración de su hijo

EL AUTOR

A G R A D E C I M I E N T O

El presente trabajo no habría sido posible ejecutarlo si no se hubiera contado con el auspicio de los Directivos de la Compañía Minera Milpo S. A. a quienes hago público mi profundo reconocimiento y en forma particular al Ing° Ernesto Baertl M., Gerente de la Compañía; al Ing° Jorge Joo Ch., Sub-Gerente; al Ing° Elmer García P., Superintendente y al Ing° Augusto Baertl M., ex-jefe de mina, quienes me otorgaron la oportunidad de realizar el estudio, prestándome además todas las facilidades que el caso requería.

También deseo dar las gracias al Ing° José Candia V., Catedrático del Programa Académico de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, quién en forma desinteresada me asesoró en el desarrollo del presente trabajo y efectuó las correcciones pertinentes.

P R E S E N T A C I O N

Cuando comenzó a funcionar la Planta de Beneficio en 1952, la mina Milpo producía un promedio de 42 toneladas diarias. Este promedio fué aumentando paulatinamente hasta alcanzar en 1969 a 727 toneladas diarias.

Generalmente, las minas que incrementan su producción diaria tan rápidamente, como el caso de Milpo, muestran a la vez aumentos substanciales en la productividad, ya que proporcionalmente, se emplean menos hombres en las operaciones a medida que aumenta el equipo minero; sin embargo, esta correspondencia entre la producción y la productividad en Milpo han tenido variaciones discordantes especialmente en el año 1969.

Puesto que los salarios de los mineros en el Perú, al igual que en el resto del mundo, tienden a aumentar cada año; el hecho de que la productividad no mejora al aumentar la producción de la mina, se refleja en el aumento de los costos de

producción; en efecto, los costos de producción de Milpo van en aumento de año en año.

En consecuencia, para tratar de disminuir los costos de producción o al menos, mantener lo más estable posible, los esfuerzos deberán estar encaminados a mejorar la productividad.

Muchos son los factores que afectan a la productividad, no solo en la industria minera, sino en cualquier otra, los que van desde problemas sindicales hasta gubernamentales pasando por problemas técnicos. Estos últimos, que han captado nuestra atención, es de interés inmediato para los ingenieros de minas a quienes toca su solución adecuada.

En cada una de las minas los problemas técnicos son innumerables los que deben ser resueltos de acuerdo a la naturaleza y características de cada mina, las posibles soluciones muchas veces, son similares pero nunca iguales. Para el caso particular de Milpo, que tiene sus propios problemas, debiera también buscarse soluciones propias.

La baja productividad obtenida en 1969, ha llamado poderosamente la atención de quienes laboramos en la Compañía Minera Milpo S. A. y en especial del autor, quién apesar de no estar en contacto directo con la producción, ha querido tocar uno de los muchos problemas intimamente ligado con la producción, el de la perforación mecánica, lo que dió origen al presente trabajo.

Se ha iniciado la obra con un estudio general de la mina Milpo, para poner de manifiesto las características más saltantes de la mina. Se continuó con el estudio de las actividades estrechamente relacionadas con la perforación mecánica. Luego se ha seguido con un análisis estadístico y de costos, con el fin de conocer el estado actual de la perforación, obteniéndose cifras que ponen en evidencia las virtudes y los defectos de la perforación en la mina Milpo. Se ha proseguido con un estudio teórico de las máquinas perforadoras, herramienta principal de la perforación, con el objeto de hallar expresiones físico-matemáticas para determinar sus características más relevantes como su energía, número de impactos por minuto y el consumo de aire comprimido, aplicándolas luego a las máquinas que se usan en Milpo. Se ha continuado con un análisis de las mismas, pero ahora, desde el punto de vista económico bajo las condiciones de esta mina. A continuación se hizo intervenir al elemento humano en la perforación, para estudiar su participación activa dentro de la operación, al mismo tiempo que se estudió la eficiencia práctica de las máquinas perforadoras en los terrenos de Milpo. Luego, los resultados encontrados en los estudios anteriores, se combinaron para determinar cifras que enmarcarán el rumbo a seguirse en el futuro de la perforación de la reserva de mineral. Se ha finalizado el trabajo con el establecimiento de conclusiones y recomendaciones que pueden servir como pauta para la solución de problemas similares en otras minas.

La perforación mecánica es solo un aspecto de los diversos problemas de la explotación de minerales en Milpo, para obtener resultados más positivos en la productividad, deberá enfocarse el gran problema desde distintos ángulos, determinando posibles soluciones.

El presente trabajo es un pequeño aporte a la solución de ese gran problema y espero que sea de utilidad no solo para la Compañía Minera Milpo, sino también para los que se dedican a la explotación de minerales y me veré grandemente compensado si resultara útil a la generación que se prepara.

S I M B O L O S E M P L E A D O S

GENERALES

- h = Altitud sobre el nivel del mar
 P_a = Presión atmosférica del lugar
 n = Exponente politrópico; para el aire = 1.41
 a = Aceleración
 Q = Gasto de agua

COMPRESORAS

- D_a = Diámetro del cilindro de alta presión
 D_b = Diámetro del cilindro de baja presión
 DP = Desplazamiento del pistón
 d_p = Diámetro de la barra del pistón
 E_v = Eficiencia volumétrica
 e_p = Tanto por uno del espacio perjudicial
 N_c = Número de cilindros de baja presión
 P_2 = Presión de descarga
 S = Longitud de la embolada
 V_r = Volumen del tanque receptor

MAQUINAS PERFORADORAS

- c = Longitud efectiva de las carreras de impacto y retroceso
 D = Diámetro mayor del émbolo-martillo y del cilindro
 D_1 = Diámetro menor del émbolo martillo
 d = Diámetro de la barra estriada

- Δh_x = Aproximación del émbolo-martillo a la cámara delantera
 Δh_y = Aproximación del émbolo-martillo a la cámara posterior
 E = Energía efectiva de impacto
 E_p = Energía pura de impacto
 E_r = Energía de rebote
 F_x = Fuerza de impacto
 F_y = Fuerza de retroceso
 h_e = Longitud del escape
 h_x = Longitud de la cámara posterior
 h_y = Longitud de la cámara delantera
 h_z = Longitud de la cámara auxiliar
 L = Longitud mayor del émbolo-martillo
 L' = Longitud menor del émbolo-martillo
 m = Masa del émbolo-martillo
 N = Número de impactos por minuto
 P_t = Presión absoluta en la línea de aire comprimido
 P_x = Presión de amortiguamiento en la cámara posterior
 P_y = Presión de amortiguamiento en la cámara delantera
 t_i = Tiempo del émbolo-martillo en un golpe
 t_x = Tiempo en la carrera de impacto
 t_y = Tiempo en la carrera de retroceso
 U_r = Velocidad de rebote
 U_x = Velocidad de impacto
 V_a = Volumen de aire libre por minuto
 V_1 = Volumen de la cámara delantera

- V_2 = Volumen de la cámara posterior
 V_i = Volumen de aire en cada impacto
 V_t = Volumen de aire por minuto a la presión P_t
 V_x = Volumen en la cámara posterior, entre la cara posterior del émbolo-martillo y la válvula automática.
 V_{x1} = Volumen de aire admitido en la carrera de impacto
 V_y = Volumen en la cámara delantera, entre la cara frontal del émbolo-martillo y la válvula automática
 V_{y1} = Volumen de aire admitido en la carrera de retroceso
 W = Trabajo en la carrera de impacto
 W_f = Trabajo en la carrera de retroceso
 W_1 = Trabajo de la presión de amortiguamiento en la cámara delantera
 W_2 = Trabajo de la presión de amortiguamiento en la cámara posterior
 x = Carrera de impacto
 y = Carrera de retroceso

VIDA DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

- C = Costo inicial de la máquina perforadora
 P = Costo promedio unitario
 R = Costo de operación, mantenimiento y reparación
 U = Costo de operación, mantenimiento y reparación unitario
 X = Número de pies perforados
 Y = Costo de inversión de cada máquina perforadora

C A P I T U L O I

L A M I N A M I L P O

1.- UBICACION Y ACCESIBILIDAD

La mina Milpo está ubicada en el distrito de Yanacancha, provincia de Pasco y departamento de Pasco, aproximadamente a 12 kilómetros, en línea recta, al nor-este de la capital del departamento, Cerro de Pasco y a 185 kilómetros, en línea recta también, al nor-este de Lima. La mina está situada en los Andes Orientales, en las escarpadas laderas al oriente de un estrecho valle, junto al nacimiento del río Huallaga, tributario del Amazonas.

Nota: Los números entre paréntesis indican el número de orden de la Bibliografía consultada cuya relación aparece al final de este tomo.

Sus coordenadas geográficas son (1) :

10° 35' Latitud Sur

76° 12' Longitud Oeste

4,099 Metros de elevación

Para llegar a la mina Milpo desde Lima, la vía más común es por tierra a través de la Carretera Central, pasando por Chosica, Matucana, San Mateo, Ticlio, La Oroya y Cerro de Pasco; desde aquí por la carretera a Huánuco (Ramal de Huariaca) hasta el kilómetro 9, coincidente con el paraje Carmen Chico, de donde por una carretera de aproximadamente 7 kilómetros se llega al campamento minero de la Compañía Minera Milpo S. A. Toda esta travesía cubre una longitud de 331 kilómetros.

2.- HISTORIA DE LA EXPLOTACION

La zona de Milpo se conoció en la época de los españoles, quienes explotaron los minerales de plata de las partes altas.

En 1910, el Sr. Emilio Távoris fundía minerales de plomo en hornos de pachamanca, obteniendo lingotes de plomo ricos en plata.

Años más tarde el Sr. Agustín Arias trabajó el rajo "Arias" en el nivel 220 y empezó el nivel 170 para cortar la veta Porvenir lo cual no lo logró.

En 1948 el Ing^o Aquiles Venegas F. tomó de don Agustín Arias una opción de compra y llegó a cortar la veta Porvenir en el nivel 170.

Teniendo como base el mineral cubicado en los niveles 170 y 220 se formó la Compañía Minera Milpo S.A. el 6 de Abril de 1949 con un capital de 10 millones de soles oro los que fueron pagados en varias cuotas, de acuerdo a las necesidades iniciales de la Compañía. Con el producto de los concentrados producidos en la planta de Huaraucaca de la Negociación Fernandini se comenzaron a pagar los primeros dividendos.

En 1952, entró en funcionamiento la Planta de Beneficio de la compañía con una capacidad inicial de 50 T.M.S. por día y se adquirieron las hidroeléctricas de Rayhuán y Yanamachay.

En 1953, se instaló el proceso de Separación Heavy Medium y se amplió la sección Flotación teniendo el conjunto 150 T.M.S. diarias de capacidad. Para ése entonces se trabajaba con 6 niveles, siendo el nivel inferior el nivel "0" ó Socavón Navarrico.

En 1955, se empezó la cortada -100 para cortar las vetas Porvenir y San Carlos, pero al mismo tiempo en los niveles "0" y 80 se descubrieron las bolsonadas de Exito 1505

ó Veta 5 y 1204 ó Veta 4, las que dieron a Milpo la fisonomía que hoy posee.

En la actualidad la mina produce 750 a 800 T.M.S. diarias obteniéndose un promedio mensual de 1,500 T.M.S. de concentrado de plomo y 1,800 T.M.S. de concentrado de zinc.

Para el futuro se tiene proyectado elevar la producción a 1,400 T.M.S. diarias y posteriormente a 2,100 toneladas diarias, para lo cual se están haciendo estudios de factibilidad para la construcción de una nueva planta concentradora; actualmente se están realizando trabajos de ampliación del Pique Picasso, prolongándolo al nivel "0" y que extraerá el mineral desde el nivel -200, en actual desarrollo.

3.- CONDICIONES CLIMATERICAS

El clima de Milpo es frío, como los de las regiones altas en la Sierra Central del Perú. La Estación Meteorológica del Ministerio de Agricultura, instalada en las inmediaciones de la mina, ha registrado para el año 1969 los siguientes datos: Temperatura máxima 17.2 °C, temperatura mínima -4.0 °C; temperatura media para ese año 7.29 °C (45.1 °F). Precipitación pluvial total para 1969, 862.8 mm, promedio diario 4.2 mm. Humedad relativa máxima 99 % (Diciembre), humedad relativa mínima 19 % (Octubre), humedad relativa promedia 68 %.

Como la Estación indicada líneas arriba, no cuenta con barómetro o barógrafo, empleamos la fórmula dada por Sta ley (24) para encontrar la presión barométrica promedio :

$$\log P_e = \log 14.7 - \frac{h}{122.4 (\text{°F} + 461)}$$

Donde :

P_a = Presión barométrica en lb/pulg²

h = Altitud sobre el nivel del mar en pies

°F = Temperatura media

Para el caso Milpo estos valores son :

h = 13,451 pies y

°F = 45.1

Entonces :

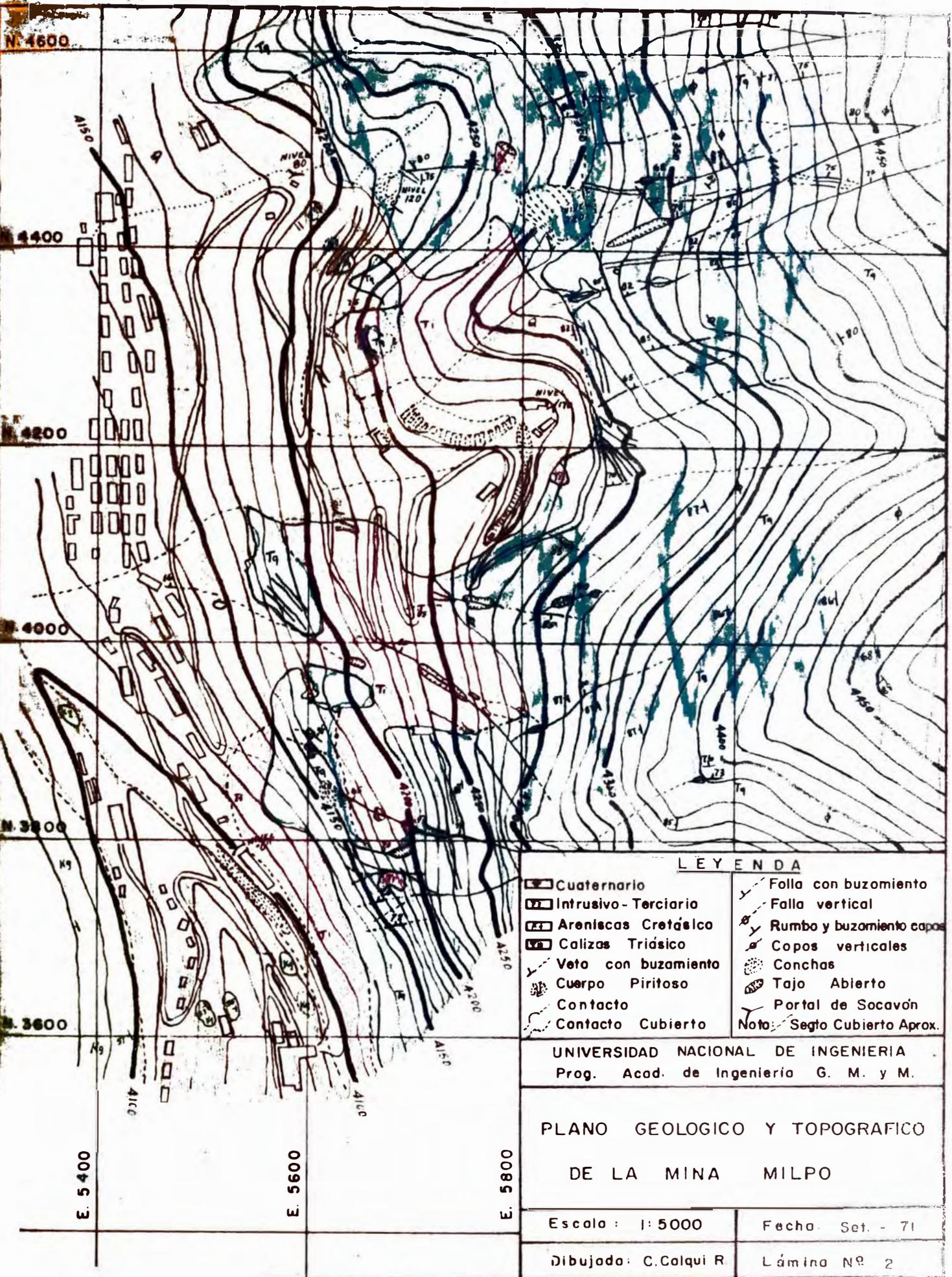
$$\log P_a = \log 14.7 - \frac{13,451}{122.4 (45.1 + 461)}$$

P_a = antilog 0.950187

P_a = 8.92 lb/pulg²

4.- GEOLOGIA

Fisiográficamente Milpo se encuentra en los límites de la planicie correspondiente a las elevaciones de Cerro de Pasco (4,000 a 4,300 metros), en la cual la superficie pampas ha sido profundamente disectada por los ríos recientes.



LEYENDA

- | | |
|---------------------|--------------------------|
| Cuaternario | Falla con buzamiento |
| Intrusivo-Terciario | Falla vertical |
| Areniscas Cretácico | Rumbo y buzamiento capas |
| Calizas Triásico | Copos verticales |
| Veto con buzamiento | Conchas |
| Cuerpo Piritoso | Tajo Abierto |
| Contacto | Portal de Socavón |
| Contacto Cubierto | Secto Cubierto Aprox. |

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

PLANO GEOLOGICO Y TOPOGRAFICO
 DE LA MINA MILPO

Escala : 1:5000	Fecha: Set. - 71
Dibujado: C.Colqui R	Lámina Nº 2

Las rocas que cubren el área son areniscas, cuarcitas, conglomerados-brechas, derrames de lava y calizas, que en parte han sido intruídas por una brecha andesítica. Posteriormente esas rocas, sin distingo de su naturaleza, fueron penetradas por rocas hypoabisales de composición dacítica en forma de "sills", diques y pequeños "stocks".

Las rocas estratificadas más antiguas de la región corresponden a la edad Triásico-Jurásico, integrada por la formación Pucará y constituída por calizas y lutitas calcáreas.

Al Oeste de la región afloran los sedimentos y derrames de lava de la formación Goyllarisquizga, que parecen yacer disconformemente sobre Pucará.

La base del grupo Goyllar esta formado por capas de brechas que consisten de fragmentos de sílice (chert-fluit) en una matriz de cuarzo fino y/o calcedonia. Al extremo Este de la región, la formación basal es interrumpida por la intrusión de una brecha andesítica. Suprayacente al horizonte brechoso de base, se encuentran conglomerados, lutitas, areniscas, cuarcitas y al tope derrames de lava. Conforme sobre los derrames de basalto aflora al Sur-este del área la formación Chicrín (Machay), constituída por calizas subyacentes a pizarras y lutitas rojas.

La estructura predominante de la región es un sinclinal asimétrico complejo, en cuyo extremo Norte el eje incli-

na unos 40° al Sur. El plano axial del sinclinal tiene un rumbo aproximado Norte-sur paralelo al plegamiento general regional y buzando al Este unos 50° .

El distrito se encuentra intensamente fallado. La fractura principal es la llamada Falla Atacocha, la que ha sido trazada en escala regional por varios geólogos; en Milpo esta falla no aparece en superficie por que esta cubierto por material cuaternario, pero con el socavón del nivel -100 se llegó a cortarlo en el punto topográfico N° 19.

Geología Económica.- Los minerales económicos consisten en galena y esfalerita en una ganga de pirita, cuarzo, calcita y algo de fluorita y rodocrosita. En el nivel -100 se ha observado algo de chalcopirita.

Los depósitos de mineral pertenecen a un período de mineralización estrechamente asociado con el intrusivo. Las soluciones minerales ascendieron por los bordes del intrusivo y reemplazaron a la caliza en grados variables. En superficie aparecen afloramientos de los cuerpos mineralizados y tienen una apariencia de vetas con 1.50 metros de potencia promedio; con un rumbo aproximado de 15° E y un buzamiento promedio de 80° al N, a medida que profundiza estos cuerpos mineralizados se van ensanchando que en algunos casos su sección transversal promedio llega a 200 metros cuadrados y en otros casos alcanza hasta un máximo de 1,500 metros cuadrados.

5.- MINERIA

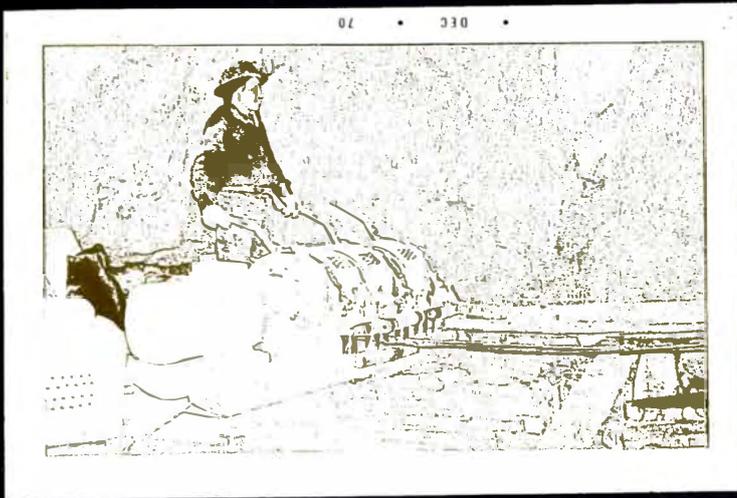
La explotación es subterránea, con niveles espaciados a 40 ó 50 metros. El nivel principal de extracción es el nivel "0" con cota de 4,099.137 metros y está a la misma altura de la tolva de gruesos de la planta de beneficio.

Por sobre el nivel "0" están los niveles 40, 80, 120, 170 y 220, que constituyen la Sección 1 de la mina y por debajo están los niveles -50, -100 y -200 que constituyen la Sección 2; el nivel -200 esta en la etapa de desarrollo.

Otro grupo aparte lo constituye la zona nueva de "Veta 3", cuyos niveles estan espaciados cada 50 metros; los niveles en actual producción de esta zona son: +100, "0", -50 y -100; los niveles +50, -150 y -200 se encuentran en desarrollo.

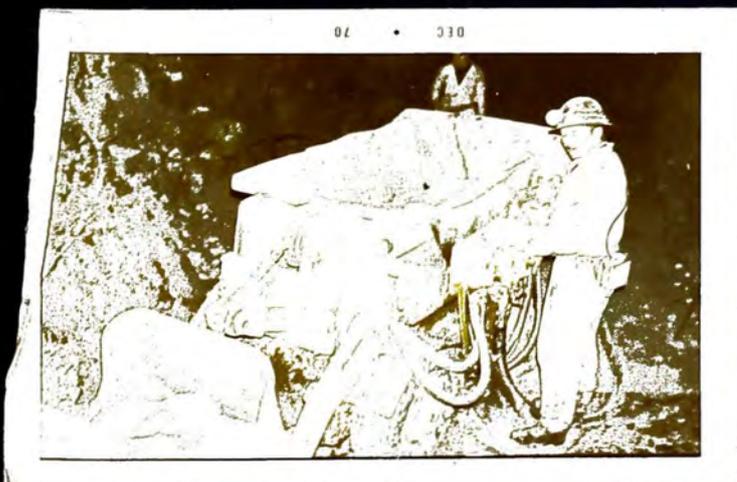
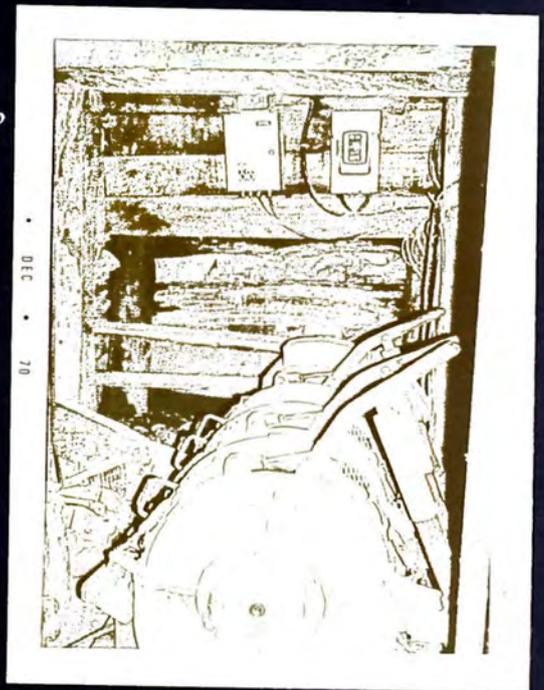
La denominación de los niveles corresponde a la diferencia de nivel con respecto al nivel "0". La disparidad en los espaciamientos entre niveles se debe a estudios económicos efectuados con anterioridad.

La explotación se lleva a cabo empleando tres métodos: Corte y Relleno, Almacenamiento Provisional y Conjunto de Cuadros. La selección del método lo determina la forma y tamaño del cuerpo mineralizado, teniendo en cuenta las con



Wincha eléctrica de 20 HP
de operación manual para
el arrastre de mineral.
←

Wincha eléctrica de 20 HP
a control remoto para
el arrastre de mineral
↳



Autocargador neumático
para la extracción del
mineral de los tajeos
↳

diciones de seguridad. Las "vetas" cuya potencia bordea la promedia, 1.50 metros y las bolsonadas irregulares se explotan por Corte y Relleno. Las bolsonadas de forma definida así como las "vetas" de potencia superior a la promedia se explotan usando Almacenamiento Provisional. El método de Conjunto de Cuadros se emplea en los depósitos cuya estructura es deleznable.

La mayoría de los trabajos en el interior de los tajeos es mecanizado, especialmente en el arrastre del mineral roto, para el que se emplean rastrillos eléctricos de mando manual o a control remoto, se usa también autocargador.

El transporte del mineral por las galerías se efectúa con carros metaleros de tipo U y volteo lateral con capacidad de 27 y 35 pies cúbicos halados por locomotoras de trolley de 1.5, 2 y 4 toneladas, según la necesidad del nivel; la trocha de la línea Decauville es de 20 pulgadas.

El sostenimiento en las galerías y tajeos se hace exclusivamente con madera, ya sea por medio de cuadros o por puntales; la madera que se emplea es el eucalipto que se adquiere en el valle del Huallaga.

La ventilación de la mina es por tiro natural. Los niveles extremos, con salida al exterior, son el -100 y 220, de modo que entre estos dos puntos hay una diferencia de al-

titud de 320 metros que origina una depresión natural que hace que el aire ingrese por el nivel inferior y salga por el superior y como la mina tiene una temperatura ligeramente mayor que el exterior, asegura que el flujo de aire que circula tenga una dirección francamente constante en cualquier época del año.

6.- CONCENTRACION DE MINERALES

El mineral extraído de la mina es concentrado en la planta de beneficio de la compañía, ubicada dentro de la zona de trabajo. Tiene una capacidad para tratar 900 toneladas secas de mineral por día de 24 horas. Las leyes de finos en la cabeza son de 5 a 6 % de plomo, de 6 a 7 % de zinc y de 5 a 7 onzas de plata por tonelada corta. Los concentrados finales son de plomo, que se recupera en dos formas, una de plomo unitario con 71 a 73 % de plomo y otra de plomo refinadora de 64 a 67 % de plomo y concentrado de zinc con 55 a 59 % de finos; la plata está en el concentrado de plomo con 63 a 66 onzas por tonelada corta.

Para la recuperación de las partes valiosas se emplea el sistema de Flotación, el mineral de Milpo constituido por sulfuros es bastante dócil a este sistema; la concentración consta de las etapas de chancado, molicnda, flotación y filtrado. El flujo que sigue el mineral puede verse en el Flow Sheet que se ilustra en la Lámina N° 3.

Sistema de Relleno Hidráulico.- El relave de zinc se envía a las canchas o al sistema de bombeo para el relleno hidráulico, según las necesidades. Para el segundo caso, el relave es bombeado hasta una segunda estación de bombeo, que está a nivel superior de 80 metros. En la segunda estación se le recibe en un ciclón que separa las arenas (útiles para el relleno en la mina) de los finos que se envían a las canchas. Del ciclón el relave pasa a un depósito donde se le agrega agua, a fin de obtener la densidad adecuada. El bombeo a la mina se efectúa por medio de tres bombas Denver en serie de 25 HP cada una; el diámetro del tubo de conducción es de 3". La presión de impulsión varía entre 60 a 160 libras por pulgada cuadrada manométricas.

7.- FUERZA

Para sus operaciones, la mina Milpo hace uso de dos tipos de energía, aire comprimido y energía eléctrica. El primero se obtiene de una planta de compresoras de aire ubicada junto a la bocamina del nivel "0".

La energía eléctrica se obtiene de tres fuentes :

Una planta hidroeléctrica de propiedad de la compañía, ubicada en el valle del río Huallaga en el paraje denominado Candelaria, la que genera 700 KW, durante la estación de seca y hasta 1,400 KW durante la estación lluviosa.

Una planta diesel ubicada entre la bocamina del nivel "0" y la planta de beneficio, que consiste de un generador diesel pequeño Sulzer que genera 370 KW y de otro generador diesel más grande Sulzer de 900 KW.

Una línea de transmisión desde la mina Atacocha que suministra hasta 600 KW.

8.- SERVICIOS GENERALES

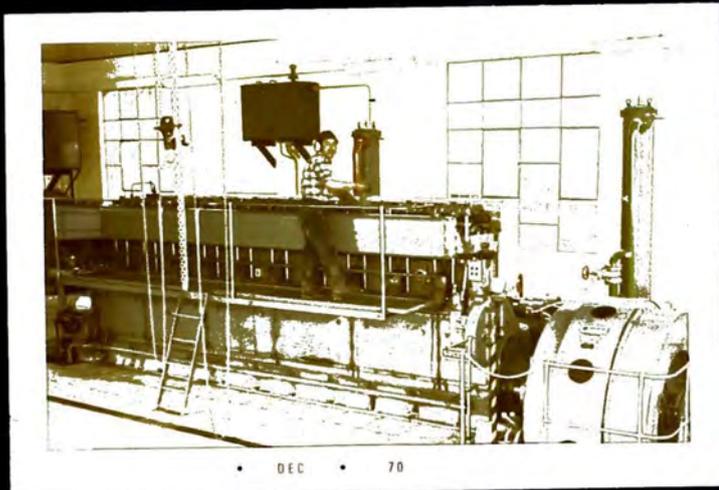
Son dependencias que prestan servicios especializados a la producción en forma directa. Estas son :

Aserradero y Carpintería, que se encarga de preparar la madera para la mina; dotada con una máquina espigadora, sierra eléctricas, máquina aserradora, etc.

Talleres de servicio mina, un conjunto de pequeños talleres cuyo personal de cada uno no es más de dos y que se encargan del mantenimiento y reparación del equipo minero, todos ellos ubicados en la bocamina del nivel "0", ellos son: Taller de soldadura, de herrería, de aguzadora, de reparación de winchas, de reparación de carros metaleros, de reparación de máquinas perforadoras, de reparación de paños mecánicas y de reparación de locomotoras.

Departamento Eléctrico, cuyo personal se encarga de las instalaciones del sistema eléctrico y del mantenimiento y reparación de la parte eléctrica del equipo minero.

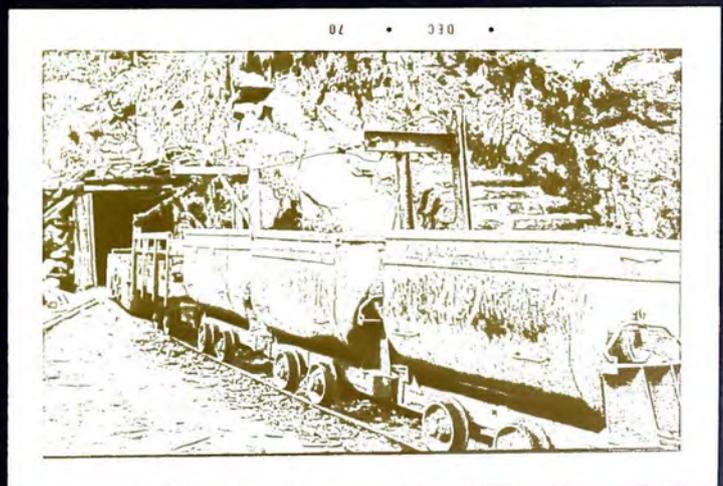
Vista de los Talleres
de Servicio Mina en la
bocamina del nivel "0"



Generador eléctrico
"Sulzer" de 900 Kw.



Locomotora de trolley
de 4 Ton. tirando
carros metaleros para
el transporte de mineral



Topografía, que se encarga del control de los avances de los tajeos, galerías y chimeneas y de los respectivos levantamientos.

Geología, que se encarga del muestreo de las distintas labores, exploración y prospección de nuevas zonas por medio de taladros largos.

Almacén, que se encarga del abastecimiento de materiales, herramientas y equipo.

Maestranza, que se encarga del mantenimiento y reparación del equipo mecánico de la planta de beneficio.

Departamento de Seguridad, que se encarga de llevar programas de prevención de accidentes.

Oficina de Tiempo, que se encarga del control de las horas de trabajo del personal.

Oficina de Caja, que se encarga de las operaciones contables

Departamento Médico, para la atención sanitaria y médica de los trabajadores y sus familiares.

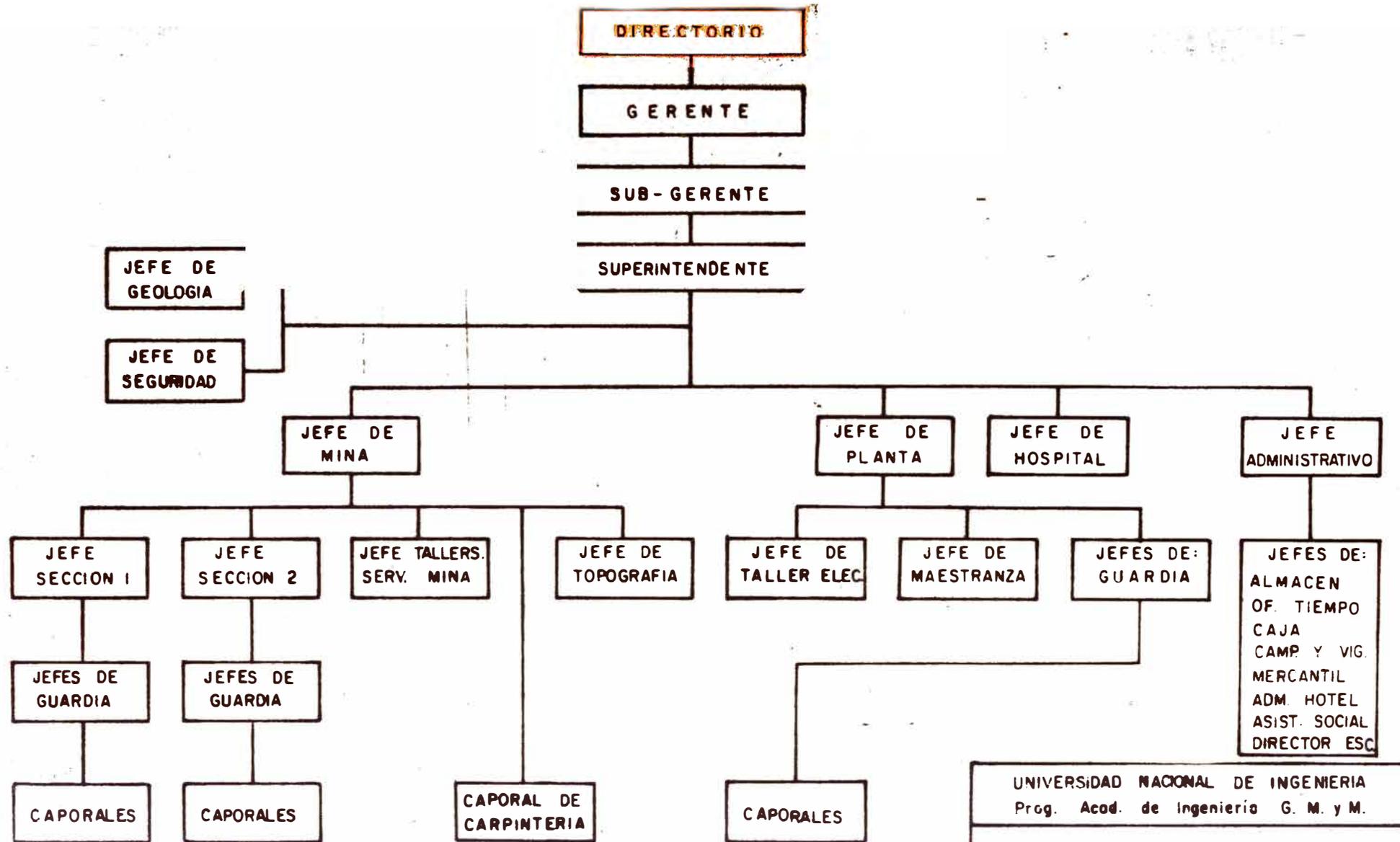
Además, la compañía cuenta con una Oficina de Asistencia Social, Mercantil, Escuela para la educación primaria y hotel de empleados.

9.- ORGANIZACION ADMINISTRATIVA

La Lámina N° 4, muestra el cuadro organizativo de la Compañía Minera Milpo, donde se ve que su organización es básicamente lineal con solo dos ramales de asesoría: Geología y Seguridad.

La autoridad máxima en la mina es el Superintendente. Al concluir el año 1969, se contó con un personal de 823 obreros y 84 empleados.

La mina trabaja en dos guardias cuyo horario es el siguiente: Guardia de día de 7:30 a.m. a 4:30 p.m. con una hora de descanso para el almuerzo de 12:00 a 1:00 p.m. Guardia de noche de 7:00 p.m. a 4:00 a.m. con una hora de descanso de 12:00 p.m. a 1:00 a.m.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Prog. Acad. de Ingenieria G. M. y M.

CUADRO DE ORGANIZACION
 DE LA CIA. MINERA MILPO S.A.

Escola: S/E	Fecha: Set. - 71
Dibujado: C. Colqui R.	Lamina N° 4

C A P I T U L O I I

LA PERFORACION MECANICA EN LA MINA MILPO

GENERALIDADES

En Milpo la perforación mecánica se efectúa para dos finalidades :

- a).- Arranque de roca o mineral y
- b).- Exploración con taladros largos

La perforación para el arranque de roca o mineral se efectúa en los tajeos, galerías, chimeneas y en la superficie para el arranque de roca estéril que se usa en el relleno.

El mayor porcentaje de perforación y los problemas más diversos al respecto, se encuentran en la explotación de minerales en los tajeos, por lo que el presente trabajo se limitará exclusivamente al estudio de la perforación mecánica en los tajeos.

2.- LOS METODOS DE TAJEADO Y LA PERFORACION MECANICA

2.1.- Corte y Relleno (Cut and Fill).- Preparación.- Se inicia construyendo una tolva de tres compartimientos (una tolva y dos caminos), desde cuya parte superior y dejando un puente de aproximadamente dos metros se efectúa la apertura del futuro tajeo siguiendo la mineralización; una vez conocido los límites del cuerpo mineralizado, se procede a la construcción de las tolvas y la apertura de chimeneas. El número de tolvas y chimeneas depende de la amplitud del cuerpo mineralizado. La preparación termina con la puesta de la "camada" de madera sobre el puente, para facilitar su posterior recuperación.

Explotación.- La explotación propiamente dicha se inicia con el arranque del mineral del techo de una de las tolvas hacia la chimenea o chimeneas. Se efectúa aquí las cuatro operaciones básicas del método de Corte y Relleno: Arranque de mineral, limpia del mineral roto, armado de cuadros de tolva y el rellenado.

El arranque de mineral se lleva a cabo con perforaciones de taladros de 5 pies, los que se realizan con juegos de dos barrenos: patero y seguidor. La dirección de los taladros son horizontales o casi horizontales. El trazo de los taladros es simple, se trata

en lo posible de perforarlos ubicándolos en los verti-
ces de triángulos equiláteros cuyas bases son parale-
las a la cara libre horizontal del terreno. La longi-
tud de los lados de los triángulos depende de la natu-
raleza del terreno. Los taladros entre sí son parale-
los. La perforación se lleva a cabo con máquinas per-
foradoras neumáticas. La eficacia del citado trazo no
es del todo bueno, por que en la mayoría de los casos
se nota alta producción de "bancos" de mineral. Las
consecuencias de esta anomalía son las siguientes

- a).- Requieren de una perforación secundaria, necesi-
tándose el empleo mayor de las máquinas perfora-
doras.
- b).- Aumenta el consumo de explosivos
- c).- Disminuye la eficiencia y vida de los rastrillos
mecánicos y de sus winchas.
- d).- Disminuye la vida de las tolvas de extracción.
- e).- Disminuye la capacidad y la vida de los carros
metaleros.
- f).- Son causa de accidentes al manipular enormes tro-
zos de mineral.

En este método es posible hacer una perforación
selectiva, es decir, permite llevar a cabo dicha ope-
ración solo en las partes mineralizadas, dejando las

partes estériles para una segunda perforación cuyo producto se emplea en el relleno. El rendimiento promedio para este método es de 4.69 toneladas por hombre

2.2.- Almacenamiento Provisional (Shrinkage).- Preparación.-

La preparación en este método, requiere de mayor tiempo y costo, puesto que es necesario la construcción de un número mayor de tolvas o la apertura de varias chimeneas auxiliares que servirán para la extracción del mineral por descarga libre. A tres metros sobre la galería, se abre un subnivel que delimita el cuerpo mineralizado, que luego se comunican por chimeneas auxiliares cada 3 metros donde se construyen tolvas convencionales, esto cuando el subnivel está sobre la vertical de la galería; si el mineral está desplazado, las chimeneas auxiliares se comunican a la galería con pequeñas estocadas y no se construyen tolvas, éstas se denominan descarga libre, para cargar el mineral se emplean palas mecánicas.

Explotación.- En este método se reduce a solo una operación: el arranque de mineral, que como en el método anterior, se efectúa con perforaciones de taladros de 5 pies, empleando juegos de dos barrenos, patero y seguidor. Aquí también los taladros tienen una dirección horizontal, paralelos entre sí y el trazo es también

simple, ubicándolos sobre vértices de triángulos equiláteros cuya base es paralela a la cara libre horizontal del terreno. Para poder efectuar la perforación, el mineral roto en un disparo se "jala" aproximadamente en un 20 %, el resto queda como sostenimiento del terreno, hasta que el tajeo comunique con el nivel superior.

El problema de la producción de "bancos" es mayor en este método, debido a que las cajas no son lo suficientemente fuertes para soportar el movimiento de la masa de mineral roto, lo que origina resquebrajaduras, con la consiguiente ruptura en "bancos" enormes de material estéril que diluye el mineral. En estos "bancos" no se puede efectuar la perforación secundaria en el tajeo, por que ellos se producen durante la extracción, solo se los ubica cuando hacen su aparición en las tolvas o en las chimeneas de descarga libre, en donde, en algunos casos, se realiza la perforación secundaria y en otros, se los desmenuza solo con el uso de explosivos (plastas).

En este método es difícil hacer la perforación selectiva, lo cual atenta contra la ley del mineral. El rendimiento promedio de este método es de 7.45 toneladas por hombre.

2.3.- Conjunto de Cuadros (Square set).- Como se indicó, este método se emplea en terrenos difíciles a fin de sostener el techo y preveer cualquier colapso. La fase de preparación de estos tajeos es idéntica a las del método de Corte y Relleno. La fase de explotación propiamente dicha, es también idéntica a ese método, solo difiere en que en este método a medida que se va abriendo el tajeo se van armando los cuadros con el fin ya señalado. La perforación es también idéntica a los métodos anteriores y con sus mismos problemas indicados. El rendimiento promedio de este método es de 2.9 toneladas por hombre.

3.- PERSONAL Y HORARIO DE PERFORACION

El personal de perforación está constituido por dos hombres por máquina: un perforista y un ayudante. Hasta hace poco estos dos hombres se dedicaban exclusivamente a la operación de perforación y disparo; de modo que en un tajeo de Corte y Relleno había equipos de rastrilleros, enmaderadores, etc. La dedicación exclusiva de perforación y disparo esta limitada ahora a los tajeos de Almacenamiento Provisional.

Actualmente en los tajeos de Corte y Relleno y en los de Conjunto de Cuadros, el personal de perforación eje-

cuta todas las operaciones de explotación, vale decir, realiza la perforación y disparo, limpia el mineral con rastrillo, arma los cuadros, ya sea de tolva o de sostenimiento y procede a rellenar el tajeo con desmonte o con relave. Como la labor es algo más recargada, para las operaciones que no son de perforación y disparo se adiciona un hombre más.

Se ha estado ensayando la perforación con dos máquinas cada una de ellas con un perforista y un solo ayudante para ambos; esto ha creado cierta resistencia entre nuestros trabajadores, resistencia al cambio que es muy natural y que hay que vencer tomando medidas adecuadas.

A cada tajeo se le asigna una máquina perforadora, de modo que el personal de perforación de las dos guardias hace uso de una misma máquina, ésta no es sacada del tajeo sino en casos de desperfectos. El juego de barrenos, que generalmente son dos, se recavan diariamente de las bodegas de cada nivel, así como también el lubricante.

Por otro lado, como se dijo, en la mina se trabaja en dos guardias y de acuerdo al Reglamento de Seguridad é Higiene para la Industria Minera y Metalúrgica, del Código de Minería, que todavía está en vigencia, los disparos primarios se hacen al final de cada guardia; esto limita a hacer un solo disparo por guardia en cada uno de los tajeos.

El trabajo de perforación se efectúa, en lo posible, en las horas cercanas al disparo, es decir en la segunda media guardia, ejecutando, por lo tanto, las otras operaciones de "no-perforación" durante las horas de la primera media guardia.

4.- ABASTECIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

La planta de compresoras de aire, ubicada cerca a la bocamina del nivel "O", está constituida por 5 compresoras, todas ellas son del tipo reciprocante de doble efecto y compresión de dos etapas, por lo que cada unidad cuenta con su correspondiente interrefrigerador. El aire comprimido por las compresoras pasa directamente a cada uno de los tanques receptores con que cuenta cada una de ellas; no hay ningún post-refrigerador instalado en la descarga de las compresoras. Los receptores están instalados en paralelo para entregar el aire a la mina por tubería de 6 pulgadas de diámetro.

Tres de las compresoras son de marca Gardner-Denver del mismo modelo y de las mismas características, la otra es una Joy, todas éstas accionadas por motores eléctricos sincrónicos y la última es una Ingersoll Rand accionado por un motor diesel.

4.1.- CARACTERISTICAS DE LAS COMPRESORAS.- Las siguientes son las características de cada unidad de compresoras:

Gardner-Denver :

Modelo : H-20105-ED
 Diámetro cilindro de baja presión (D_b) = 20 pulg.
 Diámetro cilindro de alta presión (D_a) = 10 1/2 pulg.
 Número de cilindros de baja presión (N_c) = 1
 Longitud de la embolada (S) = 12 pulg.
 Diámetro de la barra del pistón (d_p) = 2 1/4 pulg.
 Velocidad de operación = 300 rpm.
 Potencia del motor = 175 HP
 Volumen del tanque receptor (V_r) = 96 pies³

JOY :

Modelo = W N 11 4 E
 Diámetro cilindro de baja presión (D_b) = 15 1/2 pulg.
 Diámetro cilindro de alta presión (D_a) = 9 1/4 pulg.
 Número de cilindros de baja presión (N_c) = 2
 Longitud de la embolada (S) = 7 pulg.
 Diámetro de la barra del pistón (d_p) = 1 3/8 pulg.
 Velocidad de operación = 600 rpm.
 Potencia del motor = 250 HP
 Volumen del tanque receptor (V_r) = 151 pies³

Ingersoll Rand :

Modelo	:	4 X V O
Diámetro cilindro de baja presión (D_b)	=	15 pulg.
Diámetro cilindro de alta presión (D_a)	=	8 pulg.
Número de cilindros de baja presión (N_c)	=	1
Longitud de la embolada (S)	=	12 pulg.
Diámetro de la barra del pistón (d_p)	=	1 3/4 pulg.
Velocidad de operación	=	350 rpm.
Potencia del motor	=	100 HP
Volumen del tanque receptor (V_r)	=	56 pies ³

4.2.- VOLUMEN DISPONIBLE DE AIRE COMPRIMIDO.- En vista de que no se dispone de instrumentos de medición del caudal de aire comprimido, procederemos a calcularlo haciendo uso de las características de las compresoras y las definiciones.

a).- Desplazamiento del Pistón (DP).- Como se sabe, es el volumen teórico de aire libre aspirado por la compresora por cada minuto. Su valor se deduce de la siguiente manera, empleando los símbolos dados en las características :

Como las compresoras son de doble efecto, el volumen de aire aspirado en cada embolada será :

$$\frac{\pi D_b^2}{4} S + \left(\frac{\pi D_b^2}{4} S - \frac{\pi d_p^2}{4} S \right)$$

$$= \frac{\pi}{4} S (2 D_b^2 - d_p^2)$$

En un minuto efectúa "rpm" emboladas por lo que el volumen de aire aspirado en ese tiempo es :

$$\frac{\pi}{4} S (2 D_b^2 - d_p^2) (\text{rpm})$$

Si la compresora tiene N_c cilindros de baja presión, el volumen aspirado será :

$$\frac{\pi}{4} S (2 D_b^2 - d_p^2) (\text{rpm}) N_c$$

Como las medidas lineales se expresan en pulgadas y el volumen en pies cúbicos, la expresión anterior se multiplica por el factor de conversión 1/1728, entonces :

$$DP = \frac{\pi}{4} \times \frac{1}{1728} S (2 D_b^2 - d_p^2) (\text{rpm}) N_c$$

$$DP = 0.000454 S \cdot N_c (2 D_b^2 - d_p^2) (\text{rpm}) \text{ pies}^3/\text{min}$$

Sustituyendo valores para cada modelo de compresoras se tiene :

Gardner Denver :

$$DP = 0.000454 \times 12 \times 1 \times 300(2 \times 20^2 - 2.25^2)$$

$$DP = 1,299 \text{ pies}^3/\text{min}$$

Joy :

$$DP = 0.000454 \times 7 \times 2 \times 600(2 \times 15.5^2 - 1.375^2)$$

$$DP = 1,825 \text{ pies}^3/\text{min}$$

Ingersoll Rand :

$$DP = 0.000454 \times 12 \times 1 \times 350(2 \times 15^2 - 1.75^2)$$

$$DP = 852 \text{ pies}^3/\text{min}$$

b).- Eficiencia Volumétrica (E_v).- Es la razón del volumen de aire realmente admitido al volumen teórico resultante del desplazamiento del pistón. Debido al espacio perjudicial, el efecto de válvula, etc., el volumen de aire admitido es menor que el desplazamiento.

V.M. Faires (25) dá una ecuación de la eficiencia volumétrica de las compresoras, hallada a partir del diagrama convencional para procesos politrópicos, ésta es :

$$E_v = 1 + e_p - e_p \left(\frac{P_a}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Donde :

e_p = tanto por uno (o porcentaje dividido por 100)
del espacio perjudicial.

P_a = presión atmosférica en lb/pulg² (8.92 caso
Milpo)

P_2 = presión de descarga en lb/pulg² (100 + 8.92
caso Milpo).

$n = 1.41$

El porcentaje del espacio perjudicial es la razón del volumen del espacio perjudicial al desplazamiento del pistón. El mismo Fairies dice: "Los valores del porcentaje del espacio perjudicial varían en la práctica desde alrededor del 3 % en algunos grandes compresores de movimiento alternativo, hasta más del 12 % en otros". Las compresoras de Milpo están consideradas como grandes y son de movimiento alternativo por lo que este porcentaje debe estar alrededor de 4 %; si adoptamos este valor los resultados no serán exactos, pero estaremos muy cerca de ellos.

Sustituyendo por sus valores la ecuación anterior se tiene :

$$E_v = 1 + 0.04 - 0.04 \left(\frac{108.92}{8.92} \right)^{\frac{1}{1.41}} = 80.12 \%$$

c).- Capacidad Efectiva de las Compresoras. Con los datos anteriores se calcula la capacidad efectiva de las compresoras, éstas son :

Gardner-Denver:	1,299 x 0.8012 = 1,041	pies ³ /min
Joy :	1,825 x 0.8012 = 1,462	"
Ingersoll Rand:	852 x 0.8012 = 683	"

d).- Volumen Disponible. El volumen disponible de aire libre a las condiciones atmosféricas de ésta mina es :

Gardner-Denver :	3 x 1.041 = 3,123	pies ³ /min
Joy :	1,462	"
Ingersoll Rand :	683	"
<hr/>		
T O T A L	5,268	pies ³ /min

e).- Volumen Disponible para la Perforación. Del total de aire disponible, la planta de beneficio consume alrededor de 200 pies cúbicos por minuto. Por otro lado, además de las máquinas perforadoras, se emplean otras máquinas neumáticas, tales como palas mecánicas, autocargador, pequeñas winchas, etc., cuyo consumo estimamos alrededor del 25 % del que ingresa a la mina, quedando entonces para la perforación $(5,268 - 200) 0.75 = 3,801$ pies cúbicos por minuto.

4.3.- TRANSMISION DE AIRE COMPRIMIDO.- La red de transmisión para el interior se muestra en la Lámina N° 5, donde se puede observar que se ha tratado de establecer una línea troncal de tubería de 6 pulgadas de diámetro que cubre parcialmente la mina. A la tubería de 6 pulgadas continúa o sale de ella otra de 4 pulgadas, en algunos casos, en otros, continúa o sale otra de 2 pulgadas.

El aire comprimido llega a los tajeos de explotación, en unos casos, con tubería de 2 pulgadas y en otros, con tubería de 1 pulgada; en todos los casos las tuberías rematan en mangueras de 1 pulgada para el uso en las máquinas perforadoras y otras máquinas neumáticas.

a).- Separación de la humedad del aire comprimido.

Cuando se comprime aire, la humedad de la atmósfera ingresa también a la línea de aire comprimido, de igual manera, el aceite que se emplea para la lubricación de los cilindros ingresa también a la línea. Estos dos elementos deben ser separados por condensación, en caso contrario se producen las siguientes consecuencias, entre otras :

a₁.- El agua lava el lubricante de las máquinas perforadoras acelerando su desgaste.

- a₂.- El agua se congela por expansión en el escape de las herramientas, disminuyendo su rendimiento.
- a₃.- El agua se congela en las tuberías disminuyendo su diámetro y la consecuente pérdida de presión por fricción (Esto se nota en la línea que conduce al nivel +100).
- a₄.- El aceite aumenta el riesgo de explosión en el tanque receptor debido a la temperatura alta de descarga de las compresoras y que puede llegar a su punto de ignición.
- a₅.- El aceite provoca un desgaste prematuro en las mangueras.

Para separar esos dos elementos se dispone de dos deshumecedores cuyas ubicaciones se pueden ver en la Lámina N° 5. Obsérvese que están situados en lugares inaparentes, por que antes de ellos hay derivaciones que llegan hasta tajeos en explotación. Cabe hacer notar que estos artefactos están dotados de un dispositivo de purga automático, una medida muy acertada.

Estos deshumecedores no son suficientes para eliminar las desventajas enumeradas líneas arriba; se hace necesario el empleo de post refrigeradores,

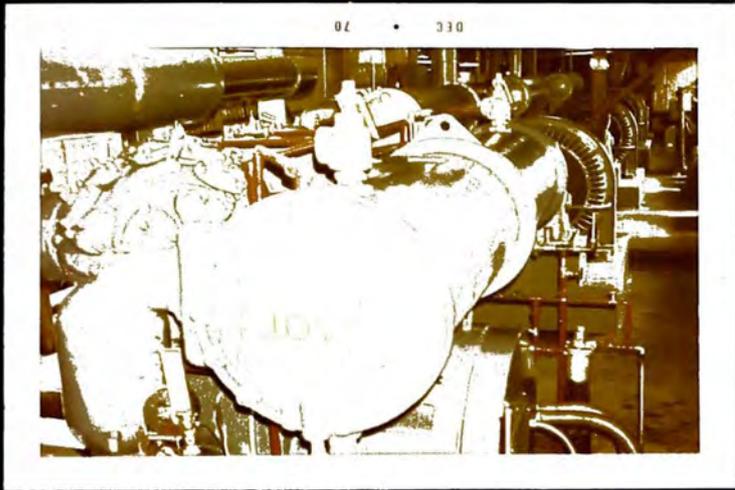
la falta de estos aparatos hace además, que se pierda presión, ya que el aire descargado de los receptores es todavía caliente, esta temperatura al descender durante el trayecto hace descender también la presión; además el aire caliente produce, en la tubería, contracciones y expansiones las mismas que ocasionan fugas.

b).- Presión de trabajo en la línea de aire comprimido

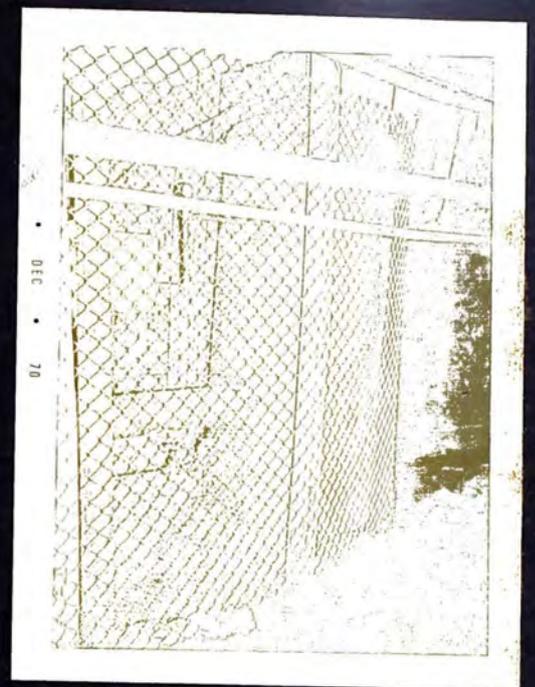
Debido a la variabilidad en el consumo del aire comprimido en los diferentes frentes y a la carencia de instrumentos adecuados de medición se hace difícil calcular con exactitud la pérdida de presión. Sin embargo, durante el estudio de tiempos de la perforación mecánica que se hizo en Milpo, cuyos resultados aparecen en el Capítulo VI de este trabajo, se han efectuado más de 60 mediciones en los distintos puntos de operación, el promedio de estas mediciones arroja una presión de 85 libras por pulgada cuadrada manométricas, esta cifra la adoptaremos como presión de trabajo en la línea de aire comprimido.

5.- ABASTECIMIENTO DE AGUA

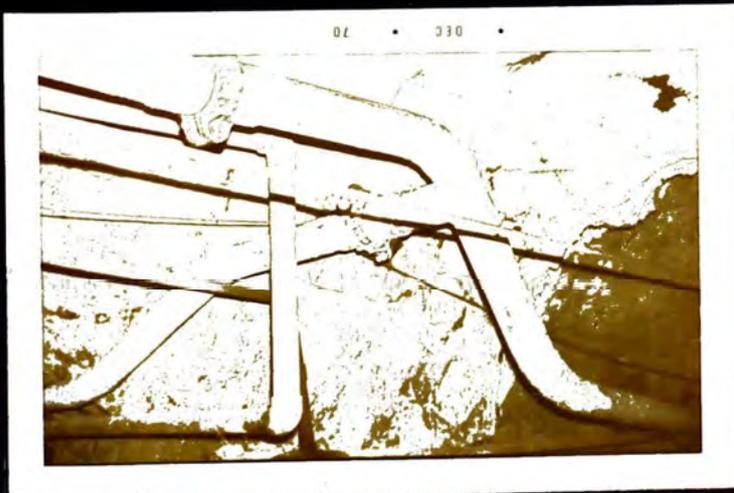
Para sus operaciones Milpo se abastece de agua de tres fuentes: Un manantial ubicado en el lugar denominado Warmi-



Planta Compresora de Aire



*Deshumecedor de la
línea de aire comprimido
en el nivel "0"*



*Instalación correcta de la
línea de aire comprimido*



*Instalación incorrecta de la
línea de aire comprimido*

puquio, en las nacientes del río Huallaga, Km 7 de la carretera Cerro de Pasco - Huánuco, cuyas aguas llegan por gravedad hasta la casa de bombas de Yanamachay, con cota de 4,055 metros, que cuenta con tres unidades; dos de ellas de funcionamiento continuo y el tercero en calidad de "stand by". Dos bombas son de la marca Sulzer y el tercero Wernert, no se conocen ni se disponen de sus características técnicas. Estas bombas impulsan el agua por una tubería de 8 pulgadas de diámetro y con una longitud de 2,700 metros, hasta el reservorio principal, ubicado en las cercanías de la "Casa Sulzer", con una cota de 4,130 metros y con una capacidad aproximada de 142,432 galones U.S. (539,150 litros), desde donde se distribuye el agua a los distintos puntos de consumo.

La segunda fuente lo constituye la acumulación de aguas de filtración subterránea captadas en el Crucero 027 S en el nivel "0" en cuya entrada se construyó una presa de 1.15 metros de altura y se estima que almacena 47,552 galones U. S. (180,000 litros), que satisface las necesidades de la Sección 2 de la mina.

La tercera fuente lo constituye los manantiales de Socorro, donde se han construido reservorios, ésta no es de importancia para nuestro caso, por que sus aguas son consumidas totalmente como agua potable.

5.1.- CANTIDAD DISPONIBLE DE AGUA.- Debido a que se desconocen las características de las bombas, se han hecho mediciones prácticas para determinar la cantidad de agua que llega al reservorio principal. El método empleado, para no entorpecer las labores, ha sido el de medir el tiempo de la altura de descarga del reservorio, primeramente sin trabajar las bombas mientras funcionaban todos los puntos de consumo y una segunda medida con las bombas trabajando y los puntos de consumo funcionando. Los resultados son los siguientes :

Descarga efectiva del reservorio :

Altura de bajada	=	0.605 dm
Tiempo	=	5 minutos
Superficie del reservorio	=	205 metros ²

$$Q = \frac{205 \times 0.605 \times 100}{5} = 2,480 \text{ lt/min} = 655 \text{ gal/min}$$

Entrada al reservorio con descarga :

Altura de bajada	=	0.08 dm
Tiempo	=	15 minutos

$$Q = \frac{205 \times 100 \times 0.08}{15} = 109 \text{ lt/min} = 29 \text{ gal/min}$$

Entrada efectiva al reservorio :

$$Q = 2,480 - 109 = 2,371 \text{ lt/min} = 626 \text{ gal/min}$$

Las aguas de la segunda fuente pasan a otro reservorio en la Galería Oll E de donde se distribuye a la Sección 2, su ingreso se ha calculado por el mismo método anterior :

Superficie del reservorio = 61.29 metros²
 Altura de subida = 0.10 dm
 Tiempo = 15 minutos

$$Q = \frac{61.29 \times 100 \times 0.10}{15} = 41 \text{ lt/min} = 11 \text{ gal/min}$$

5.2.- CONSUMO DE AGUA.- El consumo del reservorio principal se resume en el Cuadro N° 1, donde se hizo un balance del agua disponible y del consumo calculados por el mismo método señalado líneas arriba.

CUADRO N° 1

BALANCE DEL CONSUMO DE AGUA DEL RESERVORIO PRINCIPAL

Entrada Efectiva	626 gal/min
Consumo: Planta de Benef.....	437 gal/min
Mina Sección 1	48 "
Relleno Hidráulico..	121 "
2a línea agua pot...	26 "
Consumo Total	655 "
DEFICIT	29 gal/min

El déficit que se muestra en el Cuadro N° 1 justifica la construcción que se efectuó del reservorio principal, así como de los reservorios secundarios: el de 170, el de +100 que abastecen a la Sección 1 de mina y el del reservorio de San Carlos que dá agua para el relleno hidráulico, un renglón importante de la mina.

5.3.- CONSUMO DE AGUA POR MAQUINA PERFORADORA.- Para encontrar el consumo promedio de agua por máquina perforadora, se ha medido el volumen de descarga de cada uno de los reservorios que abastecen la mina a la hora de perforación y conociendo el número de máquinas que perforaban; los resultados se ven en el Cuadro N° 2.

CUADRO N° 2

CONSUMO PROMEDIO DE AGUA POR PERFORADORA

RESERVORIO DE MEDICION	VOL.CONSUMIDO Gal.U.S./min	N° DE MAQUINAS EN OPERACION	CONSUMO/MAQ. Gal.U.S./min
170	14.2	8	1.7
+ 100	4.7	2	2.4
Galería Oll E	8.7	3	2.9
Gal. -507 N.E.	9.2	4	2.3
CONSUMO PROMEDIO POR MAQUINA			2.3

6.- ABASTECIMIENTO DE BARRENOS

Como se dijo antes, la longitud de los taladros es de 5 pies y en casos excepcionales se perforan taladros de 8 pies; para el primer caso se emplean juegos de dos barrenos: un "patero" cuya longitud efectiva es de 2 1/2 pies y un "seguidor" de 5 pies; para el segundo caso se usa además de los anteriores un "pasador" de 8 pies.

Los barrenos son del tipo integral, es decir, que la broca y el cuerpo del barreno constituyen una sola pieza. Es de forma hexagonal de 7/8"; la longitud de la espiga es de 4 1/4"; el collarín es forjado; la broca lleva un inserto de material duro, generalmente acero al tungsteno, cuyas dimensiones cuando nueva es, el patero de 40 mm, el seguidor de 39 mm y el pasador de 38 mm; la marca de mayor uso en esta mina es Sandvick Coromant.

Se ha observado que en la gran mayoría de los casos el desgaste de la broca es en sentido longitudinal, lo que pone de manifiesto que el terreno en Milpo es de dureza media; se ha notado también, que un escaso número de desgaste es en sentido diametral, posiblemente empleados en zonas de terrenos donde predomina la sílice, que en esta zona son escasos; sin embargo, un número algo mayor que el anterior es por desgaste helicoidal, esto como consecuencia de la deficiente rotación de algunas máquinas perforadoras.

- 6.1.- Taller de Aguzadora.- El taller de aguzadora de barrenos esta ubicado en la superficie junto a la bocamina del nivel "0", hasta donde llegan los barrenos a aguzarse de todos los niveles de la mina. Cuenta con dos máquinas aguzadoras, de marca Sandvick Coromant tipo 1400 (83/262) accionado por un motor neumático Atlas Copco de tipo LZB-83-35 y con 3,500 rpm.
- 6.2.- Rueda abrasiva.- La rueda abrasiva o muela que se emplea para aguzar los barrenos es del tipo copa cuyas dimensiones son 152 x 83 U 102 x 64 mm

Cuando se efectuaba el presente estudio, se disponía de dos marcas de ruedas abrasivas, una de fabricación española RALO y otra sueca NAXOS, las características de ambas se enumeran en el Cuadro N° 3.

CUADRO N° 3

CARACTERISTICAS DE LAS RUEDAS ABRASIVAS

CARACTERISTICAS	RALO	NAXOS
Abrasivo	C	C
Tamaño del Grano	46/54	46
Dureza del Grano	I - J	H
Dispersión del Grano	7	8
Material Aglomerante	V	V

Por las características indicadas y por las pruebas efectuadas con ambas marcas, agregado el adiestramiento previo del operador, se obtienen mejores resultados con la marca NAXOS, por que es el que menos sobre-calentamientos produce tanto en el inserto como en el acero de los barrenos. El sobre-calentamiento del inserto produce tensiones en su estructura que origina su ruptura prematura; es de hacerse notar que la gran mayoría de los barrenos declarados inservibles son por ruptura de los insertos.

7.- REPARACION DE MAQUINAS PERFORADORAS

La reparación de las máquinas perforadoras se realiza en un taller ubicado cerca de la bocamina del nivel "0" a donde llegan todas las máquinas a repararse de todos los niveles de la mina.

Las máquinas perforadoras son sacadas a reparar solo cuando el perforista nota u observa algún desperfecto en sus piezas, es decir cuando la máquina falla, mientras no ocurre esto, la máquina sigue trabajando.

Para cumplir con sus funciones el taller de reparaciones de máquinas perforadoras solo usa herramientas de mano, no cuenta con equipo adicional. Ultimamente se ha adquirido

para este taller, una lavadora de máquinas perforadoras de fabricación norteamericana de marca NORTECH, es un equipo que no tiene piezas rotativas y que limpia por dentro a cualquier máquina perforadora sin desmontarla empleando aire comprimido y petróleo o kerosene, con este equipo se puede lavar las máquinas en pocos minutos. Sus dimensiones son 24" x 24" x 40", el modelo es TC - 1.

Los repuestos que se consumen en la reparación de las máquinas perforadoras son reportadas a la Oficina de Minas, en donde se llevan unas tarjetas de control para cada máquina, una de ellas se ilustra en la Lámina N° 13; en ellas se anotan cada uno de los repuestos que se emplean, con su respectivo costo, en cada una de las reparaciones; se anotan también los pies perforados por cada máquina mes a mes.

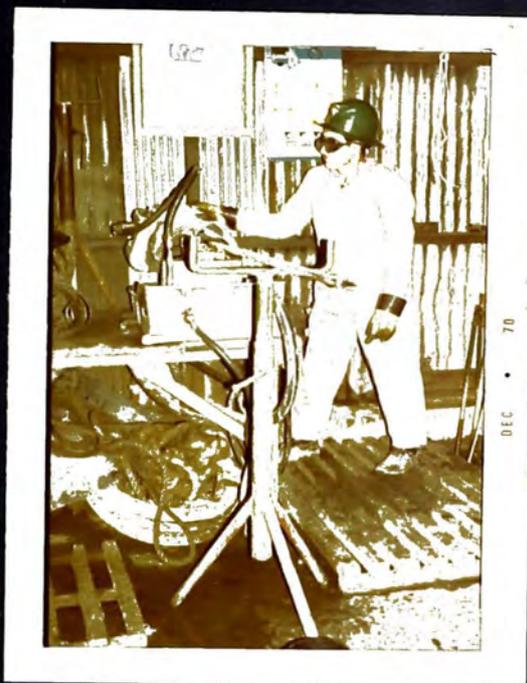
Como se vé, Milpo no cuenta con un programa de mantenimiento de las máquinas perforadoras, este es un aspecto negativo que va en contra del rendimiento de las máquinas, por que reduce su potencia real y aumenta el consumo de aire; aumenta también los costos de reparación y disminuye la vida de las máquinas, todo lo cual atenta a la productividad.

El único equipo que cuenta el taller de reparaciones de máquinas perforadoras, la lavadora, es un equipo netamen

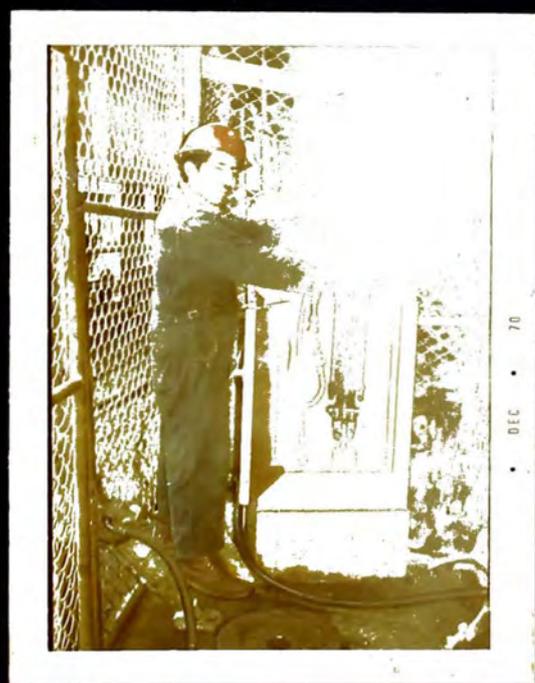
te de mantenimiento, puesto que remueve el polvo, lodo, arena, etc. del interior de la máquina sin que ésta sea desmontada, por lo que su ubicación no debiera ser este taller, por que aquí necesariamente la máquina tiene que ser desmontada para efectuar la reparación correspondiente; de modo que esta lavadora instalada cerca al empleo de las máquinas, en nuestro caso las bodegas de mina, serviría para hacer una limpieza de las máquinas después de un período corto de trabajo.



Perforista operando una
máquina Puma BBC 16 W
↳



Aguzadora Sandvick Coromant
para barrenos integrales
↳



Lavadora de máquinas perforadoras
en operación.
←

C A P I T U L O IIIANALISIS ESTADISTICO Y DE COSTOS DE LA PERFORACION MECANICA
EN LA MINA MILPO1.- GENERALIDADES

La Compañía Minera Milpo, como cualquier otra, para llevar a cabo sus operaciones, hace uso de datos estadísticos; aquéllas que se refieren a perforación mecánica o están íntimamente relacionadas con ella serán analizadas en este Capítulo.

Se han tomado datos correspondientes a 20 meses (Enero 1968 a Agosto 1969, inclusive); para efectos del presente estudio, se considera solamente los trabajos netamente de explotación de minerales, es decir, las labores en plena explotación y también aquéllas en proceso de preparación. No se considerarán desarrollos de chimeneas y galerías, ni trabajos de exploración, por que sus características de ejecución escapan de los límites del presente trabajo.

2.- PRODUCCION DE MINERALES

La producción de minerales se puede ver en el Cuadro N° 4, donde se indica la producción por cada tajeo, durante los meses en consideración; el método de explotación que emplea cada tajeo está identificado por la letra mayúscula que lo acompaña; así, A, significa Corte y Relleno; B, Conjunto de Cuadros y C, Almacenamiento Provisional.

Durante los 20 meses en cuestión, éstos en conjunto han producido 406,371 T.M.S. Obsérvese que con el método de Corte y Relleno se ha producido el 76 % del total, con el método de Conjunto de Cuadros 7 % y con el método de Almacenamiento Provisional, el 17 %; lo que indica que el método principal de explotación es el Corte y Relleno, seguido del Almacenamiento Provisional; el método de Conjunto de Cuadros es numéricamente insignificante.

3.- INDICE DE PERFORACION

Denominamos Índice de Perforación al número de pies que hay que perforar para producir una T.M.S. de mineral.

El mismo Cuadro N° 4, muestra que para producir 406,371 T.M.S. se han tenido que perforar 2'197,922 pies en los diferentes tajeos; además se puede ver los pies perforados por cada tajeo.

En la penúltima columna de la derecha, obsérvese los índices de perforación para cada tajeo, cuyo promedio general es de 5.409 pies perforados por cada T.M.S.

Cabe hacer notar que el índice de perforación es valioso para cualquier método, por que es independiente de la eficiencia y cualquier otra característica del método, pero sí es dependiente de las características del terreno y del trazo que se emplea.

4.- RAZON DE PERFORACION

El Cuadro N° 5 señala que se han empleado 1'072,387 horas-hombre para producir 406,371 T.M.S. en los diversos tajeos; de los cuales corresponden 318,880 horas-hombre dedicados a la perforación mecánica. El resto corresponde a tareas tales como arrastre de mineral, armado de tolva, relleno del tajeo, etc., a las cuales lo llamamos tareas de "no-perforación".

Denominamos Razón de Perforación a la proporción que hay entre las tareas de perforación a las tareas de "no-perforación". Nos hace ver la cantidad de horas-hombre que se necesitan para efectuar las tareas de "no-perforación" por cada hora-hombre de perforación.

La razón de perforación para la mina Milpo es:

$$1'072,387 \frac{318,880}{315,880} = 2.36$$

lo cual significa que por cada tarea de perforación se necesitan 2.36 tareas de "no-perforación".

Esto también quiere decir que si a un tajeo lo dedicamos exclusivamente a la perforación hasta concluir con el corte de un piso, el cual toma "n" días, para entrar nuevamente en período de perforación tendrá que transcurrir "2.36 n" días, por aproximación al mayor "3n" días.

En consecuencia, para obtener una producción continuada, sin interrupciones y en forma constante, se deberá contar con 3 tajeos en período de "no-perforación" por cada tajeo en período de perforación, produciendo cada uno de ellos el mismo tonelaje.

Un análisis más específico indica que para el método de Corte y Relleno la razón de perforación es de 1 a 2.25, para el método de Conjunto de Cuadros es de 1 a 6.38 y para el método de Almacenamiento Provisional es de 1 a 1.07.

Estas cifras ponen en evidencia una de las razones por que el método de Almacenamiento Provisional tiene la más alta eficiencia de los tres empleados, seguidamente está el Corte y Relleno y el de más baja eficiencia es el método de Conjunto de Cuadros.

5.- TIEMPO DE PERFORACION

Como en la tarea de perforación se emplean dos hombres, el tiempo empleado para esta operación, durante los meses que se está analizando, es de 159,440 horas; y como se han perforado 2'197,922 pies, cada pie de perforación ha tomado el tiempo de 4 minutos con 21 segundos. Debe hacerse notar que en este tiempo están incluidas las tareas auxiliares a la perforación, tales como: instalación y preparación de la máquina perforadora, instalación de mangueras de aire y agua dentro del tajeo, preparación de explosivos, encendido y disparo de los mismos.

El tiempo de perforación encontrado por este procedimiento y señalado arriba, es a todas luces muy excesiva, que requiere de otro estudio para ~~tratar de disminuirlos~~

6.- COSTO DE OPERACION

6.1.- JORNALES.- El Cuadro N° 5, citado anteriormente, muestra los jornales pagados por concepto de perforación para los tres métodos de explotación.

La columna de Gratificación corresponde a una suma adicional que se paga como incentivo a los perforistas más eficientes.

En la columna Leyes Sociales están incluidos la

Ley 10908 salario dominical, Ley 7505 vacaciones, Ley del 10 - 11 - 50 y las gratificaciones por horas nocturnas, repartidas todas ellas proporcionalmente a la suma de los jornales de los tres métodos.

En consecuencia, la suma pagada por concepto de jornales en perforación mecánica asciende a la cantidad de 5'217,943.60 soles oro y como se han perforado 2'197,922 pies, el costo de operación por concepto de jornales es de 2.37403 soles oro por cada pie perforado.

6.2.- MATERIALES.- Una columna del Cuadro N° 5 esta dedicada al valor de los materiales consumidos para llevar a cabo la perforación mecánica, mes a mes, durante los 20 meses del análisis; estos materiales, entre otros, son: aceite de lubricación, manguera, empaquetaduras, conexiones, válvulas, etc., cuyo valor total asciende a 399,621.54 soles oro; esta cantidad es global, es decir, que incluye todas las perforaciones efectuadas, ya sea en tajeos, desarrollos, exploraciones, etc; de modo que para encontrar el costo de operación por concepto de materiales, se hará uso de la cantidad total de pies perforados, esto es 2'810,970 pies arrojando una cifra de 0.14216 soles oro por cada pie perforado.

6.3.- COSTO TOTAL DE OPERACION.- La suma de las dos cifras anteriores dá el costo de operación de las máquinas perforadoras, esto es 2.51619 soles oro por cada pie perforado.

El costo total por T.M.S. es de :

$$2.51619 \times 5.409 = 13.610 \text{ soles oro}$$

6.4.- COSTO HORARIO DE OPERACION.- Empleando la cifra anterior, se encuentra lo que costó operar en los tajeos para perforar 2'197,922 pies, esta suma asciende a 5'530,389.36 soles oro, que dividido entre 159,440, que son las horas empleadas, encontramos lo que cuesta una hora de perforación, esto es 34.68634 soles oro.

7.- COSTO DE REPARACION

En el Cuadro N° 6. se listan los datos disponibles referentes a la reparación de las máquinas perforadoras, estos datos son también globales, es decir, que no discrimina si la perforación fué hecha en los tajeos, galerías, chimeneas o exploraciones, de modo que, para hallar el costo unitario, se hará uso de la perforación global, o sea 2'810,970 pies.

7.1.- JORNALLES.- Se han pagado 140,854.34 soles oro por este concepto, incluido las leyes sociales, lo que significa 0.05011 soles oro por cada pie perforado.

CUADRO N° 6

COSTO DE REPARACION DE MAQUINAS PERFORADORAS

MESES	CONCEPTO	JORNALES			MATERIALES	REPUESTOS	TOTAL	N° DE REF.
		REP. MAQ.	LEYES SOC.	TOTAL				
ENERO	TAREAS s/.	73 6/8 7.714.21	1.164.84	8.879.05	10.480.98	20.075.97	39.436.00	22
FEBRERO	TAREAS s/.	55 6/8 5.330.42	868.86	6.199.28	3.470.39	58.891.02	68.560.69	38
MARZO	TAREAS s/.	79 6/8 8.718.56	1.281.63	10.000.19	7.173.96	61.387.38	81.561.53	54
ABRIL	TAREAS s/.	69 1/8 6.371.38	955.71	7.327.09	1.897.20	28.041.23	37.265.52	26
MAYO	TAREAS s/.	58 6/8 6.054.63	1.186.71	7.241.34	5.592.92	41.607.53	54.141.79	21
JUNIO	TAREAS s/.	51 1/8 5.274.37	901.92	6.176.29	10.260.34	34.772.88	51.209.51	33
JULIO	TAREAS s/.	79 3/8 8.684.30	1.207.12	9.891.42	4.501.80	65.430.31	79.823.53	31
AGOSTO	TAREAS s/.	90 2/8 9.896.61	1.494.39	11.391.00	4.818.56	55.653.46	71.863.02	29
SEPTIEMBRE	TAREAS s/.	58 5/8 5.650.50	864.53	6.515.03	516.72	36.773.85	43.805.60	22
OCTUBRE	TAREAS s/.	38 6/8 3.399.14	462.28	3.861.42	5.489.50	78.808.05	88.158.97	24
NOVIEMBRE	TAREAS s/.	52 4/8 4.950.89	703.03	5.653.92	4.935.35	78.531.75	89.121.02	42
DICIEMBRE	TAREAS s/.	55 2/8 5.227.30	794.55	6.021.85	4.556.47	58.271.03	69.852.35	25
ENERO	TAREAS s/.	56 6/8 5.139.29	755.06	6.195.35	4.032.21	44.969.69	55.197.25	21
FEBRERO	TAREAS s/.	48 1/8 4.552.62	712.08	5.294.70	5.036.76	78.174.29	88.505.75	32
MARZO	TAREAS s/.	66 3/8 6.178.20	919.90	7.398.10	10.434.73	62.335.75	80.169.58	30
ABRIL	TAREAS s/.	49 1/8 4.993.21	674.08	5.667.29	5.408.97	48.754.30	59.830.56	27
MAYO	TAREAS s/.	55 1/8 5.760.67	1.140.61	6.901.28	2.790.88	66.468.18	76.160.34	40
JUNIO	TAREAS s/.	50 - 4.728.75	699.86	5.428.61	5.314.25	89.185.39	99.928.75	42
JULIO	TAREAS s/.	47 2/8 5.250.49	882.08	6.132.57	3.535.76	88.469.94	98.138.27	37
AGOSTO	TAREAS s/.	49 6/8 7.538.28	1.140.28	8.678.56	2.686.06	169.207.03	171,571.65	38
TOTAL	TAREAS s/.	1.186 2/8 122,013.82	18,210.52	110,854.34	102,933.81	1'262,912.53	1'506,600.68	640
	HOPAS-HOMB.	9.490						

7.2.- MATERIALES.- Se han consumido materiales, para efectuar las reparaciones de las máquinas perforadoras, por un monto de 102,933.81, que da 0.03662 soles oro por cada pie perforado.

7.3.- REPUESTOS.- El valor de los repuestos consumidos mensualmente, para efectuar las reparaciones de las máquinas perforadoras, se puede ver en la antepenúltima columna del Cuadro N° 6 y la suma total para los 20 meses en consideración asciende a 1'262,812.53 soles oro, que arroja 0.44924 soles oro por cada pie perforado.

7.4.- COSTO DE REPARACION TOTAL.- El costo de reparación de máquinas perforadoras es de 0.53597 soles oro por cada pie perforado.

El costo total por T.M.S. es de

$$0.53597 \times 5.409 = 2.899 \text{ soles oro}$$

7.5.- COSTO HORARIO DE REPARACION.- En el cuadro de Reparaciones de Máquinas Perforadoras, N° 6, se ve que durante los meses en análisis, se han empleado 9,490 horas-hombre para efectuar las reparaciones y como en el taller de reparaciones laboran dos hombres dedicados exclusivamente a este menester, las horas de repara-

ción es 4,745. Por otro lado, del mismo cuadro hallamos que la suma de los jornales y materiales por este concepto es de 243,788.15 soles oro; efectuando las operaciones se encuentra que cada hora de reparación cuesta 51.37790 soles oro.

7.6.- COSTO POR CADA REPARACION.- En la última columna del Cuadro N° 6 aparecen el número de máquinas perforadoras que han sido reparadas en el taller de reparaciones cada mes durante los 20 meses del análisis, en ése lapso se reparó 640 máquinas perforadoras y como se han gastado 243,783.15 soles oro por concepto de jornales y materiales, se obtiene que cada reparación cuesta 380.92 soles oro.

7.7.- TIEMPO POR CADA REPARACION.- Sabiendo que se han reparado 640 máquinas perforadoras empleando 4,745 horas, entonces cada máquina necesita 7 horas 25 minutos para su reparación, prácticamente un día para reparar una máquina.

8.- CONSUMO DE BARRENOS

8.1.- VIDA DE LOS BARRENOS.- En el Cuadro N° 7 se puede ver que durante los 20 meses que estamos analizando, se han consumido un total de 2,704 barrenos; en virtud de que cada barreno está diseñado para perforar 2.5

pies efectivos, decimos que cada uno de ellos efectúa el mismo trabajo o perfora la misma cantidad de pies. De modo que, los barrenos perforan aquí, un promedio de 1,029 pies para ser desechados. Esta cantidad se encontró tomando la cantidad global de pies perforados disminuídos los pies perforados por exploración (Cuadro N° 4) cuyos barrenos no entran en el Cuadro 7.

- 8.2.- CONSUMO DE LOS BARRENOS EN LOS TAJEOS.- Habíamos visto que en los tajeos se hicieron 2'197,922 pies de perforación, entonces en los trabajos netamente de explotación se habrán consumido 2,136 barrenos, que de acuerdo a la proporcionalidad de consumo de la columna sexta del Cuadro N° 7, se han empleado 565 barrenos de 3'; 1,475 barrenos de 5' y 96 barrenos de 8'.
- 8.3.- TONELADAS POR BARRENO.- Como en los tajeos se han producido 406,371 T.M.S. de mineral y se emplearon 2,136 barrenos, cada uno de éstos contribuyó a producir 190 T.M.S.
- 8.4.- COSTO POR CONSUMO DE BARRENOS.- El Cuadro N° 7 señala que se han pagado 1'555,205.27 soles oro por los barrenos consumidos y por las tareas y materiales empleados en aguzar esos barrenos durante los 20 meses del análisis y como en ese lapso se han perforado 2'781,397

pies, el costo por este concepto es de 0.55914 soles oro por pie perforado.

El costo por T.M.S. de mineral producido es :

$$0.55914 \times 5.409 = 3.02439 \text{ soles oro.}$$

8.5.- PROPORCIONALIDAD DE CONSUMO.- La sexta columna del Cuadro N° 7, muestra el consumo de barrenos de 3' y 5' por cada barreno de 8', obsérvese la enorme desproporción que hay entre estas cifras, esto es debido a que el empleo del barreno de 8' es sumamente limitado. Efectivamente, aproximadamente el 90 % de los taladros que se hacen en la mina son de 5' de longitud, lo que quiere decir, que se emplean en mayor proporción los barrenos de 3' y 5'.

La técnica de perforación recomienda que para perforar un taladro de 5' hay que iniciar la perforación con el barreno de 3' y terminarlo con el barreno de 5'; cuando se cumple con esto, cada uno de los barrenos perfora 2.5 pies, lo cual significa que tanto el barreno de 3' como el de 5' efectúan el mismo trabajo, de modo que su desgaste debe ser también igual y por ende el consumo. Sin embargo, la columna séptima, que reúne el consumo de barrenos de 5' por cada barreno de 3', señala que hay una gran desproporción en el consumo

de estos barrenos. Aceptando que hay ciertas labores en que el barreno de 5' efectúa más trabajo que el de 3', éstos no sobrepasan del 20 % del total, entonces, la proporción de consumo de estos barrenos sería de 1 - 1.2, se ve que solo un mes, de los 20 del análisis, ha satisfecho esta condición.

Estas cifras nos ponen de manifiesto que está sucediendo una de estas dos anomalías o tal vez las dos:

- a).- Que algunos perforistas no hacen uso en absoluto del barreno de 3' y
- b).- Que al emplear el barreno de 3' no perforan los 2.5 pies con él, sino alrededor de 2', de acuerdo a la proporción promedio, dejando el resto para el barreno de 5'.

9.- AIRE COMPRIMIDO

En el Cuadro N° 8, en la parte de compresoras y en el acápite de Operaciones, se han considerado los jornales de los trabajadores encargados del funcionamiento de las compresoras, los materiales empleados con este fin y la fuerza eléctrica consumida por dichas máquinas, durante los meses en consideración, cuyo valor se encontró con un análisis hecho aparte y que se puede ver en el Cuadro N° 9, donde aparece el costo de los kilowatts hora para esos meses. El va-

lor de operación de compresoras asciende a 1'398,708.40 soles oro.

En el acápite de Reparaciones se ha considerado los jornales de los trabajadores que han efectuado las reparaciones y de los materiales que se han empleado, donde se han incluido los repuestos consumidos. El valor total, para los 20 meses, por concepto de reparación de compresoras asciende a 294,546.95 soles oro, que sumado al de operación llega a 1'693,255.35 soles oro.

Por otro lado, durante los 20 meses del análisis, se han producido 7,072.716 millones de pies cúbicos de aire libre, luego el costo por pie cúbico de aire libre comprimido es de 0.00239 soles oro.

Del total de aire producido, la planta de beneficio consume alrededor de 200 pies cúbicos por minuto, en un mes consumirá 8.64 millones de pies cúbicos, en dichos 20 meses habrá consumido 172.8 millones de pies cúbicos de aire libre.

Como se dijo anteriormente, el 75 % del aire comprimido que ingresa a la mina corresponde a la perforación. Luego el volumen de aire comprimido efectivo para la perforación mecánica es: $(7,072.716 - 172.8) 0.75 = 5,174.937$ millones de pies cúbicos, cuyo valor asciende a 1'238,954.94 soles oro.

Como se ha perforado 2'781,397 pies, se obtiene la cantidad de 0.44544 soles oro por pie perforado.

El costo por T.M.S. es entonces

$$0.44544 \times 5.409 = 2.40938 \text{ soles oro}$$

10.- AGUA DE PERFORACION

En el Cuadro N° 8 se han considerado los jornales empleados en el bombeo de agua y en sus reparaciones, los materiales empleados en los mismos y la energía eléctrica consumida por las bombas de agua, cuyo valor se halló como en el anterior. La suma por este concepto asciende a 505,849.26 soles oro.

El agua bombeada no es de uso exclusivo de las máquinas perforadoras, sino que esos datos son globales del consumo de todo el campamento, es decir, que incluye el consumo en la planta de beneficio, agua potable para las viviendas, relleno hidráulico, compresoras, grupo Sulzer, etc., de modo que podríamos estimar para la perforación el 30 % del total, cuyo valor sería entonces de 151,754.78 soles oro.

El costo por T.M.S. por concepto de agua de perforación es :

$$0.05456 \times 5.409 = 0.29512 \text{ soles oro.}$$

11.- TUBERIA

Se incluye en este aparte, los jornales y materiales empleados en la instalación y mantenimiento de las líneas de tuberías de aire y agua dentro de la mina, cuya suma asciende a 2'295,482.60 soles oro, como se ve en el Cuadro N° 8, durante los meses del análisis. Como en el aire comprimido, se estima que el 75 % corresponde a la perforación mecánica, es decir, 1'721,611 soles oro.

El costo por pie perforado por este concepto es 0.61897 soles oro.

Con respecto a T.M.S. el costo es :

$$0.61897 \times 5.409 = 3.34801 \text{ soles oro.}$$

12.- COSTO TOTAL DE PERFORACION MECANICA

Con los datos obtenidos en este Capítulo, por adición encontramos el costo total de perforación mecánica.

El costo total por pie perforado es 4.73027 soles oro.

El costo total por T.M.S. es 25.58597 soles oro.

CUADRO N° 10COSTO TOTAL DE PERFORACION MECANICA

CONCEPTO		POR PIE PERFORADO	POR T.M.S.
1.- Operación	S/	2.51619	13.61001
2.- Reparación		0.53597	2.89906
3.- Barrenos		0.55914	3.02439
4.- Aire Comprimido		0.44544	2.40938
5.- Agua de Perforación		0.05456	0.29512
6.- Tubería		0.61897	3.34801
T O T A L	S/	4.73027	25.58597

C A P I T U L O I V

LAS MAQUINAS PERFORADORAS EN LA MINA MILPO

1.- GENERALIDADES

Las máquinas perforadoras, herramientas **principales** para efectuar la perforación mecánica, juegan papel importante en la productividad; por que los resultados que obtendrán los trabajadores dependen de su rendimiento; incide directamente también, en el costo de operación, por el consumo de aire y por su mayor o menor duración de cada una de ellas. En consecuencia, en este Capítulo se calcularán la energía, los golpes por minuto y el consumo de aire de cada uno de los modelos de máquinas perforadoras que han llegado a Milpo hasta la fecha en que se hizo este trabajo.

2.- TIPOS DE MAQUINAS PERFORADORAS

Para nuestro estudio, las máquinas perforadoras se clasifican en dos grupos, basados en el dispositivo que emplean para hacer rotar el barreno, estos son :

- a).- Rotación por barra estriada, son aquéllas cuyo émbolo-martillo se desliza en una barra que tiene estrías espirales con rotación en un solo sentido.
- b).- Rotación por rueda de trinquete, son aquéllas cuyo émbolo-martillo esta dotado de estrías espirales en su parte del cuello y que encaja en una rueda de trinquete con rotación en un solo sentido.

Se ha mencionado esta clasificación de máquinas perforadoras por que, como veremos más tarde, la barra estriada disminuye el volumen de la cámara posterior del cilindro.

3.- PARTES DE UNA MAQUINA PERFORADORA.- Con el fin de simplificar el estudio, solamente se mencionará las partes que son necesarios para los cálculos; estas son (Figs. A y B de las Láminas Nos. 6 y 7) :

- 3.1.- Embolo-martillo, que consta de las siguientes partes :
 - a).- Embolo propiamente dicho, que es una masa cilíndrica de diámetro D y longitud L'

Fig. A

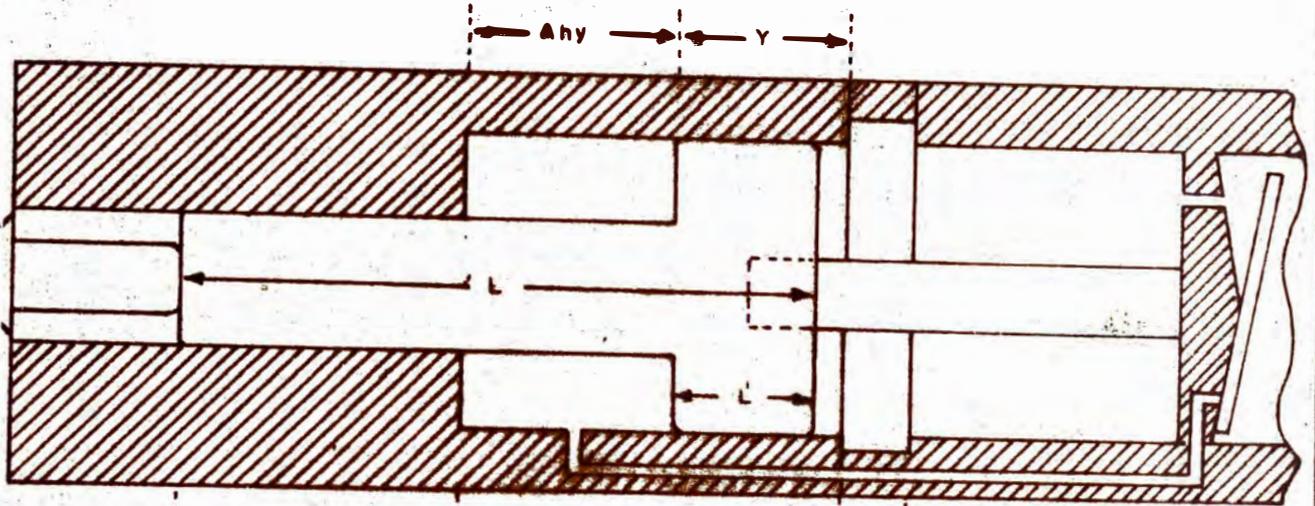
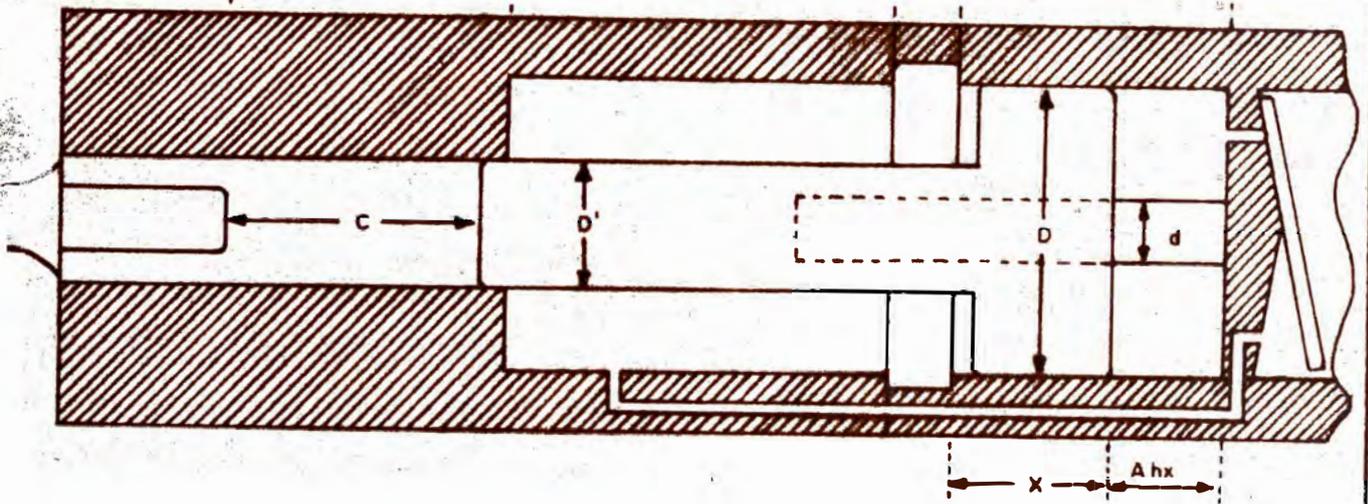


Fig. B



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

DIAGRAMA DE MAQUINAS PERFORADORAS
 CON ROTACION POR
 BARRA ESTRIADA

Escala : S/E

Fecha: Set. - 71

Dibujado: C. Colqui R.

Lámina Nº 6

- b).- Cuello del émbolo-martillo, parte más delgada de forma cilíndrica de diámetro D_1 y longitud $L - L'$.
- c).- Barra estriada, solo en las máquinas que usan este sistema de rotación, interesa su diámetro d .

3.2.- Cilindro, constituido por cuatro cámaras :

- a).- Cámara auxiliar, comprendida desde el extremo posterior de la espiga del barreno hasta el extremo delantero de la cámara delantera, tiene el diámetro del cuello del émbolo D_1 y su longitud es h_z
- b).- Cámara delantera, comprendida desde el extremo posterior de la cámara auxiliar hasta el extremo delantero del escape. Su diámetro es del émbolo D y su longitud es h_y , su volumen V_1 es :

$$V_1 = \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{4} h_y$$

- c).- Escape, comprendido entre las cámaras delantera y posterior, de diámetro D y longitud h_e
- d).- Cámara posterior, comprendida entre el extremo posterior del escape y la pieza que comunica con la válvula automática. Su diámetro es D y su longitud es h_x , su volumen V_2 , para las de rotación por barra estriada es :

$$V_2 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} h_x$$

Fig. A

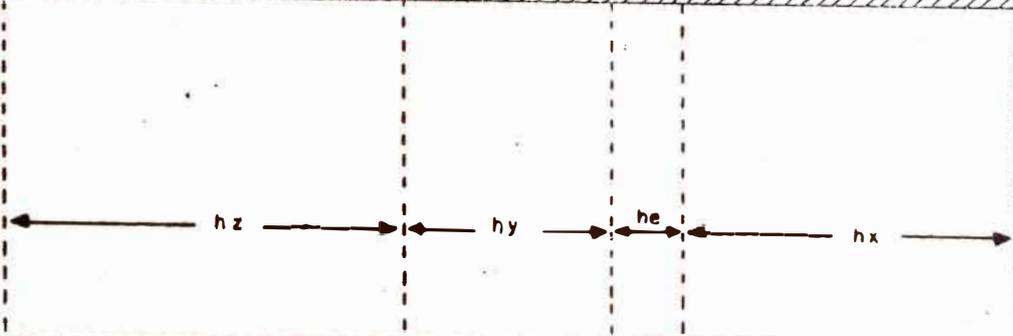
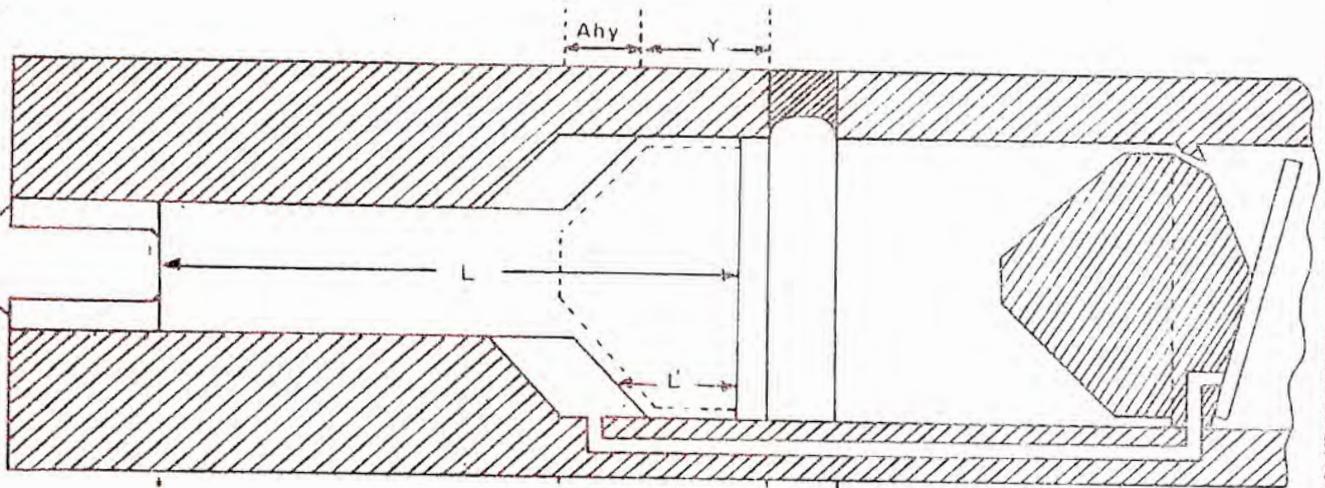
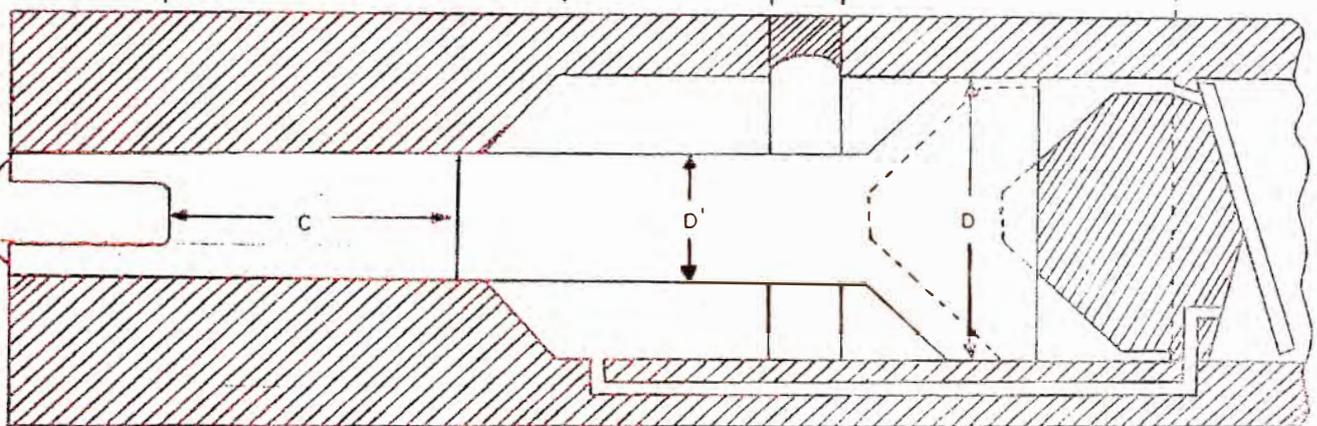


Fig. B



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

DIAGRAMA DE MAQUINAS
PERFORADORAS CON ROTACION
POR RUEDA DE TRINQUETE

Escala: S/E

Fecha: Set - 71

Dibujado: C. Colqui R.

Lámina N° 7

y para las rotación por rueda de trinquete es :

$$V_2 = \frac{\pi D^2}{4} h_x$$

Es necesario hacer notar que la protuberancia que presentan éstas últimas en esta cámara (Figs. A y B, Lámina N° 7) se compensa con el vaciado que tiene el émbolo con las mismas dimensiones.

3.3.- Válvula automática, dispositivo que regula la entrada de aire a presión a las cámaras delantera y posterior.

4.- ENERGÍA D E LAS MAQUINAS PERFORADORAS

Durante el funcionamiento de una máquina perforadora, el émbolo-martillo ejecuta dos carreras, el de impacto y el de retroceso.

En la carrera de impacto, el émbolo-martillo se mueve por la energía producida por la presión del aire comprimido que ingresa a la cámara posterior, a esta energía pura se oponen otras dos: la energía de trabajo negativo producido por la presión de amortiguamiento en la cámara delantera y la energía de rebote cuando el émbolo-martillo hace impacto sobre el barreno. Luego, la energía de impacto efectivo será

$$E = E_p - E_r - W_1 \quad (1)$$

Donde: E = Energía efectiva de impacto
 E_p = Energía pura
 E_r = Energía de rebote
 W_1 = Trabajo negativo de la presión de amortiguamiento en la cámara delantera.

4.1.- ENERGÍA PURA.- Es la energía sin obstáculo alguno producida por la presión absoluta del aire comprimido que llega a la cámara posterior y mueve el émbolo-martillo hacia el barreno para que cumpla con la carrera de impacto. Durante este movimiento el émbolo-martillo estará en todos los puntos de la distancia "x" (Figs. A y B; Láminas Nos. 6 y 7), sometido a la fuerza constante F_x , que es la fuerza de impacto y le proporcionará un movimiento uniformemente acelerado. El valor de esta fuerza para las máquinas que tienen rotación por barra estriada es :

$$F_x = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} P_t$$

y para las de rotación por rueda de trinquete es :

$$F_x = \frac{\pi D^2}{4} P_t$$

Donde:

P_t = Presión absoluta en la línea de aire comprimido

El trabajo que hace la fuerza F_x en cualquier punto del desplazamiento del émbolo-martillo en la carrera de impacto esta dado por :

$$W = \int_0^x (F_x) dx$$

El trabajo completo E_p , que hace la fuerza F_x en todo el recorrido "x" será :

$$E_p = (F_x) (x)$$

Sustituyendo F_x por sus valores lineales resulta, para las de rotación por barra estriada :

$$E_p = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) x P_t \quad (2)$$

y para las de rotación por rueda de trinquete :

$$E_p = \frac{\pi}{4} D^2 x P_t \quad (2a)$$

4.2.- ENERGIA DE REBOTE.- Cuando el barrenos es golpeado por el émbolo-martillo, éste rebota sobre aquél con una energía E_r que esta dada por :

$$E_r = \frac{m U_r^2}{2}$$

Donde: U_r = Velocidad de rebote.

La velocidad de rebote U_r según Von H. Haeder(5) para bolas de acero es igual a 0.3 de la velocidad de impacto U_x . Debe hacerse notar que esta proporción de

velocidades dada por Von H. Haeder es para aceros de una misma calidad; con frecuencia el émbolo-martillo de una máquina perforadora es de un acero distinto al acero del barreno y por lo tanto, en cada caso habrá una proporcionalidad de velocidades. Sin embargo, como no se dispone de instrumental para determinar dichas proporcionalidades, aceptamos el valor dado por Von H. Haeder, por ser el único disponible.

$$\text{Es decir: } U_r = 0.3 U_x$$

Reemplazando en la ecuación anterior :

$$E_r = \frac{m}{2} 0.09 U_x^2 = \frac{0.09 m}{2} U_x^2 \quad (3)$$

Por otro lado, la fuerza F_x al proporcionarle al émbolo-martillo un movimiento uniformemente acelerado, éste tendrá, una velocidad expresada por :

$$U_x = \sqrt{2 \cdot x \cdot a}$$

Donde : x = espacio recorrido (Figs. A y B. Láminas Nos. 6 y 7)

a = aceleración

De la segunda Ley de Newton :

$$F_x = m \cdot a$$

$$\text{ó } a = \frac{F_x}{m}$$

Reemplazando en la ecuación anterior :

$$U_x = \sqrt{2 \cdot x \cdot \frac{F_x}{m}}$$

Sustituyendo F_x por los valores encontrados en el párrafo anterior, se tiene :

Para las máquinas con rotación por barra estriada :

$$U_x = \sqrt{\frac{2x}{m} \frac{P_t \pi (D^2 - d^2)}{4}} = \sqrt{\frac{\pi (D^2 - d^2) \cdot x \cdot P_t}{2m}}$$

Para las de rotación por rueda de trinquete :

$$U_x = \sqrt{\frac{2x}{m} \frac{P_t \pi D^2}{4}} = \sqrt{\frac{\pi D^2 \cdot x \cdot P_t}{2m}}$$

Reemplazando en la expresión 3, se tiene respectivamente :

Para las máquinas con rotación por barra estriada :

$$E_r = \frac{0.09}{2} m \frac{\pi}{2m} (D^2 - d^2) \cdot x \cdot P_t$$

$$E_r = \frac{0.09}{4} \pi (D^2 - d^2) \cdot x \cdot P_t \quad (4)$$

Para las de rotación por rueda de trinquete :

$$E_r = \frac{0.09}{2} m \frac{\pi}{2m} D^2 \cdot x \cdot P_t$$

$$E_r = \frac{0.09}{4} \pi D^2 \cdot x \cdot P_t \quad (4a)$$

4.3.- PRESION DE AMORTIGUAMIENTO EN LA CAMARA DELANTERA.- Durante la carrera de impacto del émbolo-martillo, éste cierra el escape y origina en la cámara delantera una presión P_y de amortiguamiento que aumenta de acuerdo a la distancia "y" recorrida por la cara delantera del émbolo-martillo. Esta presión es nociva, por que actúa contra el émbolo-martillo, pero al mismo tiempo es necesaria para hacer funcionar la válvula automática.

La presión de amortiguamiento en la cámara delantera es pues energía de trabajo negativo sobre el émbolo-martillo en la carrera de impacto. Esta energía de trabajo negativo es :

$$W_1 = \int_{V_y}^{V_1} P \, dV$$

Para resolver esta integral, hagamos la siguiente consideración: Cuando el émbolo-martillo aún no ha cerrado el escape, la presión en la cámara delantera es la de la atmósfera P_a y su volumen es V_1 , según como avanza el émbolo-martillo, esa presión y volumen variarán de acuerdo a la siguiente ley física (5) :

$$V_1^n P_a = V_y^n P_y = C$$

De donde :

$$P_a = \frac{C}{V_1^n}$$

Entonces :

$$\int_{V_y}^{V_1} P \, dV = \int_{V_y}^{V_1} \frac{C}{V_1^n} \, dV_1 = C \int_{V_y}^{V_1} V_1^{-n} \, dV_1 =$$

$$= P_a V_1^n \int_{V_y}^{V_1} V_1^{-n} \, dV_1$$

Integrando esta integral definida entre los límites V_1 y V_y encontramos :

$$P_a V_1^n \int_{V_y}^{V_1} V_1^{-n} \, dV_1 = \frac{P_a V_1^n}{1-n} (V_1^{1-n} - V_y^{1-n})$$

$$= \frac{P_a}{1-n} (V_1 - V_1^n V_y^{1-n})$$

Multiplicando el primer factor por $-V_1$ y dividiendo el segundo por $-V_1$:

$$\frac{P_a V_1}{n-1} \left[-1 + V_1^{n-1} V_y^{-(n-1)} \right] = \frac{P_a V_1}{n-1} \left[\frac{(V_1)^{n-1}}{(V_y)^{n-1}} - 1 \right]$$

Sustituyendo los volúmenes por sus valores lineales. para ambos tipos de máquinas :

$$W_1 = \frac{P_a V_1}{n-1} \left[\left(\frac{V_1}{V_y} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

$$W_1 = \frac{P_a \bar{n}(D^2 - D_1^2) h_y}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{(D^2 - D_1^2) h_y}{4} \right)^{n-1} - \left(\frac{(D^2 - D_1^2)}{4 (\Delta h_y)} \right)^{n-1} \right]$$

$$W_1 = \frac{P_a \bar{n}(D^2 - D_1^2) h_y}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{h_y}{\Delta h_y} \right)^{n-1} - 1 \right] \quad (5)$$

4.4.- ENERGIA EFECTIVA.- La ecuación 1, sustituyendo el segundo miembro por los valores encontrados en los párrafos anteriores, expresará la energía efectiva en el impacto del émbolo-martillo sobre el barreno en función de los valores lineales de la máquina perforadora :

Para las máquinas con rotación por barra estriada :

$$E = \frac{\bar{n}}{4} (D^2 - d^2) \times P_t - \frac{0.09}{4} \bar{n} (D^2 - d^2) \times P_t - \frac{P_a \bar{n} (D^2 - D_1^2) h_y}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{h_y}{\Delta h_y} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

$$E = 0.2275 \bar{n} (D^2 - d^2) \times P_t - \frac{P_a \bar{n} (D^2 - D_1^2) h_y}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{h_y}{\Delta h_y} \right)^{n-1} - 1 \right] \quad (6)$$

Para las de rotación por rueda de trinquete:

$$E = \frac{\pi}{4} D^2 \times P_t - \frac{0.09}{4} D^2 \times P_t - \frac{P_a \pi (D^2 - D_1^2) h_y}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{h_y}{\Delta h_y} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

$$E = 0.2275 \pi D^2 \times P_t - \frac{P_a \pi (D^2 - D_1^2) h_y}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{h_y}{\Delta h_y} \right)^{n-1} - 1 \right] \quad (6a)$$

En las fórmulas 6 y 6a, se encuentra la dimensión Δh_y , que es la aproximación del émbolo-martillo a la cámara delantera, su valor es (Figs. A y B, Láminas Nos. 6 y 7) :

$$\Delta h_y = h_y - y$$

La longitud "y" en las máquinas perforadoras ya construídas que llegan a la mina, es una dimensión definida, por que está limitada por las dimensiones de la máquina y se puede determinar por medición de esas diemnsiones; de las Figs. A y B, Láminas Nos. 6 y 7 se tiene:

$$y = h_y + h_z - (L - L') \quad (7)$$

Con esta última consideración, las fórmulas 6 y 6a, contienen tres variables: E, "x" y P_t , intimamente

relacionados entre sí; en efecto, la longitud "x" depende de la magnitud de la presión del aire comprimido P_t y la energía de impacto E, depende del producto de las variables anteriores.

4.5.- RELACION ENTRE "x" Y P_t .- Para encontrar la energía de impacto de una máquina, es necesario encontrar una expresión que relacione las variables "x" y P_t . Para ello veamos que es lo que ocurre en la carrera de retroceso cuando la máquina esta trabajando.

La energía de trabajo en la cara frontal del émbolo-martillo durante la carrera de retroceso es la suma de :

a).- el rebote del impacto $E_r = \frac{m U_r^2}{2}$, más

b).- el trabajo de retroceso $W_f = F_y \cdot y = \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{4} P_t y$

El trabajo W_2 sobre la cara posterior del émbolo-martillo durante la carrera de retroceso es la presión de amortiguamiento en la cámara posterior. Esto es igual a la integral definida de la presión de aire inicial P_a entre los límites V_2 y V_x :

$$W_2 = \int_{V_x}^{V_2} P \, dV$$

Esta integral resolviéndola como se hizo para W_1 , se tiene :

$$W_2 = \frac{P_a V_2}{n - 1} \left[\left(\frac{V_2}{V_x} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

A su vez reemplazando los volúmenes por sus valores lineales y efectuando las simplificaciones, se obtiene para las de barra estriada :

$$W_2 = \frac{P_a \pi (D^2 - d^2) h_x}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{h_x}{\Delta h_x} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

y para las de rueda de trinquete :

$$W_2 = \frac{P_a \pi D^2 h_x}{4 (n - 1)} \left[\left(\frac{h_x}{\Delta h_x} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

Después de la expulsión del aire de retroceso y cuando toda la energía de trabajo de la carrera de retroceso ha sido transmitida al amortiguamiento esas dos fuerzas de trabajo serán mutuamente iguales :

$$E_r + W_f = W_2 \quad (8)$$

Sustituyendo por sus valores, teniendo en cuenta los de E_r encontrados en las fórmulas 4 y 4a se tiene para las de rotación por barra estriada :

$$\frac{0.09}{4} \bar{n} (D^2 - d^2) x P_t + \frac{\bar{n}}{4} (D^2 - D_1^2) y P_t = \frac{\bar{n}}{4} \frac{P_a (D^2 - d^2) h_x}{n - 1} \left[\left(\frac{h_x}{\Delta h_x} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

Despejando P_t y efectuando las simplificaciones se tiene :

$$P_t = \frac{P_a h_x \left(\frac{D^2 - d^2}{D^2 - D_1^2} \right) \left[\left(\frac{h_x}{\Delta h_x} \right)^{n-1} - 1 \right]}{(n-1) \left[y + 0.09 \left(\frac{D^2 - d^2}{D^2 - D_1^2} \right) x \right]} \quad (9)$$

De igual manera, sustituyendo en la expresión 8 los valores para las máquinas con rotación por rueda de trinquete, se tiene :

$$\frac{0.09}{4} \bar{n} D^2 x P_t + \frac{\bar{n}}{4} (D^2 - D_1^2) y P_t = \frac{\bar{n}}{4} \frac{P_a D^2 h_x}{n-1} \left[\left(\frac{h_x}{h_x} \right)^{n-1} - 1 \right]$$

del que se obtiene :

$$P_t = \frac{P_a h_x \left(\frac{D^2}{D^2 - D_1^2} \right) \left[\left(\frac{h_x}{\Delta h_x} \right)^{n-1} - 1 \right]}{(n-1) \left[y + 0.09 \left(\frac{D^2}{D^2 - D_1^2} \right) x \right]} \quad (9a)$$

Para que estas dos últimas fórmulas puedan ser útiles deben ser graficadas con las dimensiones de la máquina que se quiera analizar dando valores progresivos.

vos a la variable "x" empezando desde cero. Usando este gráfico se puede hallar fácilmente la longitud "x" a una presión determinada del aire comprimido y el producto de ambos llevar a las fórmulas 6 y 6a para calcular la energía de la máquina en cada impacto a esa presión.

La lámina N° 9 expone los gráficos de la relación entre "x" y P_t para las máquinas perforadoras que operan u operaron en Milpo; de estos gráficos se obtuvieron los valores "x" y P_t para encontrar la energía de dichas máquinas que también se han graficado, las que se muestran en la Lámina N° 10. El proceso seguido se indicará más adelante.

5.- NUMERO DE IMPACTOS

De la ecuación para el espacio, en el movimiento uniformemente acelerado, se tiene :

$$e = \frac{1}{2} a t^2$$

De donde :

$$t = \sqrt{\frac{2 e}{a}}$$

Por otro lado :

$$a = \frac{F}{m}$$

Reemplazando en la expresión anterior :

$$t = \sqrt{\frac{2 e m}{F}} \quad (10)$$

El espacio efectivo recorrido por el émbolo-martillo tanto en la carrera de impacto como en la de retroceso es la longitud "c" de las Figs. A y B de las Láminas Nos. 6 y 7, que expresado en las dimensiones conocidas es :

$$c = x + h_e + y - L' \quad (11)$$

La fórmula 10 se puede escribir :

$$t = \sqrt{\frac{2 c m}{F}} \quad (12)$$

Esta expresión nos dá el tiempo del émbolo-martillo durante la carrera ya sea de impacto o de retroceso. Para la carrera de impacto es :

$$t_x = \sqrt{\frac{2 c m}{F_x}}$$

y para la carrera de retroceso es :

$$t_y = \sqrt{\frac{2 c m}{F_y}}$$

El tiempo total t_i , que el émbolo-martillo emplea para realizar un golpe es :

$$t_i = t_x + t_y$$

Reemplazando por las expresiones anteriores y factorizando se tiene :

$$t_i = \sqrt{2 \text{ c m}} \left[\frac{1}{\sqrt{F_x}} + \frac{1}{\sqrt{F_y}} \right] \quad (13)$$

F_x y F_y son las fuerzas en las cámaras posterior y delantera, respectivamente, de las máquinas perforadoras, cuyos valores en función de la presión del aire comprimido P_t y del área del émbolo-martillo se encontraron anteriormente (párrafos 4.1. y 4.5.), que reemplazando en la expresión anterior éstas quedan así :

Para las máquinas con rotación por barra estriada :

$$t_i = \sqrt{2 \text{ c m}} \left[\frac{1}{\sqrt{P_t \frac{\bar{n}(D^2 - d^2)}{4}}} + \frac{1}{\sqrt{P_t \frac{\bar{n}(D^2 - D_1^2)}{4}}} \right]$$

$$t_i = \sqrt{\frac{8 \text{ c m}}{\bar{n} P_t}} \left[\frac{1}{\sqrt{D^2 - d^2}} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - D_1^2}} \right] \quad (14)$$

Para las máquinas con rotación por rueda de trinquete:

$$t_i = \sqrt{2 \text{ c m}} \left[\frac{1}{\sqrt{P_t \frac{\bar{n} D^2}{4}}} + \frac{1}{\sqrt{P_t \frac{\bar{n}(D^2 - D_1^2)}{4}}} \right]$$

$$t_i = \sqrt{\frac{8 \text{ c m}}{\bar{n} P_t}} \left[\frac{1}{D} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - D_1^2}} \right] \quad (14a)$$

Si para la aceleración de la gravedad empleamos las unidades pulg/seg², el tiempo t_i estará expresado en segundos, luego si en t_i segundos dá un golpe en un minuto (60 segundos) dará N golpes, es decir :

$$N = \frac{60}{t_i} \text{ golpes/min.}$$

Finalmente, reemplazando t_i por sus valores hallados y ejecutando las simplificaciones y factorizaciones correspondientes se tiene el Número de impactos por minuto :

Para las de barra estriada :

$$N = \sqrt{\frac{450 \pi P_t}{c m}} \left[\frac{1}{\sqrt{D^2 - d^2}} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - D_1^2}} \right]^{-1} \quad (15)$$

Para las de rueda de trinquete :

$$N = \sqrt{\frac{450 \pi P_t}{c m}} \left[\frac{1}{D} + \frac{1}{\sqrt{D^2 - D_1^2}} \right]^{-1} \quad (15a)$$

6.- CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO

En la carrera de impacto la cámara posterior toma de la línea de tubería un volumen V_{x1} de aire, a la presión P_t , cuyo valor es, para las de barra estriada :

$$V_{x1} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} x$$

y para las de rueda de trinquete :

$$V_{x1} = \frac{\pi D^2}{4} x$$

Del mismo modo, en la carrera de retroceso la cámara delantera toma de la línea de tubería un volumen de V_{y1} a la presión P_t , para ambas máquinas es :

$$V_{y1} = \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{4} y$$

El volumen V_i que se necesita para cada golpe, siempre a la presión P_t , será :

$$V_i = V_{x1} + V_{y1}$$

Luego, el volumen V_t por minuto, será :

$$V_t = N (V_{x1} + V_{y1})$$

Como ya se dijo, este volumen corresponde a la presión de la tubería P_t , que transformado a la presión atmosférica, P_a , resulta :

$$V_a = N (V_{x1} + V_{y1}) \frac{P_t}{P_a}$$

Sustituyendo los volúmenes por sus valores lineales y N por sus valores encontrados en las fórmulas 15 y 15a y agrupándolos convenientemente, se tiene :

Para las de barra estriada :

$$V_a = \sqrt{\frac{450\pi^3}{16P_a^2 m}} (D^2 - D_1^2) \sqrt{\frac{P_t^3}{c} (D^2 - d^2)} \left[y + \frac{D^2 - d^2}{D^2 - D_1^2} x \right] \left[1 + \frac{D^2 - d^2}{D^2 - D_1^2} \right]^{-1} \quad (16)$$

Para las de rueda de trinquete :

$$V_a = \sqrt{\frac{450\pi^3}{16P_a^2 m}} (D^2 - D_1^2) \sqrt{\frac{P_t^3}{c} D^2} \left[y + \frac{D^2}{D^2 - D_1^2} x \right] \left[1 + \frac{D^2}{D^2 - D_1^2} \right]^{-1} \quad (16a)$$

7.- MAQUINAS PERFORADORAS QUE SE EMPLEAN EN MILPO

Para el arranque de mineral, Milpo esta usando dos marcas de máquinas perforadoras y mientras se hacía este estudio, han llegado cuatro marcas distintas; todas ellas han sido analizadas modelo por modelo.

7.1.- ATLIS COPCO, de fabricación sueca, de esta marca se emplean los siguientes modelos :

a).- RH-656-4w y RH-659-4W, ambas máquinas tienen idénticas características y dimensiones, solo difieren en que la primera no tiene el dispositivo automático de alimentación de agua con que está dotada la segunda. Su rotación es por barra estriada, la válvula automática está constituida de un disco oscilante. Su peso es de 50 libras.

- b).- PUMA (BBC 16 W), su rotación es por barra estriada, la válvula automática está constituida por un disco oscilante. Su peso es de 59.2 libras.
- c).- LEON (BBC 24 W), su rotación es por barra estriada, la válvula automática esta constituida por una pieza tubular que se desplaza sobre un eje fijo y uno de sus extremos termina en una protuberancia de diámetro mayor la que abre y cierra los pasajes de aire. Su peso es de 64.1 libras.
- d).- STOPER FALCON (BBD 46 WS 8), se emplea solo para perforaciones verticales hacia arriba. Su rotación es por rueda de trinquete; la válvula automática está constituida por un disco oscilante. Su peso es de 39.5 libras.

7.2.- FLOTTMANN, de fabricación alemana, de esta marca se emplea solo el modelo BK 20 A/W; su rotación es por rueda de trinquete; tiene tres válvulas automáticas que funcionan simultáneamente, constituidas por sendos discos pequeños que se desplazan en cilindros del mismo diámetro, abriendo y cerrando los pasajes de aire que se encuentran a cada lado del pequeño cilindro. Su peso es de 50.16 libras.

7.3.- JOY, de fabricación francesa ha llegado a Milpo en calidad de prueba el modelo Montabert Lyon T-25. Su ro-

- tación es por rueda de trinquete; su válvula automática está constituida de un disco que se desplaza sobre un eje fijo, el disco en su movimiento abre y cierra los pasajes de aire. Su peso es de 55 libras.
- 7.4.- TOYO, de fabricación japonesa, también está en Milpo en calidad de prueba el modelo TY 24-Ld, su rotación es por barra estriada; su válvula automática está constituida de una pieza tubular en cuya parte media está montada un disco que abre y cierra los pasajes de aire cuando la pieza tubular se desplaza sobre su eje. Su peso es de 55.1 libras.
- 7.5.- INGERSOLL RAND, de fabricación norteamericana, de modelo no identificado, su rotación es por barra estriada; la válvula automática está constituida por una pieza tubular que se desplaza sobre un eje fijo en uno de cuyos extremos está montado un disco que abre y cierra los pasajes de aire.
- 7.6.- BOHELER, de fabricación austriaca, está en Milpo en calidad de prueba el modelo CR 250 D; su rotación es por rueda de trinquete; su válvula automática está constituida por una pieza tubular que se desplaza por un eje fijo y uno de sus extremos termina en una protuberancia de diámetro mayor la que abre o cierra los pasajes de aire. Su peso es de 38 libras.

8.- APLICACION DE LAS FORMULAS A LAS MAQUINAS PERFORADORAS QUE SE USAN E MILPO

8.1.- MEDICION DE LAS PARTES DE LAS MAQUINAS.- Para hacer uso de las fórmulas obtenidas en los párrafos anteriores, es necesario efectuar mediciones en el cilindro y en el émbolo-martillo de cada modelo de máquinas perforadoras.

Para seguir adelante con este estudio, se ha tomado una máquina cualquiera de cada modelo que esta en trabajo y de las únicas que están en prueba y se han hecho las respectivas mediciones.

Los instrumentos de medición que se han empleado son los siguientes :

Un profundímetro, que dá una aproximación de 1/64 de pulgada, con este instrumento se midió las dimensiones del cilindro.

Un pie de rey, con una aproximación de 1/128 de pulgada, este instrumento se empleó para medir los diámetros del émbolo-martillo.

Una balanza, con una aproximación a un gramo (0.0022 lb), se usó para determinar el peso del émbolo-martillo.

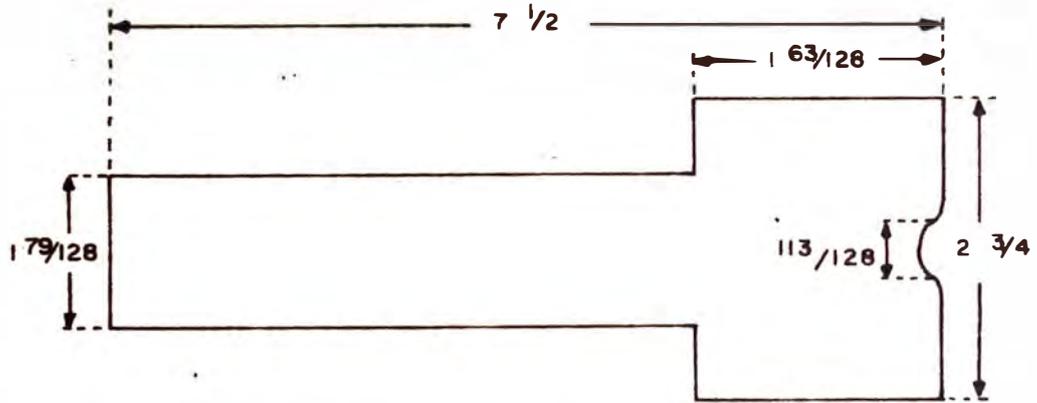
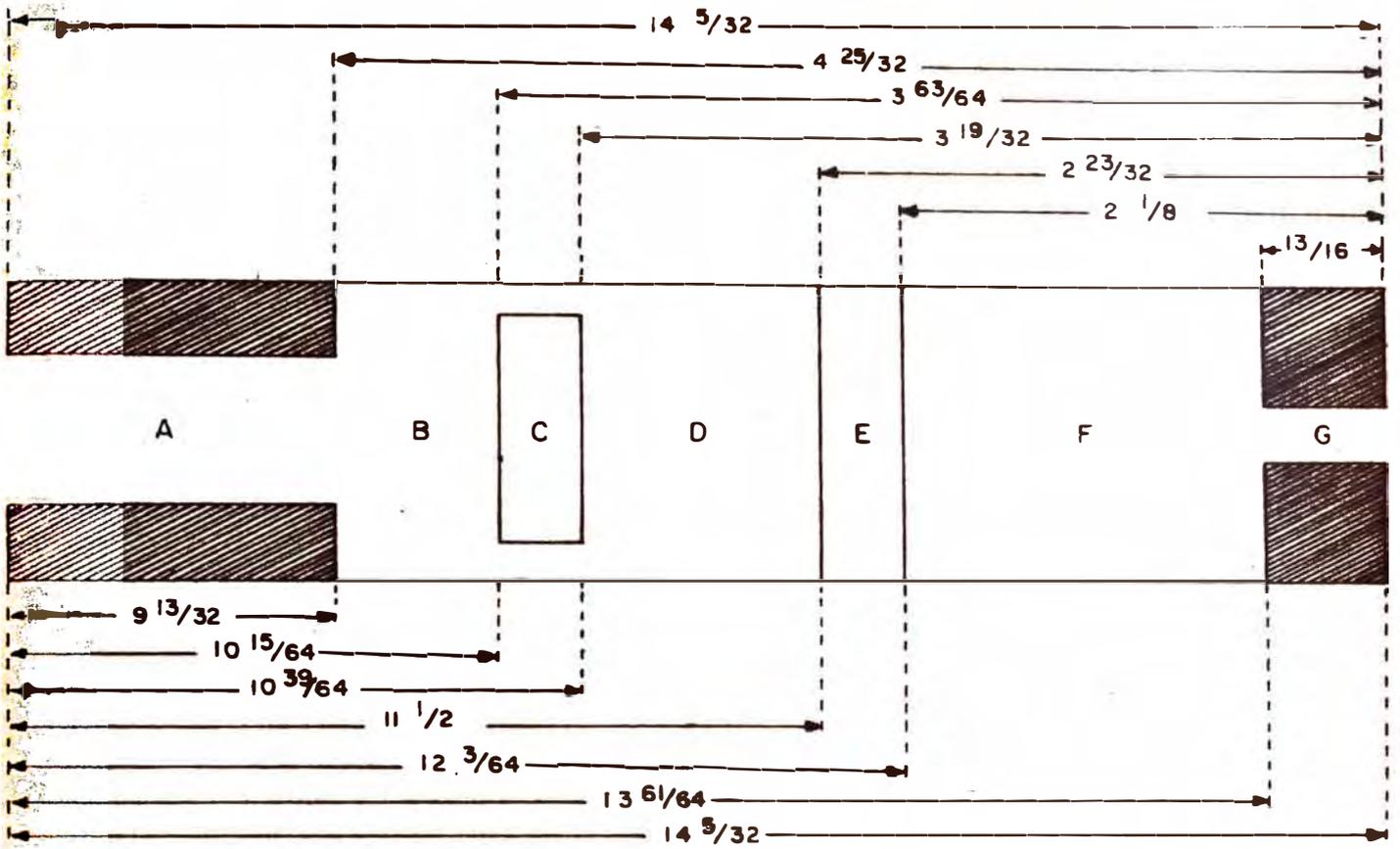
Para determinar las dimensiones de los cilindros, se efectuó las mediciones en dos sentidos, cuyo promedio se ha adoptado como su valor.

El valor de las dimensiones del émbolo martillo se ha adoptado el promedio de las mediciones hechas a dos o más unidades; para los que están en prueba, se han medido dos o más veces la única pieza que se disponía.

Una dimensión que no corresponde justamente a la máquina perforadora, pero que es necesario para encontrar una de sus dimensiones, es la longitud de la espiga del barreno, cuyo valor se ha adoptado el promedio de 10 mediciones hechas en barrenos nuevos.

8.2.- APLICACIÓN DE LAS FORMULAS A LA MÁQUINA PUMA.- Como un ejemplo de aplicación de las fórmulas dadas anteriormente, indicaremos aquí el procedimiento que se sigue para encontrar la energía, el número de impactos y el consumo de aire para la máquina perforadora del modelo Puma. Los cálculos para los otros modelos siguen el mismo procedimiento y sus resultados se pueden ver en el Anexo N° 1.

La Lámina N° 8 muestra las dimensiones lineales de la máquina Puma, encontradas por medición práctica



	1- Medido	2- Medido	Promedio
A	$9 \frac{3}{8}$	$9 \frac{13}{32}$	$9 \frac{27}{64}$
B	$\frac{51}{64}$	$\frac{53}{64}$	$\frac{13}{16}$
C	$\frac{25}{64}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{49}{128}$
D	$\frac{7}{8}$	$\frac{57}{64}$	$\frac{113}{128}$
E	$\frac{19}{32}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{73}{128}$
F	$\frac{59}{64}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{117}{128}$
G	$\frac{13}{64}$	$\frac{13}{64}$	$\frac{13}{64}$

Dimensiones en pulgadas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.	
DIMENSIONES DE LA MAQUINA PERFORADORA PUMA (BBC 16 W)	
Escala: S/E	Fecha: Set. - 71
Dibujado: C.Colqui R.	Lámina N° 8

y expresadas en pulgadas; de ella se obtienen las dimensiones que son utilizables en las fórmulas dadas.

a).- Cilindro :

$$h_x = F = 1 \frac{117}{128} = 1.914 \text{ pulg}$$

$$h_y = B + C + D = \frac{13}{16} + \frac{49}{128} + \frac{113}{128} \\ = 2 \frac{5}{64} = 2.078 \text{ pulg.}$$

$$h_z = A - \text{espiga del barreno} = 9 \frac{25}{64} - 4 \frac{1}{4} \\ = 5 \frac{9}{64} = 5.141 \text{ pulg}$$

$$h_e = E = \frac{73}{128} = 0.570 \text{ pulg.}$$

b).- Embolo-martillo :

$$G = 4.613 \text{ lb.}$$

$$D = 2 \frac{3}{4} = 2.750 \text{ pulg.}$$

$$D_1 = 1 \frac{79}{128} = 1.617 \text{ pulg}$$

$$d = \frac{113}{128} = 0.883 \text{ pulg.}$$

$$L = 7 \frac{1}{2} = 7.500 \text{ pulg.}$$

$$L' = 1 \frac{63}{128} = 1.492 \text{ pulg.}$$

c).- Cálculo de "y".- De la fórmula 7

$$y = h_y + h_z + L' - L$$

$$y = 2 \frac{5}{64} + 5 \frac{9}{64} + 1 \frac{63}{128} - 7 \frac{1}{2}$$

$$y = 1 \frac{27}{128} = 1.211 \text{ pulg.}$$

d).- Carrera.- De la fórmula 11

$$c = x + h_e + y - L'$$

$$c = x + \frac{73}{128} + 1 \frac{27}{128} - 1 \frac{63}{128}$$

$$c = x + \frac{37}{128} = x + 0.289$$

e).- Relación entre "x" y P_t .- Sustituyendo por sus respectivos valores y efectuando las simplificaciones correspondientes, la fórmula 9 se reduce a la siguiente expresión :

$$P_t = \frac{23.403 \left[\left(\frac{1.914}{1.914 - x} \right)^{0.41} - 1 \right]}{0.496 + 0.050 x} \quad \text{lb/pulg}^2$$

Como se dijo anteriormente, esta ecuación debe ser graficada, para lo cual damos valores a "x", primeramente a intervalos de 0.2 pulgadas y luego a intervalos de 0.1 pulgadas con el objeto de encontrar una curva más representativa, para hallar los correspondientes valores de P_t ; estos valores están tabulados en el Cuadro N° 11, con los cuales se confeccionó la curva de trazo continuo en la Lámina N° 9.

CUADRO N° 11

RELACION ENTRE "x" Y P_t

x(pulg)	P_t (lb/pulg ²)	x(pulg)	P_t (lb/pulg ²)
0.00	0.000	1.20	20.977
0.20	2.151	1.30	24.779
0.40	4.576	1.40	30.103
0.60	7.418	1.50	35.802
0.80	10.847	1.60	44.626
0.90	12.858	1.70	58.632
1.00	15.171	1.80	86.998
1.10	17.876	1.90	257.855

f).- Energía.- La fórmula 6 sustituida por sus valores resulta :

$$E = 4.848 \times P_t - 75.740 \quad \text{pulg-lb}$$

Por cuestiones prácticas, la energía del impacto debe expresarse en función de la presión del aire comprimido; entonces se dan valores a P_t a intervalos de 10 lb/pulg² y para encontrar la longitud "x" para cada uno de esos valores se recurre a la curva respectiva de la Lámina N° 9; el producto de estos valores se sustituye en la expresión anterior, obteniéndose así la energía para cada uno de los valores indicados los que están tabulados en el Cuadro N° 12, con los que se confecciona el gráfico correspondiente que se muestra en la Lámina N° 10.

CUADRO N° 12
ENERGIA DEL IMPACTO

P_t (lb/pulg ²)	E(pulg-lb)	P_t (lb/pulg ²)	E(pulg-lb)
0	-75.740	60	421.665
10	-39.380	70	514.746
20	37.703	80	614.615
30	127.876	90	709.636
40	220.958	100	801.748
50	321.796	110	891.921

g).- Número de Impactos.- Después de sustituir por sus valores numéricos, la fórmula 15 se transforma en lo siguiente :

$$N = 416.526 \sqrt{\frac{P_t}{x + 0.289}} \quad \text{golpes/min.}$$

Dando valores a P_t , a intervalos de 10 lb/pulg², encontramos los distintos valores de N , que se tabulan en el Cuadro N° 13, con ellos se grafica la curva correspondiente mostrado en la Lámina N° 11

CUADRO N° 13

NUMERO DE IMPACTOS

P_t (lb/pulg ²)	N/min	P_t (lb/pulg ²)	N/min
0	0	60	2,282
10	1,292	70	2,447
20	1,542	80	2,590
30	1,755	90	2,734
40	1,953	100	2,875
50	2,120	110	2,999

h).- Consumo de aire.- Para la máquina en estudio, la fórmula 16, luego de sustituir por sus valores, queda así : (En pies cúbicos por minuto).

$$V_a = 0.021 P_t \sqrt{\frac{P_t}{x + 0.289}} (6.783 x + 5.992)$$

Como en los dos casos anteriores, esta vez también se dan valores a P_t a intervalos de 10 libras por pulgada cuadrada y las correspondientes longitudes de "x" se hallan con el auxilio del gráfico de la Lámina N° 9, los que sustituidos en la expresión anterior nos darán los valores respectivos de V_a , que están tabulados en el Cuadro N° 14 y graficados en la Lámina N° 12.

CUADRO N° 14

CONSUMO DE AIRE

P_t (lb/pulg ²)	V_a (pies ³ /min)	P_t (lb/pulg ²)	V_a (pies ³ /min)
0	0	60	123
10	7	70	155
20	22	80	190
30	41	90	228
40	65	100	267
50	92	110	307

9.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS

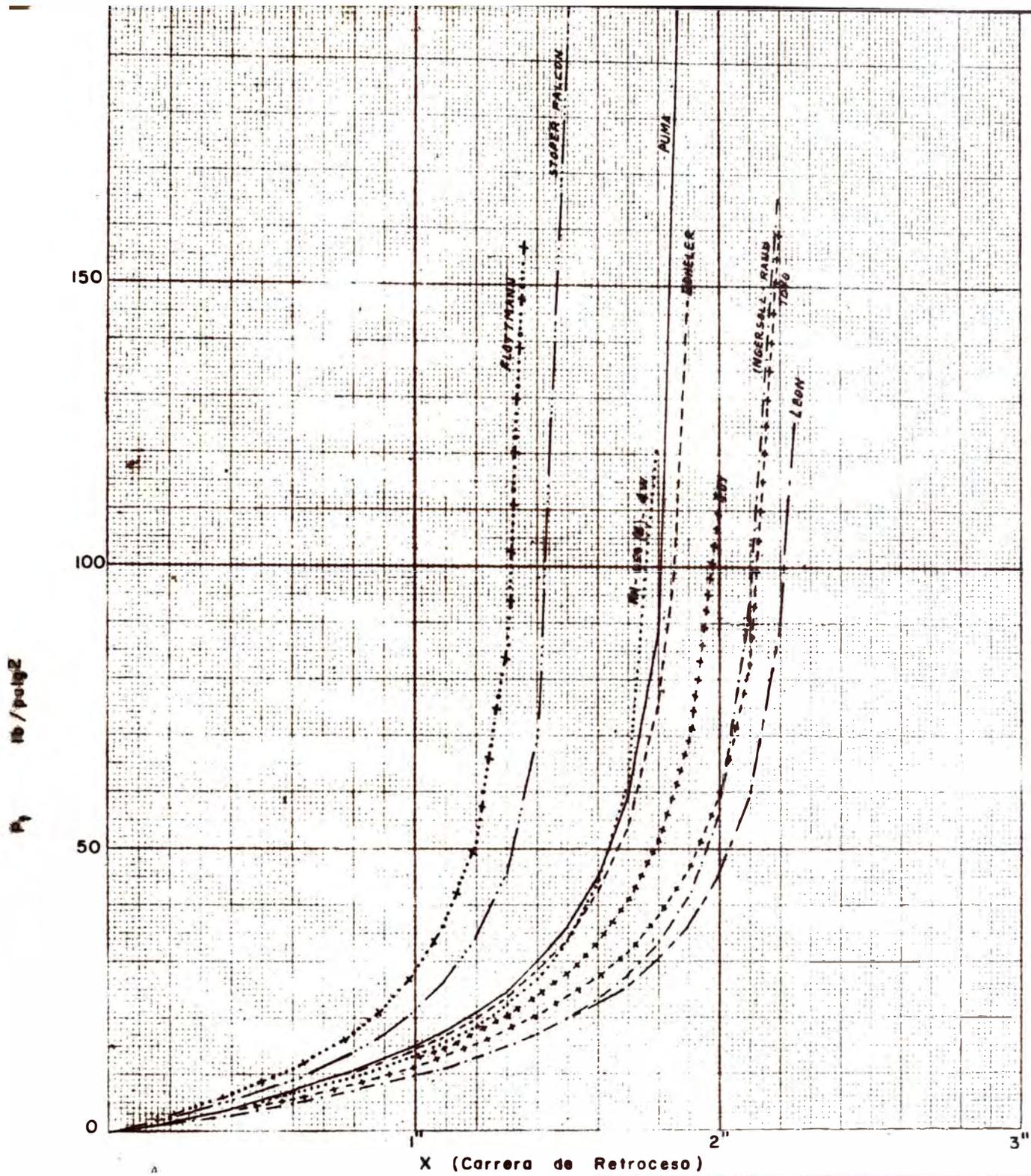
Siguiendo el mismo procedimiento, explicado en el párrafo anterior, se han analizado todas las máquinas perforadoras que han llegado a Milpo, cuyos resultados están tabulados en los respectivos cuadros del Anexo N°1, tomando esos datos se han confeccionado los gráficos de la relación entre "x" y P_t , de la energía del impacto, del número

de impactos por minuto y del consumo de aire de todos los modelos de máquinas y que aparecen en las Láminas Nos. 9, 10, 11 y 12, respectivamente.

Observando los gráficos, se ve que la máquina Boheler es la más enérgica que las otras y las menos son las RH-659-4W y RH-656-4W; entre las de energía media están las máquinas Toyo, Flottmann, Ingersoll Rand y la Stoper Falcon.

El número de impactos por minuto que dá una máquina, tiene incidencia directa en el desgaste del émbolo-martillo y del cilindro, es decir, a mayor número de impactos mayor será el desgaste. La Lámina N° 11 nos señala que la máquina Flottmann es la que dá mayor número de golpes por minuto y las RH-659-4W y RH-656-4W son las que dan menos, dentro de ese rango varían las otras máquinas.

El volumen de aire que consume una máquina perforadora incide directamente, también, en el costo de operación de dicha máquina, por que a mayor consumo de aire mayor será el costo de operación. Los gráficos de la Lámina N° 12 nos señalan que la máquina Boheler es la que más aire consume y las que menos consumen son las RH-659-4W y RH-656-4W; las máquinas de consumo medio se pueden considerar a las León, Puma, Ingersoll Rand y Toyo.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

RELACION ENTRE P_1 y "X"
 DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

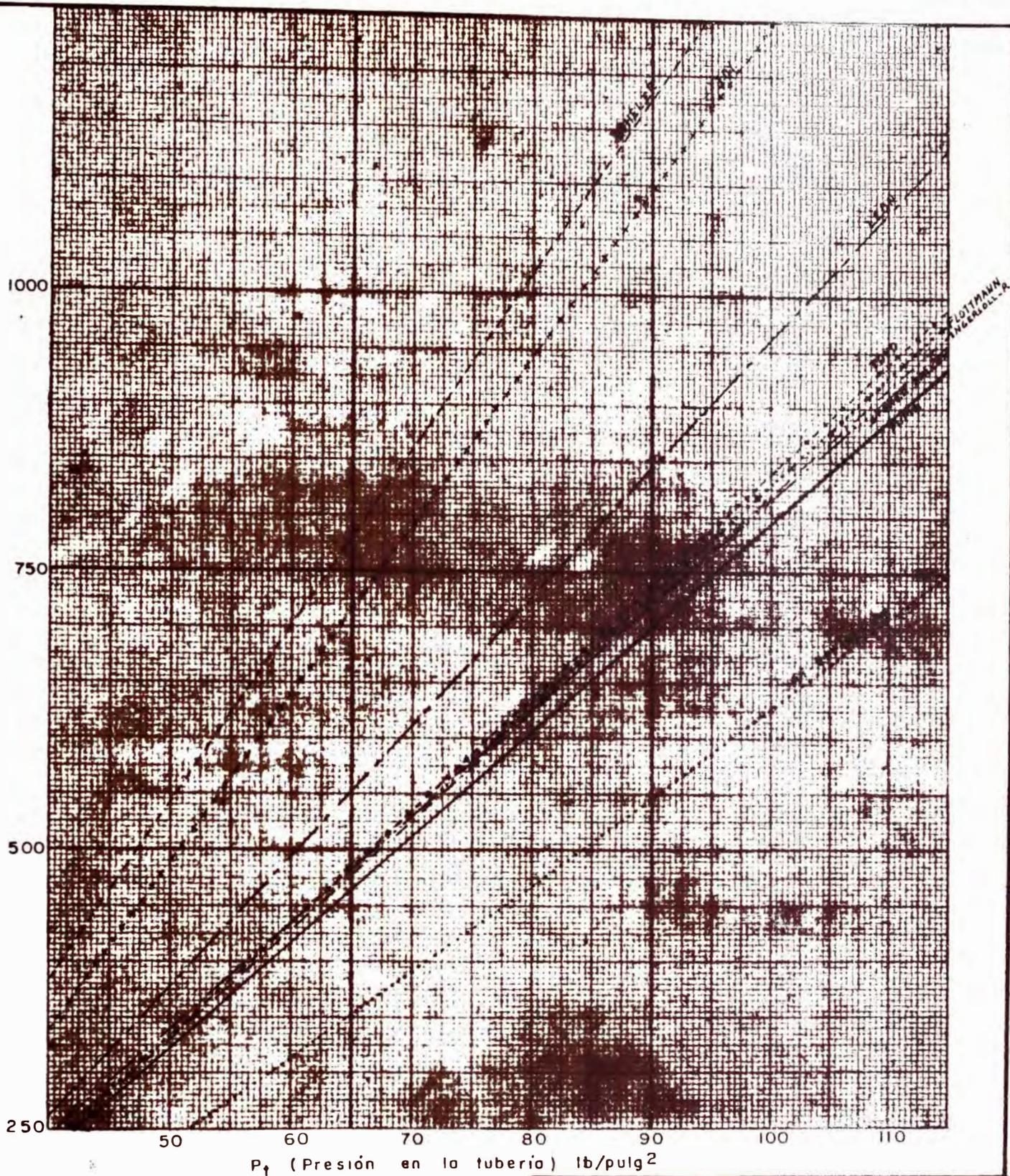
Escola : S/E

Fecha: Set. - 71

Dibujado: C. Colqui R.

Lámina Nº 9

E (Energía) pulg - lb



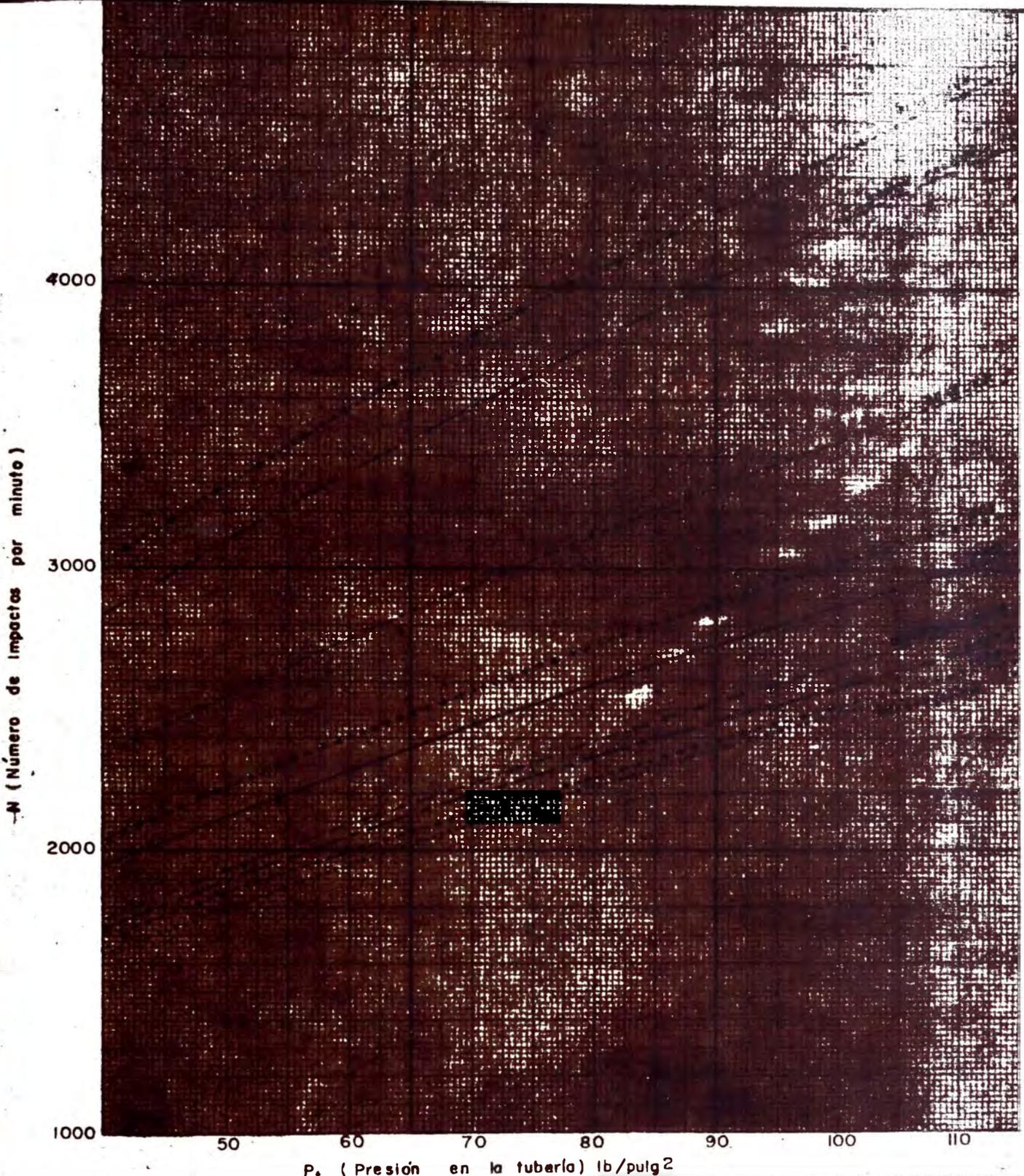
P_t (Presión en la tubería) lb/pulg²

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

ENERGIA DE LAS
MAQUINAS PERFORADORAS

Escola : S/E Fecha: Set. - 71

Dibujado: C. Colqui R. Lámina Nº 10



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

NUMERO DE IMPACTOS
 DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

Escola : S/E

Fecha: Set. - 71

Dibujado: C. Colqui R.

Lámina Nº 11

Va (Consumo de aire)

400

300

200

100

50

60

70

80

90

100

110

P_t (Presión en la tubería)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

CONSUMO DE AIRE LIBRE
DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

Escola : S/E

Fecha: Set. - 71

Dibujado: C. Colqui R.

Lámina N° 12

C A P I T U L O

VIDA ECONOMICA DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

1.- GENERALIDADES

Las máquinas perforadoras pertenecen a los bienes que se deterioran gradualmente según como transcurre su vida, de tal manera que llegará un momento en que deberán ser reemplazadas por otras.

En la teoría de reemplazamiento de maquinarias, intervienen varios factores que determinan cuando debe ser reemplazada una maquinaria. Estas son :

- a).- Si la actividad donde se usa la máquina hade tener una duración definida o indefinida.
- b).- Si la máquina nueva de reemplazo tiene las mismas características que la anterior o es una máquina perfeccionada.

- c).- El costo inicial de la máquina perforadora.
- d).- El costo de operación, mantenimiento y reparación de la máquina perforadora.

Para los fines del estudio que nos ocupa asumimos que la actividad minera en Milpo tendrá una duración indefinida, considerando la vida media de las máquinas perforadoras y por las razones mismas de este estudio, las máquinas perforadoras serán reemplazadas por otras de idénticas características.

William T. Morris (30), después de una deducción matemática, establece la siguiente regla, para las condiciones señaladas :

"Reemplace al final del período en el cual los costos de operación, mantenimiento y reparación del próximo período excede al costo promedio al momento del reemplazo. No reemplace mientras que el costo de operación, mantenimiento y reparación en un período dado no excede al costo promedio al final de dicho período".

Esta regla, dicha en otras palabras, dice que el reemplazamiento debe efectuarse al final del período en que el costo promedio llega a ser mínimo; en consecuencia para determinar la vida económica de una máquina, es necesario establecer el costo promedio para cada uno de los períodos de su vida.

Por razones prácticas, el costo promedio a que se refiere Morris, nosotros lo dividiremos por los pies perforados hasta el período en consideración, a los que le llamamos "Costo Promedio Unitario", esto no varía en absoluto el resultado; entonces el problema es determinar el período en que el costo promedio unitario sea mínimo.

Aplicando esta regla a cada uno de los modelos de máquinas perforadoras que hay en Milpo, determinaremos la vida económica de cada uno de esos modelos, es decir, cuantos pies deberán perforar para ser reemplazadas por otras del mismo modelo dato que nos servirá posteriormente para adoptar uno de ellos cuyo costo sea el más bajo.

El cálculo del costo promedio unitario de las máquinas perforadoras es sencillo pero algo laborioso, por lo que debe efectuarse siguiendo un procedimiento ordenado y según como se van obteniendo las cifras deben irse registrando en un cuadro. Para el caso presente los datos están tabulados en las hojas tituladas "Costo Promedio Unitario de las Máquinas Perforadoras" (Cuadros del N° 16 al N° 21), una por cada modelo de máquina, el procedimiento seguido se indica a continuación.

2.- PERIODO DE SERVICIO

Una vez que una máquina se ha comprado, es evidente que prestará servicios por un buen tiempo, dentro de los causes normales. Este tiempo de servicios, con el fin de hallar su vida económica, se divide en períodos, que se denominan período de servicio o simplemente período.

La adopción de la unidad de período de servicio esta supeditada a que la máquina presta un servicio continuado o nó. Si el servicio es continuo, se toma la unidad de tiempo, ya sea en años o meses. Si el servicio es en forma descontinuada, se usa como unidad una cierta cantidad de trabajo realizado por la máquina.

Las máquinas perforadoras, generalmente en la explotación subterránea de minerales, tiene un trabajo descontinuada, por que hay lapsos en que no trabaja para dar paso a las operaciones de "no-perforación", como ya se vió.

Por la razón anterior, para este estudio, se ha adoptado como unidad de período de servicio 10,000 pies perforados. En las hojas "Costo Promedio Unitario de las Máquinas Perforadoras", estas cifras aparecen en la primera columna a la que le denominamos "X", aquí dichas cifras aparecen en forma acumulada para cada período.

3.- COSTO DE INVERSION (Y)

En este acápite se consignan los precios unitarios de cada modelo de máquina que se emplean en Milpo, estos precios corresponden a las últimas unidades adquiridas por la Compañía y que aparecen en el Cuadro N° 15.

Para encontrar el costo de inversión por cada período de servicio se ha empleado la curva hiperbólica de amortización de la forma :

$$Y = \frac{C}{X}$$

Donde : C = Costo inicial de la máquina perforadora.

X = Pies perforados

Y = Soles oro por pie perforado

Los resultados que se obtienen aplicando la expresión anterior se registran en la segunda columna de las hojas "Costo Promedio Unitario de las Máquinas Perforadoras".

4.- COSTO DE OPERACION, MANTENIMIENTO Y REPARACION (R)

En el Capítulo III se han encontrado los costos de operación y de reparación en forma global para todas las máquinas perforadoras que operan en ésta, dichas cifras constituyen, como se vió, el promedio de 20 meses. Esos datos bas-

CUADRO N° 15PRECIO DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

MODELO	PRECIO S/
RH - 659 - 4W	28,700.00
RH - 656 - 4W	27,800.00
PUMA	46,800.00
LEON	50,148.00
STOPER FALCON	39,700.00
FLOTTMANN	22,315.00
TOYO	17,950.00
BOHELER	36,546.00

tante significativos y sugerentes, no podrán sin embargo, ayudar a encontrar la vida económica de las máquinas.

En el mencionado Capítulo se encontró otro dato que sí puede ayudar a hallar la vida económica de las máquinas, éste es el costo por cada reparación, allí se encontró que su valor es de 380.92 soles oro por cada reparación.

De las tarjetas de "Control de Máquinas Perforadoras", una de las cuales se ilustra en la Lámina N° 13, se han tomado los datos que allí se encuentran agrupándolos por cada período de servicio y se transfirieron a las hojas tituladas "Consumo de Repuestos de Máquinas Perforadoras", una de és-

MARCA: <i>ATLAS COPCO</i> TIPO: <i>BBC-24W LEON</i>				NUMERO: <i>122934</i>		FECHA DE INGRESO: <i>26-NOV-1963</i>		FECHA DE EGRESO		OBSERVACIONES
Fechas	REPUESTOS			IMPORTE		PIES PERFORADOS		Soles por Pie Perforado		
	Cantidad	No. de Repuesto	Nombre	Por Repuesto	Mensual	(Mes)	(Acumulado)	(Mes)	(Acumulado)	
<i>Noviembre-69</i>							<i>22,725</i>			
<i>Febrero-70</i>						<i>1,168</i>	<i>23,893</i>			
<i>" 5</i>	<i>1</i>	<i>3121-0570</i>	<i>Resorte</i>	<i>27.81</i>						
<i>Marzo-70</i>						<i>232</i>	<i>24,125</i>			
<i>" 3</i>	<i>1</i>	<i>3121-0460</i>	<i>Tubo de Agua</i>	<i>268.80</i>						
<i>"</i>	<i>1</i>	<i>3121-0460</i>	<i>Tubo de Aire</i>	<i>268.80</i>						
<i>" 4</i>	<i>1</i>	<i>3101-3159</i>	<i>Triqueté</i>	<i>375.82</i>						
<i>"</i>	<i>1</i>	<i>3100-9140</i>	<i>Resorte</i>	<i>50.91</i>						
<i>" 21</i>	<i>1</i>	<i>3121-0208</i>	<i>Tubo de Aire</i>	<i>180.00</i>						
<i>"</i>	<i>1</i>	<i>3101-4145</i>	<i>Anillo de guía</i>	<i>32.33</i>						
<i>Abril-70</i>						<i>554</i>	<i>24,679</i>			
<i>Mayo-70</i>						<i>2,804</i>	<i>27,483</i>			
<i>" 26</i>	<i>1</i>	<i>3121-0565</i>	<i>Bocina para buje</i>	<i>2,247.91</i>						
<i>Junio-70</i>						<i>1,910</i>	<i>29,393</i>			
<i>" 27</i>	<i>1</i>	<i>3121-0219</i>	<i>Perno lateral</i>	<i>325.50</i>						
<i>"</i>	<i>1</i>	<i>3121-0031</i>	<i>Tuerca</i>	<i>18.57</i>						
<i>"</i>	<i>4</i>	<i>3100-9140-02</i>	<i>Resorte</i>	<i>50.90</i>						
<i>"</i>	<i>4</i>	<i>3100-9641-01</i>	<i>Vástago</i>	<i>79.39</i>						

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 Prog. Acad. de Ingeniería G. M. y M.

TARJETA DE CONTROL
 DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

Escala: S/E Fecha: Set. -71

Dibujado: C.Colqui R. Lámina Nº 13

tas se muestra en esta Capítulo, las hojas de las otras máquinas que se han analizado se pueden ver en el Anexo N° 2.

En estas últimas hojas, cada período tiene dos columnas, la primera es el número de identificación de los repuestos y la segunda el precio de los mismos. Las flechas señalan cada una de las reparaciones efectuadas. En la parte inferior de cada período aparecen dos cifras; la de la izquierda es el valor de las reparaciones efectuadas, obtenida multiplicando 380.92 soles oro por el número de reparaciones hechas en el período el que está dado por el número de flechas y la cifra de la derecha es el costo por concepto de repuestos consumidos durante el período, lo que se obtiene sumando las cifras de dicha columna. La suma de estas dos cifras constituyen pues, los costos de reparación para cada máquina perforadora en cada uno de los períodos.

En lo que se refiere al costo de mantenimiento, éste es igual a cero, es decir, que en Milpo no se cuenta con un programa de mantenimiento, como ya se indicara anteriormente.

Por otro lado, podríamos usar como costo de operación, el dato encontrado en el Párrafo 6 del Capítulo III, añadiendo a cada período el correspondiente a 10,000 pies. Haciendo esto, la diferencia del costo entre período y período siempre será igual; de modo que si se les omite, los cálculos se simplificarán sin que los resultados se alteren

De lo dicho, se concluye que el costo de operación, mantenimiento y reparación de las máquinas perforadoras, para nuestro caso, se reduce al costo de reparación; estas cifras se listan en las hojas tituladas "Costo de Operación, Mantenimiento y Reparación de Máquinas Perforadoras", para cada una de las máquinas que se usan o se han usado en esta mina, dichas cifras se obtienen de los resultados de cada período de las hojas anteriores. En este Capítulo se muestra solo la hoja que corresponde al modelo RH-659-4W, donde aparecen los costos de reparación de todas las máquinas de ese modelo y en la última línea se da el promedio que se tomará como costo de operación, mantenimiento y reparación para dicho modelo. Estas cifras se llevan a la tercera columna, denominada R, del cuadro que le corresponde y titulado "Costo Promedio Unitario de las Máquinas Perforadoras" donde esas cifras aparecen en forma acumulada para cada período.

Las hojas de "Costo de Operación, Mantenimiento y Reparación" para el resto de los modelos analizados se pueden ver en el Anexo N° 3.

5.- COSTO DE OPERACION MANTENIMIENTO Y REPARACION UNITARIO (U)

Se obtiene dividiendo el costo de operación, mantenimiento y reparación acumulado de un período entre los pies perforados hasta ese período.

$$U = \frac{R}{X}$$

COSTO DE OPERACION, MANTENIMIENTO Y REPARACION DE MAQUINAS PERFORADORAS

MARCA DE MAQUINA ... ATLAS COPCO

TIPO .. RH-659-4W

(Soles oro por Período expresado en miles de pies perforados)

Nº de Máq.	0 - 10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140
126323	-	-	944.42	1,335.25	1,662.13	1,799.52	2,197.27	2,258.04	3,332.70	6,134.88	7,916.62	8,376.96		
85347	-	-	-	1,508.14	2,606.53	3,213.60	4,227.83	3,818.95	4,323.78	3,879.12	5,762.24	6,050.45		
189836	944.42	1,358.22	1,508.14	3,252.97	1,976.00	2,571.46	3,135.55	3,812.13	3,340.30	4,034.88	4,797.82			
318403	516.00	1,882.89	2,518.21	565.50	1,907.37	3,576.93	6,468.01	9,524.02						
189847	-	-	-	944.42	1,509.92	1,350.00	2,364.91	2,896.08	3,366.87	4,167.73	5,822.50			
189835	-	-	944.42	6,050.45	2,202.51	2,744.14	3,398.20	3,435.59	4,046.01	6,922.60	5,063.25	8,350.87	7,409.80	
189846	-	-	944.42	944.42	944.42	1,888.94	3,080.54	3,541.70	3,213.60	2,543.21	1,551.45	6,106.82		
173353	-	-	1,898.84	2,363.02	4,277.12	5,871.53	7,000.28	16,936.28	13,532.98	7,113.02	9,627.25			
343710	944.42	1,348.02	1,889.04	1,889.04	2,058.04	1,634.25	1,807.34	2,078.64	2,423.29	5,758.67				
90196	944.42	1,509.92	1,931.29	3,213.60	3,945.30	5,531.66	6,743.17	8,803.90	6,291.12	9,520.03	9,738.26	10,912.83	7,723.23	10,474.42
173347	944.42	944.42	944.42	966.85	944.62	3,931.09	2,308.35	9,956.05	1,858.80	944.42	1,508.14	1,818.84	2,638.66	8,153.85
189837	944.42	910.42	944.42	1,429.25	1,508.14	1,129.02	1,553.61	-	1,694.92	2,095.78	2,750.14	3,268.50	6,308.46	
343659	784.50	944.42	1,508.14	1,888.92	565.50	2,668.24	2,082.77	9,442.17	9,065.69	2,339.13				
85438	-	944.42	1,265.57	1,960.40	1,408.38	1,704.59	6,449.41	7,111.58	7,658.49	9,961.40	12,063.54	5,795.11	5,865.79	
189842	944.42	-	1,508.14	944.42	1,338.99	2,695.96	4,124.72	7,709.49	9,654.30	10,152.06				
289104	-	944.42	1,762.11	2,144.07	10,513.87	1,948.08	1,988.03	3,335.31	8,751.25	1,055.35				
189844	944.42	446.68	3,398.20	1,892.12	1,508.14	4,888.04	-	4,413.92	6,543.48	7,209.65	12,218.43			
224173	1,671.27	2,308.35	5,088.54	2,422.25	-	8,158.42	1,544.17	1,930.37	2,637.16	6,826.02	1,103.28	6,147.32		
289120	910.42	-	1,508.14	2,024.14	2,886.06	4,787.01	7,366.04	2,027.80	2,990.12	8,395.16				
318414	-	-	985.95	1,494.38	1,364.94	2,789.78	4,683.48	3,634.10	4,253.93	6,187.60				
318348	-	-	944.42	4,835.28	2,365.65	3,435.72	4,909.42	6,721.59	5,958.84	4,173.68				
289103	-	784.50	944.42	2,324.12	1,640.57	1,802.13	7,799.69	6,858.13	4,602.08					
03865	-	-	-											
434606	1,359.57	-	1,436.14	872.42	2,073.44	5,707.69	8,006.80	1,348.02						
343655	944.42	-	1,325.52	1,151.42	2,129.51	3,816.01	944.42	6,050.45	5,087.86	6,764.63				
400520	-	944.42	2,115.17	-	985.95	1,789.28	4,905.40	944.42	3,961.72	7,442.60	3,547.56	2,405.74		
343714	944.62	1,578.37	1,889.04	2,673.89	2,098.09	6,050.45	1,325.32	8,865.89	6,484.31					
224163	-	1,327.66	2,346.99	1,392.26	910.42	2,238.16	11,803.57	8,133.98	17,037.48	2,601.75				
220576	689.33	816.18	944.42	1,131.00	1,508.14	3,086.17	3,816.49	3,776.94	4,543.78	11,087.71	3,608.06			
TOTAL	14,431.27	18,993.11	43,438.53	53,614.00	58,839.55	92,807.87	116,034.79	149,360.54	146,655.06	137,611.08	87,078.54	58,403.44	29,945.94	18,628.27
Promedio	515.40	654.93	1,497.88	1,914.78	2,101.41	3,314.57	4,144.10	5,334.30	5,640.58	5,733.80	5,805.24	5,840.34	5,989.19	9314.14

Los resultados se listan en la cuarta columna de las hojas "Costo Promedio Unitario de las Máquinas Perforadoras", representan pues, el costo de operación, mantenimiento y reparación por cada pie perforado.

6.- COSTO PROMEDIO UNITARIO (P)

Finalmente, se obtiene el costo promedio unitario sumando el costo de inversión por cada pie perforado con el costo de operación, mantenimiento y reparación unitario.

$$P = Y + U$$

Los resultados de éstos están tabulados en la quinta y última columna de la hoja ya mencionada, la variación de éstas es el objetivo de este Capítulo, observando estas cifras se puede determinar la vida económica de la máquina perforadora que se analiza.

7.- VIDA ECONOMICA PROMEDIA DE C DA MODELO DE MAQUINA PERFORADORA

Le llamamos promedia por que, como se vió, se han empleado el promedio del costo de operación, mantenimiento y reparación de todas las máquinas analizadas en cada modelo.

Para determinar la vida económica promedia de cada modelo de máquina perforadora, observemos la última columna de las hojas "Costo Promedio Unitario de las Máquinas Perforado

ras' respectivas y veremos que las cifras van descendiendo y llega un momento en que empieza a ascender, el período de la cifra menor es la vida económica del modelo de máquina; para visualizar se han separado por una línea de trazos.

Estos cuadros ponen de manifiesto que para las condiciones de Milpo, la vida económica promedio de las máquinas RH-659-4W es de 120,000 pies perforados.

Para la máquina RH-656-4 la vida económica promedio es de 80.000 pies perforados.

Para la máquina Flottmann es de 70.000 pies perforados

Estos mismos cuadros, junto con los anteriores, señalan que los modelos de máquinas Puma, León y Stoper Falcon aún no han alcanzado su vida económica promedio, cuando se hacía este estudio, por que el costo promedio unitario sigue aún en sentido descendente.

Para hacer un estimado de la vida económica promedio de los modelos de máquinas que aún no han alcanzado tal, se ha procedido de la siguiente manera

En los cuadros titulados "Costo de Operación, Mantenimiento y Reparación de Máquinas Perforadoras" de cada una de las máquinas mencionadas se puede ver que la diferencia de dichos costos, de período en período, tienen un sentido

ascendente, dando lugar a que esos costos tengan también un sentido francamente ascendente, de modo que tomando la diferencia de los dos últimos períodos, prolongamos la vida de esas máquinas por algunos períodos más hasta obtener una cifra donde el costo promedio unitario comience a descender. Ese período será entonces la vida económica estimada para las máquinas en cuestión.

De esa manera se han obtenido la vida económica promedio para el modelo de máquina una que es de 130,000 pies perforados.

Para la máquina León es de 100,000 pies perforados.

Para la Stoper Falcon es de 50,000 pies perforados.

CUADRO N° 16

COSTO PROMEDIO UNITARIO DE LA MAQUINA PERFORADORA
RH-659-4W

PIES PERFORADOS ACUMULADO X	COSTO DE INVERSION S/ por pie Y = C/X	COSTO DE OP. MANT. Y REP. ACUMULADO S/ R	COSTO DE OP. MANT. Y REP. UNITARIO S/ por pie U = R/X	COSTO PROMEDIO UNITARIO S/ por pie P = Y+U
10,000	2.8700	515.40	0.0515	2.9215
20,000	1.4350	1,170.33	0.0535	1.4885
30,000	0.9567	2,668.21	0.0889	1.0456
40,000	0.7175	4,582.99	0.1145	0.8320
50,000	0.5740	6,684.40	0.1337	0.7077
60,000	0.4783	9,998.97	0.1666	0.6449
70,000	0.4100	14,143.07	0.2020	0.6120
80,000	0.3588	19,477.37	0.2434	0.6022
90,000	0.3189	25,117.95	0.2791	0.5980
100,000	0.2870	30,851.75	0.3085	0.5955
110,000	0.2609	36,656.99	0.3332	0.5941
120,000	0.2392	42,497.33	0.3540	0.5932
130,000	0.2208	48,486.52	0.3730	0.5938
140,000	0.2050	57,800.66	0.4129	0.6179

CUADRO N^o 17COSTO PROMEDIO UNITARIO DE LA MAQUINA PERFORADORA
RH-656-4W

PIES PERFORADOS ACUMULADO X	COSTO DE INVERSION \$/ por pie $T = C/X$	COSTO DE OP. MANT. Y REP. ACUMULADO \$/ R	COSTO DE OP. MANT. Y REP. UNITARIO \$/ por pie $U = R/X$	COSTO PROMEDIO UNITARIO \$/ por pie $P = U+Y$
10,000	2.7800	85.35	0.0085	2.7885
20,000	1.3900	1,014.94	0.0507	1.4407
30,000	0.9267	2,315.78	0.0772	1.0039
40,000	0.6950	5,601.57	0.1400	0.8350
50,000	0.5560	8,936.67	0.1787	0.7347
60,000	0.4633	12,658.86	0.2110	0.6743
70,000	0.3971	18,791.81	0.2684	0.6655
80,000	0.3475	25,091.61	0.3156	0.6631
90,000	0.3089	33,083.63	0.3676	0.6765
100,000	0.2780	41,733.39	0.4173	0.6953
110,000	0.2527	50,630.80	0.4603	0.7130

CUADRO N^o 18

COSTO PROMEDIO UNITARIO DE LA MAQUINA PERFORADORA
PUMA BBC 16 W

PIES PERFORADOS ACUMULADO X	COSTO DE INVERSION S/ por pie Y = C/X	COSTO DE OP. MANT. Y REP. ACUMULADO S/ R	COSTO DE OP. MANT. Y REP. UNITARIO S/ por pie U = R/X	COSTO PROMEDIO UNITARIO S/ por pie P = U+Y
10,000	4.6800	299.25	0.0299	4.7099
20,000	2.3400	1,575.15	0.0788	2.4188
30,000	1.5600	3,712.56	0.1238	1.6838
40,000	1.1700	5,874.21	0.1468	1.3168
50,000	0.9360	8,086.57	0.1617	1.0977
60,000	0.7800	10,817.11	0.1803	0.9603
70,000	0.6686	13,633.73	0.1948	0.8634
80,000	0.5850	17,121.54	0.2140	0.7990
90,000	0.5200	20,700.57	0.2300	0.7500
100,000	0.4680	24,313.90	0.2431	0.7111
110,000	0.4254	28,357.85	0.2578	0.6832
120,000	0.3900	32,832.42	0.2736	0.6636
130,000	0.3600	38,168.23	0.2936	0.6536
140,000	0.3343	44,795.90	0.3200	0.6543

CUADRO Nº 19

COSTO PROMEDIO UNITARIO DE LA MAQUINA PERFORADORA
STOPER FALCON BBD 46 WS

PIES PERFORADOS ACUMULADO X	COSTO DE INVERSION \$/ por pie Y = C/X	COSTO DE OP. MANT. Y REP. ACUMULADO \$/ R	COSTO DE OP. MANT. Y REP. UNITARIO \$/ por pie U = R/X	COSTO PROMEDIO UNITARIO \$/ por pie P = U+Y
10,000	3.9700	9,300.84	0.9301	4.9001
20,000	1.9850	27,625.53	1.3813	4.3663
30,000	1.3233	51,540.71	1.7180	3.0413
40,000	0.9925	77,021.54	1.9255	2.9180
50,000	0.7940	104,068.02	2.0814	2.8754
60,000	0.6617	134,245.80	2.2374	2.8991

CUADRO Nº 20COSTO PROMEDIO UNITARIO DE LA MAQUINA PERFORADORA
LEON BBC 24W

PIES PERFORADOS ACUMULADO X	COSTO DE INVERSION \$/ por pie Y = C/X	COSTO DE OP. MANT. Y REP. ACUMULADO \$/ R	COSTO DE OP. MANT. Y REP. UNITARIO \$/ por pie U = R/X	COSTO PROMEDIO UNITARIO \$/ por pie P = Y+U
10,000	5.0148	3,659.83	0.3660	5.3808
20,000	2.5074	8,759.48	0.4380	2.9454
30,000	1.6716	13,962.18	0.4654	2.1370
40,000	1.2537	19,806.79	0.4952	1.7489
50,000	1.0030	25,743.72	0.5148	1.5178
60,000	0.8358	32,166.80	0.5361	1.3719
70,000	0.7164	39,055.30	0.5579	1.2743
80,000	0.6268	46,880.99	0.5860	1.2128
90,000	0.5572	54,734.19	0.6082	1.1654
100,000	0.5015	64,864.14	0.7934	1.2493
-----	-----	-----	-----	-----
110,000	0.4559	87,270.84	0.7934	1.2493

CUADRO N° 21

COSTO PROMEDIO UNITARIO DE LA MAQUINA PERFORADORA
FLOTTMANN BK-20-2A-WL

PIES PERFORADOS ACUMULADO X	COSTO DE INVERSION \$/ por pie Y = C/X	COSTO DE OP. MANT. Y REP. ACUMULADO \$/ R	COSTO DE OP. MANT. Y REP. UNITARIO \$/ por pie U = R/X	COSTO PROMEDIO UNITARIO \$/ por pie P = Y+U
10,000	0.2315	655.87	0.0656	2.2971
20,000	1.1158	3,223.12	0.1612	1.2770
30,000	0.7438	6,793.10	0.2264	0.9702
40,000	0.5579	11,801.39	0.2950	0.8529
50,000	0.4463	17,726.60	0.3545	0.8008
60,000	0.3719	23,906.68	0.3984	0.7703
70,000	0.3188	31,419.90	0.4488	0.7676
80,000	0.2789	39,968.02	0.4996	0.7785
90,000	0.2479	50,470.85	0.5608	0.8087

C A P I T U L O VI

TIEMPO STANDARD DE PERFORACION EN MILPO

1.- GENERALIDADES

En el párrafo 5 del Capítulo III, se encontró por medios estadísticos el tiempo de perforación por cada pie perforado, como se señaló allí, en ese tiempo están incluídas las operaciones auxiliares a la perforación

El tiempo efectivo que el perforista y su ayudante emplean en la operación netamente de perforación, o sea aquél que emplea la máquina para hacer un taladro, los cambios de barreno que hace el ayudante y algunas demoras inherentes a la operación, debe ser algo menor que el encontrado en el párrafo mencionado.

Este tiempo efectivo de perforación es afectado por los siguientes factores (28)

- a).- Carácter del terreno, como dureza, adherencia, grietas y calidad del barro de perforación que se forma.
- b).- Profundidad, diámetro y dirección del taladro.
- c).- Energía, peso, tamaño y tipo de la máquina perforadora y su avance.
- d).- Calidad y agudeza de los barrenos.
- e).- Presión del aire comprimido.
- f).- Presión del agua para el barrido del barro.
- g).- Tiempo de cambio de barrenos.
- h).- Experiencia del personal.

Los seis primeros de estos factores ya fueron detenidamente estudiados en los capítulos anteriores, los dos últimos se estudiarán en este Capítulo, como partes integrantes de la operación de perforación.

Este estudio consistirá en la medición del tiempo efectivo de perforación y los movimientos de los operadores en realizar la perforación.

Como toda medida requiere de una unidad, para medir el tiempo de la operación de perforación debe ser el tiempo necesario para perforar una unidad de longitud; para nuestros propósitos se ha escogido el seg/pie; el segundo con el fin de evitar las fracciones que surgirían si se usara unidades mayores; el pie por que es la unidad que se usa en esta mina para medir la longitud de perforación.

Este tiempo por unidad de longitud perforada, que incluye el trabajo de la máquina perforadora, los movimientos de los trabajadores y las demoras inevitables se denomina Tiempo Standard de Perforación.

El tiempo standard no debe ser confundido con la Velocidad de Penetración, ésta última se refiere más bien al trabajo netamente mecánico realizado por la máquina perforadora donde están incluidos también ciertas demoras inevitables propias del estado de las máquinas.

Para medir la velocidad de penetración se usa como unidad pies/min.

Cabe hacer notar que la velocidad de penetración es parte del tiempo standard y como tal está afectado por los mismos factores anotados, excepto los dos últimos.

2.- ESTUDIO DE TIEMPOS DE LA PERFORACION MECANICA

Para determinar el Tiempo Standard de Perforación y la Velocidad de Penetración, haremos uso de una de las ramas más importantes de la Administración: El Estudio de Tiempos, el que nos permitirá hacer un análisis de todos y cada uno de los detalles que intervienen en la operación netamente de perforación.

El estudio de tiempos de la perforación en esta mina se inició con la confección de las hojas tituladas "Estudio de Tiempos de Perforación Mecánica" una de las cuales se adjunta en este Capítulo, éstas fueron tomadas de Carrier Corporation, Syracuse, New York (32) y modificadas para adaptarlas a la perforación mecánica; los términos que en ellas se emplean se explicarán más adelante. Todas las hojas que se han empleado en este estudio están en el Anexo N° 4.

Provisto de dichas hojas se han efectuado una serie de observaciones en el terreno, tratando de abarcar el mayor número de lugares de perforación con el fin de que la prueba tenga lugar en los distintos terrenos de Milpo; no se seleccionó un personal especial de prueba, sino que se estudió a la mayoría de los perforistas, para obtener un resultado más representativo del personal; de igual manera, no se seleccionó las máquinas perforadoras, las observaciones fueron hechas con las máquinas que están en servicio y que están disponibles. Se tuvo cuidado sí de que los barrenos estuvieran en óptimas condiciones.

Como instrumentos de observación se han empleado un cronómetro sexagesimal y un manómetro de aguja; el primero con una aproximación de un quinto de segundo, sin embargo, para nuestros propósitos las observaciones fueron hechas al segundo; el otro instrumento, con una aproximación de 5 libras por pulgada cuadrada.

Para efectuar las observaciones se puso en marcha el cronómetro cuando el perforista ponía en marcha la máquina para iniciar la perforación del primer taladro y se han ido anotando en la hoja, los tiempos sucesivos registrados por cada uno de los elementos de la operación, así como las contingencias, sin detener la marcha del cronómetro hasta que concluyera la tanda de perforación.

Los tiempos efectivos de cada elemento fueron calculados en la oficina por simple sustracción de los tiempos sucesivos.

2.1.- ELEMENTOS DE LA OPERACION DE PERFORACION.- Se define como elemento de operación al movimiento de trabajo, continuo y específico, realizado por un operario o por una máquina durante la ejecución de una operación; el tiempo consumido por el elemento de operación se denomina tiempo elemental.

En la operación netamente de perforación, que es de interés para el presente estudio, consideramos los siguientes elementos :

a).- Perfora con barreno de 3'.- Se considera desde el instante en que el ayudante pone en contacto el barreno sobre el terreno, a esta parte del elemento se denomina "empate", al mismo tiempo que

el perforista inicia la perforación accionando la manilla de control de la máquina perforadora, hasta que el mismo perforista cierra dicha manilla para cortar el aire y detener la máquina luego de haber perforado una longitud determinada.

- b).- Pasa a otro taladro.- Se ve que algunos perforistas, luego de perforar un taladro con el barreno de 3', hacen el cambio inmediato por el barreno de 5' para terminar con éste el mismo taladro y empiezan nuevamente con el "empate" para perforar otro taladro. Otros perforistas, hacen una serie de "empates" con el barreno de 3', luego con un solo cambio de barreno terminan de perforar esa serie para completar los taladros de 5'.

El elemento de operación "pasa a otro taladro" se considera desde el instante en que el perforista detiene la máquina, después de haber perforado con cualquiera de los barrenos, hasta el instante de poner nuevamente en marcha la máquina ya sea cambiando o sin cambiar de barreno.

- c).- Termina con barreno de 5'.- Se considera este elemento, la perforación efectuada empleando el barreno de 5'.

d).- Perfora solo con barreno de 5'. - En muy pocos casos, especialmente en lugares altos, se efectúan perforaciones sin emplear el barreno de 3', sino exclusivamente con barrenos de 5', en estos casos el elemento de perforación señalado se considera desde el "empate" hasta la conclusión del taladro de 5'.

2.2.- CICLO DE UNA OPERACION DE PERFORACION. - El ciclo de una operación esta definida como la combinación de todos los movimientos de trabajo necesarios efectuados por el operario y la máquina para desempeñar una operación completa. El tiempo transcurrido en la ejecución de todos esos movimientos de trabajo se denomina tiempo del ciclo.

Teniendo en cuenta la definición anterior y los alcances de este estudio, el ciclo de la operación de perforación es entonces, todos los movimientos de los trabajos realizados por el perforista, su ayudante y la máquina perforadora para llevar a cabo la perforación de un taladro de 5'.

Como quiera que cada equipo de perforación efectúa alrededor de 30 a 40 taladros, la operación de perforación constará entonces, de 30 a 40 ciclos de operación.

2.3.- FACTOR PROPORCIONAL DE VALOR CICN - NIVELACION.- En la función del operador existen variaciones debidas al factor humano, ya que no hay dos personas que ejecutan una tarea dada a una misma velocidad, así como que tampoco un individuo trabaja a una misma velocidad en forma continua durante un período sostenido de tiempo.

Se entiende por "ejecución normal" la velocidad de trabajo de un operador normal, con aptitudes normales, que trabaja a un ritmo normal y con el esfuerzo que normalmente puede sostener durante todo el período de trabajo. Por lo tanto el cien por ciento representa función o ejecución normal.

Si la ejecución es hábil y diestra, la cual evidentemente sobrepasa el promedio, se califica con un grado superior al cien por ciento. Una actuación vacilante, intermitente y a todas luces inexperta, se califica con un grado inferior al normal de cien por ciento. Estas variaciones no excederán el 5 % (32).

En consecuencia, la Nivelación es el equilibrio del tiempo de cada uno de los elementos de una operación analizada.

Puesto que la valoración del rendimiento del trabajador se expresa mediante un porcentaje, el tiempo

normal del elemento se obtiene multiplicando dicho porcentaje por el tiempo elemental.

Aquéllos elementos cuyo tiempo esta totalmente controlado por medios mecánicos se califican siempre con una marca de cien por ciento; por lo tanto, el tiempo normal de dichos elementos será idéntico a su tiempo promedio.

En el ángulo superior izquierdo de las hojas de estudio de tiempo, una línea esta dedicada a la valoración de la función de cada uno de los perforistas observados, asignándoles el calificativo correspondiente de acuerdo a los conceptos vertidos líneas arriba.

La respectiva nivelación de cada uno de los elementos de la operación aparecen en la última columna de la hoja, bajo el título de Tiempo Normal, éstos fueron obtenidos multiplicando el factor de valoración, expresado en porcentaje, por los Tiempos Normales que son la suma de los elementos que dependen de los movimientos de los operarios.

La suma de los tiempos de los elementos puramente mecánicos están en la columna Tiempo Mecánico, como se dijo, no son afectados por el factor de valoración por lo que no son nivelados.

2.4.- TOLERANCIAS NORMALES.- A los tiempos básicos se añaden tolerancias denominadas normales, por que son permitidos dentro de la ejecución correcta de la operación, es decir, que no intervienen directamente en la operación pero son necesarios, producidos por factores personales, por fatiga y por contingencias especiales.

a).- Compensación por Contingencias.- En el transcurso de una operación que se efectúa en condiciones normales, casi siempre ocurren demoras inevitables, de modo que el tiempo básico debe ser compensado por esas contingencias añadiéndole un tiempo proporcional que toma tales trazos.

Entre las principales contingencias que se cuentan en la operación de perforación mecánica, se tiene: atascamiento del barreno en terreno difícil, donde el ayudante hace esfuerzos para recuperarlo; ruptura del barreno, en este caso, el ayudante tiene que dirigirse a la bodega a recavar otro; ruptura de la manguera, ambos trabajadores detienen la perforación para repararla; visita de los jefes, topógrafos o geólogos, ambos operadores detienen la máquina para recibir órdenes y explicaciones.

El tiempo total que toman estas contingencias se expresa en porcentaje con respecto al tiempo normal total, este porcentaje se añade al promedio del tiempo normal.

- b).- Tolerancia por Fatiga.- La operación de perforación, por su naturaleza, se considera una operación pesada. Los expertos en estudio de tiempos consideran que para operaciones pesadas, al promedio de tiempo normal debe añadirse un 5 por ciento del mismo por concepto de fatiga; llegaron a esta conclusión por apreciaciones hechas en operaciones efectuadas en la superficie, pero en el subsuelo las condiciones son mucho más adversas, por este motivo, una tolerancia por fatiga justa sería de 15 por ciento para las operaciones de perforación en el subsuelo; este porcentaje se empleará para compensar el tiempo normal.
- c).- Tiempo Total Permitido.- Es la suma del promedio del tiempo normal, compensación por contingencias y tolerancia por fatiga.
- d).- Tolerancia Personal.- El tiempo total permitido a su vez, debe ser corregido por necesidades personales de los trabajadores, normalmente se concede

la cifra de 5 por ciento, pero como nuestras operaciones se realizan en el subsuelo, nosotros le concedemos 10 por ciento.

3.- VELOCIDAD DE PENETRACIÓN DE CADA MODELO DE MAQUINA PERFORADORA

En el ángulo inferior izquierdo de las hojas de estudio de tiempos aparece el resumen del tiempo mecánico, en donde se puede ver el tiempo por unidad de longitud perforada tanto con barreno de 3' como con barreno de 5', así como también si se ha perforado solo con el barreno de 5'; estos tiempos fueron obtenidos dividiendo los tiempos mecánicos de cada elemento de operación entre la longitud total en pies perforados por cada barreno, los que aparecen en la línea titulada Longitud del Taladro en pies.

En la penúltima línea, se observa el tiempo mecánico promedio, obtenido promediando las cifras anteriores, el que nos señala el tiempo por unidad de longitud perforada en Milpo empleando la máquina perforadora que dió origen a cada hoja mencionada.

Finalmente en la última línea del recuadro indicado, aparece la velocidad de penetración de cada máquina perforadora observada, que es la inversa del tiempo mecánico promedio expresado en pies por minuto. Esta cifra es el rendimiento práctico de las máquinas perforadoras para las condiciones de esta mina.

Con los últimos datos se confeccionó el Cuadro N° 22, donde se puede apreciar el rendimiento de cada modelo de máquina perforadora en Milpo; comparándolos con su respectiva energía teórica, hallada en el Capítulo IV párrafo 4, para una presión en la línea de aire comprimido de 85 lb/pulg² manométricas, que es el promedio de presión de trabajo, se nota que la velocidad de penetración de cada máquina esta de acuerdo con su respectiva energía teórica. En consecuencia, con el cálculo de la energía teórica, se tiene una primera apreciación del rendimiento de cualquier máquina perforadora.

CUADRO N° 22

VELOCIDAD DE PENETRACION DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

MODELO DE MAQUINA	ENERGIA A 85 p.s.i. man. <i>ll</i> (pulg-pie)/pulg	VELOCIDAD DE PENETRACION (pies/min)
RH - 656(9) - 4W	580	0.727
PUMA	740	1.072
STOPER FALCON	765	1.202
TOYO	785	1.251
LEON	895	1.531
FLOTTMANN	955	1.544
BOHELER	1250	1.620

4.- TIEMPO STANDARD PARA CADA MODELO DE MAQUINA PERFORADORA

En el recuadro central inferior de las hojas que nos ocupa, están los resultados obtenidos del estudio de tiempos de la perforación mecánica efectuada en esta mina.

En la primera línea aparece el Promedio del Tiempo Normal obtenido por la división del tiempo normal total entre la longitud total perforada.

Este promedio de tiempo normal debe ser corregido, como ya se apuntó, por contingencias y por fatiga cuyos porcentajes van en la segunda y tercera línea respectivamente. La suma de las tres cifras anteriores es el Tiempo Total Permitido que se registra en la cuarta línea y que expresa el tiempo de los movimientos de los operarios.

Al tiempo total permitido hay que agregarle el 10 por ciento por concepto de tolerancia personal, cuya cifra aparece en la quinta línea; si a estas dos cifras añadimos el tiempo promedio mecánico, obtendremos el Tiempo Standard que aparece en la última línea y que es el objetivo de este Capítulo.

En el Cuadro N° 23, se puede ver los tiempos standards para cada modelo de máquina perforadora que operan en Milpo.

En los dos últimos cuadros se ve que han sido observados siete modelos de los nueve que se han analizado teóricamente en el Capítulo IV, esta diferencia se debe a que las máquinas Montabert Lyon é Ingersoll Rand, que estuvieron en calidad de prueba, se devolvieron a los fabricantes sin que se concluyera su estudio.

CUADRO Nº 23

VELOCIDAD DE PENETRACION Y TIEMPO STANDARD DE PERFORACION DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

MODELO DE MAQUINA	VELOCIDAD DE PENETRACION pies/min					TIEMPO STANDARD DE PERFORACION seg/pie				
	1a. Observ.	2a. Observ.	3a. Observ.	4a. Observ.	PROMEDIO	1a. Observ.	2a. Observ.	3a. Observ.	4a. Observ.	PROMEDIO
RH-656 (9)-4W	0.822	0.484	0.732	0.869	0.727	124	191	107	164	146
PUMA	1.111	1.304	1.017	0.857	1.072	111	91	81	108	98
STOPER FALCON	1.364	1.154	1.091	1.200	1.202	97	83	91	103	94
TOYO	1.034	1.304	1.333	1.333	1.251	89	60	71	80	75
LEON	1.463	1.765	1.500	1.395	1.531	67	82	67	69	71
FLOTTMANN	1.304	1.765	1.395	1.714	1.544	70	45	91	57	66
BOHELER	1.395	1.818	1.500	1.765	1.620	96	121	95	118	107

C A P I T U L O VII

LAS MAQUINAS PERFORADORAS Y LA RESERVA DE MINERAL

1.- LONGITUD TOTAL A PERFORARSE

Se conoce, por datos no oficiales, que en Milpo se tiene mineral para aproximadamente 10 años de 365 días al ritmo actual de explotación. Es decir, considerando 800 T.M.S. diarias, se debe tener aproximadamente 2'920,000 T.M.S. de mineral y como el índice de perforación es 5.409 pies perforados por cada T.M.S., se necesitarán perforar $5.409 \times 2'920,000 = 15'794,280$ pies. Como es natural, a esta cifra debe agregarse un margen de seguridad, considerando a ésta en 25 % resultará que se necesitarán perforar 20'000,000 de pies para sacar la reserva conocida de mineral.

2.- COSTO DE INVERSION POR MAQUINAS PERFORADORAS

Dividiendo los 20 millones que se necesitan perforar por la vida económica promedio de la máquina perforadora, obtenemos el número de máquinas que se necesitarán. Este resultado multiplicado por el costo unitario de la máquina dará el costo de inversión por concepto de máquinas perforadoras que se necesitarán para explotar la reserva de mineral.

El Cuadro N° 24 muestra el número de máquinas que se necesitan y su costo de inversión que se necesitarían si se adoptara cada uno de los modelos.

CUADRO N° 24

NUMERO DE MAQUINAS NECESARIAS Y SU COSTO DE INVERSION

MAQUINA	N° DE MAQUINAS	COSTO S/
RH - 659 - 4W	167	4'792,000.00
RH - 656 - 4W	250	6'950,000.00
PUMA	154	7'207,200.00
STOPER FALCON	400	15'880,000.00
LEON	200	10'029,600.00
FLOTTMANN	286	6'382,090.00

3.- COSTO POR CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO

Se considera como presión de trabajo 85 lb/pulg² manométricas; a esta presión la máquina perforadora consume un volumen de aire que lo dá la Lámina N° 12, multiplicando éste por el costo por pie cúbico de aire comprimido, 0.00239 soles oro, se obtiene el costo por consumo de aire comprimido para la máquina. El Cuadro N° 25 reúne dichos costos para cada modelo de máquina.

CUADRO N° 25

COSTO POR CONSUMO DE AIRE DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

MAQUINA	CONSUMO DE AIRE 85 lb/pulg ² man. pies ³ /min	COSTO EN S//min
RH - 656(9) - 4W	188	0.449
PUMA	245	0.585
STOPER FALCON	378	0.903
TOYO	225	0.538
LEON	236	0.683
FLOTTMANN	402	0.961
BOHELER	440	1.052

4.- COSTO DE OPERACION

Primeramente calculamos el tiempo que se necesita para perforar los 20 millones de pies; éste está dado por el tiempo standard de perforación multiplicado por 20'000,000 y dividido por 60 para expresarlo en minutos.

El resultado anterior multiplicado por el costo por consumo de aire (Cuadro N° 25), dará el costo de operación para perforar los 20 millones de pies.

El Cuadro N° 26 dá el tiempo que se necesita y el costo de operación por cada modelo de máquina.

CUADRO N° 26

TIEMPO NECESARIO Y COSTO DE OPERACION DE LAS MAQUINAS

PERFORADORAS

MAQUINA	TIEMPO NECESARIO Minutos	COSTO DE OPERACION Soles oro
RH - 656(9) - 4W	48'666,618	21'851,311.48
PUMA	32'666,634	19'109,980.89
STOPER FALCON	31'333,302	28'293,971.71
TOYO	24'999,975	13'449,986.55
LEON	23'666,643	16'164,317.17
FLOTTMANN	21'999,978	21'141,978.86
BOHELER	35'666,631	37'521,295.81

5.- COSTO TOTAL

Sumando el costo de inversión, dado en el Cuadro N° 24 con el costo de operación, dado en el Cuadro N° 26, se obtiene el costo total para perforar los 20 millones de pies. En el Cuadro N° 27 se listan los costos totales para cada modelo de máquina, obsérvese que éste es menor para la máquina Puma BBC 16 W.

CUADRO N° 27COSTO TOTAL DE LAS MAQUINAS PERFORADORAS

MAQUINA	COSTO TOTAL Soles oro
RH - 659 - 4W	26'643,311.48
RH - 656 - 4W	28'801,311.48
PUMA	26'316,980.89
STOPER FALCON	44'173,971.71
LEON	36'193,917.17
FLOTTMANN	27'524,068.86

6.- NUMERO DE MAQUINAS EN PERFORACION SIMULTANEA DIARIA

Para producir 800 T.M.S. diarias, cada guardia deberá contribuir con 400 T.M.S. y como el índice de perforación es 5.409 pies de perforación por cada T.M.S., quiere decir que cada guardia deberá perforar :

$$400 \times 5.409 = 2,164 \text{ pies,}$$

el cual constituye su cuota de perforación.

El tiempo que necesita cada máquina perforadora para perforar 2,164 pies es :

$$\text{Tiempo Standard} \times 2,164 \quad (\text{segundos})$$

Expresado en horas será :

$$\frac{\text{Tiempo Standard} \times 2,164}{3,600}$$

Por otro lado, en una guardia de 8 horas de trabajo se puede considerar cuatro alternativas de perforación, éstas son: 6, 5, 4, ó 3 horas.

Dividiendo la expresión anterior por las horas escogidas como alternativas encontramos el número de máquinas en perforación simultánea diaria, esto es :

$$\text{N}^\circ \text{ de Máquinas} = \frac{2,164 \times \text{Tiempo Standard}}{3,600 \times \text{horas de perforación}}$$

Sustituyendo por sus valores y redondeándolos al entero mayor más cercano, se confecciona el Cuadro N° 28.

CUADRO N° 28

NUMERO DE MAQUINAS EN PERFORACION SIMULTANEA

MAQUINA	HORAS CONTINUAS DE PERFORACION			
	6	5	4	3
RH - 656(9) - 4W	15	18	22	30
PUMA	10	12	15	20
STOPER FALCON	10	12	15	19
TOYO	8	9	12	15
LEON	8	9	11	15
FLOTTMANN	7	8	10	14
BOHELER	11	13	17	22

7.- NUMERO DE TAJEOS EN EXPLOTACION

El número de tajeos en explotación debe ser cuatro veces más que el número de máquinas perforadoras en trabajo simultáneo.

Cada uno de los tajeos en Milpo cuenta con una máquina perforadora. Por otro lado, la razón de perforación es de 1 a 3; esto significa que por cada tajeo que está en perforación hay otros 3 que están en período de "no-perforación", es decir 4 tajeos en total. El cuadro N° 29 muestra el número de tajeos que deben estar en operación con cada modelo de máquina y con las alternativas de horas de trabajo.

CUADRO N° 29
NUMERO DE TAJEOS EN EXPLOTACION

MAQUINAS	HORAS CONTINUAS DE PERFORACION			
	6	5	4	3
RH - 656(9) - 4W	60	72	88	120
PUMA	40	48	60	80
STOPER FALCON	40	48	60	76
TOYO	32	36	48	60
LEON	28	36	44	56
FLOTTMANN	28	32	40	56
BOHELER	44	52	68	88

8.- NUMERO DE TALADROS A PERFORARSE DIARIAMENTE

En una hora cada máquina perforará una longitud en pies igual a :

$$\frac{3,600}{\text{Tiempo Standard}}$$

y en las horas escogidas como alternativas perforará :

$$\frac{3,600}{\text{Tiempo Standard}} \times \text{Horas de perforación}$$

CUADRO N° 30NUMERO DE TALADROS DE 5 PIES

MAQUINA	HORAS CONTINUAS DE PERFORACION			
	6	5	4	3
RH - 656(9) - 4W	29	24	19	14
PUMA	43	36	29	22
STOPER FALCON	46	38	30	23
TOYO	57	48	38	28
LEON	61	50	40	30
FLOTTMANN	65	54	43	32
BOHELER	40	34	27	20

CUADRO N° 31NUMERO DE TALADROS DE 8 PIES

MAQUINA	HORAS CONTINUAS DE PERFORACION			
	6	5	4	3
RH - 656(9) - 4W	18	15	12	9
PUMA	27	23	18	13
STOPER FALCON	28	24	19	14
TOYO	36	30	24	18
LEON	39	31	25	19
FLOTTMANN	41	34	27	20
BOHELER	25	21	17	13

Esta longitud dividida entre la longitud que tendrá cada taladro nos dará el número de taladros, es decir :

$$\text{N}^\circ \text{ de taladros} = \frac{3,600 \times \text{horas de perforación}}{\text{Tiempo Standard} \times \text{Long. del taladro}}$$

Sustituyendo por sus valores y considerando que en Mil po se hacen perforaciones de taladros de 5 y 8 pies de longitud, se confeccionan los Cuadros Nos. 30 y 31.

9.- COSTO DE INVERSION POR BARRENOS

La vida de los barrenos es de 1,029 pies de perforación; para perforar 20 millones de pies se necesitarán 19,436 barrenos. En condiciones normales, por cada barreno de 3 pies se necesitan 1.2 de los de 5 pies 1.4 de los de 8 pies, de acuerdo a lo que se dijo en el párrafo 3.5. del Capítulo III.

Si se adoptan juegos de tres piezas, se necesitarán las siguientes cantidades de barrenos y su respectivo costo, teniendo en cuenta que el barreno de 3 pies cuesta 585.00 soles oro; el barreno de 5 pies, 650.00 soles oro y el barreno de 8 pies, 740.00 soles oro :

$$\text{Barrenos de 3'} = \frac{19,436}{3.6} \times 1 = 5,399 \times 585 = \text{S/ } 3'158,415.00$$

$$\text{Barrenos de 5'} = \frac{19,436}{3.6} \times 1.2 = 6,479 \times 650 = 4'211,350.00$$

$$\text{Barrenos de 8'} = \frac{19,436}{3.6} \times 1.4 = 7,558 \times 740 = 5'592,920.00$$

T O T A L

S/ 12'962,685.00

Si se adoptan juegos de dos piezas se tiene el siguiente resultado :

$$\text{Barrenos de 3' } = \frac{19,436}{2.2} \times 1 = 8,835 \times 585 = \text{S/ } 5'168,475.00$$

$$\text{Barrenos de 5' } = \frac{19,436}{2.2} \times 1.2 = 10,601 \times 650 = \text{6'890,650.00}$$

T O T A L S/ 12'059,125.00

La diferencia de ambos es de 903,558.00 soles oro que es el 7.5 % del segundo. En consecuencia, si se adoptan juegos de barrenos de tres piezas el costo de inversión será 7.5 % mayor que si se adopta juegos de dos piezas. Nótese que este exceso es si los barrenos se emplean en la proporción tolerable que se indicó.

10.- CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO

Multiplicando el consumo de aire de cada una de las máquinas perforadoras, dado en el Cuadro N° 25, por su respectivo número de máquinas en perforación simultánea, dado en el Cuadro N° 28, obtenemos el consumo bruto de aire comprimido.

El consumo bruto debe ser corregido por un factor expresado en porcentaje, para máquinas perforadoras que trabajan simultáneamente. Este factor ha sido hallado experimen-

talmente y están enumerados en la página 408 de Mine Plant Design (24). El volumen corregido es el consumo efectivo.

En el Cuadro N° 32 se muestra el consumo efectivo de cada modelo de máquina perforadora en perforación simultánea durante las horas escogidas como alternativas. Cabe hacer notar que están calculados para la presión de trabajo de 85 lb/pulg² manométricas.

Obsérvese que las cifras representativas del consumo efectivo son menores que el volumen disponible de aire comprimido para la perforación (3,801 pies cúbicos por minuto); solo cuatro cifras son mayores: el de la Stoper Falcon perforando tres horas continuas y el de la Bo eler perforando cinco, cuatro y tres horas continuas.

CUADRO Nº 32

CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO

(pies³/min)

MAQUINA	H O R A S C O N T I N U A S D E P E R F O R A C I O N											
	6			5			4			3		
	Consumo Bruto	% Correc.	Consumo Efectivo	Consumo Bruto	% Correc.	Consumo Efectivo	Consumo Bruto	% Correc.	Consumo Efectivo	Consumo Bruto	% Correc.	Consumo Efectivo
RH-656 (9)-4W	2,820	63	1,777	3,384	63	2,132	4,136	63	2,606	5,640	55	3,102
PUMA	2,450	71	1,740	2,940	71	2,087	3,675	63	2,315	4,900	63	3,087
STOPER FALCON	3,780	71	2,684	4,536	71	3,220	5,670	63	3,572	7,182	63	4,525
TOYO	1,800	75	1,350	2,025	72	1,458	2,700	71	1,917	3,375	63	2,126
LEON	2,288	77	1,762	2,574	72	1,853	3,146	71	2,234	4,290	63	2,703
FLOTTMANN	2,814	77	2,167	3,216	75	2,412	4,020	71	2,854	5,628	63	3,546
BOHELER	4,840	71	3,436	5,720	71	4,061	7,480	63	4,712	9,680	63	6,098

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- El trazo de perforación que se emplea en Milpo no es totalmente satisfactorio. La presencia en las tolvas de "bancos" de mineral pone de manifiesto que el trazo y la cantidad de explosivos que se usan no son los adecuados como para obtener un fr ctur miento uniforme. Se recomienda hacer ensayos con el fín de determinar un standard o standares en el trazo y la cantidad d explosivos que deberá usarse.
- 2.- Se recomienda la creación de un Departamento de Entrenamien- to, que se encargaría de la enseñanza teórico-practico y a- diestramiento del personal en las técnicas minero-metalúrgi- cas. El personal de este Departamento estaría constituído por un técnico en minería que haya ejercido la docencia téc- nic , quién sería el Jefe, contando además con un ayudante y un secretario.

- 3.- La humedad que ingresa a la línea de aire comprimido no es separada convenientemente. Por lo que se recomienda la adquisición de post-refrigeradores para las compresoras y la re-ubicación de los deshumecedores, los que deberían estar instalados antes que el aire comprimido llegue al primer punto de operación.
- 4.- La línea troncal con diámetro de seis pulgadas para transmisión de aire comprimido a 100 lb/pulg^2 , debe continuar por todos los niveles principales para mejorar el abastecimiento de aire comprimido.
- 5.- Las máquinas perforadoras no son llevadas al Taller de Reparaciones sino solamente cuando presentan desperfectos que imposibilitan continuar trabajando. Esto implica falta de un programa de mantenimiento. Se recomienda sacar de los tajeos estas herramientas cada cierto período, aún cuando estuvieran trabajando a satisfacción, con el fin de hacer una limpieza general y reemplazar las piezas gastadas.
- 6.- El índice de perforación (5.409 pies de perforación por cada T.M.S.), es factible de ser reducida si se mejora el trazo de perforación.
- 7.- La razón de perforación (1 a 3), es notablemente alta. Se recomienda hacer un estudio de tiempos de las operaciones de "no-perforación".

- 8.- El tiempo efectivo actual dedicado a la perforación es excesivamente alto. Se hace necesario hacer otro estudio de tiempos de las labores auxiliares de perforación.
- 9.- Las fórmulas 6 y 6a, que dan la energía de impacto de las máquinas perforadoras en función de la presión absoluta en la línea de aire comprimido, es útil para la selección de las máquinas. El rendimiento de las máquinas perforadoras en los terrenos de Milpo, está en función directa con su energía, como lo demuestra las velocidades de penetración enumeradas en el Cuadro N° 22. De modo que calculando la energía de cualquier máquina nueva que llega a Milpo se conocerá, en primera instancia, su posible rendimiento en comparación con las máquinas en actual operación.
- 10.- Las fórmulas 16 y 16a, que dan el volumen del consumo de aire comprimido en función de la presión absoluta en la línea, nos dá una primera apreciación de su posible costo de operación.
- 11.- La vida económica de cualquiera de las máquinas perforadoras es factible de ser prolongada; si se mejora las condiciones de operación de dichas máquinas.
- 12.- El terreno de Milpo no ocasiona problemas de perforación y es de dureza media; puesto de manifiesto por la velocidad de penetración que varía de acuerdo con la energía de impacto y por el desgaste longitudinal de la mayoría de los barrenos.

- 13.- La máquina perforadora Puma BBC 16 W, por su menor costo total para perforar la reserva de mineral, en comparación con las otras máquinas analizadas, deberá adoptarse como modelo único. El que se adopte la máquina Puma no significa que sea la única aplicable; se recomienda seguir haciendo pruebas con otras máquinas de marcas diferentes capaces de competir con la Puma. La máquina Stoper Falcon no debe ser empleada en la explotación de minerales en Milpo; más aún se deberá buscar un posible sustituto para la perforación de chimeneas.
- 14.- Para que la máquina perforadora Toyo, que tiene el menor costo de operación, pueda competir con la máquina Puma deberá tener una vida económica promedia de más de 30,000 pies de perforación.

Calculando su costo total para perforar 20 millones de pies y comparándolo con el de la máquina Puma se tiene:

$$\text{N}^\circ \text{ de máquinas necesarias} = \frac{20'000,000}{\text{V.E.}}$$

Donde V.E. = Vida Económica Promedia

$$\text{Costo de Inversión} = \frac{20'000,000}{\text{V.E.}} \times 17,950$$

$$\text{Costo Total} = \frac{20'000,000}{\text{V.E.}} \times 17,950 + 13'449,986.55$$

Comparándolo con el costo total de la máquina Puma :

$$26'316,980.89 = \frac{20'000,000}{\text{V.E.}} \times 17,950 + 13'449,986.55$$

De donde :

V.E. = 27,901 pies de perforación

Sin embargo, la única máquina de este modelo existente en esta mina, ha perforado 24,271 pies y los operadores ya la han rechazado por que ha disminuído enormemente su rendimiento. Se recomienda seguir probando con otras unidades; una sola no puede proporcionar datos suficientes para determinar su vida económica promedio que es, aparentemente, su lado crítico, pero por su bajo costo de operación y su velocidad de penetración la hacen muy deseable.

- 15.- La máquina Boheler no puede competir con las máquinas analizadas por su costo de operación muy alto. Obsérvese que solo el costo de operación para esta máquina es mayor que el costo total de las otras máquinas, excepto el de la máquina Stoper Falcon.
- 16.- Se recomienda establecer 4 horas continuas de perforación diarias por las siguientes razones:
 - a).- Si se adopta 6 ó 5 horas dará origen a sobretiempos, por que se necesitarán algunas horas adicionales para la preparación de la máquina, preparación y encendido de las cargas explosivas, etc.

- b).- Si se adopta 3 horas se necesitarán mayor número de tajeos en trabajo, mayor número de máquinas perforadoras y por lo tanto mayor número de operadores.
- 17.- Se recomienda que el número de máquinas en existencia sea 10 % más del número de tajeos en explotación. Además de que cada tajeo cuenta con su propia máquina perforadora es conveniente y necesario contar con un número adicional de unidades con el fin de reemplazarlos inmediatamente en casos de desperfectos y otras contingencias; estimamos que un 10 % adicional es suficiente.
- 18.- Se recomienda perforar taladros de 5 pies en los tajeos cuyas dimensiones lo permita; en aquéllos de dimensiones reducidas se perforarán taladros de 8 pies con el fin de completar la cuota de pies perforados por tajeos.
- 19.- Las compresoras producen suficiente cantidad de aire comprimido, cualquiera que sea el modelo de máquina perforadora, (de las analizadas) y las horas continuas de perforación (de las alternativas escogidas) que se adopte; con excepción de las máquinas Stoper Falcon (en un solo caso) y Boheler (en tres casos).

B I B L I O G R A F I AINFORMES

- 1.- Milpo - Atacocha
J.D. Rosholt
Exploration Geologist - Cerro de Pasco Corporation
- 2.- Geología de Milpo y Atacocha
Fernando De las Casas
- 3.- Registro de Observaciones Meteorológicas 1969
Ministerio de Agricultura - Estación de Milpo

ARTICULOS PUBLICADOS

- 4.- What To Consider in Selecting Rock Bits
Madan M. Singh
Engineering and Mining Journal - June 1967

- 5.- How Efficient is a Rock Drill? New Theory Analyzis
Performance
S. A. Djatschenko
Engineering and Mining Journal - March 1967
- 6.- Vida Económica de Máquinas Perforadoras
Franco Veliz
XI Congreso de Ingenieros de Minas del Perú
- 7.- Consumo de Repuestos de las Perforadoras Demag
Circular N° 27 (8 - 7 - 57)
- 8.- Teoría del Mantenimiento de las Herramientas Neumáticas
Primer Trimestre 1965 de Aire Comprimido - Atlas Copco

CATALOGOS

- 9.- General Catalogue of Ingersoll Rand
Catalogue Number 100
- 10.- Manual de Productos y Ruedas Abrasivas
Norton International Inc. Worcester, Mass. U.S.A.
- 11.- Selección de Muelas para Afilado de Marrenos y Brocas
Sandvick Coromant Information RD - 38a - Sp
- 12.- Afilado de Barrenos Integrales
Sandvick Information Sp - 471

- 13.- PERFORADORAS Texto Explicativo N° APS - 401 - 3K
Atlas Copco AB Stocolmo 1 - Suecia
- 14.- RH - 659 - 4W Rock Drill
Atlas Copco Leaflet Sp 1068
- 15.- Puma and Lion Rock Drills
Atlas Copco Leaflet 1285
- 16.- BBD 45 WS Falcon Rock Drill
Atlas Copco Pamphlet E 909
- 17.- Martillo Perforador BK - 20 A
Flottmann - N° Sp 2163
- 18.- Le Marteau Perforateur
Montabert C 61
- 19.- Perforadoras de Roca, Brocas y Varillas Toyo
N° C 571 - A 46603
- 20.- High - Efficiency Rock Drills CR 250
Boheler Bros & Co. Ltd. Pamphlet 7368 E Pr
- 21.- BEAVER, Rectificadora de Barrenas
Atlas Copco, Folleto Sp 1131a
- 22.- Limpiadora de Máquinas Neumáticas - Instrucciones
para su uso
Nortech Corporation, Midland Park, N.J. 07432

TEXTOS DE CONSULTA

- 23.- Reglamentos del Código de Minería
Edición Oficial 1951 - Lima
- 24.- Mine Plant Design
W.W. Staley
Mc Graw - Hill Book Company Inc. New York
- 25.- Termodinámica
Virgil M. Faires
Union Tipográfica Editorial Hispano Americana - Mexico
- 26.- Fundamentos de Física Volumen 1
Francis W. Sears
Colección Ciencia y Técnica Aguilar S.A. de Ediciones -
Madrid.
- 27.- Energía Mediante Vapor, Aire o Gas
Severns - Degler y Miles
Editorial Reverté S.A. - Barcelona
- 28.- Mining Engineers' Handbook
Robert Peele
John Wiley and Sons, Inc. - New York
- 29.- Elementos de Minería
George J. Young
Editorial Gustavo Gili, S.A. - Barcelona

- 30.- The Analysis of Management Decisions
William T. Morris
Richard D Irwin, Inc. Homewood, Illinois
- 31.- Organización y Dirección Industrial
Bethel - Atwater - Smith y Stockman
Fondo de Cultura Económica - México
- 32.- Práctica y Procedimientos de Estudio de Tiempos
Carrier Corporation Syracuse New York
Herrero Hnos, Sucs, S. . . - Mexico
- 33.- Remuneración Equitativa del Trabajo
H Saint - Maurice
Sagitario, S. . . de Ediciones y Distribuciones
Barcelona.