



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ELEMENTOS PARA LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE BROCAS TRICÓNICAS EN LA MINERÍA MEXICANA A CIELO ABIERTO

T É S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO DE MINAS Y METALURGISTA
P R E S E N T A
LUIS ANTONIO MATA GUTIÉRREZ



DIRECTOR DE TESIS: ING. VICTOR MANUEL LÓPEZ ABURTO

MÉXICO, D.F.

2005

m 343505



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
60-I-1208

SR. LUIS ANTONIO MATA GUTIÉRREZ
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Victor Manuel López Aburto y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero de Minas y Metalurgista:

**ELEMENTOS PARA LA SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE BROCAS TRICÓNICAS EN
LA MINERÍA MEXICANA A CIELO ABIERTO**

- INTRODUCCIÓN**
- I GENERALIDADES**
- II MECÁNICA DEL FRACTURAMIENTO**
- III COSTOS DE LA PERFORACIÓN CON BROCA TRICÓNICA**
- IV ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE PERFORACIÓN CON BROCA TRICÓNICA EN OPERACIONES DE MINADO A CIELO ABIERTO**
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
- BIBLIOGRAFÍA**

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

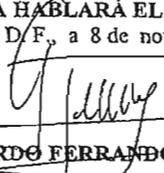
Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria, D.F., a 8 de noviembre de 2004

EL DIRECTOR


M. en C. GERARDO FERRANDO BRAVO

GFB*JAGC*gtg


INDICE

	página
Agradecimientos	II
INTRODUCCION	III
I.- GENERALIDADES	1
I.1 Tipos de brocas	1
I.2 Terminología	2
I.3 Características de diseño	5
II.- MECANICA DEL FRACTURAMIENTO	16
II.1 Formación de cráter	16
II.2 Efecto de la presión diferencial	16
II.3 Selección de brocas	18
II.4 Fuerza sobre la broca	21
II.5 Velocidad de rotación	29
II.6 Pneumática de la perforación	29
II.7 Velocidad anular	32
III.- COSTOS DE LA PERFORACION CON BROCA TRICONICA	37
III.1 Evolución del costo por metro perforado	37
III.2 La máquina de perforación y sus costos	38
III.3 Costo real de perforación con broca tricónica	42
IV.- ANALISIS DE COSTOS DE PERFORACION CON BROCA TRICONICA EN OPERACIONES DE MINADO A CIELO ABIERTO	44
IV.1 Ejemplo práctico - Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad	44
IV.2 Comentarios acerca de los rendimientos de brocas tricónicas – Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad	46
IV.3 Análisis de rendimientos de brocas tricónicas – Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad	55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
Bibliografía	79
Apéndice No. 1 – Rendimientos históricos por marca de broca	80
Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de broca	89

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, porque con esfuerzo y tenacidad trazó en mí, un concepto de orgullo, dignidad y la superación como persona, para no caer en las redes de la peligrosa mediocridad y conformismo.

A la Betina, por su ejemplo y por todo lo que esto significó.

A mis hijas, porque hay que terminar lo que se empieza; ya que cuando el sueño se convierte en intención y la intención en esfuerzo, el esfuerzo transforma el sueño en realidad.

A mi Abuelo, por sus enseñanzas de trabajo y responsabilidad.

Al Ing. Víctor Manuel López Aburto, M. en C. Mauricio Mazari Hiriat y M. en C. Juan José Obregón Andría, por sus comentarios, orientación y dirección.

A José María Sarachaga Martínez y Luis Felipe Trueba Mediero por la oportunidad.

A mis amigos Adrián Pérez Valencia e Ing. Jorge Edgardo Sánchez Tapia.

INTRODUCCION

La explotación de yacimientos minerales de grandes dimensiones y bajas leyes; se lleva a cabo mediante métodos de explotación a cielo abierto. Dada la necesidad de grandes volúmenes de roca por procesar, los equipos en este tipo de operaciones sobresalen por su tamaño.

El ciclo de producción de una mina operando con este método, inicia con la preparación del lugar, marcado de barrenos, para continuar con la barrenación, la voladura, el cargado y el acarreo. Cada una de las etapas, como en cualquier ciclo de operación, es importante e indispensable, dado que la falta de alguno de ellos impediría la operación completa de minado.

La barrenación, tiene como finalidad hacer oquedades u hoyos en el terreno, con la distribución y geometría adecuada, necesarios para el alojamiento de los explosivos que constituirán el siguiente eslabón del ciclo operativo. La voladura, fragmentará y desplazará la roca en función de sus elementos de iniciación y propiedades, para continuar con el cargado de la roca fragmentada en los camiones; quienes la llevarán a los sitios de almacenamiento o procesamiento en la operación de beneficio.

Vale la pena mencionar que barrenación y perforación significan lo mismo, y se utilizan indistintamente en todas las operaciones mineras de nuestro país. Los términos broca o barrena también son usados indistintamente en las operaciones mineras mexicanas.

En México, casi la totalidad de las operaciones mineras a cielo abierto, ignoran o minimizan la importancia de la barrenación. La maquinaria de perforación rotaria es uno de los equipos, que menos mantenimiento recibe y son de los equipos que trabajan en las peores condiciones operativas, con fugas de aire, agua y lubricantes.

En el país sólo existen 5 máquinas de perforación rotaria de modelo reciente, las más nueva data de 2001. La gran mayoría de estos equipos tiene 25 años de trabajo en promedio, tomando en cuenta las 35 máquinas que operan en la minería a cielo abierto en México.

Los componentes principales de un sistema de perforación rotario, son la perforadora, la cual es la fuente de energía mecánica, los aceros de perforación, que son el medio de transmisión de esa energía, la broca que es el vínculo que ejerce sobre la roca dicha energía y el fluido de limpieza para completar la perforación.

Las variables que afectan los costos de perforación son el costo de la broca, el costo operativo de la máquina de perforación y el rendimiento de equipo y accesorios. Todo esto debe ser incluido dentro de una evaluación real de costos.

Este trabajo tiene como finalidad ofrecer información útil con relación a las barrenas que se utilizan en la minería de superficie mexicana, con objeto de evidenciar la importancia de la barrenación en este tipo de operaciones. Se pretende que sea un documento de consulta y comentario para todos aquellos vinculados con la perforación.

Por ello, se cubren aspectos que van desde la selección y aplicación de estas herramientas hasta llegar a los cálculos para la optimación de los rendimientos a partir de los costos de perforación. Por tal razón se pretende cubrir un panorama que sea útil a los técnicos y trabajadores relacionados con las operaciones de perforación y su elemento primario: las barrenas.

Se comienza con la descripción de los tipos de brocas con su respectiva aplicación y uso. Se define la terminología de las brocas tricónicas señalando los aspectos básicos de diseño; en relación con el sistema de designación de brocas.

Se describe la mecánica del fracturamiento para conocer la manera en que una broca perfora la roca, describiendo los parámetros que permiten la operación la broca así como los elementos que complementan la perforación.

Se señalan los aspectos fundamentales de cómo obtener el costo por metro perforado al usar este tipo de herramientas y se hace un ejemplo de evaluación en el cálculo del costo real de perforación para señalar la importancia que éste tiene.

Capítulo I GENERALIDADES

I.1 Tipos de brocas

En la actualidad existen diversos tipos de brocas para la perforación de roca en procesos industriales, los cuales difieren entre sí ya sea por su estructura de corte, por su sistema de enfriamiento o por el mecanismo de trabajo o energía que las acciona o hace trabajar. Por lo anterior, la Tabla No. 1 señala los tipos de brocas para procesos industriales:

Tabla No. 1 – Tipos de broca para procesos industriales

Tipo de broca	Uso o aplicación
Tricónica	Exploración de yacimientos minerales Explotación de yacimientos minerales Pozos de agua Pozos Petroleros Pozos Geotérmicos
Diamante	Exploración de yacimientos minerales Explotación de yacimientos minerales
Martillo	Exploración de yacimientos minerales Explotación de yacimientos minerales

Las brocas tricónicas tienen tres cortadores o conos que giran sobre su eje. Las hay con insertos de carburo de tungsteno o con dientes de acero. Por su sistema de rodamiento, pueden ser: de balero abierto, de balero sellado o de chumaceras. Por el tipo de descarga de fluido circulante, pueden ser: regulares o JAB (por sus siglas en inglés: jet air blast, o de chorro).

En México, para las operaciones de minado, se utilizan brocas con insertos de carburo de tungsteno, debido a que los tipos de roca que se perforan son de una dureza tal, que amerita el uso de este material, ya que los dientes de acero están perdiendo aplicación debido a que el tipo de roca que estos perforan es muy suave. Se usan de balero abierto y como descarga de fluido circulante se usa aire (JAB), porque las profundidades que van desde 7 m a 30 m; no requiere de lodos de perforación, ya que se incrementarían los costos de la operación. La perforación se logra debido a la transmisión de fuerza que fractura la roca.

Las brocas a diamante son cuerpos compactos, sin partes móviles, con diamantes naturales o industriales y con un arreglo geométrico determinado. La perforación se logra por la rotación ejercida sobre la herramienta que fricciona con la roca.

Las brocas de martillo también son cuerpos compactos que tienen insertos de carburo de tungsteno como elemento de corte, no tienen elementos móviles y la perforación se consigue por medio de la percusión ejercida sobre la herramienta, la cual fractura el terreno por impacto.

I.2 Terminología

La terminología que se usará, corresponde a brocas con aplicaciones mineras exclusivamente, sin embargo, las utilizadas en la industria petrolera varían sólo en uno de sus componentes con respecto a las mineras: el sistema de rodamiento. Los tres componentes de las brocas tricónicas para minería son:

a. Estructura de corte

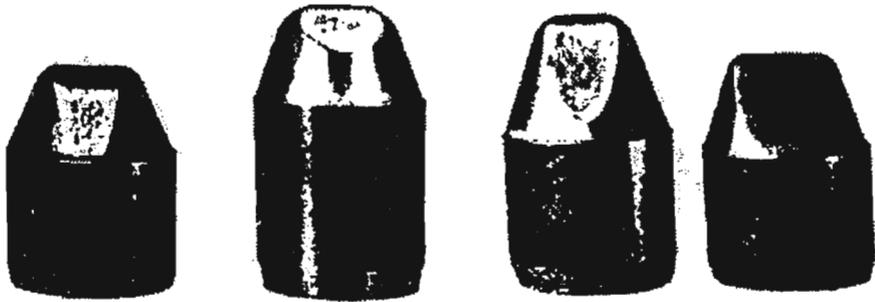
La estructura de corte puede ser: de dientes de acero o de insertos de carburo de tungsteno. Las brocas de dientes de acero tienen sus estructuras cortantes maquinadas en el cono. Su denominación se deriva del proceso mecánico de fabricación que se usa para formar los dientes cortantes en los conos de las brocas. Para algunos tamaños y tipos de brocas, se usa acero fundido en vez de tallar los dientes. El aspecto es similar al de una broca de insertos, sin embargo, su rendimiento es muy bajo en comparación con estas últimas.

Las brocas con insertos de carburo de tungsteno poseen insertos de base cilíndrica y otro extremo que variará en cuanto a forma de acuerdo con el terreno de aplicación de la broca. Los insertos son introducidos a presión en agujeros perforados en el cono. Por su aplicación y resistencia, varían en forma: de cincel, de cincel despuntado, de cincel alargado, de domo, cónico u ovoide como se ilustra en la Figura No. 1.

Ya sean de dientes de acero o de insertos de carburo de tungsteno, la estructura de corte está constituida por hileras de estos elementos extendidos sobre cada cono y entrelazados con las hileras de los conos adyacentes para permitir el giro libre e independiente de cada cono.

b. Sistema de rodamiento

El sistema de rodamiento tiene una serie de elementos que sirven para asegurar el armado y fabricación de las brocas, pero principalmente para soportar y distribuir las fuerzas que actúan durante la perforación. Cuenta con superficies de contacto, constituidas por esferas y cilindros de metal además de un botón de nariz en la punta del cono como se aprecia en la Figura No. 2. El sistema de rodamiento es un balero armado dentro de los conos para permitir el giro de éstos.



Tipo Cincel



Domo

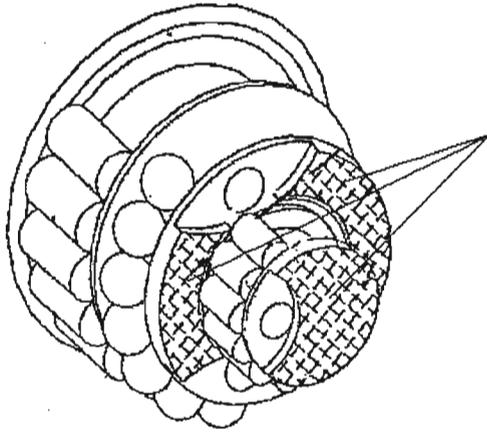
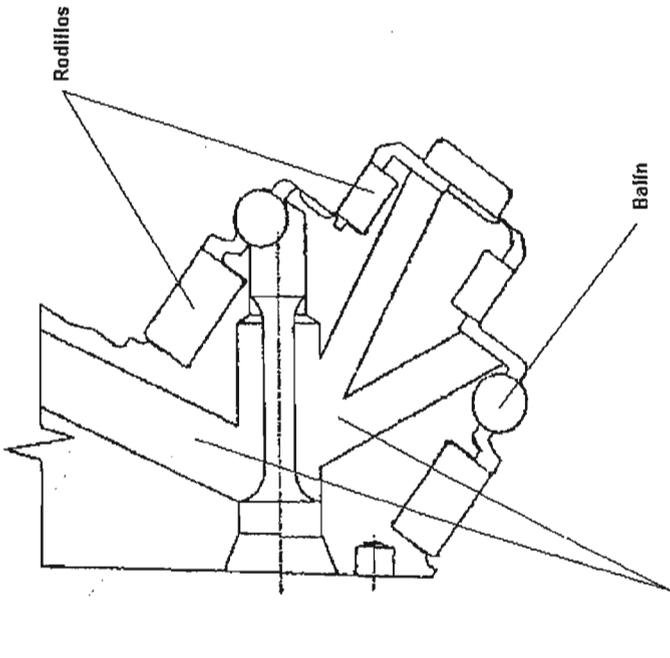


Conico



Ovoide

U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Tipos de Insertos</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 1



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
Sistema de Rodamiento	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 2

Existen sistemas de rodamiento que no cuentan con esferas y cilindros de metal, por lo que la distribución de fuerzas se hace exclusivamente a través de dos superficies que están en contacto entre sí para realizar su trabajo y para permitir el giro de los conos cuando se hace girar la broca completa a través de la sarta de perforación. Este tipo de sistemas de rodamiento principalmente tiene aplicación en la perforación petrolera a profundidades mayores de 500 m.

c. Cuerpo de la broca

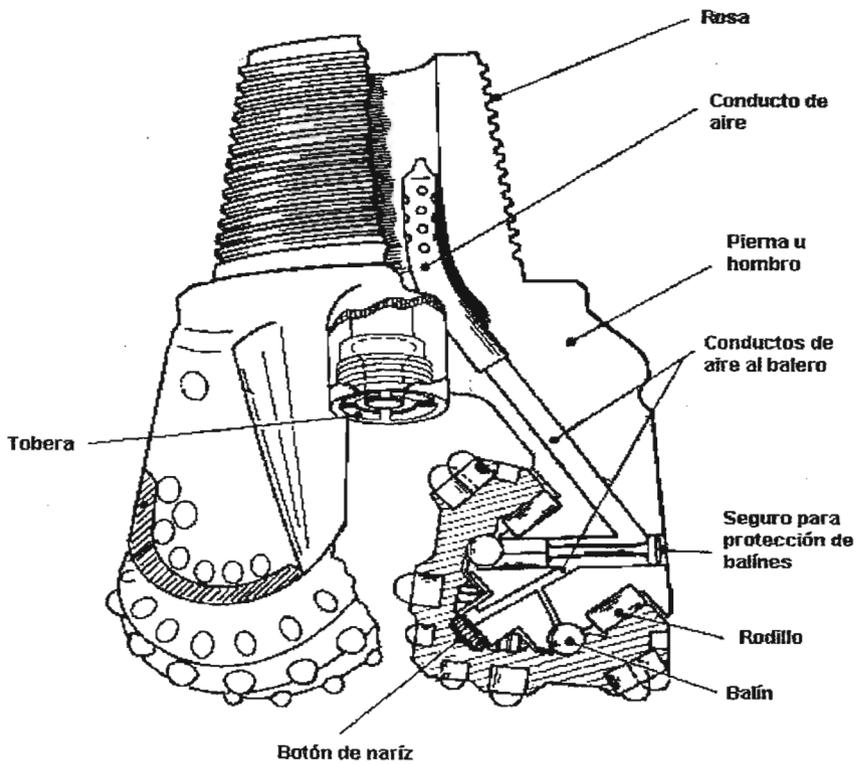
El cuerpo de la broca está compuesto por las piernas u hombros, elementos sobre los cuales se apoya el sistema de rodamiento, además de alojar a los elementos que ayudan en la neumática de la perforación; estos elementos se llaman toberas. En el cuerpo de la broca se procesa una rosca para permitir que la broca se acople a una sarta de perforación, como se aprecia en la Figura No. 3.

La sarta de perforación es el nombre que reciben todos los elementos o herramientas que trabajan en la perforación de barrenos y que son accionados por la máquina de perforación rotaría. En la mayoría de las operaciones mineras a cielo abierto en nuestro país, la sarta de perforación se compone de: amortiguador o adaptador de cabezal, tubería o barras de perforación, estabilizador y broca tricónica. Todo lo anterior se ilustra en la Figura No. 4.

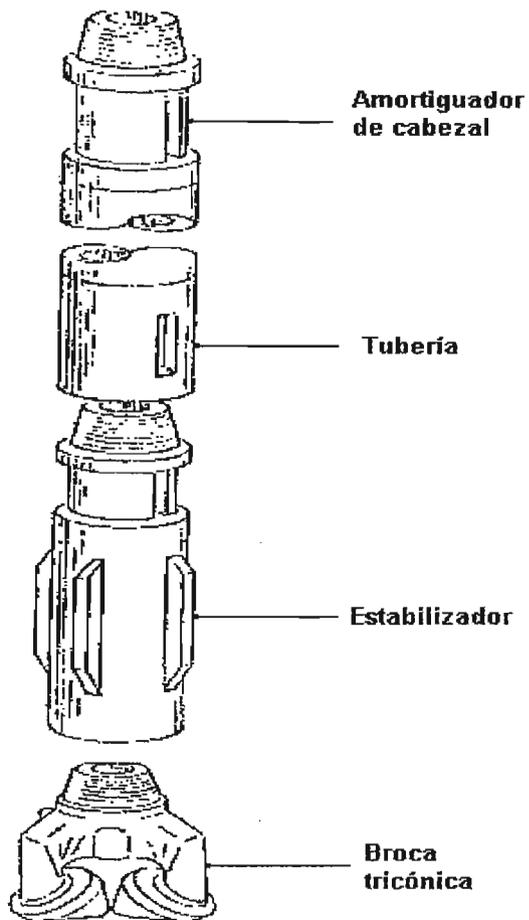
I.3 Características de diseño

Las brocas tricónicas para minería con sistemas de rodamiento abiertos que usan aire para su enfriamiento y para la limpieza del fondo del barreno, tienen consideraciones de diseño básicas e independientes del tipo de roca para las cuales son diseñadas. Estas consideraciones también se aplican a brocas de dientes de acero:

- a. Los puntos de contacto entre los elementos de corte de los tres conos y la roca perforada deben formar una plantilla simétricamente distribuida sobre el fondo del barreno.
- b. La presión sobre la roca debe estar soportada uniformemente por los tres conos.
- c. La carga radial aplicada al descanso de botón por la nariz del cono debe ser proporcionalmente más pequeña que la carga radial aplicada al anillo exterior del sistema de rodamiento del área de calibre del cono, es decir, la carga del sistema de rodamiento transmitida a través de los elementos de corte, debe corresponder al tamaño del sistema de rodamiento.



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Cuerpo de la Broca</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 3



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Sarta de Perforación</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 4

- d. El fluido para enfriamiento, debe correr libremente a través de las superficies de rodamiento sin reducir la habilidad de carga de empuje de estas superficies. Deberá existir un equilibrio entre estas dos características.
- e. Se debe proveer de espacio suficiente entre los elementos de corte y los conos para que el flujo de fluido pueda mover por encima de la broca, el recorte generado. También deberá existir espacio suficiente entre la pared del barreno y la broca para sacar el recorte generado desde el fondo hasta la superficie del barreno.
- f. La broca debe ser apta para resistir cargas estructurales severas y condiciones ambientales extremas.

Las diferencias entre las brocas con insertos de carburo de tungsteno blandas, medianas y duras, no son tan claras como entre brocas con dientes de acero. En verdad hay indicios, de que en el desarrollo de brocas con insertos de carburo de tungsteno, se puede llegar a algunas brocas universales para perforar en una variedad de formaciones con niveles óptimos de rendimiento. La mayoría de brocas con insertos de carburo de tungsteno de distintos fabricantes, tienen el mismo tipo de sistemas de rodamiento para el mismo diámetro de broca, consecuentemente, en algunas ocasiones, las diferencias entre varios tipos de brocas se encuentra sólo en los elementos de corte.

Las brocas para formaciones blandas o suaves, tienen insertos largos tipo cincel, con amplio espacio entre ellos y entre hileras. Este tipo de brocas tiene el menor número de insertos y usan el carburo de tungsteno más duro disponible. Los insertos deberán ser largos, ya que con la aplicación de los parámetros de operación, se vence fácilmente la resistencia de la roca blanda, además se usa el carburo más duro disponible, para darle resistencia al elemento de corte debido a que su actividad principal será desprender o desgarrar la roca.

Las brocas para formaciones medianas tienen insertos tipo domo de un largo moderado. Los espacios entre insertos e hileras son menores en comparación con las brocas para formaciones blandas o suaves. Se usan tipos de carburo de tungsteno mediano para darle flexibilidad al elemento de corte.

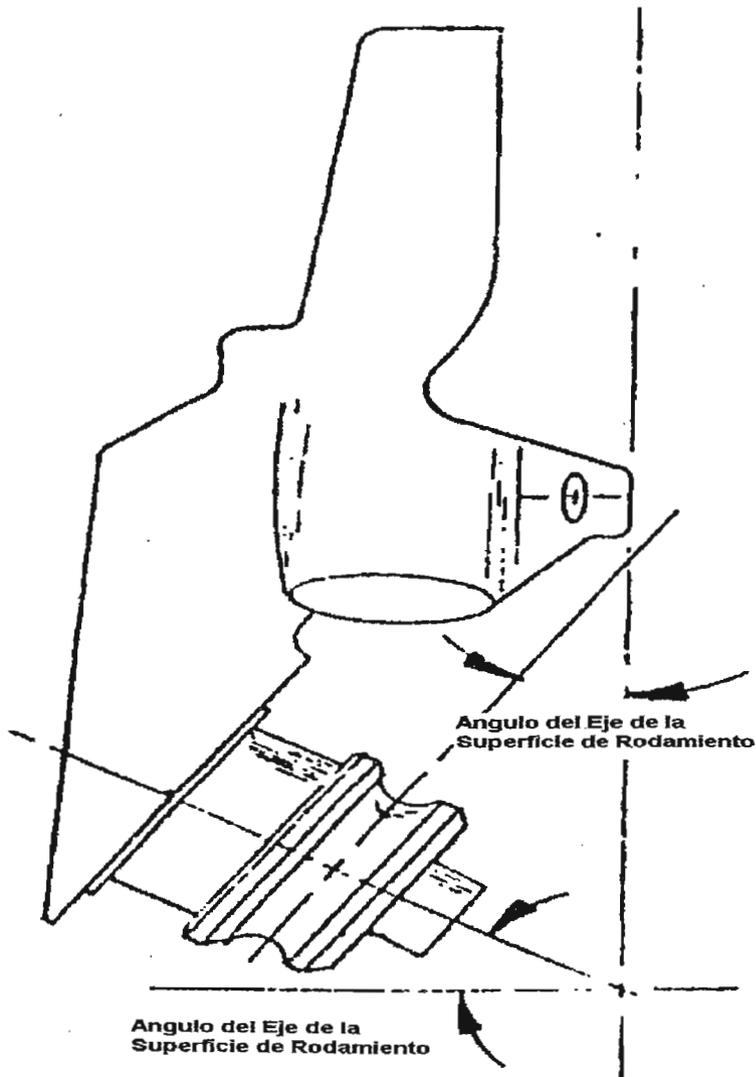
Las brocas para formaciones duras, tienen insertos tipo cónico u ovoide de longitud reducida. Se usa carburo de tungsteno más blando con resistencia al impacto y para hacerlos muy flexibles. Las brocas para este tipo de formaciones, terminan frecuentemente su vida útil a consecuencia de la falla de los sistemas de rodamiento. Tienen insertos de gran diámetro.

Todas las características anteriores, se toman de acuerdo con los elementos de diseño, tales como:

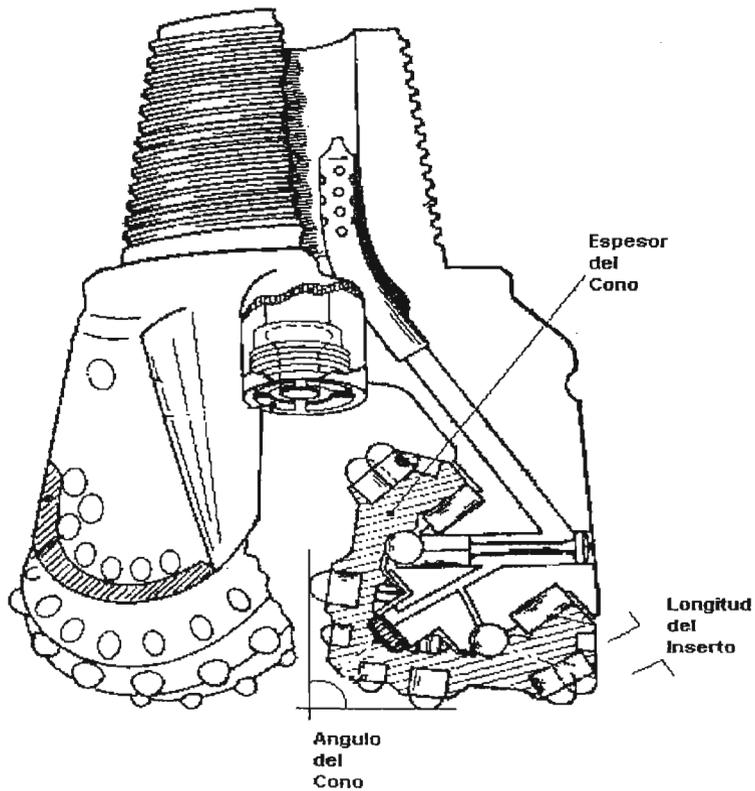
- a. El ángulo del eje de la superficie de rodamiento, que es el ángulo formado entre el eje vertical de la broca y una línea perpendicular al eje de la superficie de rodamiento del balero. De manera más simple, es el ángulo formado entre el eje de la superficie de rodamiento del balero y el fondo del barreno (Figura No. 5).
- b. El ángulo del cono, es el ángulo incluido en el cono, formado entre el eje del cono y el fondo del barreno. El incremento del ángulo del eje hace decrecer el ángulo del cono para evitar la interferencia entre los conos, con la reducción del ángulo del eje, se puede aumentar el ángulo del cono (Figura No. 6).
- c. En brocas de dientes de acero, la longitud de los dientes está determinada por la profundidad de corte en el maquinado del cono. En brocas con insertos de carburo de tungsteno, la longitud de éstos, está determinada por la longitud de la parte cortante sobresaliente del inserto en la superficie del cono (Figura No. 6).
- d. El espesor del cuerpo del cono se determina por el tamaño del sistema de rodamiento, y por la profundidad de los valles torneados entre hileras para brocas de dientes de acero, y también para el caso de insertos de carburo de tungsteno, el espesor del cuerpo del cono se determina por el tamaño del sistema de rodamiento y por la profundidad de los agujeros para los insertos. En cualesquiera de los dos casos se debe mantener un espesor mínimo del cuerpo de cono para asegurar la integridad estructural del cono (Figura No. 6).
- e. La excentricidad o desviación del cono es el desplazamiento horizontal paralelo al centro del cono de una línea central medida al centro de la broca, o sea, a tres líneas de los centros de los conos (120° cada una). Debido a que los conos son forzados a que roten alrededor del centro de la barrena, ellos mismos resbalan en la medida en que rotan (Figura No. 7).

A partir de todas las características de diseño anteriormente expuestas, se puede observar que existe una gran variedad de elementos para la aplicación y correcto uso de una broca tricónica para fines de perforación. Esto puede llevar a una selección errónea tanto de la broca como de su aplicación. Por ello, se diseñó el código IADC, que por sus siglas en inglés significa Código de la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación.

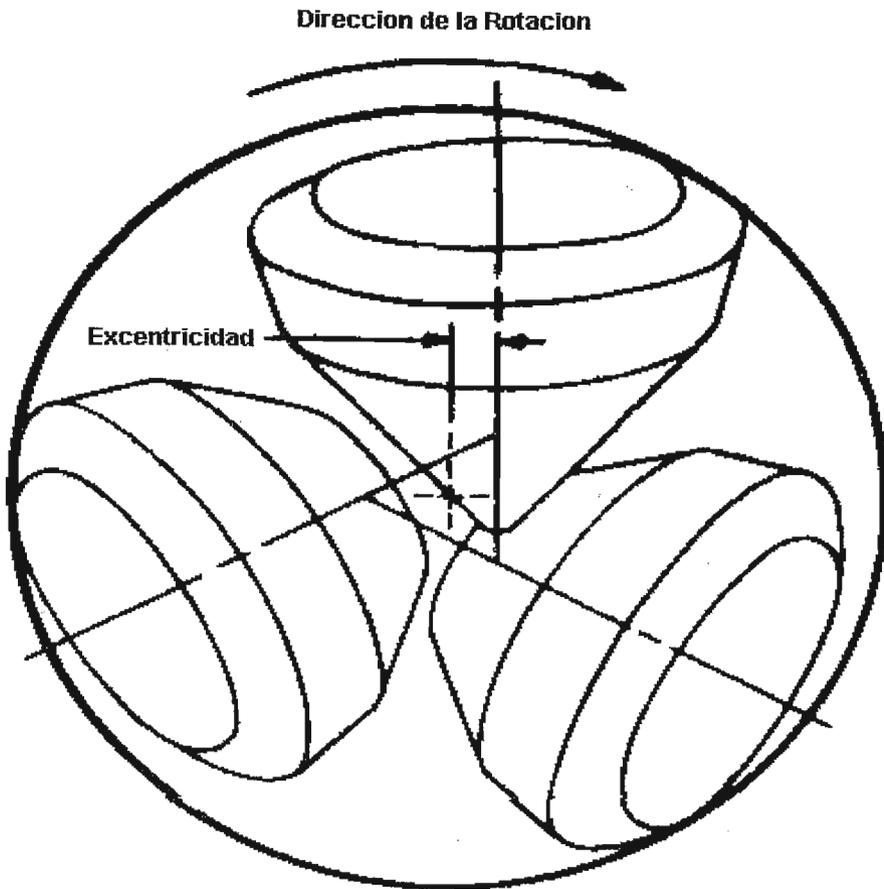
El Código IADC es un sistema para la designación de brocas de acuerdo con el tipo de broca (brocas con dientes de acero o brocas con insertos de carburo de tungsteno), el tipo de la formación de roca para la cual fue diseñada y algunos elementos mecánicos de la broca en el sistema de rodamiento. El Código IADC se publica normalmente en el catálogo del fabricante. El Código IADC consta de 4 dígitos:



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Angulo de Eje</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 5



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Angulo del Cono</i>	
<i>Longitud de Insertos</i>	
<i>Espesor de Cono</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 6



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Excentricidad</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 7

Primer Dígito. Designa el tipo de broca y el tipo de roca para la cual fue diseñada. Puede ser del número 1 al número 8, con base en la siguiente descripción:

1. Brocas con dientes de acero para formaciones blandas con poca resistencia a la compresión.
2. Brocas con dientes de acero para formaciones medianas con mayor resistencia a la compresión.
3. Brocas con dientes de acero para formaciones duras, semiabrasivas y abrasivas.
4. Brocas con insertos de carburo de tungsteno para formaciones muy blandas con muy poca resistencia a la compresión.
5. Brocas con insertos de carburo de tungsteno para formaciones blandas hasta medianas con baja resistencia a la compresión.
6. Brocas con insertos de carburo de tungsteno para formaciones mediatamente duras con alta resistencia a la compresión.
7. Brocas con insertos de carburo de tungsteno para formaciones duras, semiabrasivas y abrasivas.
8. Brocas con insertos de carburo de tungsteno para formaciones extremadamente duras y abrasivas.

Segundo Dígito: Indica la clasificación de formaciones, desde la más suave o blanda que se representa con el número 1, hasta la más dura que se representa con el número 4.

Tercer Dígito: Señala la designación de las características mecánicas de la broca. Ciertamente este dígito y el cuarto tienen mayormente aplicaciones para la perforación petrolera.

1. Brocas estándar de sistema de rodamiento abierto de rodillos.
2. Brocas estándar de sistema de rodamiento abierto para perforación con aire exclusivamente.
3. Brocas estándar de sistema de rodamiento abierto con protección de diámetro de barrenación; que se define como insertos de carburo de tungsteno en la parte trasera de los conos que protege a su vez, el diámetro de los conos.
4. Brocas con sistema de rodamiento de rodillos sellados.

5. Brocas con sistema de rodamiento de rodillos sellados e insertos de carburo de tungsteno en los hombros de la broca.
6. Brocas con sistema de rodamiento de chumaceras sellados.
7. Brocas con sistema de rodamiento de chumaceras sellados e insertos de carburo de tungsteno en la parte trasera de los conos.

Cuarto Dígito: Son letras que se utilizan para indicar diseños especiales en la broca.

- A. Perforación con aire.
- C. Chorro de fluido desde la parte central de la broca.
- D. Control de desviación.
- E. Dimensiones de tobera irregulares.
- G. Protección de calibre o diámetro.
- J. Chorro de fluido para desviación.
- R. Soldadura instalada en la parte final de los hombros de la broca.
- S. Dientes de acero soldados.
- X. Insertos en forma de cincel.
- Y. Insertos en forma cónica
- Z. Otro tipo de insertos.

El Código IADC y la práctica de campo, señalan que las brocas con dientes de acero están diseñadas y han sido utilizadas en rocas suaves y blandas y las brocas con insertos de carburo de tungsteno están diseñadas y han sido utilizadas en rocas duras. Las brocas con insertos de carburo de tungsteno son más eficientes y sirven para casi todo tipo de terreno.

Este Código IADC era más sencillo cuando existían mayor cantidad de brocas con dientes de acero; sin embargo, hoy en día existe una gran variedad de brocas con dientes de acero y brocas con insertos de carburo de tungsteno. Este Código deberá proporcionar una idea clara para la aplicación de cualquier tipo de broca tricónica de acuerdo con los terrenos o rocas que se perforarán. Asimismo se utiliza para la clasificación de terrenos que sólo da una idea de la dureza de la roca.

Para la minería a cielo abierto mexicana, la clasificación de terrenos utilizando dicho código se muestra en la Tabla No. 2 – Clasificación de rocas según código IADC.

Tabla No. 2 – Clasificación de rocas según código IADC

Clasificación	Tipo de roca	Ejemplo	Código IADC
Formación suave	Arcilla	Micare	432
	Arenisca		
	Lutita		
Formación media	Caliza	Unidades de Cemex	532
	Pórfido cuprífero	La Caridad	622
	Andesita – granodiorita	Las Encinas – Tajo El Encino	622
Formación dura	Pórfido cuprífero	Cananea	632
	Andesita – granodiorita	Las Encinas – Tajo Cerro Náhuatl	632
		Peña Colorada	632
Formación extra dura	Pórfido cinético	Hércules – Tajo Prometeo	732
	Andesita		

Capítulo II

MECANICA DEL FRACTURAMIENTO

II.1 Formación de cráter

La capacidad de una broca tricónica para perforar depende de su habilidad para formar y remover astillas de la superficie de la roca. La eliminación de astillas es principalmente una función de las propiedades del fluido de perforación y de su hidráulica. Investigaciones recientes han permitido conocer más a fondo por qué se producen cambios en la velocidad de penetración, como consecuencia del proceso de formación de astillas. El término astilla, se conoce también como detrito o recorte.

Una broca perfora formando pequeños cráteres sucesivos en la superficie de la roca a medida que ésta entra en contacto con los elementos de corte de manera individual, ya sean dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno. Esta formación de cráteres se ilustra en la Figura No. 8.

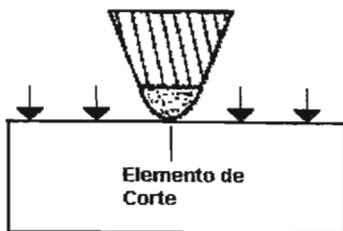
Cuando un elemento de corte aplica primero una carga o fuerza sobre la superficie de la roca, los esfuerzos bajo ésta se incrementan hasta que exceden la resistencia a la compresión de la roca; así ésta es fracturada o triturada y forma una astilla. La astilla está compuesta por material finamente dividido que se rodea de roca sólida. En la medida en que la fuerza en el elemento de corte se incrementa, el material dentro de la astilla se comprime aún más y produce esfuerzos horizontales en la roca adyacente.

El esfuerzo se incrementa hasta que excede la resistencia de la roca, cuando la resistencia cohesiva de la roca también se excede. Las partículas rotas tienden a desplazarse a lo largo de la superficie de falla generada a través de los esfuerzos horizontales.

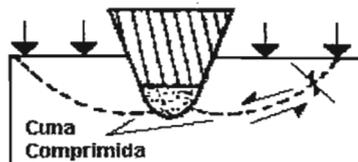
II.2 Efecto de la presión diferencial

La presión diferencial es la fuerza que un fluido de perforación ejerce sobre la base de la roca. Una vez que el elemento de corte de la broca ha formado un cráter, el problema que sigue es la evacuación de las astillas que se encuentran en el mismo cráter. La presión diferencial a través de la superficie de la roca y la fricción interna de la misma, se cuentan entre los factores que controlan este proceso.

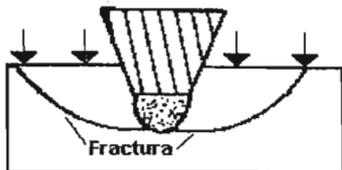
Cuando la presión es baja o no existe presión diferencial en la superficie de la roca, como lo es en la mayoría de los casos de la perforación minera, los esfuerzos de fricción en la base del cráter son bajos, las partículas fácilmente se mueven a lo largo de la superficie de falla y provocan que la cuña debajo del elemento de corte se colapse. Bajo estas condiciones, las partículas son violentamente expulsadas del



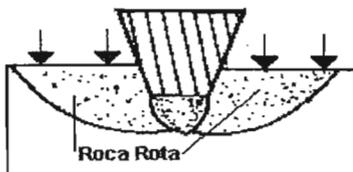
a) Contacto



b) Formacion de Cuna



c) Fractura



d) Posterior a la Fractura

U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Mecanismo de Corte</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 8

cráter tal como se ilustra en la Figura No. 9. Lo anterior se aplica exclusivamente para la perforación minera con aire y cuando la broca se encuentra perforando un barreno sin agua.

Cuando la cara de la roca está sujeta a presiones mayores, esto es, cuando se opera la broca a valores mayores que los de diseño o cuando existe agua de niveles freáticos o aguas subterráneas, o cuando la cara de la roca está sujeta a presiones diferenciales, por ejemplo en aplicaciones petroleras donde el peso del fluido de perforación excede la resistencia de la roca perforada, se genera una cuña " confinada " ilustrada en la Figura No. 10.

Lo anterior es resultado de esfuerzos de fricción muy elevados en la base del cráter, donde las partículas de roca se mantienen firmemente mantenidas en su lugar y la cuña permanece confinada. Los esfuerzos dentro de la cuña aumentan en la medida que la fuerza del elemento de corte aumenta también, hasta que ocurre una falla a lo largo de la segunda trayectoria horizontal formada. A medida que el elemento de corte penetra en la roca, se inicia una serie de fracturas paralelas. Las partículas de roca permanecerán dentro del cráter con un equilibrio existente entre los esfuerzos cortantes y de fricción. Las partículas de roca sólo pueden ser desplazadas por un fluido de perforación con mayor viscosidad que el aire.

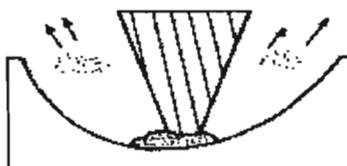
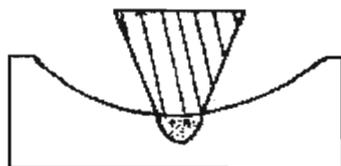
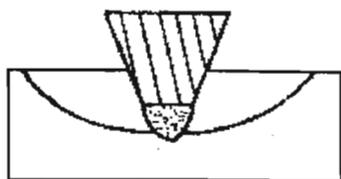
Este tipo de condiciones se presentan exclusivamente en perforaciones de barrenos de exploración, pozos petroleros o geotérmicos a profundidades mayores de 100 m.

II.3 Selección de brocas

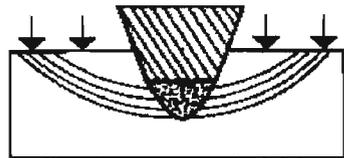
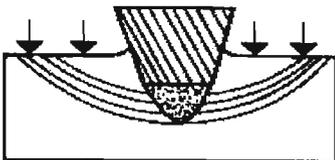
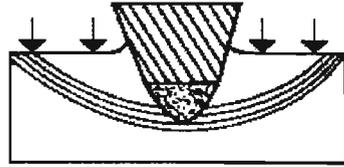
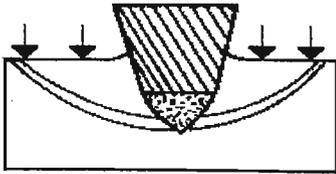
Aunque la aparición de las brocas tricónicas como herramienta de perforación se remonta al año 1910, se puede decir que hasta que se desarrollaron los equipos de perforación rotaria en la década de los años 60, no se logró el perfeccionamiento en el diseño y fabricación de este tipo de brocas que permitieran su uso masivo en la minería a cielo abierto. En un principio eran sólo aplicables a formaciones rocosas blandas o suaves, pero en la actualidad estos equipos han permitido que la perforación rotaria compita con otros métodos de perforación empleados en rocas duras. El trabajo de una broca tricónica se basa en la combinación de 2 acciones:

Penetración.- Donde los elementos de corte (dientes de acero o insertos de carburo de tungsteno) penetran fracturando la roca debido a la fuerza de empuje ejercida sobre ella.

Corte.- Donde los fragmentos de roca formados a través de las fracturas de penetración, se desprenden o desgarran, debido al giro de los conos al rotar la broca en el fondo del barreno.



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Mecanismo de Corte</i>	
<i>Cuña Aplastada</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 9



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Mecanismo de Corte</i>	
<i>Cuña Confinada</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 10

Para seleccionar una broca que perfore correctamente en el terreno o roca de una mina, se deberán considerar los siguientes factores:

- a. Conocimiento anticipado de la roca o terreno por perforar.
- b. Características mecánicas del equipo de perforación, principalmente compresores y líneas de conducción del fluido de perforación.
- c. Máximo rendimiento en el costo por metro perforado.

Por ejemplo, las barrenas para formación suave o blanda, requieren sólo de una fuerza mínima para que los elementos de corte, largos y espaciados, efectúen su acción de penetración y corte. Los factores limitantes de su rendimiento son la eficiencia del flujo de fluido de perforación. Para esto es muy importante medir la velocidad de rotación, para descubrir rápidamente una superficie de contacto donde la fuerza para fracturar actúe nuevamente.

Las brocas para formaciones de mediana dureza, tienen una estructura de corte capaz de resistir una mayor carga unitaria de fuerza para penetrar la roca y el desgaste por abrasión en el área del calibre o diámetro de la broca, por ello, los componentes de la estructura de corte son más fuertes y numerosos, con mayor cantidad de ellos en las hileras del calibre o diámetro de los conos, que a su vez, en conjunto, forman el calibre o diámetro total de la broca.

Las brocas para formaciones duras penetran la roca triturándola. La acción de corte que se ejerce en este tipo de brocas es muy reducida, pero requieren de cargas unitarias de fuerza mayores (en comparación con las brocas anteriores), para vencer la resistencia a la compresión de la roca. Este tipo de brocas deben tener mayor resistencia a la abrasión, ya que normalmente la dureza de estas rocas está asociada a un gran contenido de materiales abrasivos.

Las brocas para formaciones extremadamente duras, requieren de los máximos niveles de energía para vencer la gran resistencia a la compresión que la roca tiene. La mecánica de perforación de este tipo de brocas es básicamente por penetración y es casi nulo el corte.

II.4 Fuerza sobre la broca

Este término es conocido también con los nombres de " peso sobre la barrena ", " empuje " o " presión ", y se define como la carga de fuerza aplicada desde el cabezal de la máquina de perforación, pasando a lo

largo de la sarta, hasta la broca. La fuerza de empuje a su vez, se transmite a los elementos de la estructura de corte para que éstos penetren la roca.

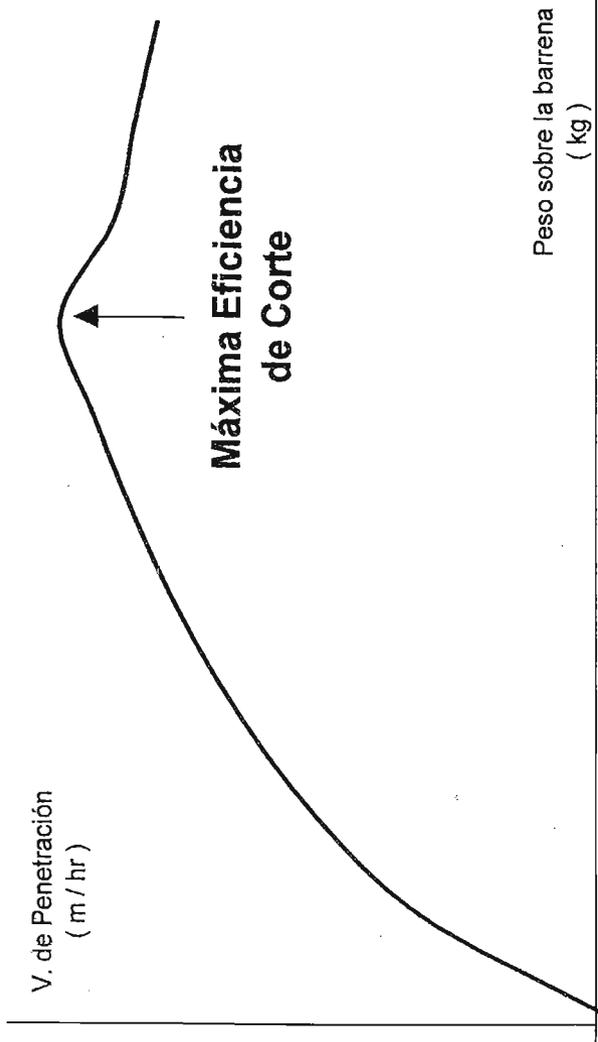
La fuerza sobre la broca, proviene de la máquina de perforación rotaria que utiliza una fuerza motriz eléctrica o diesel, para accionar un cabezal que se desplaza a lo largo de un mástil con engranes. El desplazamiento del cabezal es lo que genera la fuerza que se transmite a la broca.

La penetración se dará hasta vencer la resistencia a la compresión de la roca. Posteriormente a la aplicación de fuerza sobre la broca, la formación rocosa generará una " respuesta ", la cual se puede observar a través de la velocidad de penetración, así la Figura No. 11, muestra la gráfica de la velocidad de penetración con respecto a la fuerza ejercida sobre la roca. En esta gráfica se puede ver que la velocidad de penetración se encuentra en proporción directa a la fuerza ejercida sobre la broca, hasta llegar a un punto donde la pérdida de la velocidad de penetración se debe al " enterramiento " de los elementos de la estructura de corte.

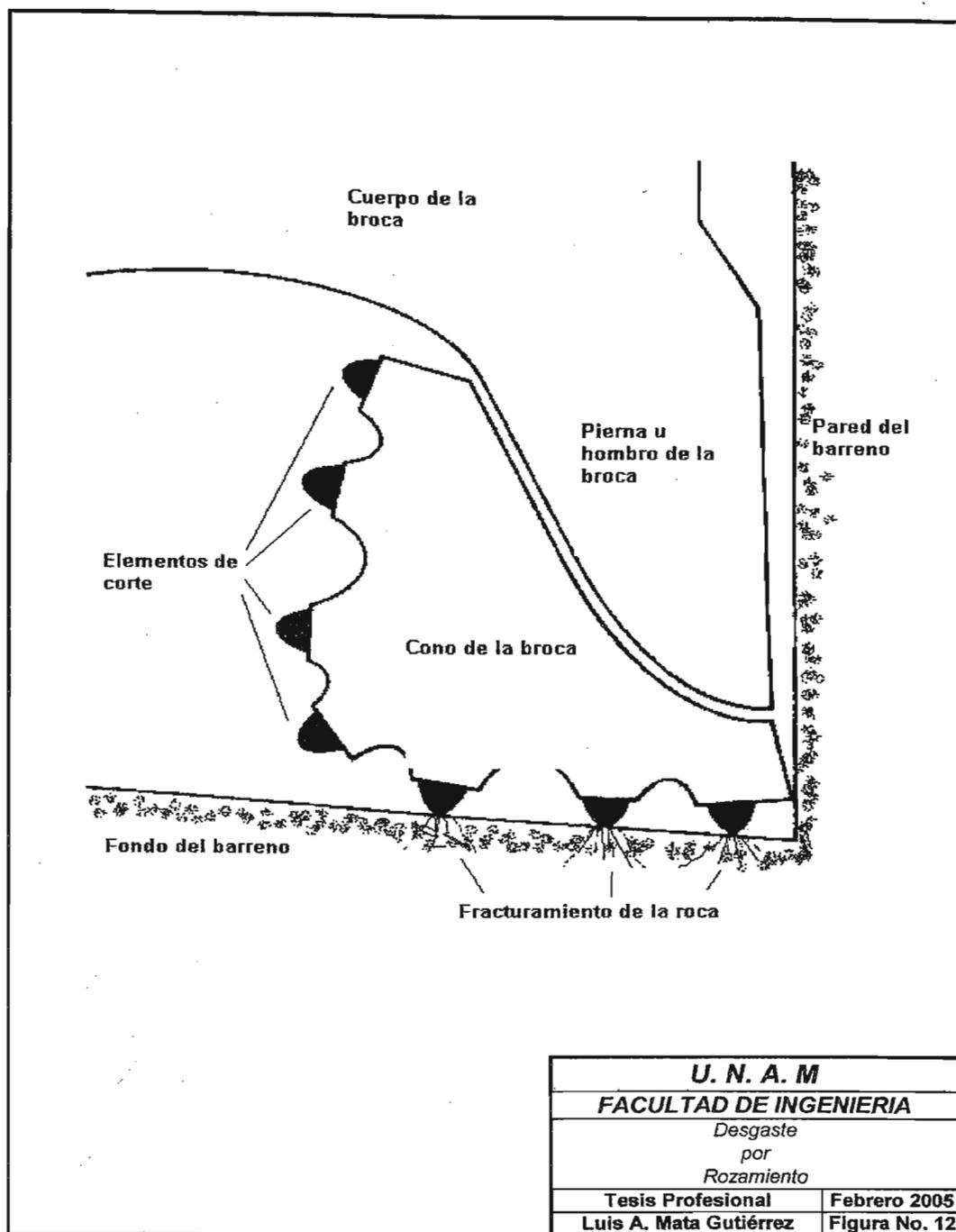
La fuerza óptima sobre la roca está determinada por la formación geológica, diámetro de barrenación, diseño y tamaño del sistema de rodamiento y diseño de los elementos de la estructura de corte.

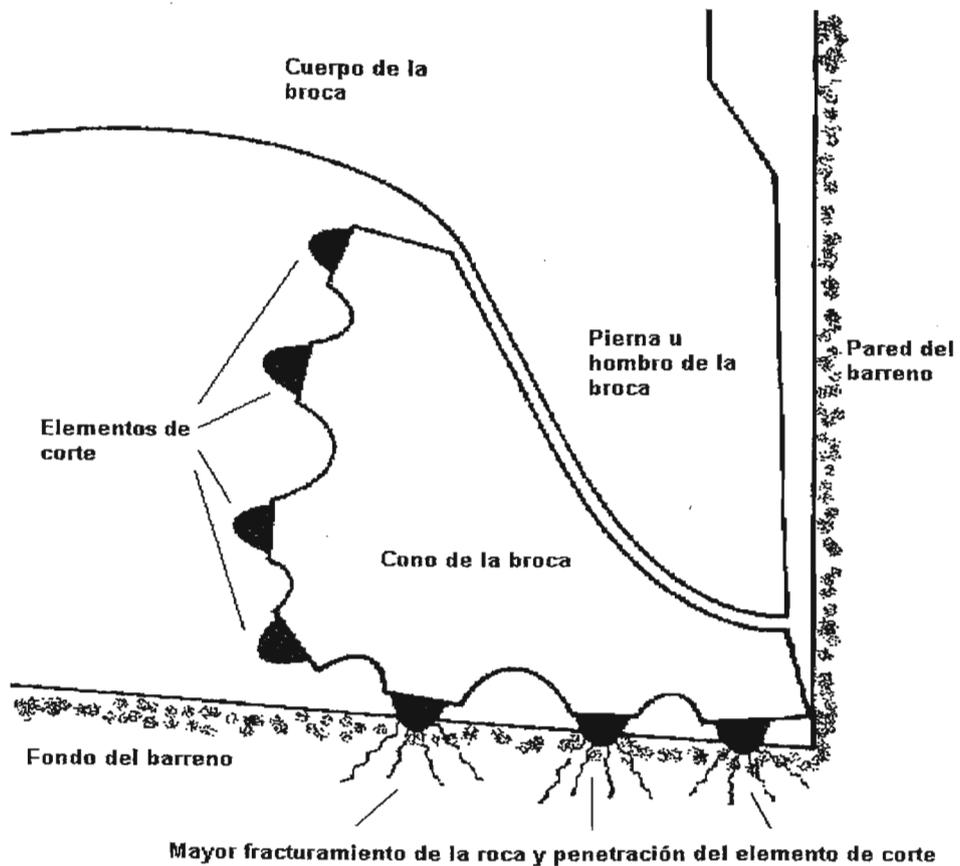
Para visualizar de una manera más clara lo anteriormente expuesto, se deben observar las 3 fases de la penetración.

1. La fase de desgaste por rozamiento (Figura No. 12). En este punto se está aplicando fuerza a la broca en pequeñas cantidades, lo que permite que los elementos de la estructura de corte comiencen a penetrar en la formación rocosa, al hacerlo, se está formando polvo de roca. El operador puede saber con mucha facilidad cuándo se ha alcanzado la fase de desgaste por rozamiento, porque comenzará a salir polvo muy fino hacia la superficie y la velocidad de penetración será muy baja. El usar una broca tricónica de esta manera, resultará en un rápido desgaste de los elementos de la estructura de corte y la vida útil será muy reducida.
2. La fase de disminución de la resistencia de la roca (Figura No. 13). Representa la segunda falla en la roca. Se ha aplicado más peso sobre la broca mientras que la velocidad de rotación permanece igual que en la primera etapa. La fuerza adicional sobre la broca, causa mayor penetración de los elementos de la estructura de corte en la formación rocosa. Se comienzan a formar los cráteres, pero no se están produciendo las fallas horizontales debajo de los cráteres. El operador puede reconocer esta fase, al observar el tamaño de recorte en la superficie (estarán presentes grandes cantidades de polvo y recorte pequeño en forma de lascas). En esta etapa ya se está perforando, pero se requiere de más variaciones en los parámetros de operación para obtener



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
Velocidad de penetración vs. Fuerza sobre la barrena	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 11





U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
<i>Disminución por Resistencia</i>	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 13

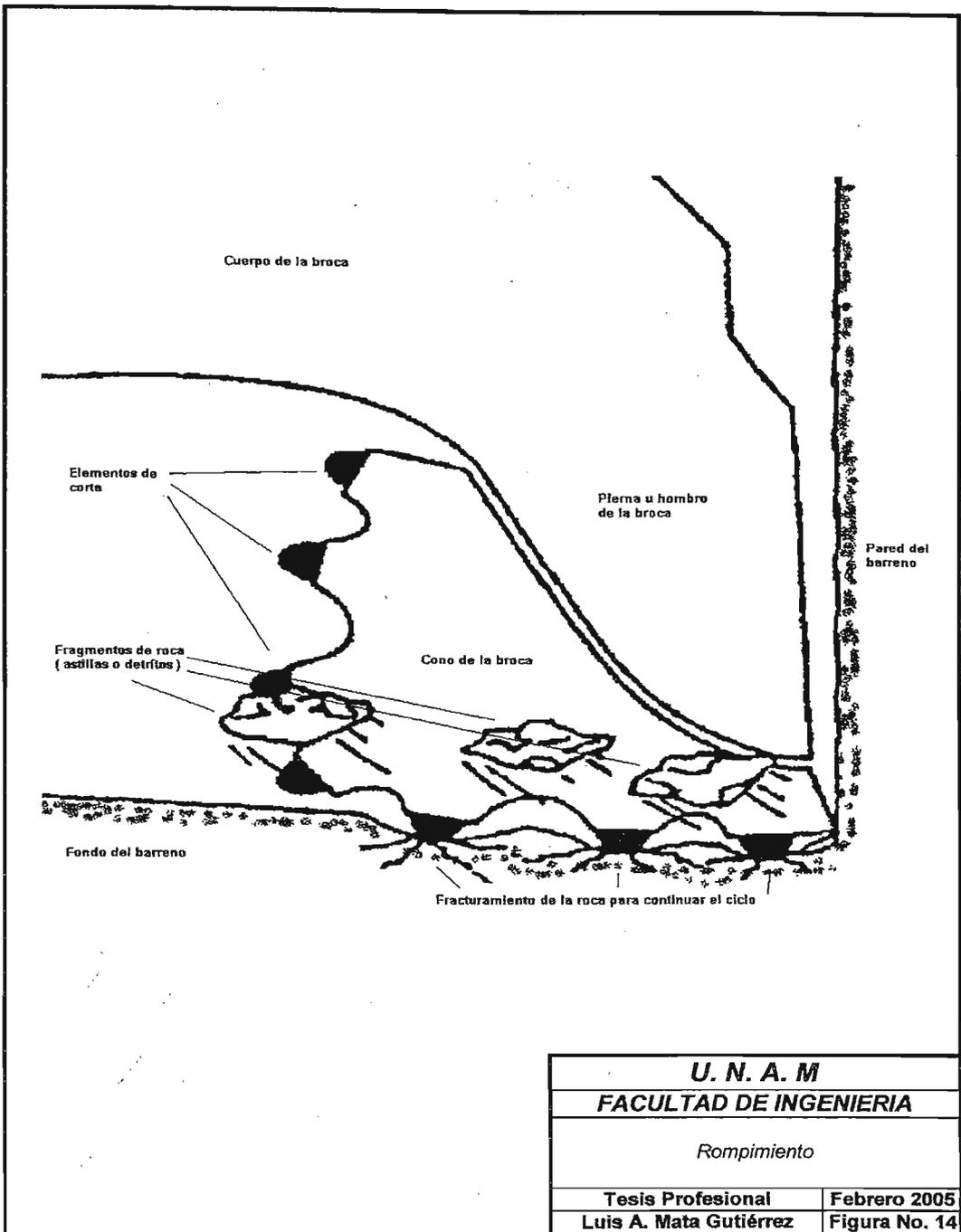
una penetración óptima y significativa. Como en la fase anterior, si se usan brocas tricónicas de esta manera, el desgaste será muy rápido.

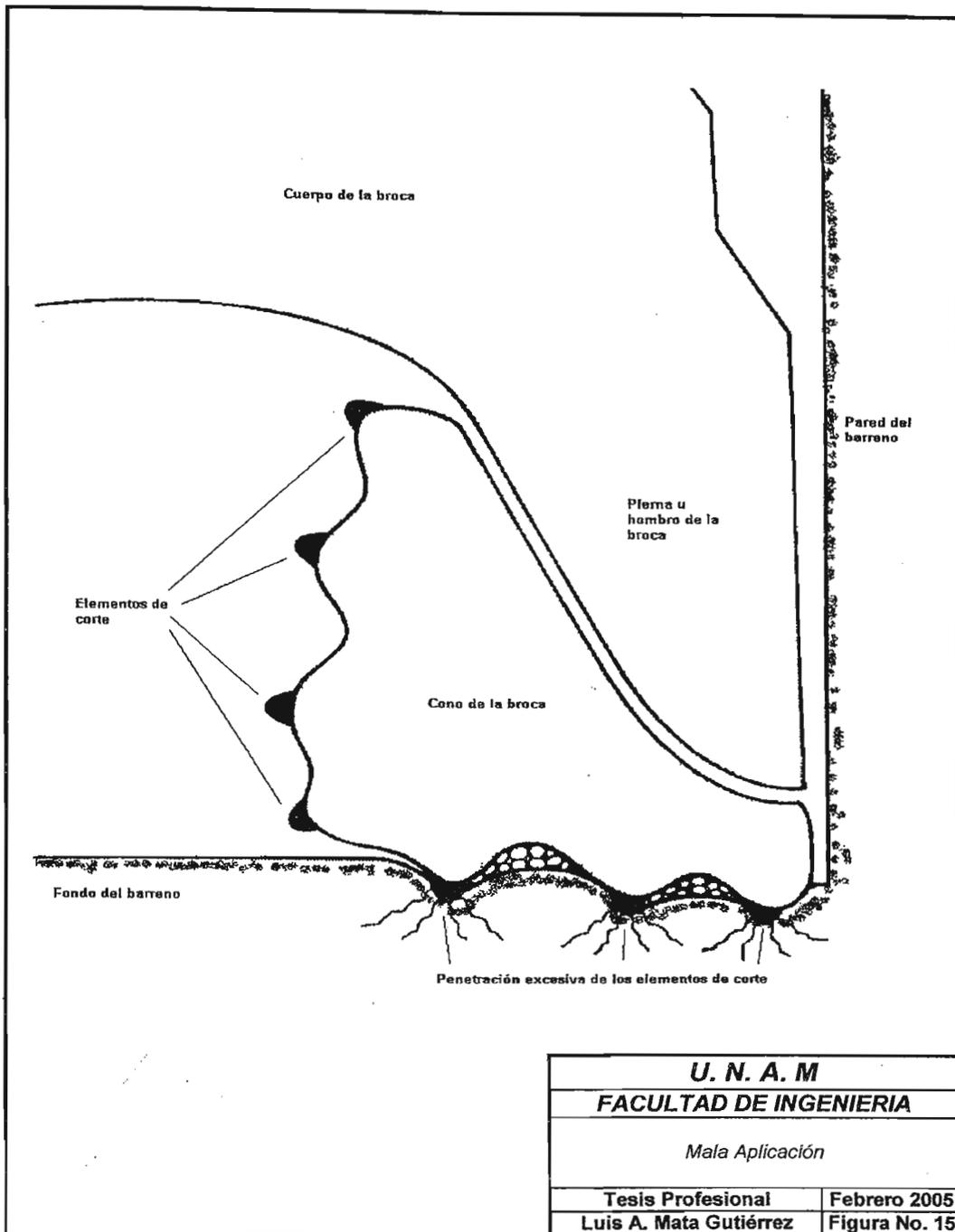
3. La fase de rompimiento (Figura No. 14). Es donde efectivamente se comienza una perforación eficiente. La velocidad de rotación sigue siendo la misma, pero ahora se ha aplicado sobre la roca una fuerza suficiente para vencer en forma efectiva la resistencia a la compresión de la misma. Una vez que se alcanza esto, las fallas debajo de la formación de los cráteres comienzan a unirse unas con otras y la roca inicia su fragmentación. Bajo estas condiciones la broca tricónica avanzará con un máximo de eficiencia, el perforista podrá observar y comprobar lo anterior cuando el recorte en la superficie del barreno es de tamaño regular (aproximado al tamaño de los elementos de la estructura de corte) y la cantidad de polvo sea menor. Normalmente la máquina de perforación rotaria, operará en forma uniforme con los indicadores de operación fijos (fuerza sobre la broca, velocidad de rotación, presión de aire y flujo de agua), dentro de los rangos permisibles; estos rangos variarán de acuerdo con diámetros y marcas de las herramientas de perforación. Con estas circunstancias se obtiene la vida útil máxima para la broca tricónica y la mejor velocidad de penetración.

Si existiera una mala operación y/o supervisión de las operaciones de barrenación; se tendría una cuarta fase, denominada " peso excesivo sobre la broca ", ilustrada en la Figura No. 15. Una vez que se alcanza la fase en que se rompe la roca, la aplicación de más fuerza sobre la broca, hará que los elementos de la estructura de corte se entierren o claven demasiado y hagan que los conos patinen o se apoyen sobre la formación rocosa. Esto causará la erosión del cono con la consecuente pérdida o desgaste de los elementos de la estructura de corte. Se tendrá una vida útil de la broca muy reducida y una velocidad de penetración muy baja.

El procedimiento adecuado para conocer la resistencia de la roca que se perforará, deberá ser en un laboratorio de mecánica de rocas, sin embargo existen procedimientos de campo que permiten tener una idea bastante clara de la resistencia del terreno; lo anterior se ilustra indirectamente en la gráfica de la Figura No. 11; donde se aprecia que se debe buscar obtener la mayor velocidad de penetración que proporcione los mejores costos por metro perforado y como se manifestó en párrafos anteriores, esto se conseguirá en proporción directa con el aumento de fuerza sobre la barrena, sin embargo, no deberá de sobrepasarse el punto máximo, donde el aumento del empuje será negativo para obtener una velocidad de penetración óptima.

Otro procedimiento consistirá en observar el tamaño de los detritos o astillas generadas, los cuales son difíciles de medir, sin embargo una idea o referencia clara, será la comparación con el tamaño correspondiente al elemento de corte.





II.5 Velocidad de rotación

Este parámetro de operación se define como la cantidad de giros por minuto que el equipo de perforación transmite a toda la sarta de perforación, incluida la broca. La velocidad de rotación se encarga del corte o desgarrar del material fracturado por la fuerza ejercida sobre la broca en el fondo del barreno, para que la neumática de la perforación evacúe hasta la superficie los detritos o astillas generados.

De la misma forma como se determinó la fuerza sobre la broca, la velocidad de rotación óptima se determinará por la combinación de aumentos en la velocidad de penetración, características de la formación rocosa que se pretenda perforar, diámetro de perforación, diseño y tamaño de los sistemas de rodamiento, diseño de los elementos de la estructura de corte, además de la relación que guardarán éstos con la fuerza sobre la broca que se aplique.

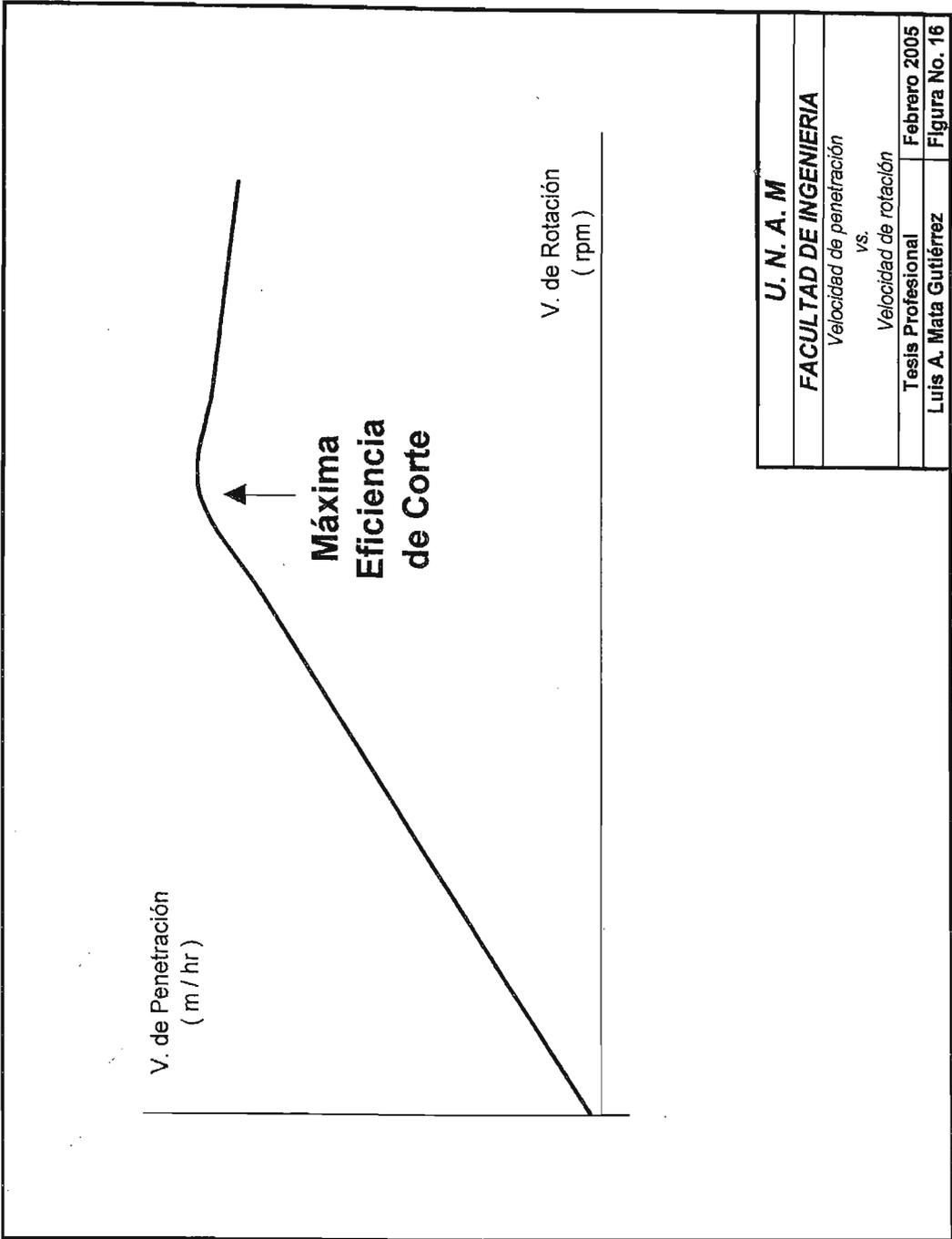
La Figura No. 16 ilustra la variación de la velocidad de penetración con respecto a la variación de la velocidad de rotación. Al igual que la fuerza sobre la broca, existirá un punto en donde la aplicación de mayor velocidad de rotación, no proporcionará una mejoría en la velocidad de penetración.

En la práctica, se observa que para terrenos suaves o blandos se aplica una velocidad de rotación de hasta 110 revoluciones por minuto (rpm) y para terrenos duros de 60 revoluciones por minuto (rpm). Esto se debe a que la resistencia a la compresión de la roca es fácilmente vencida, y la broca necesita encontrar una superficie " fresca " de contacto para fracturarla. Por ello, a medida que el terreno aumenta en dureza, la broca necesita de más tiempo para que el elemento de corte transmita la fuerza de empuje para penetrar en el terreno, por ello, la broca debe girar más lentamente.

II.6 Neumática de la perforación

La neumática de perforación en la minería a cielo abierto es la distribución adecuada de la potencia útil o disponible de un compresor para una perforación óptima. En la industria minera, los barrenos de producción utilizan aire como elemento de limpieza para una perforación correcta. Para lograr este propósito, se deben tener, manejar y balancear los siguientes factores involucrados:

- a. Peso específico de la roca perforada.
- b. Gasto y presión del fluido (aire).
- c. Diámetro de perforación.



U. N. A. M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
Velocidad de penetración vs. Velocidad de rotación	
Tesis Profesional	Febrero 2005
Luis A. Mata Gutiérrez	Figura No. 16

- d. Velocidad de penetración.
- e. Profundidad de perforación.
- f. Características geométricas de la sarta de perforación.

En la mayoría de los casos, se pueden modificar estos factores con el objeto de obtener mejoras en el desarrollo y desempeño de las labores de perforación. El uso de alguna fuerza hidráulica en la perforación está asociado con el uso de toberas en las brocas tricónicas. En la actualidad, muchas operaciones no reconocen la importancia de la limpieza del fondo del barreno para ayudar a obtener una óptima perforación, que permita reducir los costos por metro perforado. Básicamente existen dos fases en el diseño de un programa neumático:

- a. La determinación de los valores de flujo y presión que el aire debe tener, con objeto de tener una correcta limpieza del fondo del barreno; de esa manera, será fácil conseguir la mejor velocidad de penetración que permita mejorar la productividad de una operación de barrenación.
- b. La maximización de la limpieza del fondo del barreno basado en los equipos que se tengan disponibles. Se debe saber, que además de esta limpieza en el fondo del barreno, una buena presión y flujo de aire, limpiarán, enfriarán y lubricarán de mejor manera los sistemas de rodamiento de la broca; situación importante en el desempeño y rendimiento de la herramienta de perforación. El aire al estar entre superficies que están en contacto actúa como lubricante, sin que éste sea el más eficiente o efectivo.

Para regular lo anterior se debe proveer de un elemento a la broca denominado **tobera**, ya que en muchos procesos de flujo estable se necesita aumentar o disminuir la velocidad de una corriente de flujo. La tobera es un elemento que aumenta la velocidad de un fluido a expensas de una caída de presión en la dirección del flujo.

Durante los trabajos de perforación, se hace llegar aire desde el compresor de la máquina de perforación, pasando por el cabezal y a todo lo largo de la sarta de perforación hasta llegar a la broca. Ese aire, antes de salir de la broca o de estar en contacto con el barreno, tendrá un caudal y una presión. El caudal será importante porque de él dependerá la velocidad del aire a través del espacio anular. La presión del aire en la broca es importante, para referenciar la cantidad de aire que se encuentra dentro de las superficies de rodamiento para su limpieza, enfriamiento y lubricación. Para lo anterior, sin importar marcas y diámetros de brocas, capacidades de los equipos de compresión y capacidades de máquinas de perforación; la presión del aire deberá estar por arriba de 2.56 kg/cm^2 (35 lb/pulg^2).

Las operaciones en México, consideran que la presión del aire es la encargada de la limpieza del barreno, es decir; se tiene la idea que la presión del aire sacará a la superficie el recorte generado por la broca durante la perforación. La presión de aire, sólo existe cuando el aire está dentro de la broca, una vez que éste ha salido de ella, se reestablecen las condiciones de presión atmosférica del lugar de trabajo.

La variación en el diámetro de las toberas es un aspecto fundamental en el desempeño del volumen y velocidad del aire, ya que al aumentarse el diámetro se aumentará el flujo que pasará a través de ésta y por ende la velocidad del aire, pero habrá una disminución en la presión. Si por el contrario el diámetro de tobera es muy pequeño, la presión será muy elevada pero el flujo y velocidad del aire disminuirán.

La presión puede ser un aspecto importante para sacar el recorte generado en la perforación, cuando el barreno tiene una columna de agua, debido a una corriente de agua subterránea o por el nivel freático de las aguas; esa presión de agua generará un obstáculo para la salida del aire y por ende del recorte; sólo en esos casos la presión del aire será más importante que el flujo y velocidad de éste, para la limpieza del barreno.

11.7 Velocidad anular

La velocidad del aire a través del espacio anular, definido como el espacio que hay entre el diámetro de la broca y el diámetro de la tubería, es el parámetro con el que se evalúa la salida del recorte generado a la superficie. Esta velocidad no deberá ser muy reducida, ya que la salida del recorte será escasa y la broca retriturrará el material, reduciendo así su rendimiento.

El tener una velocidad del aire a través del espacio anular muy elevada, también generará problemas, tales como erosión en las paredes del barreno que podrá variar las condiciones y efectos de voladuras y erosionará la sarta de perforación, reduciendo su rendimiento. Nuevamente, sin importar marcas ni diámetros de brocas tricónicas, capacidad de los equipos de compresión y de los equipos de perforación rotaria, la velocidad del aire a través del espacio anular deberá estar en el rango de 1,524.0 a 2,438.4 m/min (5,000.0 a 8,000.0 pie/min).

Para conocer el valor de este parámetro, que se debe evaluar periódicamente, se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A} \quad \dots (1)$$

Donde **V** velocidad del flujo (m/min)
Q gasto o caudal del flujo (m³/min)
A área por donde circula el flujo (m²)

Transformando la ecuación (1), para los elementos involucrados en la perforación:

$$V = \frac{Q * 10^4}{A} \quad \dots (2)$$

Donde **V** velocidad del aire a través del espacio anular (m/min)
Q gasto o caudal que proporciona el compresor de la máquina (m³/min)
10⁴ constante de conversión de metros cuadrados a centímetros cuadrados
A área del espacio anular (cm²)

El área en el espacio anular, se obtiene de la siguiente manera:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} - \frac{\pi * d^2}{4} \quad \dots (3)$$

Donde **D** diámetro de la broca (cm)
d diámetro de la tubería o barra de perforación (cm)

Simplificando la ecuación (3), se obtiene:

$$A = (D^2 - d^2) * \frac{\pi}{4} \quad \dots (4)$$

Sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (2), se tiene:

$$V = \frac{Q * 10^4}{(D^2 - d^2) * \frac{\pi}{4}} \quad \dots (5)$$

Simplificando la expresión (5), finalmente tenemos que:

$$V = \frac{Q * 12,730}{(D^2 - d^2)} \quad \dots (6)$$

La ecuación (6), permite conocer en cualquier momento la velocidad del aire a través del espacio anular. Asimismo, deberá observarse que es una expresión con unidades del Sistema Métrico Decimal; y las unidades de medida de las herramientas, accesorios y equipos, normalmente están en el Sistema Inglés.

Para el uso correcto de la ecuación (6), se deberán transformar las unidades de medida de las herramientas, accesorios y equipos al Sistema Métrico Decimal, o en su caso, multiplicar el factor 3.28084 para convertir los resultados al Sistema Inglés; o bien, usar la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q * 183.36}{(D^2 - d^2)} \quad \dots (7)$$

Como se mencionó anteriormente, la ecuación (7) tiene como unidades de medida las utilizadas por el Sistema Inglés. Asimismo, en esta ecuación (7), la constante 183.36 es el resultado de operar 144 que es el factor para convertir piés cuadrados a pulgadas cuadradas en el Sistema Inglés, como se operó 10^4 para convertir metros cuadrados a centímetros cuadrados en el Sistema Métrico Decimal.

De las anteriores ecuaciones, se puede observar, que a medida que el espacio anular sea mayor, menor será la velocidad anular y podrán presentarse problemas con el desempeño y rendimiento de las herramientas de perforación.

II.8 Variables de la perforación

Como se mencionó en párrafos anteriores, para la perforación de barrenos de uso industrial es necesaria la formación de cráteres en la roca. Para el objetivo de este trabajo en el estudio de brocas tricónicas con aplicaciones en la minería a cielo abierto, una broca tricónica en sus acciones de penetración y corte o desgarrar tiene diferentes variables, las cuales pueden ser internas o externas. Las internas, son aquellas sobre las cuales se puede intervenir directamente en la obtención de mejores beneficios. Estas son:

- a. Fuerza sobre la broca.
- b. Velocidad de rotación.
- c. Flujo y presión del aire comprimido.
- d. Velocidad anular.

e. Velocidad de penetración.

Las variables externas, son aquellas sobre las cuales no se puede hacer nada para la obtención de mejores resultados en las labores de perforación de una operación minera. Estas son:

a. Eficiencia del operador.

b. Características de la formación rocosa.

Para la aplicación de las variables internas de operación, se debe aprovechar la experiencia en operaciones mineras similares, en combinación con la experiencia de los fabricantes de herramientas, accesorios y equipos de perforación.

A partir de lo anterior y con el objeto de tener una idea inicial sobre la aplicación de estas variables internas, se pueden observar en la Tabla No. 3, los valores de diseño sugeridos para dicho objetivo. Deberá tenerse en cuenta, que las unidades de medida de dicha tabla se encuentran en el sistema métrico decimal y nuevamente si se requiere el uso de unidades de medida del sistema inglés, habrá que hacer la conversión pertinente en cada caso.

Tabla No. 3 – Valores recomendados en las variables de perforación

Clasificación	Tipo de Roca	Ejemplo	Código IADC	Fuerza sobre la Broca por cada Centímetro de Diámetro [kg]	Velocidad de Rotación [rpm]	Aire		Velocidad Anular [m/min]
						Gasto [m ³ /min]	Presión [kg/cm ²]	
Formación Suave	Arcilla	Micare	432	454 a 1,361	50 a 90	42.48	2.46	610 a 1,829
Formación Media	Caliza	Unidades de Cemex	532	1,134 a 1,814	50 a 90	42.48	2.46	1,220 a 3,658
	Pórfido Cuprífero	La Caridad	622	1,361 a 2,722	40 a 80	42.48	2.46	1,220 a 3,658
	Andesita	Las Encinas - Tajo El Encino	622	1,361 a 2,722	40 a 80	42.48	2.46	1,220 a 3,658
Formación Dura	Pórfido Cuprífero	Cananea	632	1,361 a 2,722	40 a 80	42.48	2.46	1,220 a 3,658
	Andesita	Las Encinas - Tajo Cerro Náhuatl	632	1,361 a 2,722	40 a 80	42.48	2.46	1,220 a 3,658
	Andesita	Peña Colorada	632	1,361 a 2,722	40 a 80	42.48	2.46	1,220 a 3,658
Formación Extra Dura	Pórfido Cinético	Hércules - Tajo Prometeo	732	2,268 a 3,829	35 a 80	42.48	2.46	1,524 a 2,439

No existen valores recomendados para la velocidad de penetración, debido a que ésta; variará en la medida en la que se modifiquen los valores de las otras variables y de la roca que será perforada. Sin embargo, la velocidad de penetración es la mejor de las variables para la comparación de equipos,

terrenos, modelos y marcas de brocas tricónicas de perforación. Por ello es necesario, evaluar periódicamente los rendimientos de marcas de brocas, equipos de perforación y operadores; de manera que se puedan tener estándares que permitan establecer la velocidad de penetración que proporciona el mejor costo por metro perforado.

En México, estadísticamente el código IADC 432 tiene una velocidad de penetración de 48 m/hr.; el código IADC 532 de 42 m/hr, el código IADC 622 de 21 m/hr, el código IADC 632 de 19 m/hr y el código IADC 732 de 15 m/hr.

Capítulo III

COSTOS DE LA PERFORACION CON BROCA TRICONICA

III.1 Evolución del costo por metro perforado

La industria minera en México, como muchas industrias, encara un desafío continuo para reducir sus costos de producción. Cada eslabón de la cadena productiva en la explotación minera (preparación, perforación, voladura, cargado y acarreo), debe ser estudiado de manera individual para determinar las posibilidades de reducir los costos en cada uno de los eslabones; sin embargo, no se debe olvidar la relación que existe entre estos eslabones y la cadena productiva; por ejemplo, tener costos elevados en perforación y voladuras, pudiera motivar una sustancial reducción en los costos de trituración.

En esta parte del desarrollo de este trabajo, se explicarán los detalles que debe contener el cálculo de costos en la perforación de la minería a cielo abierto.

Existen dos componentes en la evaluación del costo de perforación:

Costo directo. Es el factor que se obtiene de la división del precio de la broca entre el rendimiento obtenido por ella. Es un factor que sólo da una idea, pero que no es confiable para una buena evaluación de equipos, terrenos y marcas de herramientas de perforación, ya que carece de elementos de evaluación importantes como la velocidad de penetración y el costo de operar un equipo de perforación.

Costo real de perforación. Es el factor obtenido mediante sencillas operaciones aritméticas, que toma en cuenta el equipo de perforación y la velocidad de penetración, así como el costo de adquisición de las herramientas utilizadas. El uso de este factor puede instrumentar mecanismos de selección de equipos de perforación, selección de herramientas, programación de lugares de perforación y puede medir de mejor manera, los índices de productividad por turno, equipo y terrenos de perforación.

Para el costo real de perforación, el costo y vida útil de la broca es importante, sin embargo, la velocidad de penetración es la variable más significante. En los análisis de costos se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a. Para la mismas condiciones de perforación, la broca que perfora más rápido, normalmente no perfora más metros.
- b. Una alta velocidad de penetración puede significar una reducción de la reperfusión o remolienda de roca, y por ende, habrá menor desgaste en los elementos de la sarta de perforación, aumentando así el rendimiento de éstos.

- c. Para un número determinado de barrenos de producción, una alta velocidad de penetración requiere de menos rotación de la broca, menos horas de trabajo de la máquina de perforación y en algunos casos de menor utilización de los equipos de perforación.

III.2 La máquina de perforación y sus costos

Los costos requeridos para el desarrollo del " costo real de perforación ", se presentan a continuación, asimismo, se presenta el inventario de máquinas de perforación rotaria que tienen operando las minas más importantes en México que explotan yacimientos a cielo abierto en la Tabla No. 4 – Cantidad y modelos de máquinas de perforación en México.

El cálculo de costos se hizo para una máquina Bucyrus Erie 49 R por ser la de más reciente modelo; de tal forma que los costos de cada máquina en particular pueden ser obtenidos de la misma manera.

Tabla No. 4 – Cantidad y modelos de máquinas de perforación en México

Ubicación	Cantidad	Modelo
Hércules	01	Bucyrus Erie 60 R
Micare	01	
Peña Colorada	02	
La Caridad	04	
Cananea	09	
La Caridad	01	Bucyrus Erie 49 R
Cananea	02	
Hércules	02	Ingersoll Rand T - 5
La Caridad	01	PH 70
Micare	01	
La Caridad	01	PH 100 B
Cerro Náhuatl	02	Joy Robbins
Cerro Náhuatl	01	Reedriill 35
Cananea	01	Drilltech Tamrock 40
Micare	01	

a. Costos fijos

Los costos fijos en una máquina de perforación son obtenidos a partir de la depreciación del equipo, intereses, impuestos y seguros, es decir:

Costo Fijo = Depreciación + Intereses + Impuestos y Seguros

Amortización y depreciación. Para calcular el monto de los cargos, se utilizan los porcentajes autorizados por la Ley del Impuesto sobre la Renta. Este tipo de cargos está autorizado por la propia Ley, y en caso de aplicarse a los costos de producción, se deberá incluir todo el activo fijo y diferido relacionado directamente con ese departamento (departamento de operación mina, perforación o mantenimiento, por ejemplo). El término depreciación tiene exactamente la misma connotación que amortización, pero el primero sólo se aplica al activo fijo, ya que con el uso, en el tiempo estos bienes valen menos; es decir, se deprecian, por lo que el término amortización significa el cargo anual que se hace para recuperar la inversión.

Cualquier empresa minera que esté en funcionamiento, para hacer los cargos de depreciación y amortización correspondientes, deberá basarse en la Ley del Impuesto Sobre la Renta, en su artículo 41 fracción VIII, donde se señala una tasa del 12% anual para la depreciación de la maquinaria a emplearse en la minería.

Interés.- Muchas empresas mineras en México, han operado con una proporción de dinero prestado, lo cual implica un pago de intereses. Por esto, existe un valor en el monto correspondiente a la inversión total de la máquina. Asimismo consultando a diferentes proveedores de equipos de perforación, en promedio, una máquina Bucyrus Erie 49 R se financia a una tasa de 8% anual.

Impuestos y seguros.- Están relacionados en porcentaje con respecto al precio de compra de la máquina; y está tasada en 12.5%.

Valor del equipo - \$ 2'250,000.00 dólares americanos, en el año 1996

Período de depreciación – 8 años 4 meses

Depreciación - \$ 2'250,000.00 dólares americanos * 12% anual = **\$ 270,000.00 dólares americanos/año**

Interés promedio anual - 8%

Interés - \$ 2,250,000.00 dólares americanos * 8% anual = **\$ 180,000.00 dólares americanos/año**

Tasa de impuestos y seguros - 12.5%

Impuestos y seguros - \$ 2'250,000.00 US * 12.5% anual en 8.33 años = \$ **33,763.51 dólares americanos/año**

Costo Fijo - Depreciación + Intereses + Impuestos y seguros

Costo Fijo - \$ 270,000.00 + \$ 180,000.00 + 33,763.51 = \$ **483,763.51 dólares americanos/año**

Días laborables del año – 360

Horas laborables del día – 20

Disponibilidad mecánica – 80%

Utilización de la disponibilidad – 80%

Horas por año – 360.00 * 20.00 * 0.80 * 0.80 = **4,608.00 hr/año**

Costo fijo por hora - 483,763.51 / 4,608.00 = \$ 104.98 dólares americanos / hr

b. Costos de Operación

Los costos de operación son obtenidos a partir de todo lo necesario para mantener en operación un equipo de perforación, como la energía y/o combustibles, insumos y salarios, es decir:

Costo de Operación = Energía + Salarios + Otros

Energía.- Este factor incluye el valor de combustible o energía eléctrica, cualquiera que sea el caso, que se emplea para operar la máquina perforadora.

Salarios.- Representa el valor directo de las remuneraciones que reciben el operador y ayudante de la máquina perforadora.

Otros.- Este valor, incluye un porcentaje de los costos administrativos que inciden en la perforación, mantenimiento de la máquina e inventarios de repuestos en almacenes. En una aplicación real de cualquiera de estos costos directos, cualquier reserva de fondos debe ser considerada en el desarrollo del cálculo (éste punto se refiere a un desarrollo detallado del porcentaje de incidencia de los gastos de

logística, administración, mantenimiento de repuestos y mantenimiento de la máquina perforadora misma), Mexicana de Cobre, S. A. de C. V., tienen definido este valor en \$ 11.00 dólares americanos/hr.

Consumo horario de energía – 700 kW/hr

Costo de energía – \$ 0.075 dólares americanos/kW, en el año 1996

Costo de energía – 700 kW/hr * \$ 0.075 kW = **\$ 52.50 dólares americanos/hr**

Sueldos - \$ 1,148.72 dólares americanos/mes, para el contrato colectivo del año 1996

Horas al mes – 384 hr/mes

Costo de sueldos - \$ 1,148.72 dólares americanos/mes / 384 hr/mes = **\$ 2.99 dólares americanos/hr**

Costo de operación por hora – Energía + Sueldos + Otros

Costo de operación por hora = \$ 52.50 + \$ 2.99 + \$11.00= \$ 66.49 dólares americanos/hr

c. Costos de Mantenimiento

Para estos costo se consultó a Mexicana de Cobre, S. A. de C. V.

Reparación y mantenimiento.- Costo debido a los mantenimientos programados o a la reparación fallas imprevistas, considerado como \$ 32.26 US/hr.

Aceros de perforación.- Corresponde al costo de reparación, mantenimiento y reemplazo de todos los aceros de la columna de perforación; exceptuando a la broca tricónica; considerado como \$ 13.09 US/hr.

En este punto se debe recordar que esto valores son para una máquina Bucyrus Erie 49 R, para las otras máquinas, se consultó a las Empresas propietarias de los equipos y se observó que a medida que el equipo de perforación es más antiguo estos valores se incrementan. Dicho de otra manera, el costo de estos rubros aumenta de manera proporcional a los años de trabajo de las máquinas.

Por lo tanto, para el caso particular de una máquina Bucyrus Erie 49 R; el costo horario total es:

Total costo máquina por hora = \$ 104.98 + \$ 66.49 + \$ 45.35 = \$ 216.82 dólares americanos/hr

Como se puede observar, el costo horario de operación de una máquina perforadora, cuando todos los costos están considerados, es bastante significativo. El papel de un encargado de perforación en una operación minera será obtener el máximo rendimiento o la mayor cantidad de metros perforados al menor costo, es decir, la mayor cantidad de metros al costo más bajo.

Buen rendimiento o mayor cantidad de metros perforados al menor costo por metro, se pueden obtener sin el sacrificio de las buenas prácticas de barrenación y voladuras, tales como el espaciamiento, diámetro o profundidad de los barrenos y todavía ofrecer la utilización más económica y óptima de los explosivos para una fragmentación adecuada.

A continuación en la Tabla No. 5, se presentan los costos de operación por hora de las máquinas de perforación rotaria de Mexicana de Cobre, S. A. de C. V., que se analizan este trabajo.

Tabla No. 5 – Costo horario de operación de máquinas de perforación rotaria en Mexicana de Cobre, S. A. de C. V.

Cantidad	Modelo	Costo de Operación por Hora (dólares americanos / hr)
04	Bucyrus Erie 60 R	268.84
01	Bucyrus Erie 49 R	216.82
01	PH 70	245.16
01	PH 100 B	254.20

III.3 Costo real de perforación con broca tricónica

Una vez obtenido el costo de operación por hora de la máquina de perforación; se deberá obtener el costo real de perforación con broca tricónica, para lo cual se debe evaluar la incidencia de la velocidad de penetración en este rubro. Por lo tanto, para la obtención del costo real de perforación, se deberá usar la siguiente expresión:

$$\text{Costo real de perforación} = \frac{P. B.}{V. U.} + \frac{C. H. M.}{V. P.}$$

Donde **P. B.** Precio de la broca (dólares americanos)
V. U. Vida o rendimiento útil de la broca (m)
C. H. M. Costo de operación de máquina de perforación por hora (dólares americanos / hr)

V. P. Velocidad de penetración de la broca (m / hr)

La anterior expresión de Costo Real de Perforación, es la herramineta que permite evaluar cualquier operación de perforación en la minería a cielo abierto, con el objeto de conocer cuáles son los mejores equipos, operadores y marcas de brocas tricónicas en la operación.

La evaluación debe ser periódica y permanente, cada mes como mínimo; para corregir o modificar lo necesario una vez que se tengan los estándares mínimos de rendimiento que cada Empresa pueda establecer.

Con esta información se evaluó las operaciones de barrenación a cielo abierto en México de Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad. Para ilustrar el mecanismo o procedimiento de evaluación, se usará la información histórica de esta Empresa de 1996 a 2003. Dicho mecanismo, se encuentra en el Capítulo IV – Análisis de los costos de perforación con broca tricónica en operaciones de minado a cielo abierto, a continuación.

Capítulo IV

ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE PERFORACION CON BROCA TRICONICA EN OPERACIONES DE MINADO A CIELO ABIERTO

IV. 1 Ejemplo práctico - Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad

El distrito minero de La Caridad está situado en la parte noreste del estado de Sonora a 195 km al noreste de la Cd. de Hermosillo, Capital del Estado.

Las principales rocas del distrito minero de La Caridad son predominantemente rocas volcánicas y consistentes en una gruesa secuencia de flujos de latita y andesita de edad cretácica, cubiertas por tobas y flujos de riolita.

El metal de interés económico es Cobre (Cu) y Molibdeno (Mo). Actualmente la extracción de roca se hace en el Tajo La Caridad. Se extrae Tepetate que es material estéril con una ley menor a 0.17% de Cobre y 0.004% de Molibdeno, Lixiviable con una ley de 0.17% a 0.43% de Cobre y de 0.004% 0.0055% de Molibdeno y el Mineral con una ley superior 0.43% de Cobre y de 0.0055% de Molibdeno, que se procesa en la Planta Concentradora por el sistema de Flotación para el Beneficio de Minerales.

Los trabajos de perforación de 1996 al año 2000 se llevaban a cabo con 6 máquinas de perforación rotaria, 4 máquinas Bucyrus Erie 60 R, 1 máquina PH 70 y 1 máquina PH 100 B. A partir del año 2001 se integró 1 máquina más al inventario de perforadoras, es una máquina Bucyrus Erie 49 R.

Se perfora a un diámetro de 31.12 cm (12 ¼" pulg.) y la profundidad de barrenación es de 17 m, con un patrón de barrenación de 11 m * 9 m rectangular.

Para obtener el máximo rendimiento o la mayor cantidad de metros perforados al menor costo, se requieren buenas prácticas en las operaciones de perforación.

Como se mencionó, la mayoría de los equipos de perforación rotaria en la minería a cielo abierto en nuestro país son muy antiguos; esto encarece los costos de operación, ya que los equipos presentan fallas mecánicas que afectan directamente el desempeño de las herramientas, equipos y operaciones de perforación.

Los aspectos mecánicos o de mantenimiento más comunes que afectan directamente a las herramientas, equipos y operaciones de perforación son:

- a. Falla en los sistemas de nivelación de la máquina. Si el equipo de perforación no se encuentra correctamente nivelado, la sarta de perforación trabaja de manera excéntrica y la fuerza sobre la barrena se transmite de manera ineficiente.
- b. Falla en los elementos de agarre del cabezal. El cabezal se desliza a medida que se ejerce fuerza sobre la barrena, sobre 2 soportes paralelos en la torre de la máquina de perforación. Cuando los elementos de agarre del cabezal se desgastan, el cabezal se mueve de manera desnivelada; es decir, un extremo del cabezal tiene más tensión que el otro. Esto genera que toda la sarta de perforación trabaje de manera excéntrica.
- c. Fugas de aire y agua en los sellos del cabezal. Si el aire comprimido se fuga a través de las líneas de conducción, existirá una baja del caudal y presión del aire comprimido, provocando insuficiencia de aire para limpiar y enfriar la herramienta de perforación además de no poder sacar el recorte generado a la superficie, provocando que la broca pierda velocidad de penetración.
- d. Falla en los manómetros de cabina. Si los indicadores y manómetros de cabina no trabajan correctamente, el operador no podrá establecer o relacionar que fuerza estará usando para perforar, no podrá saber que velocidad de rotación tiene para saber si la broca tricónica está trabajando con los valores recomendados o necesarios para la zona que esté perforando, no podrá tampoco; saber si la presión del aire está dentro de los rangos mínimos para garantizar la correcta limpieza, lubricación y enfriamiento de los baleros de la broca tricónica y no sabrá que cantidad de agua está inyectando para abatir los polvos que se generan durante la perforación.

Con la finalidad de evaluar el desempeño de las operaciones de perforación, se utilizan diferentes índices de comparación como los metros perforados, horas trabajadas, velocidad de penetración y el precio de compra de las herramientas utilizadas. El empleo de estos índices, como únicos indicadores de desempeño no es adecuado, en términos generales lo más adecuado es tomar en cuenta otro factor de importancia como la velocidad de penetración que incide directamente en el costo por metro perforado.

El objetivo de evaluar el desempeño de las operaciones de perforación es mejorarlas hasta alcanzar el valor óptimo factible; es decir, buscar la obtención del costo mínimo de perforación sin sacrificar la seguridad y productividad de las operaciones, cumplir simultáneamente con todas las especificaciones de las perforaciones mismas y observar las restricciones que pudieran existir.

En México, no termina de aceptarse o de usarse el mejor índice de evaluación que es el Costo Real de Perforación, por ello se propone el siguiente análisis en los costos de perforación.

Para poder llevarlo a cabo, se tomaron en cuenta a las 4 marcas de brocas tricónicas disponibles que Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad ha utilizado durante el período 1996 a 2003. A estas marcas se les denominará como A, B, C, y D; ya que el objetivo principal es evaluar los costos de perforación y no las marcas de brocas tricónicas. Los precios en dólares americanos que han tenido las marcas de brocas tricónicas durante el período de análisis, se mencionan en la Tabla No. 6.

Tabla No. 6 – Precios en dólares americanos de las diferentes marcas de brocas tricónicas

	A	B	C	D
	31.12 cm (12 ¼ pulg.)			
1996	2,365.00	2,687.50	2,150.00	2,257.50
1997	2,365.00	2,687.50	2,150.00	2,257.50
1998	2,365.00	2,687.50	2,150.00	2,257.50
1999	2,526.70	2,871.25	2,297.00	2,411.85
2000	2,526.70	2,871.25	2,297.00	2,411.85
2001	2,526.70	2,871.25	2,297.00	2,411.85
2002	2,578.40	2,930.00	2,344.00	2,461.20
2003	2,578.40	2,930.00	2,344.00	2,461.20

IV. 2 Comentarios acerca de los rendimientos de brocas tricónicas – Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad

En la Tabla No. 7 – Resumen histórico de rendimientos por marca de broca, se observa que de 1996 al 2003 se han utilizado 864 brocas tricónicas de 31.12 cm (12 ½ pulg.), ellas han perforado 3'488,533 m en 168,359.88 hr para una velocidad de penetración de 20.72 m / hr, esta tabla es obtenida a partir del Apéndice No. 1 – Historia de rendimientos por marca de broca. Asimismo de este mismo apéndice; para 1996 se tienen los siguientes comentarios:

- a. Se usaron 58 brocas; 54.72% fueron de la marca A, la cual perforó 224,753 m en 10,840 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.73 m / hr. Cada una de las 58 brocas de la marca A en promedio perforó 3,875.05 m en 186.90 hr.
- b. De la marca B, se usaron 10 brocas (9.43% del consumo anual), perforaron 40,416 m en 1,983 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.38 m / hr. Cada una de las 10 brocas perforó en promedio 4,41.46 m en 198.30 hr.
- c. De la marca C, se usaron 38 brocas (35.85% del consumo anual), perforaron 153,948 m en 7261.50 hr para una velocidad de penetración promedio de 21.20 m / hr. Cada una de las 38 brocas perforó en promedio 4,051.26 m en 191.09 hr.

Tabla No. 7 - Resumen histórico de rendimientos por marca de broca

		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	TOTAL	
A	Número de Brocas	58	39	40	40	18	47	60	34	336	
	Rendimiento (m)	224,753.00	178,573.00	187,948.00	155,724.00	86,675.00	170,485.00	237,913.00	142,863.00	1,364,934.00	
	(hr)	10,840.00	8,561.00	9,459.00	8,307.00	3,710.00	8,221.00	11,281.00	5,848.00	66,227.00	
	Global (m/hr)	20.73	20.86	19.87	18.75	17.97	20.74	21.09	24.43	20.61	
	Rendimiento (m)	3,875.05	4,578.79	4,598.70	3,893.10	3,704.17	3,627.34	3,965.22	4,201.85	4,062.30	
(hr)	186.90	219.51	236.48	207.68	208.11	174.91	188.02	172.00	197.10		
Promedio (m/hr)	20.73	20.86	19.87	18.75	17.97	20.74	21.09	24.43	20.61		
B	Número de Brocas	10	10	35	10	0	0	10	20	95	
	Rendimiento (m)	40,416.00	46,013.00	153,820.00	35,407.00	0.00	0.00	37,815.00	74,411.00	387,882.00	
	(hr)	1,983.00	2,190.00	7,972.00	1,890.00	0.00	0.00	1,813.00	3,290.00	19,128.00	
	Global (m/hr)	20.38	21.01	19.30	18.83	0.00	0.00	20.86	22.62	20.28	
	Rendimiento (m)	4,041.60	4,601.30	4,394.86	3,540.70	0.00	0.00	3,781.50	3,720.55	4,082.97	
(hr)	198.30	219.00	227.77	188.00	0.00	0.00	181.30	164.50	201.35		
Promedio (m/hr)	20.38	21.01	19.30	18.83	0.00	0.00	20.86	22.62	20.28		
C	Número de Brocas	38	61	32	58	47	54	36	37	363	
	Rendimiento (m)	153,948.00	286,135.00	148,478.00	227,721.00	184,040.00	193,069.00	140,864.00	148,920.00	1,483,275.00	
	(hr)	7,261.50	13,280.59	7,327.46	12,059.55	10,256.81	8,873.89	6,022.40	5,446.50	70,528.70	
	Global (m/hr)	21.20	21.55	20.26	18.88	17.94	21.76	23.41	27.34	21.03	
	Rendimiento (m)	4,051.26	4,650.74	4,639.94	3,926.22	3,915.74	3,575.35	3,915.67	4,024.86	4,086.16	
(hr)	191.09	217.71	228.98	207.92	218.23	184.33	167.29	147.20	194.29		
Promedio (m/hr)	21.20	21.55	20.26	18.88	17.94	21.76	23.41	27.34	21.03		
D	Número de Brocas	0	0	0	0	43	17	10	0	70	
	Rendimiento (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	158,428.00	55,013.00	39,001.00	0.00	252,442.00	
	(hr)	0.00	0.00	0.00	0.00	8,475.66	2,203.52	1,797.00	0.00	12,476.18	
	Global (m/hr)	0.00	0.00	0.00	0.00	18.69	24.97	21.70	0.00	20.23	
	Rendimiento (m)	0.00	0.00	0.00	0.00	3,884.37	3,236.06	3,900.10	0.00	3,606.31	
(hr)	0.00	0.00	0.00	0.00	197.11	129.62	179.70	0.00	178.23		
Promedio (m/hr)	0.00	0.00	0.00	0.00	18.69	24.97	21.70	0.00	20.23		
TOTAL	Número de Brocas	106	110	107	108	108	118	116	91	864	
	Rendimiento (m)	419,117.00	510,721.00	490,246.00	418,852.00	409,143.00	418,567.00	455,693.00	366,194.00	3,488,533.00	
	(hr)	20,084.50	24,031.59	24,758.46	22,246.55	22,442.47	19,298.41	20,913.40	14,584.50	168,359.88	
	Global (m/hr)	20.87	21.25	19.80	18.83	18.23	21.69	21.79	25.11	20.72	
	Rendimiento (m)	3,953.93	4,642.92	4,581.74	3,878.26	3,788.36	3,547.18	3,928.39	4,024.11	4,037.65	
(hr)	189.48	218.47	231.39	205.99	207.80	163.55	180.29	160.27	194.86		
Promedio (m/hr)	20.87	21.25	19.80	18.83	18.23	21.69	21.79	25.11	20.72		

d. De la marca D, no se usó nada durante este año.

Por otro lado, con ayuda del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de broca, se tiene el costo real de perforación promedio para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria en 1996 en la Tabla No. 8.

Tabla No. 8 – Costo real de perforación para 1996

No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)							
		No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. de Brocas	D
60	268.84	5	14.67	2	14.50	4	13.35	0	0.00
61	268.84	10	14.07	1	14.36	7	13.96	0	0.00
62	268.84	8	14.93	2	15.06	5	14.88	0	0.00
63	268.84	15	13.56	1	14.09	10	13.31	0	0.00
64	245.16	1	11.48	1	12.11	0	0.00	0	0.00
65	254.20	19	12.10	3	12.24	2	11.61	0	0.00
Total		58	13.42	10	13.64	38	13.10	0	0.00

Para 1997:

- Se usaron 39 brocas; 35.45% fueron de la marca A, la cual perforó 178,573 m en 8,561 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.86 m / hr. Cada una de las 39 brocas de la marca A en promedio perforó 4,578.79 m en 219.51 hr.
- De la marca B, se usaron 10 brocas (9.10% del consumo anual), perforaron 46,013 m en 2,190 hr para una velocidad de penetración promedio de 21.01 m / hr. Cada una de las 10 brocas perforó en promedio 4,601.30 m en 219 hr.
- De la marca C, se usaron 61 brocas (55.45% del consumo anual), perforaron 286,135 m en 13,280.59 hr para una velocidad de penetración promedio de 21.55 m / hr. Cada una de las 61 brocas perforó en promedio 4,690.74 m en 217.71 hr.
- De la marca D, no se usó nada durante este año.

Nuevamente, con ayuda del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de brocas, se tiene el costo real de perforación promedio para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria en el año 1997, señalado en la Tabla No. 9.

Tabla No. 9 – Costo real de perforación para 1997

		Costo Real de Perforación (\$ / m)							
No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. de Brocas	D
60	268.84	5	14.30	1	14.66	8	13.95	0	0.00
61	268.84	3	13.63	1	13.91	13	13.30	0	0.00
62	268.84	12	13.31	2	13.19	8	12.69	0	0.00
63	268.84	5	13.06	4	13.15	12	12.06	0	0.00
64	245.16	2	12.65	0	0.00	3	12.92	0	0.00
65	254.20	12	12.37	2	12.44	17	11.99	0	0.00
Total		39	13.11	10	13.24	61	12.68	0	0.00

Para 1998:

- Se usaron 40 brocas; 37.38% fueron de la marca A, la cual perforó 187,948 m en 9,459 hr para una velocidad de penetración promedio de 19.87 m / hr. Cada una de las 40 brocas de la marca A en promedio perforó 4,698.70 m en 236.48 hr.
- De la marca B, se usaron 35 brocas (32.71% del consumo anual), perforaron 153,820 m en 7,972 hr para una velocidad de penetración promedio de 19.30 m / hr. Cada una de las 35 brocas perforó en promedio 4,394.86 m en 227.77 hr.
- De la marca C, se usaron 32 brocas (29.91% del consumo anual), perforaron 148,478 m en 7,327.46 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.26 m / hr. Cada una de las 32 brocas perforó en promedio 4,39.94 m en 228.98 hr.
- De la marca D, no se usó nada durante este año.

A partir del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de brocas, se tiene el costo real de perforación promedio para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria en 1998 en la Tabla No. 10.

Tabla No. 10 – Costo real de perforación para 1998

		Costo Real de Perforación (\$ / m)							
No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. de Brocas	D
60	268.84	6	14.38	5	14.76	6	14.19	0	0.00
61	268.84	6	13.28	6	14.05	5	12.89	0	0.00
62	268.84	7	14.72	8	14.89	7	14.25	0	0.00
63	268.84	6	14.71	8	15.04	7	14.06	0	0.00
64	245.16	5	12.96	0	0.00	1	12.56	0	0.00
65	254.20	10	12.67	8	13.35	6	12.46	0	0.00
Total		40	13.72	35	14.41	32	13.60	0	0.00

Para 1999:

- a. Se usaron nuevamente 40 brocas; 37.04% fueron de la marca A, la cual perforó 155,724 m en 8,307 hr para una velocidad de penetración promedio de 18.75 m / hr. Cada una de las 40 brocas de la marca A en promedio perforó 3,893.10 m en 207.68 hr.
- b. De la marca B, se usaron 10 brocas (9.26% del consumo anual), perforaron 35,407 m en 1,880 hr para una velocidad de penetración promedio de 18.83 m / hr. Cada una de estas 10 brocas perforó en promedio 3,540.70 m en 188 hr.
- c. De la marca C, se usaron 58 brocas (53.7% del consumo anual), perforaron 227,721 m en 12,059.55 hr para una velocidad de penetración promedio de 18.88 m / hr. Cada una de las 58 brocas perforó en promedio 3,926.22 m en 207.92 hr.
- d. De la marca D, no se usó nada durante este año.

Nuevamente con ayuda del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de broca, se tiene el costo real de perforación para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria en 1999 en la Tabla No. 11.

Tabla No. 11 – Costo real de perforación para 1999

Costo Real de Perforación (\$ / m)									
No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. de Brocas	D
60	268.84	4	14.79	1	14.90	10	14.75	0	0.00
61	268.84	8	15.15	1	15.60	11	15.59	0	0.00
62	268.84	12	15.24	1	15.65	10	14.86	0	0.00
63	268.84	13	14.88	1	15.30	12	14.83	0	0.00
64	245.16	1	12.63	0	0.00	3	12.43	0	0.00
65	254.20	2	14.08	6	14.10	12	13.89	0	0.00
Total		40	14.94	10	14.61	58	14.65	0	0.00

Durante el año 2000:

- Se usaron 18 brocas; 16.67% fueron de la marca A, la cual perforó 66,675 m en 3,710 hr para una velocidad de penetración promedio de 17.97 m / hr. Cada una de las 18 brocas perforó en promedio 3,704.17 m en 206.11 hr.
- De la marca B, este año no se usó ninguna broca.
- De la marca C, se usaron 47 brocas (43.52% del consumo anual), perforaron 184,040 m en 10,256.81 hr para una velocidad de penetración promedio de 17.94 m / hr. Cada una de las 47 brocas perforó en promedio 3,915.74 m en 218.23.
- De la marca D, este año se usaron 43 brocas, 39.81% del consumo anual. Perforaron 158,428 m en 8,475.66 hr para una velocidad de penetración promedio de 18.69 m / hr. Cada una de estas 43 brocas perforó en promedio 3,684.37 m en 197.11 hr.

Nuevamente con ayuda del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de brocas, se tiene el costo real de perforación para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria en el año 2000, señalado en la Tabla No. 12.

Tabla No. 12 – Costo real de perforación para 2000

		Costo Real de Perforación (\$ / m)							
No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. de Brocas	D
60	268.84	3	15.85	0	0.00	13	15.71	7	16.84
61	268.84	2	15.11	0	0.00	4	16.60	7	13.23
62	268.84	2	15.64	0	0.00	6	15.11	8	17.73
63	268.84	6	15.52	0	0.00	12	15.08	11	15.06
64	245.16	1	14.83	0	0.00	3	14.84	0	0.00
65	254.20	4	14.91	0	0.00	9	14.40	10	13.20
Total		18	15.37	0	0.00	47	15.24	43	15.12

Durante el 2001:

- a. Este año se usaron 47 brocas; 39.83% fueron de la marca A, la cual perforó 170,485 m en 8,221 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.74 m / hr. Cada una de estas 47 brocas perforó en promedio 3,627.34 m en 174.91 hr.
- b. De la marca B, este año nuevamente no se usó ninguna broca.
- c. De la marca C, se usaron 54 brocas (45.76% del consumo anual), perforaron 193,069 m en 8,873.89 hr para una velocidad de penetración promedio de 21.76 m / hr. Cada una de estas 54 brocas perforó en promedio 3,575.35 m en 164.33 hr.
- d. De la marca D, este año se usaron 17 brocas, 14.41% del consumo anual. Perforaron 55,013 m en 2,203.52 hr para una velocidad de penetración promedio de 24.97 m / hr. Cada una de estas 17 brocas perforó en promedio 3,236.06 m en 129.62 hr.

Nuevamente con ayuda del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de brocas, se tiene el costo real de perforación para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria en el año 2001, señalado en el Tabla No. 13.

Cabe hacer notar que en este año, esta Empresa dentro de sus registros, genera una clasificación denominada " Combinadas ", esto quiere decir que las brocas que están dentro de esta clasificación, se usaron en varias máquinas de perforación rotaria; en ocasiones se usaron hasta en 3 máquinas diferentes, por ello; el costo horario de operación es sólo un promedio del costo horario de cada una de las máquinas

en operación, ya que no se tomó registro de la cantidad de metros perforados y horas trabajadas en las que las brocas trabajaron en cada máquina.

El valor de Costo Real de Perforación para esta clasificación no será confiable hasta que la Empresa modifique el registro y se sepa con exactitud los metros y horas trabajadas en la máquina respectiva en las que la broca haya trabajado.

Tabla No. 13 – Costo real de perforación para 2001

Costo Real de Perforación (\$ / m)									
No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. De Brocas	D
60	268.84	6	14.14	0	0.00	10	13.17	1	6.36
61	268.84	6	13.39	0	0.00	6	12.27	1	11.87
62	268.84	4	14.50	0	0.00	8	13.75	2	10.48
63	268.84	8	13.47	0	0.00	7	12.71	3	10.29
64	245.16	2	10.42	0	0.00	0	0.00	1	10.20
65	254.20	6	13.07	0	0.00	10	12.81	5	11.04
66	216.82	11	11.13	0	0.00	6	9.93	1	8.71
Combinadas	246.19	4	13.64	0	0.00	7	12.33	3	15.58
Total		47	12.92	0	0.00	54	12.56	17	11.23

Durante el 2002:

- Este año se usaron 60 brocas; 51.72% fueron de la marca A, la cual perforó 237,913 m en 11,281 hr para una velocidad de penetración promedio de 21.09 m / hr. Cada una de estas 60 brocas perforó en promedio 3,965.22 m en 188.02 hr.
- De la marca B, este año se usaron 10 brocas, 8.62%, perforando 37,815 m en 1,813 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.86 m / hr. Cada una de estas 10 brocas perforó en promedio 3,781.50 m en 181.30 hr.
- De la marca C, se usaron 36 brocas (31.04% del consumo anual), perforaron 140,964 m en 6,022.40 hr para una velocidad de penetración promedio de 23.41 m / hr. Cada una de estas 36 brocas perforó en promedio 3,915.67 m en 167.29 hr.

- d. De la marca D, este año se usaron 10 brocas, 8.62% del consumo anual. Perforaron 39,001 m en 1,797 hr para una velocidad de penetración promedio de 21.70 m / hr. Cada una de estas brocas perforó en promedio 3,900.10 m en 179.70 hr.

Nuevamente con ayuda del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de brocas, se tiene el costo real de perforación para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria en el año 2002, señalado en la Tabla No. 14.

También en este año, esta Empresa dentro de sus registros, continuó con la clasificación " Combinadas ", por lo tanto el valor de Costo Real de Perforación para esta clasificación no será confiable hasta que la Empresa modifique el registro y se sepa con exactitud los metros y horas trabajadas en la máquina respectiva en las que la broca haya trabajado.

Tabla No. 14 – Costo real de perforación para 2002

Costo Real de Perforación (\$ / m)									
No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. de Brocas	D
60	268.84	7	14.42	0	0.00	0	0.00	1	14.76
61	268.84	9	12.72	0	0.00	5	11.32	1	12.73
62	268.84	7	12.53	0	0.00	6	11.48	1	12.30
63	268.84	8	14.57	1	15.12	4	14.21	0	0.00
64	245.16	1	11.13	1	11.64	0	0.00	0	0.00
65	254.20	10	13.52	1	13.68	3	12.82	0	0.00
66	216.82	12	9.93	6	11.08	11	9.58	4	10.17
Combinadas	246.19	6	13.70	1	12.93	7	11.51	3	12.32
Total		60	12.79	10	11.99	36	11.30	10	11.74

Durante el 2003:

- a. Este año se usaron 34 brocas; 37.36% fueron de la marca A, la cual perforó 142,863 m en 5,848 hr para una velocidad de penetración promedio de 24.43 m / hr. Cada una de estas 34 brocas perforó en promedio 4,201.85 m en 171 hr.
- b. De la marca B, este año se usaron 20 brocas, 21.98%, perforando 74,411 m en 3,290 hr para una velocidad de penetración promedio de 22.62 m / hr. Cada una de estas 20 brocas perforó en promedio 3,720.55 m en 164.50 hr.

- c. De la marca C, se usaron 37 brocas (40.66% del consumo anual), perforaron 148,920 m en 5,446.50 hr para una velocidad de penetración promedio de 27.34 m / hr. Cada una de las 37 brocas perforó en promedio 4,024.86 m en 147.20 hr.
- d. De la marca D, este año no se usaron brocas.

Nuevamente con ayuda del Apéndice No. 2 – Producción y costo real de perforación por marca de brocas, se tiene el costo real de perforación para cada marca de brocas y para cada máquina de perforación rotaria durante el año 2003, señalado en la Tabla No. 15.

De la misma manera como ha venido ocurriendo en los registros de los últimos tres años; en este año, esta Empresa dentro de sus registros, tiene la clasificación denominada " Combinadas ", por lo tanto el valor de Costo Real de Perforación para esta clasificación no será confiable hasta que la Empresa modifique el registro y se sepa con exactitud los metros y horas trabajadas en la máquina respectiva en las que la broca haya trabajado.

Tabla No. 15 – Costo real de perforación para 2003

Costo Real de Perforación (\$ / m)									
No. De Máquina	Costo Horario de Operación (\$ / hr)	No. De Brocas	A	No. De Brocas	B	No. De Brocas	C	No. de Brocas	D
60	268.84	3	10.33	2	10.90	2	8.86	0	0.00
61	268.84	5	11.74	3	12.36	6	10.76	0	0.00
62	268.84	7	11.83	4	13.07	6	10.32	0	0.00
63	268.84	7	11.44	1	12.46	8	10.35	0	0.00
64	245.16	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
65	254.20	3	12.98	4	13.39	4	11.63	0	0.00
66	216.82	7	9.48	4	10.27	9	8.18	0	0.00
Combinadas	246.19	2	11.44	2	11.91	2	10.84	0	0.00
Total		34	11.20	20	12.10	37	9.97	0	0

IV. 3 Análisis de rendimientos de brocas tricónicas – Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. - Unidad La Caridad

a. Rotaria Bucyrus Erie 60 R – No. 60

A partir de la Tabla No. 16 – Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca en la rotaria Bucyrus Erie 60 R No. 60; durante el periodo analizado, 1996 a 2003; esta máquina de perforación

Tabla No. 16 - Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca
Rotaria Bucyrus Erie 60 R - No. 60

Año	Marca	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
			(m)	(hr)	(m)	(hr)						
1	A	5	20,053.00	1,050.00	4,010.80	210.00	19.10	4,437,424.09	887,484.82	4,226.12	14.67	0.59
9	B	2	8,396.00	433.00	4,198.00	216.50	19.39	1,857,907.18	928,953.59	4,290.78	14.50	0.64
9	C	4	23,800.00	1,149.50	5,950.00	287.38	20.70	5,266,578.24	1,316,844.58	4,581.63	13.35	0.36
6	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	11	52,249.00	2,632.50	4,749.91	239.32	19.85	11,561,909.52	1,051,082.68	4,391.99	14.16	0.52	
1	A	5	26,558.00	1,369.00	5,311.60	273.80	19.40	5,876,881.72	1,175,376.34	4,292.83	14.30	0.45
9	B	1	5,117.00	269.00	5,117.00	269.00	19.02	1,132,314.32	1,132,314.32	4,209.35	14.66	0.53
9	C	8	45,577.00	2,300.39	5,897.13	287.55	19.81	10,085,497.33	1,260,687.17	4,384.26	13.95	0.38
7	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	14	77,252.00	3,938.39	5,518.00	281.31	19.52	17,094,693.37	1,221,049.53	4,340.53	14.13	0.41	
1	A	6	27,153.00	1,400.00	4,525.50	233.33	19.40	6,008,546.17	1,001,424.36	4,291.82	14.38	0.52
9	B	5	22,006.00	1,158.00	4,401.20	231.60	19.00	4,869,593.31	973,918.66	4,205.18	14.76	0.61
9	C	6	27,421.00	1,399.05	4,570.17	233.18	19.60	6,067,850.50	1,011,308.42	4,337.12	14.19	0.47
8	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	17	76,580.00	3,957.05	4,604.71	232.77	19.35	16,945,989.98	996,822.94	4,282.48	14.42	0.53	
1	A	4	16,027.00	844.00	4,006.75	211.00	18.99	3,546,531.49	886,632.87	4,202.05	14.79	0.63
9	B	1	4,053.00	214.00	4,053.00	214.00	18.94	896,867.29	896,867.29	4,190.97	14.90	0.71
9	C	10	39,472.00	2,079.75	3,947.20	207.98	18.98	8,734,553.63	873,455.36	4,199.81	14.75	0.58
9	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	15	59,552.00	3,137.75	3,970.13	209.18	18.98	13,177,952.41	878,630.16	4,199.81	14.77	0.60	
2	A	3	11,111.00	627.00	3,703.67	209.00	17.72	2,458,695.41	819,565.14	3,921.36	15.85	0.68
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	13	49,772.00	2,798.28	3,828.82	215.25	17.79	11,013,787.07	847,214.39	3,935.91	15.71	0.60
9	D	7	24,691.00	1,483.85	3,527.29	211.98	16.64	5,463,743.00	780,534.71	3,682.14	16.84	0.68
Total	23	85,574.00	4,909.13	3,720.61	213.44	17.43	18,936,225.48	823,314.15	3,857.35	16.07	0.64	
2	A	6	24,579.00	1,236.00	4,096.50	206.00	19.89	5,438,959.10	906,493.18	4,400.45	14.14	0.62
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	10	39,032.00	1,826.41	3,903.20	182.64	21.37	8,637,188.31	863,718.83	4,729.05	13.17	0.59
1	D	1	2,907.00	59.85	2,907.00	59.85	48.57	643,274.91	643,274.91	10,748.12	6.36	0.83
Total	17	66,518.00	3,122.26	3,912.82	183.66	21.30	14,719,422.33	866,848.37	4,714.35	13.11	0.61	
2	A	7	28,406.00	1,457.00	4,058.00	208.14	19.50	6,285,816.03	897,973.72	4,314.22	14.42	0.64
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	D	1	4,100.00	216.00	4,100.00	216.00	18.98	907,267.68	907,267.68	4,200.31	14.76	0.60
Total	8	32,506.00	1,673.00	4,063.25	209.13	19.43	7,193,083.71	899,135.46	4,299.51	14.46	0.63	
2	A	3	20,262.00	750.00	6,754.00	250.00	27.02	4,483,672.62	1,494,557.54	5,978.23	10.33	0.38
0	B	2	10,672.00	411.00	5,336.00	205.50	25.97	2,361,551.39	1,180,775.69	5,745.67	10.90	0.55
0	C	2	14,382.00	456.53	7,191.00	228.27	31.50	3,182,517.99	1,591,259.00	6,971.10	8.86	0.33
3	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	7	45,316.00	1,617.53	6,473.71	231.08	28.02	10,027,742.00	1,432,534.57	6,199.42	10.07	0.41	
Gran Total	112	495,547.00	24,987.61	4,424.53	223.10	19.83	109,657,018.79	979,080.52	4,388.46	14.28	0.56	

No. de Brocas	Año	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
A	39	174,149.00	8,733.00	4,465.36	223.92	19.94	38,536,526.64	988,116.07	4,412.75	14.22	0.57
B	11	50,244.00	2,485.00	4,567.84	225.91	20.22	11,118,233.48	1,010,748.50	4,474.14	14.01	0.61
C	53	239,458.00	12,009.91	4,518.04	226.60	19.94	52,987,973.07	999,773.08	4,412.02	14.18	0.52
D	9	31,898.00	1,759.70	3,522.00	195.52	18.01	7,014,285.59	779,365.07	3,966.07	15.44	0.69
Gran Total	112	495,547.00	24,987.61	4,424.53	223.10	19.83	109,657,018.79	979,080.52	4,388.46	14.28	0.56

ha utilizado 112 brocas, perforando 495,547 m en 24,987.61 hr para tener una velocidad de penetración promedio de 19.83 m / hr. En promedio cada una de estas 112 brocas ha perforado 4,424.53 m en 223.10 hr.

Estos valores permiten calcular que lo que esta máquina ha perforado, permitió producir 109'657,018.79 ton de roca y que en promedio cada broca contribuyó con 979,080.52 ton. Así mismo cada broca tuvo una productividad de 4,388.46 ton / hr. El costo real de perforación de esta máquina es de 14.28 dólares americanos / m.

Lamentablemente, nunca se usó el **costo real de perforación**, ya que el uso de diversas marcas sin lógica, análisis o planeación aparente resultó en los valores obtenidos. La marca A con 14.22, la marca B con 14.01, la marca C con 14.18 y la marca D con 15.44 dólares americanos por metro perforado.

El número de brocas usadas de la marca A y C, permiten asumir que su rendimiento será con la tendencia que durante este período han tenido, es decir; 14.22 dólares americanos / m para la marca A y 14.18 dólares americanos / m para la marca C. Para las marcas B y C, no se puede asumir ninguna tendencia aun; sin embargo, se aprecia que la marca B tiene el mejor costo por metro perforado en 11 brocas usadas, 14.01 dólares americanos / m. *Lo anterior, debió motivar el uso de un mayor número de brocas de esta marca*, circunstancia que no se aprecia en el historial de esta máquina, por no haber evaluado correctamente.

Marca A		Marca B	
Rendimiento (m)	4,465.36	Rendimiento (m)	4,567.64
Costo Máquina (\$ / hr)	268.84	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	19.94	V. de Penetración (m / hr)	20.22
Costo Real de Perforación (\$ / m)	14.22	Costo Real de Perforación (\$ / m)	14.01
Marca C		Marca D	
Rendimiento (m)	4,518.04	Rendimiento (m)	3,522.00
Costo Máquina (\$ / hr)	268.84	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	19.94	V. de Penetración (m / hr)	18.01
Costo Real de Perforación (\$ / m)	14.18	Costo Real de Perforación (\$ / m)	15.44

Los resultados en la rotaria 60, muestran que con la marca B, se pudo tener un ahorro potencial de 0.17 dólares americanos / m, con respecto a la marca C. En un programa de 495,547 m perforados, representaba \$ 84,243 dólares americanos de ahorro potencial en Costos de Perforación en comparación con la marca C que fue la de mayor uso en esta máquina de 1996 a 2003.

Esto se debe a que el rendimiento en metros y sobre todo, la velocidad de penetración en la marca D, son las de mejor registro para esta máquina.

b. Rotaria Bucyrus Erie 60 R – No. 61

A partir de la Tabla No. 17 – Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca en la rotaria Bucyrus Erie 60 R No. 61; de 1996 a 2003; en esta máquina de perforación se han utilizado 127 brocas, perforando 580,333 m en 27,826.93 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.86 m / hr. En promedio cada una de estas 127 brocas ha perforado 4,569.55 m en 219.11 hr.

Estos valores permiten calcular que lo que esta máquina ha perforado, permitió producir 128'418,871.84 ton de roca y que en promedio cada broca contribuyó con 1'011,172.22 ton. Así mismo cada broca tuvo una productividad de 4,614.91 ton / hr. El costo real de perforación de esta máquina es de 13.52 dólares americanos / m.

Nuevamente no se usó el **costo real de perforación**, ya que el uso de diversas marcas sin lógica, análisis o planeación aparente resultó en los valores obtenidos. La marca A con 13.60, la marca B con 13.77, la marca C con 13.47 y la marca D con 13.02 dólares americanos / m.

Como en la máquina anterior, el número de brocas usadas de la marca A y C, permiten asumir que su rendimiento será con la tendencia que durante este período han tenido, es decir, 13.60 dólares americanos / m para la marca A y 13.47 dólares americanos / m para la marca C.

Para las marcas B y C, no se puede asumir ninguna tendencia aun; sin embargo, se aprecia que la marca D tiene el mejor costo por metro perforado en 9 brocas usadas, 13.02 dólares americanos / m. *Lo anterior, debió motivar el uso de un mayor número de brocas de esta marca*, circunstancia que no se aprecia en el historial de esta máquina, por no haber evaluado correctamente. Además de que para el 2003, la marca D no está vigente en el mercado.

Otro punto que se debió apreciar fue la inutilidad de usar brocas de la marca B, ya que desde 1996; las pocas brocas usadas no manifestaban ningún tipo de tendencia favorable para justificar su uso.

Marca A		Marca B	
Rendimiento (m)	4,429.47	Rendimiento (m)	4,482.83
Costo Máquina (\$ / hr)	268.64	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	20.73	V. de Penetración (m / hr)	20.42
Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.60	Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.77

Tabla No. 17 - Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca
Rotaria Bucyrus Erie 60 R - No. 61

Año	Marca	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
			(m)	(hr)	(m)	(hr)						
1	A	10	39,179.00	1,963.00	3,917.90	196.30	19.96	8,669,717.18	866,971.72	4,416.57	14.07	0.60
9	B	1	4,026.00	205.00	4,026.00	205.00	19.64	890,892.60	890,892.60	4,345.82	14.36	0.67
9	C	7	27,149.00	1,353.40	3,878.43	193.34	20.06	6,007,661.04	858,237.29	4,438.94	13.96	0.55
6	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		18	70,354.00	3,621.40	3,908.56	196.63	19.98	15,668,270.82	864,903.93	4,421.06	14.04	0.59
1	A	3	11,269.00	545.00	3,756.33	181.67	20.68	2,493,658.41	831,219.47	4,575.52	13.63	0.63
9	B	1	3,691.00	181.00	3,691.00	181.00	20.39	816,782.20	816,782.20	4,512.50	13.91	0.73
9	C	13	50,804.00	2,410.00	3,908.00	185.38	21.08	11,242,152.98	864,781.00	4,664.79	13.30	0.55
7	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		17	66,764.00	3,136.00	3,868.47	184.47	20.97	14,552,573.59	856,033.74	4,640.49	13.39	0.67
1	A	6	29,825.00	1,420.00	4,970.83	236.67	21.00	6,599,819.16	1,099,989.86	4,647.76	13.28	0.48
9	B	6	30,006.00	1,508.00	5,001.00	251.33	19.90	6,639,871.71	1,106,645.28	4,403.10	14.05	0.54
9	C	5	25,840.00	1,198.99	5,168.00	239.80	21.55	5,717,999.23	1,143,599.85	4,799.01	12.89	0.42
8	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		17	85,671.00	4,126.99	5,039.47	242.76	20.76	18,967,690.10	1,115,158.24	4,593.59	13.44	0.48
1	A	8	32,944.00	1,781.00	4,118.00	222.63	18.50	7,290,006.45	911,250.81	4,093.21	15.15	0.61
9	B	1	3,700.00	204.00	3,700.00	204.00	18.14	818,753.76	818,753.76	4,013.50	15.60	0.78
9	C	11	45,375.00	2,537.88	4,125.00	230.72	17.88	10,040,797.80	912,799.80	3,956.37	15.59	0.56
9	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		20	82,019.00	4,522.88	4,100.95	226.14	18.13	18,149,568.01	907,477.90	4,012.83	15.41	0.59
2	A	2	8,805.00	478.00	4,402.50	238.00	18.50	1,948,412.66	974,206.33	4,093.30	15.11	0.57
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	4	17,115.00	1,022.57	4,278.75	255.64	16.74	3,787,289.35	946,822.34	3,703.70	16.60	0.54
0	D	7	41,869.00	1,998.04	5,981.29	285.43	20.96	9,264,973.29	1,323,567.61	4,637.03	13.23	0.40
Total		13	67,789.00	3,496.61	5,214.54	268.97	19.39	15,000,675.31	1,153,898.10	4,290.06	14.56	0.47
2	A	6	25,748.00	1,226.00	4,291.33	204.33	21.00	5,697,641.03	949,606.84	4,647.34	13.39	0.59
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	6	35,037.00	1,547.90	5,839.50	257.98	22.84	7,753,155.54	1,292,192.59	5,008.83	12.27	0.39
1	D	1	4,743.00	200.41	4,743.00	200.41	23.67	1,049,553.81	1,049,553.81	5,237.03	11.87	0.51
Total		13	66,528.00	2,974.31	5,040.62	228.79	22.03	14,600,360.37	1,116,411.57	4,875.20	12.76	0.49
2	A	9	46,701.00	2,123.00	5,189.00	235.89	22.00	10,334,221.44	1,148,246.83	4,867.74	12.72	0.50
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	5	27,132.00	1,098.90	5,426.40	219.78	24.69	6,003,899.19	1,200,779.84	5,463.55	11.32	0.43
2	D	1	4,967.00	227.00	4,967.00	227.00	21.97	1,103,547.30	1,103,547.30	4,861.44	12.73	0.49
Total		15	78,820.00	3,448.90	5,254.67	229.93	22.85	17,441,667.94	1,162,777.86	5,067.17	12.25	0.48
2	A	5	22,573.00	938.00	4,514.60	187.60	24.07	4,995,061.79	999,012.36	5,325.23	11.74	0.57
0	B	3	12,371.00	536.00	4,123.67	178.67	23.08	2,737,514.26	912,504.75	5,107.30	12.36	0.71
0	C	6	29,444.00	1,125.84	4,907.33	187.64	26.15	6,515,509.85	1,085,918.28	5,787.24	10.76	0.48
3	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		14	64,388.00	2,599.84	4,599.14	185.70	24.77	14,248,085.70	1,017,720.41	5,480.37	11.45	0.56
Gran Total		127	580,333.00	27,826.93	4,669.55	219.11	20.86	128,418,871.84	1,011,172.22	4,614.91	13.52	0.53

	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
A	49	217,044.00	10,472.00	4,429.47	213.71	20.73	48,028,538.13	980,174.25	4,586.38	13.60	0.57
B	12	53,794.00	2,634.00	4,482.83	219.50	20.42	11,903,794.53	991,982.88	4,519.28	13.77	0.63
C	57	257,896.00	12,295.48	4,524.49	215.71	20.97	57,068,464.78	1,001,201.14	4,841.42	13.47	0.50
D	9	51,599.00	2,425.45	5,733.22	269.49	21.27	11,418,074.40	1,268,674.93	4,707.61	13.02	0.42
Gran Total		127	580,333.00	27,826.93	4,669.55	219.11	128,418,871.84	1,011,172.22	4,614.91	13.52	0.53

Marca C		Marca D	
Rendimiento (m)	4,524.49	Rendimiento (m)	5,733.22
Costo Máquina (\$ / hr)	268.84	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	20.97	V. de Penetración (m / hr)	21.27
Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.47	Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.02

Los resultados en esta máquina, muestran que con la marca D, se pudo tener un ahorro potencial de 0.58 dólares americanos / m con respecto a la marca A. Sin embargo, como la marca D no está disponible en el mercado, la marca C es la que debe usarse en mayor cantidad ya que representa un ahorro potencial de 0.13 dólares americanos / m con respecto a la marca A. En un programa de 580,333 m perforados, con respecto a la marca A, existió un ahorro potencial de \$ 75,443.29 dólares americanos.

Nuevamente los valores obtenidos, son debido a que el rendimiento en metros y sobre todo, la velocidad de penetración en la marca D, son las de mejor registro para esta máquina.

c. Rotaria Bucyrus Erie 60 R – No. 62

De la Tabla No. 18 – Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca en la rotaria Bucyrus Erie 60 R No. 62; de 1996 a 2003; en esta máquina de perforación se han utilizado 143 brocas, perforando 567,311 m en 27,934.34 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.31 m / hr. En promedio cada una de las 143 brocas perforó 3,967.21 m en 195.35 hr.

Estos valores permiten calcular que lo que esta máquina ha perforado, permitió producir 125'537,301.17 ton de roca y que en promedio cada broca contribuyó con 877,883.33 ton. Así mismo cada broca tuvo una productividad de 4,494.01 ton / hr. El costo real de perforación de esta máquina es de 13.98 dólares americanos / m.

Nuevamente no se usó el **costo real de perforación**, ya que el uso de diversas marcas sin lógica, análisis o planeación aparente resultó en los valores obtenidos. La marca A con 13.98, la marca B con 14.33, la marca C con 13.50 y la marca D con 15.92 dólares americanos / m.

Como en la máquina anterior, el número de brocas usadas de la marca A y C, permiten asumir que su rendimiento será con la tendencia que durante este período han tenido, es decir, 13.98 dólares americanos / m para la marca A y 13.50 dólares americanos / m para la marca C. Para las marcas B y D, no se puede asumir ninguna tendencia clara aun.

Tabla No. 18 - Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca
Rotaria Bucyrus Erie 60 R - No. 62

Año	Marca	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio			Global	Promedio			
			(m)	(hr)	(m)	(hr)		(ton)	(ton)			
1	A	8	24,369.00	1,263.00	3,046.13	160.38	18.99	5,392,489.29	674,061.16	4,203.03	14.93	0.78
9	B	2	5,999.00	316.00	2,999.50	158.00	18.98	1,327,487.52	663,743.76	4,200.91	15.06	0.90
9	C	5	14,212.00	746.50	2,842.40	149.30	19.04	3,144,899.58	628,979.92	4,212.86	14.88	0.76
6	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		15	44,580.00	2,345.50	2,972.00	166.37	19.01	9,864,876.38	657,658.43	4,205.87	14.93	0.79
1	A	12	52,778.00	2,508.00	4,396.17	209.00	21.04	11,678,969.17	973,247.43	4,656.69	13.31	0.54
9	B	2	8,908.00	417.00	4,453.00	208.50	21.36	1,970,762.43	985,381.21	4,726.05	13.19	0.80
9	C	8	37,230.00	1,893.31	4,653.75	211.66	21.99	8,238,433.10	1,029,804.14	4,885.28	12.69	0.46
7	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		22	98,914.00	4,618.31	4,496.09	209.92	21.42	21,888,164.71	994,916.58	4,739.43	13.07	0.82
1	A	7	27,918.00	1,467.00	3,988.29	209.57	19.03	6,177,829.05	882,547.01	4,211.20	14.72	0.59
9	B	8	32,961.00	1,745.00	4,120.13	218.13	18.89	7,293,768.29	911,721.04	4,179.81	14.89	0.65
9	C	7	29,206.00	1,492.37	4,172.29	213.20	19.57	6,462,843.87	923,263.41	4,330.59	14.25	0.52
8	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		22	90,085.00	4,704.37	4,094.77	213.84	19.15	19,934,441.21	906,110.96	4,237.43	14.63	0.59
1	A	12	47,844.00	2,600.00	3,987.00	216.67	18.40	10,587,149.97	882,262.50	4,071.98	15.24	0.63
9	B	1	4,100.00	228.00	4,100.00	228.00	17.98	907,267.68	907,267.68	3,979.24	15.65	0.70
9	C	10	40,086.00	2,130.39	4,008.60	213.04	18.82	8,870,422.49	887,042.25	4,163.76	14.86	0.57
9	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		23	92,030.00	4,968.39	4,001.30	216.68	18.56	20,364,840.14	886,427.83	4,107.15	15.09	0.61
2	A	2	7,234.00	402.00	3,617.00	201.00	18.00	1,600,774.24	800,387.12	3,982.03	15.65	0.70
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	6	22,819.00	1,231.00	3,803.17	205.17	18.54	5,049,497.85	841,582.98	4,101.95	15.11	0.60
0	D	8	25,721.00	1,624.16	3,215.13	203.02	15.84	5,691,666.34	711,458.29	3,504.38	17.73	0.75
Total		16	55,774.00	3,267.16	3,495.88	203.57	17.12	12,341,938.44	771,371.15	3,789.17	16.49	0.69
2	A	4	14,395.00	739.00	3,598.75	184.75	19.48	3,185,394.70	795,348.67	4,310.41	14.50	0.70
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	8	28,543.00	1,391.09	3,567.88	173.89	20.52	6,316,132.05	789,516.51	4,540.42	13.75	0.64
1	D	2	9,571.00	355.08	4,785.50	177.54	26.95	2,117,916.82	1,058,958.41	5,984.62	10.48	0.50
Total		14	52,509.00	2,485.17	3,760.64	177.51	21.13	11,619,443.56	829,960.25	4,675.51	13.50	0.64
2	A	7	34,095.00	1,522.00	4,870.71	217.43	22.40	7,544,705.26	1,077,815.04	4,957.10	12.53	0.53
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	6	30,379.00	1,244.40	5,063.17	207.40	24.41	6,722,410.84	1,120,401.82	5,402.13	11.48	0.46
2	D	1	4,264.00	186.00	4,264.00	186.00	22.92	943,558.39	943,558.39	5,072.89	12.30	0.58
Total		14	68,738.00	2,952.40	4,809.86	210.89	23.28	15,210,674.58	1,086,476.76	5,161.97	12.06	0.50
2	A	7	28,896.00	1,204.00	4,128.00	172.00	24.00	6,394,245.58	913,463.65	5,310.84	11.83	0.62
0	B	4	12,869.00	582.00	3,217.25	145.50	22.11	2,847,714.09	711,928.52	4,892.98	13.07	0.91
0	C	6	22,916.00	827.04	3,819.33	137.84	27.71	5,070,962.48	845,160.41	6,131.46	10.32	0.61
3	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		17	64,681.00	2,613.04	3,804.76	163.71	24.75	14,312,922.15	841,936.60	5,477.50	11.59	0.69
Gran Total		143	567,311.00	27,934.34	3,967.21	195.35	20.31	125,537,301.17	877,883.22	4,494.01	13.98	0.62

	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global	Promedio			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)		(ton)	(ton)			
A	59	237,529.00	11,725.00	4,025.92	198.73	20.26	52,561,557.26	890,873.85	4,482.86	13.98	0.62
B	17	84,835.00	3,288.00	3,813.82	193.41	19.72	14,347,000.01	843,941.18	4,363.44	14.33	0.74
C	56	225,391.00	10,756.10	4,024.84	192.07	20.95	49,875,602.36	890,635.76	4,636.96	13.50	0.57
D	11	39,556.00	2,165.24	3,596.00	196.84	18.27	8,753,141.55	795,740.14	4,042.57	15.92	0.69
Gran Total	143	567,311.00	27,934.34	3,967.21	195.35	20.31	125,537,301.17	877,883.22	4,494.01	13.98	0.62

Sin embargo, se aprecia que la marca C es la que mejor costo por metro perforado tiene. *Lo anterior, debió motivar el uso de un mayor número de brocas de esta marca*, circunstancia que no se aprecia en el historial de esta máquina, al usar casi el mismo número de brocas de la marca A y un número irrelevante de las marcas B y D que además resultan tener el costo por metro perforado más elevado, razón que debió ser suficiente para no seguir usando estas brocas desde 1998 para la marca B y desde el año 2000 para la marca D.

Marca A		Marca B	
Rendimiento (m)	4,025.92	Rendimiento (m)	3,813.82
Costo Máquina (\$ / hr)	268.84	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	20.26	V. de Penetración (m / hr)	19.72
Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.98	Costo Real de Perforación (\$ / m)	14.33
Marca C		Marca D	
Rendimiento (m)	4,024.84	Rendimiento (m)	3,596.00
Costo Máquina (\$ / hr)	268.84	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	20.95	V. de Penetración (m / hr)	18.27
Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.50	Costo Real de Perforación (\$ / m)	15.92

Los resultados en esta máquina, muestran que con la marca C, se pudo tener un ahorro potencial de 0.48 dólares americanos / m con respecto a la marca A. En un programa de 567,311 m perforados, hubo un ahorro potencial de \$ 272,309.28 dólares americanos.

Nuevamente los valores obtenidos, son debido a que el rendimiento en metros y sobre todo, la velocidad de penetración en la marca C, son las de mejor registro para esta máquina.

d. Rotaria Bucyrus Erie 60 R – No. 63

De la Tabla No. 19 – Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca en la rotaria Bucyrus Erie 60 R No. 63; de 1996 a 2003; en esta máquina de perforación se han utilizado 170 brocas, perforando 642,895 m en 31,062.49 hr para una velocidad de penetración promedio de 20.70 m / hr. En promedio cada una de las 170 brocas perforó 3,781.74 m en 182.72 hr.

Con los metros barrenados de esta máquina se pudo producir 142'262,891.50 ton de roca y en promedio, cada broca contribuyó con 836,840.54 ton, con una productividad de 4,579.89 ton / hr. El costo de perforación de esta máquina es de 13.75 dólares americanos / m.

**Tabla No. 19 - Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca
Rotaria Bucyrus Erie 60 R - No. 63**

Año	Marca	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
			(m)	(hr)	(m)	(hr)						
1	A	15	52,027.00	2,493.00	3,466.47	166.20	20.87	11,512,784.29	767,518.95	4,618.04	13.56	0.68
9	B	1	3,339.00	165.00	3,339.00	165.00	20.24	738,869.95	738,869.95	4,478.00	14.09	0.80
9	C	10	35,910.00	1,696.30	3,591.00	169.83	21.14	7,946,337.17	794,633.72	4,678.99	13.31	0.60
6	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		26	91,276.00	4,356.30	3,510.62	167.55	20.95	20,197,991.40	776,846.82	4,636.50	13.48	0.65
1	A	5	21,785.00	1,014.00	4,357.00	202.80	21.48	4,820,689.37	964,137.87	4,754.13	13.06	0.54
9	B	4	18,876.00	883.00	4,719.00	220.75	21.38	4,176,971.88	1,044,242.97	4,730.43	13.15	0.57
9	C	12	60,010.00	2,596.29	5,000.83	216.36	23.11	13,279,300.85	1,106,608.40	5,114.72	12.06	0.43
7	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		21	100,671.00	4,493.29	4,793.86	213.97	22.40	22,276,962.10	1,060,807.72	4,957.83	12.51	0.48
1	A	8	24,629.00	1,295.00	4,104.83	215.83	19.02	5,450,023.34	908,337.22	4,208.51	14.71	0.58
9	B	8	32,010.00	1,711.00	4,001.25	213.88	18.71	7,083,326.45	885,415.81	4,139.88	15.04	0.67
9	C	7	29,784.00	1,501.79	4,254.86	214.54	19.83	6,590,746.48	941,535.21	4,388.59	14.06	0.51
8	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		21	86,423.00	4,507.79	4,116.38	214.66	19.17	19,124,096.27	910,871.25	4,242.46	14.62	0.69
1	A	13	44,954.00	2,366.00	3,458.00	182.00	19.00	9,947,636.90	765,202.84	4,204.41	14.88	0.73
9	B	1	3,965.00	215.00	3,965.00	215.00	18.44	877,394.23	877,394.23	4,080.90	15.30	0.72
9	C	12	39,304.00	2,065.29	3,275.33	172.11	19.03	8,697,377.78	724,781.48	4,211.21	14.83	0.70
9	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		26	88,223.00	4,646.29	3,393.19	178.70	18.99	19,522,408.91	760,861.88	4,201.72	14.87	0.72
2	A	6	20,322.00	1,117.00	3,387.00	186.17	18.19	4,496,949.71	749,491.62	4,025.92	15.52	0.75
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	12	41,768.00	2,240.16	3,480.67	186.68	18.65	9,242,623.53	770,218.63	4,125.88	15.08	0.66
0	D	11	31,263.00	1,652.48	2,842.09	150.23	18.92	6,918,026.70	628,911.52	4,186.45	15.06	0.85
Total		29	93,353.00	5,009.64	3,219.07	172.75	18.53	20,657,599.93	712,331.03	4,123.57	15.16	0.75
2	A	8	30,404.00	1,448.00	3,800.50	181.00	21.00	6,727,943.06	840,992.88	4,646.37	13.47	0.66
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	7	26,027.00	1,170.44	3,718.14	167.21	22.24	5,759,379.49	822,768.50	4,920.70	12.71	0.62
1	D	3	8,908.00	313.97	2,969.33	104.66	28.37	1,971,205.00	657,068.33	6,278.32	10.29	0.81
Total		18	66,339.00	2,932.41	3,269.94	162.91	22.28	14,458,527.56	803,251.53	4,930.60	12.64	0.67
2	A	8	28,808.00	1,485.00	3,801.00	185.63	19.40	6,374,772.52	796,846.56	4,292.78	14.57	0.72
0	B	1	2,985.00	157.00	2,985.00	157.00	19.01	660,535.13	660,535.13	4,207.23	15.12	0.98
0	C	4	13,175.00	661.40	3,293.75	165.35	19.92	2,915,427.24	728,858.81	4,407.96	14.21	0.71
2	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		13	44,968.00	2,303.40	3,469.08	177.18	19.52	9,950,734.89	766,441.15	4,320.02	14.60	0.74
2	A	7	32,781.00	1,328.00	4,683.00	189.71	24.68	7,253,937.03	1,036,276.72	5,462.30	11.44	0.55
0	B	1	3,991.00	174.00	3,991.00	174.00	22.94	883,147.64	883,147.64	5,075.56	12.46	0.73
0	C	8	35,870.00	1,311.37	4,483.75	163.92	27.35	7,937,485.78	992,185.72	6,052.82	10.35	0.52
3	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		16	72,642.00	2,813.37	4,540.13	175.84	25.82	16,074,570.44	1,004,660.65	5,713.64	10.96	0.55
Gran Total		170	642,895.00	31,062.49	3,781.74	182.72	20.70	142,262,891.50	836,840.54	4,579.89	13.75	0.65

No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)	
	Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)				
	(m)	(hr)	(m)	(hr)							
A	68	255,710.00	12,546.00	3,780.44	184.50	20.38	56,584,736.21	832,128.47	4,510.18	13.94	0.67
B	16	65,166.00	3,305.00	4,072.88	206.56	19.72	14,420,245.28	901,265.33	4,363.16	14.37	0.68
C	72	281,848.00	13,245.04	3,914.56	183.96	21.28	62,368,878.31	866,231.64	4,708.83	13.39	0.59
D	14	40,171.00	1,966.45	2,869.36	140.46	20.43	8,889,231.70	634,945.12	4,520.45	14.04	0.84
Gran Total	170	642,895.00	31,062.49	3,781.74	182.72	20.70	142,262,891.50	836,840.54	4,579.89	13.74	0.65

Podría pensarse que se usó el **costo real de perforación**, ya que se han usado más brocas de la marca C con 13.39 dólares americanos / m, que es el mejor costo registrado.

Sin embargo, el uso de 68 brocas de la marca A a 13.94 dólares americanos / m y el uso de 16 brocas de la marca B y 14 brocas de la marca D por arriba de los 14.00 dólares americanos / m, nos permiten asegurar que no hubo una razón que justificara el uso de las marcas A, B y D.

En esta máquina, nuevamente los resultados de las marcas A y C, permiten asumir que su rendimiento será con la tendencia que durante este período han tenido, es decir, 13.94 dólares americanos / m para la marca A y 13.39 dólares americanos / m para la marca C.

Para las marcas B y D, no se puede asumir ninguna tendencia clara aun, pero estos resultados permiten tomar la decisión de no usar estas marcas de brocas en esta máquina.

Se aprecia que la marca C es la que mejor costo por metro perforado tiene. *Lo anterior, debió motivar el uso de un mayor número de brocas de esta marca*, circunstancia que no se aprecia en el historial de esta máquina, al usar casi el mismo número de brocas de la marca A y un número irrelevante de las marcas B y D que además resultan tener el costo por metro perforado más elevado.

Marca A		Marca B	
Rendimiento (m)	3,760.44	Rendimiento (m)	4,072.88
Costo Máquina (\$ / hr)	268.84	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	20.38	V. de Penetración (m / hr)	19.72
Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.94	Costo Real de Perforación (\$ / m)	14.37
Marca C		Marca D	
Rendimiento (m)	3,914.56	Rendimiento (m)	2,869.36
Costo Máquina (\$ / hr)	268.84	Costo Máquina (\$ / hr)	268.84
V. de Penetración (m / hr)	21.28	V. de Penetración (m / hr)	14.04
Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.39	Costo Real de Perforación (\$ / m)	14.04

Los resultados en esta máquina, muestran que con la marca C, se pudo tener un ahorro potencial de 0.55 dólares americanos / m con respecto a la marca A.

En un programa de 642,895 m perforados, hubo un ahorro potencial de \$ 353,592.25 dólares americanos.

Nuevamente los valores obtenidos, son debido a que el rendimiento en metros y sobre todo, la velocidad de penetración en la marca C, son las de mejor registro para esta máquina.

e. Rotaria PH 70 – No. 64

De la Tabla No. 20 – Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca en la rotaria PH 70 No. 64; de 1996 a 2002; en esta máquina de perforación se han utilizado 26 brocas, perforando 175,914 m en 8,868.30 hr para una velocidad de penetración promedio de 19.84 m / hr. En promedio cada una de estas 26 brocas perforó 6,765.92 m en 342.09 hr.

Con los metros barrenados de esta máquina se pudieron producir 38'927,094.31 ton de roca y en promedio, cada broca contribuyó con 1'497,195.93 ton, con una productividad de 4,389.47 ton / hr. El costo de perforación de esta máquina es de 12.62 dólares americanos / m.

En esta máquina, definitivamente no se usó el **costo real de perforación**, ya que se usaron 13 brocas de la marca A y 10 brocas de la marca C con el costo de perforación más elevado. No existe justificación alguna para haber usado estas marcas en esta máquina, ya que la marca D registró el mejor costo de perforación con 10.20 dólares americanos / m.

Es cierto que de la marca D sólo se usó una broca y fue en el año 2001 y esta máquina termino de trabajar o fue dada de baja a finales del 2002. También en 2002, la marca D desapareció del mercado. Por tal razón, debió darse oportunidad o debió de usarse un mayor número de brocas de la marca B, que es la que cuenta con el segundo mejor registro de costo de perforación, 11.88 dólares / m.

Por lo anteriormente expuesto, la marca B es la que mejor costo por metro perforado tiene. *Lo anterior, debió motivar el uso de un mayor número de brocas de esta marca*, circunstancia que no se aprecia en el historial de esta máquina.

Marca A		Marca B	
Rendimiento (m)	6,641.00	Rendimiento (m)	6,390.50
Costo Máquina (\$ / hr)	245.16	Costo Máquina (\$ / hr)	245.16
V. de Penetración (m / hr)	20.31	V. de Penetración (m / hr)	21.41
Costo Real de Perforación (\$ / m)	12.39	Costo Real de Perforación (\$ / m)	11.88
Marca C		Marca D	
Rendimiento (m)	7,105.40	Rendimiento (m)	5,746.00
Costo Máquina (\$ / hr)	245.16	Costo Máquina (\$ / hr)	245.16
V. de Penetración (m / hr)	18.74	V. de Penetración (m / hr)	25.06
Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.31	Costo Real de Perforación (\$ / m)	10.20

Tabla No. 20 - Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca
Rotaria P & H 70 - No. 64

Año	Marca	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
			(m)	(hr)	(m)	(hr)						
1	A	1	6,912.00	314.00	6,912.00	314.00	22.01	1,529,520.54	1,529,520.54	4,871.08	11.48	0.34
9	B	1	6,781.00	324.00	6,781.00	324.00	20.93	1,500,532.23	1,500,532.23	4,631.27	12.11	0.40
9	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		2	13,693.00	638.00	6,846.60	319.00	21.46	3,030,052.77	1,515,026.38	4,749.30	11.80	0.37
1	A	2	12,220.00	611.00	6,110.00	305.50	20.00	2,704,100.26	1,352,050.13	4,425.70	12.65	0.39
9	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	C	3	15,810.00	806.79	5,270.00	268.93	19.60	3,498,512.69	1,166,170.90	4,336.34	12.92	0.41
7	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		6	28,030.00	1,417.79	5,806.00	283.66	19.77	6,202,612.94	1,240,522.58	4,374.85	12.81	0.40
1	A	5	36,238.00	1,868.00	7,247.60	373.60	19.40	8,018,918.58	1,603,783.72	4,292.78	12.96	0.33
9	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	C	1	8,653.00	434.38	8,653.00	434.38	19.92	1,914,777.37	1,914,777.37	4,408.07	12.56	0.25
8	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		6	44,891.00	2,302.38	7,481.83	383.73	19.50	9,933,695.96	1,665,615.99	4,314.53	12.89	0.31
1	A	1	6,953.00	348.00	6,953.00	348.00	19.98	1,538,593.21	1,538,593.21	4,421.24	12.63	0.36
9	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	C	3	21,873.00	1,081.27	7,291.00	360.42	20.23	4,840,162.43	1,613,387.48	4,476.37	12.43	0.32
9	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		4	28,826.00	1,429.27	7,206.50	357.32	20.17	6,378,755.64	1,594,688.91	4,462.95	12.48	0.33
2	A	1	6,371.00	375.00	6,371.00	375.00	16.99	1,409,805.46	1,409,805.46	3,759.48	14.83	0.40
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	3	24,718.00	1,468.53	8,239.33	489.51	16.83	5,469,717.69	1,823,239.23	3,724.62	14.84	0.28
0	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		4	31,089.00	1,843.53	7,772.25	460.88	16.86	6,879,523.15	1,719,880.79	3,731.71	14.84	0.31
2	A	2	11,990.00	489.00	5,995.00	244.50	24.52	2,653,204.75	1,326,602.38	5,425.78	10.42	0.42
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	D	1	5,746.00	229.33	5,746.00	229.33	25.06	1,271,502.46	1,271,502.46	5,544.42	10.20	0.42
Total		3	17,736.00	718.33	5,912.00	239.44	24.89	3,924,707.21	1,308,235.74	5,463.65	10.35	0.42
2	A	1	5,649.00	246.00	5,649.00	246.00	22.96	1,250,037.84	1,250,037.84	5,081.45	11.13	0.46
0	B	1	6,000.00	273.00	6,000.00	273.00	21.98	1,327,708.80	1,327,708.80	4,863.40	11.64	0.49
0	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		2	11,649.00	519.00	5,824.50	269.50	22.45	2,577,746.64	1,288,873.32	4,966.76	11.39	0.47
2	A	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gran Total		26	175,914.00	8,868.30	6,765.92	341.09	19.84	38,927,094.31	1,497,195.93	4,389.47	12.62	0.36

	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
A	13	86,333.00	4,251.00	6,641.00	327.00	20.31	19,104,180.64	1,469,552.36	4,494.04	12.39	0.37
B	2	12,781.00	597.00	6,390.50	298.50	21.41	2,828,241.03	1,414,120.51	4,737.42	11.88	0.44
C	10	71,054.00	3,790.97	7,105.40	379.10	18.74	15,723,170.18	1,572,317.02	4,147.53	13.31	0.33
D	1	5,746.00	229.33	5,746.00	229.33	25.06	1,271,502.46	1,271,502.46	5,544.42	10.20	0.42
Gran Total	26	175,914.00	8,868.30	6,765.92	341.09	19.84	38,927,094.31	1,497,195.93	4,389.47	12.62	0.36

Los resultados de esta máquina, permiten observar con claridad la incidencia de la velocidad de penetración en el costo real de perforación; ya que no es de gran impacto el precio de la broca de perforación, ni su rendimiento en metros perforados. Por ejemplo al aumentar la velocidad de penetración de 18.74 m / hr de la marca C a 25.06 m / hr de la marca D se reduce el costo real de perforación en 3.11 dólares americanos / m.

Los resultados en esta máquina, muestran que con la marca B, se pudo tener un ahorro potencial de 1.43 dólares americanos / m con respecto a la marca C. En un programa de 175,914 m perforados, hubo un ahorro potencial de \$ 251,557.02 dólares americanos.

f. Rotaría PH 100 B – No. 65

De la Tabla No. 21 – Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca en la rotaría PH 100 B No. 65; de 1996 a 2003; en esta máquina de perforación se han utilizado 178 brocas, perforando 662,953 m en 31,543.37 hr para una velocidad de penetración promedio de 21.02 m / hr. 175,914 m en 8,868.30 hr para una velocidad de penetración de 19.84 m / hr. En promedio cada una de estas 178 brocas perforó 3,724.46 m en 177.21 hr.

Con los metros barrenados de esta máquina se pudieron producir 146'701,422.01 ton de roca y en promedio, cada broca contribuyó con 824,165.29 ton, con una productividad de 4,650.78 ton / hr. El costo de perforación de esta máquina es de 12.81 dólares americanos / m.

Al no evaluar el **costo real de perforación**, no dieron la oportunidad de usar más brocas de la marca D, aunque por las razón comerciales mencionadas en la anterior máquina; no hubiera existido oportunidad de usar esta marca. Sin embargo, en cada uno de los años analizados la marca C fue la que mejor costo de perforación registró, razón que debió mtivar el uso de esta marca y omitir usar las marcas A y B. La marca A tiene un registro de 12.81 dólares americanos / m, la maca B registra 13.34 dólares / m y la marca C, 12.70 dólares americanos / m. Por lo ateriormente expuesto, la marca C es la que mejor costo por metro perforado tiene. *Lo anterior, debió motivar el uso de un mayor número de brocas de esta marca, circunstancia que no se aprecia en el historial de esta máquina.*

Marca A		Marca B	
Rendimiento (m)	3,859.98	Rendimiento (m)	3,862.67
Costo Máquina (\$ / hr)	254.20	Costo Máquina (\$ / hr)	254.20
V. de Penetración (m / hr)	21.04	V. de Penetración (m / hr)	20.23
Costo Real de Perforación (\$ / m)	12.81	Costo Real de Perforación (\$ / m)	13.34

Tabla No. 21 - Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca
Rotaria P& H 100 - No. 65

Año	Marca	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
			(m)	(hr)	(m)	(hr)						
1	A	19	82,213.00	3,737.00	4,327.00	196.68	22.00	18,192,487.28	957,499.33	4,868.21	12.10	0.55
9	B	3	11,875.00	540.00	3,958.33	180.00	21.99	2,627,757.00	875,919.00	4,866.22	12.24	0.88
9	C	12	52,877.00	2,313.80	4,406.42	192.82	22.85	11,700,876.37	975,073.03	5,057.00	11.61	0.49
6	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		34	146,965.00	6,590.80	4,322.50	193.85	22.30	32,521,120.63	956,503.55	4,934.32	11.94	0.54
1	A	12	53,963.00	2,514.00	4,496.92	209.50	21.46	11,941,191.66	995,099.31	4,749.88	12.37	0.53
9	B	2	9,423.00	440.00	4,711.50	220.00	21.42	2,085,166.67	1,042,583.34	4,739.02	12.44	0.57
9	C	17	76,704.00	3,473.81	4,512.00	204.34	22.08	16,973,429.30	996,437.02	4,886.11	11.99	0.48
7	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		31	140,090.00	6,427.81	4,619.03	207.35	21.79	30,999,787.63	999,993.15	4,822.76	12.17	0.50
1	A	10	42,185.00	2,009.00	4,218.50	200.90	21.00	9,334,899.29	933,489.93	4,846.54	12.67	0.56
9	B	8	36,837.00	1,850.00	4,604.63	231.25	19.91	8,151,468.18	1,018,933.52	4,406.20	13.35	0.58
9	C	8	27,574.00	1,300.88	4,595.67	216.81	21.20	6,101,707.08	1,016,951.18	4,690.45	12.46	0.47
8	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		24	106,596.00	5,159.88	4,441.50	216.00	20.66	23,588,074.54	982,936.44	4,671.44	12.84	0.55
1	A	2	7,002.00	388.00	3,501.00	184.00	19.03	1,549,436.17	774,718.08	4,210.42	14.08	0.72
9	B	6	19,589.00	1,019.00	3,264.83	169.83	19.22	4,334,747.95	722,457.99	4,253.92	14.10	0.88
9	C	12	41,611.00	2,164.97	3,467.58	180.41	19.22	9,207,881.81	767,323.48	4,253.12	13.89	0.66
9	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		20	68,202.00	3,561.97	3,410.10	177.60	19.20	16,092,065.93	754,603.30	4,248.93	13.97	0.73
2	A	4	12,832.00	713.00	3,208.00	178.25	18.00	2,839,526.55	709,881.64	3,982.51	14.91	0.79
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	9	27,848.00	1,496.27	3,094.22	168.25	18.61	6,162,339.11	684,704.35	4,118.47	14.40	0.74
0	D	10	34,884.00	1,717.13	3,488.40	171.71	20.32	7,719,298.96	771,929.90	4,495.47	13.20	0.69
Total		23	75,564.00	3,926.40	3,285.39	170.71	19.25	16,721,164.63	727,007.16	4,268.65	13.97	0.73
2	A	8	15,609.00	743.00	2,601.50	123.83	21.01	3,454,034.44	575,672.41	4,648.77	13.07	0.97
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	10	22,134.00	1,025.10	2,213.40	102.51	21.59	4,897,917.76	489,791.78	4,777.99	12.81	1.04
1	D	5	12,801.00	508.54	2,560.20	101.71	25.17	2,832,666.72	566,533.34	5,570.19	11.04	0.94
Total		21	50,544.00	2,276.64	2,406.86	108.41	22.20	11,184,618.93	632,600.90	4,912.77	12.46	1.00
2	A	10	31,994.00	1,600.00	3,199.40	160.00	20.00	7,079,785.89	707,978.59	4,424.87	13.52	0.81
0	B	1	2,278.00	111.00	2,276.00	111.00	20.50	503,644.20	503,644.20	4,537.34	13.66	1.29
0	C	3	8,857.00	419.10	2,952.33	139.70	21.13	1,959,919.47	653,306.49	4,876.50	12.82	0.79
2	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		14	43,127.00	2,130.10	3,080.50	162.16	20.25	9,543,349.57	681,667.83	4,480.24	13.38	0.84
2	A	3	8,961.00	427.00	2,987.00	142.33	20.99	1,982,933.09	660,977.70	4,843.87	12.98	0.86
0	B	4	12,704.00	623.00	3,176.00	155.75	20.39	2,811,202.10	702,800.52	4,512.36	13.39	0.92
0	C	4	10,200.00	429.77	2,550.00	107.44	23.73	2,257,104.96	564,276.24	5,251.89	11.63	0.92
3	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total		11	31,865.00	1,479.77	2,898.82	134.52	21.53	7,051,240.15	641,021.83	4,765.09	12.64	0.91
Gran Total		178	662,953.00	31,543.37	3,724.46	177.21	21.02	146,701,422.01	824,165.29	4,650.78	12.81	0.68

No. de Brocas	Año	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
A	66	254,759.00	12,111.00	3,859.98	183.50	21.04	56,374,294.36	854,155.98	4,654.80	12.81	0.66
B	24	92,704.00	4,583.00	3,862.67	190.96	20.23	20,513,986.10	854,749.42	4,476.10	13.34	0.75
C	73	267,805.00	12,623.70	3,868.56	172.93	21.21	59,261,175.86	811,796.93	4,694.44	12.70	0.66
D	15	47,685.00	2,225.67	3,179.00	148.38	21.43	10,551,965.69	703,464.38	4,741.03	12.48	0.77
Gran Total		178	662,953.00	31,543.37	3,724.46	177.21	146,701,422.01	824,165.29	4,650.78	12.81	0.68

Marca C		Marca D	
Rendimiento (m)	3,668.56	Rendimiento (m)	3,179.00
Costo Máquina (\$ / hr)	254.20	Costo Máquina (\$ / hr)	254.20
V. de Penetración (m / hr)	21.21	V. de Penetración (m / hr)	21.43
Costo Real de Perforación (\$ / m)	12.70	Costo Real de Perforación (\$ / m)	12.48

Nuevamente se aprecia, tal vez no con tanta claridad como en la máquina anterior; la incidencia de la velocidad de penetración en el costo real de perforación; ya que no es de gran impacto el precio de la broca de perforación, ni su rendimiento en metros perforados. Por ejemplo al aumentar la velocidad de penetración de 21.04 m / hr de la marca A a 21.21 m / hr de la marca C se reduce el costo real de perforación en 0.11 dólares americanos / m.

Los resultados en esta máquina, muestran que con la marca C, se pudo tener un ahorro potencial de 0.11 dólares americanos / m con respecto a la marca A. En un programa de 662,953 m perforados, hubo un ahorro potencial de \$ 72,924.83 dólares americanos.

g. Rotaria Bucyrus Erie 49 R – No. 66

De la Tabla No. 22 – Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca en la rotaria Bucyrus Erie 49 R No. 66; del 2001 al 2003; en esta máquina de perforación se han utilizado 71 brocas, perforando 230,648 m en 9,736.89 hr para una velocidad de penetración de 23.69 m / hr. En promedio cada una de estas 71 brocas ha perforado 3,248.56 m en 137.14 hr.

Lo anterior es un buen ejemplo de cómo a medida que la velocidad de penetración aumenta, el rendimiento en metros perforados disminuye. Esto es un fenómeno que se presenta en todos los registros de brocas tricónicas en todas las operaciones de minado a cielo abierto en todo el mundo. Hasta el momento no hay una explicación técnica o de diseño, que diga por qué se da esta situación.

Con los metros barrenados de esta máquina se pudieron producir 51'038,896.55 ton de roca y en promedio, cada broca contribuyó con 718,857.70 ton, con una productividad de 5,241.81 ton / hr. El costo de perforación de esta máquina es de 9.91 dólares americanos / m.

Este es un buen momento para evaluar el **costo real de perforación**, de manera que se pueda determinar la marca que se usará en esta máquina de perforación y planear los trabajos en el futuro.

Tabla No. 22 - Resumen de rendimientos, producción y costos por marca de broca
Rotaria Bucyrus Erie 49 R - No. 66

Año	Marca	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
			(m)	(hr)	(m)	(hr)						
1	A	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	A	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	A	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
1	A	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	A	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	C	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	A	11	34,100.00	1,624.00	3,100.00	147.84	21.00	7,545,811.68	685,982.88	4,646.44	11.13	0.82
0	B	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0	C	6	17,867.00	755.22	2,977.83	125.87	23.86	3,953,695.52	658,949.25	5,235.16	9.93	0.77
1	D	1	3,349.00	123.62	3,349.00	123.62	27.09	741,082.80	741,082.80	5,994.85	8.71	0.72
Total	18	65,316.00	2,502.84	3,073.11	139.05	22.10	12,240,590.00	680,032.78	4,890.68	10.60	0.80	
2	A	12	41,824.00	1,774.00	3,485.33	147.83	23.58	9,255,015.48	771,251.29	5,217.03	9.93	0.74
0	B	6	21,683.00	1,028.00	3,613.83	171.33	21.09	4,798,118.32	799,686.39	4,667.43	11.08	0.81
0	C	11	34,442.00	1,403.60	3,131.09	127.62	24.53	7,621,491.08	692,862.83	5,429.19	9.58	0.75
2	D	4	13,019.00	566.00	3,254.75	141.50	23.00	2,880,906.81	720,226.70	5,089.94	10.17	0.76
Total	33	110,968.00	4,771.80	3,362.67	144.60	23.26	24,656,631.69	744,107.02	5,145.97	10.05	0.76	
2	A	7	22,400.00	897.00	3,200.00	128.14	24.97	4,956,779.52	708,111.36	5,525.95	9.48	0.81
0	B	4	13,642.00	593.00	3,410.50	148.25	23.01	3,018,767.24	754,691.81	5,080.67	10.27	0.86
0	C	9	28,322.00	972.25	3,146.89	108.03	29.13	6,267,228.11	698,358.68	6,446.11	8.18	0.74
3	D	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	20	64,364.00	2,462.25	3,218.20	123.11	26.14	14,242,774.87	712,138.74	5,784.46	9.05	0.79	
Gran Total	71	230,648.00	9,736.89	3,248.56	137.14	23.69	51,038,896.55	718,857.70	5,241.81	9.91	0.78	

	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
A	30	98,324.00	4,295.00	3,277.47	143.17	22.89	21,757,806.68	725,253.56	5,065.80	10.27	0.78
B	10	35,325.00	1,621.00	3,532.50	162.10	21.79	7,816,885.56	781,888.58	4,822.26	10.76	0.83
C	26	80,631.00	3,131.27	3,101.19	120.43	25.75	17,842,414.71	686,246.72	5,698.14	9.18	0.75
D	5	16,368.00	689.62	3,273.60	137.92	23.73	3,621,989.61	724,397.92	5,252.15	9.88	0.75
Gran Total	71	230,648.00	9,736.89	3,248.56	137.14	23.69	51,038,896.55	718,857.70	5,241.81	9.91	0.78

En en cada uno de los años analizados la marca C es la que tiene el mejor costo de perforación, 9.18 dólares americanos / m. Esto debe ser razón suficiente para *motivar el uso de un mayor número de brocas de esta marca.*

Se debería de omitir el uso de la marca A y B en esta máquina ya que tienen un costo de perforación por arriba de los 10.00 dólares americanos / m (10.27 dólares americanos para la marca A y 10.76 dólares americanos para la marca B).

Marca A		Marca B	
Rendimiento (m)	3,277.47	Rendimiento (m)	3,532.50
Costo Máquina (\$ / hr)	216.57	Costo Máquina (\$ / hr)	216.57
V. de Penetración (m / hr)	22.89	V. de Penetración (m / hr)	21.79
Costo Real de Perforación (\$ / m)	10.27	Costo Real de Perforación (\$ / m)	10.76
Marca C		Marca D	
Rendimiento (m)	3,101.19	Rendimiento (m)	3,273.60
Costo Máquina (\$ / hr)	216.57	Costo Máquina (\$ / hr)	216.57
V. de Penetración (m / hr)	25.75	V. de Penetración (m / hr)	23.73
Costo Real de Perforación (\$ / m)	9.18	Costo Real de Perforación (\$ / m)	9.88

Se puede apreciar nuevamente, la incidencia de la velocidad de penetración en el costo real de perforación, al aumentar la velocidad de penetración de 22.89 m / hr de la marca A a 25.75 m / hr de la marca C se reduce el costo real de perforación en 1.09 dólares americanos / m. En un programa de 230,648 m perforados, hubo un ahorro potencial de \$ 251,406.32 dólares americanos.

h. Combinadas

Esta clasificación de combinadas, es un registro que Mexicana de Cobre, S. A. de C. V., tiene para el control de rendimiento de las brocas que se usan; sin embargo no es representativo hasta que no se conozcan los valores correctos de rendimiento de cada broca con relación a la máquina de perforación donde trabajaron.

Un resumen histórico del costo real de perforación por marca de broca de 1996 a 2003, se puede observar en la Tabla No. 23; donde se se aprecia que la marca A tiene un registro de 13.30 dólares americanos / m, la marca B de 13.49 dólares americanos / m, la marca C con 13.02 dólares americanos / m y la marca D 13.69 dólares americanos / m.

Tabla No. 23 - Resumen de costo real de perforación por marca de broca de 1986 a 2003

Marca	No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos			Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
			Global		Promedio		Global (ton)	Promedio (ton)				
			(m)	(hr)	(m)	(hr)						
A	60	39	174,190.00	8,733.00	4,466.41	223.92	19.94	38,536,526.64	988,116.07	4,412.75	14.22	0.57
	61	49	217,044.00	2,634.00	4,482.63	219.50	20.42	48,028,538.13	991,982.88	4,596.38	13.80	0.57
	62	59	237,529.00	11,725.00	4,025.92	198.73	20.26	52,561,557.26	890,873.85	4,462.86	13.98	0.62
	63	68	255,710.00	12,546.00	3,760.44	184.50	20.38	56,594,736.21	832,128.47	4,510.18	13.94	0.67
	64	13	66,333.00	4,251.00	6,641.00	327.00	20.31	19,104,180.64	1,469,552.36	4,464.04	12.39	0.37
	65	66	254,759.00	12,111.00	3,859.98	183.50	21.04	56,374,294.38	854,155.98	4,854.80	12.81	0.66
	66	30	96,324.00	4,295.00	3,277.47	143.17	22.89	21,757,606.68	725,253.56	5,065.60	10.27	0.78
	Combinadas	12	41,086.00	2,094.00	3,423.93	174.50	19.62	9,091,707.29	757,942.27	4,341.79	13.30	0.75
	Total	336	1,364,975.00	68,389.00	4,062.43	173.78	23.38	302,039,147.21	896,926.03	5,172.88	13.30	0.63
	B	60	11	50,244.00	2,485.00	4,567.64	225.91	20.22	11,118,233.49	1,010,748.50	4,474.14	14.01
61		12	53,794.00	2,634.00	4,482.83	219.50	20.42	11,903,794.53	991,982.88	4,519.28	13.77	0.63
62		17	64,835.00	3,288.00	3,813.82	193.41	19.72	14,347,000.01	843,941.18	4,363.44	14.33	0.74
63		16	65,166.00	3,305.00	4,072.88	206.56	19.72	14,420,245.28	901,265.33	4,363.16	14.37	0.68
64		2	12,781.00	597.00	6,390.50	298.50	21.41	2,828,241.03	1,414,120.51	4,737.42	11.88	0.44
65		24	92,704.00	4,583.00	3,862.67	190.96	20.23	20,513,986.10	854,749.42	4,476.10	13.34	0.75
66		10	35,325.00	1,621.00	3,532.50	162.10	21.79	7,816,686.56	781,688.56	4,822.26	10.78	0.63
Combinadas		3	13,033.00	615.00	4,344.33	205.00	21.19	2,884,004.80	961,334.93	4,689.44	12.25	0.68
Total		95	387,882.00	19,128.00	4,082.97	201.35	20.28	85,832,390.79	903,496.86	4,487.26	13.49	0.70
C		60	53	239,456.00	12,009.91	4,518.04	226.60	19.94	52,987,973.07	999,773.07	4,412.02	14.18
	61	57	257,896.00	12,295.48	4,524.49	215.71	20.97	57,068,464.78	1,001,201.14	4,641.42	13.47	0.50
	62	56	225,391.00	10,756.10	4,024.84	192.07	20.95	49,875,602.36	890,635.76	4,636.96	13.50	0.57
	63	72	281,849.00	13,245.04	3,914.56	183.96	21.28	62,368,678.31	866,231.64	4,708.83	13.39	0.59
	64	10	71,054.00	3,790.97	7,105.40	379.10	18.74	15,723,170.18	1,572,317.02	4,147.53	13.31	0.33
	65	73	267,805.00	12,623.70	3,668.56	172.93	21.21	59,261,175.86	811,796.93	4,694.44	12.70	0.66
	66	26	80,631.00	3,131.27	3,101.19	120.43	25.75	17,842,414.71	686,246.72	5,698.14	9.18	0.75
	Combinadas	16	59,194.00	2,676.23	3,699.63	167.26	22.12	13,098,732.45	819,670.78	4,894.47	11.79	0.63
	Total	363	1,483,275.00	70,528.70	4,088.16	194.29	21.03	328,226,211.73	904,204.44	4,663.80	13.02	0.58
	D	60	9	31,698.00	1,769.70	3,522.00	195.52	18.01	7,014,265.59	779,365.07	3,996.07	15.44
61		9	51,599.00	2,425.45	5,733.22	269.49	21.27	11,418,074.40	1,288,674.93	4,707.61	13.02	0.42
62		11	39,556.00	2,165.24	3,598.00	196.84	18.27	8,753,141.55	795,740.14	4,042.57	15.92	0.69
63		14	40,171.00	1,966.45	2,869.36	140.46	20.43	8,889,231.70	634,945.12	4,520.45	14.04	0.84
64		1	5,746.00	229.33	5,746.00	229.33	25.06	1,271,502.46	1,271,502.46	5,544.42	10.20	0.42
65		15	47,685.00	2,225.67	3,179.00	148.38	21.43	10,551,965.69	703,464.38	4,741.03	12.46	0.77
66		5	16,368.00	689.62	3,273.60	137.92	23.73	3,621,989.61	724,397.92	5,252.15	9.86	0.75
Combinadas		6	19,619.00	1,014.72	3,269.83	169.12	19.33	4,341,396.49	723,564.42	4,278.41	13.95	0.81
Total		70	252,442.00	12,478.18	3,606.31	178.23	20.23	56,861,571.48	796,022.54	4,477.46	13.69	0.71
Gran Total		864	3,468,574.00	160,521.88	4,037.70	185.79	21.73	771,959,327.20	893,471.44	4,809.06	13.23	0.62

Al no realizar un análisis del mejor índice comparativo de marcas de brocas tricónicas, el Costo Real de Perforación; se ha perdido la oportunidad de tener ahorros o disminución en este costo que impacta en los Costos Operativos de esta Empresa.

De manera global, es posible decir que existió un ahorro potencial de \$ 1'361,475.99 dólares americanos, resultado obtenido a partir del ahorro potencial que en cada máquina se pudo determinar. Estos valores se detallan en la Tabla No. 24 – Ahorro potencial por máquina de 1996 a 2003; de ahí la importancia de un análisis de costo real de perforación periódico y permanente.

Tabla No. 24 – Ahorro potencial por máquina de 1996 a 2003

No. de Máquina	Ahorro Potencial (\$)
60	84,243.00
61	75,443.29
62	272,309.28
63	353,592.25
64	251,557.02
65	72,924.83
66	251,406.32
Total	1'361,475.99

Para el 2005, Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Unidad La Caridad; pretende perforar 435,000 m. Si mantiene su tendencia de usar brocas sin evaluar su desempeño en costo por metro perforado y de acuerdo a la tendencia de los registros de la Tabla No. 7; usará 109 brocas en total. De ellas serán 42 brocas para la marca A (39%), 12 brocas de la marca B (11%), 45 brocas de la marca C (42%) y 10 brocas de la marca D (8%), recordando que esta marca ya no existe en el mercado. De esta manera en la Tabla No. 25, se señala lo que esta empresa podría gastar:

Tabla No. 25 – Posible comportamiento del presupuesto de perforación y gasto para el año 2005

Marca	Presupuesto de Perforación (m)	Costo Histórico Real de Perforación (\$ / m)	Gasto (\$)
A	170,616.60	13.30	2'269,200.78
B	48,995.64	13.49	660,951.18
C	183,877.20	13.02	2'394,081.14
D	36,063.10	13.69	493,703.84
Total	439,552.54	13.23	5'817,936.94

Todos estos números hacen evidente que de manera global, la marca C tiene el mejor costo por metro perforado, razón que podría motivar la compra de sólo esta marca para las operaciones de perforación en esta Empresa, política poco probable en Grupo México; pero si esto fuera posible el gasto por comprar por marca al 100% es de: 5'785,500.00 dólares americanos para la marca A, 5'868,150.00 dólares americanos para la marca B, 5'663,700.00 dólares americanos para la marca C y 5'755,050.00 dólares americanos para la marca D. Evidente que con la marca C, se hace el menor gasto.

Para que un análisis de costos tenga efecto y sea de utilidad, habrá que conocer los planes de operación, para conocer el presupuesto que cada máquina de perforación tendrá; de manera que se evalúe el desempeño del costo de perforación por marca de brocas tricónicas y se determine (como se hizo en el desarrollo de este capítulo) que marca es la de mejor desempeño en cada máquina; esto proporcionará el mejor costo de perforación de manera global.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se deben conocer los aspectos básicos de diseño de una broca tricónica, para poder seleccionar la correcta aplicación de marcas y modelos existentes en el mercado para obtener los mejores costos de perforación, buscando el balance óptimo entre desempeño y costo que resulten en la mejor solución a las necesidades de perforación.

Existe una gran oportunidad para que las operaciones de minado a cielo abierto en México realicen reducciones sustanciales en sus costos de operación e incrementen su productividad. El hacer realidad estos beneficios requieren una orientación enfocada al Costo Real de Perforación.

Además del ahorro en costos, se debe observar la velocidad de penetración, ya que se puede incrementar la cantidad de material preparado para voladura. El incremento en la productividad puede traducirse en toneladas por año generando un flujo de ganancia adicional. Si no se requiere de producción adicional, entonces se traduce en una menor cantidad de turnos de perforación o menos equipos de perforación.

Con este panorama, debe darse mayor importancia en reducir el Costo Real de Perforación mejorando la velocidad de penetración. El costo de adquisición de la herramineta y su rendimiento en metros no son los parámetros correctos de evaluación de desempeño. El mejor parámetro es la velocidad de penetración, ya que tiene relación directa con el costo de operación de una máquina de perforación.

Por ejemplo, la Tabla No. 26 – Costo de perforación por tonelada producida de 1996 a 2003; sintetiza todos los números desarrollados en este trabajo e incluye el costo de perforación por tonelada producida, donde también la marca C tiene el mejor desempeño en costo por tonelada producida.

De esta manera, existió un ahorro potencial en este costo de 760,873.11 dólares americanos en el período analizado. Sin embargo, analizando máquina por máquina, se puede ver que el ahorro potencial en costo por tonelada producida pudo ser de 1'844,874.97 dólares americanos si en la rotaria 60 se usaba la marca B, en la rotaria 61 la marca D, en la rotaria 62 y 63 la marca C, en la rotaria 64 y 65 la marca D al 100%.

Por ello, es necesario que los equipos de perforación trabajen en las mejores condiciones posibles, sin fugas de aire, medidores de parámetros de trabajo funcionales y que los operadores tengan constante capacitación sobre el uso y cuidado de las herramientas, equipos y operaciones de perforación.

Para implementar un programa de análisis de costos por metro perforado, deberá contarse con un registro confiable de brocas, que debe incluir: marca, diámetro, modelo, número de serie, fecha de inicio de uso, fecha de finalización de uso, metraje total perforado, horas trabajadas, velocidad de penetración, máquina

Tabla No. 26 - Costo de perforación en tonelada de producida de 1996 a 2003

No. de Máquina	Marca	No. de Brocas	Rendimientos			Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Gasto de Perforación (\$)	Costo por Tonelada Producida (\$/ton)
			Global (m)	(hr)	Promedio (m)	(hr)	Global (ton)	Promedio (ton)					
60	A	39	174,149.00	8,733.00	4,465.96	223.92	19.94	38,536,526.64	988,116.07	4,472.75	2,476,386.78	0.0643	
	B	11	80,244.00	2,485.00	4,567.64	225.91	20.22	11,118,233.49	1,010,748.50	4,474.14	703,918.44	0.0633	
	C	53	236,456.00	12,009.91	4,518.04	226.80	19.94	52,987,973.07	989,773.08	4,472.02	3,395,466.08	0.0641	
	D	9	31,668.00	1,759.70	3,522.00	195.52	18.01	7,014,285.59	779,965.07	4,396.07	489,417.12	0.0658	
	Total	112	495,547.00	24,987.61	4,424.53	223.10	19.83	109,657,018.79	979,080.52	4,388.46	7,065,220.42	0.0644	
61	A	49	217,044.00	10,472.00	4,429.47	213.71	20.73	48,028,538.13	980,174.25	4,586.38	2,951,798.40	0.0615	
	B	11	53,794.00	2,634.00	4,482.83	219.50	20.42	11,903,794.53	991,982.88	4,519.28	740,743.38	0.0622	
	C	57	257,896.00	12,295.48	4,524.49	215.71	20.97	57,068,464.78	1,001,201.14	4,641.42	3,473,859.12	0.0629	
	D	9	51,599.00	2,425.45	5,733.22	289.49	21.27	11,418,074.40	1,288,674.93	4,707.61	671,818.96	0.0588	
	Total	127	580,333.00	27,826.93	4,569.55	219.11	20.86	128,418,871.84	1,071,172.22	4,614.91	7,838,219.88	0.0610	
62	A	59	237,529.00	11,725.00	4,025.92	198.73	20.26	52,561,557.26	890,873.85	4,482.86	3,320,655.42	0.0632	
	B	17	64,635.00	3,288.00	3,813.82	193.41	19.72	14,347,000.01	843,941.18	4,363.44	929,085.55	0.0648	
	C	56	225,391.00	10,756.10	4,024.84	192.07	20.95	49,875,602.36	890,635.76	4,636.96	3,042,778.50	0.0610	
	D	11	39,556.00	2,165.24	3,586.00	195.84	18.27	8,753,141.55	793,740.14	4,042.57	629,731.52	0.0719	
	Total	143	567,311.00	27,934.34	3,967.21	195.35	20.31	125,537,301.17	877,883.22	4,494.01	7,922,250.99	0.0631	
63	A	68	255,710.00	12,546.00	3,760.44	184.50	20.38	56,584,736.21	832,128.47	4,510.18	3,564,587.40	0.0630	
	B	16	65,166.00	3,305.00	4,072.88	206.56	19.72	14,420,245.28	901,265.33	4,363.16	936,435.42	0.0649	
	C	72	281,848.00	13,245.04	3,914.56	183.96	21.28	62,368,678.31	866,231.64	4,708.83	3,773,944.72	0.0605	
	D	14	40,171.00	1,966.45	2,859.36	140.46	20.43	8,889,231.70	634,945.12	4,520.45	564,000.84	0.0634	
	Total	170	642,895.00	31,082.49	3,791.74	182.72	20.70	142,262,891.50	836,940.64	4,679.89	8,836,978.38	0.0621	
64	A	13	88,333.00	4,251.00	6,641.00	327.00	20.31	19,104,180.64	1,469,502.36	4,494.04	1,069,665.87	0.0560	
	B	2	12,781.00	597.00	6,390.50	298.50	21.41	2,628,241.03	1,414,120.51	4,737.42	151,838.28	0.0537	
	C	10	71,054.00	3,790.97	7,105.40	379.10	18.74	15,723,170.18	1,572,317.02	4,147.53	945,738.74	0.0601	
	D	1	5,746.00	229.33	5,746.00	229.33	25.06	1,271,502.46	1,271,502.46	5,544.42	59,609.20	0.0461	
	Total	26	175,914.00	8,868.30	6,765.82	341.08	18.84	38,927,094.31	1,497,195.93	4,388.47	2,225,842.09	0.0572	
65	A	66	254,759.00	12,111.00	3,859.98	183.50	21.04	56,374,234.36	854,195.98	4,854.80	3,263,462.79	0.0579	
	B	24	92,704.00	4,583.00	3,862.67	190.96	20.23	20,513,986.10	854,749.42	4,476.10	1,236,671.36	0.0603	
	C	73	267,805.00	12,623.70	3,668.56	172.93	21.21	59,261,175.66	811,796.93	4,694.44	3,401,123.50	0.0574	
	D	15	47,685.00	2,225.67	3,179.00	148.38	21.43	10,551,865.69	703,464.38	4,741.03	595,108.80	0.0564	
	Total	178	662,953.00	31,543.37	3,724.46	177.21	21.02	146,701,422.01	824,165.29	4,650.78	8,496,366.45	0.0579	

Tabla No. 26 - Costo de perforación en tonelada de producida de 1996 a 2003

No. de Máquina	Marca	No. de Brocas	Rendimientos			Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Gasto de Perforación (\$)	Costo por Tonelada Producida (\$/ton)
			Global (m)	Global (hr)	Promedio (m)	Promedio (hr)	Global (ton)	Promedio (ton)					
66	A	30	98,324.00	4,295.00	3,277.47	143.17	22.89	21,757,606.68	725,253.56	5,065.80	1,009,787.48	0.0464	
	B	10	35,325.00	1,621.00	3,532.50	162.10	21.79	7,816,885.56	761,686.56	4,822.26	360,097.00	0.0486	
	C	26	80,631.00	3,131.27	3,101.19	120.43	25.75	17,842,414.71	698,246.72	5,698.14	740,192.58	0.0415	
	D	5	16,368.00	689.62	3,273.60	137.92	23.73	3,671,998.61	724,397.92	5,252.15	161,715.84	0.0446	
	Total	71	230,648.00	9,736.89	3,248.56	137.14	23.69	51,038,896.56	718,857.70	5,241.81	2,291,792.90	0.0449	
Combi - nadas	A	12	41,086.00	2,094.00	3,423.83	174.50	19.62	9,061,707.29	757,642.27	4,341.79	546,443.80	0.0601	
	B	3	13,033.00	615.00	4,344.33	205.00	21.19	2,894,004.80	961,334.93	4,689.44	159,654.25	0.0554	
	C	16	59,194.00	2,676.23	3,689.63	167.26	22.12	13,098,732.45	818,670.78	4,894.47	697,897.26	0.0533	
	D	6	19,619.00	1,014.72	3,269.83	169.12	19.33	4,341,386.49	723,564.42	4,278.41	273,685.05	0.0630	
	Total	37	132,932.00	6,399.95	3,592.76	172.97	20.77	29,476,831.03	795,022.46	4,596.26	1,877,680.36	0.0570	
Total	A	336	1,364,934.00	66,227.00	4,062.30	197.10	20.61	302,039,147.20	898,926.03	4,560.66	18,150,169.24	0.0601	
	B	95	387,862.00	19,128.00	4,062.97	201.35	20.28	85,832,390.79	903,468.85	4,467.26	5,230,894.98	0.0609	
	C	363	1,463,275.00	70,528.70	4,086.16	194.29	21.03	328,226,211.72	904,204.44	4,653.80	19,314,978.23	0.0588	
	D	70	252,442.00	12,476.18	3,606.31	178.23	20.23	55,861,577.48	798,022.54	4,471.46	3,456,003.11	0.0619	
	Gran Total	864	3,468,533.00	168,359.88	4,037.65	194.86	20.72	771,959,327.20	893,471.44	4,588.17	46,152,045.57	0.0608	

dónde trabajó, parámetros de operación: empuje, velocidad de rotación y presión de aire; y tipo de roca perforada

Con esta información, la operación podrá estar en condiciones de evaluar de una manera precisa el desempeño de las herraminetas y equipos de perforación, para obtener el costo real de perforación.

BIBLIOGRAFIA

1. Australian Drillin Industry Training Committee. *Australian Drilling Manual*. National Library of Australia. Australia 1996.
2. Burtong William. *How to Drill a useful well*. Drilco Industrial – Service Department. E. U. A. 1986.
3. Harrington David. *Elements of Blast Hole Design*. Design Area – Varel International. E. U. A. 2002.
4. Lechuga Santillán Efraín. *Código Fiscal de la Federación*. Ley Federal del Impuesto Sobre la Renta. Ediciones Fiscales ISEF. 2004.
5. Mexicana de Cobre, S. A. de C. V. – Grupo México. *Contrato Colectivo de Trabajo 1996*. 1996.
6. Ordóñez Cortés Jorge E. *Minas Mexicanas Tomo 1*. A. I. M. E. México 1991.
7. Petróleos Mexicanos. *Manual de Operación para Barrenas Tricónicas en la Perforación de Pozos Petroleros*. Subdirección de Producción Primaria. México 1986.
8. Thomas W. Robert. *Reducir Costo y Aumentar la Productividad*. Baker Hughes Mining Tools, Inc. E. U. A. 1990

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
1996 - 2003

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
1996

A										B									
No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio							
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)					
60	5	20,053.00	1,050.00	19.10	4,010.60	210.00	19.10	2	8,396.00	433.00	19.39	4,198.00	216.50	19.39					
61	10	39,179.00	1,963.00	19.96	3,917.90	196.30	19.96	1	4,026.00	205.00	19.64	4,026.00	205.00	19.64					
62	8	24,369.00	1,283.00	18.99	3,046.13	160.38	18.99	2	5,999.00	316.00	18.98	2,999.50	158.00	18.98					
63	15	52,027.00	2,493.00	20.87	3,488.47	166.20	20.87	1	3,339.00	165.00	20.24	3,339.00	165.00	20.24					
64	1	6,912.00	314.00	22.01	6,912.00	314.00	22.01	1	6,781.00	324.00	20.93	6,781.00	324.00	20.93					
65	19	82,213.00	3,737.00	22.00	4,327.00	196.68	22.00	3	11,875.00	540.00	21.99	3,959.33	180.00	21.99					
Total	58	224,753.00	10,940.00	20.73	3,876.05	186.90	20.73	10	40,416.00	1,983.00	20.38	4,041.60	198.30	20.38					

C										D									
No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio							
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)					
60	4	23,800.00	1,149.50	20.70	5,950.00	287.38	20.70	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
61	7	27,149.00	1,353.40	20.06	3,878.43	193.34	20.06	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
62	5	14,212.00	746.50	19.04	2,842.40	149.30	19.04	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
63	10	35,910.00	1,698.30	21.14	3,591.00	169.83	21.14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
65	12	52,877.00	2,313.80	22.85	4,406.42	192.82	22.85	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					
Total	38	153,948.00	7,261.50	21.20	4,051.26	191.09	21.20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
1997

No. de Máquina	A						B							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	5	26,558.00	1,369.00	19.40	5,311.60	273.80	19.40	1	5,117.00	269.00	19.02	5,117.00	269.00	19.02
61	3	11,269.00	545.00	20.68	3,756.33	181.67	20.68	1	3,691.00	181.00	20.39	3,691.00	181.00	20.39
62	12	52,778.00	2,508.00	21.04	4,398.17	209.00	21.04	2	8,906.00	417.00	21.36	4,453.00	208.50	21.36
63	5	21,785.00	1,014.00	21.48	4,357.00	202.80	21.48	4	18,876.00	883.00	21.38	4,719.00	220.75	21.38
64	2	12,220.00	611.00	20.00	6,110.00	305.50	20.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	12	53,963.00	2,514.00	21.46	4,496.92	209.50	21.46	2	9,423.00	440.00	21.42	4,711.50	220.00	21.42
Total	39	176,673.00	8,561.00	20.86	4,578.79	219.51	20.86	10	46,013.00	2,190.00	21.01	4,601.30	219.00	21.01

No. de Máquina	C						D							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	8	45,577.00	2,300.39	19.81	5,697.13	287.55	19.81	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	13	50,804.00	2,410.00	21.08	3,908.00	185.38	21.08	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	8	37,230.00	1,693.31	21.99	4,653.75	211.66	21.99	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	12	60,010.00	2,596.29	23.11	5,000.83	216.36	23.11	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	3	15,810.00	806.79	19.60	5,270.00	268.93	19.60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	17	76,704.00	3,473.81	22.08	4,512.00	204.34	22.08	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	61	286,135.00	13,280.59	21.55	4,690.74	217.71	21.55	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
1998

No. de Máquina	A						B						
	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	27,153.00	1,400.00	19.40	4,525.50	233.33	19.40	5	22,006.00	1,158.00	19.00	4,401.20	231.60	19.00
61	29,825.00	1,420.00	21.00	4,970.83	236.67	21.00	6	30,006.00	1,508.00	19.90	5,001.00	251.33	19.90
62	27,918.00	1,467.00	19.03	3,988.29	209.57	19.03	8	32,961.00	1,745.00	18.89	4,120.13	218.13	18.89
63	24,629.00	1,285.00	19.02	4,104.83	215.83	19.02	8	32,010.00	1,711.00	18.71	4,001.25	213.88	18.71
64	36,238.00	1,868.00	19.40	7,247.60	373.60	19.40	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	42,165.00	2,009.00	21.00	4,218.50	200.90	21.00	8	36,837.00	1,950.00	19.91	4,604.63	231.25	19.91
Total	187,948.00	9,469.00	19.87	4,698.70	236.48	19.87	35	165,820.00	7,972.00	19.30	4,394.86	227.77	19.30

No. de Máquina	C						D						
	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	27,421.00	1,399.05	19.60	4,570.17	233.18	19.60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	25,840.00	1,198.99	21.55	5,168.00	239.80	21.55	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	29,206.00	1,492.37	19.57	4,172.29	213.20	19.57	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	29,784.00	1,501.79	19.83	4,254.86	214.54	19.83	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	8,663.00	434.38	19.92	8,663.00	434.38	19.92	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	27,574.00	1,300.88	21.20	4,595.67	216.81	21.20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	148,478.00	7,327.46	20.26	4,639.94	228.98	20.26	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
1999

No. de Máquina	A						B							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	4	16,027.00	844.00	18.99	4,006.75	211.00	18.99	1	4,053.00	214.00	18.94	4,053.00	214.00	18.94
61	8	32,944.00	1,781.00	18.50	4,118.00	222.63	18.50	1	3,700.00	204.00	18.14	3,700.00	204.00	18.14
62	12	47,844.00	2,600.00	18.40	3,987.00	216.67	18.40	1	4,100.00	228.00	17.98	4,100.00	228.00	17.98
63	13	44,954.00	2,366.00	19.00	3,458.00	182.00	19.00	1	3,965.00	215.00	18.44	3,965.00	215.00	18.44
64	1	6,953.00	348.00	19.98	6,953.00	348.00	19.98	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	2	7,002.00	368.00	19.03	3,501.00	184.00	19.03	6	19,589.00	1,019.00	19.22	3,264.83	169.83	19.22
Total	40	155,724.00	8,307.00	18.75	3,893.10	207.68	18.75	10	35,407.00	1,890.00	18.83	3,540.70	188.00	18.83

No. de Máquina	C						D							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	10	39,472.00	2,079.75	18.98	3,947.20	207.98	18.98	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	11	45,375.00	2,537.86	17.88	4,125.00	230.72	17.88	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	10	40,086.00	2,130.39	18.82	4,008.60	213.04	18.82	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	12	39,304.00	2,065.29	19.03	3,275.33	172.11	19.03	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	3	21,873.00	1,081.27	20.23	7,291.00	360.42	20.23	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	12	41,611.00	2,164.97	19.22	3,467.58	180.41	19.22	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	58	227,721.00	12,069.55	18.88	3,926.22	207.92	18.88	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
2000

No. de Máquina	A										B					
	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio					
	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)			
60	11,111.00	627.00	17.72	3,703.67	209.00	17.72	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
61	8,805.00	476.00	18.50	4,402.50	238.00	18.50	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
62	7,234.00	402.00	18.00	3,617.00	201.00	18.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
63	20,322.00	1,117.00	18.19	3,387.00	186.17	18.19	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
64	6,371.00	375.00	16.99	6,371.00	375.00	16.99	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
65	12,832.00	713.00	18.00	3,208.00	178.25	18.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total	66,676.00	3,710.00	17.97	3,704.17	206.11	17.97	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

No. de Máquina	C										D					
	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio					
	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)			
60	49,772.00	2,798.28	17.79	3,828.62	215.25	17.79	7	24,691.00	1,483.85	16.64	3,527.29	211.98	16.64			
61	17,115.00	1,022.57	16.74	4,276.75	255.64	16.74	7	41,869.00	1,998.04	20.96	5,981.29	285.43	20.96			
62	22,819.00	1,231.00	18.54	3,903.17	205.17	18.54	8	25,721.00	1,624.16	15.84	3,215.13	203.02	15.84			
63	41,768.00	2,240.16	18.65	3,480.67	186.68	18.65	11	31,263.00	1,652.48	18.92	2,842.09	150.23	18.92			
64	24,718.00	1,468.53	16.83	8,239.33	489.51	16.83	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
65	27,848.00	1,496.27	18.61	3,094.22	166.25	18.61	10	34,864.00	1,717.13	20.32	3,488.40	171.71	20.32			
Total	184,040.00	10,266.81	17.94	3,916.74	218.23	17.94	43	168,428.00	8,476.66	18.69	3,684.37	197.11	18.69			

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
2001

No. de Máquina	A						B							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	6	24,579.00	1,236.00	19.89	4,096.50	206.00	19.89	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	6	25,748.00	1,226.00	21.00	4,291.33	204.33	21.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	4	14,395.00	739.00	19.48	3,598.75	184.75	19.48	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	8	30,404.00	1,448.00	21.00	3,800.50	181.00	21.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	2	11,990.00	489.00	24.52	5,995.00	244.50	24.52	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	6	15,609.00	743.00	21.01	2,601.50	123.83	21.01	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66	11	34,100.00	1,624.00	21.00	3,100.00	147.64	21.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Combinadas	4	13,660.00	716.00	19.08	3,415.00	179.00	19.08	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	47	170,485.00	8,221.00	20.74	3,627.34	174.31	20.74	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

No. de Máquina	C						D							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	10	39,032.00	1,828.41	21.37	3,903.20	182.64	21.37	1	2,907.00	59.85	48.57	2,907.00	59.85	48.57
61	6	35,037.00	1,547.90	22.64	5,839.50	257.98	22.64	1	4,743.00	200.41	23.67	4,743.00	200.41	23.67
62	8	28,543.00	1,391.09	20.52	3,567.88	173.89	20.52	2	9,571.00	355.08	26.95	4,785.50	177.54	26.95
63	7	26,027.00	1,170.44	22.24	3,718.14	167.21	22.24	3	8,908.00	313.97	28.37	2,969.33	104.66	28.37
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1	5,746.00	229.33	25.06	5,746.00	229.33	25.06
65	10	22,134.00	1,025.10	21.59	2,213.40	102.51	21.59	5	12,801.00	508.54	25.17	2,560.20	101.71	25.17
66	6	17,867.00	755.22	23.66	2,977.83	125.87	23.66	1	3,348.00	123.62	27.09	3,349.00	123.62	27.09
Combinadas	7	24,429.00	1,157.73	21.10	3,489.86	165.39	21.10	3	6,968.00	412.72	16.93	2,329.33	137.57	16.93
Total	54	193,069.00	8,873.89	21.76	3,676.36	164.33	21.76	17	65,013.00	2,203.52	24.97	3,238.06	129.62	24.97

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
2002

No. de Máquina	A										B										
	Rendimiento Global					Rendimiento Promedio					No. de Brocas	Rendimiento Global					Rendimiento Promedio				
	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)		(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		
60	28,406.00	1,457.00	19.50	4,058.00	208.14	19.50	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
61	46,701.00	2,123.00	22.00	5,189.00	235.89	22.00	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
62	34,095.00	1,522.00	22.40	4,870.71	217.43	22.40	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
63	28,808.00	1,485.00	19.40	3,601.00	185.63	19.40	1	2,985.00	157.00	19.01	1	2,985.00	157.00	19.01	2,985.00	157.00	19.01	19.01			
64	5,649.00	246.00	22.96	5,649.00	246.00	22.96	1	6,000.00	273.00	21.98	1	6,000.00	273.00	21.98	6,000.00	273.00	21.98	21.98			
65	31,994.00	1,600.00	20.00	3,199.40	160.00	20.00	1	2,276.00	111.00	20.50	1	2,276.00	111.00	20.50	2,276.00	111.00	20.50	20.50			
66	41,824.00	1,774.00	23.58	3,485.33	147.83	23.58	6	21,663.00	1,028.00	21.09	6	21,663.00	1,028.00	21.09	3,613.83	171.33	21.09	21.09			
Combinadas	20,436.00	1,074.00	19.03	3,406.00	179.00	19.03	1	4,871.00	244.00	19.96	1	4,871.00	244.00	19.96	4,871.00	244.00	19.96	19.96			
Total	237,913.00	11,281.00	21.09	3,965.22	188.02	21.09	10	37,815.00	1,813.00	20.86	10	37,815.00	1,813.00	20.86	3,781.50	181.30	20.86	20.86			

No. de Máquina	C										D										
	Rendimiento Global					Rendimiento Promedio					No. de Brocas	Rendimiento Global					Rendimiento Promedio				
	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)		(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0	4,100.00	216.00	18.98	4,100.00	216.00	18.98	18.98			
61	27,132.00	1,098.90	24.69	5,426.40	219.78	24.69	1	4,987.00	227.00	21.97	1	4,987.00	227.00	21.97	4,987.00	227.00	21.97	21.97			
62	30,379.00	1,244.40	24.41	5,063.17	207.40	24.41	1	4,264.00	186.00	22.92	1	4,264.00	186.00	22.92	4,264.00	186.00	22.92	22.92			
63	13,175.00	661.40	19.92	3,293.75	165.35	19.92	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
65	8,857.00	419.10	21.13	2,952.33	139.70	21.13	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
66	34,442.00	1,403.80	24.53	3,131.09	127.62	24.53	4	13,019.00	566.00	23.00	4	13,019.00	566.00	23.00	3,254.75	141.50	23.00	23.00			
Combinadas	26,979.00	1,194.80	22.58	3,854.14	170.69	22.58	3	12,631.00	602.00	20.98	3	12,631.00	602.00	20.98	4,210.33	200.67	20.98	20.98			
Total	140,964.00	6,022.40	23.41	3,915.67	167.29	23.41	10	39,001.00	1,797.00	21.70	10	39,001.00	1,797.00	21.70	3,900.10	179.70	21.70	21.70			

Apéndice No. 1
Rendimientos históricos por marca de broca
2003

No. de Máquina	A						B							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	3	20,262.00	750.00	27.02	6,754.00	250.00	27.02	2	10,672.00	411.00	25.97	5,336.00	205.50	25.97
61	5	22,573.00	938.00	24.07	4,514.60	187.60	24.07	3	12,371.00	536.00	23.08	4,123.67	178.67	23.08
62	7	28,898.00	1,204.00	24.00	4,128.00	172.00	24.00	4	12,869.00	582.00	22.11	3,217.25	145.50	22.11
63	7	32,781.00	1,328.00	24.68	4,683.00	189.71	24.68	1	3,991.00	174.00	22.94	3,991.00	174.00	22.94
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	3	8,981.00	427.00	20.99	2,987.00	142.33	20.99	4	12,704.00	623.00	20.39	3,178.00	155.75	20.39
66	7	22,400.00	897.00	24.97	3,200.00	128.14	24.97	4	13,642.00	583.00	23.01	3,410.50	148.25	23.01
Combinadas	2	6,990.00	304.00	22.99	3,495.00	152.00	22.99	2	8,162.00	371.00	22.00	4,081.00	185.50	22.00
Total	34	142,863.00	5,848.00	24.43	4,201.85	172.00	24.43	20	74,411.00	3,290.00	22.62	3,720.55	164.50	22.62

No. de Máquina	C						D							
	No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio			No. de Brocas	Rendimiento Global			Rendimiento Promedio		
		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)		(m)	(hr)	(m/hr)	(m)	(hr)	(m/hr)
60	2	14,382.00	456.53	31.50	7,191.00	228.27	31.50	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	6	29,444.00	1,125.84	26.15	4,907.33	187.64	26.15	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	6	22,916.00	827.04	27.71	3,819.33	137.84	27.71	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	8	35,870.00	1,311.37	27.35	4,483.75	163.92	27.35	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	4	10,200.00	429.77	23.73	2,550.00	107.44	23.73	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
66	9	28,322.00	972.25	29.13	3,146.89	108.03	29.13	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Combinadas	2	7,796.00	323.70	24.05	3,893.00	161.85	24.05	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	37	148,920.00	5,446.50	27.34	4,024.96	147.20	27.34	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1996 - 2003

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1996

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global (m)	(hr)	Promedio (m)	(hr)	Global (m/hr)	Promedio (m/hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
60	5	20,053.00	1,050.00	4,010.60	210.00	19.10	4,437,424.09	887,484.82	4,226.12	14.67	0.59	
61	10	39,179.00	1,963.00	3,917.90	196.30	19.96	8,689,717.18	866,971.72	4,416.57	14.07	0.60	
62	8	24,369.00	1,283.00	3,046.13	160.38	18.99	5,392,489.29	674,061.16	4,203.03	14.93	0.78	
63	15	52,027.00	2,493.00	3,468.47	166.20	20.87	11,512,784.29	767,518.95	4,618.04	13.56	0.68	
64	1	6,912.00	314.00	6,912.00	314.00	22.01	1,529,520.54	1,529,520.54	4,871.08	11.48	0.34	
65	19	82,213.00	3,737.00	4,327.00	196.68	22.00	18,192,487.26	957,499.33	4,868.21	12.10	0.55	
Total	58	224,753.00	10,840.00	3,875.05	186.90	20.73	49,734,422.65	867,490.05	4,588.05	13.42	0.61	

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global (m)	(hr)	Promedio (m)	(hr)	Global (m/hr)	Promedio (m/hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
60	2	8,396.00	433.00	4,198.00	216.50	19.39	1,857,907.18	928,953.59	4,290.78	14.50	0.64	
61	1	4,026.00	205.00	4,026.00	205.00	19.64	890,892.60	890,892.60	4,345.82	14.36	0.67	
62	2	5,989.00	316.00	2,999.50	158.00	18.98	1,327,487.52	663,743.76	4,200.91	15.06	0.90	
63	1	3,339.00	165.00	3,339.00	165.00	20.24	738,869.95	738,869.95	4,478.00	14.09	0.80	
64	1	6,781.00	324.00	6,781.00	324.00	20.93	1,500,532.23	1,500,532.23	4,631.27	12.11	0.40	
65	3	11,875.00	540.00	3,958.33	180.00	21.99	2,627,757.00	875,919.00	4,866.22	12.24	0.68	
Total	10	40,416.00	1,983.00	4,041.60	198.30	20.38	8,943,446.48	894,344.65	4,510.06	13.64	0.66	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1996

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)		Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio		Global (ton)	Promedio (ton)					
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	4	23,800.00	1,149.50	5,950.00	287.38	20.70	5,286,578.24	1,316,644.56	4,581.63	13.35	0.36	
61	7	27,149.00	1,353.40	3,878.43	193.34	20.06	6,007,661.04	858,237.29	4,438.94	13.96	0.55	
62	5	14,212.00	746.50	2,842.40	149.30	19.04	3,144,899.58	628,979.92	4,212.86	14.88	0.76	
63	10	35,910.00	1,698.30	3,591.00	169.83	21.14	7,946,337.17	794,633.72	4,678.59	13.31	0.60	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	12	52,877.00	2,313.80	4,406.42	192.82	22.85	11,700,876.37	975,073.03	5,057.00	11.61	0.49	
Total	38	163,948.00	7,261.50	4,051.26	191.09	21.20	34,066,352.39	896,482.96	4,691.37	13.10	0.53	

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)		Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio		Global (ton)	Promedio (ton)					
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Apéndice No. 4
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1997

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)		Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio		Global (ton)	Promedio (ton)					
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	5	26,558.00	1,369.00	5,311.60	273.80	19.40	5,876,881.72	1,175,376.34	4,292.83	15.17	0.45	
61	3	11,269.00	545.00	3,756.33	181.67	20.68	2,493,656.41	831,219.47	4,575.52	14.45	0.63	
62	12	52,778.00	2,508.00	4,398.17	209.00	21.04	11,679,969.17	973,247.43	4,656.69	14.11	0.54	
63	5	21,785.00	1,014.00	4,357.00	202.80	21.48	4,820,669.37	964,137.87	4,754.13	13.84	0.54	
64	2	12,220.00	611.00	6,110.00	305.50	20.00	2,704,100.26	1,352,050.13	4,425.70	13.41	0.39	
65	12	53,963.00	2,514.00	4,466.92	209.50	21.46	11,941,191.66	995,099.31	4,749.88	13.11	0.53	
Total	39	178,573.00	8,561.00	4,578.79	219.51	20.86	39,515,490.59	1,013,217.71	4,616.76	13.90	0.52	

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)		Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio		Global (ton)	Promedio (ton)					
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	1	5,117.00	269.00	5,117.00	269.00	19.02	1,132,314.32	1,132,314.32	4,209.35	15.54	0.53	
61	1	3,691.00	181.00	3,691.00	181.00	20.39	816,762.20	816,762.20	4,512.50	14.74	0.73	
62	2	8,906.00	417.00	4,453.00	208.50	21.36	1,970,762.43	985,381.21	4,726.05	13.98	0.60	
63	4	18,876.00	863.00	4,719.00	220.75	21.38	4,176,971.88	1,044,242.97	4,730.43	13.93	0.57	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	2	9,423.00	440.00	4,711.50	220.00	21.42	2,085,166.67	1,042,583.34	4,739.02	13.18	0.57	
Total	10	46,013.00	2,190.00	4,601.30	219.00	21.01	10,181,977.50	1,018,197.75	4,649.30	14.03	0.58	

Apéndice No. 4
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1997

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos			Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global (m)	Global (hr)	Promedio (m)		Promedio (hr)	Global (ton)			
60	8	45,577.00	2,300.39	5,697.13	287.55	10,085,497.33	1,260,687.17	4,384.26	14.80	0.38
61	13	50,804.00	2,410.00	3,908.00	185.38	11,242,152.98	864,781.00	4,864.79	14.10	0.55
62	8	37,230.00	1,693.31	4,653.75	211.68	8,238,433.10	1,029,804.14	4,865.28	13.46	0.46
63	12	60,010.00	2,596.29	5,000.83	216.36	13,279,300.85	1,106,608.40	5,114.72	12.79	0.43
64	3	15,810.00	806.79	5,270.00	288.93	3,498,512.69	1,166,170.90	4,336.34	13.70	0.41
65	17	76,704.00	3,473.81	4,512.00	204.34	16,973,429.30	986,437.02	4,888.11	12.71	0.48
Total	61	286,135.00	13,280.59	4,690.74	217.71	63,317,328.25	1,037,988.95	4,767.66	13.44	0.46

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos			Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global (m)	Global (hr)	Promedio (m)		Promedio (hr)	Global (ton)			
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1998

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	6	27,153.00	1,400.00	4,525.50	233.33	19.40	6,008,546.17	1,001,424.36	4,291.82	14.38	0.52	
61	6	29,825.00	1,420.00	4,970.83	298.67	21.00	6,599,819.16	1,099,969.86	4,647.76	13.28	0.48	
62	7	27,918.00	1,467.00	3,988.29	209.57	19.03	6,177,829.05	882,547.01	4,211.20	14.72	0.59	
63	6	24,629.00	1,295.00	4,104.83	215.83	19.02	5,450,023.34	908,337.22	4,208.51	14.71	0.58	
64	5	36,238.00	1,868.00	7,247.80	373.60	19.40	8,018,918.58	1,803,783.72	4,292.78	12.96	0.33	
65	10	42,185.00	2,009.00	4,218.50	200.90	21.00	9,334,899.29	933,489.93	4,646.54	12.67	0.56	
Total	40	187,948.00	9,459.00	4,698.70	236.48	19.87	41,590,035.59	1,038,750.89	4,396.87	13.72	0.50	

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	5	22,008.00	1,156.00	4,401.20	231.60	19.00	4,869,593.31	973,918.66	4,205.18	14.76	0.61	
61	6	30,006.00	1,508.00	5,001.00	251.33	19.00	6,639,871.71	1,106,945.28	4,403.10	14.05	0.54	
62	8	32,961.00	1,745.00	4,120.13	218.13	18.89	7,293,768.29	911,721.04	4,179.81	14.89	0.65	
63	8	32,010.00	1,711.00	4,001.25	213.88	18.71	7,083,326.45	885,415.81	4,139.88	15.04	0.67	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	8	36,837.00	1,850.00	4,604.63	231.25	19.91	8,151,468.18	1,018,933.52	4,406.20	13.35	0.58	
Total	35	153,820.00	7,972.00	4,394.86	227.77	19.30	34,038,027.94	972,516.08	4,269.70	14.41	0.61	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1998

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(ton)	Promedio (ton)				
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	6	27,421.00	1,399.05	4,570.17	233.18	19.60	6,067,850.50	1,011,308.42	4,337.12	14.19	0.47	
61	5	25,940.00	1,198.99	5,168.00	239.80	21.55	5,717,989.23	1,143,599.85	4,769.01	12.89	0.42	
62	7	29,206.00	1,492.37	4,172.29	213.20	19.57	6,462,843.87	923,263.41	4,330.59	14.25	0.52	
63	7	29,784.00	1,501.79	4,254.86	214.54	19.83	6,590,746.46	941,535.21	4,388.59	14.06	0.51	
64	1	8,653.00	434.38	8,653.00	434.38	19.92	1,914,777.37	1,914,777.37	4,408.07	12.56	0.25	
65	6	27,574.00	1,300.88	4,595.67	216.81	21.20	6,101,707.08	1,016,951.18	4,690.45	12.46	0.47	
Total	32	148,478.00	7,327.46	4,639.94	228.98	20.26	32,865,924.53	1,026,747.84	4,483.94	13.60	0.46	

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(ton)	Promedio (ton)				
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1999

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		Global (m / hr)	Promedio (ton)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	4	16,027.00	844.00	4,006.75	211.00	18.99	3,546,531.49	886,632.87	4,202.05	14.79	0.63	
61	8	32,944.00	1,781.00	4,118.00	222.63	18.50	7,290,006.45	911,250.81	4,093.21	15.15	0.61	
62	12	47,844.00	2,600.00	3,987.00	216.67	18.40	10,587,149.97	882,262.50	4,071.98	15.24	0.63	
63	13	44,954.00	2,366.00	3,458.00	182.00	19.00	9,947,636.90	785,202.84	4,204.41	14.88	0.73	
64	1	6,953.00	348.00	6,953.00	348.00	19.98	1,538,593.21	1,538,593.21	4,421.24	12.63	0.36	
65	2	7,002.00	368.00	3,501.00	194.00	19.03	1,549,436.17	774,718.08	4,210.42	14.08	0.72	
Total	40	156,724.00	8,307.00	3,893.10	207.68	18.76	34,459,354.20	861,483.85	4,148.23	14.94	0.65	

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		Global (m / hr)	Promedio (ton)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	1	4,053.00	214.00	4,053.00	214.00	18.94	886,867.29	886,867.29	4,190.97	14.90	0.71	
61	1	3,700.00	204.00	3,700.00	204.00	18.14	818,753.76	818,753.76	4,013.50	15.60	0.78	
62	1	4,100.00	228.00	4,100.00	228.00	17.98	907,267.68	907,267.68	3,979.24	15.65	0.70	
63	1	3,965.00	215.00	3,965.00	215.00	18.44	877,394.23	877,394.23	4,080.90	15.30	0.72	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	6	19,589.00	1,019.00	3,264.83	169.83	19.22	4,334,747.95	722,457.99	4,253.92	14.10	0.88	
Total	10	36,407.00	1,880.00	3,540.70	188.00	18.83	7,836,030.91	783,603.09	4,167.67	14.61	0.81	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
1999

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	10	39,472.00	2,079.75	3,947.20	207.98	18.98	8,734,553.63	873,455.36	4,199.81	14.75	0.58	
61	11	45,375.00	2,537.88	4,125.00	230.72	17.88	10,040,797.80	912,799.80	3,956.37	15.59	0.56	
62	10	40,086.00	2,130.39	4,008.60	213.04	18.82	8,870,422.49	887,042.25	4,163.76	14.86	0.57	
63	12	39,304.00	2,065.29	3,275.33	172.11	19.03	8,697,377.78	724,781.48	4,211.21	14.63	0.70	
64	3	21,873.00	1,081.27	7,281.00	360.42	20.23	4,840,162.43	1,613,387.48	4,476.37	12.43	0.32	
65	12	41,611.00	2,164.97	3,467.58	180.41	19.22	9,207,881.81	767,323.48	4,253.12	13.89	0.68	
Total	58	227,721.00	12,069.55	3,926.22	207.92	18.88	50,391,195.84	868,813.72	4,178.53	14.65	0.59	

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2000

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos			Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global (m)	Global (hr)	Promedio (m)	Promedio (hr)	Global (ton)	Promedio (ton)				
60	3	11,111.00	627.00	3,703.67	209.00	17.72	2,458,695.41	819,565.14	3,921.36	15.85	0.68
61	2	8,805.00	476.00	4,402.50	238.00	18.50	1,948,412.66	974,206.33	4,093.30	15.11	0.57
62	2	7,234.00	402.00	3,617.00	201.00	18.00	1,600,774.24	800,387.12	3,982.03	15.84	0.70
63	6	20,322.00	1,117.00	3,387.00	186.17	18.19	4,496,949.71	749,491.62	4,025.92	15.52	0.75
64	1	6,371.00	375.00	6,371.00	375.00	16.99	1,409,805.46	1,409,805.46	3,759.48	14.83	0.40
65	4	12,832.00	713.00	3,208.00	178.25	18.00	2,839,526.55	709,881.64	3,982.51	14.91	0.79
Total	18	66,675.00	3,710.00	3,704.17	206.11	17.97	14,764,164.04	819,675.78	3,976.86	15.37	0.68

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos			Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global (m)	Global (hr)	Promedio (m)	Promedio (hr)	Global (ton)	Promedio (ton)				
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2000

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	13	49,772.00	2,798.28	3,828.82	215.25	17.79	11,013,787.07	847,214.38	3,935.91	15.71	0.60	
61	4	17,115.00	1,022.57	4,278.75	255.64	16.74	3,787,289.35	946,822.34	3,703.70	16.60	0.54	
62	6	22,819.00	1,231.00	3,803.17	205.17	18.54	5,049,497.85	841,582.98	4,101.95	15.11	0.60	
63	12	41,768.00	2,240.16	3,480.87	186.68	18.65	9,242,623.53	770,218.63	4,125.88	15.08	0.66	
64	3	24,718.00	1,488.53	8,239.33	489.51	16.83	5,469,717.69	1,823,239.23	3,724.62	14.84	0.28	
65	9	27,848.00	1,496.27	3,094.22	166.25	18.81	6,162,339.11	694,704.35	4,118.47	14.40	0.74	
Total	47	184,040.00	10,256.81	3,915.74	218.23	17.94	40,725,254.59	886,494.78	3,970.56	16.24	0.59	

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	7	24,691.00	1,483.85	3,527.29	211.98	16.64	5,463,743.00	780,534.71	3,682.14	16.84	0.68	
61	7	41,869.00	1,988.04	5,991.29	285.43	20.96	9,264,973.28	1,323,567.61	4,637.03	13.23	0.40	
62	8	25,721.00	1,624.16	3,215.13	203.02	15.84	5,891,866.34	711,458.29	3,504.38	17.73	0.75	
63	11	31,263.00	1,652.48	2,842.09	150.23	18.92	6,918,026.70	628,911.52	4,186.45	15.06	0.85	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	10	34,884.00	1,717.13	3,488.40	171.71	20.32	7,719,298.96	771,929.90	4,495.47	13.20	0.69	
Total	43	158,425.00	8,475.66	3,684.37	197.11	18.89	35,057,708.29	815,295.54	4,136.28	15.12	0.65	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2001

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	6	24,579.00	1,236.00	4,096.50	206.00	19.89	5,438,959.10	906,493.18	4,400.45	14.14	0.62	
61	6	25,748.00	1,226.00	4,291.33	204.33	21.00	5,697,641.03	949,606.84	4,647.34	13.39	0.59	
62	4	14,395.00	739.00	3,598.75	184.75	19.48	3,185,394.70	796,348.67	4,310.41	14.50	0.70	
63	8	30,404.00	1,448.00	3,800.50	181.00	21.00	6,727,943.06	840,992.88	4,646.37	13.47	0.66	
64	2	11,990.00	489.00	5,995.00	244.50	24.52	2,853,204.75	1,326,602.38	5,425.78	10.42	0.42	
65	6	15,609.00	743.00	2,601.50	123.83	21.01	3,454,034.44	575,672.41	4,648.77	13.07	0.97	
66	11	34,100.00	1,624.00	3,100.00	147.64	21.00	7,545,811.68	685,962.88	4,646.44	11.13	0.82	
Combinadas	4	13,660.00	716.00	3,415.00	179.00	19.08	3,022,750.37	755,687.59	4,221.72	13.64	0.74	
Total	47	170,485.00	8,221.00	3,627.34	174.91	20.74	37,725,739.13	802,675.30	4,588.95	12.92	0.70	

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
66	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Combinadas	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2001

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	10	39,032.00	1,826.41	3,903.20	182.64	21.37	8,637,188.31	863,718.83	4,729.05	13.17	0.59	
61	6	35,037.00	1,547.90	5,839.50	257.98	22.64	7,753,155.54	1,292,192.59	5,008.83	12.27	0.39	
62	8	28,543.00	1,391.09	3,567.88	173.89	20.52	6,316,132.05	789,516.51	4,540.42	13.75	0.64	
63	7	26,027.00	1,170.44	3,718.14	167.21	22.24	5,759,379.49	822,768.50	4,920.70	12.71	0.62	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	10	22,134.00	1,025.10	2,213.40	102.51	21.59	4,897,917.76	489,791.78	4,777.99	12.81	1.04	
66	6	17,867.00	755.22	2,977.83	125.87	23.66	3,953,695.52	658,949.25	5,235.16	9.93	0.77	
Combinadas	7	24,429.00	1,157.73	3,489.86	165.39	21.10	5,405,766.38	772,252.34	4,669.28	12.33	0.66	
Total	54	193,069.00	8,873.89	3,575.35	164.33	21.76	42,723,235.05	791,171.02	4,814.49	12.56	0.64	

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	1	2,907.00	59.85	2,907.00	59.85	48.57	643,274.91	643,274.91	10,748.12	6.36	0.83	
61	1	4,743.00	200.41	4,743.00	200.41	23.67	1,049,553.81	1,049,553.81	5,237.03	11.87	0.51	
62	2	9,571.00	365.08	4,785.50	177.54	28.95	2,117,916.62	1,058,958.41	5,964.62	10.48	0.50	
63	3	8,908.00	313.97	2,969.33	104.66	28.37	1,971,205.00	657,068.33	6,278.32	10.29	0.81	
64	1	5,746.00	229.33	5,746.00	229.33	25.06	1,271,502.46	1,271,502.46	5,544.42	10.20	0.42	
65	5	12,801.00	508.54	2,560.20	101.71	25.17	2,932,866.72	566,533.34	5,570.19	11.04	0.94	
66	1	3,349.00	123.62	3,349.00	123.62	27.09	741,082.80	741,082.80	5,994.85	8.71	0.72	
Combinadas	3	6,998.00	412.72	2,329.33	137.57	16.93	1,546,338.18	515,446.06	3,746.70	15.59	1.04	
Total	17	65,013.00	2,203.62	3,236.06	129.62	24.97	12,173,540.70	716,090.63	5,624.69	11.23	0.76	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2002

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	7	28,406.00	1,457.00	4,058.00	208.14	19.50	6,285,816.03	897,973.72	4,314.22	14.42	0.64	
61	9	46,701.00	2,123.00	5,189.00	235.89	22.00	10,334,221.44	1,146,246.83	4,867.74	12.72	0.50	
62	7	34,095.00	1,522.00	4,970.71	217.43	22.40	7,544,705.26	1,077,815.04	4,957.10	12.53	0.53	
63	8	28,808.00	1,485.00	3,801.00	185.63	19.40	6,374,772.52	796,846.56	4,292.78	14.57	0.72	
64	1	5,649.00	246.00	5,649.00	246.00	22.96	1,250,037.84	1,250,037.84	5,081.45	11.13	0.46	
65	10	31,994.00	1,600.00	3,199.40	160.00	20.00	7,079,785.89	707,978.59	4,424.87	13.52	0.81	
66	12	41,824.00	1,774.00	3,465.33	147.83	23.58	9,265,015.48	771,251.29	5,217.03	9.93	0.74	
Combinadas	6	20,436.00	1,074.00	3,406.00	179.00	19.03	4,522,176.17	753,696.03	4,210.59	13.70	0.76	
Total	60	237,913.00	11,281.00	3,966.22	188.02	21.09	52,646,530.62	877,442.18	4,666.83	12.79	0.65	

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
63	1	2,985.00	157.00	2,985.00	157.00	19.01	660,535.13	660,535.13	4,207.23	15.12	0.98	
64	1	6,000.00	273.00	6,000.00	273.00	21.98	1,327,708.80	1,327,708.80	4,863.40	11.64	0.49	
65	1	2,276.00	111.00	2,276.00	111.00	20.50	503,644.20	503,644.20	4,537.34	13.68	1.29	
66	6	21,693.00	1,028.00	3,613.83	171.33	21.09	4,796,118.32	796,866.39	4,867.43	11.08	0.81	
Combinadas	1	4,871.00	244.00	4,871.00	244.00	19.96	1,077,878.26	1,077,878.26	4,417.53	12.93	0.60	
Total	10	37,815.00	1,813.00	3,781.50	181.30	20.86	8,367,884.71	836,788.47	4,616.48	11.99	0.77	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2002

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	5	27,132.00	1,098.90	5,428.40	219.78	6,003,898.19	1,200,779.84	5,463.55	11.32	0.43	
62	6	30,379.00	1,244.40	5,063.17	207.40	6,722,410.94	1,120,401.82	5,402.13	11.48	0.46	
63	4	13,175.00	681.40	3,293.75	165.35	2,915,427.24	729,856.81	4,407.96	14.21	0.71	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	3	8,857.00	419.10	2,952.33	139.70	1,959,919.47	653,306.49	4,676.50	12.82	0.79	
66	11	34,442.00	1,403.80	3,131.09	127.62	7,621,491.08	692,862.83	5,429.19	9.58	0.75	
Combinadas	7	26,979.00	1,194.80	3,854.14	170.69	5,970,042.62	852,863.23	4,996.69	11.51	0.61	
Total	36	140,964.00	6,022.40	3,915.67	167.29	31,183,190.55	866,477.52	6,179.63	11.30	0.60	

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
60	1	4,100.00	216.00	4,100.00	216.00	907,267.68	907,267.68	4,200.31	14.76	0.60	
61	1	4,987.00	227.00	4,987.00	227.00	1,103,547.30	1,103,547.30	4,861.44	12.73	0.49	
62	1	4,264.00	186.00	4,264.00	186.00	943,558.39	943,558.39	5,072.89	12.30	0.59	
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
66	4	13,019.00	566.00	3,254.75	141.50	2,860,906.81	720,226.70	5,089.94	10.17	0.76	
Combinadas	3	12,631.00	602.00	4,210.33	200.67	2,795,048.31	931,682.77	4,642.94	12.32	0.58	
Total	10	39,001.00	1,797.00	3,900.10	179.70	8,630,328.48	863,032.85	4,802.63	11.74	0.63	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2003

A

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	3	20,262.00	750.00	6,754.00	250.00	27.02	4,483,672.62	1,494,557.54	5,978.23	10.33	0.38	
61	5	22,573.00	938.00	4,514.60	187.60	24.07	4,995,061.79	999,012.36	5,325.23	11.74	0.57	
62	7	28,896.00	1,204.00	4,128.00	172.00	24.00	6,394,245.58	913,463.65	5,310.84	11.83	0.62	
63	7	32,781.00	1,328.00	4,683.00	189.71	24.68	7,253,937.03	1,038,276.72	5,462.30	11.44	0.55	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	3	8,961.00	427.00	2,987.00	142.33	20.99	1,982,933.09	660,977.70	4,843.87	12.98	0.86	
66	7	22,400.00	897.00	3,200.00	128.14	24.97	4,966,779.52	708,111.36	5,525.95	9.48	0.81	
Combinadas	2	6,990.00	304.00	3,495.00	152.00	22.99	1,546,780.75	773,390.38	5,088.09	11.44	0.74	
Total	34	142,883.00	5,848.00	4,201.85	172.00	24.43	31,613,410.38	929,806.19	6,405.85	11.20	0.61	

B

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración		Producción		Productividad (ton / hr)	Costo Real de Perforación (\$ / m)	Costo Directo (\$ / m)
		Global		Promedio		(m / hr)	(m / hr)	Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)							
60	2	10,672.00	411.00	5,336.00	205.50	25.97	2,361,551.39	1,180,775.68	5,745.87	10.90	0.55	
61	3	12,371.00	536.00	4,123.67	178.67	23.08	2,737,514.26	912,504.75	5,107.30	12.36	0.71	
62	4	12,869.00	582.00	3,217.25	145.50	22.11	2,847,714.09	711,928.52	4,892.98	13.07	0.91	
63	1	3,991.00	174.00	3,991.00	174.00	22.94	883,147.64	883,147.64	5,075.56	12.46	0.73	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	4	12,704.00	623.00	3,176.00	155.75	20.39	2,811,202.10	702,800.52	4,512.36	13.39	0.92	
66	4	13,842.00	593.00	3,410.50	148.25	23.01	3,018,787.24	754,681.81	5,080.67	10.27	0.86	
Combinadas	2	8,162.00	371.00	4,081.00	185.50	22.00	1,806,126.54	903,063.27	4,868.27	11.91	0.72	
Total	20	74,411.00	3,290.00	3,720.55	184.50	22.62	16,466,023.25	823,301.16	6,004.87	12.10	0.79	

Apéndice No. 2
Producción y costo real de perforación por marca de broca
2003

C

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
60	2	14,382.00	456.53	7,191.00	228.27	31.50	3,182,517.99	1,591,259.00	6,971.10	8.86	0.33
61	6	29,444.00	1,125.84	4,907.33	187.64	28.15	6,515,509.65	1,085,918.28	5,787.24	10.76	0.48
62	6	22,916.00	827.04	3,819.33	137.84	27.71	5,070,962.48	845,160.41	6,131.46	10.32	0.61
63	8	35,870.00	1,311.37	4,483.75	163.92	27.35	7,937,485.78	982,185.72	6,052.82	10.35	0.52
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	4	10,200.00	429.77	2,550.00	107.44	23.73	2,257,104.96	564,276.24	5,251.89	11.63	0.92
66	9	28,322.00	972.25	3,146.89	108.03	29.13	6,267,228.11	696,358.68	6,446.11	8.18	0.74
Combinadas	2	7,786.00	323.70	3,893.00	161.85	24.05	1,722,923.45	861,461.73	5,322.59	10.84	0.60
Total	37	148,920.00	5,446.50	4,024.86	147.20	27.34	32,963,732.42	890,641.42	6,050.44	9.97	0.58

D

No. de Máquina	No. de Brocas	Rendimientos				Velocidad de Penetración (m/hr)	Producción		Productividad (ton/hr)	Costo Real de Perforación (\$/m)	Costo Directo (\$/m)
		Global		Promedio			Global (ton)	Promedio (ton)			
		(m)	(hr)	(m)	(hr)						
60	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
61	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
62	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
63	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
64	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
65	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
66	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Combinadas	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Total	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	