

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
DE APURÍMAC**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y RENDIMIENTO DE LAS  
BROCAS TRICÓNICAS EN EL TAJO ABIERTO DE LA MINA  
TINTAYA Y PROPUESTA PARA EL TAJO ABIERTO ANTAPACCAY,  
2012**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE MINAS**

**AUTOR: BACH. AMÉRICO ROLDAN JUAREZ**

**ASESOR: ING. NELSON MEZA PEÑA.**

**ABANCAY – APURÍMAC**

**2012**

T  
MI  
R  
2012

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS APURIMAC
BIBLIOTECA CENTRAL
FECHA INGRESO: 13 SEP 2013
Nº: 00323



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
DE APURÍMAC

**REGISTRO DE TESIS**

Registro N° 171..... Folios: 38.....Tomo: I.....  
Titulado con Res. N° 243-2013-CO-UNDA.....  
de fecha: 05 de agosto....., N° Pag. de Tesis: 153.....

UNIVERSIDAD NACIONAL  
MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

Abog. Adalberto Cruz García  
SECRETARIO GENERAL

**PARÁMETROS DE PERFORACIÓN Y RENDIMIENTO DE LAS  
BROCAS TRICÓNICAS EN EL TAJO ABIERTO DE LA MINA  
TINTAYA Y PROPUESTA PARA EL TAJO ABIERTO  
ANTAPACCAY, 2012**

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	10
AGRADECIMIENTO.....	11
RESUMEN .....	12

### CAPÍTULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1 . JUSTIFICACIÓN. ....	14
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	15
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	15
1.3. UBICACIÓN DE LA MINA.....	15
1.4. ACCESIBILIDAD.....	17
1.5. FISIOGRAFÍA.....	19
1.6. CLIMA Y METEOROLOGÍA.....	19
1.7. FAUNA .....	20
1.8. FLORA .....	21
1.9. RECURSOS HÍDRICOS .....	21
1.9.1. Cursos de agua superficiales .....	21
1.9.2. Cursos de agua subterránea .....	22

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Proceso de Perforación .....	24
2.2. Mallas de perforación. ....	25
2.2.1. Elementos para el diseño de voladuras en bancos.....	25
2.2.2. Dimensión de la voladura.....	25
2.2.3. Longitud o profundidad de taladro (L).....	26
2.2.4. Burden (B).....	27
2.2.5. Espaciamiento (E).....	28
2.2.6. Variabilidad de material a perforar .....	32
2.3. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN.....	32
2.3.1. Perforadora Drilltech. ....	33
2.3.2. Perforadora P&H 100B.....	35
2.3.3. Alimentación de energía Perforadora P&H 100 B.....	37
2.3.4. Acciones de Seguridad .....	38
2.4. Componentes de la perforación rotativa. ....	39
2.4.1. Barra de Perforación Rotativa:.....	41
2.4.2. Adaptadores .....	42
2.4.3. Amortiguadores Para Perforación .....	42
2.4.3.1. Beneficios de usar Amortiguador .....	44
2.4.4. Anillos Guías .....	44
2.5. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN .....	45
2.5.1. Variables de operación. ....	45

2.5.1.1. Velocidad de rotación (R.P.M.) .....	46
2.5.1.2. Fuerza de empuje (PULL DOWN).....	48
2.5.1.3. Torque.....	52
2.5.1.4. Presión de aire. ....	52
2.5.1.4. 1.Velocidad de barrido .....	53
2.5.1.4. 2.Consideraciones de la velocidad de barrido...	56
2.6. BROCAS.....	56
2.6.1. Brocas Tricónicas.....	56
2.6.1.1. La Estructura de Corte o Conos.....	57
2.6.1.2. Dientes de Acero (ST).....	57
2.6.1.3. Dientes con Insertos de Carburo de Tungsteno (TCI).....	57
2.6.1.3.1. Angulo del eje del cono .....	59
2.6.1.3.2. Angulo del cono.....	60
2.6.1.3.4. Longitud de los dientes.....	60
2.6.1.3.5. Espesor del cono .....	60
2.6.1.4. Cojinetes .....	61
2.6.2. Cuerpo de una Broca .....	62
2.6.2.1. El Cuerpo de la Tricónica consiste de:.....	63
2.6.3. El Código IADC para Brocas Tricónicas .....	67
2.6.4. Metalurgia de los materiales del tricono.....	69
2.6.5. Selección del tipo de tricono .....	69
2.6.5.1.Triconos de dientes.....	70

2.6.5.2. Triconos de insertos .....	71
2.7. GEOLOGÍA .....	73
2.7.1. Geología Regional y Local .....	73
2.7.2. Estratigrafía .....	76
2.7.2.1. Formación Soraya (200-500m). .....	76
2.7.2.2. Formación Mara (50-300m).....	77
2.7.2.3. Formación Ferrobamba (50-70 m).....	78
2.7.2.4. Formación Yauri.....	79
2.7.2.5 Depósitos Fluvio – Glaciares.....	79
2.7.3. Geología estructural .....	79
2.7.4. Geología Económica.....	81
2.7.5. Alteraciones Hipógenas Y Supérgenas .....	82
2.7.5.1 Alteraciones Hipógenas .....	82
2.7.5.1.1. Alteración Potásica .....	82
2.7.5.1.2. Alteración Prógrada (Skarn –Endoskarn).....	83
2.7.5.1.3. Alteración Propílica.....	84
2.7.5.1.4. Alteración por silicificación .....	84
2.7.5.1.5. Alteración Argílica .....	84
2.7.5.2. Alteración Supérgena .....	85
2.8 Sistema de operación de la mina Tintaya.....	86
2.8.1. Acerca de Xstrata PLC. ....	86



2.8.1.1. Acerca de Xstrata Copper .....	87
2.8.1.2. Acerca de la División Sur del Perú .....	88
2.8.2. Yacimiento de Tintaya.....	90
2.8.2.1. Minerales Económicos .....	90
2.8.2.2. Planeamiento .....	90
2.8.2.3. Perforación .....	91
2.8.2.4. Voladura .....	93
2.8.2.5. Equipos de Voladura.....	94
2.8.2.6. Accesorios de Voladura.....	94
2.8.2.7. Carguío .....	95
2.8.2.8. Modalidades de Carguío.....	95
2.8.2.9. Acarreo .....	97
2.8.2.10. Drenaje .....	99
2.8.2.10.1. Drenaje Superficial.....	99
2.8.2.10.2. Drenaje Mina.....	99
2.9 Antapaccay .....	100
2.9.1. Aspectos Generales.....	100
2.9.1.1.Ubicación de Propiedades y Concesiones Mineras ..	100
2.9.2.Geología General.....	101
2.9.2.Litología.....	102

## CAPITULO III

### PARTE EXPERIMENTAL

3. Estudio de la resistencia a la compresión del macizo rocoso mediante el RocLab.....	107
3.1. Análisis e interpretación de fallas .....	110
3.1.1. Reporte diario de perforación.....	111
3.2. Evaluación de los parámetros de perforación y la vida útil de la broca triconica.En formación de macizo rocoso Duro ( Skarn) .....	112
3.2.1. Tabla de resumen de la vida útil de las brocas triconicas y los parámetros de perforación en roca dura (sk).....	116
3.2.2. Comparación de los parámetros de perforación teórica y de campo.....	117
3.3. En formación de macizo rocoso Medio (EndSkarn -caliza) .....	119
3.3.1. Tabla de resumen de la vida útil de las brocas triconicas y los parámetros de perforación en roca Medio (EndSkarn -caliza) .....	123
3.2.2. Comparación de los parámetros de perforaciones teóricas y de campo.....	124
3.4. En formación de macizo rocoso Blanda monzonita ( MZ ) .....	126
3.4.1. Tabla de resumen de la vida útil de las brocas triconicas y los parámetros de perforación en roca Blanda monzonita (MZ).....	130
3.4.2. Comparación de los parámetros de perforaciones teóricas y de campo.....	131
3.5. Tabla de resumen de la vida útil de la broca y sus causas.....	133

3.6 Costo de perforación .....	134
3.7 : Tabla Resumen de los costos de perforación de toda las brocas en estudio en la mina Tintaya.....	135

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. En formación de macizo rocoso Duro (Skarn).....	136
4.1.1. Presión de aire. (m3/ min).....	136
4.1.2. Velocidad de rotación (RPM).....	136
4.1.3. Fuerza vertical (PullDown).....	137
4.2. En formación de macizo rocoso Medio (EndSkarn -caliza).....	137
4.2.2. Velocidad de rotación (RPM).....	137
4.2.3. Fuerza vertical (PullDown).....	138
4.3. En formación de macizo rocoso Blanda monzonita (MZ).....	138
4.3.1. Presión de aire (m3/min).....	138
4.3.2. Velocidad de rotación (RPM).....	139
4.3.3. Fuerza vertical (PullDown).....	139
CONCLUSIONES.....	140
RECOMENDACIONES.....	142
BIBLIOGRAFÍA.....	145
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	147
ÍNDICE DE FIGURAS .....	148
ÍNDICE DE GRAFICOS .....	149
ÍNDICE DE TABLAS .....	150
ÍNDICE DE ANEXO .....	151
ANEXO.....	152

## **DEDICATORIA**

A mis padres Rosa Juárez Sarmiento y Jesús Roldan Ramírez: Por sus sabios consejos que me han impartido.

A: Catherine Chipa Benites

Por su infinito apoyo moral y comprensión.

A mis hermanos y hermanas por su participación incondicional en mi formación profesional.

A la memoria de mi abuelo Víctor Roldan Ayvar.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser la luz de todos los días al guiar mis pasos, a mis padres Rosa Juárez Sarmiento y Jesús Roldan Ramírez, por enseñarme a ser fuerte, a la perseverancia, al respeto hacia el prójimo y por tener siempre su apoyo incondicional.

Así mismo manifiesto mi sincero agradecimiento a la empresa XSTRATA - Tintaya S.A. que con su apoyo ha permitido el desarrollo de éste valioso trabajo.

De manera especial agradezco al Ing. Nelson Meza Peña. Por su valiosísimo apoyo como asesor y amigo en la elaboración de la presente tesis.

**Américo Roldan Juárez**

## RESUMEN

Durante la perforación, las brocas funcionan bajo un principio esencial: vencer los esfuerzos de corte y de compresión de la roca. Para cumplir este propósito los dientes de la broca, en el caso de la tricónica, deben incrustarse en la formación rocosa y posteriormente cortarla cuando se desplaza dentro de la misma. Por esta razón se distinguen dos marcas fundamentales de brocas triconica utilizadas en la mina de Tintaya: SANDVIK y ATLAS COPCO.

El trabajo de la broca dependerá del tipo y características de la roca que se desea cortar, principalmente en función de la dureza y los parámetros de perforación aplicada en el proceso de perforación como son, presión de aire (Pull Down) y las revoluciones por minuto (RPM). Que influirán directamente con el rendimiento y la vida útil de la broca triconica.

Con una descripción de los parámetros de perforación en cada tipo de macizo rocoso en los tajos de la mina Tintaya. Se logro reconocer la influencia directa de cada parámetro de perforación en el rendimiento y la vida útil de las brocas triconicas, uno de los parámetros mas influyentes es la baja presión de aire para el barrido generando una remolienda casi permanente y la alta presión vertical generando un daño mayor a los insertos de la broca triconica.

## **SUMMARY**

During drilling, the drills operate under a fundamental principle: to overcome the shear and compression of the rock. To accomplish this purpose the teeth of the bit, in the case of tricone, be embedded in the formation and subsequently cut as it moves within it. For this reason there are two core brands of used tricone bits in Tintaya mine: SANDVIK and ATLAS COPCO. The work of the drill depending on the type and characteristics of the rock to be cut, mainly depending on the hardness and drilling parameters applied in the drilling process such as, air pressure (Pull Down) and the revolutions per minute (RPM). Which directly influence the performance and life of tricone drill.

With a description of the drilling parameters for each type of rock mass in mine pits Tintaya. They fully comprehend the direct influence of each parameter in drilling performance and life of tricone bits, one of the most influential parameter is the low air pressure for generating sweep regrind almost permanent high pressure and generating a vertically further damage to the inserts tricone drill bit.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.2 . JUSTIFICACIÓN.**

La perforación rotativa, es el primer paso en las operaciones de toda mina a tajo abierto, ello va de la mano con la operación de voladura, para asegurar el material adecuadamente fracturado para un acarreo eficiente y seguro.

El método rotatorio de perforación implica necesariamente el empleo de una broca, que es la herramienta clave para el ingeniero de perforación. Su correcta selección y las condiciones óptimas de operación son dos premisas esenciales para lograr éxito en el proceso.

En la actualidad existe gran variedad de brocas fabricadas por varias compañías para diferentes tipos de trabajo las cuales en la mina a cielo abierto de Tintaya tenemos las brocas triconicas en las marcas SANDVIK y ATLAS COPCO. Por ello, el ingeniero debe examinar adecuadamente las condiciones de la formación rocosa que se pretende perforar y el equipo disponible. En este estudio se mostrará los parámetros de perforación que debe aplicar el ingeniero de minas, con el fin de entender los requerimientos y procedimientos operativos, para lograr un mejor rendimiento y una mayor vida útil de la broca triconica en la mina Tintaya como también en la mina de Antapaccay ya que presenta características geológicas similares tipo skarn con la presencia de calizas y intrusivos y contara con la parte logística, maquinarias y la experiencia de la mina Tintaya.



## **1.2. OBJETIVOS.**

### **1.2.1 OBJETIVOS GENERALES.**

Reconocer la influencia de los parámetros de perforación en el rendimiento de las brocas tricónicas en el tajo abierto de la mina Tintaya; Para así poder lograr un mejor rendimiento de las brocas triconicas en los tajos de Tintaya-Antapaccay

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Optimizar el uso de las brocas tricónicas identificando, analizando y corrigiendo los puntos críticos de cada parámetro en el proceso de perforación.
- Evaluar la influencia de los parámetros de perforación en el rendimiento de la broca tricónicas.
- Incrementar la vida útil de las brocas tricónicas nuevas con una adecuada aplicación de los parámetros de perforación.

## **1.3. UBICACIÓN DE LA MINA.**

La mina se encuentra ubicada en:

Localidad: Campamento minero Tintaya,

Distrito : Yauri

Provincia : Espinar

Región : Cusco

Altitud : 4 100 m.s.n.m.

**Coordenadas geográficas:**

14° 55' Latitud Sur 71° 55' Longitud Oeste

14° 60' Latitud Sur 71° 27' Longitud Oeste

**Las coordenadas UTM del campamento minero de Tintaya.**

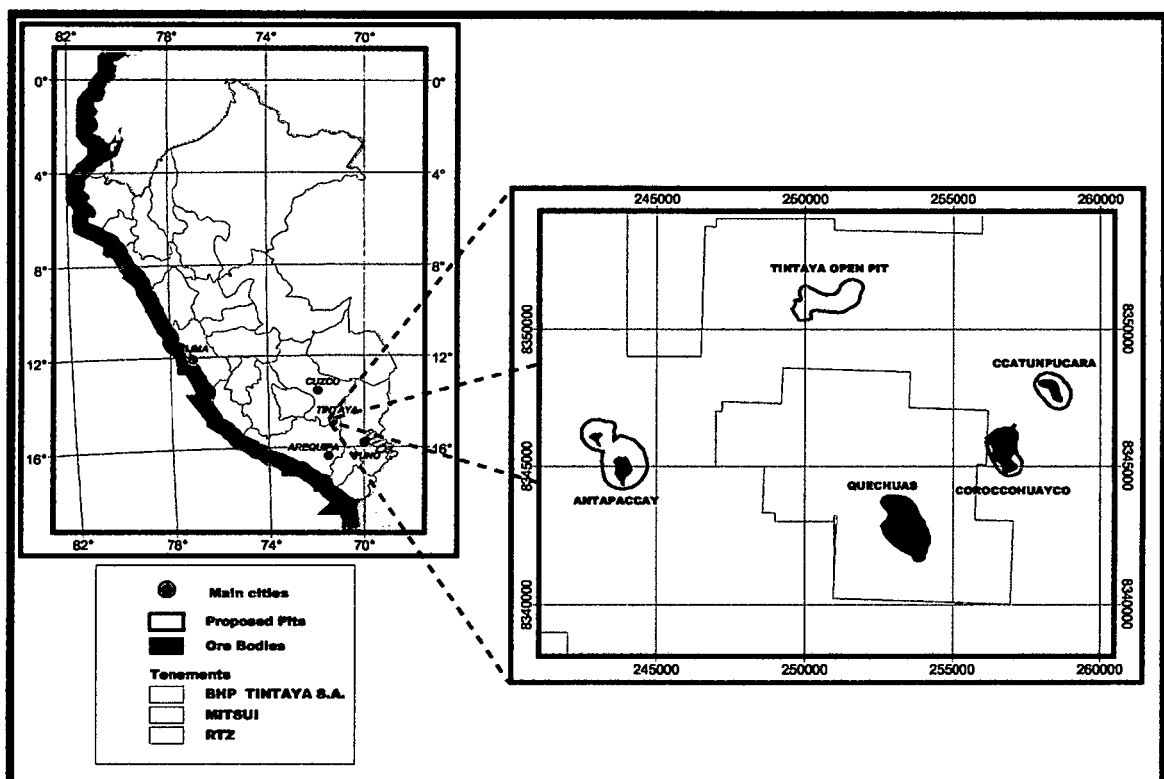
NORTE : 8 355 155.05

ESTE : 250 409.76

ZONA : 18

FRANJA : L

**Gráfico N°1: Ubicación de la mina Tintaya**



Fuente: Mapasperu.com

#### 1.4. ACCESIBILIDAD.

Se puede llegar al yacimiento minero de la siguiente manera.

##### a) Por vía terrestre.

Trayecto	km	Tipo	Tiempo
Lima-Cusco	1063.4	Asfaltado	14.5 h
Cusco-Espinar	250	Asfaltado	5,5 h.
Espinar -Tintaya	3	Trocha	0.15 h

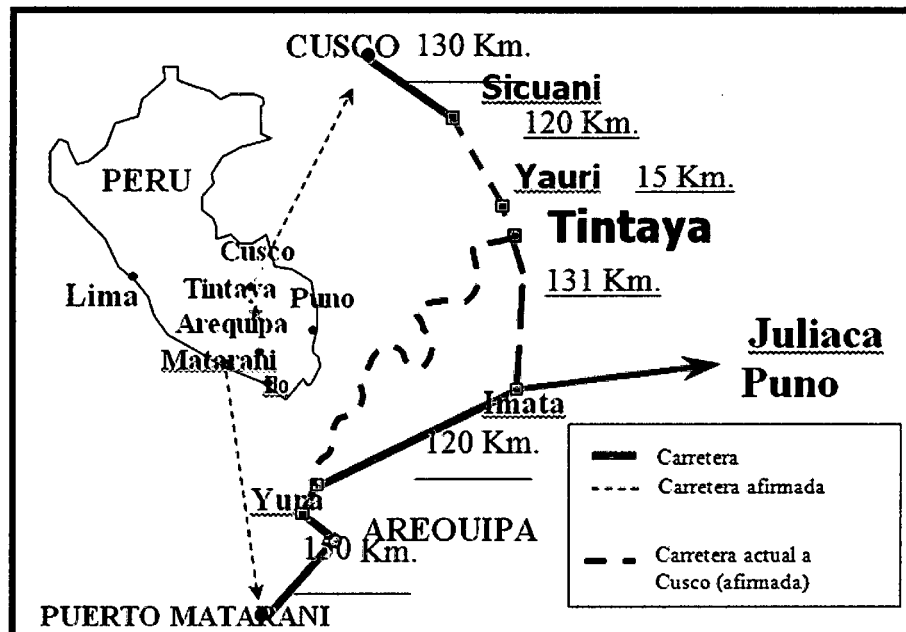
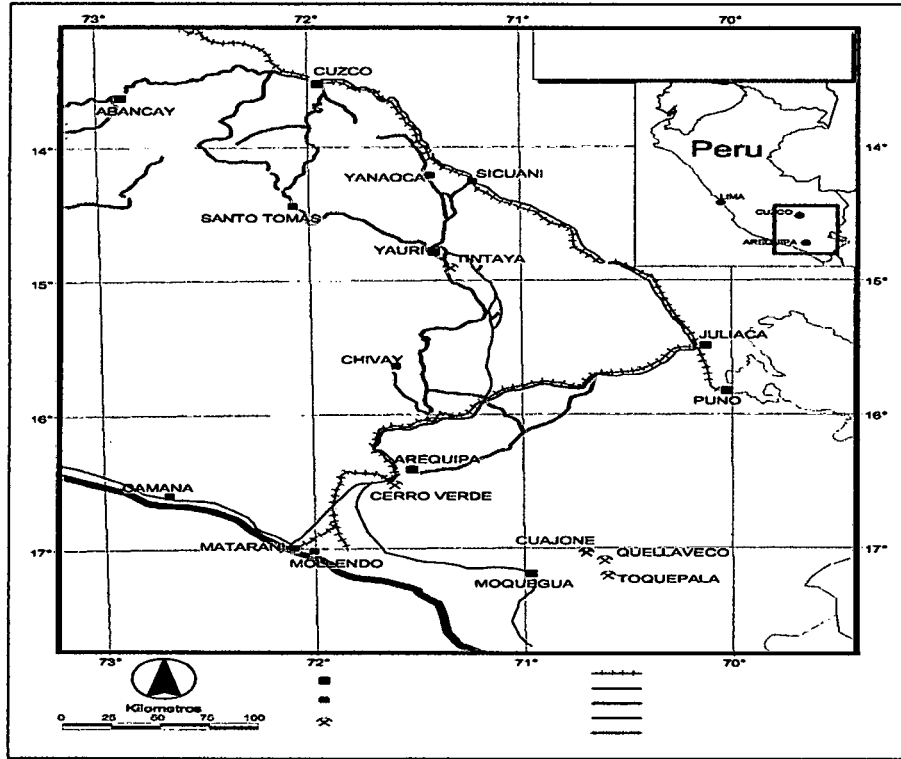
Trayecto	km	Tipo	Tiempo
Lima-Arequipa	1012	Asfaltado	13.5 h
Arequipa -Espinar	260	Asfaltado	6 h.
Espinar -Tintaya	3	Trocha	0.15 h

##### b) Por vía aérea.

Trayecto	Tipo	Tiempo
Lima - Tintaya	Avioneta – Helicóptero	0,5 h

Fuente: Ministerio de transportes y Comunicaciones

**Gráfico N° 2: Accesos a la mina Tintaya**



Fuente: Ministerio de transportes y Comunicaciones

### **1.5. FISIOGRAFÍA.**

El área de operaciones de la Compañía Minera Xtrata Tintaya S.A., está localizada en la región altiplánica de la Cordillera de los Andes.

El relieve de la región se caracteriza por tener montañas escarpadas de cumbres altas, estribaciones onduladas, valles y gargantas interandinas de pendientes variables desde suave a abrupta

La altitud del distrito de Espinar desciende desde 4,350 msnm en las nacientes del río Tintaya hasta 4,050 msnm en la zona de la actual estación de bombeo del río Salado. En el área de Huinipampa la altitud varía entre 3,950 y 3,980 msnm. Las colinas circundantes por el sur alcanzan una altitud mayor a 4,170 msnm, mientras que las del norte también superan los 4,100 msnm, diferenciándose de las anteriores por sus pendientes más suaves. Las colinas vecinas que rodean Huinipampa constituyen la parte más alta de la cuenca de drenaje.

### **1.6. CLIMA Y METEOROLOGÍA.**

El área de la mina de Tintaya se caracteriza por tener clima fresco y húmedo, con periodos lluviosos y secos. La temperatura media de la zona es de 7,3 °C; El mes de junio alcanza las temperaturas más bajas, ésta oscila entre 0 °C y 9,9 °C. La humedad relativa media de la zona es de 55,2%. durante el año se mantiene los 61,2% (enero) y los 50,2% (setiembre), como promedio mensual.

La presencia de la lluvia en la cuenca marca dos estaciones, la primera lluviosa que empieza en noviembre y culmina en abril y la segunda seca de mayo a octubre, siendo julio el mes más seco.

Los vientos tienen direcciones predominantes que varían desde NNE a NNW con frecuencias de hasta 35% para viento N en la estación de ubicada al norte de Huinipampa y 20% en campamento 2., de 15% para viento NW en Campamento 2 y menor al 10% cerca de la presa de Ccamacmayo.

### **1.7. FAUNA**

En la Provincia todavía es posible encontrar poblaciones grandes de mamíferos como las vicuñas, venados, pumas. La fauna mas variada lo constituyen las aves, las cuales ocupan todos los habitat posible. En la Provincia se tiene: ovinos, camélidos, vacunos, equinos, caprinos.

La crianza de animales en la Provincia.

En 1° orden está el ovino, pues el 92% de los productores los crían, siendo el promedio de 45 ovinos/productor.

En 2° lugar los vacunos que involucra al 76% de los productores con un promedio de 8 cabezas por productor.

En 3° lugar las alpaca con un promedio de 27 cabezas por productor. <sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> OROS VENGOA, Javier, (2011) "estudio de calidad ambiental región cusco". Cusco .Pg35- 37

## **1.8. FLORA**

Es típica de las zonas altas y frías, estando constituidas esencialmente por la paja de puna "ichu", que sirve de forraje para el ganado vacuno y lanar que se cría en la zona; también podemos encontrar algunas plantas cactáceas como la "corotilla", lo mismo que musgos en las orillas de los riachuelos. En cuanto a la agricultura se desarrolla principalmente tubérculos andinos ( papa , oca, ano) especies que se pueden adaptar a las lluvias estacionales; esta se realiza en planicies y generalmente por debajo de los 4000 m.s.n.m., siendo escasos los terrenos de cultivo, de suelos arcillosos, semipermeables que controlan la conservación de la humedad.<sup>2</sup>

## **1.9. RECURSOS HÍDRICOS**

### **1.9.1. Cursos de agua superficiales**

La unidad minera Tintaya está ubicada en la cuenca hidrográfica del río Salado.

El río Salado es afluente del río Apurímac el que va a formar parte de la cuenca del Ucayali y finalmente a formar el gran río Amazonas. Al río Salado desembocan el río Tintaya y la quebrada Qachaqmayo, cuyas aguas discurren de sur a norte.

Las Quebradas donde se desarrollan las actividades mineras corresponden a las micro cuencas de Tintaya y Ccamacmayo. Son quebradas que bordean

---

<sup>2</sup> OROS VENGOA, Javier, (2011) "estudio de calidad ambiental región cusco". Cusco Pg.38,39

Las operaciones de mina. Se consideraría de manera indirecta a los ríos Salado y Cañipia.<sup>3</sup>

Los usos actuales de las aguas, se dan principalmente:

- Para actividades agrícolas (para riego y bebedero de animales)
- Para uso de las operaciones mina.
- Para Consumo Humano
- Para actividades relacionadas con la industria.

### **1.9.2. Cursos de agua subterránea**

En lo que refiere a caudales, los flujos de agua subterránea varían dependiendo de la época de estiaje y de avenidas, siendo del orden de 120 l/s para el primer caso y de 160 l/s para el segundo aproximadamente. En líneas generales, tenemos dos acuíferos, uno superior conformado por cobertura fluvio glacial cuyos aportes se dan principalmente en época de avenidas, debajo del cual se localiza otro acuífero constituido por rocas pre-cuaternarias (monzonitas y calizas) que es el acuífero principal.

Las aguas subterráneas son monitoreadas en las micro cuencas de Tintaya y Huinipampa.

La única corriente de agua con caudal perenne es el río Chili ubicado a 10Km al norte de la mina con  $8\text{m}^3/\text{s}$  (8000 l/s) el cual es denominado agua fresca con un requerimiento de 77.71 L/s, esta agua fresca es derivada del río chili a la estación de bomba N°1 desde donde es bombeada hasta tanques de

---

<sup>3</sup> GOMES HIRATA, Daniel, (2003) "estudio hidrogeológico y presencia de aguas en el yacimiento de tintaya". Lima Pg.47,49



estación de bombeo N°2 envía el agua de estos tanques hasta la estación de bombeo N°3 y de ahí a tanques de almacenamiento con capacidad combinada de 15400m<sup>3</sup> ubicados al norte de la mina. El agua fresca es utilizada para chancado, control de polvo (30L/s), lixiviación, planta SX/EW y otros.

El agua subterránea es bombeada de un sistema de seis pozos de bombeo, el cual no es utilizado para ningún uso potable, con una capacidad de 30.83L/s con reservas estimadas de 13.8 millones de m<sup>3</sup>.

El área que consume mayor cantidad de agua es la de lixiviación que tiene un consumo aproximado de 202 182 m<sup>3</sup>/mes.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> GOMES HIRATA, Daniel, (2003) "estudio hidrogeológico y presencia de aguas en el yacimiento de tintaya". Lima Pg. 52,54

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Proceso de Perforación**

**HERRERA NERBERT, Juan. (2006)<sup>5</sup>**

La perforación, es la primera operación unitaria dentro del proceso de minado. Ello va de la mano con la operación de voladura, para asegurar el material adecuadamente fracturado para un acarreo eficiente y seguro.

- Se puede realizar con diferentes tipos de perforadoras, las cuales se eligen de acuerdo a las características y necesidades de la mina.
- El proceso de perforación se realiza con el diseño previo de la malla (que es la determinación de los espacios que deben tener los taladros entre ellos, los cuales se calculan de acuerdo al tipo de terreno a perforar, diámetro del taladro, diseño de altura de banco).
- Antes de iniciar y finalizar la perforación todo operador debe identificar los posibles riesgos, además de chequear los puntos importantes del equipo, como niveles de aceites, sistema hidráulico, estado de orugas, cadenas de izar, brocas, barras, caja de rotación, fugas de aceites, nivel de agua, etc. La máquina deberá permanecer en todo momento limpia, por lo tanto el operador es el responsable de ello.

---

<sup>5</sup> HERRERA NERBERT, Juan. (2006)“perforaciones en minería a cielo abierto.” Pg. 70,74

## **2.2. Mallas de perforación.**

### **2.2.1. Elementos para el diseño de voladuras en bancos.**

**GIMENES ROBLES, Ash (2011)<sup>6</sup>**

También denominados parámetros de la voladura, son datos empleados en el cálculo y diseño de disparos. Unos son invariables, como los correspondientes a las características físicas de la roca: densidad, dureza, grado de fisuramiento, coeficientes de resistencia a deformación y rotura, etc.; y otros son variables, es decir que podemos modificarlos a voluntad, de acuerdo a las necesidades reales del trabajo y condiciones del terreno.

Estos parámetros controlables se pueden agrupar en:

- a. Geométricos: altura, ancho y largo del banco, talud, cara libre.
- b. De perforación: diámetro y longitud del taladro, malla.
- c. De carga: densidad, columna explosiva, longitud de taco, características físico-químicas del explosivo.
- d. De tiempo: tiempos de retardo entre taladros, secuencia de salidas de los disparos.

### **2.2.2. Dimensión de la voladura**

Comprende al área superficial delimitada por el largo del frente y el ancho o profundidad de avance proyectados ( $m^2$ ) por la altura de banco o de corte (H), en  $m^3$ .

---

<sup>6</sup> GIMENES ROBLES, Ash (2011) "Diseño de perforación en bancos en mina a cielo abierto." Pg. 38,45,

$(L \times A \times H) = \text{Volumen total}$

Donde:

L : Largo, en m.

A : Ancho, en m.

H : Altura, en m.

Si desean expresarse en toneladas de material in situ se multiplica por la densidad promedio de la roca o material que pretende volarse.

$(L \times A \times H \times \rho \times 1\,000) = \text{masa total}$

Donde:

$\rho$  : Densidad de la roca, en  $\text{kg/m}^3$ .

### **2.2.3. Longitud o profundidad de taladro (L)**

La longitud de taladro tiene marcada influencia en el diseño total de la voladura y es factor determinante en el diámetro, burden y espaciado.

Es la suma de altura de banco más la sobreperforación necesaria por debajo del nivel o razante del piso para garantizar su buena rotura y evitar que queden lomos o resaltos (*toes*), que afectan al trabajo del equipo de limpieza y deben ser eliminados por rotura secundaria.

Esta sobreperforación debe ser por lo menos de 0,3 veces el valor del burden, por tanto:

$$L = (0,3 \times B)$$

Donde:

L : longitud de taladro

B : burden.

#### **2.2.4. Burden (B)**

También denominada piedra, bordo o línea de menor resistencia a la cara libre. Es la distancia desde el pie o eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana. También la distancia entre filas de taladros en una voladura.

Se considera el parámetro más determinante de la voladura. Depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca, altura de banco y las especificaciones del explosivo a emplear.

Se determina en razón del grado de fragmentación y al desplazamiento del material volado que se quiere conseguir.

Si el burden es excesivo, la explosión del taladro encontrará mucha resistencia para romper adecuadamente al cuerpo de la roca, los gases generados tenderán a soplar y a craterizar la boca del taladro.

Por el contrario, si es reducido, habrá exceso de energía, la misma que se traducirá en fuerte proyección de fragmentos de roca y vibraciones.

#### **Fórmula de Ash**

Considera una constante  $k_b$  que depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado:

$$B = (k_b \times \varnothing) / 12$$

Donde:

B : Burden.

$\varnothing$  : Diámetro de taladro.

kb : Constante, según el siguiente cuadro

CLASE DE ROCA	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	CLASE DE ROCA		
		BLANDA	MEDIA	DURA
Baja densidad y potencia	0,8 a 0,9	30	25	20
Densidad y potencia medias	1,0 a 1,2	35	30	25
Alta densidad y potencia	1,2 a 1,6	40	35	30

#### 2.2.5. Espaciamiento (E)

Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila.

Se calcula en relación con la longitud del burden, a la secuencia de encendido y el tiempo de retardo entre taladros.

Al igual que con el burden, espaciamientos muy pequeños producen exceso de trituración y craterización en la boca del taladro, lomos al pie de la cara libre y bloques de gran tamaño en el tramo del burden. Por otro lado, espaciamientos excesivos producen fracturación inadecuada, lomos al pie del banco y una nueva cara libre frontal muy irregular.

En la práctica, normalmente es igual al burden para malla de perforación cuadrada  $E = B$  y de  $E = 1,3$  a  $1,5 B$  para malla rectangular o alterna.

Para las cargas de pre-corte o voladura amortiguada (*Smooth blasting*) el

espaciamiento en la última fila de la voladura generalmente es menor:

$E = 0,5$  a  $0,8 B$  cuando se pretende disminuir el efecto de impacto hacia atrás. Si el criterio a emplear para determinarlo es la secuencia de salidas, para una voladura instantánea de una sola fila, el espaciado es normalmente de  $E = 1,8 B$

Para voladuras de filas múltiples simultáneas (igual retardo en las que el radio longitud de taladro a burden ( $L/B$ ) es menor que 4 el espaciado puede determinarse por la fórmula:

$$E = \sqrt{B \times L}$$

Donde:

$B$  : Burden, en pies.

$L$  : Longitud de taladros, en pies.

En voladura con detonadores de retardo el espaciado promedio es aproximadamente de:

$$E = (1,4 \times B)$$

## Calculo de Burden y Espaciamiento

$$V=HxBxE$$

V: Volumen

H: Longitud de perforación.

B: Burden.

E: Espaciamiento

$$V=60\text{pies} \times B \times 1.4B$$

$$V=84B^2\text{pies}^3$$

$$V = 84B\text{pies}^3 \times \frac{240\text{lb}}{\text{pies}^3} \times \frac{Tc}{2000\text{lb}} = 10.08Tc$$

- Carga de explosivo por taladro

Calculo de libras de Emulsión

$$E = 10.08B^2 \times Fp (Tc)$$

$$Fp=0.44\text{lb}/Tc$$

Fp: Factor de potencia

$$E = 10.08B^2 Tc \times 0.44 \frac{\text{lb}}{Tc} = 4.43B^2 \text{lb}$$

- Altura de carga

$$Hc = \frac{\text{libras de emulsion}}{\text{carga de taladro} \times \frac{\text{qe Emulsion}}{\text{qe Anfo}}}$$

$$Hc = \frac{4.435 \times B^2 \text{lb}}{35.95 \text{lb/pies} \times \frac{1.38}{0.85}} = \frac{4.435 \times B^2}{58.37} = 0.076B^2$$

$$B=H+J-Hc$$

B: Burden



H: Altura de perforacion

J: Sobre perforacion

Hc: Altura de carga

$$B = 60 + 0.3xB - 0.076xB^2$$

$$0.076xB^2 + 0.7xB - 60 = 0$$

- Reemplazando en Baskara

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = \frac{-0.70 + \sqrt{0.70^2 - 4(0.076)(-60)}}{2(0.076)} = 23.87 \text{ PIES}$$

$$x = \frac{-0.70 - \sqrt{0.70^2 - 4(0.076)(-60)}}{2(0.076)} = -33.08 \text{ PIES}$$

X=B=24 pies

B=7.3 mt.

E=7.3 X 1.4= 10.22mt.

**MEDINA MENDES, Fabián (2002)<sup>7</sup>**

- El área a perforar se debe preparar con tractor de ruedas u orugas de acuerdo al material a limpiarse además debe colocarse bermas de seguridad hacia las crestas, presentado un terreno de superficie uniforme.
- La malla de perforación ó distancias entre taladros es llevada al campo en un plano previamente diseñada, el equipo de topografía

---

<sup>7</sup> MEDINA MENDES, Fabián (1990) "Operación unitaria de minado a cielo abierto" Pg. 56,58

coloca puntos principales de referencia marcados con chutas azules y numeradas con estacas triangulares de color rosado.

- Posterior a la colocación de los puntos referenciales por el equipo de topografía, el equipo de operaciones de perforación procede a completar la malla utilizando flexómetro graduada, plástico rojo y chutas en cada punto.
- El área debe ser señalizada con conos, letreros de no ingreso de personal no autorizado.
- La malla es elaborada de acuerdo al tipo de roca y características.

#### **2.2.6. Variabilidad de material a perforar.**

**STEVE TAYLOR, Jabiert (2001) <sup>8</sup>**

- La variación de diferentes materiales que se presentan en la mina son el principal factor para diseñar las mallas.
- Estos materiales varían desde zonas blandas, semi duras a duras, duras a blandas. con y sin presencia de agua, fallas geológicas, alteraciones, fracturas.

### **2.3. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE PERFORACIÓN.**

En la mina Tintaya se utiliza las siguientes perforadoras:

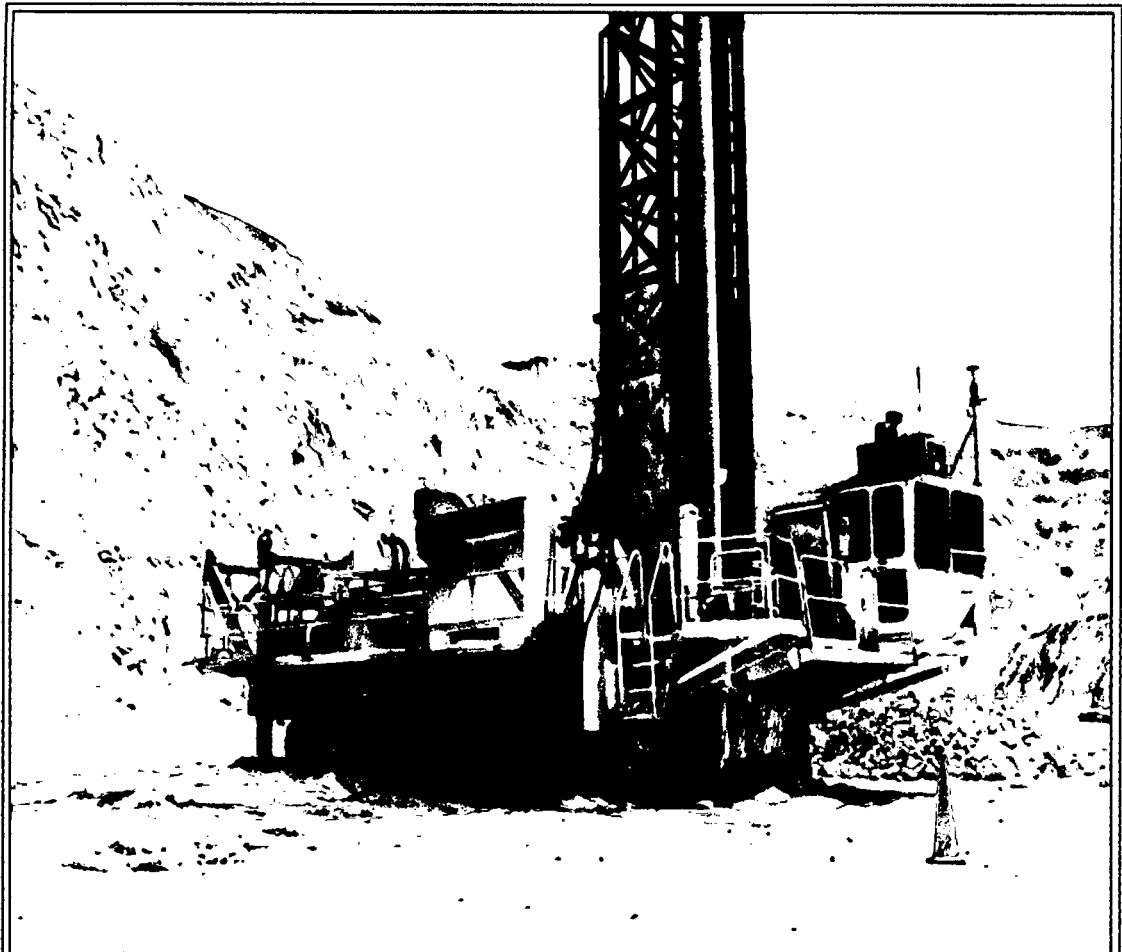
---

<sup>8</sup> STEVE TAYLOR, Jabiert (2001) "Procedimiento para correr brocas de perforación". Pg. 76,78

### 2.3.1. Perforadora Drilltech.

Fotografía N°1: Perforadora Drill tech. Operando en el tajo Chabuca

Norte en el banco 3955 y nivel 3970 m.s.n.m



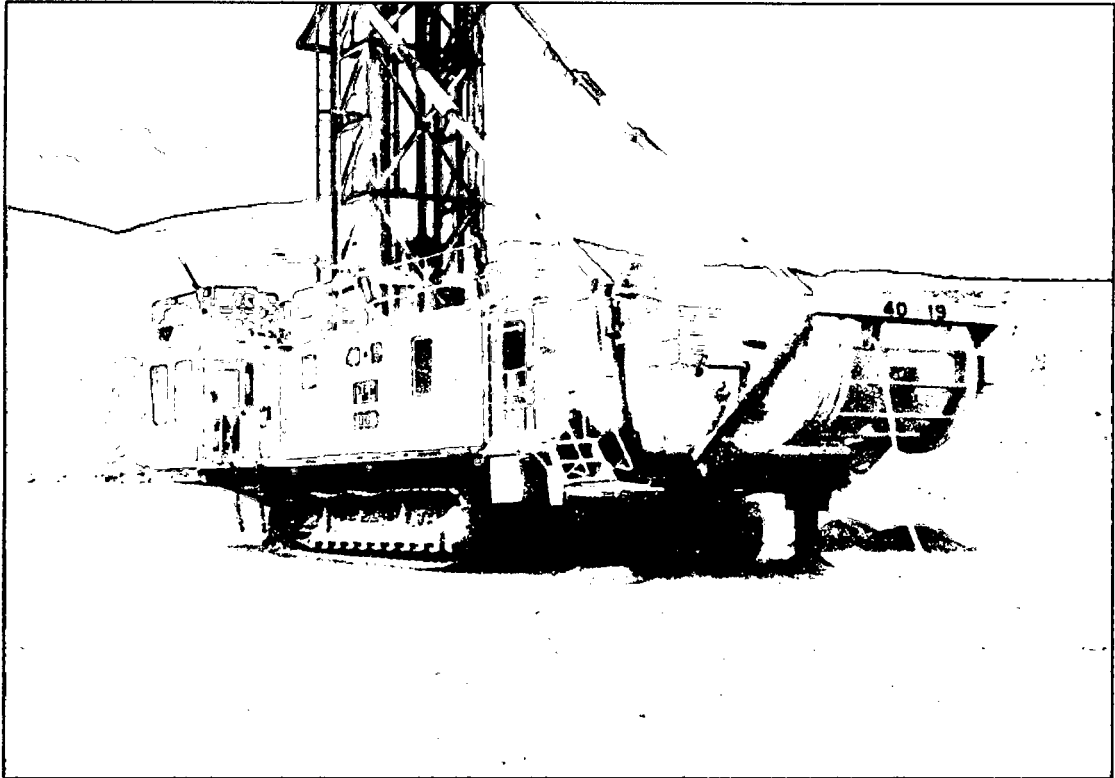
Fuente: Propia

- Velocidad de perforación promedio: 61 mts /hr
- Tamaño del taladro: 12 ¼ pulgadas ó 31.11 cm.

- Longitud de orugas: 7.44 m. largo x 5.33 m. ancho.
- Velocidad de desplazamiento: 1.2 km / hr
- Rodillos en las orugas: 12 inferiores, 4 superiores.
- Motor: Caterpillar de 1200 HP
- Compresor: Sullair Corp, flujo de entrada a 1800 rpm de 2600 cfm (pies<sup>3</sup>/minuto) ó 73.6 m<sup>3</sup>/min. Presión máxima de operación de 80 psi (5.5 bar)
- Peso de operación (con tubos de perforación) : 250,000 lbs. Ó 113.40 TM.
- Longitud mástil abajo: 28.45 mts.
- Altura mástil arriba: 20.83 mts.
- Altura mástil abajo a plataforma de trabajo: 8.28 mts.
- Utiliza como combustible petróleo Diessel.
- Sistema de perforación: rotativa.
- Longitud de perforación :20m

### 2.3.2. Perforadora P&H 100B.

Fotografía N°2: Perforadora P&H 100B. operando en Chabuca Sur en el banco 3970 y nivel 3985 m.s.n.m



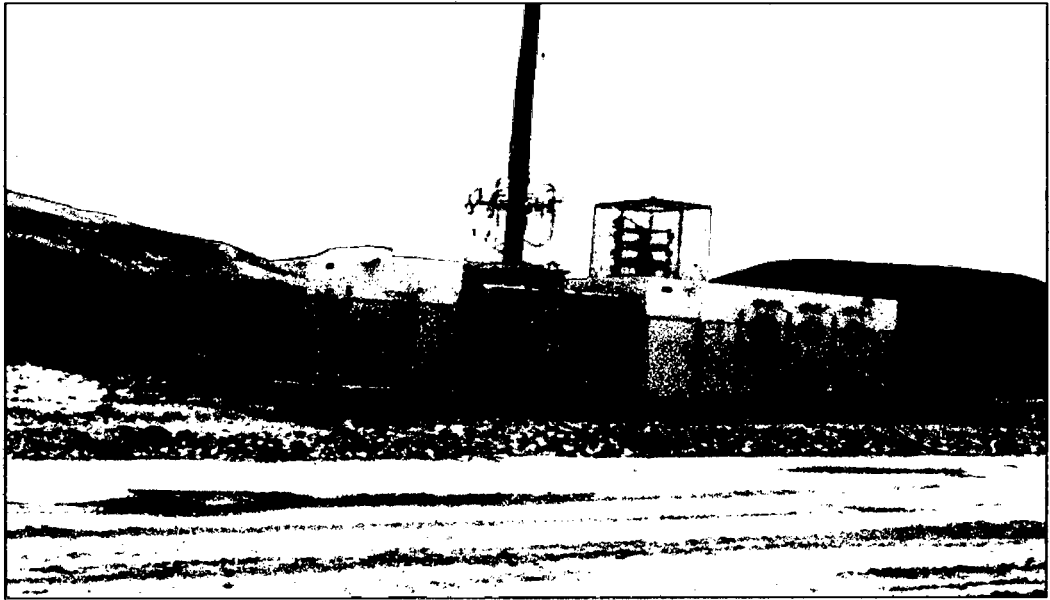
Fuente: Propia

- Velocidad de perforación promedio: 59 mts/hr.
- Diámetro del taladro: 12 ¼ pulgadas ó 31.11 cm.
- Perforadora eléctrica que puede trabajar con fases de 4,160 voltios ó 6600 voltios ó 7200 voltios.
- Peso total: 151.956 TM.

- Control Eléctrico: con programas lógicos de control para secuencias de voltaje.
- Pull Down del motor a 575 voltios: Produce 160 HP a máximo de 235 HP.
- Rotación: 125 rpm.
- Compresor a 400 HP: produce 3000 cfm estándar con opciones hasta 2500 cfm.
- Altura del mástil estándar: 20.3 mts.
- Ancho total de la perforadora: 6.8 mts.
- Ancho de orugas: 5.9 mts.
- Altura con mástil levantado: 28.2 mts.
- Largo máximo de la perforadora: 28.7 mts.
- Sistema de perforación: rotativa.
- Longitud de perforación: 20mts.

### 2.3.3. Alimentación de energía Perforadora P&H 100 B.

Fotografía N°3: Alimentación de energía Perforadora P&H 100 B en el banco 3971 y nivel 3915 m.s.n.m



- La energía llega a mina a través de línea de alta tensión de 10,000 voltios.
- Es recibida en transformadores ABB los cuales la bajan a 7,200 voltios, también es recibida en transformadores Pemco que bajan la energía a 4,160 voltios.
- La energía llega a las perforadoras a través de cables de alimentación.
- Los cables son manipulados por personal entrenado y autorizado con equipos especiales.

- Los cables no deben ser golpeados, ni estirados, ningún equipo debe pasar sobre ellos, para evitar este incidente se colocan puentes terrestres de jebe como se ilustra en la siguiente lámina, los cabezales son colocados sobre caballetes.

#### **2.3.4. Acciones de Seguridad**

- No manipular cables de alimentación de alta tensión sin estar autorizado.
- El operador en cabina debe estar solo, salvo que con autorización este dando instrucción.
- Mientras la perforadora este trabajando, ninguna persona debe estar en la plataforma.
- Debe existir comunicación abierta con todo equipo que se acerque a la perforadora.
- Solo el operador de cisterna de agua debe subir a la parte alta del equipo para abastecer, utilizando su arnés y línea de vida.
- El cambio de accesorios debe realizarse aplicando los procedimientos escritos de trabajo, el operador debe estar autorizado.
- En el traslado de perforadora debe aplicarse los AST autorizados.



- Toda persona de piso debe estar a 10 metros de radio de influencia del cable de alimentación y de la perforadora.
- Estar atento a la operación de la perforadora de acuerdo a lo determinado en la AST.
- No realizar ninguna operación sin autorización.

#### **2.4. Componentes de la perforación rotativa.**

La sarta de perforación o también conocida como columna de perforación es la encargada de transmitir las fuerzas de empuje y rotación al tricono, además de determinar la profundidad del pozo.

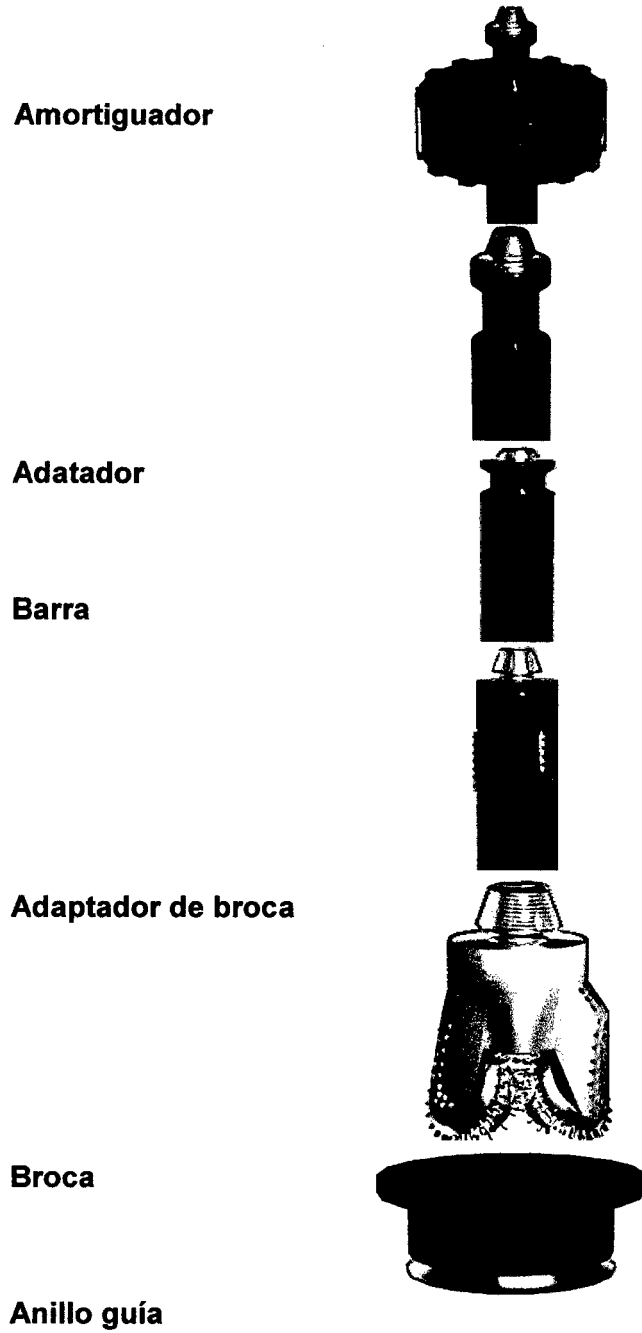
Por dentro de la sarta circula aire para evacua el detritus y además enfriar la broca y agua que sirve para estabilizar las paredes del pozo

La sarta de perforación se compone de los siguientes componentes:<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> RODRIGUES SERNA, Richard Robert (2011) "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"Thompson USA. Segunda edición.

**Grafico N°3: Columna de Perforación Rotativa**



Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

### **2.4.1. Barra de Perforación Rotativa:**

La barra de perforación es una conexión mecánica entre el cabezal de la perforadora y la broca tricónica:

Funciones:

Trasmitir rotación, peso desde el cabezal a la broca tricónica

Trasmitir por su interior fluido y/o aire para enfriar la broca.

Actúa como conductor del aire a gran presión para sacar el detritus de la perforación.

### **2.4.2. Adaptadores**

Los adaptadores, son aceros que complementan la columna de perforación, se usan cuando se cambia de un tipo de hilo a otro ó cuando se acoplan barras que tienen las mismas conexiones en ambos extremos, son fabricados con aceros de aleación de alta calidad tratados térmicamente. Los adaptadores están disponibles en todos los tamaños, con una amplia variedad de combinaciones de hilos<sup>10</sup>.

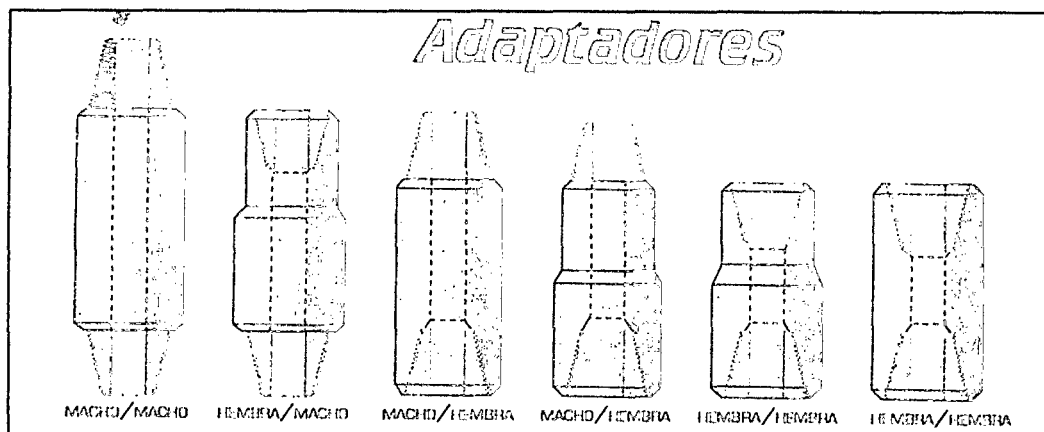
- Tipos:
- Adaptador de cabezal a Barra.

---

<sup>10</sup> Bucyros. (2012) Equipos mineros "Perforación automatizada".

- Adaptador de Barra a Barra.
- Adaptador de Tricono a Barra.
- Adaptadores para Protección del hilo.

**Grafico N°4: Adaptadores**



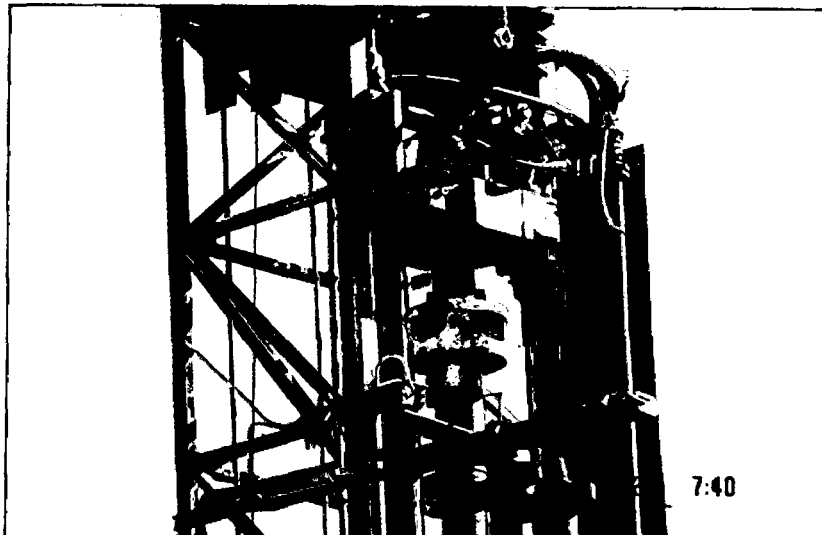
Fuente: Bucyros. (2012) Equipos mineros "Perforación automatizada".

### 2.4.3. Amortiguadores Para Perforación

Los shock absorber, son acoplamiento de amortiguación, protegiendo al equipo de las vibraciones verticales y rotatorias, reduciendo la severidad de las mismas.

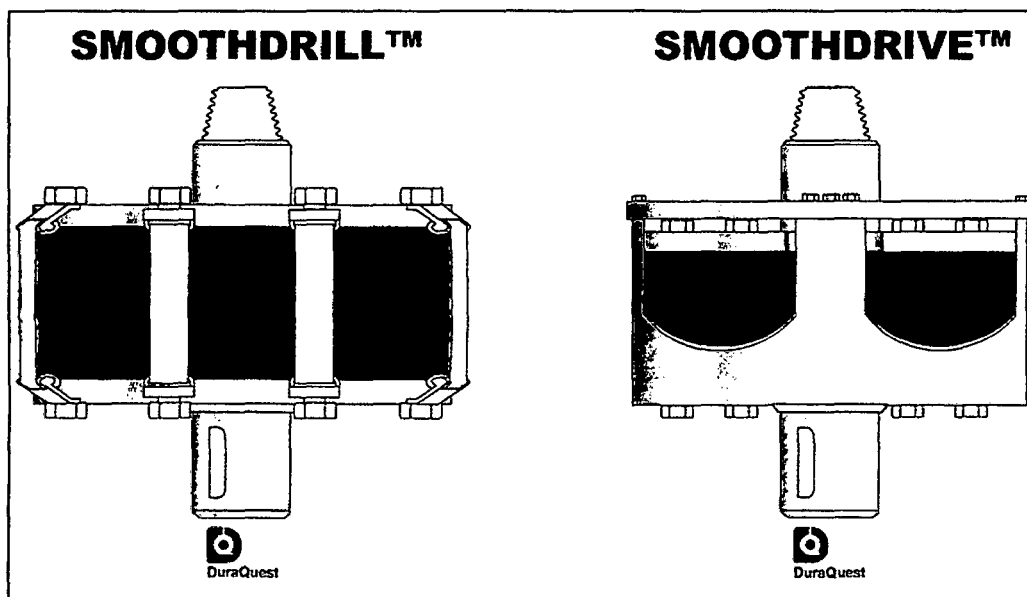
Esta comprobado que las vibraciones a lo largo de la perforación son la causa de grietas por fatiga del material en el cabezal rotatorio, en el mástil y componentes estructurales del equipo.

Fotografía N°4: Adaptador en el castillo de perforación de la perforadora Perforadora P&H 100B



Fuente: Propia

Grafico N°5: Adaptadores



Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

#### **2.4.3.1. Beneficios de usar Amortiguador**

Menos reparaciones de la cabeza rotatoria, disminuyendo la cantidad de vibraciones de la columna de perforación al cabezal.

Mayor disponibilidad útil del equipo. Ignora la mala alineación de la columna de perforación, compensando la deflexión y ayudando a obtener una vida normal de la broca y la columna.

Mejora el control de la torsión en la columna, absorbiendo las acciones de ajustar y aflojar las roscas.

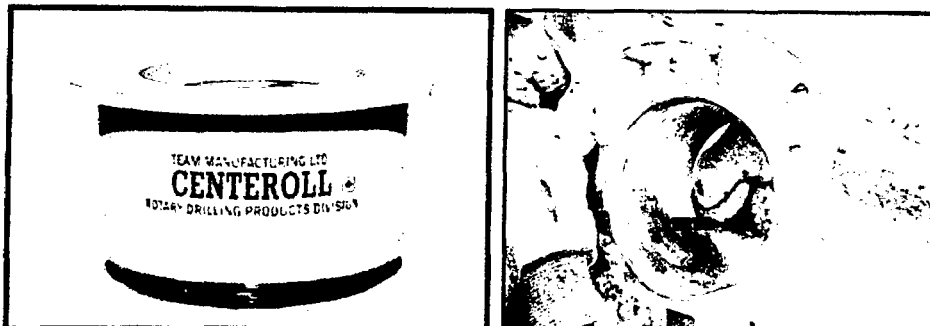
Da una reducción muy considerable del costo de mantenimiento de la perforadora que en algunos casos llega hasta el 30%.

#### **2.4.4. Anillos Guías**

Centralizadores de Barras "Roller Deck Bushing"

Estos elementos son fundamentales en la columna de perforación porque permite en la operación la centralización de los elementos rotativos (Barras, Bit Sup , Brocas etc. )

## Fotografía N°5: Anillos Guías nuevos y utilizados



Fuente: Propia

## 2.5. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN

### 2.5.1. Variables de operación.

A partir de la información obtenida, se resumen las variables de operación más importantes.

Las variables de operación inherentes al sistema, que inciden en su eficiencia (Velocidad de penetración), son las que se identifican a continuación:

- Velocidad de rotación (rpm)
- Fuerza de empuje (PULL DOWN)
- Velocidad y caudal del aire de barrido

A su vez, estas variables dependen de un factor externo al sistema: la dureza o resistencia de la roca. En el caso de la perforación rotativa, la evidencia empírica indica .Tanto a partir de las investigaciones a nivel de ensayos como de lo observado en la práctica, que existe una buena

correlación entre la Resistencia a la Compresión de la roca y la velocidad de penetración. Esta conclusión resulta conceptualmente coherente, atendiendo a la forma como se aplica la energía a la roca y su consiguiente ruptura originada principalmente por un proceso de corte.

No existe una clasificación universalmente aceptada de las rocas en función de su resistencia a compresión (**Rc**). En la literatura técnica sobre el tema se encuentran diversas proposiciones. Las cuales, que sólo diferencian entre rocas blandas, medianas y duras. Haciendo una síntesis, para los efectos del análisis que sigue, se adoptará la clasificación.

Tabla N°1 Resistencia a compresión según el tipo de roca.

TIPO DE ROCA	Rc (Mpa)
Muy blandas	< 60
Blandas	60-100
Medianas	100-150
Duras	150-250

Fuente: Xstrata-Tintaya. Departamento de geotecnia "Manual de perforación"

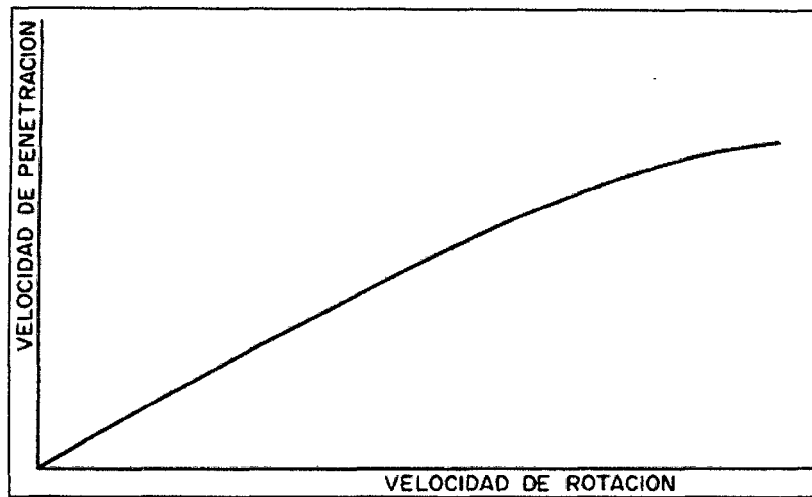
### **25.1.1. Velocidad de rotación (R.P.M.)**

En principio, conceptualmente la velocidad de rotación es inversamente proporcional a la resistencia a compresión de la roca. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la velocidad de rotación también varía en función de la marcha en la que se esté trabajando



Es requerido para mover el inserto de corte a la siguiente posición de rotura del inserto, mientras este cambio de posición sea más rápido la velocidad de penetración será mayor.

Grafico N° 6. Efecto de la velocidad de rotación sobre la velocidad de penetración.



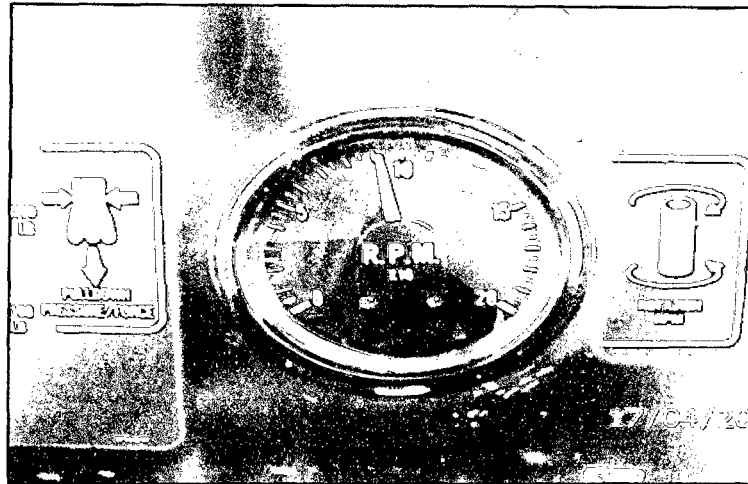
Fuente: LÓPEZ JIMENO, Carlos

Tabla N°2: Medidor de revoluciones por minuto.

Tipo de roca	Velocidad de rotación(r/min)
Blanda	95-160
Media	50-100
Dura	40-90

Fuente: TRILLO SALAZAR, Gustavo Adolfo

Fotografía N°6: Medidor de RPM en la cabina de operación de la máquina perforadora Drilltech.



Fuente: Propia

Terreno duro = Bajo rpm

Terreno suave = Alto rpm

#### . Aplicación de RPM.

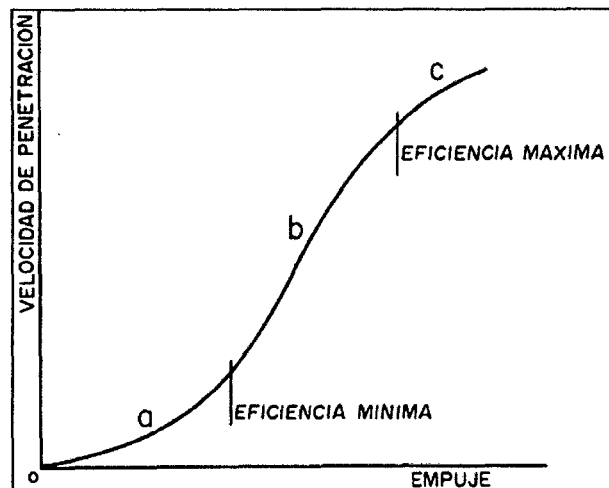
- Alto RPM , puede resultar en un incremento de velocidad de penetración
- Alto RPM puede resultar en una disminución de la vida del cojinete
- Alto RPM puede resultar en una disminución de la vida de la estructura de corte.

#### 2.5.1.2. Fuerza de empuje (PULL DOWN)

La fuerza de empuje que es necesario aplicar aumenta directamente con la dureza de la roca, y debe alcanzar una magnitud suficiente para sobrepasar su resistencia a la compresión. Por otra parte, esta fuerza

no puede exceder un determinado valor límite, para evitar daños prematuros en la cabeza de perforación. En formaciones rocosas duras o muy duras, una fuerza excesiva conduce a la incrustación de la cabeza y consecuente destrucción, lo que significa el término de la vida útil de la broca tónica. A su vez, a mayor diámetro de perforación, mayor la superficie a perforar por lo que ofrecerá mayor resistencia. En suma, la fuerza de empuje es función de dos variables: la dureza de la roca y el diámetro de perforación.

Grafico N° 7. Efecto del empuje sobre la velocidad de penetración



Fuente: LÓPEZ JIMENO, Carlos<sup>11</sup>.

- a) Empuje insuficiente
- b) Avance eficiente y
- c) Enterramiento del útil.

<sup>11</sup> LÓPEZ JIMENO, Carlos (2000) "Manual De Perforación Y Voladura De Rocas Pg.83

Según la dureza de la roca, la fuerza de empuje mínima necesaria para vencer su resistencia a la compresión, está dada por la siguiente fórmula empírica

El «Empuje mínimo», por debajo del cual una roca no es perforada, puede estimarse con la siguiente ecuación:

$$Em = 28,5 \times RC \times D$$

Donde:

Em= Empuje mínimo (libras).

RC= Resistencia a la compresión de la roca (MPa).

D = Diámetro del tricono (pulg).

El «Empuje máximo», por encima del que se produce el enterramiento del tricono, se considera que vale el doble del valor anterior.

$$EM = 2 \times Em$$

El «empuje límite» que soporta un tricono en función del tamaño de sus cojinetes, que, a su vez, depende del diámetro del tricono:

$$EL = 810 \times D^2$$

Dónde:

EL = Empuje límite del tricono (libras).

D = Diámetro (pulg).

Tabla N 3: Valores límites para triconos de diferentes diámetros.

DIAMETRO DEL TRICONO (pulg)	EMPUJE LIMITE (Libras)
5 1/8	21.000
6 1/4	31.000
6 3/4	37.000
7 7/8	50.000
9	65.000
9 7/8	79.000
12 1/4	121.000

Fuente: TRILLO SALAZAR, Gustavo Adolfo<sup>12</sup>.

#### . Aplicación de PULL DOWN.

- Mayor PullDown: puede resultar en un aumento de la velocidad de penetración.
- Mayor PullDown: puede resultar en una disminución de la vida del cojinete.
- Mayor PullDown: puede resultar en una disminución de la vida de la estructura de corte.

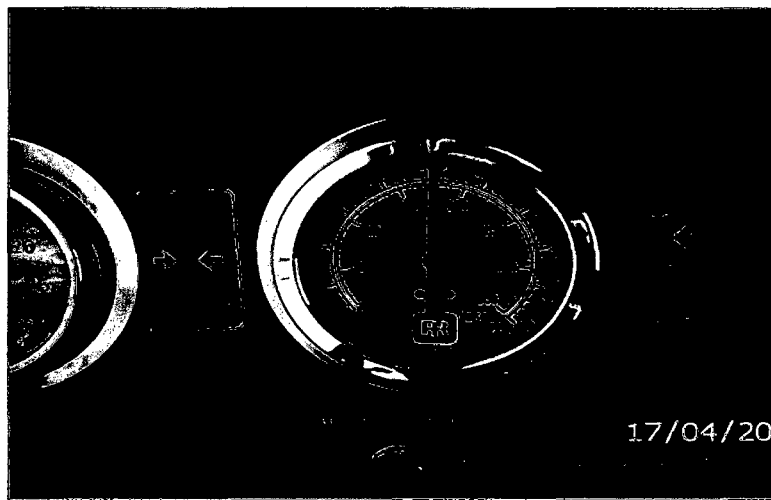
---

<sup>12</sup> TRILLO SALAZAR, Gustavo Adolfo (2000) "Criterios para determinar los parámetros de perforación". Pg.58,59

### **2.5.1.3. Torque.**

Es la presión ejercida en la broca, debido a la fuerza WO (Pull Down) y las RPM aplicados en el fondo del taladro vs. la presión del terreno.

Fotografía N°7: Medidor de revoluciones por minuto. En la cabina de operación de la máquina perforadora Drilltech.



Fuente: Propia

### **2.5.1.4. Presión de aire.**

Es requerida para brindar un suficiente volumen y presión de aire para optimizar la vida de la broca.

La broca necesita como mínimo 40psi de presión, para así garantizar que los cojinetes puedan ser refrigerados y lubricados.

#### 2.5.1.4. 1.Velocidad de barrido

Este término se utiliza para referirse a la velocidad con la que el material perforado (detritus) es evacuado del pozo mediante el aire inyectado, al incrementar la velocidad hace que el detritus desgaste prematuramente los aceros de perforación y el usar una velocidad menor provoca remolienda en el tricono por que el aire no es capaz de evacuar el 100% del detritus, quedando partículas remanentes y produciendo desgaste y en algunos casos atrapamiento de las barras.

Los dos factores que influyen directamente en la velocidad de barrido es la capacidad del compresor y del espacio anular

**Capacidad del compresor:** Recordemos que se debe utilizar el valor real, descontando del valor nominal del compresor todos los factores que influyen en el rendimiento del compresor.

**Espacio anular:** Es la diferencia de espacio entre la pared del pozo y la barra, es decir la diferencia entre el tricono y las barras.

El caudal de aire necesario se calcula mediante la expresión:

$$Qa = Ab \times Va = \frac{D^2 - d^2}{1.27}$$

Dónde:

Ab = Área de la corona circular entre la pared del barreno (m<sup>2</sup>).

Qa = Caudal del aire necesario (m<sup>3</sup>/min).

Va = Velocidad ascensional (m/min).

D = Diámetro del barreno (m).

d = Diámetro de la barra (m).

Las velocidades ascensionales recomendadas, en función del tipo de roca, son las siguientes:

TABLA N° 4: Las velocidades ascensionales

TIPO DE ROCA	VELOCIDAD MINIMA		VELOCIDAD MAXIMA	
	(m/min)	(pies/min)	(m/min)	(pies/min)
Blanda	1.200	4.000	1.800	6.000
Media	1.500	5.000	2.100	7.000
Dura	1.800	6.000	2.400	8.000

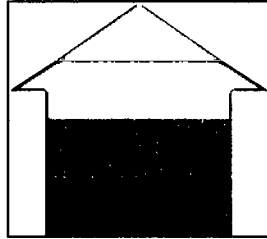
Fuente: LÓPEZ JIMENO, Carlos<sup>13</sup>.

Así pues, el diámetro de las barras aconsejado, según el tipo de roca que se perfora, debe ser en formaciones blandas 3"(75 mm) menor que el diámetro del tricono, en formaciones medias 2"(50mm) y en formaciones duras 1 1/2" (38 mm), y a medida que aumenta la resistencia de la roca los detritus son más pequeños.

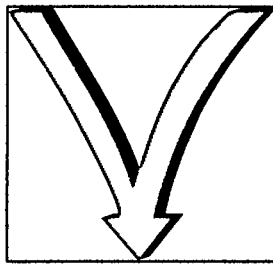
<sup>13</sup> LÓPEZ JIMENO, Carlos (2000) "Manual De Perforación Y Voladura De Rocas Pg.85



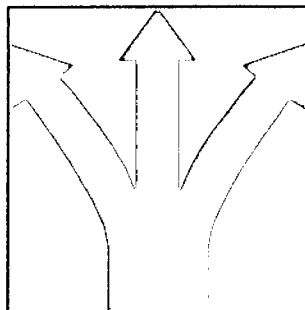
**Velocidad de Barrido:** Es la rapidez con que el aire sale del taladro.



- **Velocidad de caída de la Partícula:** Es la velocidad con que cada partícula quiere caer al fondo del taladro.



- **Velocidad de Salida de los Detritus:** Es la diferencia neta entre la velocidad de barrido y la velocidad de salida de la partícula



#### **2.5.1.4. 2.CONSIDERACIONES DE LA VELOCIDAD DE BARRIDO.**

- La Velocidad de Barrido deberá ser de 5000 - 7000 ft/min para material seco y ligero.
- La Velocidad de Barrido deberá ser de 7000 - 9000 ft/min para material húmedo y pesado. El agua hace que las partículas se junten, haciéndose más grandes y pesadas al momento de ser barridas.
- Tratar de usar una barra 2 -3 pulgadas más pequeña que la broca si se tiene suficiente aire.
- Tratar de no usar una barra que sea 1 1/2 pulgadas más pequeña que la broca si no se tiene el aire necesario. Mantener un mínimo de 3/4" de espacio anular.

#### **2.6. BROCAS.**

Es la herramienta de corte localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación y se utiliza para triturar y/o cortar las formaciones del subsuelo durante el proceso de perforación.

##### **2.6.1. Brocas Tricónicas.**

Están formadas por tres conos cortadores que giran sobre su propio eje. Varían de acuerdo con la estructura de corte, pueden tener dientes de acero fresados o de insertos de carburo de tungsteno y cambiar en función de su sistema de rodamiento. Pueden perforar formaciones muy duras, muy

abrasivas, blandas, plásticas, pegajosas y cualquier combinación de estas aplicando distintos parámetros operativos.

Las brocas tricónicas constan de tres componentes:

- La estructura de corte o conos.
- Cojinetes.
- Cuerpo de la broca.

#### **2.6.1.1. La Estructura de Corte o Conos**

Las brocas tricónicas emplean dos tipos de estructura de corte:

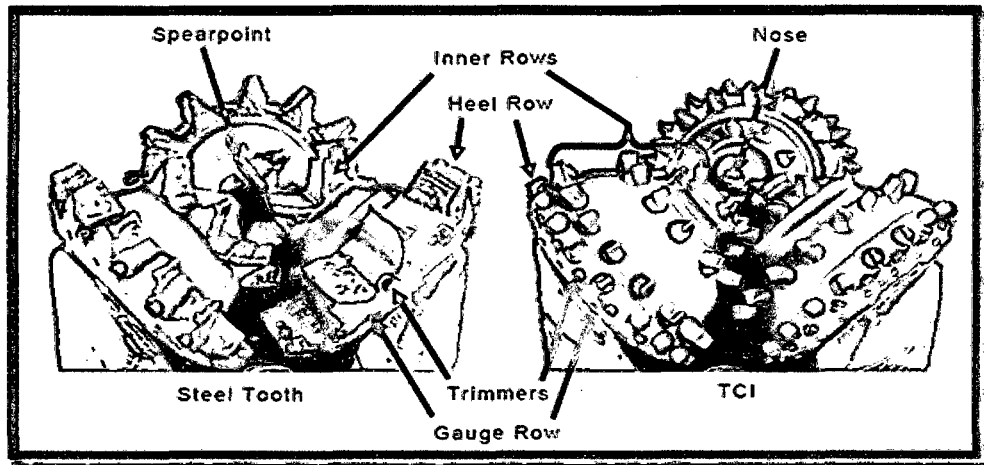
#### **2.6.1.2. Dientes de Acero (ST):**

Se fabrican a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. Las brocas con dientes de acero son las más económicas; cuando se usan apropiadamente pueden perforar por varias horas y se diseñan para trabajar en formaciones blandas, medias y duras.

#### **2.6.1.3. Dientes con Insertos de Carburo de Tungsteno (TCI):**

En estas brocas el fabricante introduce insertos duros de Carburo de Tungsteno aplicando presión en huecos perforados en el cono de la broca. Su tiempo de vida útil es mayor debido a que el Carburo de Tungsteno es más resistente al desgaste durante la perforación que el acero. Este tipo perfora desde formaciones blandas, medianas, hasta muy duras.

Figura N°1: Estructuras de corte



Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

Figura N°2: Broca tricónica para formaciones duras



Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

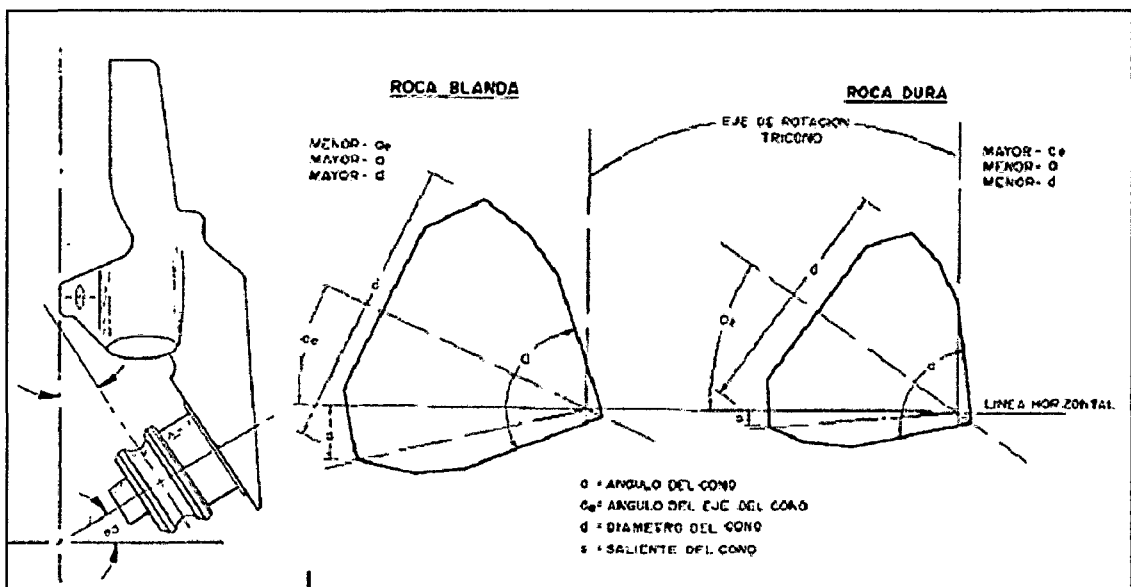
En general, la estructura de corte está montada sobre los cojinetes, que rotan sobre pernos y constituyen una parte fundamental del cuerpo de la broca.

### 2.6.1.3.1. Angulo del eje del cono

Uno de los aspectos más importantes que se tiene en cuenta en el diseño de un tricono, es el ángulo que forman los ejes de los conos con la horizontal.

Este ángulo determina el diámetro del cono dentado de acuerdo con el diámetro del barreno. Si aumenta el ángulo el diámetro del cono debe disminuir y recíprocamente. Se observan los parámetros geométricos que caracterizan a disposición de los conos dentados para dos tipos de roca diferentes.

Figura N°3. Ángulos del eje del cono en dos tipos de roca



#### **2.6.1.3.2. Angulo del cono**

El angulo del cono es inversamente proporcional al angulo del eje del cono, de forma que cuando éste aumenta el angulo del cono debe disminuir para evitar las interferencias entre los conos.

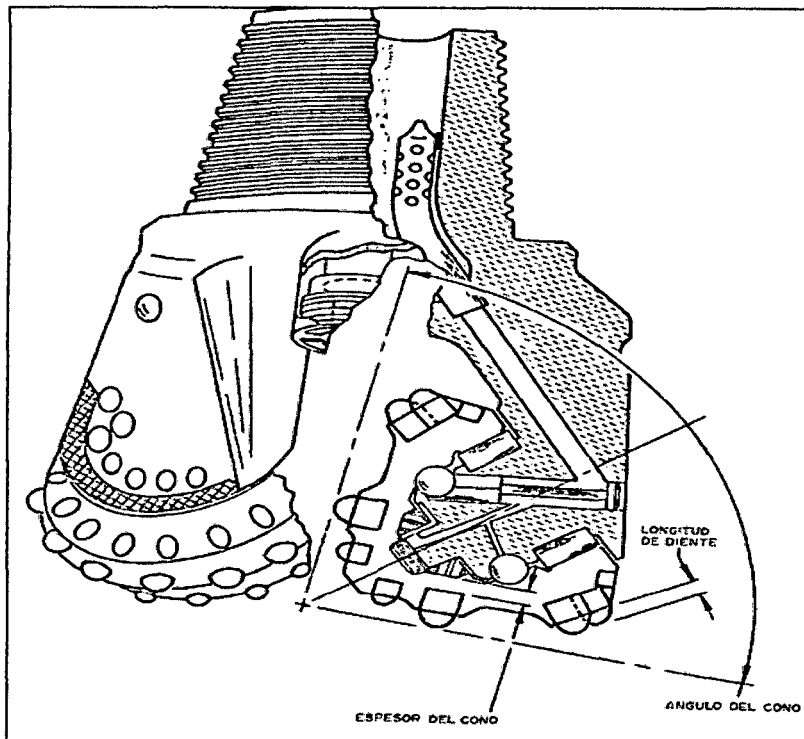
#### **2.6.1.3.4. Longitud de los dientes**

En un tricono de dientes la longitud de éstos está definida por la profundidad de la fresa en el cono. Si el tricono es de insertos, la longitud vendrá dada por la parte visible de los botones de metal duro.

#### **2.6.1.3.5. Espesor del cono**

Se debe disponer de un espesor mínimo para asegurar la resistencia estructural del cono. El espesor está determinado por el tamaño de los cojinetes, por la profundidad de la fresa en los triconos de dientes y por la profundidad de encastramiento en los de botones

Figura N°4 Angulo del cono, longitud de diente y espesor del cono



#### 2.6.1.4. Cojinetes

Permiten a los conos girar alrededor del cuerpo de la broca. Se clasifican en dos tipos principales:

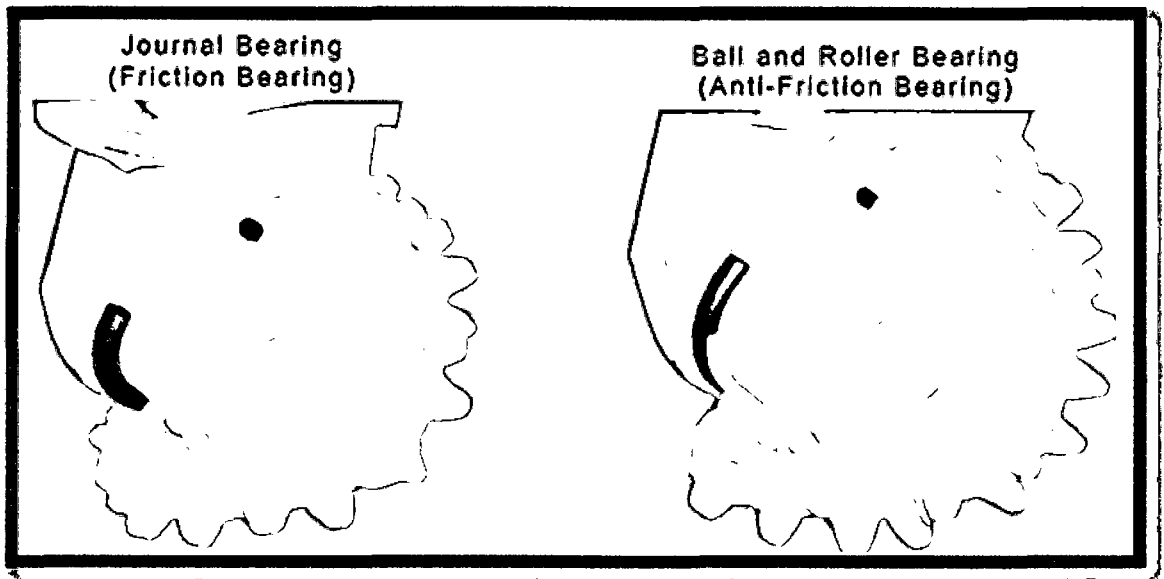
- **Cojinete a rodillos:**

Posicionados de tal forma que soporten la carga radial.

- **Cojinete a fricción (journal):**

Es un perno sólido unido a la superficie interna del cono que se convierte en el principal elemento del cojinete que soporta la carga radial.

Figura N°5: Tipos de cojinetes



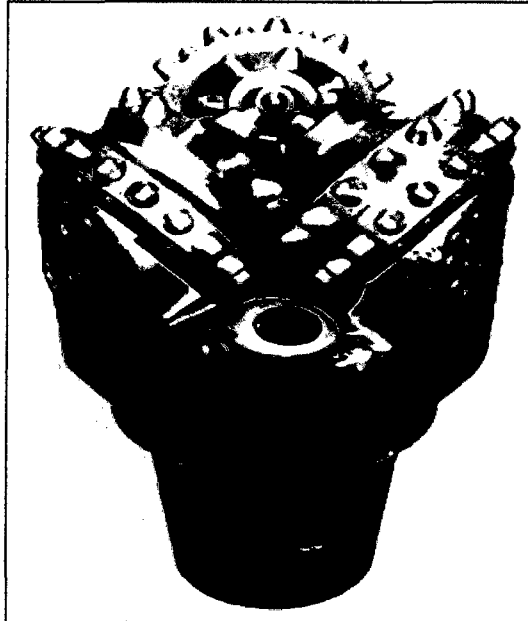
Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

### 2.6.2. Cuerpo de una Broca

Uno de los propósitos del cuerpo de la broca es dirigir el fluido de perforación para lograr una limpieza más efectiva en el fondo del pozo. Anteriormente, los orificios en el cuerpo estaban ubicados para dirigir el fluido de perforación de forma tal que limpiaban los conos de la broca. En la actualidad, la mayoría de las brocas son del tipo a chorro, donde el fluido apunta hacia el fondo.



Figura N°6: Cuerpo de broca tricónica



Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

#### **2.6.2.1. El Cuerpo de la Tricónica consiste de:**

- Una conexión roscada que une la broca con la tubería de perforación.
- Tres ejes para los cojinetes en donde van montados los conos.
- Los depósitos que contienen el lubricante para los cojinetes.
- Los orificios a través de los cuales el fluido de perforación limpia y transporta del fondo los recortes.

La siguiente figura muestra las partes constitutivas de una broca tricónica.

Figura N°7: Partes de una broca tricónica

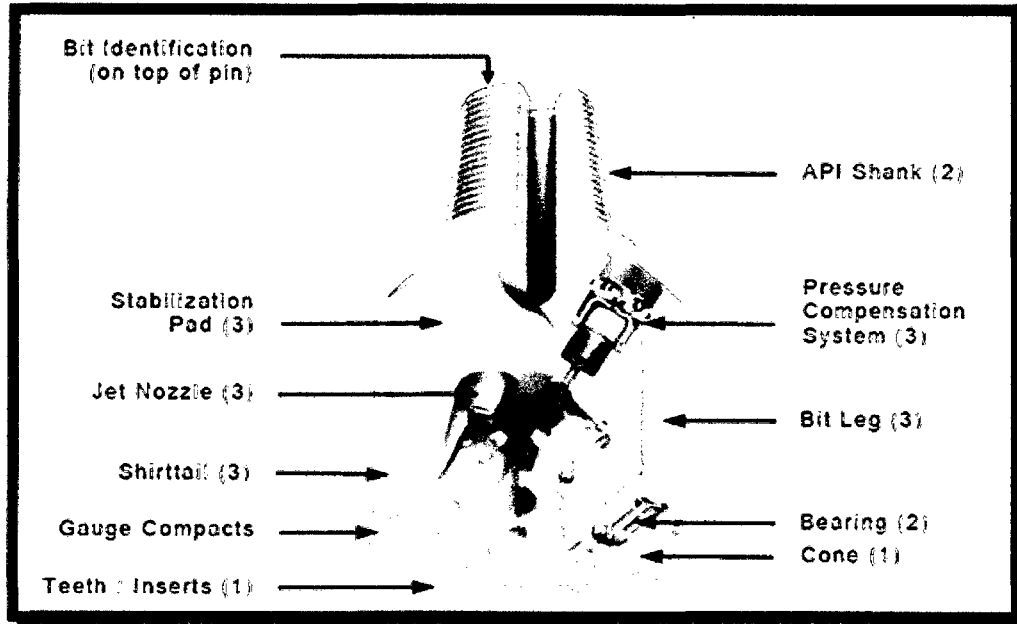
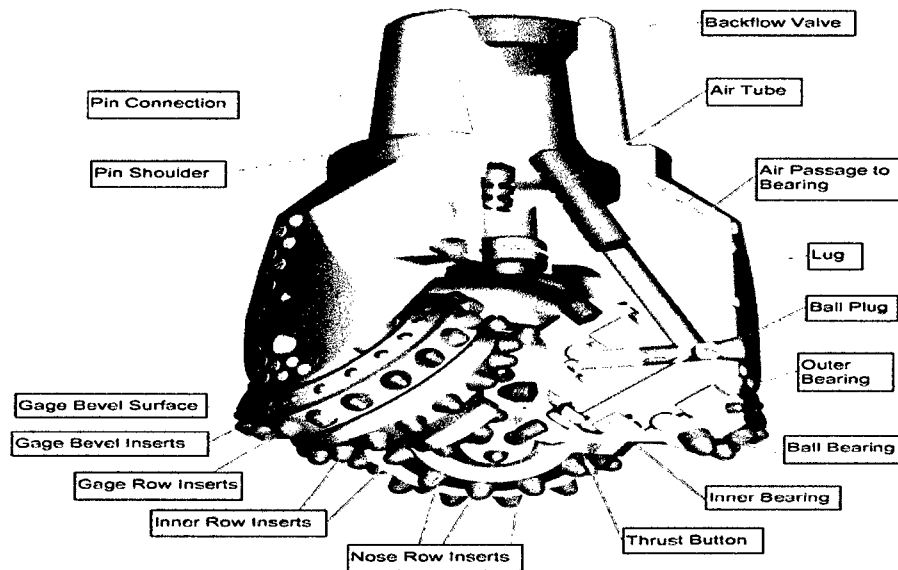


Figura N°8: Elementos De La Broca Ac BHMT



Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

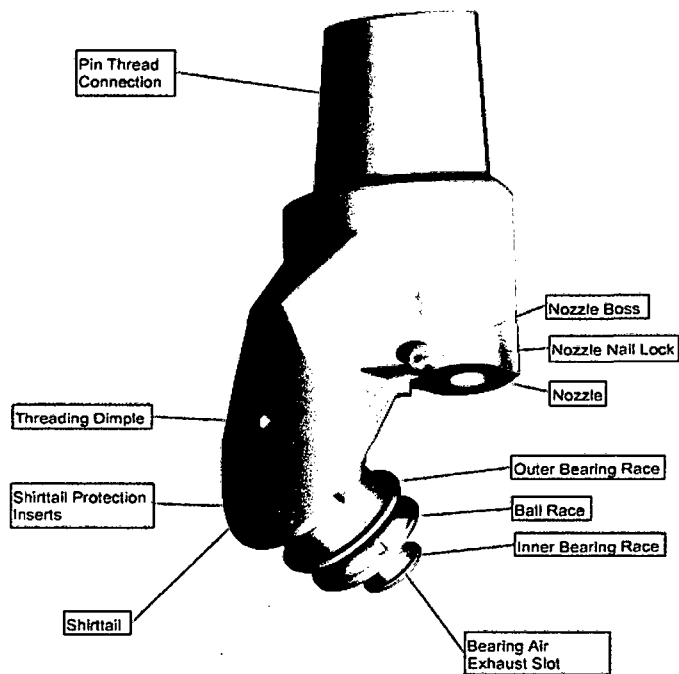
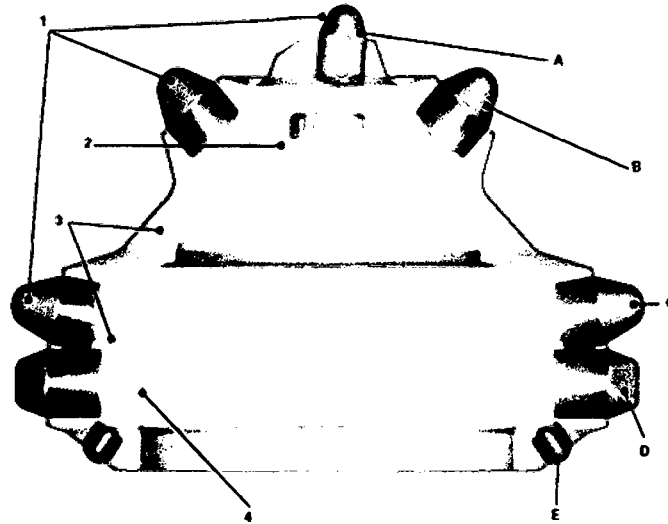
## **CONOS**

1. Insertos de Carburo de Tungsteno.
2. Boton antipresión del Cono.
3. Superficie externa del cuerpo del cono.
4. Cuerpo interno del Cono.

## **Hileras de Insertos de Carburo de Tungsteno**

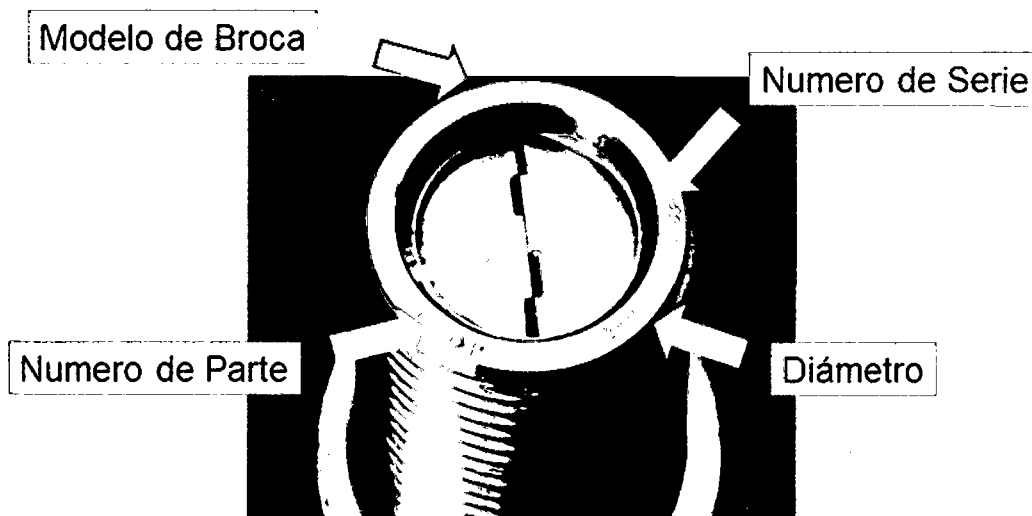
- A. Nariz
- B. Internas
- C. Al costado del calibre.
- D. Calibre
- E. Sobreprotección del Calibre

Figura N°9: LUGS



Fuente: "NUMA" "Fabricante de martillo de fondo y brocas"

Figura N°10: Códigos de identificación de una broca triconica AC BHMT



### 2.6.3. El Código IADC para Brocas Tricónicas

La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) ha desarrollado un sistema estandarizado para clasificar las brocas tricónicas y evitar que exista confusión entre los tipos de brocas equivalentes en relación con los distintos fabricantes. Para este propósito se creó el sistema (código IADC) de clasificación de tres dígitos, que se explica en la siguiente tabla:

TABLA N°5  
CÓDIGO IADC PARA BROCAS TRICÓNICAS

	1er Dígito		2do Dígito		3er Dígito										
	Sistema de Corte		Dureza		Sistema de rodamiento										
					1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Dientes de Acero	1	Dientes de acero para formación blanda	1	Suave	T	T	P	B	B	C	C	P	O		
			2	Media Suave	O	O	R	A	A	H	H	A	A	T	
			3	Media Dura	B	B	O	B	B	M	M	U	U	R	R
			4	Dura	E	E	T	E	E	A	A	C	C	P	O
	2	Dientes de acero para formación media	1	Suave	S	S	C	S	S	C	C	E	E	S	
			2	Media Suave	P	A	I	S	S	E	E	R	R	A	
			3	Media Dura	P	A	I	S	S	E	E	R	R	A	
			4	Dura	P	A	I	S	S	E	E	R	R	A	
	3	Dientes de acero para formación dura	1	Suave	L	L	A	A	A	A	A	A	A	A	
			2	Media Suave	L	L	A	A	A	A	A	A	A	A	
			3	Media Dura	L	L	A	A	A	A	A	A	A	A	
			4	Dura	L	L	A	A	A	A	A	A	A	A	
Dientes de Insertos	4	Dientes de inserto para formación muy blanda	1	Suave	Y	Y	B	B	Y	P	Y	D	I		
			2	Media Suave	B	B	A	A	L	R	P	P	R	R	
			3	Media Dura	B	B	A	A	L	R	P	P	R	R	
			4	Dura	B	B	A	A	L	R	P	P	R	R	
	5	Dientes de inserto para formación blanda	1	Suave	B	B	A	A	L	R	P	P	R	R	
			2	Media Suave	B	B	A	A	L	R	P	P	R	R	
			3	Media Dura	B	B	A	A	L	R	P	P	R	R	
			4	Dura	B	B	A	A	L	R	P	P	R	R	
	6	Dientes de inserto para formación media	1	Suave	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S	
					E	S	T	A	N	D	A	R	E	S	
					E	S	T	A	N	D	A	R	E	S	
					E	S	T	A	N	D	A	R	E	S	
7	Dientes de inserto para formación dura	1	Suave	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		
		2	Media Suave	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		
		3	Media dura	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		
		4	Dura	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		
8	Dientes de inserto para formación extra dura	1	Suave	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		
		2	Media Suave	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		
		3	Media dura	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		
		4	Dura	E	S	T	A	N	D	A	R	E	S		

Fuente: STEVE TAYLOR, Jabiart "procedimientos para escoger brocas de perforación"

## 2.6.4. METALURGIA DE LOS MATERIALES DEL TRICONO

Uno de los éxitos conseguidos en la fabricación de los triconos ha sido el empleo de aleaciones especiales.

TABLA N°6

ELEMENTOS DEL TRICONO	PROPIEDADES REQUERIDAS	TIPO DE ACERO
Cono	Resistencia al impacto y a la abrasión	Carbono, manganeso, níquel y molibdeno
Cabezas	Resistencia a la fatiga. Alta resistencia al impacto. Soldable	Carbono, manganeso, cromo y molibdeno
Cojinetes de rodillos y bolas	Alta resistencia al impacto	Carbono, manganeso, níquel, cromo y molibdeno
Pasadores y buje guía	Resistencia al desgaste	Cromo, carbono, níquel, manganeso y silicio
Botón de empuje	Resistencia al desgaste	Carbono, wolframio, cromo, molibdeno y vanadio
Superficie de cojinetes	Resistencia al desgaste	Cobalto, cromo, carbono, wolframio y níquel
Dientes	Resistencia a la abrasión elevada	Wolframio, carbono
Insertos	Resistencia a la abrasión elevada. Resistencia al impacto	Wolframio, carbono y cobalto

## 2.6.5. SELECCION DEL TIPO DE TRICONO

En la selección del tipo de tricono influyen fundamentalmente la resistencia a compresión de la roca y su dureza. Normalmente, los usuarios envían muestras a las compañías fabricantes de triconos para que asesoren sobre el tipo de boca a utilizar, velocidades de penetración probables y duración en metros.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> LÓPEZ JIMENO, Carlos (2000) "Manual De Perforación Y Voladura De Rocas Pg.94

### **2.6.5.1. Triconos de dientes**

Los triconos de dientes se clasifican en tres categorías, según el tipo de formación rocosa: blanda, media y dura.

#### **A. Formaciones blandas**

Los triconos para formaciones blandas tienen rodamientos pequeños compatibles con los dientes largos y los pequeños empujes sobre la boca que son necesarios. Los dientes están separados y los conos tienen un descentramiento grande para producir un efecto de desgarre elevado.

#### **B. Formaciones medias**

Los triconos para estas formaciones tienen cojinetes de tamaño medio, de acuerdo a los empujes necesarios y el tamaño de los dientes.

La longitud de los dientes, espaciamiento son menores que en los triconos de formaciones blandas.

#### **C. Formaciones duras**

Los triconos de formaciones duras tienen cojinetes grandes, dientes cortos, resistentes y muy próximos unos de otros. Los conos tienen muy poco descentramiento para aumentar el avance por trituración, requiriéndose empujes muy importantes. Se da una clasificación de los triconos de dientes, su aplicación y sus características de corte.



**TABLA N°7 CLASIFICACION GENERAL DE TRICONOS DE DIENTES**

CLASES DE ROCA	CARACTERISTICAS DE DISEÑO			ACCION DE CORTE		MARCA Y MODELO			
	SEPARACION ENTRE DIENTES	ALTURA DE DIENTES	DUREZA DE REVESTIM.	ARRANQUE POR TRITURACION	ARRANQUE POR DESGARRE	HUGHES	REED	SMITH	VAREL
<b>Formaciones blandas</b> Baja resistencia a compresión y fácilmente perforables (pizarras, arcillas, calizas blandas-medias).						S	TS	GR4	V3 V3M
<b>Formaciones medias</b> (Pizarras duras, pizarras arcillosas, calizas duras, areniscas).						M	TM	GR1 GR2/2C	V2 VH2
<b>Formaciones duras</b> (Calizas silíceas, dolomías, areniscas).						H, HR	TH	GRH GRHC	VH1 VQM

### 2.6.5.2. Triconos de insertos

Existen cuatro tipos de triconos, que se diferencian en el diseño y tamaño de los insertos, en el espaciamiento de los mismos y en la acción de corte. se especifican los tipos de triconos y acción de corte en función de la clase de roca a perforar. <sup>15</sup>.

<sup>15</sup> LÓPEZ JIMENO, Carlos (2000) "Manual De Perforación Y Voladura De Rocas Pg.96

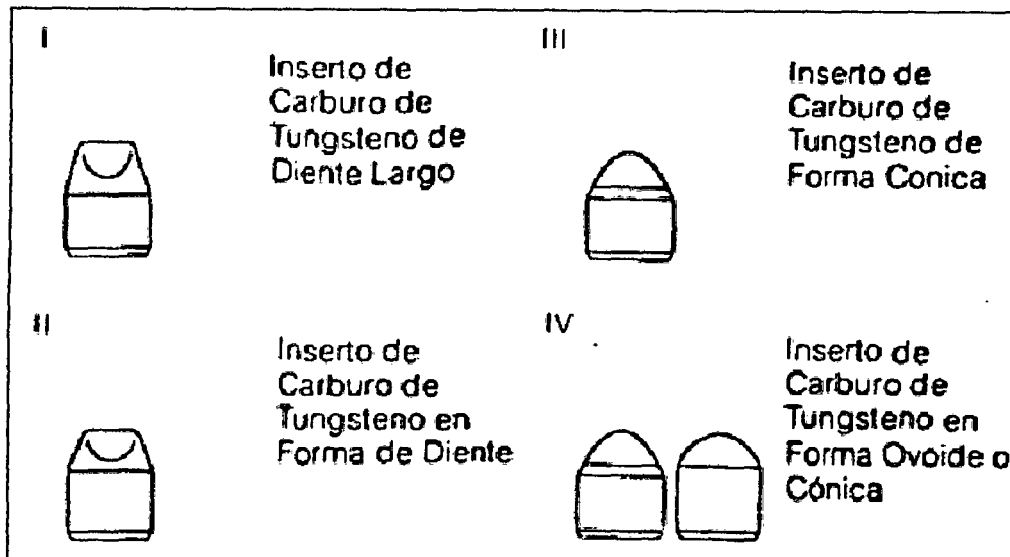


TABLA N°8 CLASIFICACION GENERAL DE TRICONOS DE INSERTOS

CLASES DE ROCA	CARACTERISTICAS DE DISEÑO			ACCION DE CORTE		TIPO DE TRICONO	MARCA Y MODELO					
	TAMAÑO DE INSERTOS	SEPARAC. ENTRE INSERTOS	RESALTE DE INSERTOS	ARRANQUE POR TRITURAC.	ARRANQUE POR DESGARRE		HUGHES	REED	SMITH TOOL	VAREL	SECURITY	ATLAS COPCO
<b>Formaciones blandas</b> Baja resistencia a compresión (<40 MPa) y alta perforabilidad (talco, pizarra, arcillas, yesos, etc.)						I	HH33	M51 M52	O4JL	OMC9	S8M	CS251 CS311 CS381
<b>Formaciones medias y medioduras</b> Las primeras con resistencias entre 40 y 90 MPa (calizas, mármoles, esquistos, fluoritas, etc.). Las segundas, con RC entre 90 y 170 MPa (dolomías, grauwacas, feldspatos, granitos, gneises, etc.)						I y III	HH44 HH55	M62 M70	O5JL	OMC7 OMC77 OMC6	M8M	CM251 CM311 CM381
<b>Formaciones duras</b> Con RC entre 170 y 230 MPa (cuarcitas, piritas, basaltos, taconitas). Mayor abrasividad						III	HH77 HH88	M73 M80	O7JL	OMCS OMCH	H8M H10M	CH251 CH311
<b>Formaciones muy duras</b> Con resistencias superiores a los 320 MPa (lava, topacio, corindón, etc.)						IV	HH99	M83 M84	O9JL		H10M3 H10M4	CH381

## **2.7. GEOLOGÍA**

### **2.7.1. Geología Regional y Local**

Tintaya está situado en la elongación SE de las rocas sedimentarias mesozoicas que se extienden por más de 300 Km. desde Yauri hasta Andahuaylas, las cuales están correlacionadas con sus equivalentes en el centro y sur del Perú y están formados por secuencias regresivas que se inician en el Cretácico inferior hasta fines del Cretácico medio. Regionalmente el paquete cretácico sedimentario aflora desde el N- NE de Tintaya (Cerro Hunicunca) hasta el Sur del proyecto cuprífero de Quechuas (Cerro Quinsa Puquio), y se presenta con una potente secuencia de areniscas cuarzosas y ortocuarcitas de coloración blanca pardusca de la Formación Soraya/ Hualhuani. Suprayaciendo a esta formación tenemos una secuencia de areniscas y lutitas de coloración marrón rojiza de la Formación Mara/ Murco. La secuencia cretácica finaliza con las calizas de coloración gris a gris blanquecina (tipo cebra) de la formación Ferrobamba/ Arcurquina, la que alberga a los yacimientos tipo skarn de cobre y hierro en la franja metalogénica de Andahuaylas – Yauri (Terrones, 1958; Bellido, 1962; Santa Cruz et al., 1979). Intruyendo a la secuencia sedimentaria mesozoica, tenemos plutones y stocks del Eoceno – Oligoceno que forman el Batolito de Andahuaylas - Yauri el que consiste de múltiples fases magmáticas. Regionalmente afloran dioritas y microdioritas como plutones de gran dimensión en los cerros Choquechampe y Chabuca Sur. Los stocks

monzoníticos al instruir a las calizas Ferrobamba han dado origen al anillo de skarn.

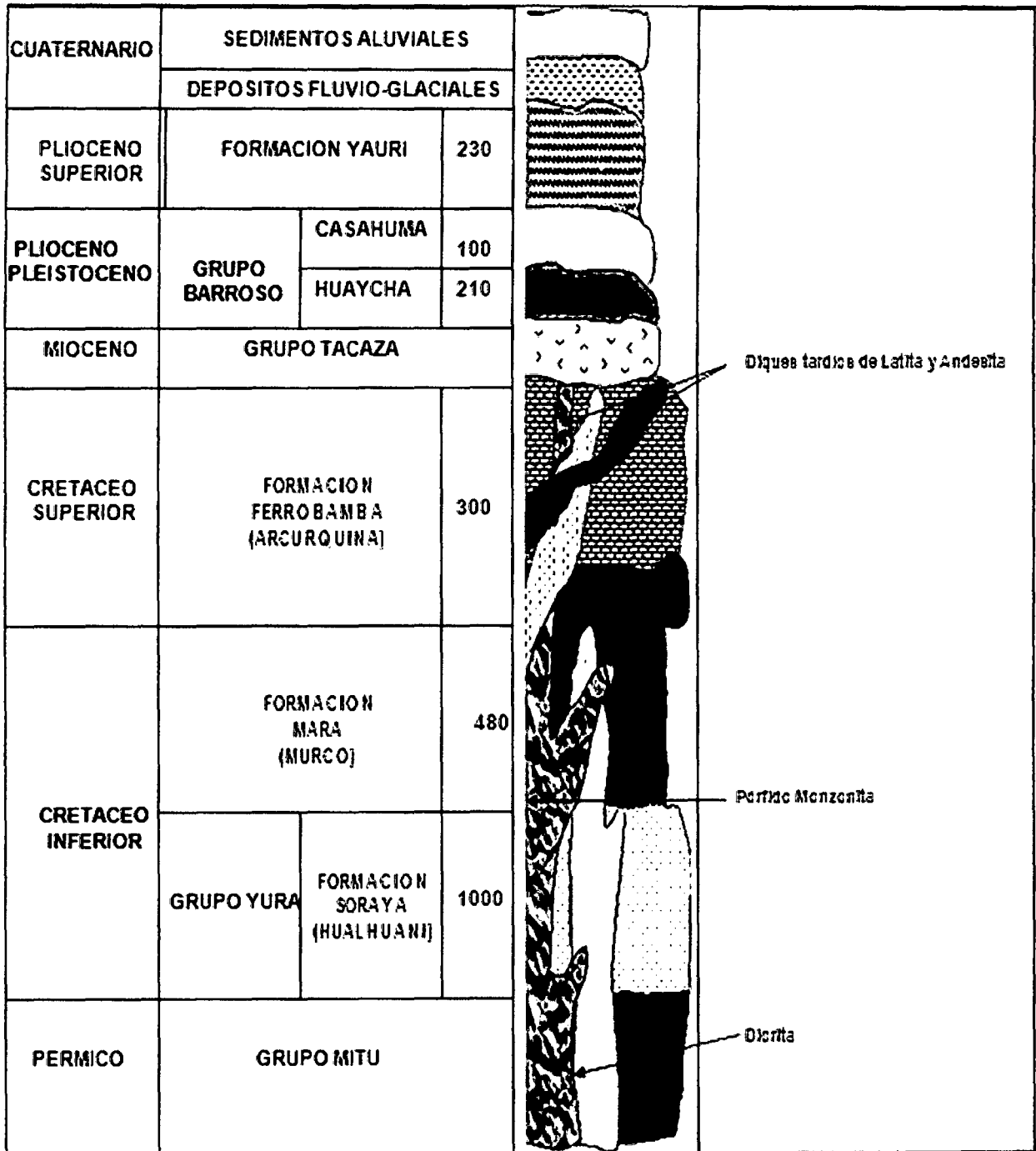
Posterior a los eventos de skarn se tienen diques de latitas y andesitas porfíricas del Mioceno – Plioceno, correlacionados con los volcánicos del Grupo Barroso que se ubican al SO de Tintaya .

Cubriendo grandes áreas en la cuenca tenemos sedimentos de origen lacustre – aluvial de la Formación Yauri del Pleistoceno. En el cuaternario reciente tenemos depósitos fluvio-glaciares y aluviales que se depositaron en las cuencas de los ríos y quebradas.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Departamento de geotecnia y geología mina Tintaya (2000) "Pg.57,64

FIG. N°11. Columna Estratigráfica Regional de Tintaya (Zweng, 1997)



## **2.7.2. ESTRATIGRAFIA**

La secuencia estratigráfica Cretácica que comprende las Formaciones Soraya, Mara y Ferrobamba está incompleta. El substratum y en consecuencia la discordancia de la base de la Formación Soraya no afloran. El paso de la Formación Mara a la Formación Ferrobamba es a través de una marcada disconformidad. La Formación Ferrobamba no está suprayacida por formaciones del Cretáceo superior- Terciario por lo que su tope se halla erosionado.

Los espesores y litofacies varían de un lugar a otro debido a la presencia tectónica sin-sedimentaria y erosiones. Así por ejemplo, en la formación Ferrobamba encontramos un espesor de 500m en Chabuca Este para reducirse a un espesor menor a 50 m al NE de Zona Nueva.

### **2.7.2.1. Formación Soraya (200-500m).**

Se correlaciona con la Formación Huallhuani de edad Jurásico Superior. Está constituida por cuarcitas color amarillas a blancas de grano fino a medio con pequeñas intercalaciones de lutitas rojas a grises (Jenks, 1948). El contacto del techo es por lo general progresivo a la Formación Mara (Disminución de arenisca cuarzosa en la Formación Soraya dando paso a un incremento de lutita de la Formación Mara). La formación Soraya consiste mayormente de secuencias monótonas de arenisca cuarzosa recristalizada ("Cuarcita") de variados tamaños de grano (Grueso a fino). Localmente existen intercalaciones de lentes (canales) de

conglomerados intraformacionales con clastos predominantemente de cuarcita y erráticos de andesita provenientes de la erosión de las secuencias volcánicas del (Grupo Mitu), así como también delgados estratos (10cm) de conglomerados intraformacionales. El tope de la Formación consiste en alternancias de capas de arenisca cuarzosa con lutita. La cuarcita Soraya muestra condiciones débiles para almacenar mineralización económica debido a la escasa porosidad y permeabilidad (Muy buena cementación). Sin embargo esta roca tiene fuerte permeabilidad secundaria, debido a áreas fuertemente fracturadas y falladas, por lo que puede tener condiciones para albergar concentraciones débiles moderadas de mineralización de óxidos y sulfuros del tipo stockwork.

#### **2.7.2.2. Formación Mara (50-300m).**

Se correlaciona con la Formación Murco del Cretáceo inferior. Las relaciones de contacto con la formación infrayacente no es definida tal como ya se describió anteriormente, en cambio con la formación suprayacente (Ferrobamba) es a través de una marcada disconformidad. La Formación Mara en afloramiento "completo" está conformada de 3 miembros: A, B y C. El miembro A consiste mayormente de capas masivas de lutita de colores marrón y verduzco con intercalaciones de lentes de arenisca lítica y feldespática con tendencia friable. El miembro B contiene capas laminadas y masivas de cuarcita bien cementadas, similares a la

cuarcita Soraya. El miembro C consta mayormente de lutita rojiza con intercalaciones de limonita y arenisca feldespática de grano fino. Las litofacies de la Formación Mara muestran condiciones moderadas para almacenar mineralización económica debido a la buena porosidad y permeabilidad de la arenisca lítica y feldespática, actuando como roca sello la lutita.

### **2.7.2.3. Formación Ferrobamba (50-70 m).**

Se correlaciona con la Formación Arcurquina del Cretáceo medio. Las relaciones de contacto con la Formación infrayacente Mara es a través de una marcada disconformidad. El techo está erosionado debido a que no hay formaciones suprayacentes Cretácico-Terciario. La secuencia está incompleta y presenta diversos espesores en diferentes afloramientos. No hay continuidad lateral debido a los anticlinales y sinclinales en las formaciones Soraya y Mara (Ferrobamba erosionado) y de otra parte la secuencia está cortada por los numerosos cuerpos. De acuerdo a la última clasificación, fue dividida en 3 miembros: el inferior que tiene una potencia aproximada de 300m, está formada por capas masivas de caliza micrítica gris oscuro intercalada con caliza laminada. La presencia de lentes de yeso indican que los primeros niveles de deposición de caliza estuvieron en un ambiente poco profundo; el intermedio tiene una potencia de 230m, está constituido por marga brechada, y potente caliza masiva; y el superior que tiene una potencia de 170 m, y está formada por capas



masivas de caliza con abundantes nódulos de chert intercaladas de caliza dolomitizadas

#### **2.7.2.4 .Formación Yauri.**

Aflora en toda la llanura de Yauri. Sedimentos lacustres con arenas tufáceas y conglomerados fluviales, tentativamente del Plioceno superior. La formación Yauri con piso desconocido (No aflora) y techo erosionado tiene una potencia aproximada de 230 m.

#### **2.7.2.5 Depósitos Fluvio – Glaciares.**

Constituidos por clastos y rocas volcánicas, sedimentarias e ígneas en menor proporción, tamaño variable y matriz granuda, se encuentra cubierto por una capa de suelo húmico de 0.50 a 1 metro de espesor.

#### **2.7.3. Geología estructural**

En cuanto al fallamiento, el distrito minero de Tintaya es diferenciable 3 sistemas de lineamientos estructurales principales. De la más antigua a la más joven se tienen: las fallas normales EW, con buzamiento al norte; las fallas NW y NE; y las fallas NS. Estos fueron generados durante las fases tectónicas Peruana e Inca. Las cuales han sido reactivadas y probablemente rotadas durante los sucesivos períodos tectónicos. Por la complejidad estructural presentada en Tintaya debido a la superposición de varios eventos tectónicos, es difícil hacer una clasificación rígida, sin embargo la clasificación tentativa podría ser: las fallas NW y NE

son las fallas más antiguas, seguidas por las fallas EW y finalmente las fallas NS. El comportamiento estructural de esta región indica una dirección de esfuerzo compresivo E-NE que da lugar a pliegues de orientación N-NW. Las fallas EW contienen ca-cl-py-cpy, cortan el skarn, y fueron controles importantes en la distribución de alteración retrógrada., se emplazaron gracias a las fallas NW NE.

Los pliegues tienen una tendencia NNW en cuarcitas, a NW en calizas, las cuales corresponden a la fase tectónica Peruana e Inca. La diferencia entre los rumbos de los pliegues en las cuarcitas así como en las calizas posiblemente se deba a una diferencia de comportamiento a la deformación. Los esfuerzos locales causados por intrusiones dentro del Ferrobamba parece estar causando más deformación a nivel local.

A una escala general el distrito de Tintaya se caracteriza por un gran anticlinal que está expuesto por la formación Soraya, abierto y simétrico, de aproximadamente 5 km de ancho o longitud de onda, y 16km de longitud sur (abarcando el área de Quechuas) al norte (hasta el sur de Tintaya) con un rumbo NNW. El área de transición entre el anticlinal y sinclinal está cortada por fallas normales NE y NW. A través de estas fallas normales las capas sedimentarias de las calizas Ferrobamba se encuentran deslizando, dejando al descubierto las capas de cuarcitas Soraya, las cuales constituyen los altos estructurales del distrito.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> Departamento de geotecnia y geología mina Tintaya (2000) Pg. 65,68

#### **2.7.4. Geología Económica**

Tintaya es un yacimiento de reemplazamiento metasomático tipo skarn de cobre (Oro- molibdeno), alrededor de un complejo stock de composición monzodiorítica. El depósito consiste de bornita, calcopirita, calcocita hipógena, que ocurren a manera de venillas o en forma diseminada mayormente.

El skarn se presenta de una manera particular, skarn muy bien desarrollado con mineralización muy definida, mientras que el endoskarn se muestra casi estéril, y de muy poca potencia. El skarn presenta tres alteraciones prógradas principales y que determinan zonas de mineral: Granate, Piroxeno y Magnetita. Se sabe que estas alteraciones se presentan de diferente manera a lo largo del skarn, de manera pervasiva o combinándose entre ellas. La fase retrógrada está representada por clorita y epidota, que normalmente se dan en skarn y endoskarn. El enriquecimiento hipógeno de Cu en skarn estuvo controlado por fallas y fracturas EW.

La zona mineralizada está dividida en tres zonas de acuerdo a su origen hipógeno o supérgeno: en la base sulfuros primarios, seguido por mixtos o enriquecidos, y zona de óxidos en la parte superior<sup>18</sup>

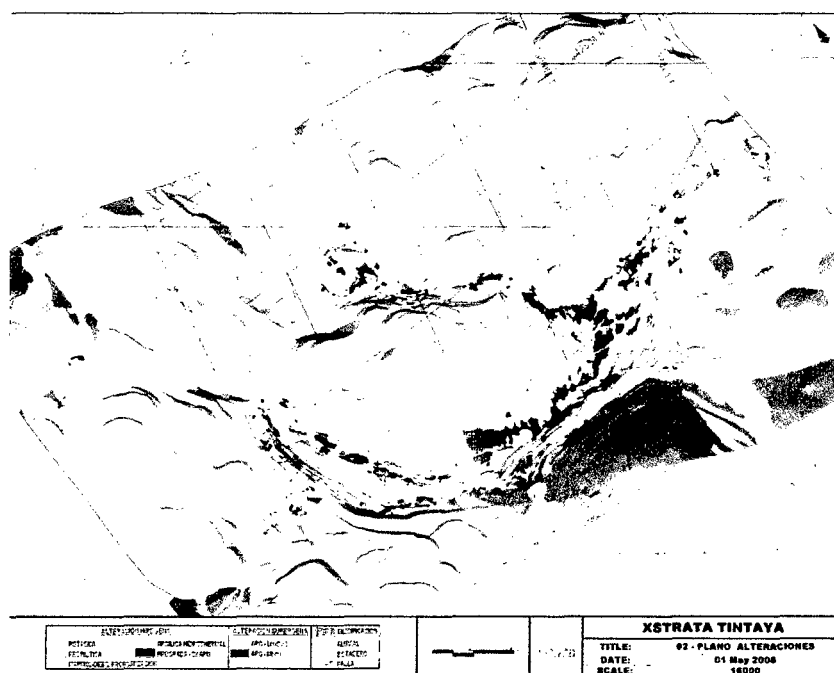
---

<sup>18</sup> Departamento de geotecnia y geología mina Tintaya (2000) Pg. 88,90

## 2.7.5. Alteraciones Hipógenas Y Supérgenas

En Tintaya ocurren dos grupos marcados de alteraciones, la primera asociada a la actividad tardimagmática - hidrotermal denominada Alteración Hipógena y la segunda como producto de la oxidación por eventos superficiales de agua y aire denominada Alteración Supérgena.

Figura N°12: Alteraciones Hipógenas Y Supérgenas



### 2.7.5.1 Alteraciones Hipógenas

#### 2.7.5.1.1. Alteración Potásica

Esta alteración corresponde a un intercambio catiónico (Cambio de base) con la adición de K a las rocas y está asociada a la fase tardimagmática (400 a 550 °C); ocurre predominantemente en el stock monzonítico y está

representado por venas Tipo A de cuarzo - calcopirita – bornita con halos de feldespatos potásicos y alteración de ortosa en la matriz; varía de débil - moderada alteración en la parte central del stock monzonítico, a fuerte en el contacto con el skarn, donde se presenta mayor profusión de venas de cuarzo.

#### **2.7.5.1.2. Alteración Prógrada (Skarn –Endoskarn)**

Ocurre como producto del metasomatismo de contacto del intrusivo monzonítico hacia las calizas. La alteración prógrada del skarn se relaciona con la alteración potásica de la monzonita y está zonada con respecto al núcleo potásico; los granates varían de más andradíticos a más grosularíticos desde el contacto hacia fuera; los piroxenos varían desde diópsido a hedenbergita, desde el contacto hacia afuera. La razón granate/ piroxeno disminuye desde el contacto hacia afuera.

En Tintaya la mineralogía de la ganga está representada por el skarn y endoskarn de calcosilicatos (Granate y piroxenos) y magnetita; la mena de sulfuros primarios presenta calcopirita y bornita, y la pirita es muy escasa en el yacimiento.

#### **2.7.5.1.3. Alteración Propílica**

Esta alteración de baja temperatura se encuentra en las partes periféricas del yacimiento y está representada por clorita, epidota, calcita y pirita. Se observa en los intrusivos dioríticos que afloran aledaños a los tajos; también como débil alteración en las calizas (Marmolizadas con débil propilitización) y diques post mineralización.

#### **2.7.5.1.4. Alteración por silicificación**

Esta alteración hidrotermal se presenta en la zona de inflexión como una fuerte silicificación de las monzonitas y skarn; ocurre como venas de cuarzo con sulfuros de calcopirita, pirita y una fuerte silicificación en la matriz del pórfido monzonítico PM1; está relacionada al emplazamiento de los diques PM2B en la zona.

#### **2.7.5.1.5. Alteración Argílica**

Ocurre en zonas muy aisladas o locales en el yacimiento y está asociada a fluidos hidrotermales tardíos; las arcillas son el resultado de la alteración de los feldespatos en los intrusivos y la alteración de los calcosilicatos en el Skarn. Esta alteración se presenta en Tintaya de débil a moderada en las zonas de emplazamiento de los diques de pórfidos andesíticos y latíticos.

### **2.7.5.2. Alteración Supérgena**

La alteración Supérgena es un proceso de reequilibrio de la mineralogía hipógena (Hidrotermal) a las condiciones oxidantes cerca de la superficie terrestre (Sobre el nivel de las aguas freáticas). La mayoría de las asociaciones de minerales silicatados, carbonatados y sulfurados son inestables en estas condiciones y se descomponen o intemperizan para originar una nueva mineralogía estable de en estas condiciones.

En Tintaya es muy frecuente este tipo de alteración y se observa en las partes altas de los tajos actuales, como producto tenemos:

Alteración supérgena en zonas de skarn – endoskarn: Arcillas, óxidos de Cu (Malaquita, crisocola, tenorita y cuprita) y limonitas (Gohetita y hematina)

Alteración supérgena en zonas de intrusivos: Arcillas de montmorillonita muy deleznable asociadas a limonitas (Gohetita y hematita).

Alteración supérgena en zonas de rocas carbonatadas (Calizas): En estas el intemperismo es débil con presencia limitada de arcillas y limonitas (Gohetita). Debido a la escasa mineralización de pirita en el yacimiento, las zonas de enriquecimiento secundario son escasas; la zona de Chabuca Norte es la más representativa de este enriquecimiento y está definida por la zona de mixtos donde la mineralogía es muy variada con presencia de cobre nativo, calcosita, óxidos de cobre, sulfuros de calcopirita y bornita.

## **2.8 SISTEMA DE OPERACIÓN DE LA MINA TINTAYA**

### **2.8.1. Acerca de Xstrata PLC.**

Xstrata es un grupo minero diversificado de envergadura mundial, cuyas acciones se cotizan en las bolsas de valores de Londres y de Suiza, y que tiene su sede central en Suiza. Las empresas de Xstrata ocupan una posición relevante en siete grandes mercados internacionales de commodities: cobre, carbón metalúrgico, carbón térmico, ferrocromo, níquel, vanadio y zinc. Además, Xstrata está presente en los sectores correspondientes a los metales del grupo del platino, el oro, el cobalto, el plomo y la plata. Xstrata posee también instalaciones de reciclaje, así como una serie de productos tecnológicos de alcance mundial, muchos de las cuales están a la vanguardia de la industria. Las operaciones y proyectos del Grupo Xstrata abarcan 19 países.



### **2.8.1.1. Acerca de Xstrata Copper**

Xstrata Copper, cuya sede central se encuentra ubicada en Brisbane, Australia, es una de las unidades de negocio de *commodities* que conforman el importante grupo minero internacional diversificado Xstrata PLC. Las operaciones y proyectos de Xstrata Copper se encuentran en ocho países: Australia, Argentina, Chile, Perú, Canadá, Estados Unidos, Filipinas y Papúa Nueva Guinea. Sus operaciones son administradas por cinco divisiones independientes, establecidas en las cercanías de dichas operaciones mineras, a saber: Queensland Norte, Alumbreira, Norte de Chile, Sur del Perú y Canadá. Asimismo, Xstrata Copper posee un negocio de reciclaje (*Xstrata Recycling*) con plantas en Estados Unidos y oficinas en Canadá y Asia.

Xstrata Copper es la cuarta empresa productora de cobre en el mundo, con una producción anual administrada de más de un millón de toneladas.

### **2.8.1.2. Acerca de la División Sur del Perú**

En noviembre de 2007, Xstrata Copper anunció la creación de la División Sur del Perú, con sede en la ciudad de Arequipa. La nueva división es responsable de la administración de la operación minera Tintaya, de los proyectos de desarrollo Las Bambas, Antapaccay y Corocchohuayco, de la exploración regional, y del desarrollo e implementación de la estrategia de crecimiento de la empresa en el sur del Perú. Asimismo, esta división respalda los intereses y participación de Xstrata Copper en la *joint-venture* Antamina, en la región Ancash de Perú.

Xstrata Copper posee el 100% de la participación de Xstrata Tintaya S.A. Al 30 de junio de 2009, las Reservas Minerales Probadas y Probables incluyen 10 millones de toneladas con 1% de sulfuros y óxidos acopiados para su tratamiento durante el tiempo de vida restante de la mina. Esta declaración es un estimado basado en un Modelo de Bloques de Recursos que se construyó empleando la interpolación ordinaria de Kriging dentro de los límites geológicos y sobre la base de datos históricos de ensayos que comprenden aproximadamente 651 mil metros de perforación diamantina y de circulación inversa. Los Recursos Minerales Identificados se generan a partir de los estudios de optimización del tajo empleando posibles escenarios técnicos y económicos futuros para definir la mineralización que podría convertirse, parcial o totalmente, en económicamente extraíble. Los Recursos Minerales Identificados se declaran sobre

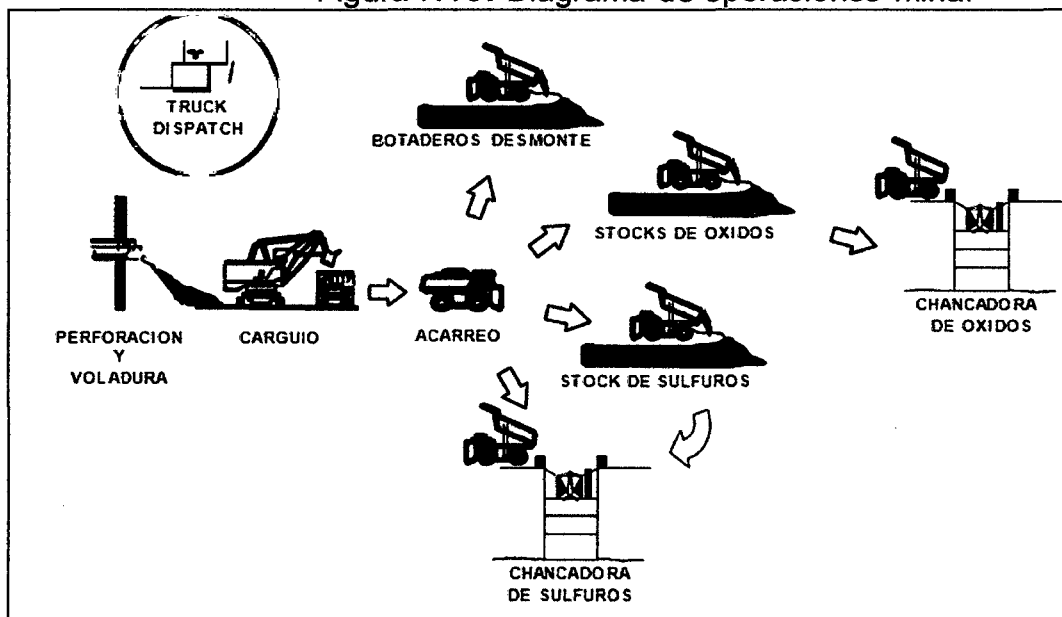
la base de un corte económico de cobre total de 30 % para minerales de sulfuro y 46 % de cobre soluble para minerales de óxido; el corte económico se basa en suposiciones adecuadas del precio de los metales, factores de dilución y recuperaciones metalúrgicas.

### 2.8.1.3. XSTRATA TINTAYA S.A.

El Yacimiento de Xstrata Tintaya S.A se encuentra ubicado en el distrito de Yauri, Provincia de Espinar Departamento del Cusco, con una altitud promedio de 4100 m.s.n.m.

Las operaciones de Xstrata Tintaya S.A, están divididas en dos procesos, concentración y lixiviación. Produciendo al día alrededor de 760 TM de concentrados de cobre con una ley de 32% y 90 TM de cátodos de cobre con una ley de 99.9999%.

Figura N13: Diagrama de operaciones mina.



### **2.8.2. Yacimiento de Tintaya.**

Tintaya corresponde a un yacimiento metasomático de contacto Tipo Skarn de Cu-(Ag,Au), (P. Zweng, 1996), ubicado en el Distrito Minero de Tintaya donde se presentan los yacimientos de Antapaccay, Corocohuayco, Quechuas y Hatún Pucara. Regionalmente pertenece al Metalotecto Ferrobamba, caracterizado por la ocurrencia de yacimientos de Skarn asociados a las calizas de la Formación Ferrobamba intruidas por los pórfidos monzoníticos cupríferos. En los últimos años se han descubierto yacimientos con mineralización económica en los pórfidos cupríferos (Antapaccay, Chancas, Las Bambas, Katanga, Antillas y otros).

Tipo de yacimiento : Skarn Metasomático de Contacto.

Mineralización : Óxidos y Sulfuros de Cobre.

#### **2.8.2.1. Minerales Económicos**

Sulfuros : Bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), Chalcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ )

Carbonato y silicato : Malaquita ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ), Crisocola  
( $\text{Cu,Al})_4\text{H}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$ )

#### **2.8.2.2. Planeamiento**

Comprende el diseño del método de explotación, la capacidad y características de las instalaciones de operación (accesos, equipos), para llevar a cabo una estrategia de explotación del recurso mineral (secuencia de extracción).

**Tabla N 8: Dimensiones y parámetros de diseño.**

DESCRIPCION	CARACTERISTICA
Ancho de Rampa	30 m
Bancos	15 y 10 m
Overall (Ángulo Final)	45° y 63°
Rampas	12%
Angulo de Banco	63° y 37°
Relación de Desbroce	10:1
Ley Promedio	Sulfuros 1.27% y Óxidos 0.81%
Recuperación	Sulfuros 85% y Óxidos 80%
Planta de sulfuros	20,000 TM/Día
Planta de óxidos	10,500 TM/Día
Producción (mineral y desmonte)	230,000 TM/Día

Fuente: Departamento de planeamiento de mina Tintaya.

### 2.8.2.3. Perforación

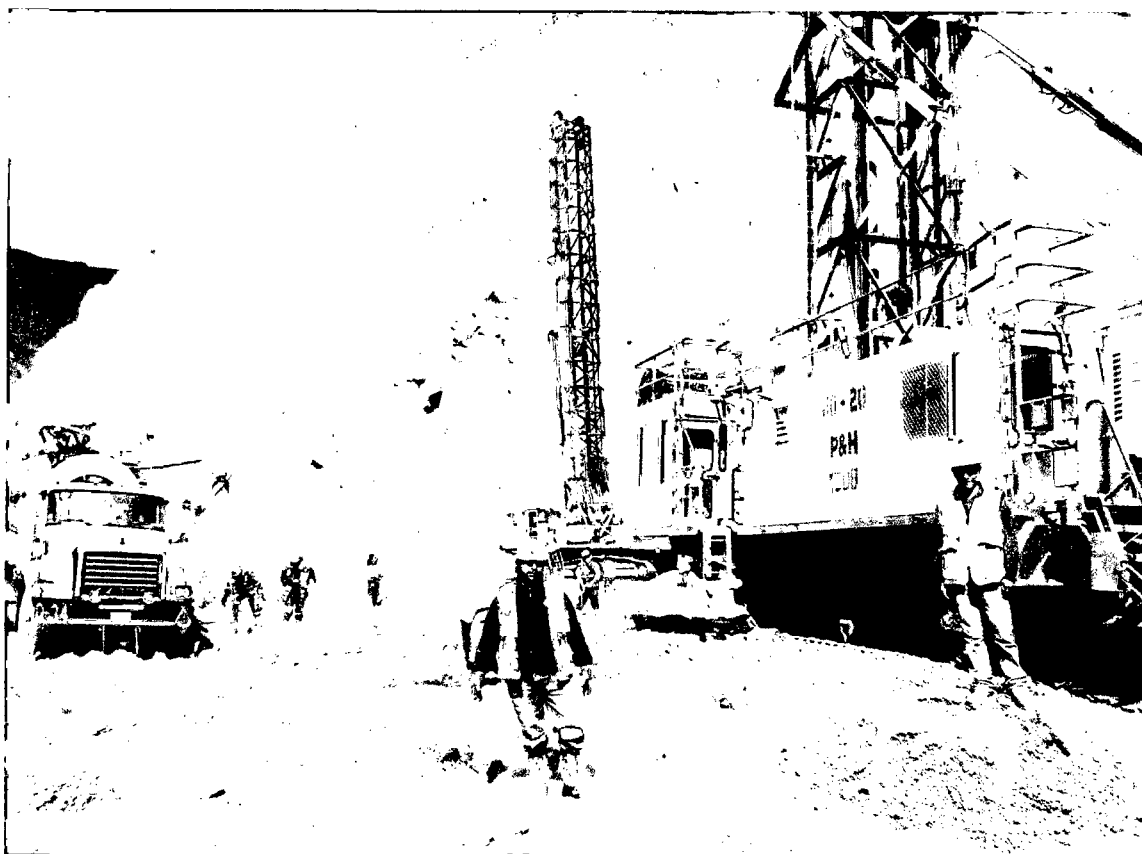
Primera operación unitaria de minado que utiliza la combinación del peso bruto y rotación para triturar y partir la roca de un hoyo; el resultado de la voladura depende de ella.

**Tabla N 9: Equipos de perforación.**

CANTIDAD	TIPO	DIÁMETRO
02	Perforadoras Eléctricas P&H 100B	12 ¼"
01	Perforadora Diesel Drill Tech D90	12 ¼"
02	Perforadora Roc L 8	6 ½"

Fuente: Departamento de perforación y voladura mina Tintaya.

Fotografía N°8: Perforadoras Eléctricas P&H 100B y Perforadora Diesel Drill Tech D90 perforando en el fondo del tajo Tintaya.

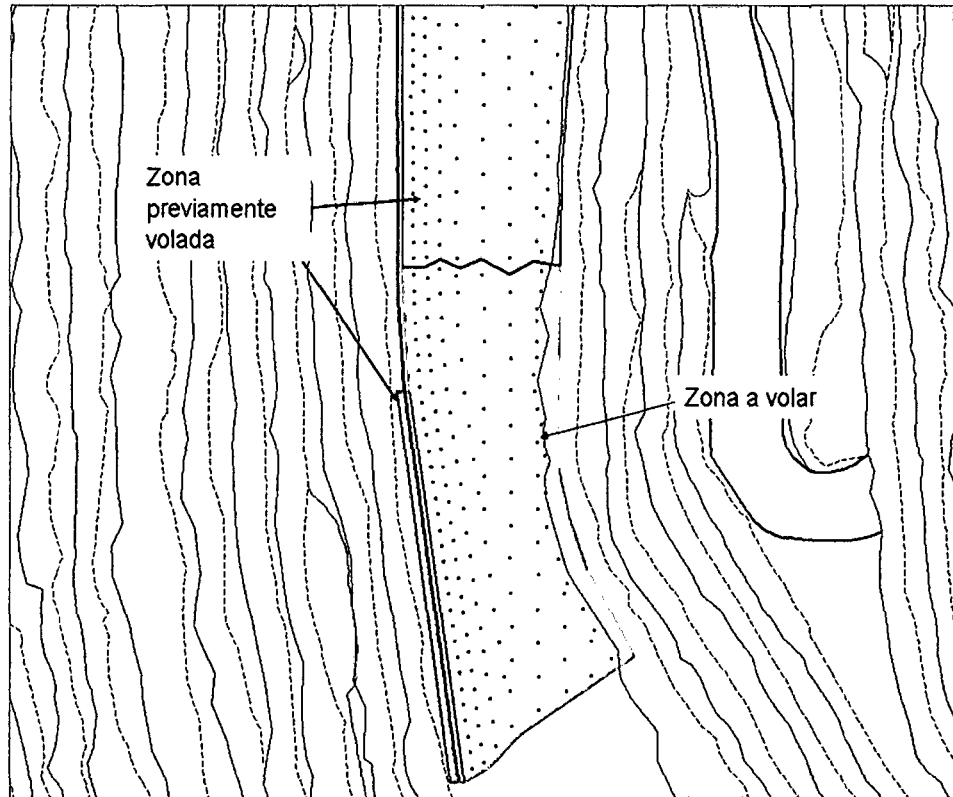


Fuente: Propia

**Tabla N 10:** Diseño de mallas.

TIPO DE MATERIAL	BURDEN POR ESPACIAMIENTO
Mineral	8 x 9, 8 x 8 y 7.5 x 7.5
Desmonte	8.5 x 10 y 8 x 9

Gráfico N°8: Diseño de la malla de perforación



Fuente: Departamento de perforación y voladura mina Tintaya.

#### 2.8.2.4. Voladura

Es el proceso por el cual se fragmenta la roca por medio de la utilización de la energía de agentes explosivos y accesorios de detonación.

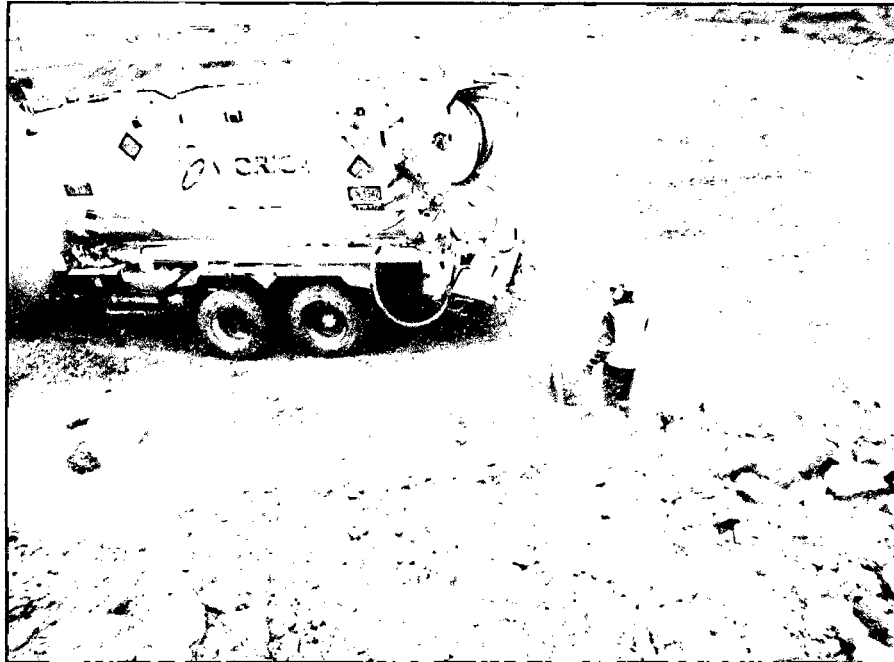
El carguío de los taladros está a cargo de la empresa ORICA S.A. puesto en taladro.

- Explosivo Utilizado : ANFO
- Mezcla : 30/70, 40/60, 50/50 y 60/40.(Anfo / Emulsión)
- Anfo =  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ + Mezcla de petróleo con aceite residual al (6%)
- Factor de potencia : 0.20 Kg/Tm

### 2.8.2.5. Equipos de Voladura

- 03 Camiones fabrica.
- 01 Boot cat.

Fotografía N°9: Camión fabrica cargando los taladros con Anfo.



Fuente: Propia

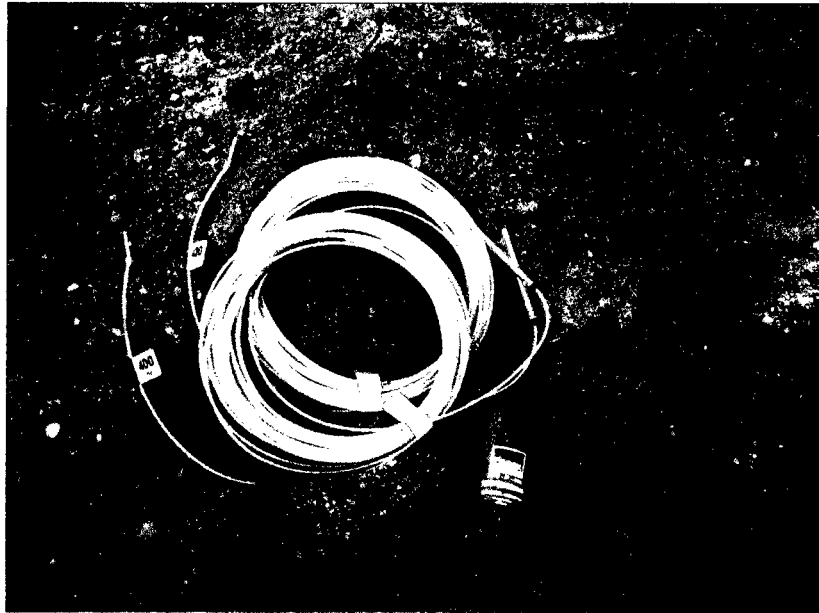
### 2.8.2.6. Accesorios de Voladura

- Nitrato de Amonio.
- Petróleo Diesel Nro. 2.
- Aceite Residual.
- Emulsión Matriz.
- Booster de 1lb.
- Cordón Detonante 5 G.
- Detonador no Eléctrico de 400, 500, 600 y 700 ms. (Nonel)



- Retardos Superficiales.
- Línea Silenciosa.

Fotografía N°10: Retardos no eléctricos y Booster



Fuente: Propia

#### **2.8.2.7. Carguío**

El objetivo del carguío es cargar el material disparado desde el frente de carguío, en camiones de extracción, de una forma eficiente y segura, con el fin de generar los espacios suficientes para la perforación y voladura de las siguientes expansiones.

#### **2.8.2.8. Modalidades de Carguío**

Dependiendo del diseño de las expansiones que se cargan, los requerimientos de productividad y eficiencia y las condiciones operacionales que se presentan, las palas serán dispuestas en dos modalidades de carguío: *Cancha Simple*, en donde la pala tiene

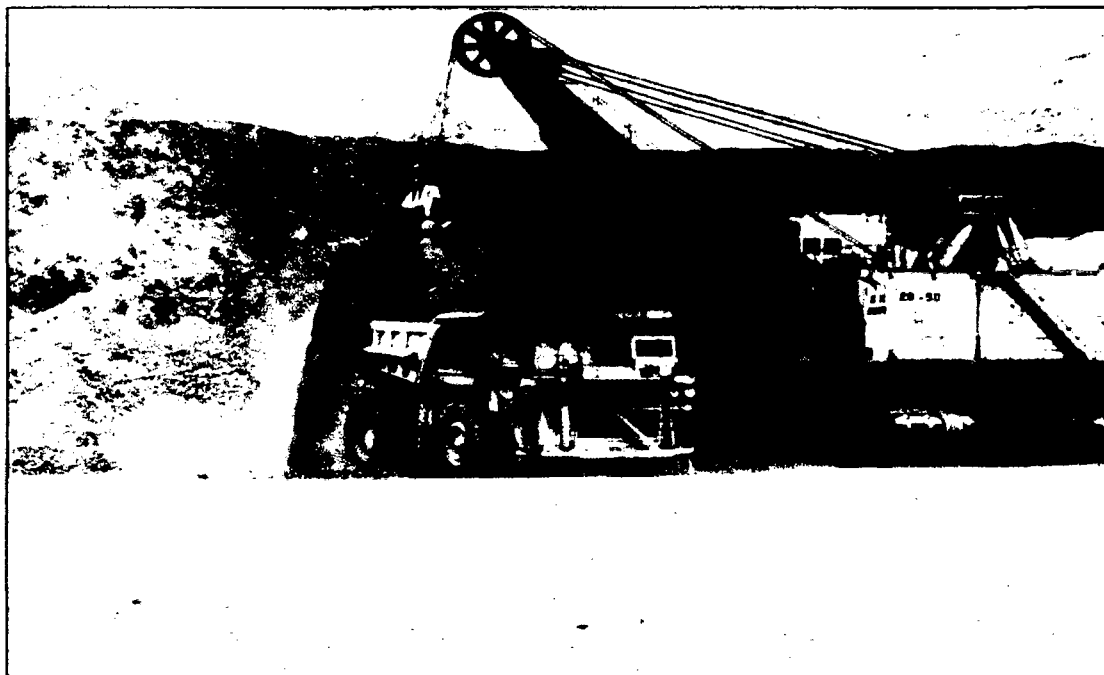
habilitado solo uno de sus costados para cargar o bien *Cancha Doble*, donde se tiene habilitado ambos costados del equipo para cargar.

**Tabla N 11:** Equipos de carguío.

CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS	PRODUCTIVIDAD	CAPACIDAD
02	Palas P&H 2800 XPB	4000 Tm/hr	40 yd <sup>3</sup>
02	Palas P&H 2300 XPB	2500 Tm/hr	22 yd <sup>3</sup>
02	Cargador Frontal 994-F	1700 Tm/hr	22 yd <sup>3</sup>

Fuente: Departamento de operaciones mina.

Fotografía N°11: Palas P&H 2800 cargando material fragmentado a camión minero 56

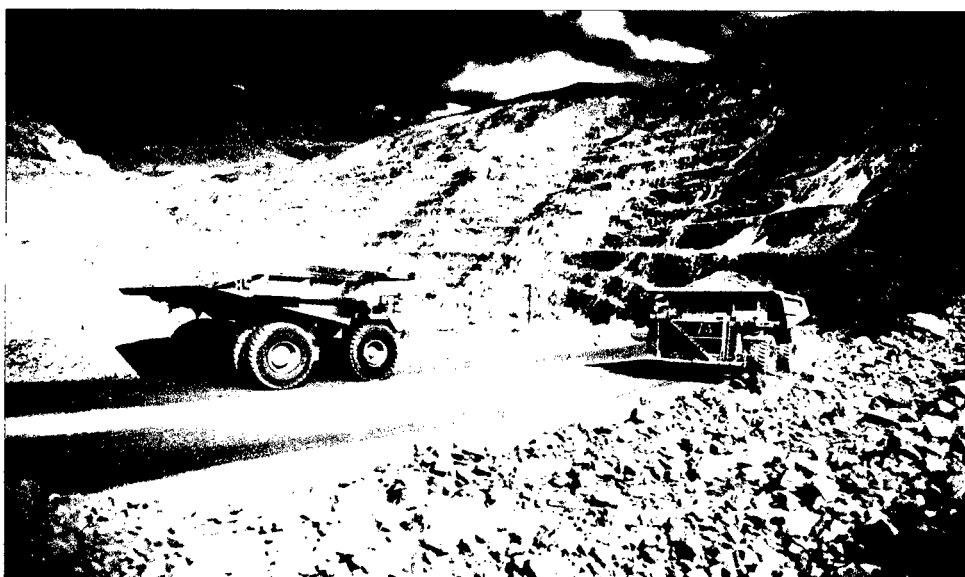


Fuente: propia

### 2.8.2.9. Acarreo

Transportar el material desde el frente de carguío hacia los distintos puntos de descarga (chancado, botadero, stock), de manera eficiente y segura, para cumplir con los requerimientos de desarrollo y producción, este último basado en el abastecimiento de mineral a planta.

Fotografía N°12: Flota de camiones mineros CAT.



Fuente: Propia

Tabla N 12: Equipos de acarreo.

CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS	CAPACIDAD
06	Camiones CAT 793 D	217 TM
21	Komatsu 830 E	204 TM
05	Camiones CAT 785 B	136 TM
03	Camiones CAT 797	363 TM

Fuente: Departamento de operaciones mina.

Fotografía N°13: Flota de camiones mineros



Fuente: Propia

Tabla N 13: Equipo auxiliar.

CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
06	Tractores de Orugas D10.
04	Tractores de Llantas 824 F.
01	Cama Baja (camión 785 B).
01	Tractor Manipulador de Cables. 824 F.
03	Motoniveladoras 16M.
02	Cisternas CAT 785 B (30 000 Galones).
01	Excavadora 345 CLME
01	Rompe rocas (martillo montado sobre excavadora).

Fuente: Departamento de operaciones mina.

Fotografía N°14: Excavadora 345 CLME escavando posos para la bombas de drenaje.



Fuente: propia

#### **2.8.2.10. Drenaje**

##### **2.8.2.10.1. Drenaje Superficial**

- Canales : Mampostería, concreto y geomembranas.
- Capacidad : 13m<sup>3</sup>/s
- Área hidráulica : 3m<sup>2</sup>.
- Desarenadores y sedimentadores.

##### **2.8.2.10.2. Drenaje Mina**

Líneas de bombeo

- Línea 4 :(Bombas gould en tres estaciones).
- Línea 6 y 7 :(02 Bombas flow Server 750 HP).

- Bomba : (02 Bombas guorman Rupp: 95 y 225 HP y 01 Flyg: 120 HP).
- Precipitación fluvial: 20 mm H<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>.

## **2.9 Antapaccay**

El proyecto Antapaccay es un depósito tipo pórfido-skarn de Cu (Ag, Au y Mo) de propiedad de la División Sur de Xstrata Copper, donde se tiene planificado realizar la explotación a través de dos tajos abiertos denominados Norte y Sur.

Antapaccay se beneficiará de la actual infraestructura administrativa y logística de Tintaya, así como de la experiencia de su personal. Las actividades relacionadas con la puesta en marcha de la planta continúan mientras Antapaccay aumenta gradualmente la producción

### **2.9.1. Aspectos Generales**

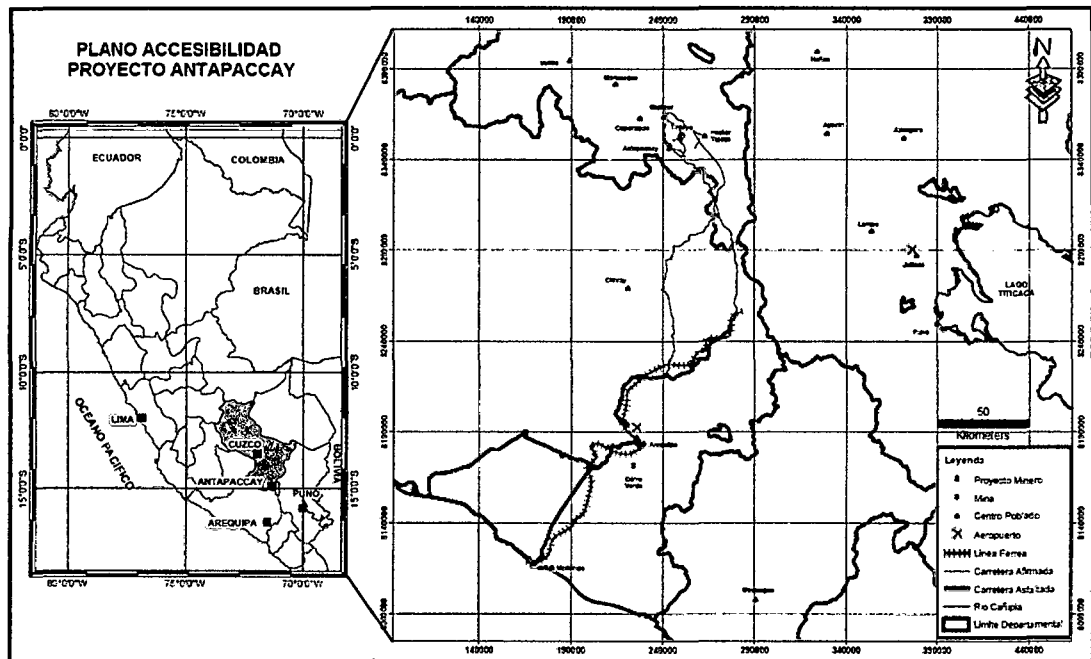
#### **2.9.1.1. Ubicación de Propiedades y Concesiones Mineras**

El proyecto Antapaccay se ubica en la Comunidad Campesina de Alto Urraca, Distrito de Yauri y Provincia de Espinar, Región cusco. Al Sur del Perú, a 10 Km., en línea recta hacia el suroeste de la Mina Tintaya.

Las coordenadas UTM del centro del proyecto son 243283 E y 8345572 N en el sistema de coordenadas PSAD56 – UTM. Zona 19, Franja L. y el rango de elevación es de 3800 a 4050 m.s.n.m.

El proyecto está en terrenos de propiedad de Xstrata Tintaya que comprenden 9,393 Hectáreas de extensión.

Figura N°14. Plano de Ubicación y Accesibilidad del Proyecto Antapaccay.

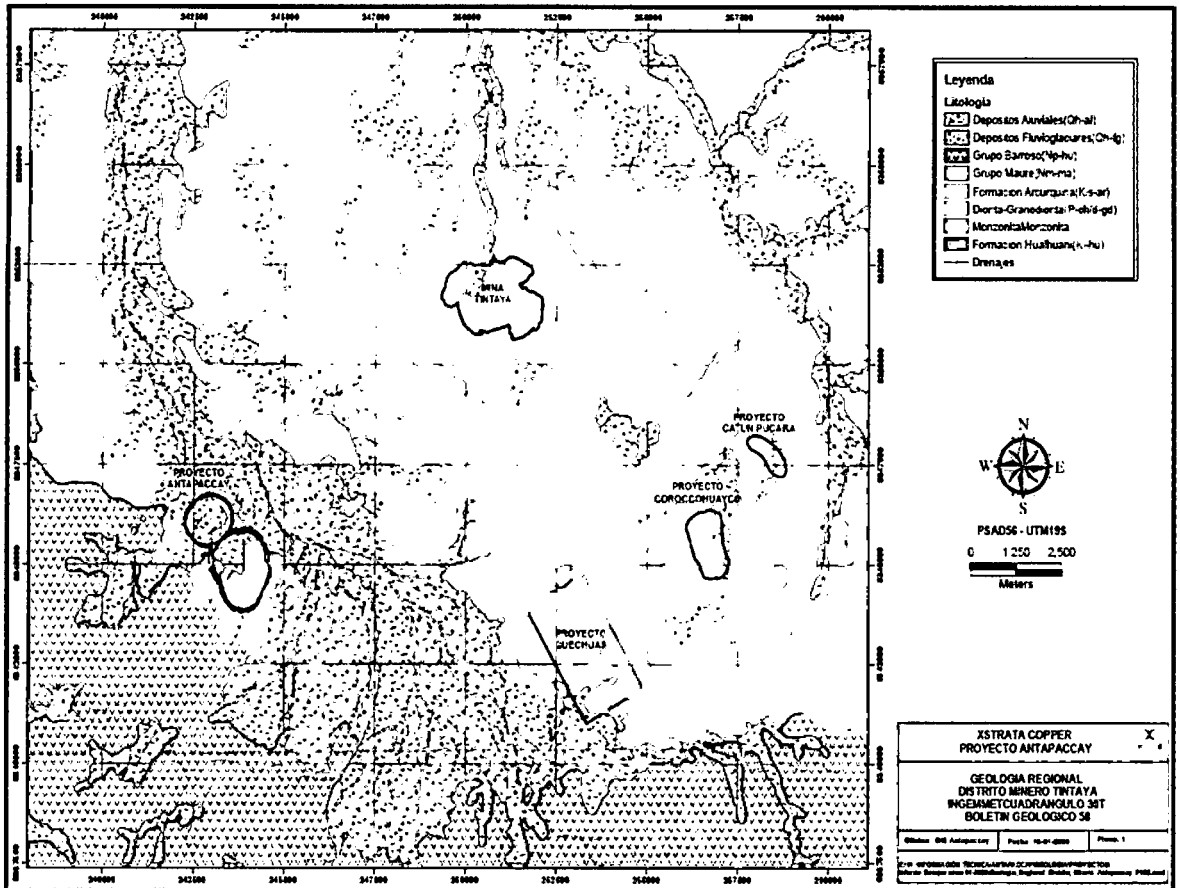


## 2.9.2. Geología General

El proyecto Antapaccay es un depósito de tipo pórfido – skarn de Cu, Au, Ag y Mo, la mineralización se encuentra emplazada en los cuerpos intrusivos como diseminado y rellenando fracturas y hacia el contacto con las rocas sedimentarias (calizas) se desarrolla el skarn, el depósito se encuentra cubierto por material aluvial.

Geológicamente consiste de una gruesa secuencia sedimentaria cretácica plegada durante las deformaciones andinas y diques del Batolito Andahuaylas – Yauri, cubierta por depósitos lacustrinos y volcánicos cenozoicos y depósitos cuaternarios.

Figura N°15. Plano Geológico de la mina Antapaccay.



## 2.9.2. Litología

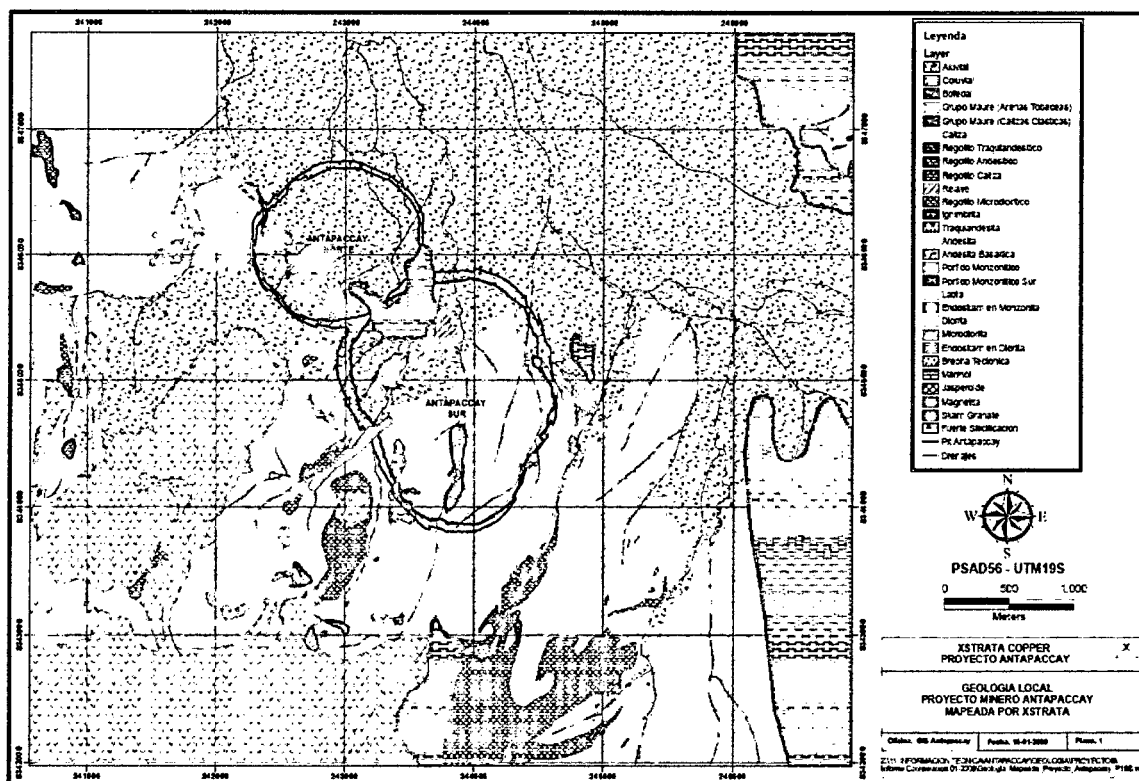
En Antapaccay Norte el 6% corresponde a afloramientos, básicamente en el Cerro Juto que se ubica en el extremo NW del proyecto, esta constituido por un potente afloramiento de calizas de la Fm. Ferrobamba, hacia el SE atravesando una pequeña quebrada sin nombre (con rumbo N35°E) se alcanza el flanco NE del Cerro Quello Quello; entre las cotas 4050 y 4000, se ha cartografiado pequeños afloramientos de intrusivos (Pórfido 75 y 79) que interceptan afloramientos mayores de mármol gris y pardo, de grano fino a medio, bandas de blanqueamiento con venillas de calcita y  $OxFe$ . Ambos intrusivos al oeste están en contacto con calizas,



generando una delgada franja de Skarn de magnetita, granate y piroxeno. El resto del área (94% aprox.), está cubierta por depósitos cuaternarios morrénicos y aluviales. En Antapaccay Sur el 7% del área corresponde a un conjunto de afloramientos de rocas intrusivas (Pórfido 80, Pórfido 74 y diorita) que intruyen calizas de la Formación Ferrobamba, restringiendo su afloramiento a pequeños parches entre los intrusivos.

El 50% del área del proyecto, esta cubierta por tobas de color gris claro, con ligera tonalidad rosada con matriz afanítica de grano fino a medio y fragmentos líticos. El 15% corresponde a la Grupo. Maure y el resto del área esta cubierta por material cuaternario

Figura N°16. Geología del Proyecto Antapaccay.



## **Rocas sedimentarias**

### **Formación Soraya (Cretáceo inferior)**

No presenta afloramientos en la zona del proyecto, sin embargo fue interceptada por varios taladros a profundidades mayores a los 600 m en el sector de Antapaccay Sur, corresponde a la secuencia sedimentaria más antigua en el área, presenta comportamiento dúctil y muestra tendencia a alta frecuencia de fracturamiento y consecuentemente alta permeabilidad secundaria

Esta constituida por cuarcitas blancas con halos de tonalidad marrón, con fracturas y microfracturas rellenas con mineralización de bornita, calcopirita, molibdenita y erráticas venas de anhidrita, yeso y calcita

### **Formación Mara (Cretáceo inferior)**

No presenta afloramientos en la zona del proyecto, sin embargo se interceptó en varios taladros en ambos sectores Antapaccay Norte y Sur.

Los 66.55m del taladro AC-203 están constituidos por: 21.05m (411.95 a 433.00) de hornfels de biotita, piroxeno verdoso con bandas y venillas de calcita con erráticos granos de pirita – calcopirita, 24.55m (433.00 a 457.55) de intercalaciones de arenisca grisácea de grano medio con niveles de cuarcitas y escasa pirita con lutita violáceo a gris violáceo y cortos tramos de hornfels de piroxeno verde claro débilmente laminado con playas y venas de calcita, 2.2m de hornfels de biotita, piroxeno con niveles de lutita y escasa diseminación de pirita y calcopirita, seguidos por 2.2m de hornfels de piroxenos listados con parches de magnetita y

pequeños lentes de skarn de piroxeno y magnetita, luego 10.55m de intercalaciones de Hornfels de piroxenos > biotita con tramos de lutita grisácea y lentes de arenisca grisácea a violáceas con tramos fallados, venillas de calcita y diseminación de pirita y 6m de lutita con incipiente desarrollo de arenisca grisácea, venillas de yeso y pirita diseminada

El tramo interceptado por el taladro AN-68 esta constituido por hornfels con venas de cuarzo gris con fina diseminación de pirita y calcopirita-bornita, que disminuyen en profundidad, incrementándose las venas de yeso y calcita Siendo esta descripción similar para los intervalos interceptados en el resto de taladros.

En Antapaccay Norte el contacto superior esta dado por la intrusión de un cuerpo de diorita a modo de sill y al incrementarse la profundidad puede ser cortada por diques monzoníticos, la relación de contacto con la Formación Soraya no se aprecia debido a que los taladros no profundizaron más.

### **Formación Ferrobamba (Cretáceo inferior a medio)**

El mayor afloramiento se encuentra en el sector de Antapaccay Norte en el Cerro Juto a 1.9 Km. al NW de la antigua Mina Atalaya, abarca un área aproximada de 0.84 km<sup>2</sup> (1.02 x 0.82km), se identifico un grupo de afloramientos de caliza que se orientan hacia el sur, entre las cotas 4050 y 4000 están constituidas principalmente por mármol gris de grano fino con venillas de calcita y bandas de blanqueamiento (0.40m) en el contacto con mármol café.

El taladro AN-68 intercepto 7.20 m de intercalaciones de mármol blanco y mármol gris con venas de cuarzo-calcita, erráticas venas de granate y venas de calcita con fina disseminación de pirita mayor que calcopirita. Se observó que el buzamiento de estratificación es de 40°; además ambos extremos se presentan brecha dos y seguidos por endoskarn. En Antapaccay Sur, esta restringido a un conjunto de afloramientos de caliza que siguen una orientación N-S en la ladera NE-E del Cerro Quello Quello hasta unos 225m al N de la margen izquierda de la Quebrada. Minas mayo. A 200m al Este de estos afloramientos se a descrito afloramientos irregulares de caliza (100 x 70m) cortados por diversos intrusivos. Los estratos tienen rumbo predominante Son calizas masivas, con estratos de bioclásticos y estratos delgados (5-15 m espesor) de caliza dolomítica de color pardo grisáceo.

Los 192.80m del taladro AC-40 están constituidos por intercalaciones de mármol gris, y mármol blanco con desarrollo de piroxeno verdoso, nódulos erráticas venillas de calcita, al piso se observa moderado desarrollo de granate marrón a verde claro con intercrecimiento de sílice con errática disseminación de pirita – calcopirita y epidota masiva, con bandas y disseminación en tramos cortos .Esta descripción concuerda con los intervalos interceptados en el resto de taladros, varia el grado de alteración.

La relación de contacto con la Formación Mara se aprecia en taladros de ambos sectores, el contacto con el Grupo Maure (Fm. Yauri) y la cobertura cuaternaria es discordante.

## CAPITULO III

### PARTE EXPERIMENTAL

#### **3. Estudio de la resistencia a la compresión del macizo rocoso mediante el RocLab**

**RocLab** es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso, de acuerdo al criterio de rotura Generalizado de Hoek-Brown.

Uno de los mayores obstáculos que se encuentran en el campo de los modelos numéricos en la mecánica de rocas, es el problema de la definición de datos referentes a las propiedades de los macizos rocosos.

La utilidad de los programas de análisis numéricos disponibles actualmente, está enormemente limitada si el analista no dispone de datos fiables referentes a las propiedades del macizo rocoso. La última versión del criterio de rotura de Hoek-Brown .Conjuntamente con su implementación en el programa **RocLab**, da un paso considerable en la dirección adecuada para remediar tal situación.

En el criterio de rotura de Hoek-Brown quedan ahora resueltos, entre ellos se destacan:

- La aplicabilidad del criterio a macizos rocosos muy poco resistentes.
- El cálculo de los parámetros equivalentes, a partir de los de la envolvente de rotura de Hoek-Brown.

El programa **RocLab** proporciona una puesta a punto sencilla e intuitiva del criterio de rotura de Hoek-Brown, que permite al usuario una fácil

obtención de estimaciones fiables de propiedades del macizo rocoso, así como también la visualización de los efectos que el cambio de parámetros del macizo rocoso produce sobre la envolvente de rotura.

La tarea de determinar propiedades del macizo rocoso no es normalmente un fin en sí mismo. Esta tarea se realiza para proporcionar datos de entrada a los programas de análisis numérico, que requieren definición de las propiedades del material para ejecutar cálculos de estabilidad o análisis de tensiones.

### **Determinar Parámetros de Resistencia**

Determinar los parámetros de resistencia generalizados de Hoek-Brown (**mb**, **s** y **a**), basados en la introducción de los siguientes datos:

- La resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta  **$\sigma_{ci}$**
- El parámetro de la roca intacta  **$m_i$**
- El índice de resistencia geológica **GSI**
- El factor de perturbación **D**

### **Estimación de Parámetros de Entrada**

Cada uno de los 4 parámetros anteriores ( **$\sigma_{ci}$** ,  **$m_i$** , **GSI** y **D**), pueden ser convenientemente estimados mediante bacos y tablas de datos integrados, a partir del tipo de roca, condiciones geológicas, etc.

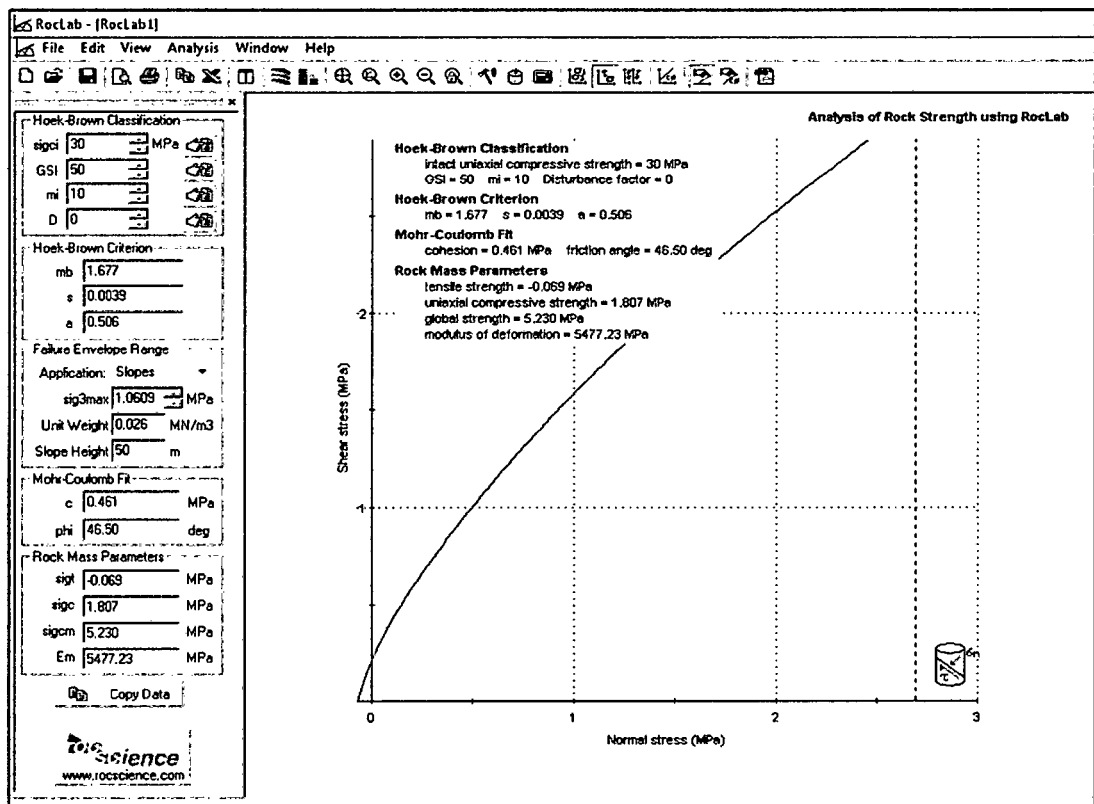
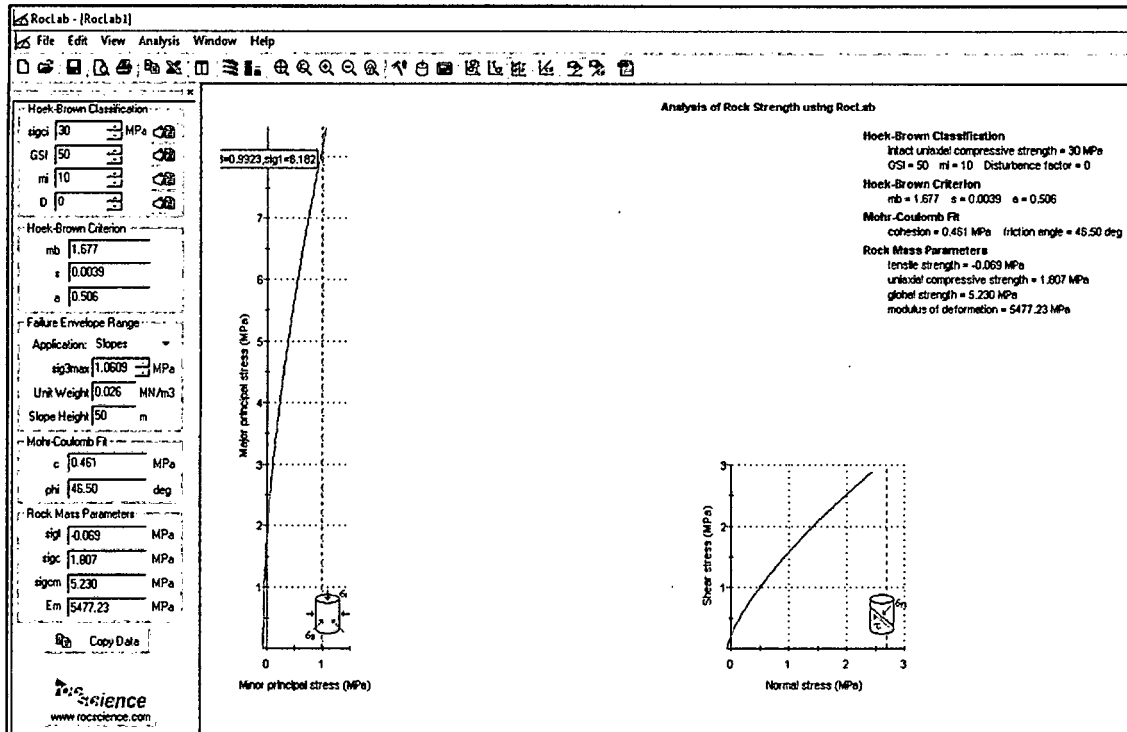
### **Otros Parámetros del Macizo Rocosó**

En la parte inferior de la barra lateral se podrá observar que se calculan además los siguientes parámetros del macizo rocoso:

- **$\sigma_{gt}$**  (resistencia a tracción del macizo rocoso)
- **$\sigma_{gc}$**  (resistencia compresiva uniaxial del macizo rocoso)

- $\sigma_{icm}$  (resistencia compresiva global del macizo rocoso)
- $E_m$  (módulo de deformación del macizo rocoso)

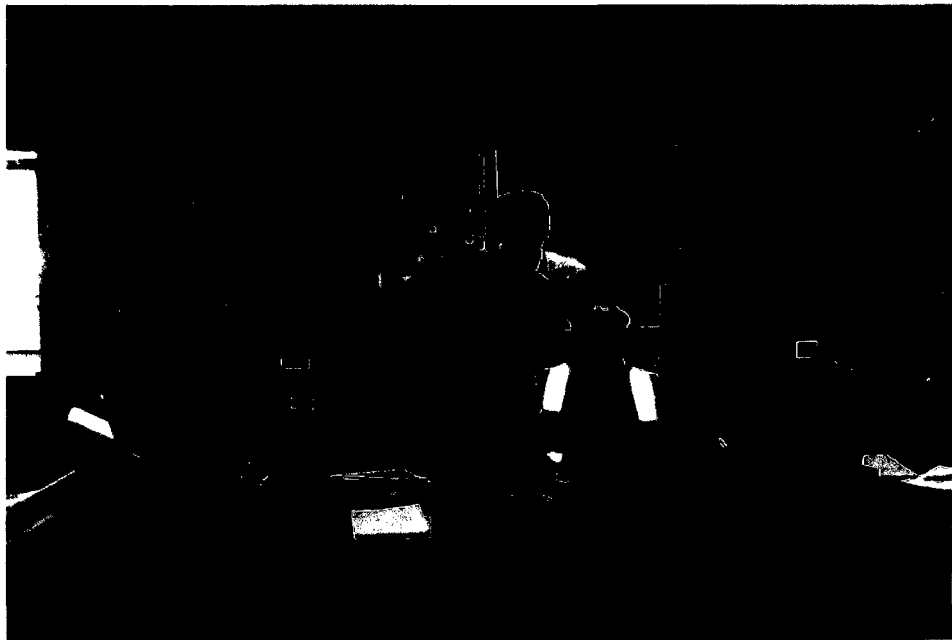
Figura N 17: Curva de resistencia a la compresión en RocLab



### 3.1. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE FALLAS

- Una de las herramientas más importantes para la detección oportuna y obtención de información precisa de perforación, es la inspección y el análisis de falla del desgaste de broca.
- Cuando una broca sale de perforación se inspecciona muy de cerca las condiciones de desgaste.
- Los resultados obtenidos entregan una visión de lo que pasa en la perforación y da la oportunidad de elegir la broca correcta y ver en la práctica la alta eficiencia de perforación y sus bajos costos.

Fotografía N°15: Oficina del departamento de perforación y voladura



Fuente: Propia



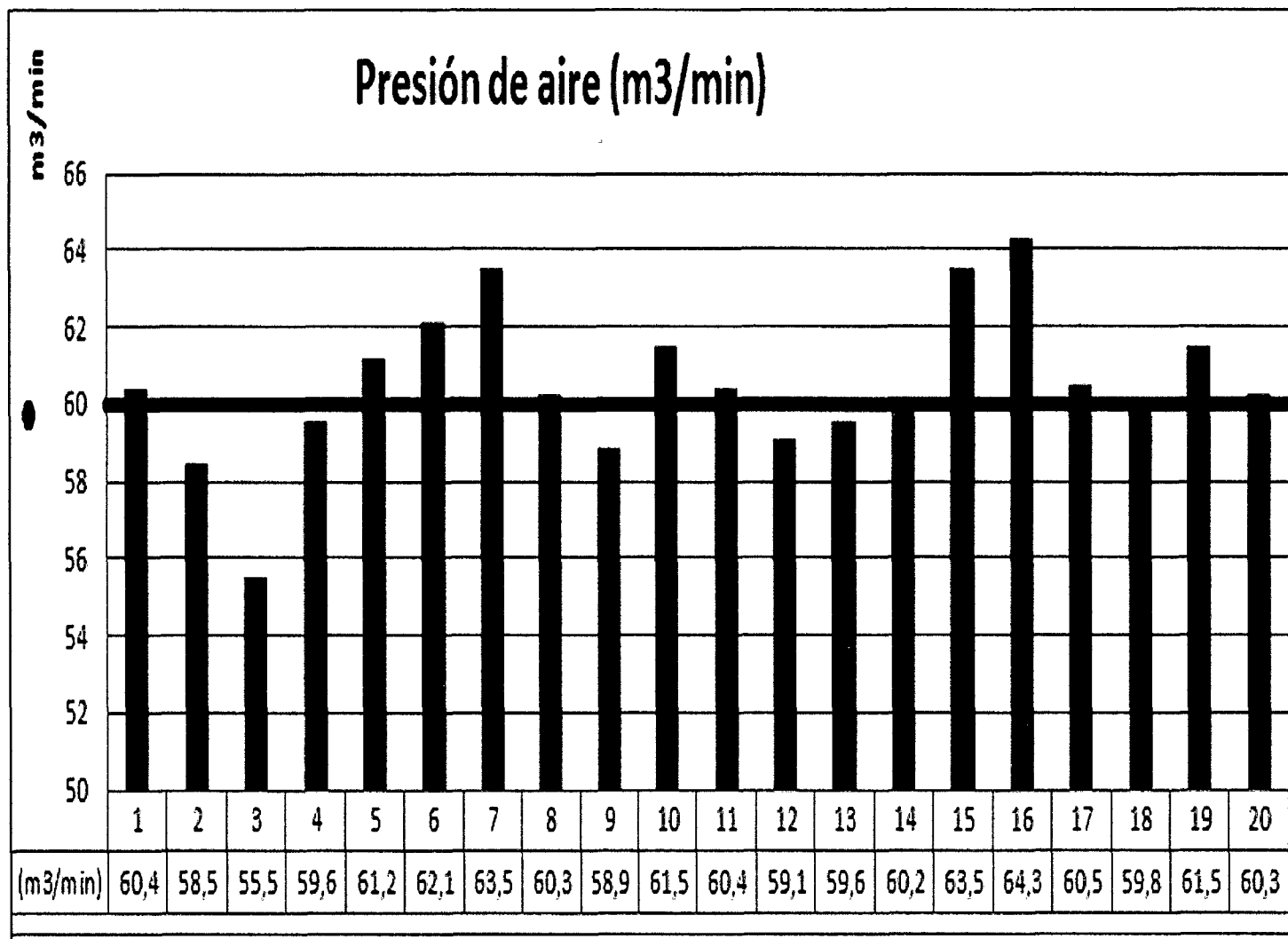
### **3.1.1. Reporte diario de perforación.**

- Herramienta de control para optimizar la vida de las brocas
- Nos brinda información a tiempo para corregir errores
- Sirve para confrontar información con el Sistema Dispatch
- Un manejo de los reportes de perforación ayudaran a determinar el tipo apropiado de broca para el terreno a perforar
- Identificación rápida de los supervisores de los parámetros que se están aplicando en el campo
- Ayudara a determinar la disponibilidad mecánica y operativa de la perforadora

### 3.2. Evaluación de los parámetros de perforación y la vida útil de la broca triconica.

En formación de macizo rocoso Duro ( Skarn)

Fecha	Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Roca	Dureza	Metros perforados (Mtr)	Tiempo de perforación (Hr)	Presión de aire (m3/min)	Velocidad de rotación (RPM)	PullDown (lb)	velocidad de perforacion Mtr/Hr
13/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	62,5	1,29	60,4	90,2	70,5	48,3
14/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	66,4	1,39	58,5	90,1	68,2	47,6
15/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	73,6	1,54	55,5	89,5	70,1	47,8
16/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	62,2	1,27	59,6	89,3	70,5	48,9
17/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	50,6	1,03	61,2	89,7	69,1	48,9
18/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	83,4	1,79	62,1	90,1	68,2	46,5
19/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	68,5	1,35	63,5	91,2	72,1	50,7
20/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	52,6	1,12	60,3	89,6	71,1	46,8
21/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	48,6	1,25	58,9	89,4	71,3	38,9
22/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	55,9	1,16	61,5	87,9	70,2	48,2
23/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	49,4	1,12	60,4	89,5	70,9	44,1
25/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	84,6	1,79	59,1	88,6	70,7	47,3
26/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	49,1	1,25	59,6	87,9	69,5	39,3
27/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	50,1	1,30	60,2	88,2	72,8	38,5
28/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	60,3	1,30	63,5	87,6	71,9	46,5
29/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	48,6	1,20	64,3	88,5	70,9	40,5
30/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	47,6	1,04	60,5	88,6	72,9	45,7
31/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	60,2	1,24	59,8	88,9	71,2	48,6
01/02/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	51,3	1,25	61,5	89,7	71,6	41,0
02/02/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	66,6	1,45	60,3	89,8	72,3	45,9
Toltal							1192,1	26,15				
Promedio									60,5	89,2	70,8	45,5

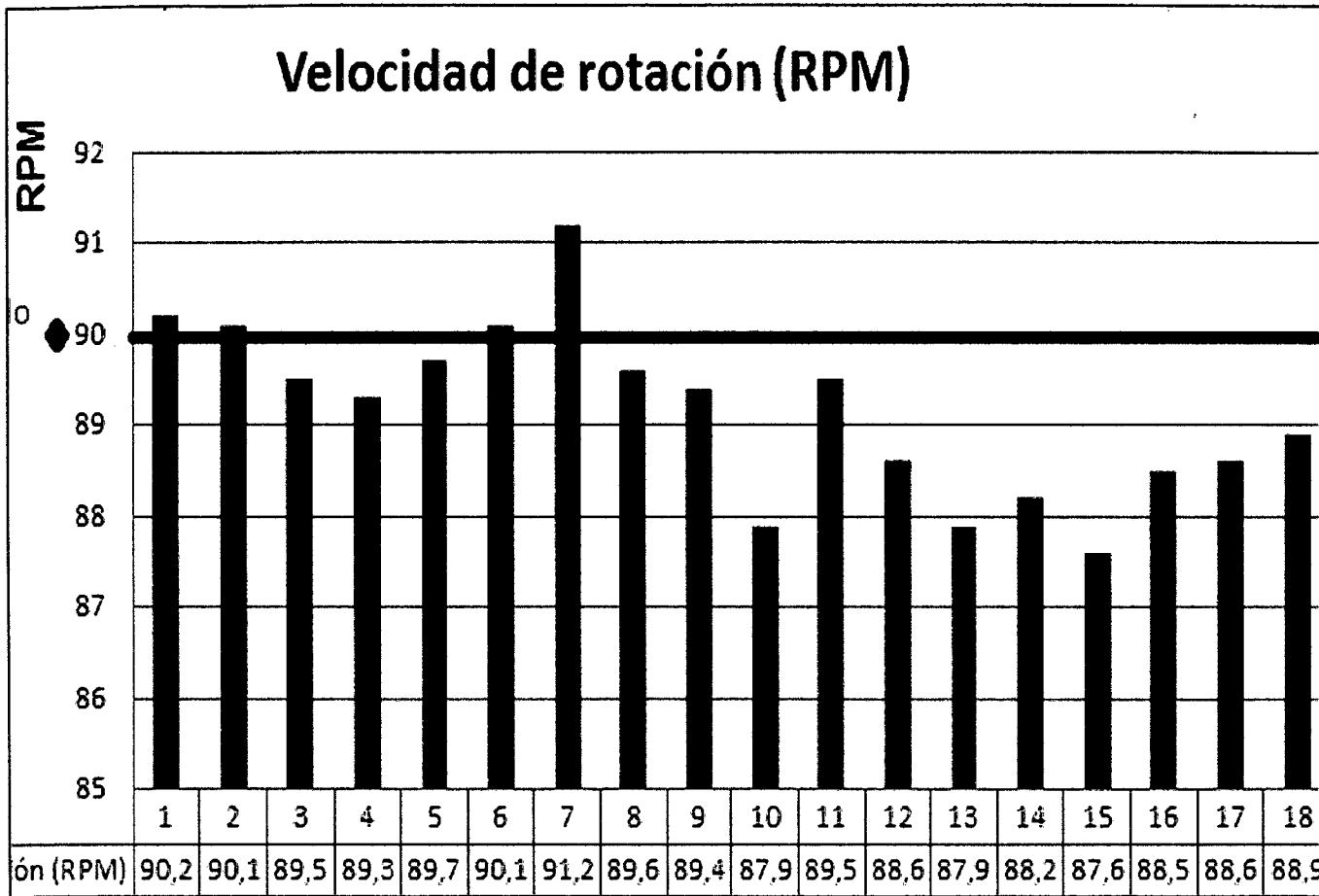


$$Qa = Abx Va = \frac{D^2 - d^2}{1.27} x Va$$

$$Qa = Abx Va = \frac{(0.31)^2 - (0.23)^2}{1.27} x 1800$$

$$Qa = 61.23 \text{ m}^3/\text{min}$$

Fuente: Propia



Tipo de roca	Velocidad de rotación(r/min)
Blanda	95-160
Media	50-100
Dura	40-90

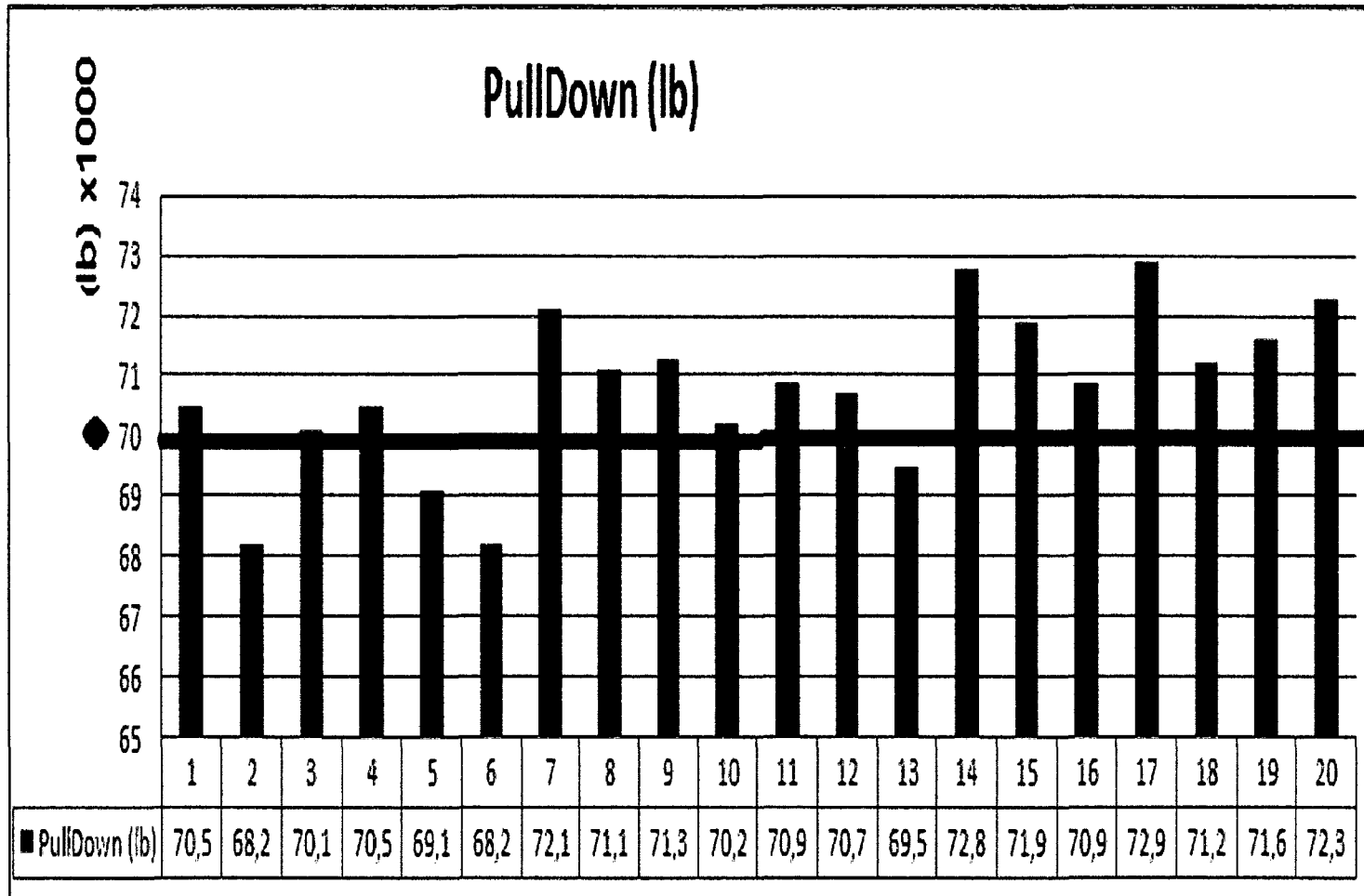
Fuente: Propia

Empuje vertical pulldown  
(lb)

$$Em = 28,5 \times RC \times D$$

$$Em = 28,5 \times 199 \times 12.25$$

$$Em = 69475 \text{ lb}$$



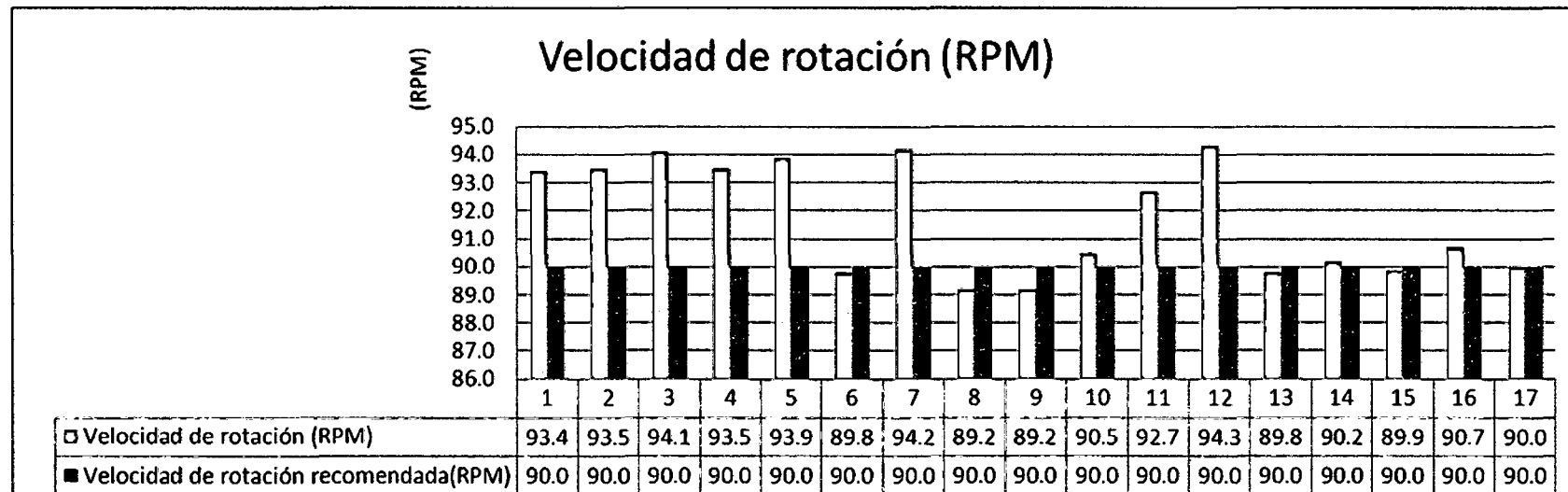
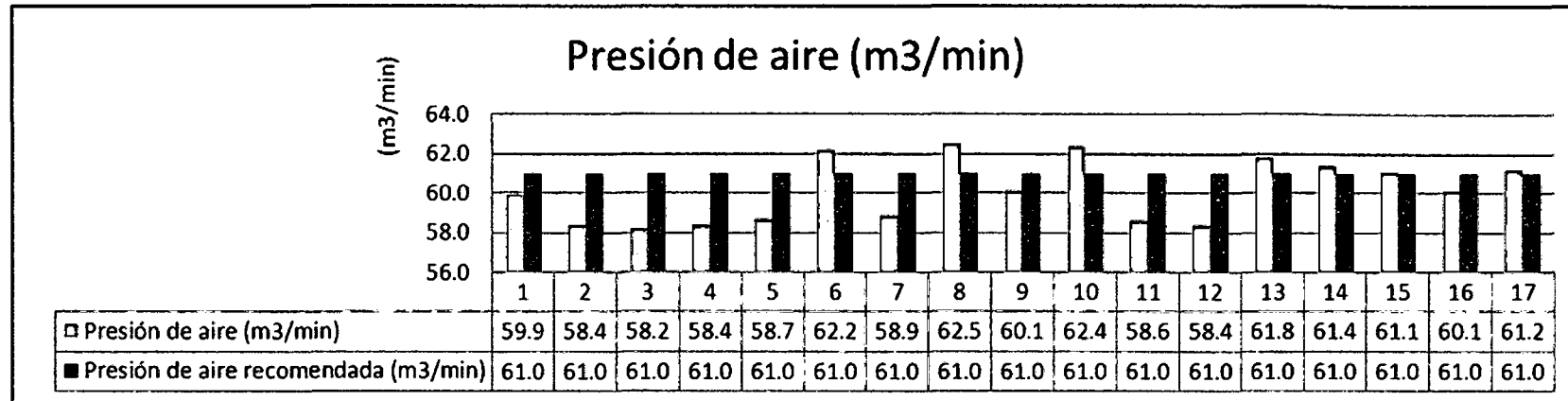
Fuente: Propia

3.2.1. Tabla de resumen de la vida útil de las brocas triconicas y los parámetros de perforación en roca dura (sk)

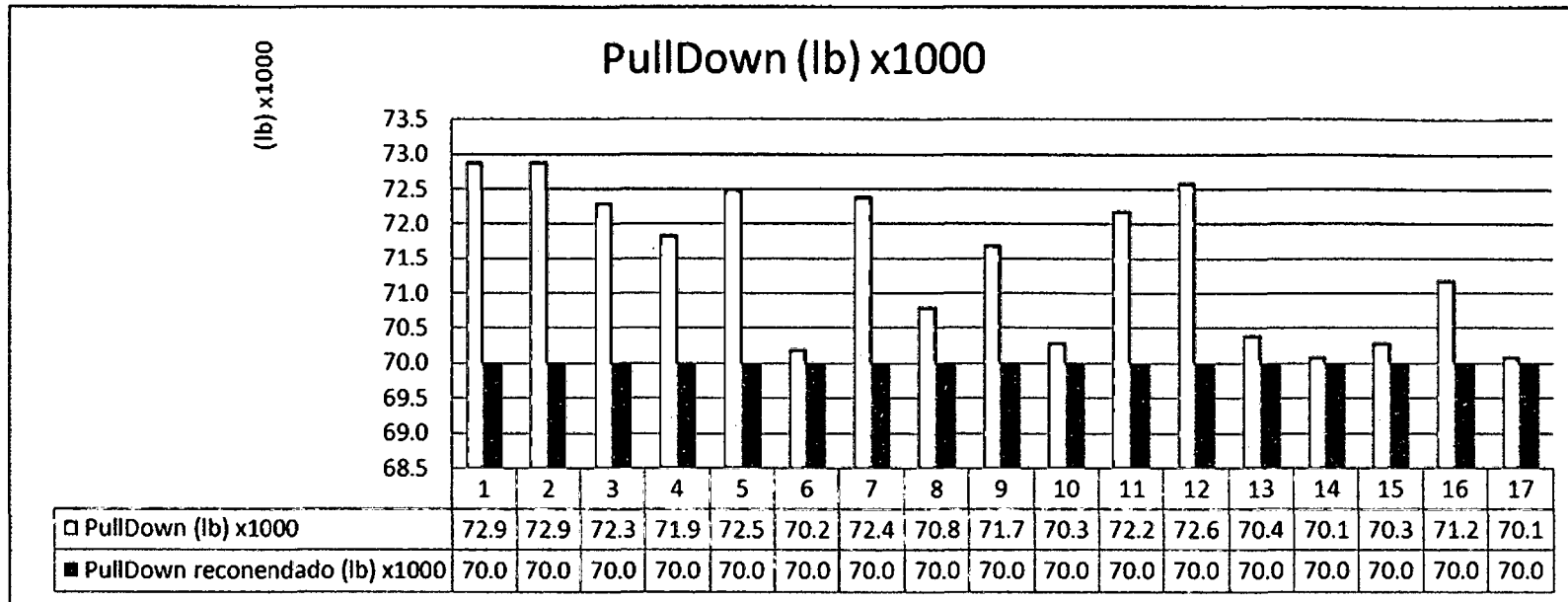
Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Roca	Dureza	Metros perforados (Mtr)	Tiempo de perforación (Hr)	Presión de aire (m3/min)	Presión de aire recomendada (m3/min)	Velocidad de rotación (RPM)	Velocidad de rotación recomendada (RPM)	PullDown (lb) x1000	PullDown reconodado (lb) x1000	velocidad de perforación Mtr/Hr
867840	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	SK	R5,R6	1053,9	24,0	59,9	61,0	93,4	90,0	72,9	70,0	43,9
867757	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	SK	R5,R6	1091,4	25,3	58,4	61,0	93,5	90,0	72,9	70,0	43,1
875914	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	SK	R5,R6	895,0	15,3	58,2	61,0	94,1	90,0	72,3	70,0	58,7
867760	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	SK	R5,R6	673,7	14,4	58,4	61,0	93,5	90,0	71,9	70,0	46,8
953010	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	SK	R5,R6	1123,4	24,8	58,7	61,0	93,9	90,0	72,5	70,0	45,3
875912	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	SK	R5,R6	1589,4	32,2	62,2	61,0	89,8	90,0	70,2	70,0	49,4
867759	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	SK	R5,R6	1189,3	26,6	58,9	61,0	94,2	90,0	72,4	70,0	44,7
217250	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1192,1	26,2	62,5	61,0	89,2	90,0	70,8	70,0	45,6
725007	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1242,8	28,2	60,1	61,0	89,2	90,0	71,7	70,0	44,1
953009	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1173,1	21,6	62,4	61,0	90,5	90,0	70,3	70,0	54,3
325004	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1356,4	26,3	58,6	61,0	92,7	90,0	72,2	70,0	51,6
823009	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1362,4	27,6	58,4	61,0	94,3	90,0	72,6	70,0	49,4
823005	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1428,3	29,7	61,8	61,0	89,8	90,0	70,4	70,0	48,1
823006	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1334,2	25,3	61,4	61,0	90,2	90,0	70,1	70,0	52,7
823007	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1348,9	26,1	61,1	61,0	89,9	90,0	70,3	70,0	51,7
865012	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R6	1345,2	28,7	60,1	61,0	90,7	90,0	71,2	70,0	46,9
325001	S-30	12 ¼	Sandvik	SK	R5,R7	1595,7	31,6	61,2	61,0	90,0	90,0	70,1	70,0	50,5

Fuente: Propia

### 3.2.2. Comparación de los parámetros de perforación teórica y de campo.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

El parámetro de perforación. Presión de aire (m<sup>3</sup>/min) utilizadas en rocas duro ( Skarn) se encuentra por debajo de lo requerido lo cual genera un deficiente barrido. Por su parte el parámetro Velocidad de rotación(r/min) también se encuentra por debajo de lo requerido generando atoros en la columna de perforación. El empuje vertical Pulldown (lb). Ejercida sobre la broca se encuentra por muy encima de lo requerido es en la gran mayoría de los casos la cual genera daños a la los insertos de la broca.

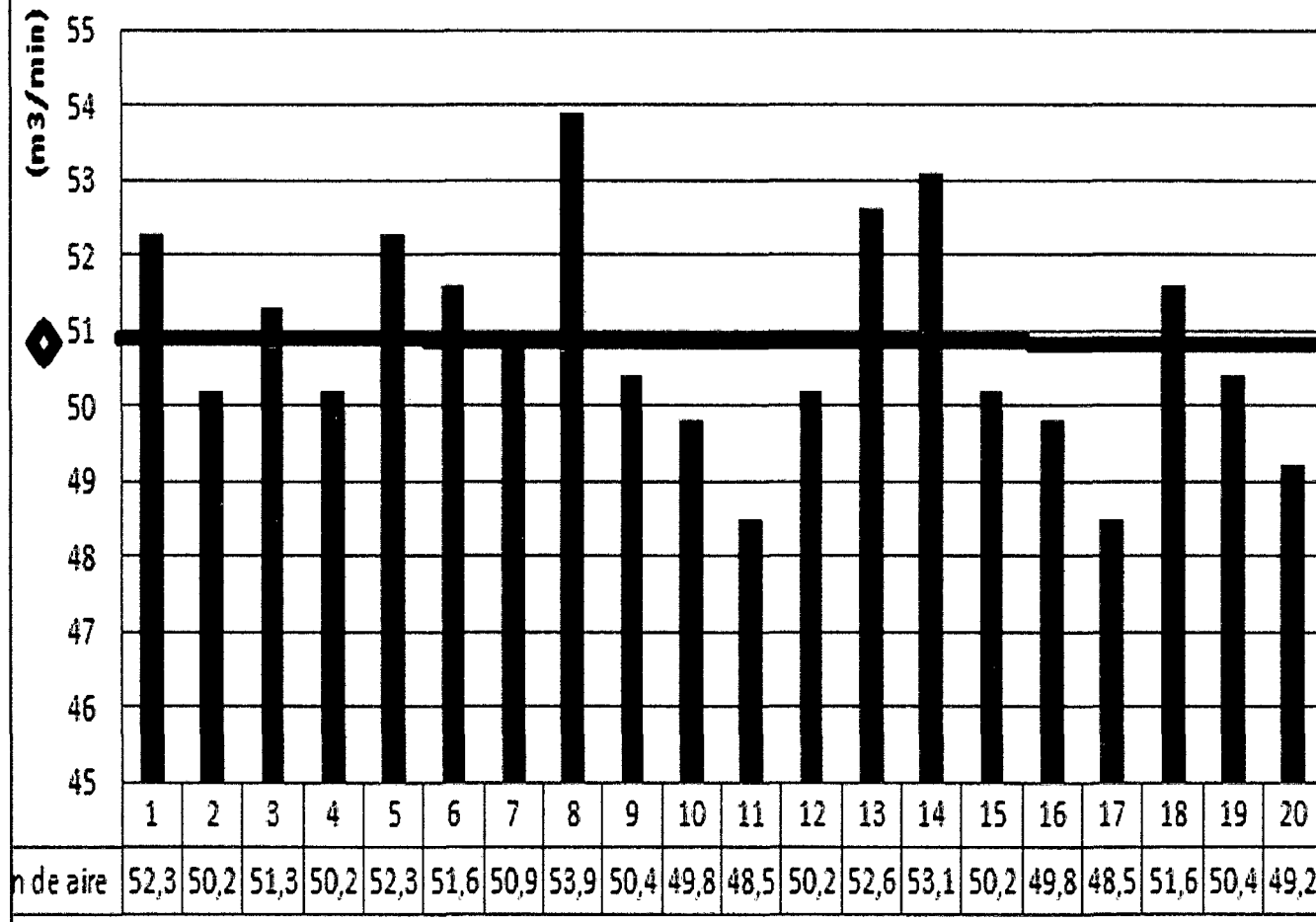


### 3.3. En formación de macizo rocoso Medio (EndSkarn -caliza)

Fecha	Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Roca	Dureza	Metros perforados	Tiempo de perforación	Presión de aire	Velocidad de rotación (RPM)	PullDown	velocidad de perforación Mtr/Hr
13/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	60,5	1,20	52,3	99,8	54,3	50,3
14/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	60,7	1,13	50,2	102,1	52,2	53,6
15/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	106,3	1,91	51,3	100,3	50,2	55,6
16/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	77,9	1,46	50,2	98,5	51,3	53,4
17/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	95,3	1,75	52,3	99,8	53,4	54,6
18/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	76,5	1,36	51,6	102,1	54,2	56,2
19/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	150,2	2,75	50,9	99,2	52,1	54,6
20/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	83,6	1,51	53,9	103,6	52,3	55,5
21/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	105,8	1,97	50,4	102,2	53,1	53,6
22/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	79,4	1,41	49,8	103,3	52,4	56,4
23/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	95,6	1,79	48,5	104,2	50,6	53,4
25/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	70,9	1,31	50,2	104,1	50,4	54,2
26/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	100,2	1,78	52,6	103,2	53,4	56,4
27/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	79,5	1,39	53,1	98,8	54,3	57,3
28/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	82,5	1,46	50,2	98,6	52,1	56,7
29/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	134,6	2,47	49,8	99,6	54,1	54,6
30/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	76,5	1,32	48,5	100,2	52,3	57,8
31/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	95,3	1,65	51,6	101,2	51,4	57,9
01/02/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	79,5	1,33	50,4	103,4	53,2	59,6
02/02/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	35,6	0,96	49,2	104,6	52,1	37,1
Total							1746,4	31,90				
Promedio									50.9	101.4	52.5	54,4

Fuente: Propia

## Presión de aire (m3/min)

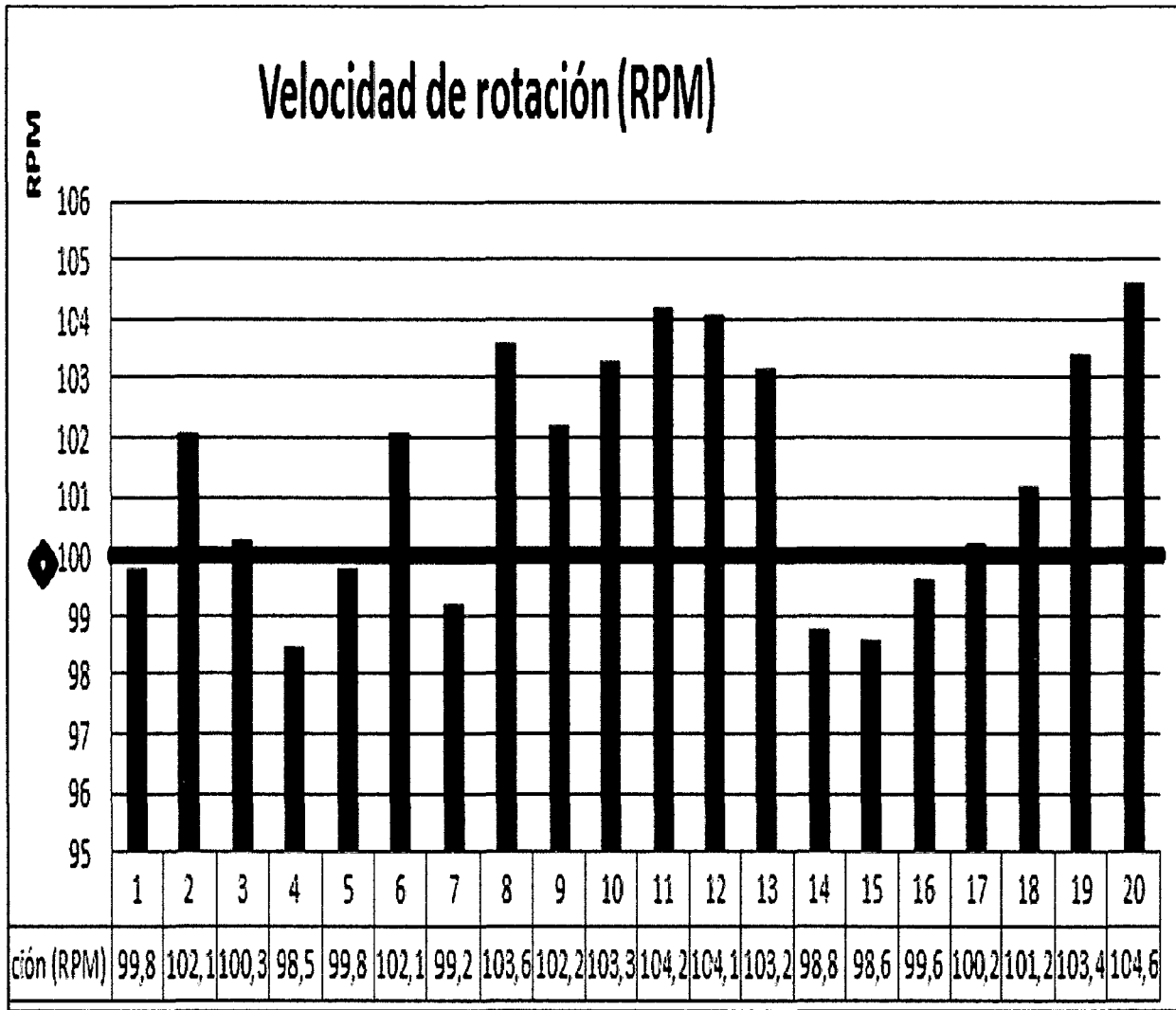


$$Qa = Abx Va = \frac{D^2 - d^2}{1.27} x Va$$

$$Qa = Abx Va = \frac{(0.31)^2 - (0.23)^2}{1.27} x 1500$$

$$Qa = 51.02 \text{ m3/min}$$

Fuente: Propia

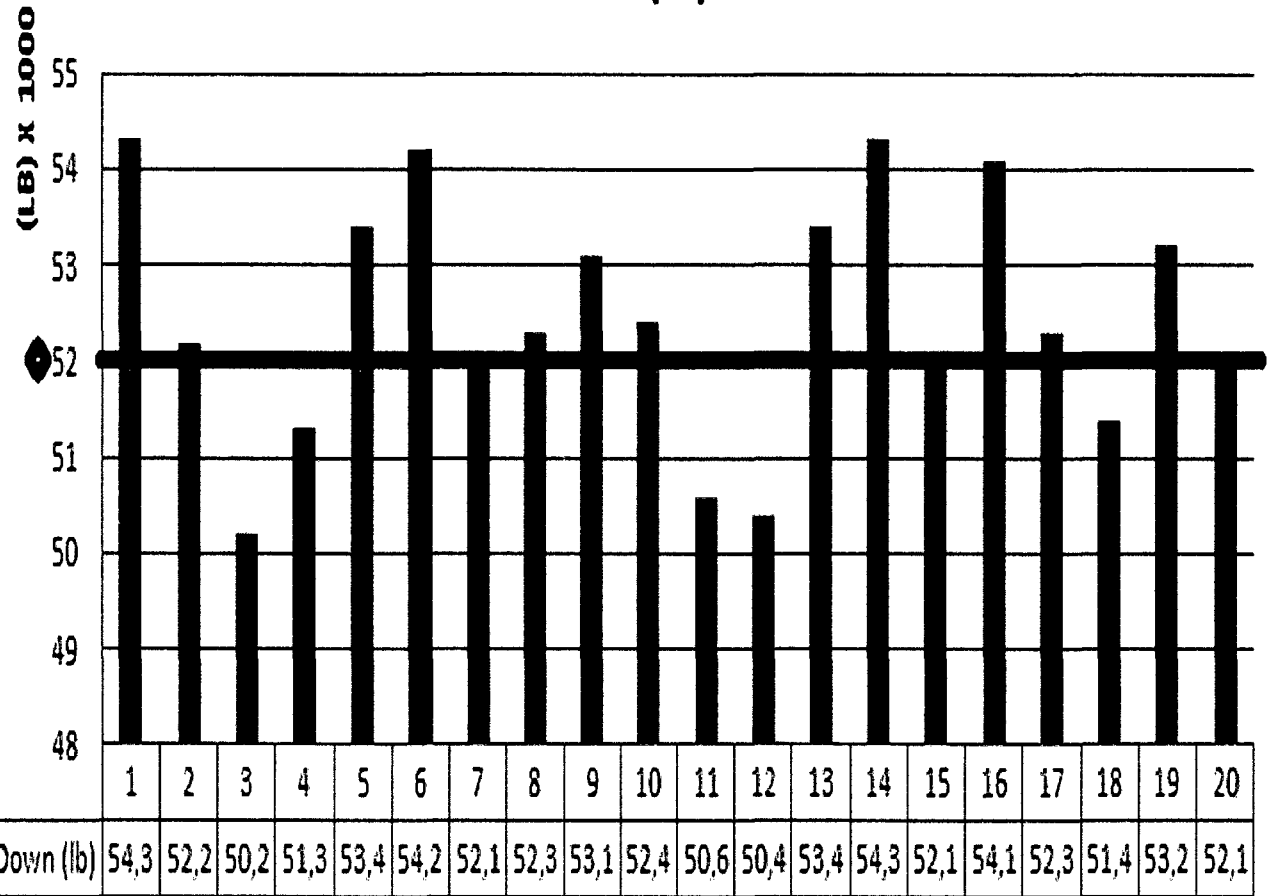


Fuente: Propia

Del cuadro

Tipo de roca	Velocidad de rotación(r/min)
Blanda	95-160
Media	50-100
Dura	40-90

# PullDown (lb)



Empuje vertical pulldown (lb)

Em= 28, 5 x RC x D

Em= 28, 5 x 150 x 12.25

Em= 52368 lb

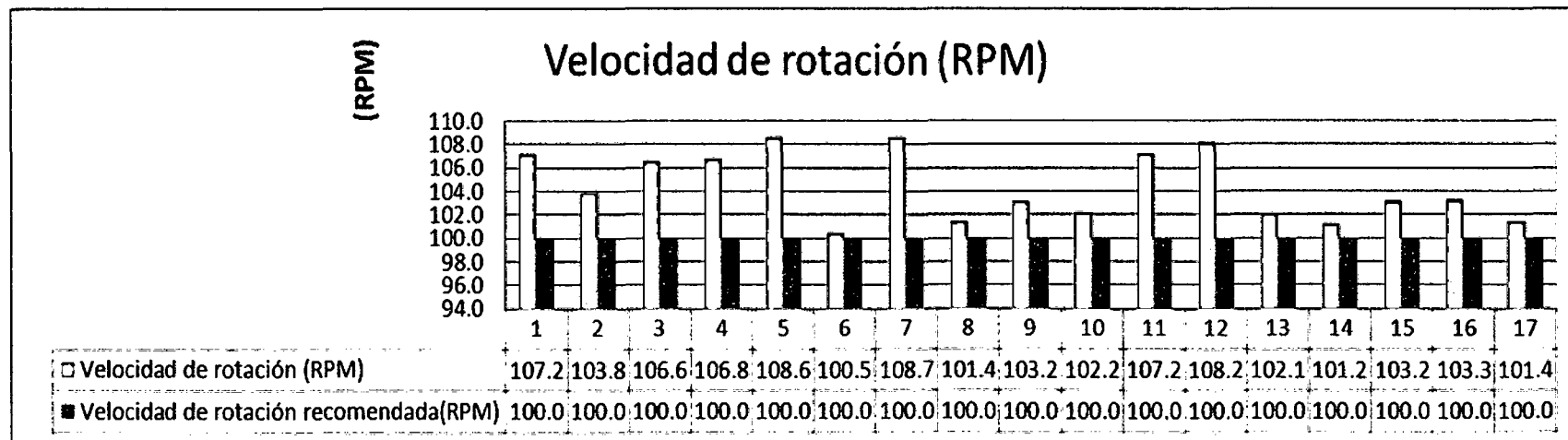
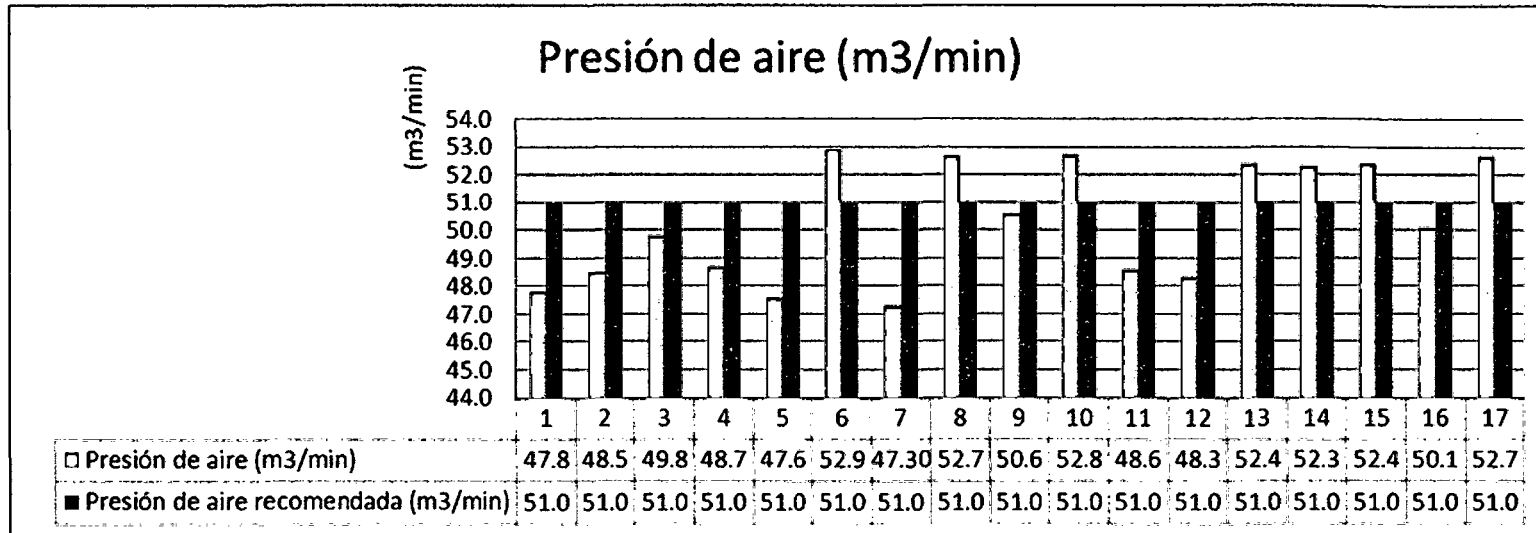
Fuente: Propia

3.3.1. Tabla de resumen de la vida útil de las brocas triconicas y los parámetros de perforación en roca Medio (EndSkarn - caliza)

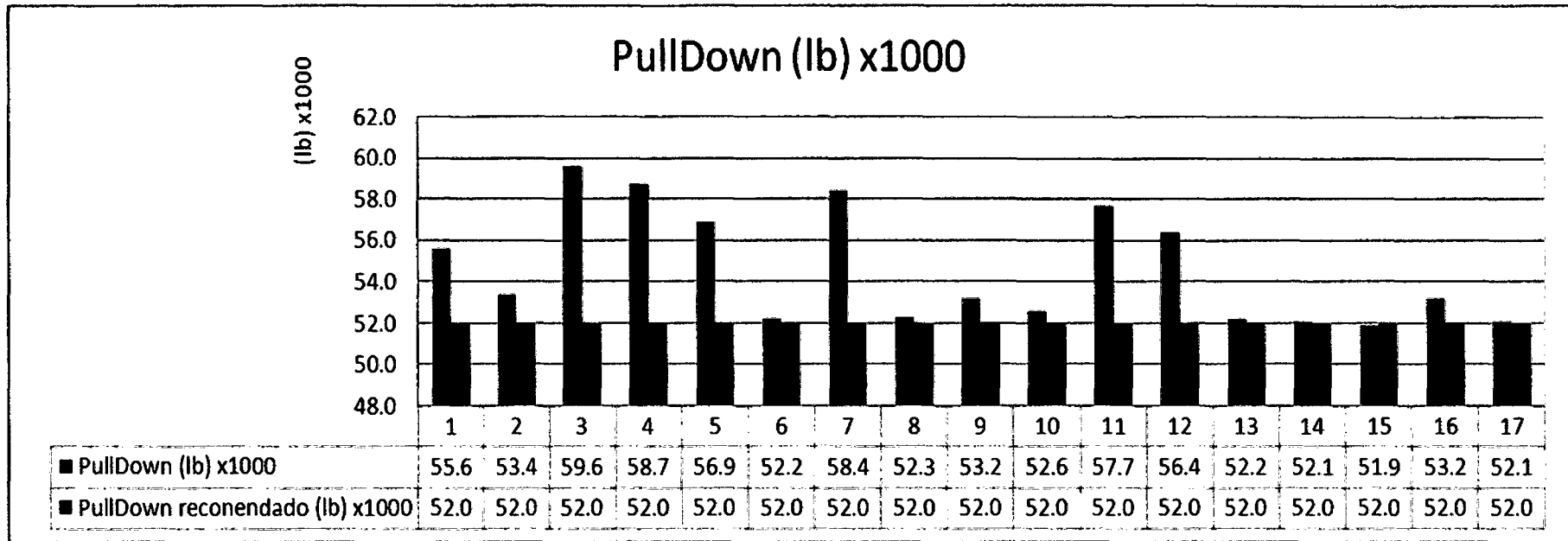
Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Roca	Dureza	Metros perforados (Mtr)	Tiempo de perforación (Hr)	Presión de aire (m3/min)	Presión de aire recomendada (m3/min)	Velocidad de rotación (RPM)	Velocidad de rotación recomendada (RPM)	PullDown (lb) x1000	PullDown reconendado (lb) x1000	velosidad de perforcior Mtr/Hr
867840	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	Cz,Edsk.	R4	1668,1	33,0	47,8	51,0	107,2	100,0	55,6	52,0	50,5
867757	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	Cz,Edsk.	R4	1599,0	29,8	48,5	51,0	103,8	100,0	53,4	52,0	53,6
875914	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	Cz,Edsk.	R4	1443,4	19,2	49,8	51,0	106,6	100,0	59,6	52,0	75,1
867760	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	Cz,Edsk.	R4	991,8	18,2	48,7	51,0	106,8	100,0	58,7	52,0	54,4
953010	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	Cz,Edsk.	R4	1275,6	21,3	47,6	51,0	108,6	100,0	56,9	52,0	59,9
875912	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	Cz,Edsk.	R4	1876,3	34,2	52,9	51,0	100,5	100,0	52,2	52,0	54,9
867759	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	Cz,Edsk.	R4	1262,3	26,2	47,30	51,0	108,7	100,0	58,4	52,0	48,2
217250	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	1746,4	31,9	52,7	51,0	101,4	100,0	52,3	52,0	54,7
725007	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	1575,0	29,6	50,6	51,0	103,2	100,0	53,2	52,0	53,2
953009	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	2122,7	33,3	52,8	51,0	102,2	100,0	52,6	52,0	63,8
325004	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	1204,3	24,3	48,6	51,0	107,2	100,0	57,7	52,0	49,6
823009	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	1374,9	26,1	48,3	51,0	108,2	100,0	56,4	52,0	52,7
823005	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	2463,7	38,4	52,4	51,0	102,1	100,0	52,2	52,0	64,2
823006	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	2345,7	38,6	52,3	51,0	101,2	100,0	52,1	52,0	60,8
823007	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	2338,6	41,2	52,4	51,0	103,2	100,0	51,9	52,0	56,8
865012	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	1763,2	34,2	50,1	51,0	103,3	100,0	53,2	52,0	51,6
325001	S-30	12 ¼	Sandvik	Cz,Edsk.	R4	1634,5	31,1	52,7	51,0	101,4	100,0	52,1	52,0	52,6

Fuente: Propia

### 3.2.2. Comparación de los parámetros de perforaciones teóricas y de campo.



Fuente: Propia



Fuente: Propia

El parámetro de perforación. Presión de aire (m<sup>3</sup>/min) utilizadas en rocas media duras ( EndSkarn-Caliza) se encuentra por debajo de lo requerido lo cual genera un deficiente barrido. Por su parte el parámetro Velocidad de rotación(r/min) se encuentra por encima de lo requerido generando atoros en la columna de perforación. El empuje vertical Pulldown (lb). Ejercida sobre la broca se encuentra por muy encima de lo requerido es en la gran mayoría de los casos la cual genera daños a los insertos de la broca.

### 3.4. En formación de macizo rocoso Blanda monzonita ( MZ )

Fecha	Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Roca	Dureza	Metros perforados (Mtr)	Tiempo de perforación (Hr)	Presión de aire (m3/min)	Velocidad de rotación (RPM)	PullDown (lb)	velocidad de perforacion Mtr/Hr
13/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	40,2	0,67	45,6	120,3	38,5	60,3
14/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	35,6	0,60	44,2	121,4	35,2	59,8
15/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	45,7	0,75	43,2	123,5	34,6	61,2
16/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	35,6	0,55	41,2	124,1	35,1	64,3
17/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	41,6	0,67	44,6	129,1	38,5	62,5
18/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	26,5	0,44	42,5	126,4	34,5	60,4
19/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	35,2	0,57	41,2	124,6	36,5	61,3
20/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	45,6	0,73	43,5	128,6	37,2	62,4
21/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	50,2	0,83	42,4	127,3	34,5	60,5
22/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	34,5	0,55	41,2	124,6	36,9	62,3
23/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	28,3	0,47	40,2	129,4	37,8	60,3
25/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	40,3	0,63	43,2	124,6	35,2	63,5
26/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	35,6	0,59	44,6	125,5	34,5	60,6
27/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	50,3	0,81	42,1	125,8	36,5	62,3
28/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	26,5	0,42	42,3	126,4	34,5	62,6
29/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	33,3	0,52	43,2	127,4	36,5	64,3
30/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	35,6	0,56	40,2	123,5	37,5	63,3
31/01/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	26,1	0,42	40,5	125,7	34,6	62,2
01/02/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	38,5	0,63	41,5	123,6	35,1	61,3
02/02/2012	217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	35,6	0,57	42,3	124,6	35,2	62,5
Toltal							740,8	11,97				
Promedio									42.49	125,32	35.95	61,9

Fuente: Propia

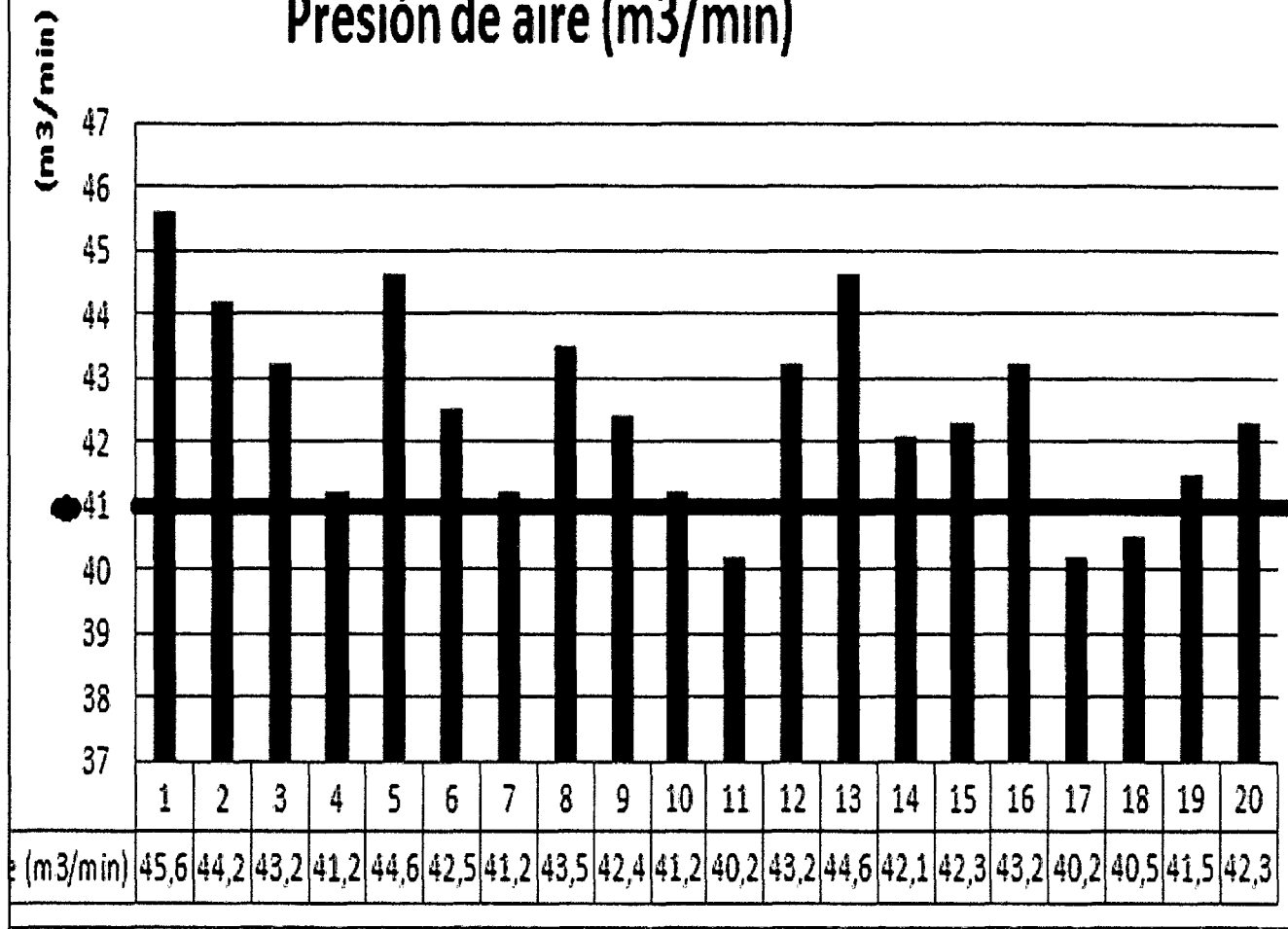


## Presión de aire (m3/min)

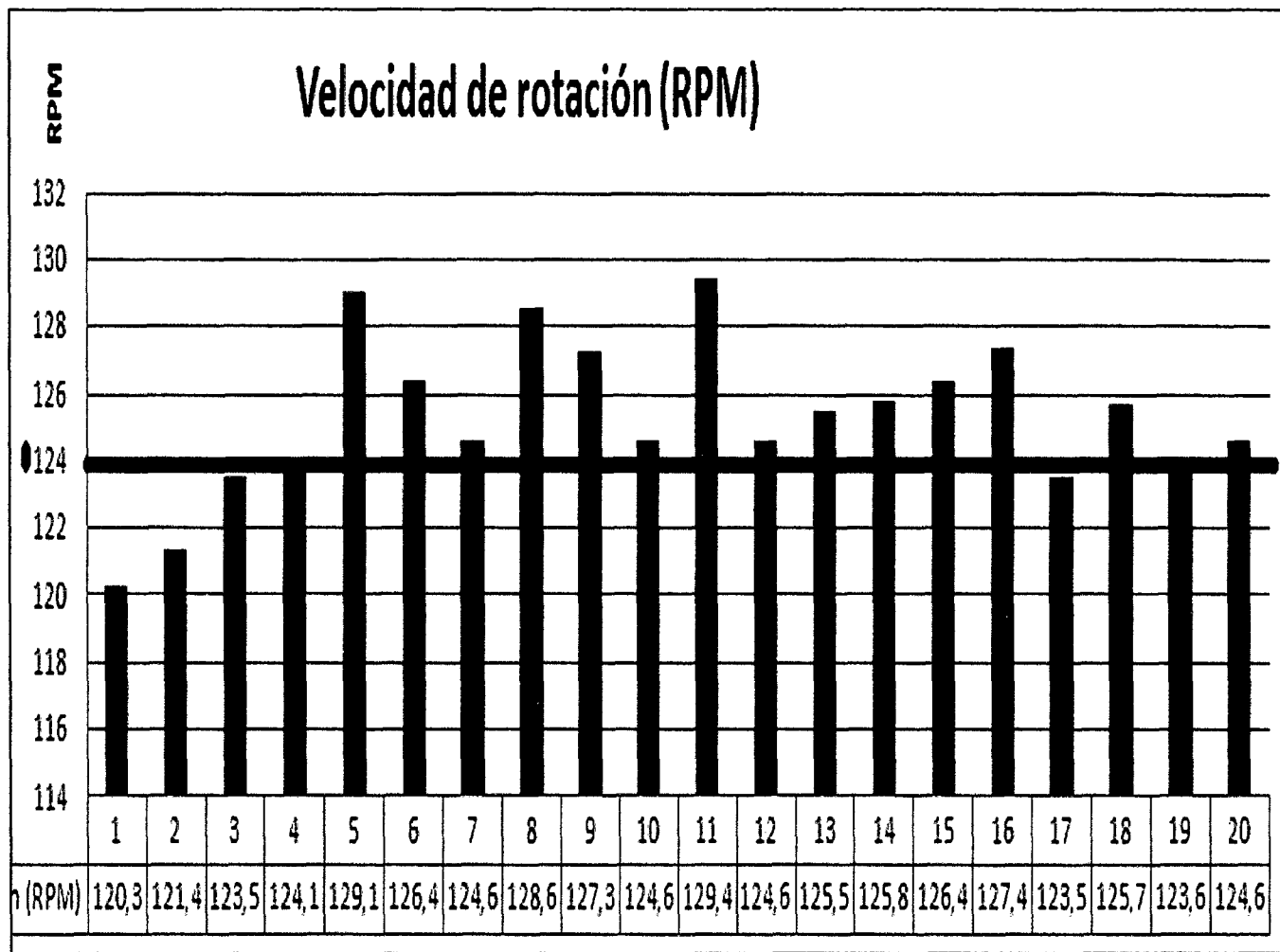
$$Qa = Abx Va = \frac{D^2 - d^2}{1.27} x Va$$

$$Qa = Abx Va = \frac{(0.31)^2 - (0.23)^2}{1.27} x 1200$$

$$Qa = 40.8 \text{ m3/min}$$

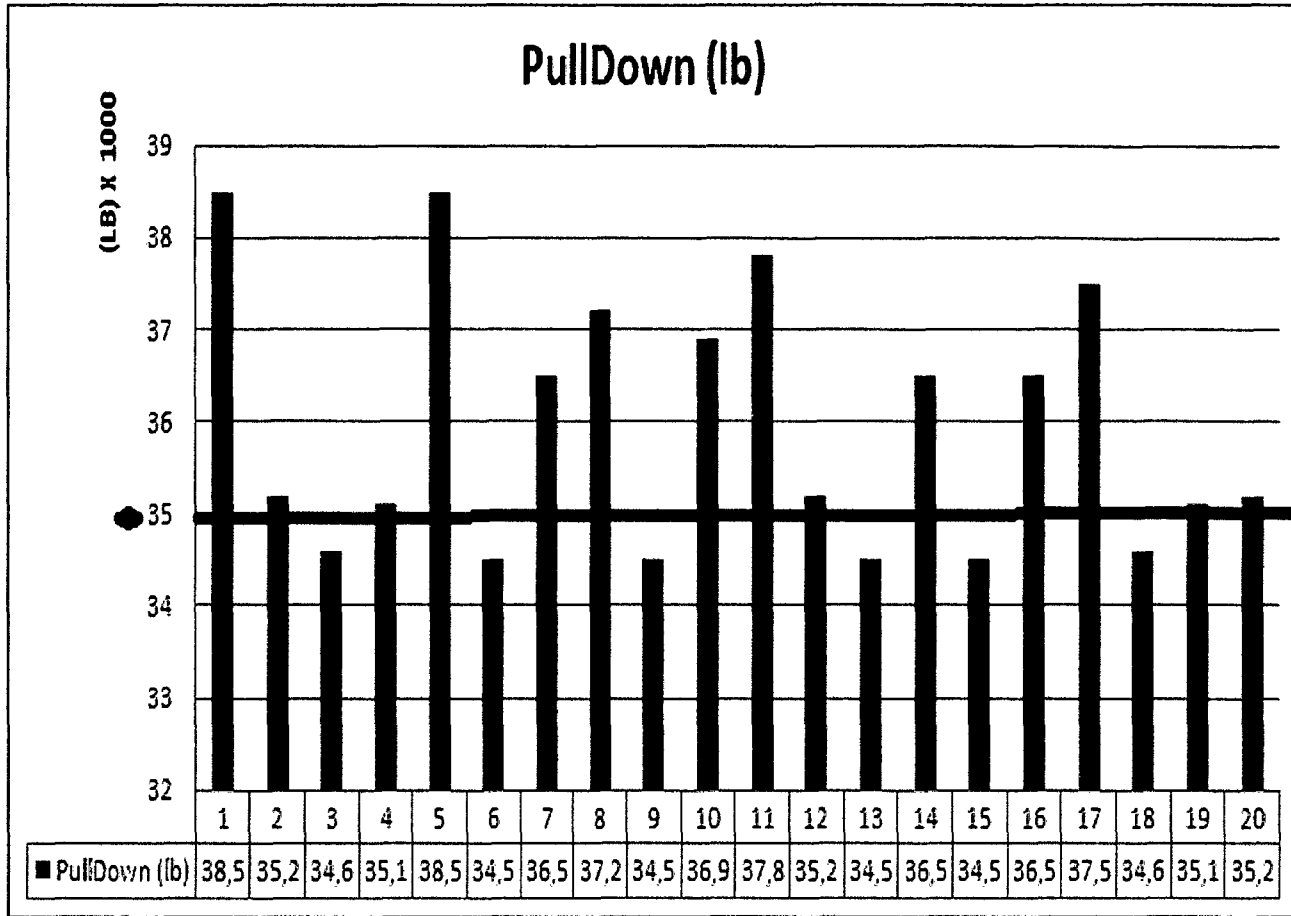


Fuente: Propia



Del cuadro

Tipo de roca	Velocidad de rotación(r/min)
Blanda	95-160
Media	50-100
Dura	40-90



Empuje vertical pulldown (lb)

$$Em = 28,5 \times RC \times D$$

$$Em = 28,5 \times 100 \times 12.25$$

$$Em = 34912 \text{ lb}$$

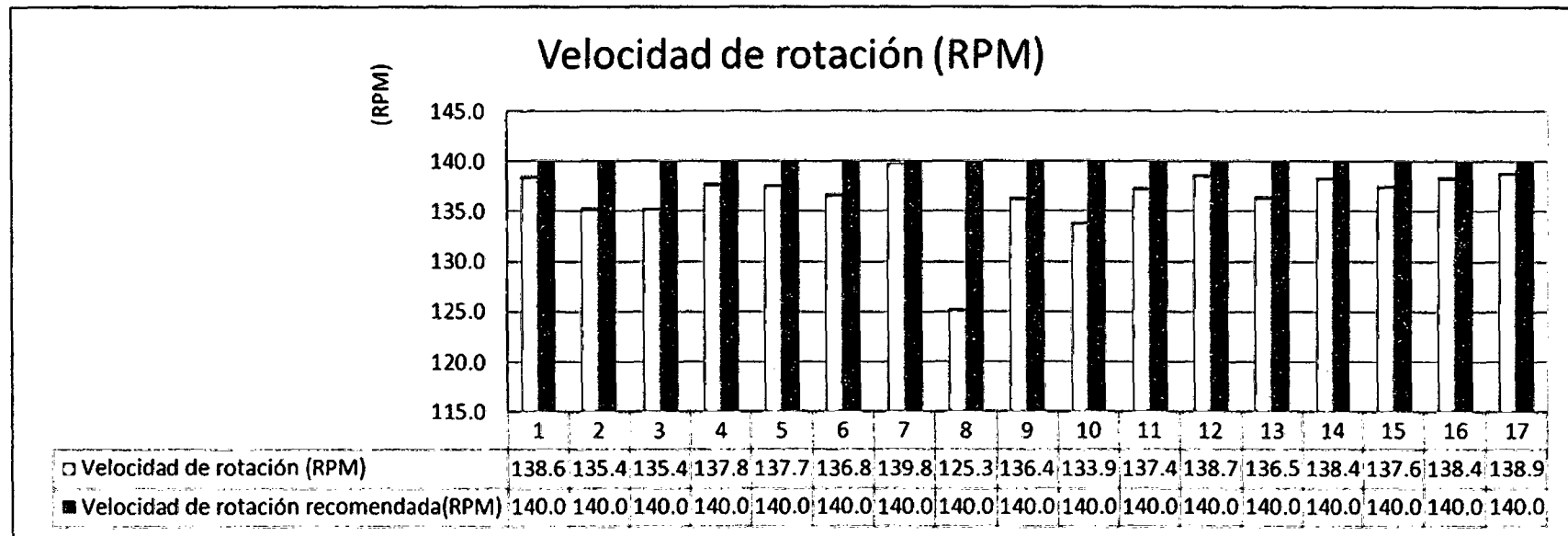
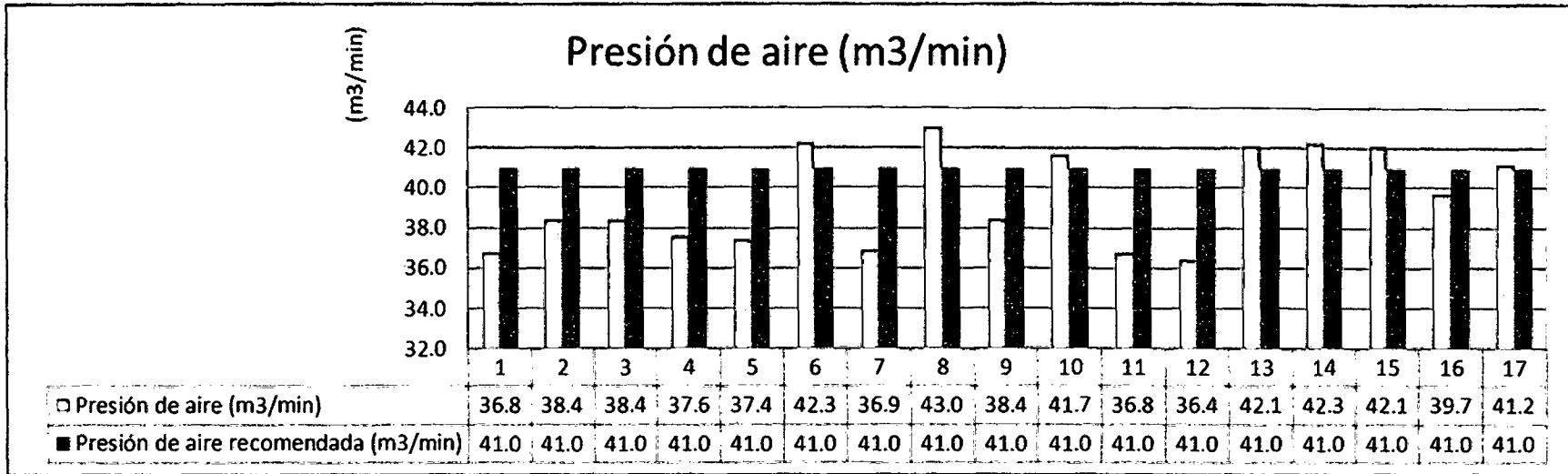
Fuente: Propia

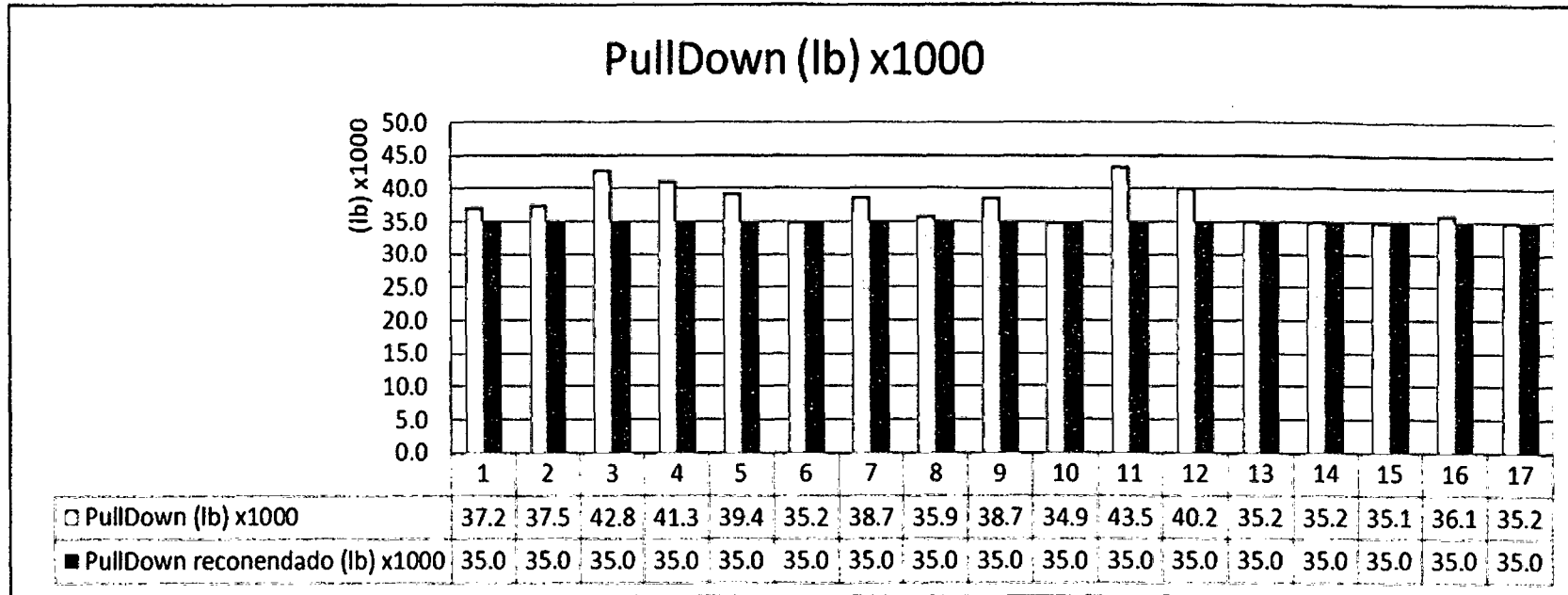
3.4.1. Tabla de resumen de la vida útil de las brocas triconicas y los parámetros de perforación en roca Blanda monzonita (MZ)

Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Roca	Dureza	Metros perforados (Mtr)	Tiempo de perforación (Hr)	Presión de aire (m3/min)	Presión de aire recomendada (m3/min)	Velocidad de rotación (RPM)	Velocidad de rotación recomendada (RPM)	PullDown (lb) x1000	PullDown reconendado (lb) x1000	velocidad de perforcion Mtr/Hr
367840	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	MZ	R2,R3	582,7	9,1	36,8	41,0	138,6	140,0	37,2	35,0	64,3
367757	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	MZ	R2,R3	723,2	11,6	38,4	41,0	135,4	140,0	37,5	35,0	62,2
375914	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	MZ	R2,R3	413,9	6,8	38,4	41,0	135,4	140,0	42,8	35,0	60,6
367760	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	MZ	R2,R3	419,0	6,8	37,6	41,0	137,8	140,0	41,3	35,0	61,4
353010	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	MZ	R2,R3	388,6	5,5	37,4	41,0	137,7	140,0	39,4	35,0	70,7
375912	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	MZ	R2,R3	397,5	5,9	42,3	41,0	136,8	140,0	35,2	35,0	67,4
367759	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	MZ	R2,R3	342,2	5,2	36,9	41,0	139,8	140,0	38,7	35,0	65,8
217250	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	435,6	6,2	43,0	41,0	125,3	140,0	35,9	35,0	70,3
725007	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	771,4	12,3	38,4	41,0	136,4	140,0	38,7	35,0	62,5
353009	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	646,3	9,1	41,7	41,0	133,9	140,0	34,9	35,0	70,7
325004	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	398,7	5,9	36,8	41,0	137,4	140,0	43,5	35,0	67,6
323009	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	455,8	6,7	36,4	41,0	138,7	140,0	40,2	35,0	68,0
323005	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	568,9	8,2	42,1	41,0	136,5	140,0	35,2	35,0	69,4
323006	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	486,4	8,6	42,3	41,0	138,4	140,0	35,2	35,0	56,6
323007	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	514,2	8,3	42,1	41,0	137,6	140,0	35,1	35,0	62,0
365012	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	452,1	6,6	39,7	41,0	138,4	140,0	36,1	35,0	68,5
325001	S-30	12 ¼	Sandvik	MZ	R2,R3	421,3	6,4	41,2	41,0	138,9	140,0	35,2	35,0	65,8

Fuente: Propia

### 3.4.2. Comparación de los parámetros de perforaciones teóricas y de campo.





Fuente: Propia

El parámetro de perforación. Presión de aire (m<sup>3</sup>/min) utilizadas en rocas blandas (MZ) se encuentra por debajo de lo requerido lo cual genera un deficiente barrido. Por su parte el parámetro Velocidad de rotación(r/min) también se encuentra por debajo de lo requerido generando atoros en la columna de perforación. El empuje vertical Pulldown (lb). Ejercida sobre la broca se encuentra por muy encima de lo requerido es en la gran mayoría de los casos la cual genera daños a la los insertos de la broca.

3.5. Tabla de resumen de la vida útil de la broca y sus causas.

Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Metros perforados (Mtr)	Tiempo de perforación (Hr)	Fecha inicio	Fecha final	Observaciones	causa
867840	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	3304,7	66,1	23/01/2012	03/02/2012	Fuera de uso	1,2,3
867757	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	3413,6	66,7	25/01/2012	07/02/2012	Fuera de uso	2,3
875914	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	2752,3	41,3	13/02/2012	18/02/2012	Fuera de uso	1,2,3
867760	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	2084,5	39,5	18/02/2012	26/02/2012	Fuera de uso	2,3
953010	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	2787,6	51,6	12/02/2012	22/03/2012	Fuera de uso	1,2
875912	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	3863,2	72,3	02/03/2012	14/04/2012	Fuera de uso	1
867759	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	2793,8	58,0	15/03/2012	18/04/2012	Fuera de uso	1,2,3
217250	S-30	12 ¼	Sandvik	3679,3	70,0	13/01/2012	01/02/2012	Fuera de uso	2,3
725007	S-30	12 ¼	Sandvik	3589,2	70,1	19/01/2012	12/02/2012	Fuera de uso	1,3
953009	S-30	12 ¼	Sandvik	3942,1	64,0	01/02/2012	13/02/2012	Fuera de uso	4
325004	S-30	12 ¼	Sandvik	2959,4	56,5	01/02/2012	02/03/2012	Fuera de uso	1,2,3
823009	S-30	12 ¼	Sandvik	3193,1	60,4	03/02/2012	15/03/2012	Fuera de uso	1,2
823005	S-30	12 ¼	Sandvik	4460,9	76,3	07/02/2012	17/03/2012	Fuera de uso	4
823006	S-30	12 ¼	Sandvik	4166,3	72,5	13/02/2012	30/03/2012	Fuera de uso	4
823007	S-30	12 ¼	Sandvik	4201,7	75,6	23/03/2012	10/04/2012	Fuera de uso	4
865012	S-30	12 ¼	Sandvik	3560,5	69,5	17/03/2012	26/04/2012	Fuera de uso	1,3,2
325001	S-30	12 ¼	Sandvik	3651,5	69,1	22/03/2012	30/04/2012	Fuera de uso	2,3

Fuente: Propia

causa	Descripción
1	Baja presión de aire para el barrido de los detritos.
2	excesivo PullDown en la columna de perforación
3	excesivo RPM en la perforación
4	Cumplimiento de su vida útil de la broca.

### 3.6 Costo de perforación

Cuando se comparan dos diferentes herramientas (Brocas), el costo actual de la broca no es tan importante en comparación con el costo ahorrado por la velocidad de penetración alcanzada.

En otras palabras, cuando se incrementa la vida útil de de la broca se reduce el costo total de perforación, manteniendo los parámetros de perforación.

$$C = \frac{B + (D * T)}{F}$$

Donde:

B: Costo de broca (\$)

D: Costo de perforación (\$/h)

T: Tiempo de perforación (h)

F: Longitud de perforación (vida útil (m))

Realizando el cálculo de costo de perforación para las brocas tónicas en la mina a tajo abierto de tintaya en las marcas Atlas Copco y Sandvik.

Broca.

Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Costo Broca puesto en mina (\$)	costo perforacion (\$/h)	Metros perforados (vida util (m))	Tiempo de perforacion (H)	costo de perforacion \$/m
867840	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	3304.7	66.1	12.2

$$C = \frac{6500 + (510 * 66.1)}{3304.7}$$

$$C = 12.2 \text{ $/m}$$



3.7 : Tabla Resumen de los costos de perforación de toda las brocas en estudio en la mina Tintaya.

Serie	Tipo	Diámetro	Marca	Costo Broca puesto en mina( \$)	costo perforacion (\$/h)	Metros perforados(vida util (m))	Tiempo de perforacion (H)	costo de perforacion \$/m
867840	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	3304.7	66.1	12.2
867757	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	3413.6	66.7	11.9
875914	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	2752.3	41.3	10.0
867760	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	2084.5	39.5	12.8
953010	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	2787.6	51.6	11.8
875912	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	3863.2	72.3	11.2
867759	EH-53-CA	12 ¼	Atlascopco	6500.0	510.0	2793.8	58.0	12.9
217250	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	3679.3	70.0	11.5
725007	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	3589.2	70.1	11.8
953009	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	3942.1	64.0	9.9
325004	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	2959.4	56.5	11.9
823009	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	3193.1	60.4	11.7
823005	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	4460.9	76.3	10.2
823006	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	4166.3	72.5	10.4
823007	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	4201.7	75.6	10.7
865012	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	3560.5	69.5	11.8
325001	S-30	12 ¼	Sandvik	6500.0	510.0	3651.5	69.1	11.4

Fuente: Propia

Los costos de perforación son más altos cuando la vida útil de las brocas es menor.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la evaluación de los parámetros de perforación, en diferentes durezas del macizo rocoso del yacimiento minero a cielo abierto de tintaya son los siguientes.

#### **4.1. En formación de macizo rocoso Duro (Skarn)**

##### **4.1.1. Presión de aire. (m<sup>3</sup>/ min)**

La presión de aire recomendada para obtener una buena velocidad de barrido es de 61m<sup>3</sup>/min. como mínimo.

En donde se pudo observar en la tabla N 3.2.1. Que la presión de aire ejercida en las operaciones se encuentra por debajo de lo recomendado que es de 58m<sup>3</sup>/min la cual genera que no se ejecute una buena limpieza de los detritos generando una remolienda lo cual disminuye la vida útil de la broca triconica notoriamente.

##### **4.1.2. Velocidad de rotación (RPM)**

La velocidad de rotación (rpm) esta inversamente proporcional relacionado con la fuerza vertical (PullDown). Cuando incrementa la velocidad de rotación disminuye la fuerza vertical (PullDown) o bisiverza . en formaciones rocosas duras la velocidad de rotación disminuye (rpm)y la fuerza vertical PullDown incrementa.

La velocidad de rotación recomendada en formaciones rocosas dura es de 90rpm.en donde se puede observar en la tabla N 3.2.1.que la

velocidad de rotación es de 93rpm. La cual resulta excesiva en formaciones rocosas duras, donde ocasiona un desgaste considerable en la broca triconica.

#### **4.1.3. Fuerza vertical (PullDown).**

La fuerza vertical recomendada en formaciones rocosas duras es de 70000lb. lo cual se puede observar en la tabla 3.2.1. La fuerza vertical PullDown aplicada en la perforación es de 72500lb que resulta excesivo, lo cual genera una presión adicional la que se requiere por consecuente la broca triconica sufre considerables danos, que influyen en la vida útil de la broca triconica

#### **4.2. En formación de macizo rocoso Medio (EndSkarn -caliza)**

##### **4.2.1. Presión de aire (m<sup>3</sup>/min)**

La presión de aire recomendada en un macizo rocoso medio, para obtener una buena velocidad de barrido es de 51 m<sup>3</sup>/min. Como mínimo. En donde se puede observar en la tabla N 3.3.1. Que la presión de aire ejercida en las operaciones se encuentra por debajo de lo recomendado que es de 48.5 m<sup>3</sup>/min la cual genera que no se ejecute una buena limpieza de los detritos generando una remolienda lo cual disminuye la vida útil de la broca triconica.

##### **4.2.2. Velocidad de rotación (RPM)**

La velocidad de rotación (rpm) esta inversamente proporcional relacionado con la fuerza vertical (PullDown). Cuando incrementa la velocidad de rotación disminuye la fuerza vertical (PullDown). En

formaciones de macizo rocoso medio (EndSkarn -caliza) la velocidad de rotación disminuye (rpm) y la fuerza vertical PullDown incrementa.

La velocidad de rotación recomendada en formaciones rocosas media es de 100rpm. en donde se puede observar en la tabla N 3.3.1. que la velocidad de rotación es de 103.6rpm. La cual resulta excesiva en formaciones rocosas media, donde ocasiona un desgaste considerable en la broca triconica.

#### **4.2.3. Fuerza vertical (PullDown).**

La fuerza vertical recomendada en formaciones rocosas media duras es de 52000lb. lo cual se puede observar en la tabla 3.3.1. La fuerza vertical PullDown aplicada en la perforación es de 56300lb que resulta excesivo, lo cual genera una presión adicional. la que se requiere por consecuente la broca triconica sufre considerables danos, que influyen en la vida útil de la broca triconica

#### **4.3. En formación de macizo rocoso Blanda monzonita (MZ)**

##### **4.3.1. Presión de aire (m<sup>3</sup>/min).**

La presión de aire recomendada para obtener una buena velocidad de barrido es de 41 m<sup>3</sup>/min. Como mínimo.

En donde se puede observar en la tabla N 3.4.1. Que la presión de aire ejercida en las operaciones se encuentra por debajo de lo recomendado que es de 37.6 m<sup>3</sup>/min la cual genera que no se ejecute una buena limpieza de los detritos generando una remolienda lo cual disminuye la vida útil de la broca triconica notoriamente.

#### **4.3.2. Velocidad de rotación (RPM)**

La velocidad de rotación (rpm) esta inversamente proporcional relacionado con la fuerza vertical (PullDown). Cuando incrementa la velocidad de rotación disminuye la fuerza vertical (PullDown) o bisiverza . en formaciones rocosas blandas (MZ) la velocidad de rotación incrementa (rpm) y la fuerza vertical PullDown disminuye.

La velocidad de rotación recomendada en formaciones rocosas blandas (MZ) es de 140 rpm.en donde se puede observar en la tabla N 3.4.1. que la velocidad de rotación es de 136.7rpm. En formaciones rocosas blanda, donde ocasiona un desgaste considerable en la broca ticónica.

#### **4.3.3. Fuerza vertical (PullDown).**

La fuerza vertical recomendada en formaciones rocosas blandas es de 35000lb.lo cual se puede observar en la tabla 3.4.1. La fuerza vertical PullDown aplicada en la perforación es de 36200lb que resulta excesivo, lo cual genera una presión adicional la que se requiere por consecuente la broca triconica sufre considerables danos, que influyen en la vida útil de la broca triconica

## CONCLUSIONES

- Los parámetros de perforación. presión de aire, velocidad de rotación (RPM) y la fuerza vertical (PullDown). son los parámetros que influyen en mayor proporción en el rendimiento de la vida de la broca triconica.
- Como se pudo observar la inadecuada aplicación de los parámetros de perforación han ocasionado que el rendimiento de la broca triconica este por debajo de lo esperado. Lo que genera un mayor costo de perforación.
- Los parámetros de perforación aplicadas en el tajo de la mina Tintaya estuvieron muy inestables de lo recomendado.  
La presión de aire se encontró por muy debajo de lo recomendado por lo cual el barrido no fue eficiente generando una remolienda y atascamientos, la velocidad de rotación por su parte se encontró por muy encima de lo recomendado ocasionando un desgaste innecesario y la fuerza vertical (PullDown) estuvo muy elevado ocasionado atascamientos y perdida de insertos.
- La excesiva fuerza vertical (PullDown) y la baja presión de aire aplicadas en los tres tipos de formación rocosa fueron las principales causas del desgaste prematuro de las brocas triconicas.
- La variación de formación rocosa en el tajo, ocasiona que los parámetros de perforación se encuentren por muy debajo o por muy encima de lo recomendado y de esa manera ocasionando

daños en las brocas triconicas y disminuyendo la vida útil de la broca.

- El rendimiento de las brocas triconicas en la marca Atlas copco esta por debajo del rendimiento de las brocas en la marca Sandvik.
- La aplicación de los parámetros de perforación en cada formación rocosa resulta importante en la evaluación del rendimiento de la broca triconica.
- Por el tipo de formación geológica que se presenta en la mina Tintaya la variación rocosa ocasiona un cambio brusco de la aplicación de los parámetros de perforación lo que ocasiona daños a la broca.
- Ya que la mina Antapaccay presenta las características geológicas similares tipo skarn con la presencia de calizas y intrusivos a la de la mina Tintaya, los parámetros de perforación estudiados tendrán una gran importancia en el proceso de perforación. Donde la mina Antapaccay contara con la experiencia, parte logística y la maquinaria de Tintaya.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener un mejor control de la aplicación de los parámetros de perforación en las distintas formaciones de macizo rocoso.
- Realizar capacitaciones al personal de perforación en la adecuada aplicación de los parámetros de perforación en las distintas formaciones de macizo rocoso.
- Las características geológicas que presenta la mina de Antapaccay son similares al de la mina Tintaya. Tipo skarn con la presencia de calizas y intrusivos, donde los parámetros evaluados en este trabajo servirán para poder optimizar las perforaciones en Tintaya -Antapacay y de esa manera poder obtener un mayor rendimiento en el proceso de perforación.
- Realizar un monitoreo mas frecuente de la aplicación de los parámetros de perforación que permitan corregir oportunamente las falencias que se podrían presentar y lograr un rendimiento mas optimo en la perforación.
  - **Algunas recomendaciones en el proceso de perforación**
    - **Formación de collares, perforación en la cresta**

### **Problema: N°1**

Se está perforando en terreno roto o fracturado. La broca quiere rebotar y la barra quiere sacudirse. El avance es lento.



**Solución:**

Mantener PullDown, y reducir R.P.M.; el peso permitirá que la broca afloje la roca y al bajar la R.P.M. la broca se mantiene y no salta, por consiguiente, menos rebotes causarán menos daño a los insertos y cojinetes de la broca.

➤ **Cambios de formación:**

- **Transición de terreno suave a duro**

**Problema: N°2**

Al entrar muy rápido en un terreno duro, se puede provocar la rotura de dientes, puede que no suceda de inmediato, pero se inicia con raspaduras para posteriormente romperse.

**Solución:**

Se debe disminuir el R.P.M. de 160 rpm a 90 rpm promedio, y aumentar el pulldown 35000 lb a 70000 lb promedio, para introducir cuidadosamente al terreno duro.

- **Transición de terreno duro a suave**

**Problema: N°3**

El atoro de la broca es un problema cuando se entra en terreno suave, después de haber estado en terreno duro. Mayor PullDown, en

terreno duro puede causar una velocidad de penetración muy alto en terreno suave.

**Solución:**

Se debe aumentar el R.P.M. de 90 rpm a 160rpm promedio , y disminuir el pulldown de 70000 lb a 35000 lb promedio, para introducir cuidadosamente al terreno suave.

➤ **. Vibración de Columna de Perforación**

**Problema: N°4**

Ocasionados por mal diseño y operación de la broca, la roca, vibración armónica de la columna y/o perforadora, barra doblada.

**Solución:**

Aumentar el pulldown, cambiar de RPM, usar un shock absorber, usar una barra más pesada, cambiar de diseño de broca.

➤ **Presencia de agua subterránea en el taladro**

**Problema: N°5**

Remolienda al fondo del taladro, Disminuye notablemente la vida útil de las brocas.

**Solución:**

Mantener la velocidad de barrido alta de 61 m<sup>3</sup>/min, usar válvula de contraflujo en las brocas. Evitar dejar la broca en el taladro.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **LIBROS.**

- OROS VENGOA, Javier, (2011) "estudio de calidad ambiental región cusco". Cusco
- GOMES HIRATA, Daniel, (2003) "estudio hidrogeológico y presencia de aguas en el yacimiento de tintaya". Lima
- HERRERA NERBERT, Juan. (2006) "perforaciones en minería a cielo abierto." segunda edición. Madrid
- GIMENES ROBLES, Ash (2011) "Diseño de perforación en bancos en mina a cielo abierto." lima. Perú.
- MEDINA MENDES, Fabián (1990) "Operación unitaria de minado a cielo abierto" espana.
- STEVE TAYLOR, Jabiert (2001) "Procedimiento para correr brocas de perforación".
- RODRIGUES SERNA, Richard Robert (2011) "NUMA" fabricante de martillo de fondo y brocas" Thompson USA. Segunda edición.
- LÓPEZ JIMENO, Carlos (2000) "Manual De Perforación Y Voladura De Rocas" segunda edición.
- RUMALDO NEIRA, Wilfredo (2001) "Manual Para Ayudante De Perforador" primera edición. Lima Perú

### **TRABAJOS TESIS.**

- DUENA MEJIA, Jorge. (1998) Estudio comparativo de las variables de perforación teóricas con las obtenidas en pozos. ANABI ,Cusco tesis de grado.
- TRILLO SALAZAR, Gustavo Adolfo (2000) "Criterios para determinar los parámetros de perforación" mina Antamina, en la Región Ancash. Tesis.

- RAMÍREZ PEÑA, Luis Vicente (2010) “Diseño Del Programa De Brocas Requerido Para Perforar El Pozo Direccional XD” Guayaquil –Ecuador. Tesis.
- LOZANO GUEVARA, Juan Carlos (2009) “optimización de costos en perforación y voladura en la unidad san Andrés, Cero Verde Arequipa. tesis.

**Revistas:**

- BUCYROS. EQUIPOS MINEROS “Perforación automatizada”
- TECNOLOGÍA MINERA “Equipos de perforación”
- TECNOLOGÍA MINERA “optimizando las perforaciones”

**SITIOS EN LA RED.**

Herramienta de diamante, Fabricante de herramienta de perforación.

- <http://www.geotecdrill.es/>

Brocas de Perforación by Halliburton - Scribd

- <http://www.scribd.com/doc/24882797/Brocas-de-Perforacion-by-Halliburton>

Brocas Triconicas - Scribd

- <http://www.scribd.com/doc/19414708/Brocas-de-Perforacion>

Herramientas de perforación de rocas

- <http://www.smc.sandvik.com/sandvik/5800/Internet/S000878.nsf/Lo okPortal/Portal>

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N°1: Perforadora Drill tech. Operando en el tajo Chabuca Norte en el banco 3955 y nivel 3970 m.s.n.m .....	37
Fotografía N°2: Perforadora P&H 100B. operando en Chabuca Sur en el banco 3970 y nivel 3985 m.s.n.m .....	39
Fotografía N°3: Alimentación de energía Perforadora P&H 100 B en el banco 3971 y nivel 3915 m.s.n.m.....	41
Fotografía N°4: Adaptador en el castillo de perforación de la perforadora Perforadora P&H 100B .....	47
Fotografía N°5: Anillos Guías nuevos y utilizados .....	49
Fotografía N°6: Medidor de RPM en la cabina de operación de la máquina perforadora Drilltech.....	52
Fotografía N°7: Medidor de revoluciones por minuto. En la cabina de operación de la maquina perforadora Drilltech.....	56
Fotografía N°9: Camión fabrica cargando los taladros con Anfo.....	97
Fotografía N°10: Retardos no eléctricos y Booster .....	98
Fotografía N°11: Palas P&H 2800 cargando material fragmentado a camión minero 56 .....	98
Fotografía N°12: Flota de camiones mineros CAT.....	99
Fotografía N°13: Flota de camiones mineros .....	100
Fotografía N°14: Excavadora 345 CLME escavando posos para la bombas de drenaje. ....	101
Fotografía N°15: Oficina del departamento de perforación y voladura...	113

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Estructuras de corte.....	61
Figura N°2: Broca tricónica para formaciones duras.....	62
Figura N°3. Ángulos del eje del cono en dos tipos de roca.....	63
Figura N°4 Angula del cono, longitud de diente y espesor del cono .....	64
Figura N°5: Tipos de cojinetes .....	65
Figura N°6: Cuerpo de broca tricónica .....	66
Figura N°7: Partes de una broca tricónica.....	67
Figura N°8: Elementos De La Broca Ac BHMT .....	67
Figura N°9: LUGS .....	69
Figura N°10: Códigos de identificación de una broca triconica AC BHM.	70
FIG. N°11.Columna Estratigráfica Regional de Tintaya (Zweng, 1997) ...	77
Figura N°12: Alteraciones Hipógenas Y Supérgenas.....	84
Figura N13: Diagrama de operaciones mina. ....	91
Figura N°14.Plano de Ubicación y Accesibilidad del Proyecto Antapaccay.	103
Figura N°15. Plano Geológico de la mina Antapaccay.....	104
Figura N°16. Geología del Proyecto Antapaccay.....	105
Figura N 17: Curba de resistensia a la comprecion en RocLab .....	111

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico N°1: Ubicación de la mina Tintaya .....	22
Gráfico N° 2: Accesos a la mina Tintaya.....	24
Grafico N°3: Columna de Perforación Rotativa.....	44
Grafico N°4: Adaptadores .....	46
Grafico N°5: Adaptadores.....	47
Grafico N° 6. Efecto de la velocidad de rotación sobre la velocidad de penetración.....	51
Grafico N° 7. Efecto del empuje sobre la velocidad de penetración .....	53
Gráfico N°8: Diseño de la malla de perforación .....	95

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1 Resistencia a compresión según el tipo de roca. ....	50
Tabla N°2: Medidor de revoluciones por minuto. ....	51
Tabla N 3: Valores límites para triconos de diferentes diámetros.....	55
Tabla N° 4: Las velocidades ascensionales.....	58
Tabla N°5 Código IADC para brocas tricónicas .....	71
Tabla N°6: Elementos del tricono y tipo de acero .....	72
Tabla N°7 Clasificación general de triconos de dientes.....	74
Tabla N°8 Clasificación general de triconos de insertos.....	75
Tabla N 8: Dimensiones y parámetros de diseño.....	93
Tabla N 9: Equipos de perforación.....	93
Tabla N 10: Diseño de mallas.....	94
Tabla N 11: Equipos de carguío.....	98
Tabla N 12: Equipos de acarreo.....	99
Tabla N 13: Equipo auxiliar. ....	100



## ÍNDICE DE ANEXO

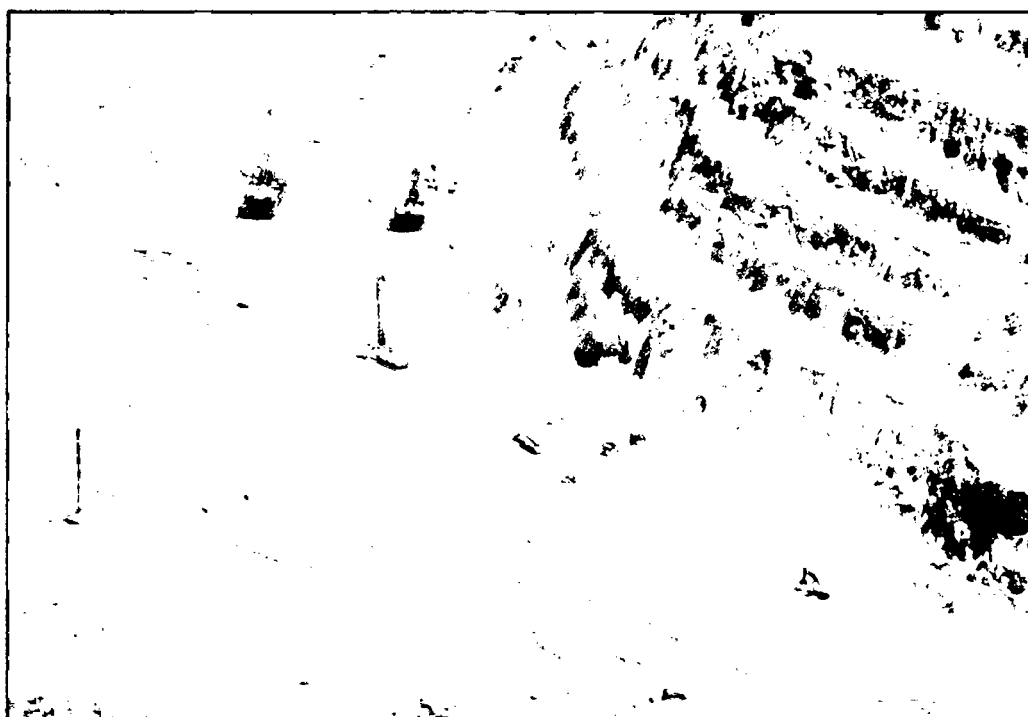
Fotografía N <sup>a</sup> 16: Proyecto Tintaya Antapacay .....	152
Fotografía N <sup>a</sup> 17: Tajo Tintaya en operación en el nivel 3790 m.s.n.m.	152
Fotografía N <sup>a</sup> 18: Formación del yacimiento en Chabuca Norte Tintay.	153
Fotografía N <sup>a</sup> 19: Formación de yacimiento Chabuca Sur Tintaya.....	153
Fotografía N <sup>a</sup> 20: Equipos de perforación operando en banco 3775 y nivel 3790 m.s.n.m. en el tajo tintaya.....	154
Fotografía N <sup>a</sup> 21: Cabina de mando del Equipos de perforación en el tajo tintaya.....	154
Fotografía N <sup>a</sup> 22: Colocación de los puntos de la malla de perforación en el banco3775 y nivel 3790 m.s.n.m.....	155
Fotografía N <sup>a</sup> 23: Oficina del departamento de perforación y voladura.	155
Fotografía N <sup>a</sup> 24: Desgaste de nariz.....	156
Fotografía N <sup>a</sup> 25: Desgaste de la pierna o faldón.....	156
Fotografía N <sup>a</sup> 26: Desgaste por pérdida de insertos.....	157
Fotografía N <sup>a</sup> 27: Desgaste por pérdida de cono.....	157

## Anexo

Fotografía N° 16: Proyecto Tintaya Antapacay



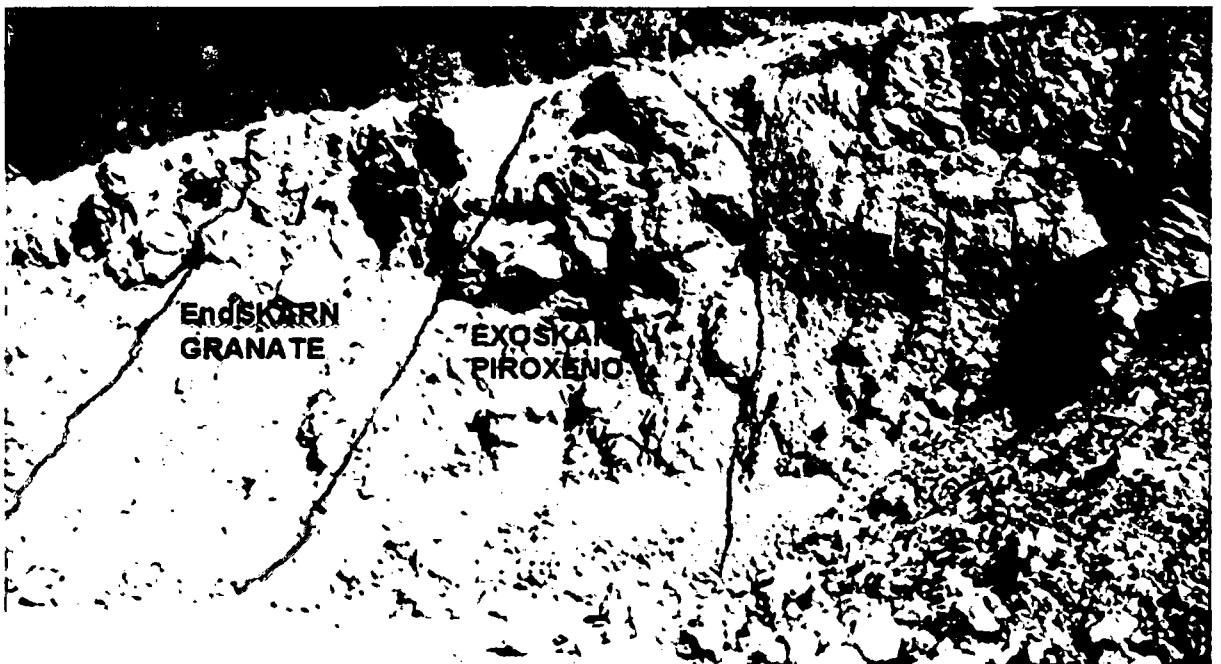
Fotografía N° 17: Tajo Tintaya en operación en el nivel 3790 m.s.n.m



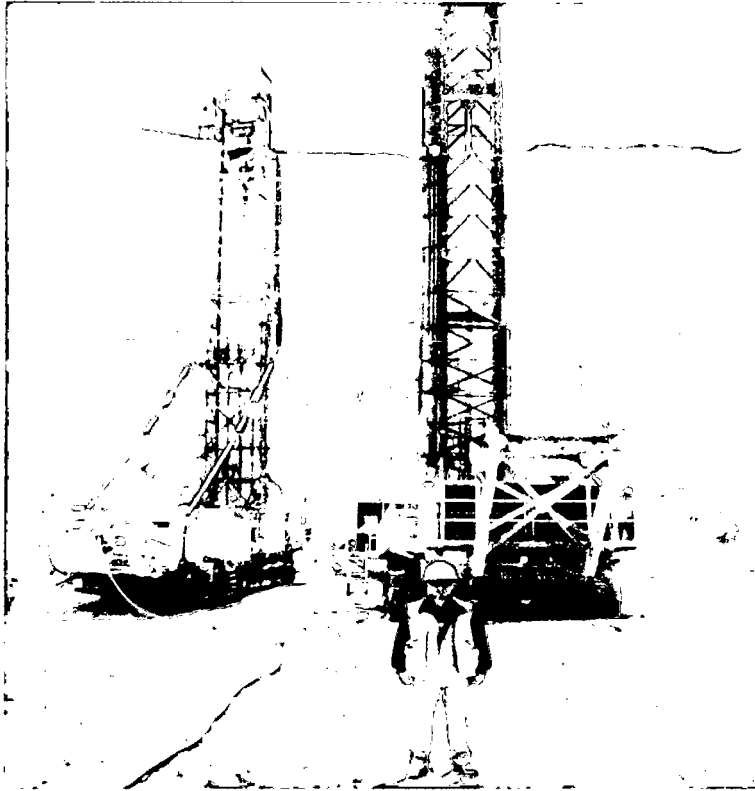
**Fotografía N° 18: Formación del yacimiento en Chabuca Norte Tintaya.**



**Fotografía N° 19: Formación de yacimiento Chabuca Sur Tintaya.**



**Fotografía N° 20: Equipos de perforación operando en banco  
3775 y nivel 3790 m.s.n.m. en el tajo tintaya**



**Fotografía N° 21: Cabina de mando del Equipos de perforación en  
el tajo tintaya**



**Fotografía N° 22: Colocación de los puntos de la malla de perforación en el banco 3775 y nivel 3790 m.s.n.m.**



**Fotografía N° 23: Oficina del departamento de perforación y voladura**



**Fotografía N° 24: DESGASTE DE NARIZ**

**SERIE: 325004**

**MODELO: S-30**

**METROS: 2959,4 mts**

**HORAS: 56,5 hr**



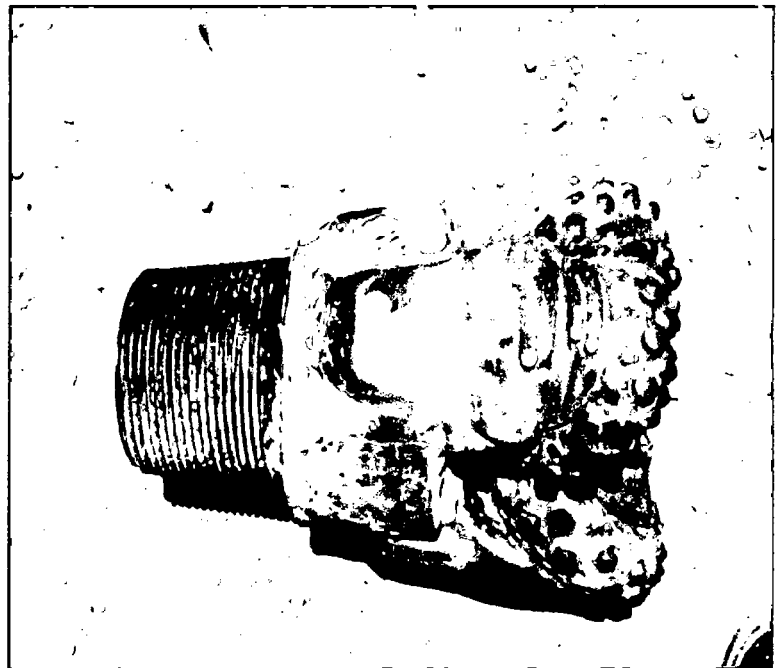
**Fotografía N° 25: DESGASTE DE LA PIERNA O FALDON**

➤ **SERIE: 953010**

➤ **MODELO: EH-53-CA**

➤ **METROS: 2787,6 mts**

➤ **HORAS: 51,6 hr**



### **Fotografía N° 26: DESGASTE POR PÉRDIDA DE INSERTOS**

- **SERIE: 867760**
- **MODELO: EH-53-CA**
- **METROS: 2084,5 mts**
- **HORAS: 39,5 hr**



### **Fotografía N° 27: DESGASTE POR PÉRDIDA DE CONO**

- **SERIE: 823009**
- **MODELO: S-30**
- **METROS: 3193,1mts**
- **HORAS: 60,4hr**

