

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO**



## **EVALUACION DE LA BROCA MARCA HUGHES DE 7 7/8" TIPO ATJ-05 (CODIGO IADC: 4-1-7)**

**TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO DE PETROLEO**

**FRANKLIN CORDOVA CRUZ  
PROMOCION 84-II**

**LIMA - PERU  
1997**

## **INDICE**

### **1.-INTRODUCCION**

### **2.-OBJETIVO**

### **3.-PRINCIPIOS DE DISEÑOS DE LAS BROCAS - CONCEPTOS**

#### **3.1 PARTES DE UNA BROCA**

##### **3.1.1 ESTRUCTURA CORTADORA**

##### **3.1.2 COJINETES**

##### **3.1.3 CUERPO DE LA BROCA**

#### **3.2 AVANCES TECNOLOGICOS EN EL DISEÑO DE LAS BROCAS**

##### **3.2.1 ESTRUCTURA CORTADORA - BROCAS AT**

##### **3.2.2 COJINETES - BROCAS AT**

##### **3.2.3 SISTEMA DE LUBRICACION DE COJINETES**

#### **3.3 SISTEMA DE GRADUACION DE DESGASTE DE LAS BROCAS**

### **4.-DESARROLLO DEL TRABAJO**

#### **4.1 EL COSTO DE PERFORACION**

##### **4.1.1 CONSIDERACIONES**

#### **4.2 DETERMINACION DE COSTOS EQUIVALENTES**

#### **4.3 RESULTADOS DE LAS CORRIDAS**

### **5.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

#### **5.2 RECOMENDACIONES**

#### **5.3 CUADROS, ANEXOS Y GRAFICOS**

## **EVALUACION DE LA BROCA MARCA HUGHES DE “7 7/8” TIPO**

### **ATJ-05 (CODIGO IADC:4-1-7)**

#### **1. - INTRODUCCION**

La broca es el elemento entre los que forman la columna de perforar, que ha experimentado más variantes desde que en 1909 se introdujo la primera broca que utilizó con éxito las estructuras cortadoras que rotan en el fondo del pozo (conos). Los fabricantes, gastan grandes cantidades de dinero en investigaciones dirigidas a mejorar la velocidad de perforación de las brocas y por ende disminuir el costo por pié perforado.

En Petróleos del Perú Operaciones Noroeste se han venido utilizando las brocas de dientes ATJ-1 y FDS (código IADC : 1-1-6) para perforar formaciones suaves y la broca de insertos ATJ-11 (código IADC : 4-3-7) para perforar las formaciones suaves y medianamente duras.

Producto de las investigaciones tendientes a mejorar el diseño de las brocas, la Cía Hughes Tool ha fabricado la broca de insertos ATJ-05 (código IADC : 4-1-7), la que por su estructura de corte, (insertos de carburo de tungsteno más largos que la ATJ-11) está diseñada para atravesar grandes secciones de lutitas, arcillas y areniscas poco consolidadas.

Esta broca fue introducida en Operaciones Noroeste en Noviembre de 1991, para lo cual tuvo que ser evaluada previamente.

## **2. - OBJETIVO**

El objetivo del presente trabajo es mostrar los resultados del comportamiento y rendimiento obtenido en las primeras pruebas realizadas con la broca de insertos tipo ATJ-05, con el fin de evaluar su futuro uso en Petróleos del Perú Operaciones Noroeste.

Para tal efecto se evaluó su rendimiento en formaciones suaves y medianamente duras en tramos de litología similar, en comparación con el rendimiento obtenido por las brocas de dientes ATJ-1 y las brocas de insertos ATJ-11, las cuales han sido comúnmente usadas en Operaciones Noroeste.

## **3. - PRINCIPIOS DE DISEÑO DE LAS BROCAS - CONCEPTOS**

La broca es la herramienta cortadora que va enroscada en el extremo inferior de la sarta de perforar, fractura el terreno para que luego los recortes sean removidos del fondo del pozo y transportados a la superficie por el lodo de perforación.

A través de los años ,las brocas han tomado muchas formas; sin embargo las que actualmente más se usan son las brocas de rodillos cortadores.

### **3.1.- PARTES DE LAS BROCAS**

Las brocas con rodillos cortadores (conos) constan de tres importantes componentes: las estructuras cortadoras, los cojinetes y el cuerpo de la broca (Fig. 1).

### 3.1.1.- ESTRUCTURAS CORTADORAS

Las estructuras cortadoras están montadas sobre cojinetes , los que ruedan sobre pines pilotos (Fig. 1) constituyendo una parte integral del cuerpo de la broca.

Los elementos de corte de las brocas tricónicas, son hileras circunferenciales de dientes extendidas sobre cada cono y entrelazadas sobre las hileras de los conos adyacentes.

Estos son de dos tipos:

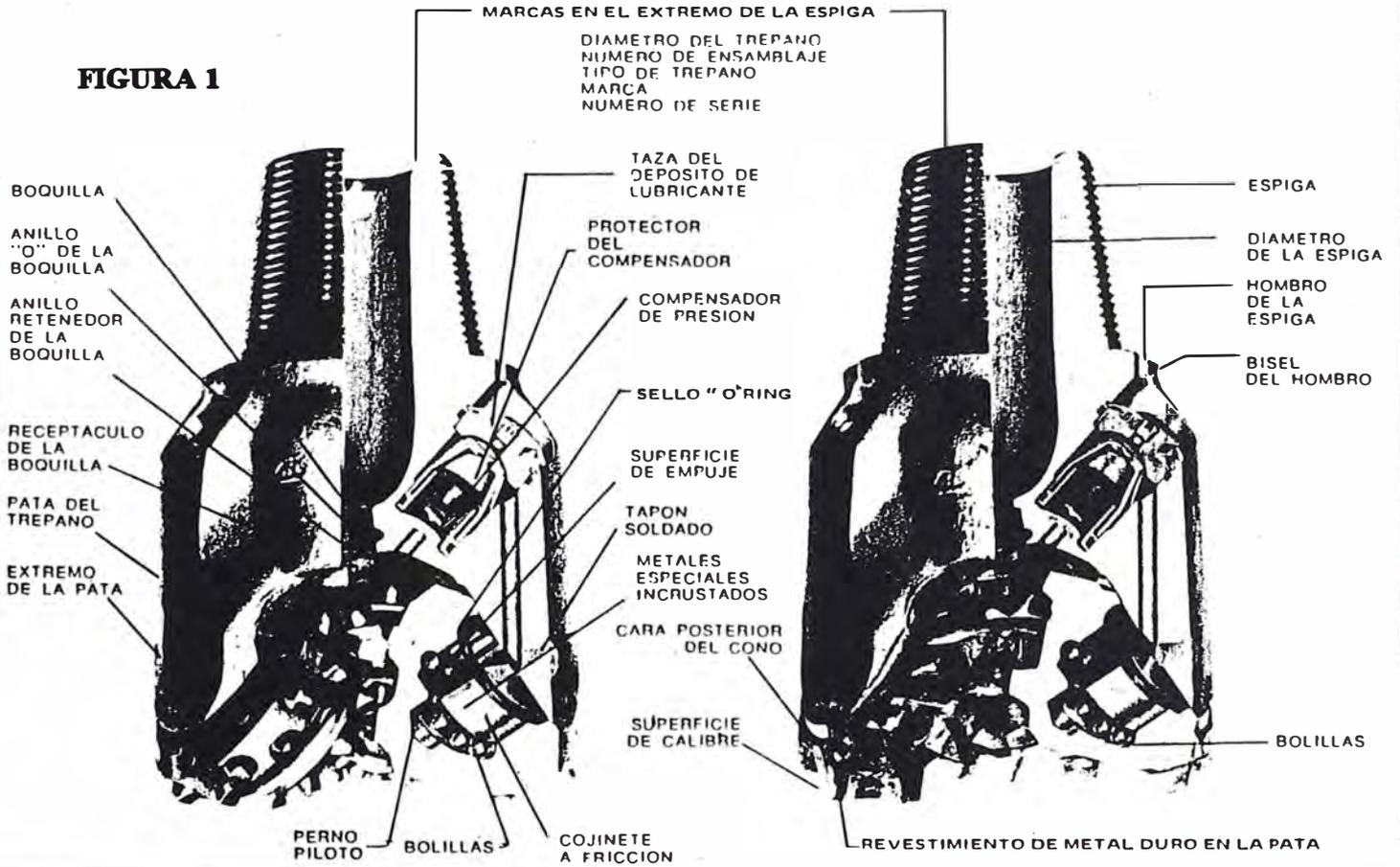
- **Insertos de carburo de tungsteno:** Los que son colocados a presión en agujeros perforados en la superficie de los conos (Fig. 1A)

- **Dientes de acero:** Los cuales son maquinados desde un cono básico de material (Fig. 1B).

El tamaño y el espesor de los componentes de las brocas dependen del tipo de formación que ésta perforará. Las brocas para formaciones blandas, que requieren poco peso tienen los cojinetes más pequeños, menor espesor de los conos y la sección de las patas más delgada que las brocas para formaciones más duras. Esto permite más espacio para dientes más largos. Las brocas para formaciones duras y que deben perforar bajo grandes pesos tienen elementos de corte y cuerpos más robustos y cojinetes más grandes.

TERMINOLOGIA DE LOS ELEMENTOS DEL TREPANO

FIGURA 1



TREPANO CON INSERTOS DE CARBURO DE TUNGSTENO  
 Cojinetes Journal Sellados

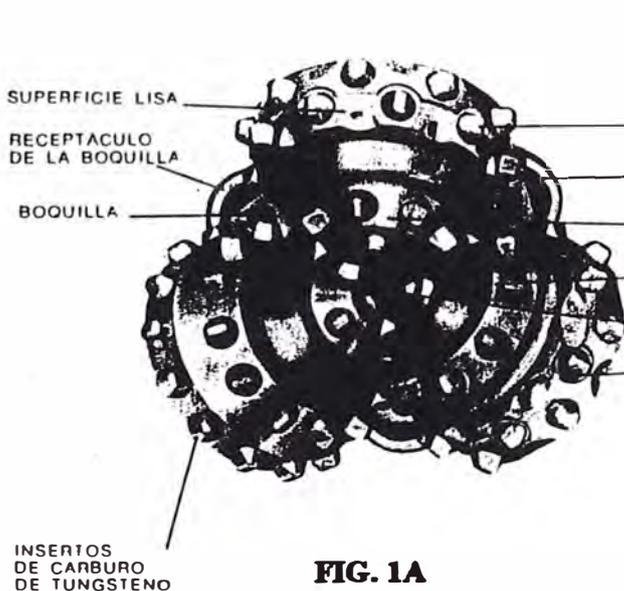


FIG. 1A

TREPANO CON DIENTES DE ACERO  
 Cojinetes Journal Sellados

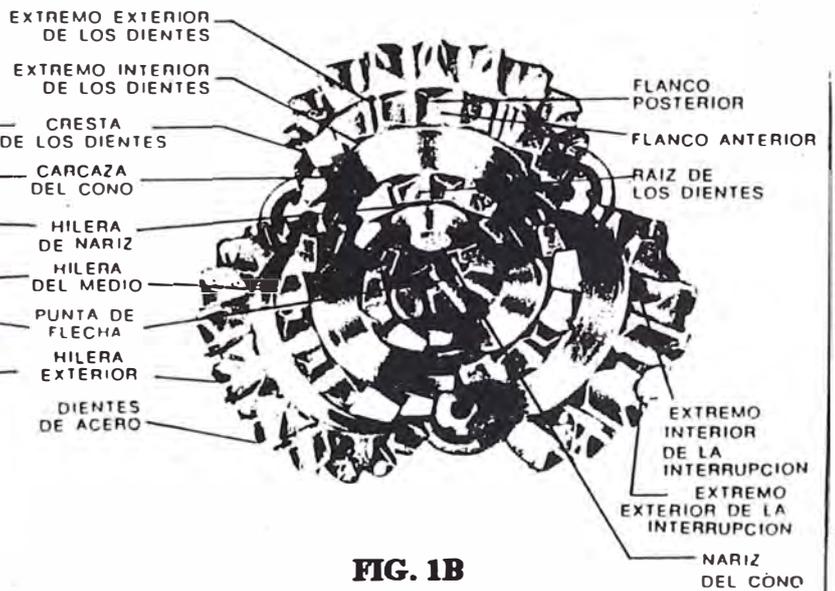


FIG. 1B

La Fig. 2 puede explicar cómo la geometría de los conos afecta la forma en que los dientes cortan el terreno. Los conos para formaciones blandas están diseñados para apartarse substancialmente de la acción de un verdadero rodamiento en el fondo, debido a que tienen dos o más ángulos de cono básicos, ninguno de los cuales tiene su centro en el centro de rotación de la broca. La superficie exterior cónica tiende a rotar aproximadamente alrededor de su eje teórico y las hileras interiores cerca del centro de su propio eje.

Desde que los conos están forzados a rotar alrededor del centro de la broca, los mismos resbalan a medida que rotan y producen el escareo y paleo, que es la mejor manera de perforar los terrenos blandos. Una acción más efectiva para incrementar la penetración en formaciones blandas, se obtiene con la excentricidad de los ejes de los conos (Fig. 2A).

Los conos de las brocas para formaciones duras, están más cerca de un verdadero rodamiento y por lo tanto tienen muy poca o ninguna excentricidad (Fig. 3 y 3A). Por ello rompen el terreno por resquebrajamiento.

### 3.1.2.- COJINETES

Hay tres diseños principales de cojinetes en uso en las brocas actuales:

- **Cojinete standard no sellados con rodillos y bolillas:** Se emplean en la parte superior de los pozos, donde el tiempo de maniobras no es excesivo y además, en algunos casos donde la velocidad de rotación es alta (Fig. 4). Este opera en contacto con el fluido de perforación y duran tanto o más que la estructura cortadora.

FIG. 2

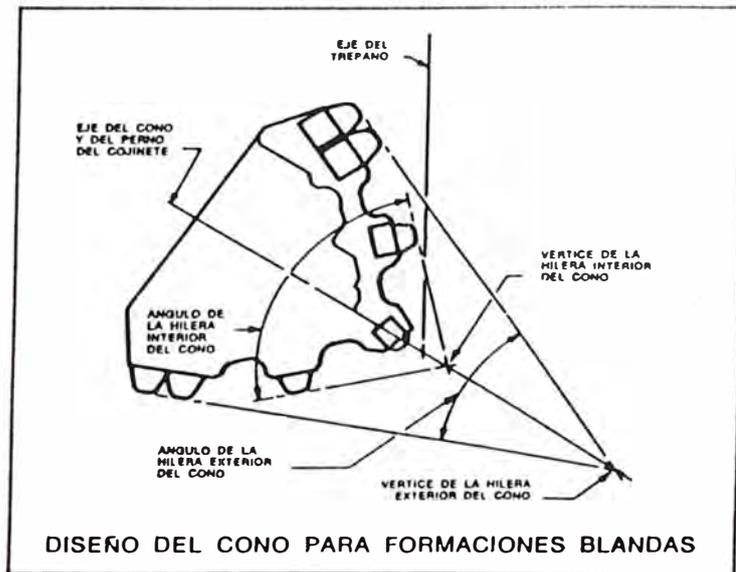
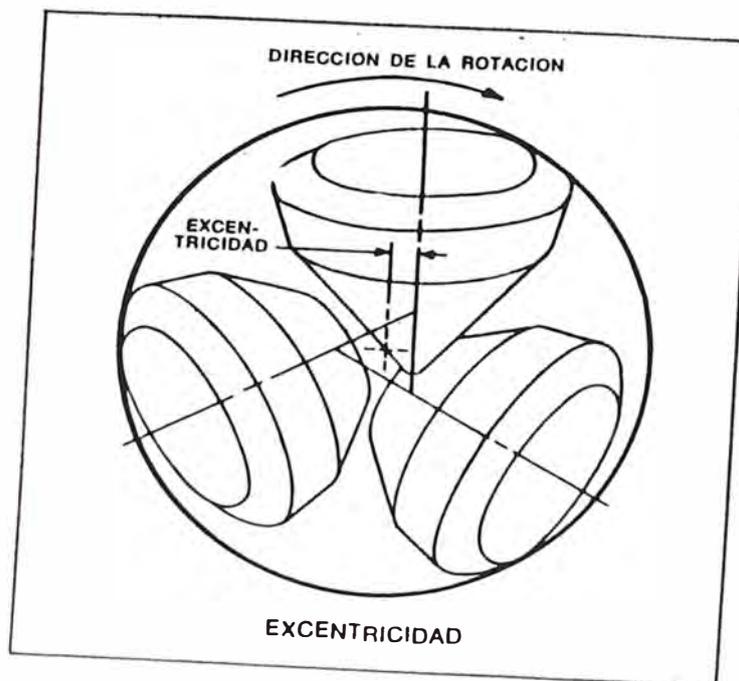
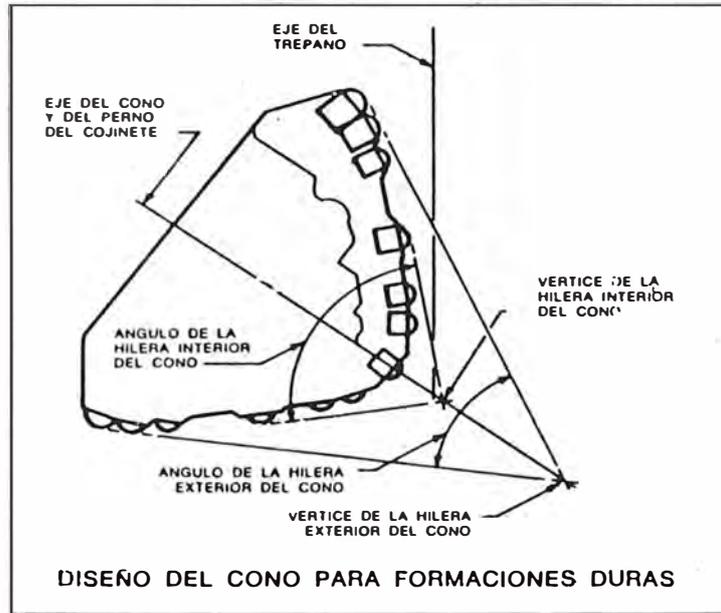
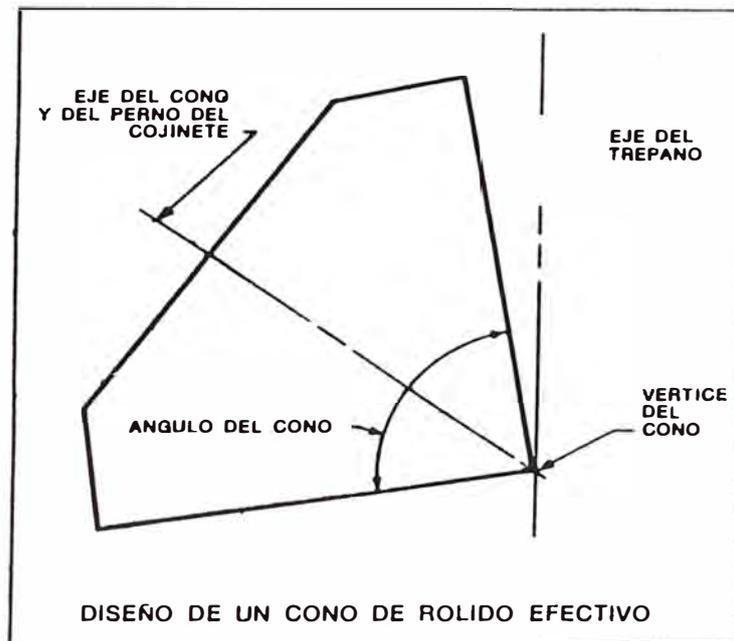


FIG. 2A





**FIG. 3**



**FIG. 3A**

- **Cojinete Sellado a rodillos y bolillas:** Fue incorporado en las brocas con insertos de carburo de tungsteno. Además de los elementos del cojinete (rodillos y bolillas), éste requiere de un depósito para la grasa, un compensador de presiones, un conducto que comunique a ambos, y un sello (Fig. 5). Aún en un ambiente lubricado, los cojinetes a rodillos fallarán después de un determinado tiempo.

- **Cojinete Journal:** La estructura cortadora de insertos de carburo de tungsteno dura más que el cojinete a rodillos y bolillas . Esto condujo al desarrollo del cojinete journal y de un nuevo sello (Fig. 6). La diferencia es que una superficie Journal reemplaza a los rodillos y en el sistema depósito - compensador se emplea el anillo de goma “O” ring.

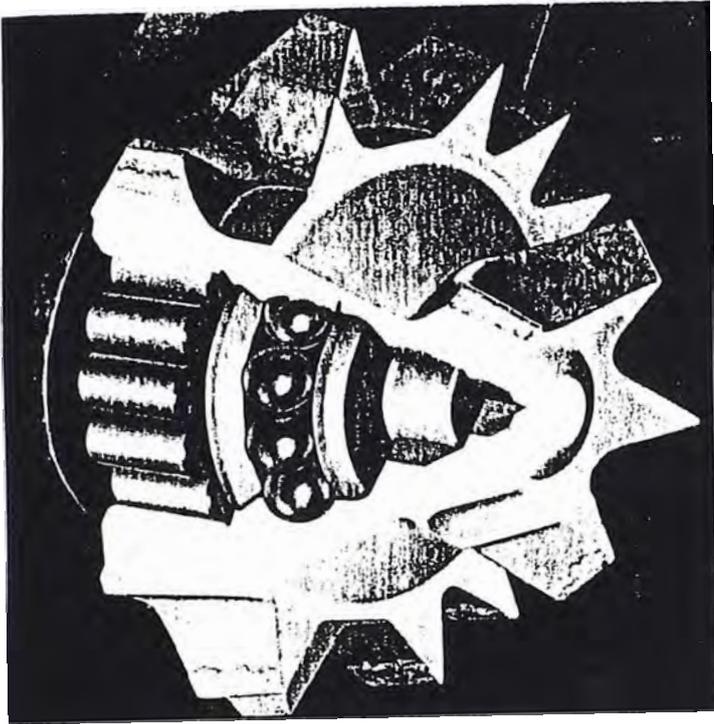
### **3.1.3.- CUERPO DE LA BROCA**

El cuerpo de la broca consta de las siguientes partes (Fig. 1):

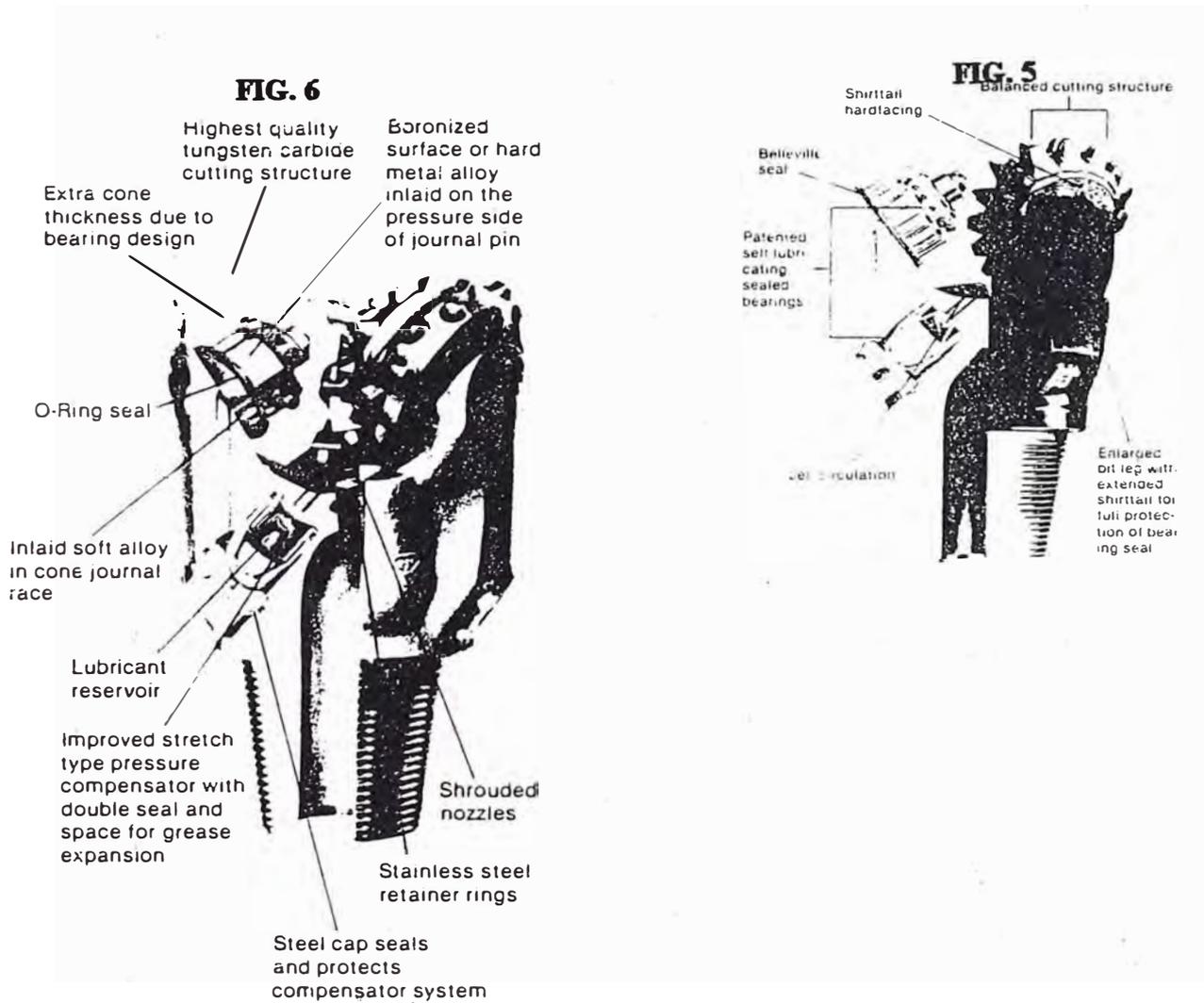
- Una conexión roscada que une la broca con la columna de perforar.
- Tres ejes del cojinete donde van montados los conos.
- Los depósitos que contienen el lubricante para los cojinetes.
- Los orificios a través de los cuales el lodo de perforación fluye para limpiar el fondo de los recortes.

### **3.2.- AVANCES TECNOLOGICOS EN EL DISEÑO DE LAS BROCAS**

Las brocas de la serie AT (Advanced Technology) de la Cía Hughes Tool Company representan lo último en el diseño de brocas. Estos se distinguen por:



**FIG. 4**



**FIG. 6**

Highest quality tungsten carbide cutting structure  
 Boronized surface or hard metal alloy inlaid on the pressure side of journal pin

Extra cone thickness due to bearing design

O-Ring seal

Inlaid soft alloy in cone journal race

Lubricant reservoir

Improved stretch type pressure compensator with double seal and space for grease expansion

Shrouded nozzles

Stainless steel retainer rings

Steel cap seats and protects compensator system

**FIG. 5**

Balanced cutting structure

Shirrtail hardfacing

Belleville seal

Patented self lubricating sealed bearings

Oil circulation

Enlarged oil leg with extended shirrtail for full protection of bearing seal

### 3.2.1.- ESTRUCTURA CORTADORA - BROCAS AT

Se han agregado hileras de insertos de carburo de tungsteno y se ha maximizado la cantidad de los mismos en cada una para promover carreras más suaves y de mayor duración.

Las nuevas formas de insertos son diseñadas más agudas y, no obstante, más durables. El espaciado no uniforme de los insertos reduce o elimina el efecto de sobre huella (Fig. 7). Estas brocas utilizan una gran variedad de formas de insertos, desde los resistentes cónicos y biselados de cresta acuñada hasta los “Super Scoop” de gran penetración (Fig. 8).

### 3.2.2.- COJINETES JOURNAL - BROCAS AT

La Cía Hughes ofrece dos líneas de brocas:

- **Brocas ATJ (Sellos “O”)**: Esta línea presenta el sello de precisión “O” el cual ha sido diseñado para soportar variaciones de presión aún con elementos abrasivos (Fig. 9).
- **Brocas ATM (Sello de contacto metálico)**: Presentan un sello que consiste en dos anillos metálicos, ubicados entre el cono y el pin piloto del cojinete, con una superficie de contacto de alta precisión. Esto permite que estas brocas sean corridas a más altas velocidades de rotación (Fig. 10).

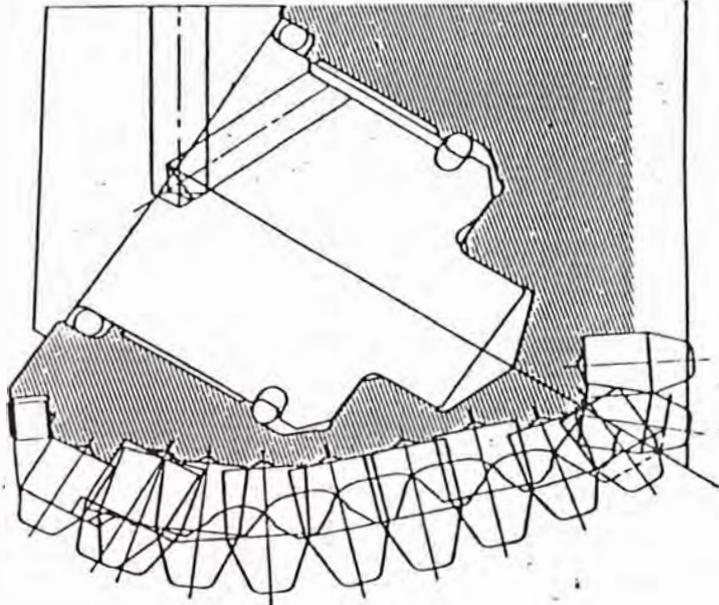


FIG. 7

Carbide tooth design

Hard



Ovoid

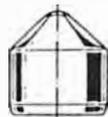


Ogive

Medium to hard



Conical



90° Chisel

Medium to soft



Super Scoop<sup>®</sup> Chisel



Scoop Chisel



Wedge Crested Chisel

FIG. 8

METAL FACE  
SEAL

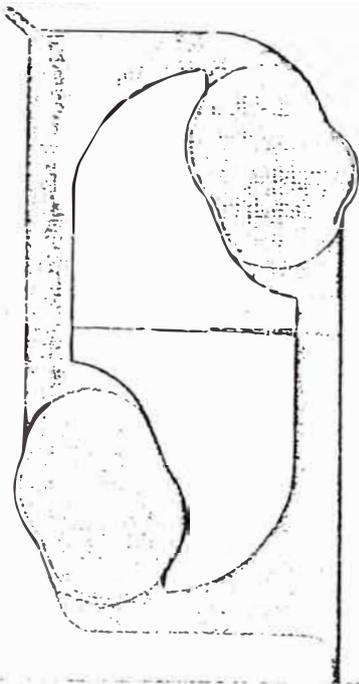


FIG. 10

O-RING  
SEAL

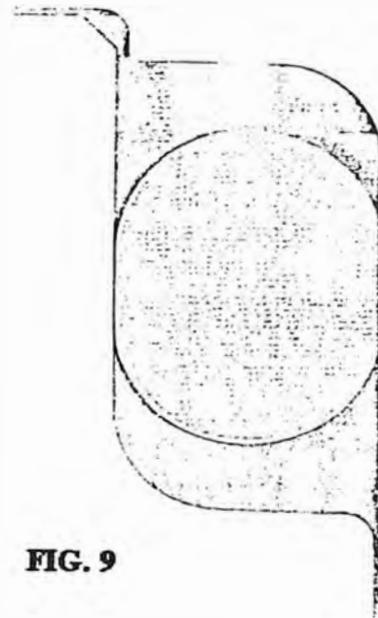
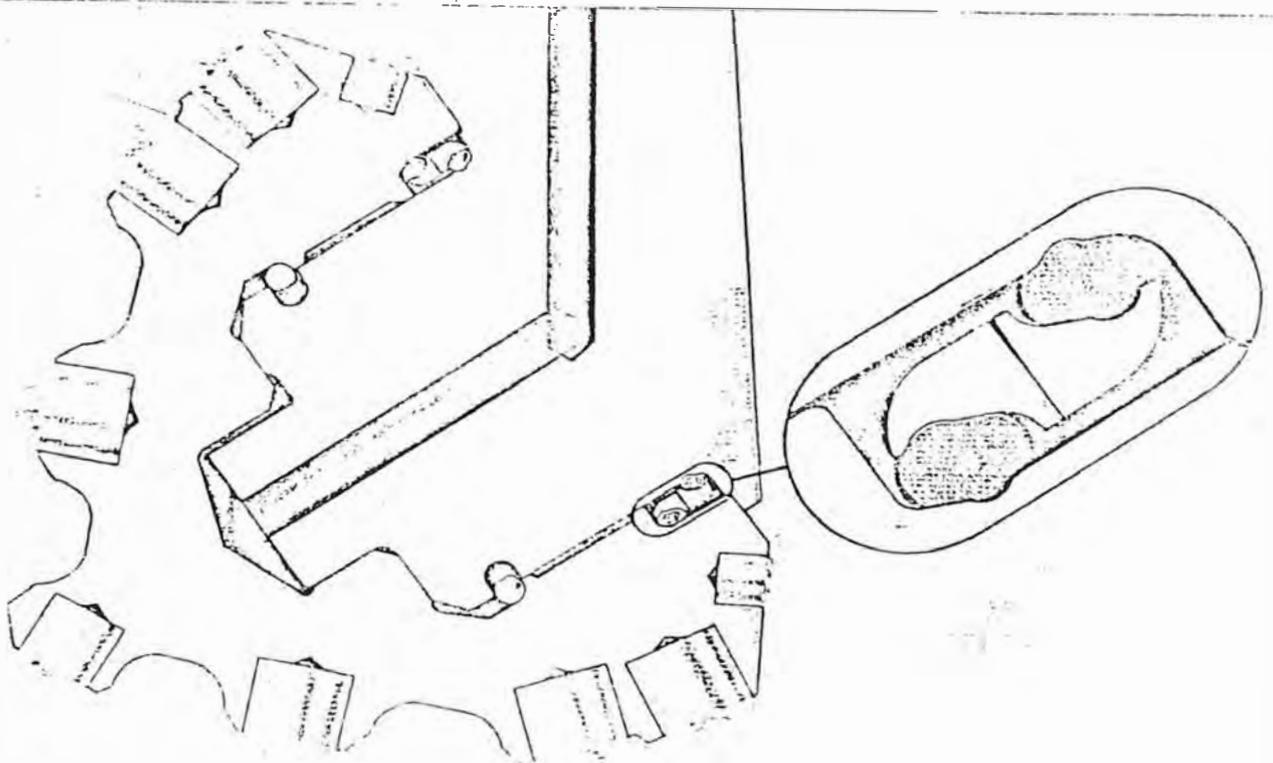


FIG. 9

FIG. 10



### **3.2.3.- SISTEMA DE LUBRICACION - BROCAS AT**

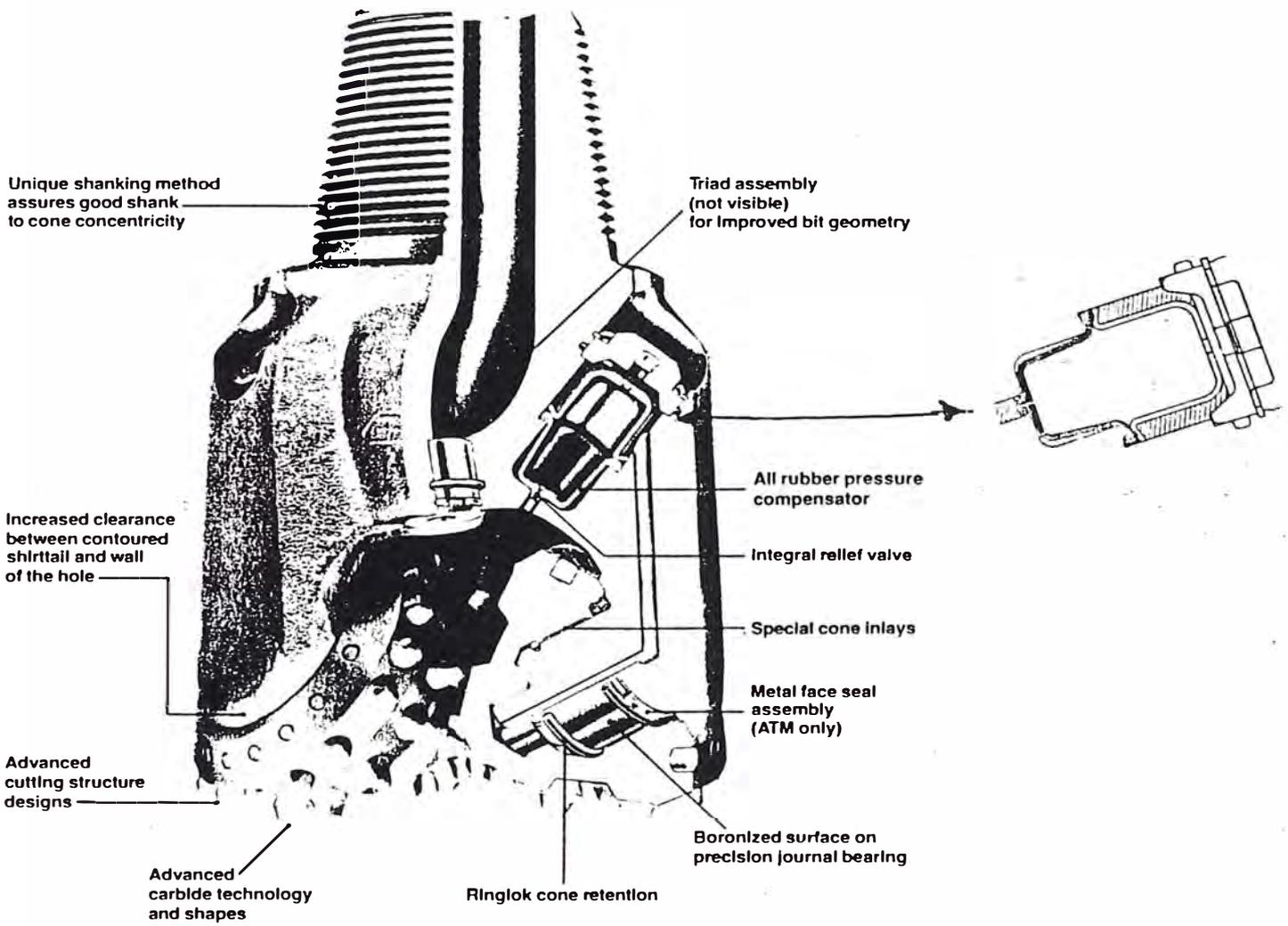
Un sistema de lubricación compensado es esencial para igualar las presiones diferenciales en las brocas con cojinetes journal. En las brocas de la serie AT, el dispositivo compensador se ha perfeccionado mediante el uso de una válvula de alivio que permite que la grasa salga del sistema a una presión diferencial predeterminada, pero evita que el lodo de perforación entre en el mismo, cualquiera sea la presión, minimizando así las posibilidades de fallas que causan la pérdida de la grasa lubricante y el deterioro prematuro de los cojinetes (Fig. 11).

### **3.3.- SISTEMA DE GRADUACION DEL DESGASTE DE BROCAS**

La graduación del desgaste de las brocas es una herramienta que sirve para obtener información de perforación de pozos vecinos, a tiempo y confiable.

Una graduación correcta del desgaste proporciona una buena idea de cómo fue perforado el pozo. Una cuidadosa inspección del desgaste de la estructura cortadora y de los cojinetes puede ayudar a determinar la elección de la nueva broca y las prácticas operativas. La industria ha desarrollado un método y codificación para la graduación del desgaste de las brocas que simplifica esta operación. Los símbolos de graduación del desgaste pueden ser utilizados con todos los tipos de brocas incluyendo las brocas con diamantes.

# ADVANCED TECHNOLOGY ROCK BITS (ATJ – ATM)



**FIGURA 11**

## DOCUMENTACION DEL DESGASTE EN EL REGISTRO DE BROCAS

Estructura. de corte		Carat. Prin Desgaste	Ubica.	Cojinet. o Sellos	Calibre	Otra Carac de desgaste	Motivo de Extrac
Interior	Exterior						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

Este método de graduación de desgaste, sigue las recomendaciones del IADC (International Association of Drilling Contractors). Se utilizan ocho columnas para registrar el desgaste de las brocas.

- La columna (1) informa sobre el estado de la estructura cortadora en los 2/3 interiores de la broca. Se emplea una escala lineal de 0 a 8 : “0” indica que no hay dientes o insertos perdidos, gastados o rotos, “8” indica que toda la estructura cortadora o los insertos están perdidos gastados y/o rotos.

- La columna (2) utiliza la misma escala descrita en el punto anterior para registrar el estado de la estructura cortadora en el 1/3 exterior de la broca.

- La columna (3) utiliza un código de dos letras para indicar la característica principal del desgaste de la broca. Los códigos a utilizar se indican en el punto (3) de la Planilla de Códigos adjunta.

- En la columna (4) se indica la ubicación de la antes citada característica principal de desgaste. Ver punto (4) de la Planilla de Códigos.

- La columna (5) utiliza una escala lineal de 0 a 8 para estimar la cantidad de vida utilizada de cojinete utilizada, en cojinetes no sellados, y un código de una letra para indicar el estado de los cojinetes sellados. Ver punto (5) de la Planilla de Códigos.
  
- En la columna (6) se indica el estado del calibre de la broca. Ver punto (6) de la Planilla de Códigos.
  
- En la columna (7) se indican otras características del desgaste, utilizando los mismos códigos del punto (3).
  
- En la columna (8) se indica el motivo por el cual fue sacada la broca, con los símbolos que se detallan en el punto (8) de la descripción de códigos.

PLANILLA DE CODIGOS

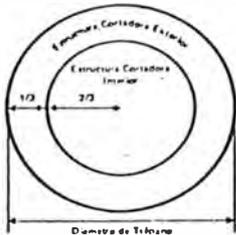
GRADUACION DEL DESGASTE

Estructura Cortadora		Característica principal del desgaste	Ubicación	Cojinetes/Sellos	Calibre	Otras características del desgaste	Motivo de la Extracción
Interior	Exterior						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)

DESCRIPCION DE CODIGOS

(1) ESTRUCTURA CORTADORA INTERIOR (2/3 Interiores del trépano)

(2) ESTRUCTURA CORTADORA EXTERIOR (1/3 exterior del trépano)



1 y 2 TRÉPANOS CON DIENTES DE ACERO:

Una medida lineal de la estructura cortadora perdida debido a abrasión o daño. (0: no hay pérdida de la estructura cortadora debido a la abrasión o daño; 8: pérdida total de la estructura cortadora debido a abrasión o daño).



1 y 2 TRÉPANOS CON INSERTOS:

Una medida lineal de la pérdida, desgaste y/o rotura de insertos. (0: no hay pérdida, desgaste y/o rotura de insertos; 8: todos los insertos perdidos, gastados y/o rotos).



1 y 2 TRÉPANOS CON DIAMANTES PDC Y TSP:

Una medida lineal de pérdida, desgaste y/o rotura de estructura cortadora. (0: no hay pérdida, desgaste y/o rotura de la estructura cortadora; 8: toda la estructura cortadora perdida, gastada y/o rota).



(3) CARACTERISTICA PRINCIPAL DEL DESGASTE  
Estos códigos se utilizan también en la columna (7).

- Foto N°
- 1 y 2 SD - Daño en el extremo de la pata (Shirttail damage)
- 3 y 4 EC - Conos erosionados (Eroded cones)
- 5 BU - Trépano embolado (Balled up bit)
- 6 CD - Cono arrastrado (Dragged cone)
- 7 y 8 PN - Boquillas o canales de flujo tapados (Plugged nozzles) Flow passage
- 9 CI - Interferencia de conos (Cone interference)
- 10, 11 y 12 BT - Dientes rotos (Broken Teeth)
- 13 CR - Coroneado (Cored)
- 14, 15 y 16 WT - Dientes gastados (Worn teeth)
- 17 SS - Autoafilado (Self sharpening wear)
- 18, 19 y 20 CT - Dientes astillados (Chipped teeth)
- 21 y 22 FC - Crestas achatadas (Flat crested wear)
- 23 y 24 LT - Diente perdido (Lost teeth)
- 25 OC - Desgaste excéntrico (Off-Center Wear)
- 26 TR - Sobre huefla (Tracking)
- 27 CC - Cono fisurado (Cracked cone)
- 28 RO - Desgaste en anillo (Ring Out)
- 29 y 30 RG - Calibre redondeado (Rounded Gage)
- 31 LC - Cono perdido (Lost Cone)
- 32 WO - Lavado (Washed out)
- BC - Cono roto (Broken cone)
- HC - Fisuras por calentamiento (Heat Checking)
- JD - Daño por hierro (Junk damage)
- PB - Trépano comprimido (Pinched Bit)
- NO - Sin desgaste alguno (No major other dull characteristic)

(4) UBICACION

- Trépanos Triconos:
- N - Hilera de nariz (Nose Row)
  - M - Hilera del medio (Middle Row)
  - H - Hilera exterior (Heel Row)
  - A - Todas las hileras (All Rows)

- Trépanos con diamantes:
- C - Cono Interno (Cone)
  - N - Nariz (Nose)
  - T - Conicidad exterior (Taper)
  - S - Hombro (Shoulder)
  - G - Calibre (Gauge)
  - A - Todas las áreas (All areas)

- Nros de Conos:
- 1 (el de punta de flecha)
  - 2 (en el sentido de las agujas del reloj)

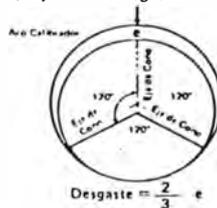
(5) COJINETES/SELLOS

Cojinetes No sellados: Una escala lineal para estimar la vida utilizada del cojinete. (0: cojinete sin desgaste; 8: cojinete sin vida remanente).

- Cojinetes Sellados:
- E - Sellos efectivos (Seals effective)
  - F - Sellos fallados (Seals failed)
  - D - Trépano sin cojinetes (Bearingless bit)

(6) CALIBRE

- I - En calibre (In gauge)
- 8/16 - 8/16" de desgaste

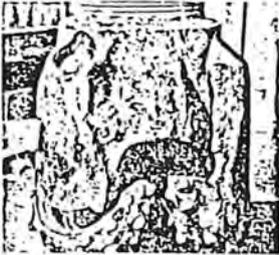


(8) MOTIVO DE LA EXTRACCION

- BHA - Cambio de conjunto de fondo (Change Bottom Hole Assembly)
- DMF - Falla del motor de fondo (Downhole motor failure)
- DTF - Falla de herramienta de fondo (Downhole tool failure)
- DST - Ensayo de formación (Drill Stem Test)
- DSF - Rotura de Barras (Drill string failure)
- DP - Perforación de tapones (Drill Plug)
- CM - Tratamiento Fluido (Condition Mud)
- CP - Coroneado (Cored Point)
- FM - Cambio de formación (Formation Change)
- HP - Problema de Pozo (Hole Problem)
- HR - Horas (Hours)
- LN - Boquilla perdida (Lost nozzle)
- LOG - Perllaje (Run Logs)
- PN - Boquilla o canal de flujo tapado (Plugged nozzles or fluid passage)
- PR - Velocidad de Penetración (Penetration Rate)
- RR - Reparación Equipo (Rig Repair)
- TD - Profundidad Final (Total Depth)
- TQ - Torsión (Torque)
- WC - Condiciones climáticas (Weather conditions)
- WO - Barras lavadas (Washed out - Drill String)

\* Indicar Nros de conos en la columna (4).

## CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE DESGASTE DE BROCAS



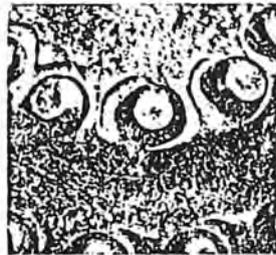
1

SD - Daño en el extremo de la pata (*Shirrtall damage*)



2

SD - Daño en el extremo de la pata (*Shirrtall damage*)



3

EC - Conos erosionados (*Eroded cones*)



4

EC - Conos erosionados (*Eroded cones*)



5

BU - Trépano embolado (*Balled up bit*)



6

\*CD - Cono arrastrado (*Dagged cone*)



7

PN - Boquillas o canales de flujo tapados (*Plugged nozzles/Flow pasage*)



8

PN - Boquillas o canales de flujo tapados (*Plugged nozzles/Flow pasage*)



9

CI - Interferencia de conos (*Cone Interference*)



10

BT - Dientes rotos (*Broken Teeth*)



11

BT - Dientes rotos (*Broken Teeth*)



12

BT - Dientes rotos (*Broken Teeth*)



13

CR - Coroneado (*Cored*)



14

WT - Dientes gastados (*Worn teeth*)



15

WT - Dientes gastados (*Worn teeth*)



16

WT - Dientes gastados (*Worn teeth*)

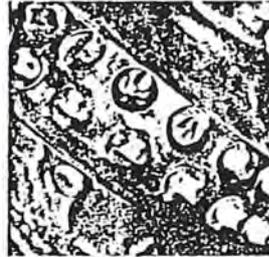
## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE DESGASTE DE BROCAS



17  
SS - Autoafilado (*Self sharpening wear*)



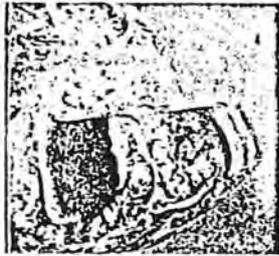
18  
CT - Dientes astillados (*Chipped teeth*)



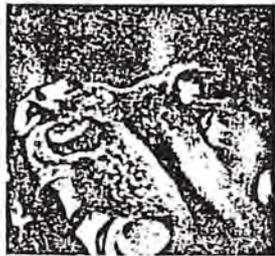
19  
CT - Dientes astillados (*Chipped teeth*)



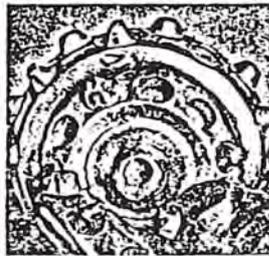
20  
CT - Dientes astillados (*Chipped teeth*)



21  
FC - Crestas achatadas (*Flat crested wear*)



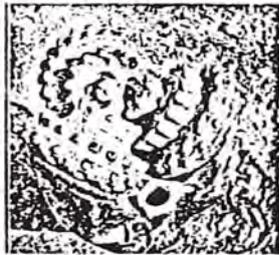
22  
FC - Crestas achatadas (*Flat crested wear*)



23  
LT - Diente perdido (*Lost teeth*)



24  
LT - Diente perdido (*Lost teeth*)



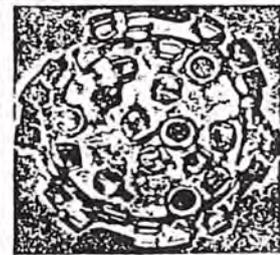
25  
OC - Desgaste exéntrico (*Off-Center Wear*)



26  
TR - Sobre huella (*Tracking*)



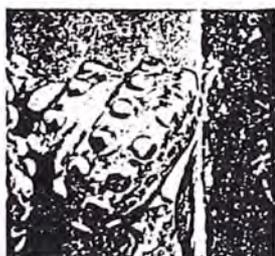
27  
\*CC - Cono fisurado (*Cracked cone*)



28  
RO - Desgaste en anillo (*Ring Out*)



29  
RG - Calibre redondeado (*Rounded Gage*)



30  
RG - Calibre redondeado (*Rounded Gage*)



31  
\*LC - Cono perdido (*Lost Cone*)



32  
WO - Lavado (*Washed out*)

## 4. DESARROLLO DEL TRABAJO

### 4.1.- EL COSTO DE PERFORACION

La evaluación del rendimiento de una broca no puede fundamentarse, excluyentemente, en función de la velocidad de penetración (pies/hora) o en la vida total de la broca (horas) ya que estos indicadores generalmente se comportan en forma inversa.

Por lo que, la mejor forma de obtener una evaluación técnica inobjetable del rendimiento de una broca o de un conjunto de brocas, consiste en la determinación comparativa del costo por pie resultante para la perforación de un tramo de pozo.

La fórmula utilizada para la determinación del costo por pie perforado está dada por:

$$C = \frac{B + R(T + t)}{F} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

C = Costo por pie, dólares/hora

B = Costo de la broca, dólares

R = Costo de operación del Eq., dólares/hora

T = Tiempo de rotación, horas

t = Tiempo de viaje, horas

F = Tramo perforado, pies

#### **4.1.1. CONSIDERACIONES**

Para el uso de la ecuación (1) se han tomado las siguientes consideraciones:

- A fin de obtener resultados comparativos, que no afecten el costo con factores ajenos al rendimiento de la broca, se supone que es similar el lodo utilizado y que la hidráulica y los parámetros de perforación son los más convenientes.
- Con el mismo objetivo, se considera igual capacidad de equipo perforador, lo cual supone igual costo horario (R) y habilidad del personal en las maniobras.
- El tiempo de viaje se estima en función de la profundidad y la capacidad del equipo.

Este tiempo comprende desde que la broca deja de operar hasta que la perforación comienza con la nueva broca. Por lo que al tiempo de viaje se le agrega el tiempo invertido en la circulación del lodo antes del viaje.

#### **4.2.- DETERMINACION DE COSTOS EQUIVALENTES**

Un tramo de pozo, de longitud Y, se perfora en condiciones tales (número de brocas, horas de rotación y horas de viaje) que determinan un cierto costo por pie promedio  $C_m$  (\$/pie).

Se pretende utilizar una broca sustituto, de costo B, y se desea saber qué rendimiento en horas de rotación X debe lograrse con ella para por lo menos igualar el costo por pie en el mismo tramo, o sea, para la nueva broca el costo debe ser el de la ecuación (1) dónde :

$$\frac{C_m = B + R(X + t)}{Y} \quad (\text{Ecuación 2})$$

es el costo por pie promedio de las brocas anteriores en \$/pie.

La solución analítica consiste en despejar X de la ecuación (2). La solución gráfica consiste en la representación de la ecuación (2) en coordenadas cartesianas en función de las variables X e Y.

Para los valores de  $C_m$ , B y R conocidos, los pares de valores X e Y que satisfacen dicha ecuación corresponden a las coordenadas de los puntos de una recta que se llama recta de igual costo (Break-even). Sus coordenadas en el origen están dadas por:

$$M = - (B/R + t) : \quad \text{Valor de X para } Y = 0 \quad (\text{Ecuac. 3}).$$

$$N = (B + R*t) / C_m : \quad \text{Valor de Y para } X = 0 \quad (\text{Ecuac. 4}).$$

Uniando los puntos M y N, queda trazada la recta de igual costo.

Con una horizontal por Y (longitud del tramo a perforar) hasta cortar la recta de igual costo y desde allí una vertical hasta el eje de las abscisas, queda determinado X (horas de rotación que igualarán el costo por pie de las brocas anteriormente empleadas) (Ver gráfico A).

La relación Y/X da la velocidad de penetración promedio necesaria para alcanzar el objetivo. Si con la nueva broca se completa la carrera Y en menor número de horas de rotación que las previstas, se habrá obtenido una carrera de menor costo por pie que el de las que sustituyó.

### 4.3 RESULTADOS DE LAS CORRIDAS

Para efectos de la evaluación se corrieron inicialmente cuatro (04) brocas en los siguientes pozos:

<b>BROCA N°</b>	<b>SERIE</b>	<b>POZO</b>	<b>EQUIPO</b>
1	D20PK	7799 LAGUNITOS	10
1R	D20PK	7806 SILLA	8
2	D19PK	7812 LOBO I	8
3	K97PH	7834 RIO BRAVO	8
3R	K97PH	7836 RIO BRAVO	8
4	K92PH	7717 LEONES	10

#### 4.3.1. BROCA N°1 :

Esta broca fue corrida en el pozo 7799 Lagunitos y ha sido comparada de acuerdo al tramo perforado (1450' - 3368') con las brocas de dientes ATJ-1 y X3A corridas en el pozo vecino 7761 Lagunitos y con las brocas ATJ-1 y FDS (Cía Smith) corridas en el pozo 7714 Lagunitos. Esta broca cortó 1918' en 68 horas, a una velocidad promedio de 28.21 pies/hora (Cuadro N° 1).

#### Parámetros de perforación:

Peso sobre la broca	8,000 - 18,000 lbs.
Rotación	120 -170 rpm
Presión de bomba	1,300 psi
Caudal	298 gpm
Densidad de lodo	9.3 - 9.5 lbs/gln

Viscosidad de embudo	42 - 45 Seg.
Chorros (1/32")	11 - 11 - 11

**Formaciones atravesadas:**

Mirador	170' (76% lutita, 24% arena)
Chira	1060' (99% lutita, 01% arenisca)
Verdún	688' (80% lutita, 05% arenisca, 15% arena)

**Condición de salida de la broca:**

Estructura. de corte		Carat. Prin	Ubica.	Cojinet.	Calibre	Otra Carac	Motivo
Interior	Exterior	Desgaste		o Sellos		de desagas	de Extrac
2	3	WT	A	E	1/16"	EC	BHA

COL 1 : 2/8 estructura de corte interna gastada

COL 2 : 3/8 estructura de corte externa gastada

COL 3 : Dientes gastados (Worn Teeth)

COL 4 : Ubicados en todas las hileras (A : All Rows)

COL 5 : Sellos en buenas condiciones (Efectivos)

COL 6 : La broca ha perdido 1/16" de calibre

COL 7 : También se observan conos erosionados (Eroded Cones)

COL 8 : Se extrajo para cambiar conjunto de fondo (Bottom Hole Assembly).

La broca en este pozo tuvo limitaciones en cuanto al peso aplicado sobre la misma debido al control de la desviación del pozo (5° @ 3368'); por tal motivo fue extraída prematuramente (Gráfico N° 1).

El costo por pie perforado al término de la primera corrida fue de 12.04 \$/pie resultando mayor que el obtenido en el pozo 7761 Lagunitos (10.25 \$/pie) (Cuadro N° 1).

Al no haber completado su vida útil, se decidió correr esta broca en el pozo 7806 Silla Eq. 8, obteniéndose un costo por pie perforado de 10.43 \$/pie que es ligeramente superior al de los pozos vecinos (9.29 \$/pie) (Cuadro y Gráfico N° 1A)

#### **Parámetros de perforación (2da. corrida):**

Peso sobre la broca	12,000 - 18,000 lbs
Rotación	120 -130 rpm
Presión de bomba	1,200 psi
Caudal	302 gpm
Densidad de lodo	9.3 - 9.6 lbs/gln
Viscosidad de embudo	42 - 48 Seg.
Chorros (1/32")	12 - 11 - 11

#### **Formaciones atravesadas (2da. corrida):**

Chira	42' (100 % lutita)
Verdún	760' (33% lutita, 67% arena)
Pozo	159' (85% lutita, 15% arena)

#### **Condición de salida de la broca:**

Estructura. de corte		Carat. Prin	Ubica.	Cojinet.	Calibre	Otra Carac	Motivo
Interior	Exterior	Desgaste		o Sellos		de desagas	de Extrac
5	5	WT	A	F	1/4"	EC	TD

COL 5 : El sello de los cojinetes ha fallado

COL 6 : La broca ha perdido 1/4" de calibre

COL 8 : Se extrajo por haber alcanzado la profundidad final (total depth).

En broca ha tenido bastante desgaste en su estructura cortadora, posiblemente al perforar la formación Verdún en la 2da. Corrida. Así mismo los sellos de los cojinetes fallaron por las horas totales de rotación (92 hrs.).

#### **4.3.2. BROCA N°2 :**

Esta broca fue corrida en el pozo 7812 Lobo I y ha sido comparada de acuerdo al tramo perforado (1748' - 3735') con las brocas ATJ-1 y ATJ-11 corridas en los pozos vecinos 7811 y 7809 del mismo yacimiento. Esta broca cortó 1987' en 132.5 horas, a una velocidad promedio de 15.02 pies/hora (Cuadro N° 2).

#### **Parámetros de perforación:**

Peso sobre la broca	10,000 - 12,000 lbs.
Rotación	140 -160 rpm
Presión de bomba	1,300 psi
Caudal	280 gpm
Densidad de lodo	9.3 - 9.8 lbs/gln
Viscosidad de embudo	42 - 45 Seg.
Chorros (1/32")	10 - 11 - 11

**Formaciones atravesadas:**

Terebrátula	642' (11% lut., 80% arenis., 09% arena)
Chacra Rep.	560' (68% lut., 28% arenis., 04% arena)
Hélico	690' (46% lut., 40% arenis., 14% arena)
Lobitos	95' (82% lut., 18% arenis.)

**Condición de salida de la broca:**

Estructura. de corte		Carat. Prin	Ubica.	Cojinet.	Calibre	Otra Carac	Motivo
Interior	Exterior	Desgaste		o Sellos		de desagas	de Extrac
6	6	WT	A	F	1/4"	BT	TD

COL 3 : Dientes gastados (Worn Teeth)

COL 5 : Los sellos de los cojinetes han fallado

COL 6 : La broca ha perdido 1/4" de calibre

COL 7 : También se observan dientes rotos

COL 8 : Se extrajo por haber alcanzado la profundidad final.

El excesivo desgaste se debe a la abrasividad de la formación Helico y a las horas de rotación de la broca.

En esta corrida se obtuvieron resultados satisfactorios (Ver Gráfico 2) habiéndose obtenido un costo por pie perforado de 19.80 \$/pie, lográndose un ahorro de \$ 1,615 en comparación con el pozo de menor costo por pie perforado en el área (20.70 \$/pie)

### 4.3.3. BROCA N°3 :

Esta broca fue corrida primeramente en el pozo 7834 Río Bravo y ha sido comparada de acuerdo al tramo perforado (1386' - 2640') con las brocas ATJ-1 y ATJ-11 corridas en el pozo 7429 del mismo yacimiento. Esta broca cortó 1254' en 43.25 horas, a una velocidad promedio de 28.99 pies/hora (Cuadro N° 3).

#### Parámetros de perforación:

Peso sobre la broca	10,000 - 15,000 lbs.
Rotación	100 -120 rpm
Presión de bomba	1,300 psi
Caudal	290 gpm
Densidad de lodo	9.7 - 9.8 lbs/gln
Viscosidad de embudo	42 - 45 Seg.
Chorros (1/32")	11 - 11 - 11

#### Formaciones atravesadas:

Lutitas Tal	114' (94% lutita, 06% arena)
Chacra	140' (80% lut., 14% arenis., 06% arena)
Pariñas Sup.	430' (31% lut., 21% arenis., 10% arena)
Pariñas Inf.	495' (52% lut., 38% arenis., 10% arena)
Palegreda	75' (95% lutita, 05% arenisca)

**Condición de salida de la broca:**

Estructura. de corte		Carat. Prin	Ubica.	Cojinet.	Calibre	Otra Carac	Motivo
Interior	Exterior	Desgaste		o Sellos		de desagas	de Extrac
4	3	FC	N	E	1/16"	WT	TD

COL 3 : Dientes cresta achatada (flat crested wear)

COL 4 : Ubicados en la hilera de nariz (N : nose row)

COL 7 : También se observan dientes gastados

COL 8 : Se extrajo por haber alcanzado la profundidad final

El costo por pie perforado al término de la primera corrida fue de 12.09 \$/pie resultando ligeramente menor que el obtenido en el pozo vecino 7429 Río Bravo (12.20 \$/pie) (Ver gráfico N° 3).

Esta broca fue corrida nuevamente en el pozo 7836 Río Bravo habiéndose obtenido un costo de 14.72 \$/pie el cual es mayor que el costo por pie de los pozos vecinos 7429 y 7836 del mismo yacimiento (Ver cuadro y gráfico N° 3).

El deficiente resultado obtenido con esta broca, se debe a que su rendimiento se vio afectado por el desgaste ocurrido en la estructura de corte tanto en la 1ra. como en la 2da. corrida, al haber atravesado una gran sección de areniscas y arenas conglomeradas de las formaciones Pariñas, las cuales son abrasivas.

**Parámetros de perforación (2da. corrida):**

Peso sobre la broca	10,000 - 15,000 lbs.
Rotación	100 -120 rpm
Presión de bomba	1,300 psi
Caudal	280 gpm
Densidad de lodo	9.7 - 9.8 lbs/gln
Viscosidad de embudo	42 - 45 Seg.
Chorros (1/32")	10 - 11 - 11

**Formaciones atravesadas (2da. corrida) :**

Lutitas Tal	174' (93% lutita, 07% arena)
Chacra	140' (88% lut., 12% arena)
Pariñas Sup.	260' (40% lut., 05% arenis., 55% arena)
Pariñas Inf.	420' (50% lut., 40% arenis., 10% arena)
Palegredda	100' (77% lutita, 23% arenisca)

**Condición de salida de la broca (2da. corrida) :**

Estructura. de corte		Carat. Prin Desgaste	Ubica.	Cojinet. o Sellos	Calibre	Otra Carac de desagas	Motivo de Extrac
Interior	Exterior						
7	6	FC	A	E	1/8"	WT	TD

COL 3 : Dientes cresta achatada (flat crested wear)

COL 4 : Ubicados en todas las hileras

COL 8 : Se extrajo por haber alcanzado la profundidad final.

El desgaste en esta broca se debe principalmente a la arena perforada en la formación Pariñas la cual es gruesa y abrasiva y a las horas totales de rotación de la broca (96 hrs.).

#### 4.3.4. BROCA N°4 :

Esta broca fue corrida en el pozo 7717 Leones y ha sido comparada de acuerdo al tramo perforado (2266' - 4591) con las brocas X3A y ATJ-11 corridas en los pozos vecinos 7352 y 7356 Leones. Esta broca cortó 2325' en 115.75 horas, a una velocidad promedio de 20.09 pies/hora (Cuadro N° 4).

#### Parámetros de perforación:

Peso sobre la broca	:	20,000 - 30,000 lbs.
Rotación	:	90 -140 rpm
Presión de bomba	:	1,600 psi
Caudal	:	298 gpm
Densidad de lodo	:	9.4 - 9.5 lbs/gln
Viscosidad de embudo	:	42 - 45 Seg.
Chorros (1/32")	:	10 - 10 - 11

#### Formaciones atravesadas:

Terebrátula	:	154' (30% lut., 23% arenis., 47% arena)
Palegreda Rep	:	320' (93% lut., 07% arenis.)
Lutitas Tal.	:	420' (50% lut., 40% arenis., 10% arena)
Terebrátula Ins	:	320' (75% lut., 19% arenis., 06% arena)
Palegreda Ins	:	1051' (77% lut., 23% arenis.)

**Condición de salida de la broca:**

Estructura. de corte		Carat. Prin Desgaste	Ubica.	Cojinet. o Sellos	Calibre	Otra Carac de desagas	Motivo de Extrac
Interior	Exterior						
2	3	WT	A	F	1/16"	EC	HR

COL 3 : Dientes gastados (Worn Teeth)

COL 5 : Los sellos de los cojinetes han fallado

COL 7 : También, se observan conos erosionados

COL 8 : Se extrajo por horas de rotación.

Si bien los sellos en esta broca están fallados debido a las horas de rotación (115 hrs.), su estructura de corte está conservada.

En esta corrida se obtuvieron resultados satisfactorios (Ver Gráfico N° 4) habiéndose obtenido un costo por pie perforado de 16.46 \$/pie, en comparación con el pozo de menor costo por pie perforado en el área (pozo 7356 Leones : 18.58 \$/pie) lográndose un ahorro de \$ 4,928.

## **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

1. Las brocas ATJ-05 tienen un buen rendimiento cuando perforan formaciones suaves y de baja resistencia a la compresión como son las arcillas, lutitas y las areniscas poco consolidadas.
2. La broca N°1 en la primera corrida no obtuvo el rendimiento esperado, tuvo limitaciones cuanto al peso sobre la broca por la desviación del pozo. Sin embargo, como se puede observar en el gráfico N° 1, de haber continuado perforando se podría haber igualado el costo por pie del pozo vecino (como se ve en el gráfico N° 1).
3. Las brocas Nos 2 y 4 tuvieron rendimientos satisfactorios, logrando superar significativamente a las brocas ATJ-1 Y ATJ-11 logrando ahorros de \$ 1,615 y \$ 4,928 respectivamente.
4. La broca N° 3 , en su primera corrida, igualó el rendimiento de las brocas corridas en los pozos vecinos.

En la segunda corrida, el rendimiento fue menor. El bajo rendimiento de esta broca se debió al desgaste sufrido en la estructura de corte al atravesar grandes secciones de formaciones abrasivas (formaciones Pariñas superior e Inferior).

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda utilizar las brocas ATJ-05 para perforar grandes secciones de formaciones suaves como son las arcillas y lutitas.
2. Para las formaciones abrasivas, probar tipos de brocas que tengan mayor protección al calibre y dureza de los insertos como son..
3. Coordinar con los fabricantes de brocas a fin de probar nuevos tipos de brocas con el fin de poder establecer qué tipos de brocas son los más adecuados para las formaciones del Noroeste; considerando que el objetivo principal es optimizar la perforación y lograr reducir costos y tiempo de perforación.

## 5.3 CUADROS, ANEXOS Y GRAFICOS

### 5.3.1 CUADROS:

#### CUADRO N° 1

#### COMPARACION DE COSTOS POR TRAMOS PERFORADOS

#### EVALUACION DE BROCA ATJ-05 N° 1 SERIE D20PK

POZO	7799 LAGUNITOS	7761 LAGUNITOS	7714 LAGUNITOS
TRAMO PERF. (PIES)	1440 - 3368	1440 - 3368	1440 - 3368
BROCAS UTILIZADAS	ATJ-05	ATJ-1 X-3A	ATJ-1 FDS
COSTO DE BROCAS (US \$)	3,323 (67%)	412 (29%) + 1,099 (100%) = 1,511	405 (37%) + 957 (87%) = 1,362
PIES CORTADOS	1,918	466' + 1,452' = 1,918'	666' + 1,252' = 1,918'
TIEMPO DE ROTACION (HRS.)	68.00	20.75 + 37.25 = 58.00	36.50 + 45.00 = 81.50
TIEMPO DE VIAJE (HRS.)	4.50	7.50	7.50
TIEMPO DE CIRC.(HRS.)	1.00	2.00	2.00
COSTO EQUIPO (DOLARES/HR)	269	269	269
RATE DE PERF. (PIE/HORA)	28.21	33.07	23.53
COSTO DE PERF. TRAMO (DOLARES)	23,095	19,669	25,841
COSTO POR PIE (DOLARES)	12.04	10.25	13.47
DIFERENCIA DE COSTOS (DOLAR)	--	(-) 3,426	(+) 2,746

**CUADRO N° 1A****COMPARACION DE COSTOS POR TRAMOS PERFORADOS****EVALUACION DE BROCA ATJ-05 N° 1 REP. SERIE D20PK**

<b>POZO</b>	<b>7806 SILLA</b>	<b>7788 SILLA</b>	<b>7707 SILLA</b>
TRAMO PERF. (PIES)	2118' - 3000'	2118' - 3000'	2118' - 3000'
BROCAS UTILIZADAS	ATJ-05 (USADA)	ATJ-11 (USADA)	ATJ-11 (NUEVA)
COSTO DE BROCAS (US \$)	1,635 (33%)	1,297 (40%)	2,014 (62%)
PIES CORTADOS	882	882	882
TIEMPO DE ROTACION (HRS.)	24.25	24.00	18.75
TIEMPO DE VIAJE (HRS.)	5.00	5.00	5.00
TIEMPO DE CIRC.(HRS.)	1.00	1.00	1.00
COSTO EQUIPO (DOLARES/HR)	249	249	249
RATE DE PERF. (PIE/HORA)	36.49	36.75	46.87
COSTO DE PERF. TRAMO (DOLARES)	9,197	8,789	8,149
COSTO POR PIE (DOLARES)	10.43	9.96	9.29
DIFERENCIA DE COSTOS (DOLAR)	--	(-) 388	(-) 983

**CUADRO N° 2****COMPARACION DE COSTOS POR TRAMOS PERFORADOS****EVALUACION DE BROCA ATJ-05 N° 2 SERIE D19PK**

<b>POZO</b>	<b>7812 LOBO I</b>	<b>7811 LOBO I</b>	<b>7809 LOBO I</b>
<b>TRAMO PERF. (PIES)</b>	1748' - 3735'	1748' - 3735'	1748' - 3544'
<b>BROCAS UTILIZADAS</b>	ATJ-05	ATJ-1 ATJ-11 ATJ-11	ATJ-1 ATJ-11 ATJ-11 REP.
<b>COSTO DE BROCAS (US \$)</b>	4,988 (100%)	482 (44%) + 3,242 (100%) + 677 (21%) = 4,401	352 (32%) + 3,242 (100%) + 714 (22%) = 4,308
<b>PIES CORTADOS</b>	1,987	502' + 1,285' + 200' = 1,987'	139' + 1,362' + 295' = 1,976
<b>TIEMPO DE ROTACION (HRS.)</b>	132.50	37.00 + 86.25 + 14.75 = 138.00	10.25 + 85.00 + 25.00 = 120.25
<b>TIEMPO DE VIAJE (HRS.)</b>	4.5	9.00	9.00
<b>TIEMPO DE CIRC.(HRS.)</b>	1.00	2.75	2.75
<b>COSTO EQUIPO (DOLARES/HR)</b>	249	249	249
<b>RATE DE PERF. (PIE/HORA)</b>	15.02	14.40	14.94
<b>COSTO DE PERF. TRAMO (DOLARES)</b>	39,350	41,689	37,176
<b>COSTO POR PIE (DOLARES)</b>	19.80	20.98	20.70
<b>DIFERENCIA DE COSTOS (DOLAR)</b>	--	(+) 2,414	(+) 1,615

**CUADRO N° 3****COMPARACION DE COSTOS POR TRAMOS PERFORADOS****EVALUACION DE BROCA ATJ-05 N° 3 SERIE K97PH**

<b>POZO</b>	<b>7834 RIO BRAVO</b>	<b>7429 RIO BRAVO</b>	<b>7836 RIO BRAVO</b>
TRAMO PERF. (PIES)	1386' - 2640'	1386' - 2640'	1,506' - 2600'
BROCAS UTILIZADAS	ATJ-05	ATJ-1 ATJ-11	ATJ-05 (USADA)
COSTO DE BROCAS (US \$)	3,142 (63%)	730 (66%) + 1,621 (50%) = 2,351	1,846 (37%)
PIES CORTADOS	1,254'	466' + 788' = 1,254'	1,094
TIEMPO DE ROTACION (HRS.)	43.25	20.00 + 24.50 = 44.50	52.25
TIEMPO DE VIAJE (HRS.)	4.00	5.50	4.00
TIEMPO DE CIRC.(HRS.)	1.00	2.00	1.00
COSTO EQUIPO (DOLARES/HR)	249	249	249
RATE DE PERF. (PIE/HORA)	28.99	28.18	20.94
COSTO DE PERF. TRAMO (DOLARES)	15,156	15,299	16,101
COSTO POR PIE (DOLARES)	12.09	12.20	14.72
DIFERENCIA DE COSTOS (DOLAR)	--	(+) 143	(+) 2,877

**CUADRO N° 4****COMPARACION DE COSTOS POR TRAMOS PERFORADOS****EVALUACION DE BROCA ATJ-05 N° 4 SERIE K92PH**

<b>POZO</b>	<b>7717 LEONES</b>	<b>7356 LEONES</b>	<b>7352 LEONES</b>
TRAMO PERF. (PIES)	2266' - 4591'	2266' - 4591'	2266' - 4591'
BROCAS UTILIZADAS	ATJ-05	X-3A X-3A ATJ-11	X-3A X-3A ATJ-11
COSTO DE BROCAS (US \$)	4,988 (100%)	462 (42%) + 1,099 (100%) + 3,177 (98%) = 4,783	751 (68%) + 1,099 (100%) + 3,242 (100%) = 5,092
PIES CORTADOS	2,325'	403' + 864' + 1,058 = 2325	722' + 433' + 1,170 = 2325
TIEMPO DE ROTACION (HRS.)	115.75	19.75 + 29.75 + 77.50 = 127.00	26.50 + 23.75 + 79.50 = 129.75
TIEMPO DE VIAJE (HRS.)	6.50	13.00	13.00
TIEMPO DE CIRC.(HRS.)	1.50	3.00	3.00
COSTO EQUIPO (DOLARES/HR)	269	269	269
RATE DE PERF. (PIE/HORA)	20.09	18.31	17.92
COSTO DE PERF. TRAMO (DOLARES)	38,277	43,205	44,299
COSTO POR PIE (DOLARES)	16.46	18.58	19.05
DIFERENCIA DE COSTOS (DOLAR)	--	(+) 4,928	(+) 6,022

**5.3.2 ANEXOS:****ANEXO I****DATOS PARA EL GRAFICO N° 1****A) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7761 LAGUNITOS :**

Del Cuadro N° 1 y de las ecuaciones (2), (3) y (4) (Página 23) :

$$M = (-) (3323/269 + 5.5) = (-) 17.9 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N = (3323 + 269*5.5) / 10.25 = 468.5 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 80 hrs., Y = 2562 pies

**B) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7714 LAGUNITOS**

Del Cuadro N° 1 y de las ecuaciones (2), (3) y (4):

$$M = (-) (3323/269 + 5.5) = (-) 17.9 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N = (3323 + 269*5.5) / 13.47 = 357.5 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 80 hrs., Y = 1955.2 pies

**RENDIMIENTO BROCA ATJ-05 N° 1 POZO 7799 LAGUNITOS**

<b><u>HORAS DE ROTACION</u></b>	<b><u>PIES CORTADOS</u></b>
<b>(X)</b>	<b>(Y)</b>
0	0
5	167
10	312
15	419
20	517
25	628
30	740
35	853
40	1012
45	1177
50	1367
55	1550
60	1698
65	1866
68	1918

Con estos datos se grafican en coordenadas cartesianas las Rectas de igual costo (Break-even drilling cost), así como también el rendimiento de la broca (Gráfico N° 1)

## ANEXO IA

### DATOS PARA EL GRAFICO N°. 1A

#### **A) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7788 SILLA :**

Del Cuadro N° 1A y de las ecuaciones (2), (3) y (4) (Página 23) :

$$M \quad - \quad (-) (1665/249 + 6.0) \quad = \quad (-) 12.7 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N \quad = \quad (1665 + 249*6.0) / 9.96 \quad = \quad 317.2 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 28 hrs., Y = 1016 pies

#### **B) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7707 SILLA**

Del Cuadro N° 1A y de las ecuaciones (2), (3) y (4):

$$M \quad = \quad (-) (1665/249 + 6.0) \quad = \quad (-) 12.7 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N \quad = \quad (1665 + 249*6.0) / 9.29 \quad = \quad 340.4 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 28 hrs., Y = 1091 pies

**RENDIMIENTO BROCA ATJ-05 N° 1 REP. POZO 7806 SILLA**

<b>HORAS DE ROTACION</b>	<b>PIES CORTADOS</b>
<b>(X)</b>	<b>(Y)</b>
0	0
4	191
8	355
12	508
16	676
20	787
24¼	882

Con estos datos se grafica las Rectas de igual costo (Break-even drilling cost), así como también el rendimiento de la broca (Gráfico N° 1A).

**ANEXO II**

**DATOS PARA EL GRAFICO N° 2**

**A) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7811 LOBO I :**

Del Cuadro N° 2 y de las ecuaciones (2), (3) y (4):

$$M = (-) (4988/249 + 5.5) = (-) 25.5 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N = (4988 + 249*5.5) / 20.98 = 303.0 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 140 hrs., Y = 1967 pies

**B) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7809 LOBO I**

Del Cuadro N° 2 y de las ecuaciones (2), (3) y (4):

$$M = (-) (4988/249 + 5.5) = (-) 25.5 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N = (4988 + 249*5.5) / 20.70 = 307.1 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 140 hrs., Y = 1993.2 pies

**RENDIMIENTO BROCA ATJ-05 N° 2 POZO 7812 LOBO I**

<b><u>HORAS DE ROTACION</u></b>	<b><u>PIES CORTADOS</u></b>
<b>(X)</b>	<b>(Y)</b>
0	0
10	178
20	368
30	546
40	671
50	914
60	1053
70	1180
80	1218
90	1434
100	1586
110	1713
120	1853
130	1929
132½	1987

Con estos datos se grafican las Rectas de igual costo (Break-even drilling cost), así como también el rendimiento de la broca (Gráfico N° 2).

### ANEXO III

#### DATOS PARA EL GRAFICO N° 3

##### A) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7429 RIO BRAVO :

Del Cuadro N° 3 y de las ecuaciones (2), (3) y (4):

$$M = (-) (3142/249 + 5.0) = (-) 17.6 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N = (3142 + 249*5.0) / 12.20 = 359.6 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 45 hrs., Y = 1279.0 pies (ecuación 2)

#### RENDIMIENTO BROCA ATJ-05 N° 3 POZO 7834 RIO BRAVO

HORAS DE ROTACION	PIES CORTADOS
(X)	(Y)
0	0
5	138
10	336
15	480
20	602
25	757
30	908
35	1062
40	1210
43¼	1254

**RENDIMIENTO BROCA ATJ-05 N° 3 REP. POZO 7836 RIO BRAVO**

<b>HORAS DE ROTACION</b>	<b>PIES CORTADOS</b>
<b>(X)</b>	<b>(Y)</b>
0	0
5	129
10	230
15	349
20	462
25	565
30	656
35	781
40	891
45	997
50	1056
52¼	1094

Con estos datos se grafican la Recta de igual costo (Break-even drilling cost), así como también los rendimientos de la broca (Gráfico N° 3).

**ANEXO IV****DATOS PARA EL GRAFICO N° 4****A) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7356 LEONES**

Del Cuadro N° 4 y de las ecuaciones (2), (3) y (4)

$$M = (-) (4988/269 + 8.0) = (-) 26.5 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N = (4988 + 269*8.0) / 18.58 = 384.3 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 120 hrs., Y = 2124.5 pies (ecuación 2)

**B) RECTA DE IGUAL COSTO POZO 7352 LEONES :**

Del Cuadro N° 4 y de las ecuaciones (2), (3) y (4)

$$M = (-) (4988/269 + 8.0) = (-) 26.5 \text{ hrs (intersección eje X)}$$

$$N = (4988 + 269*8.0) / 19.05 = 374.8 \text{ pies (intersección eje Y)}$$

Para X = 120 hrs., Y = 2072.0 pies (ecuación 2)

**RENDIMIENTO BROCA ATJ-05 N° 4 POZO 7717 LEONES**

<b>HORAS DE ROTACION</b>	<b>PIES CORTADOS</b>
<b>(X)</b>	<b>(Y)</b>
0	0
10	289
20	592
30	865
40	1088
50	1285
60	1498
70	1654
80	1786
90	1956
100	2096
110	2227

Con estos datos se grafican las Rectas de igual costo (Break-even drilling cost), así como también el rendimiento de la broca (Gráfico N° 4).

GRAFICO "A"

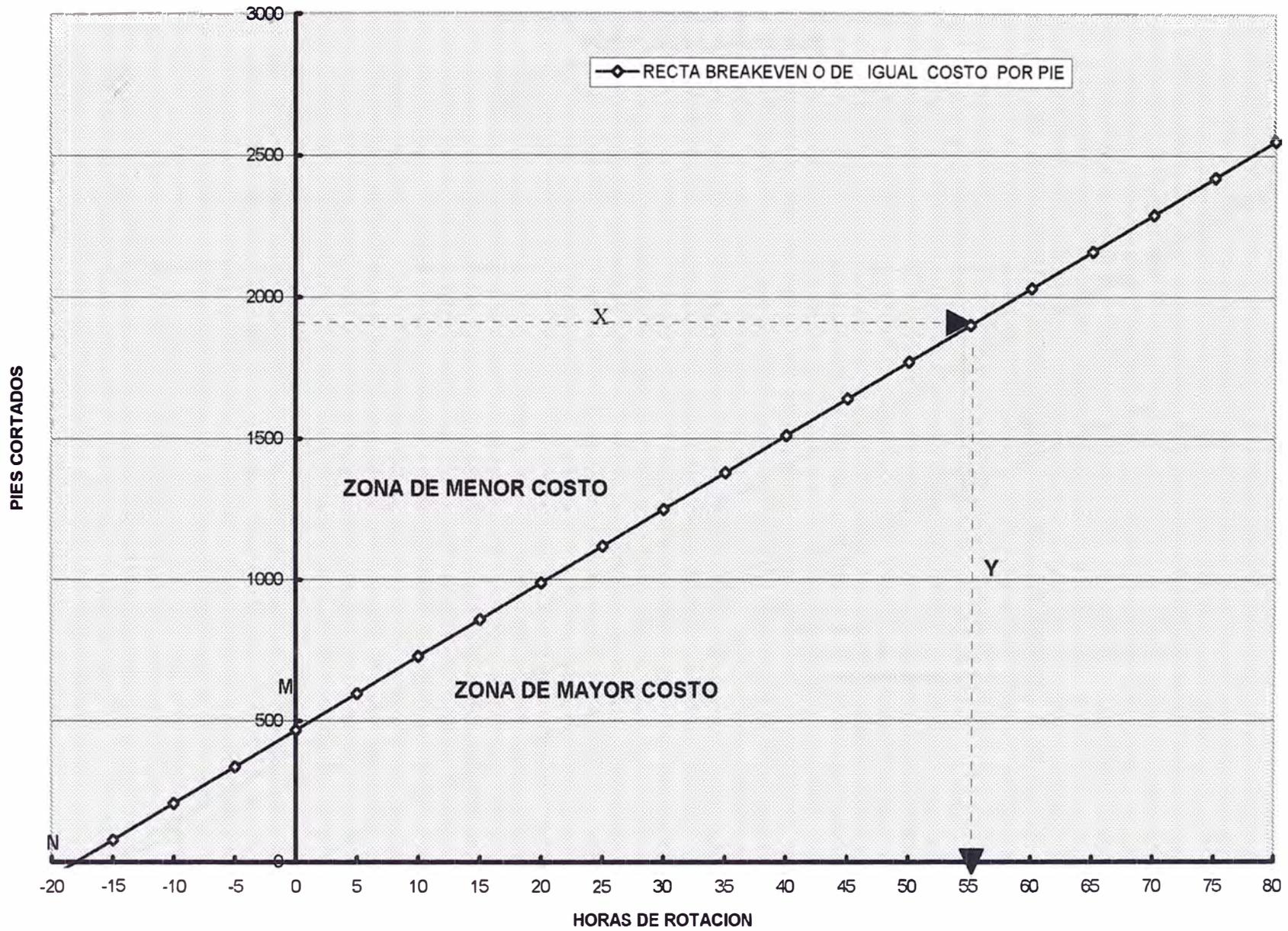


GRAFICO N°1  
 RENDIMIENTO BROCA N°1 SERIE D20PK  
 POZO 7799 LAGUNITOS

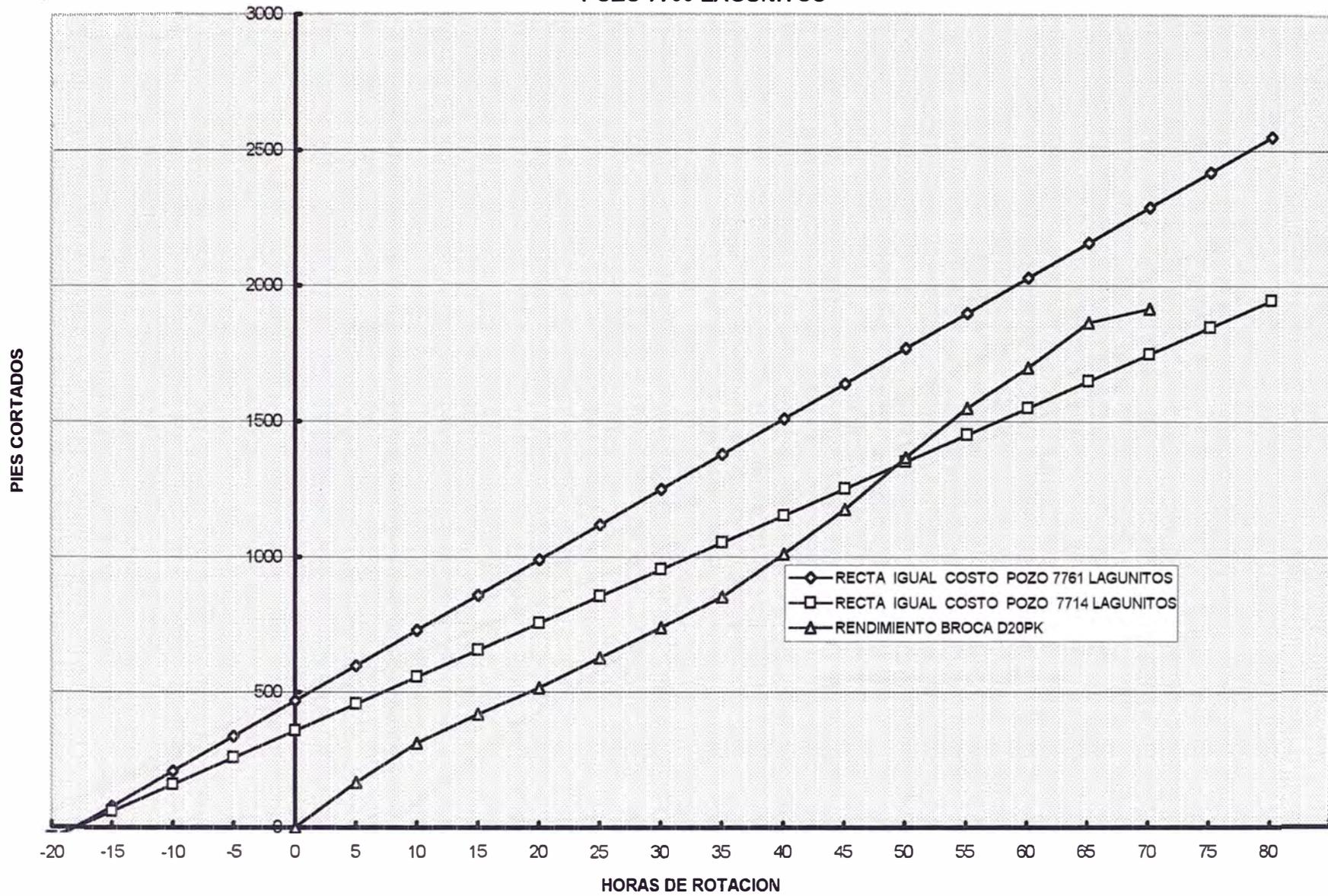


GRAFICO N°1A  
RENDIMIENTO BROCA N°1 SERIE D20PK REP  
POZO 7806 SILLA

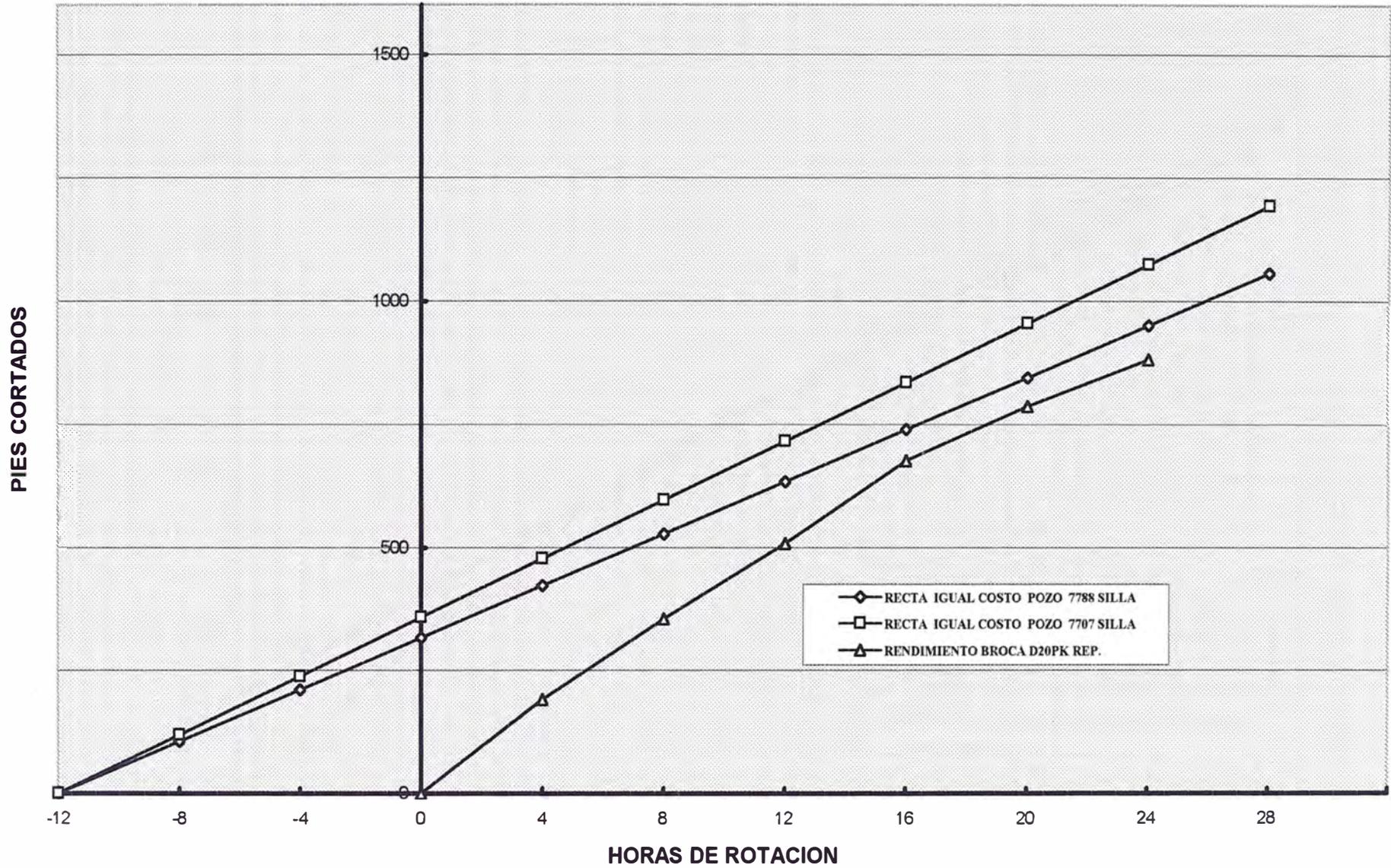
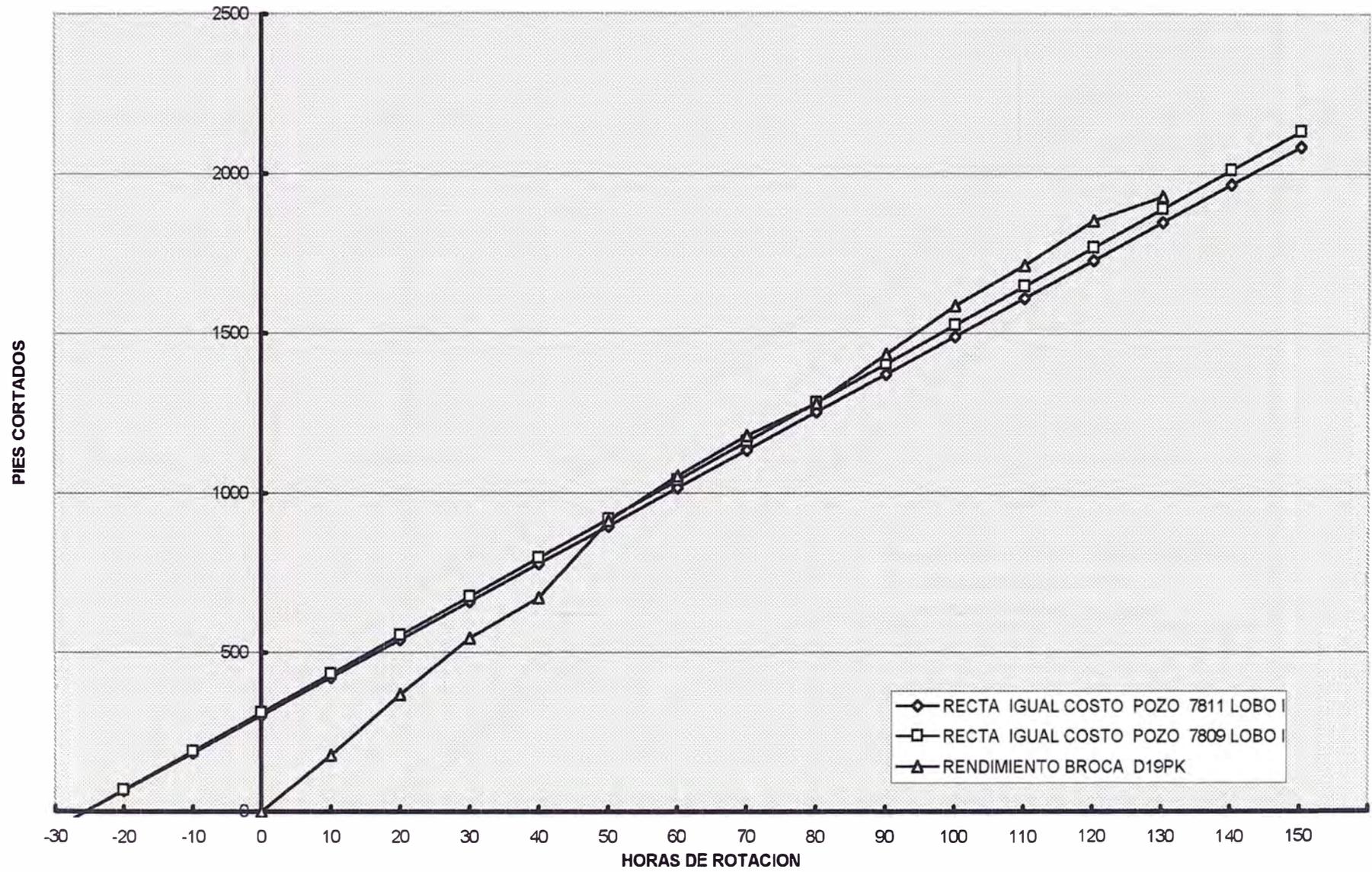


GRAFICO N° 2  
RENDIMIENTO BROCA N°2 SERIE D19PK  
POZO 7812 LOBO I



**GRAFICO N°3**  
**RENDIMIENTO BROCA N°3 SERIE K97PH**  
**POZOS 7834 Y 7836 RIO BRAVO**

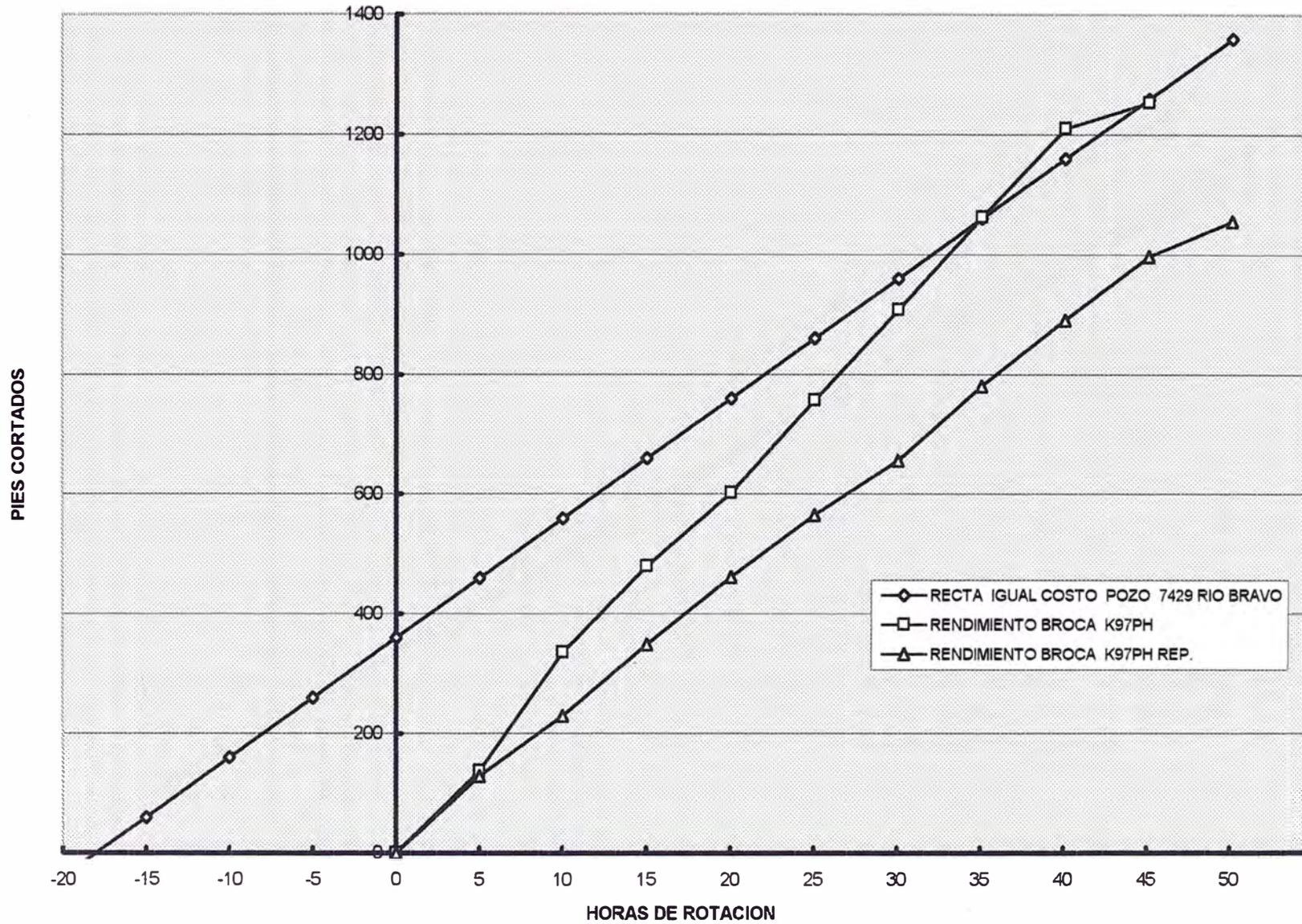


GRAFICO N°4  
RENDIMIENTO BROCA N°4 SERIE K92PH  
POZO 7717 LEONES

