

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO,  
GAS NATURAL Y PETROQUÍMICA**



**“EVALUACIÓN TÉCNICO – ECONÓMICO DE LA  
BROCHA HUGHES 7 7/8: ATJOO”  
EN LOS POZOS 7983 – BALLENA / 7887 – LA TUNA**

**TITULACIÓN POR EXPERIENCIA PROFESIONAL  
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE PETROLEO**

**ELABORADO POR:  
JUAN CARLOS ALIAGA RODRIGUEZ**

**PROMOCION 1985 – 1**

**LIMA – PERU  
2008**

**“EVALUACION TECNICO – ECONOMICO”**

**“BROCA 7 7/8: ATJOO ”**

**POZO 7983 – BALLENA / POZO 7887 – LA TUNA**

**INDICE**

**1. SUMARIO**

**2. INTRODUCCION**

**3. OBJETIVO**

**4. CONCEPTOS GENERALES**

**4.1 Brocas de Perforación**

**4.1.1 Tipos de broca**

**4.1.2 Determinación del rendimiento de las brocas**

**4.2 Partes de la broca**

**4.2.1 Estructuras cortadoras**

**4.2.2 Cojinetes**

**4.2.3 Cuerpo de la broca**

**4.3 Avances tecnológicos en el diseño de las brocas**

**4.3.1 Estructura cortadora – brocas AT**

**4.3.2 Cojinetes journal – brocas AT**

**4.3.3 Sistema de lubricación – brocas AT**

**4.4 Sistema de graduación del desgaste de brocas**

**4.5 Factores que afectan la velocidad de Perforación**

**4.6 Problemas durante la perforación de pozos**

**4.7 Conjunto de fondo (Bottom Hole Assembly)**

**4.7.1 Control del ángulo del pozo**

**4.7.2 Teoría del Péndulo****4.7.3 Conjunto de Hoyo Empacado****5. CONCEPTOS DE CALCULO****5.1 El costo de Perforación****5.2 Consideraciones****5.3 Determinación del Costo Equivalente****6. EVALUACION TECNICO ECONOMICO - POZO 7983 – BALLENA****6.1 Rendimiento de la broca AT-J00****6.2 Costo \$ / pie, promedio de la zona****6.3 Determinación de la recta de Costos Equivalentes****6.4 Ahorros en costos de Perforación (real versus estimado)****7. EVALUACION TECNICO ECONOMICO – POZO 7887- LA TUNA****7.1 Rendimiento de la broca AT-J00****7.2 Costo \$ / pie, promedio de la zona****7.3 Determinación de la recta de Costos Equivalentes****7.4 Ahorro en costo de Perforación (real versus estimado).****8. CONCLUSIONES****9. RECOMENDACIONES****10. TABLAS**

- ◆ **Tabla No 1 : Performance detallada de la broca 7 7/8” AT-J00 – Pozo 7983**
- ◆ **Tabla No 2 : Costo \$ / pie – Broca AT-J00 – Ballena**

- ◆ **Tabla No 3 : Datos de Pozos de Referencia**
- ◆ **Tabla No 4 : Performance detallada de la broca 7 7/8" AT-J00 – Pozo 7887**
- ◆ **Tabla No 5 : Costo por pie – Pozo 7887**
- ◆ **Tabla No 6 : Costo promedio \$ / pie Yacimiento La-Tuna**
- ◆ **Tabla No7 : Comparación de costos por pozo en Yacimiento Ballena**
- ◆ **Tabla No8 : Comparación de costos por pozo en Yacimiento La- Tuna**

## **11. GRAFICOS**

- ◆ **Gráfico No 1 : Gráfico costo \$ / pie – Pozo: 7983**
- ◆ **Gráfico No 2 : Gráfico igual costo – Pozo: 7983**
- ◆ **Gráfico No 3 : Gráfico costo/pie – Pozo: 7887**
- ◆ **Gráfico No 4 : Rendimiento de la broca - Pozo: 7887**
- ◆ **Gráfico No 5 : Comparación Costo \$ / pie entre pozos – La Tuna**
- ◆ **Gráfico No 6 : Comparación Costo \$ / pie en área – La Tuna**
- ◆ **Gráfico No 7 : Comparación Costo \$ / pie – Ballena**
- ◆ **Gráfico No 8 : Comparación de costos de perforación – La Tuna**
- ◆ **Gráfico No 9 : Comparación de operaciones – La Tuna**

**SUMARIO**

*Durante el tiempo que la empresa Petro-Perú tenía a cargo la supervisión del área del Lote "X", existía el "Departamento Técnico de Petróleo", que era un ente asesor en Operaciones Nor-Oeste y que tenía como finalidad recepcionar la información proveniente de Lima. Este departamento consistía de 2 divisiones: La división de Geología (sección Geología y evaluación de Formaciones), y la división Ingeniería de Petróleo quien coordinaba con el Dpto. de **Perforación** en la cementación, tapones de abandono ó lodo de perforación etc.*

*El Dpto. de Perforación era un ente autónomo que se encargaba de la parte operativa de la perforación de los pozos de petróleo tal como la supervisión, control, eficiencia, rendimiento y la tarea de ir mejorando los factores para tener un óptimo rate de penetración.*

*Ello condujo a que se buscara nuevas alternativas de aplicación. Es así que la empresa Hughes Tools Company desarrolla una nuevo tipo de broca de insertos con las mismas características que la broca AT-J05, con la diferencia que la nueva tiene los insertos de carburo de tungsteno más largos y mejor diseño para formaciones suaves medianamente duras.*

*La finalidad de usar este tipo de broca, era la de aprovechar el mayor tamaño de sus insertos de carburo de tungsteno, lo cual permitió lograr una mayor penetración con respecto a las brocas tipo ATJ05, que son las que han obtenido el mayor rendimiento en este tipo de formaciones suaves ó moderadamente duras.*

*Normalmente en los campos de Ballena se han utilizado dos brocas para perforar una profundidad promedio de 3.700 pies, utilizando un promedio de 130 horas de rotación. Con la broca tipo AT-J00, se usó una sola para perforar una profundidad de 3515 pies en 82 horas de rotación, mejorando la penetración promedio de 26.5 pies/hora a 40 pies/hora, lográndose así un adelanto de 2 5/6 días en la perforación del pozo y, por ende, obteniéndose un considerable ahorro en los costos de perforación.*

## 2. INTRODUCCION

*Las operaciones Noroeste (Lote X), operada en ese entonces por la empresa Petróleos del Perú y que actualmente es operada por la empresa Petrobrás Energía Perú, se encuentra situado en la Costa norte del Perú a 50 Kilómetros, al Norte de la ciudad de Talara.*

*El Lote "X" comprende 17 yacimientos, dentro de los cuales se encuentran los yacimientos "La Tuna" y "Ballena", yacimientos donde se han llevado a cabo la perforación de pozos con brocas de insertos Tipo ATJ-05 (código IADC: 4-1-7). El rendimiento de este tipo de broca en estas áreas era aceptable, pero debido a que la compañía Hughes Tools desarrolla una nueva broca de insertos Tipo ATJ-00 (código IDAC: 4-1-5) con características, previa evaluación técnica, mejores al área a ser desarrollada, es que se decide hacer uso de esta broca en la perforación de los pozos 7983 (Ballena) y 7887 (La Tuna). Esta broca así como la broca ATJ-05, es usada para formaciones suaves a medianamente duras y para una profundidad promedio de 3.500 pies.*

*El área del Lote "X", se caracteriza por presentar una geología muy fallada y bastante heterogénea en cuanto a su litología. Esto repercute en la velocidad de perforación que, en muchas ocasiones, se presentan problemas particularmente de desviación de los pozos.*

*Es importante mencionar que las conclusiones a que se llega son subjetivas y siempre estarán sujetas a las posibilidades de que sean otras las causas, sin embargo; si se logra subsanar lo indicado pondremos mediante pruebas y errores conseguir la optimización en nuestros campos del nor-oeste y sobretodo en otras operaciones cuyos yacimientos sean nuevos. Por lo tanto, cabe mencionar que la velocidad de perforación y comportamiento de la broca son una función de la resistencia que presenta la roca durante la perforación. La determinación práctica de la resistencia de un material no es simplemente materia de experimentos o pruebas de carga hasta que el material se rompa e informar luego que un material se corta mas que el otro, sino que se debe decidir bajo que condiciones de carga se quiere conocer la resistencia. Esto casi nunca será por simple compresión, tensión o corte.*

*El Ingeniero de perforación esta interesado fundamentalmente en la resistencia de las rocas bajo las condiciones que prevalece en las inmediaciones de penetración de la broca. Por esto, como producto de las investigaciones tendientes a mejorar el diseño de las brocas, la Cía. Hughes Tool, ha fabricado la broca de insertos ATJ-00 (código IADC: 4-1-5 ), la que por tener en su estructura de corte los insertos de carburo de tungsteno más largos, está diseñada para obtener mejores rates de penetración que las brocas ATJ-05 cuando se perfora grandes secciones de lutitas, arcillas y areniscas poco consolidadas.*

### **3. OBJETIVO**

*El objetivo del presente informe es mostrar los resultados del comportamiento y rendimiento obtenido por la broca AT-J00 en los pozos 7983-Ballena y 7887-La-Tuna; con finalidad de evaluar su uso en nuestras operaciones.*

*Para tal efecto se comparó su rendimiento con el obtenido por las brocas ATJ-05 en los pozos 7954, 7956, y 7877 del yacimiento de Ballena y los pozos 7923 y 7888 del yacimiento de La Tuna, cuya litología son similares.*

### **4. CONCEPTOS GENERALES**

#### **4.1 BROCAS DE PERFORACION**

*La broca de perforación es la primera en ser bajada al fondo del pozo, la cual se encuentra enroscada al extremo inferior del substituto de la broca; luego sigue el "bottom hole assembly", la columna de "drill collars", la columna de la tubería de perforación, "kelly" y los accesorios del equipo de perforar. Primero se establece la circulación de fluido de perforación por el interior de la sarta de perforar y el fluido es descargado a través de ductos en la broca de modo de que esta y el fondo del pozo se mantengan limpios.*

*Las brocas a ser usadas en cualquier momento sean estas tricónicas o P.D.C. se rigen principalmente por las característica de la roca que se va a perforar y las condiciones bajo las cuales esto debe hacerse. Los estratos que están tendidos horizontalmente son más fáciles de*

perforar que las capas inclinadas, en las que es necesario usar mayor cantidad de revoluciones y menos peso para mantener la verticalidad del pozo.

#### **4.1.1 TIPOS DE BROCAS**

Muchos tipos de brocas se usan en la perforación rotativa. Su selección depende de la naturaleza de la formación que se va a penetrar, su grado de inclinación y de la preferencia individual del operador. Con un diseño conveniente de los elementos cortantes, se desarrolla una acción raspante, cortante y desmenuzante sobre la formación expuesta en el fondo del pozo, que desintegra el material en fragmentos finos granulares de diferentes tamaños que luego son llevados a la superficie por el lodo de perforación para su posterior análisis por intermedio del Geólogo.

Las brocas a chorros usan boquillas reemplazables para dirigir el fluido al fondo del pozo. La posibilidad de cambiarlos permite seleccionar el diámetro de boquilla necesario previo estudio mediante la hidráulica.

De modo general las brocas de perforación se diseñan para 4 clases de formación: (1) formaciones blandas a medias, (2) formaciones abrasivas y no abrasivas medias, (3) formaciones duras abrasivas y (4) formaciones extremadamente abrasivas duras.

Existen en el mundo varias compañías fabricantes de brocas la mayoría americanas tales como: **Reed, Security, Smith y Hughes** etc., esta última la que ha desarrollado la broca de insertos Tipo AT-J00.

#### **4.1.2 DETERMINACION DEL RENDIMIENTO DE LAS BROCAS**

Cuando se extrae del pozo una broca usada, se debe registrar una información completa de la misma. De este modo se puede tener un mejor conocimiento de cómo ha sido usada conjuntamente con su estado.

El examen de una broca usada puede revelarse un gran número de detalles. Una broca que tuvo un gran rendimiento bajo buenas condiciones, sale en buen estado del pozo, aunque,



*desgastada en su diámetro externo, las rolas sin su dureza para girar sin algunos insertos y otros reducido en su longitud y erosionada en sus partes.*

*La mejor forma de obtener una evaluación técnica 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.*

## **4.2 PARTES DE LA BROCA**

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

### **4.2.1 ESTRUCTURAS CORTADORAS**

*Están montadas sobre pernos pilotos, los cuales constituyen una parte del cuerpo de la broca. Los elementos de corte de las brocas y conos, son hileras circunferenciales de dientes extendidas sobre cada cono y entrelazadas sobre las hileras de los conos adyacentes.*

*Estos son de dos tipos:*

- ◆ **Dientes de acero:** Los cuales son maquinados desde un cono básico de material (Fig. 1B).
- ◆ **Insertos de carburo de tungsteno:** Los que son colocados a presión en agujeros perforados en la superficie de los conos (Fig. 1A).

*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 delgadas 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 cuerpo más robustos y cojinetes más grandes.*

*Para entender cómo la geometría de los conos puede afectar la forma en que los dientes cortan el terreno, en la Fig. 2 se muestra un cono para formaciones blandas. Estos conos están diseñados para apartarse sustancialmente de la acción de 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 de un 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 obtienen con la excentricidad de los ejes de los conos (Fig. 2A).

Las brocas para formaciones duras tienen sus conos que están más cerca y por lo tanto tienen muy poca o ninguna excentricidad. Por ello rompen el terreno por resquebrajamiento (Fig. 3).

#### **4.2.2 COJINETES**

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

- ◆ **Cojinete estándar 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.
- ◆ **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 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 “0” ring.

#### **4.2.3 CUERPO DE LA BROCA**

El cuerpo de la broca consta de las siguientes partes:

- ◆ Una conexión roscada que une la broca con la columna de perforar.
- ◆ Tres ejes del cojinete donde va montado 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.

#### **4.3 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:

##### **4.3.1 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).

##### **4.3.2 COJINETES JOURNAL - BROCAS AT**

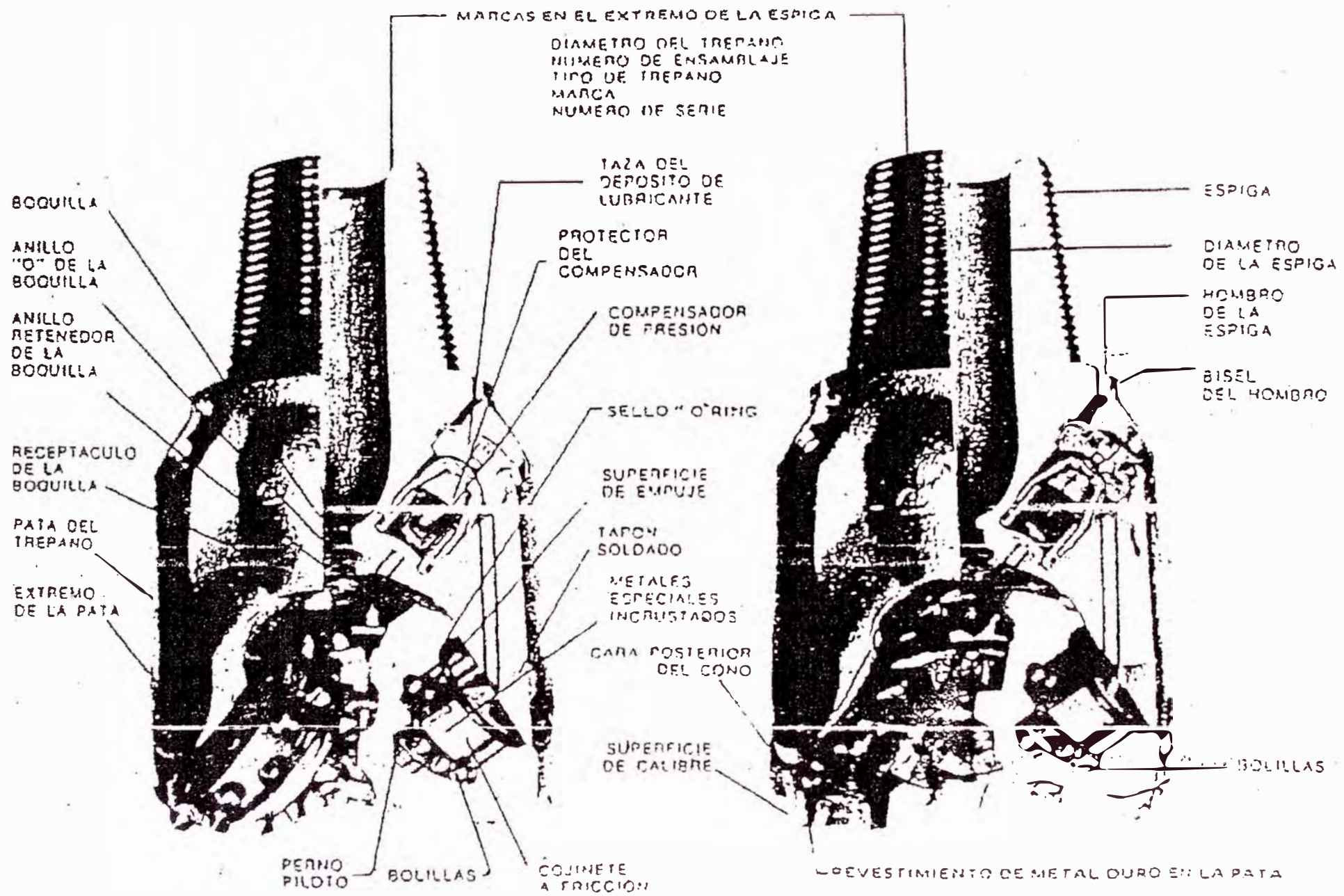
La Cía Hughes ofrece dos líneas de brocas:

- ◆ **Brocas ATJ (Sellos "0"):** Esta línea presenta el sello de precisión "0" 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 perno del cojinete, con una superficie de contacto de alta precisión. Esto permite que estas brocas sean corridas a más altas velocidades de rotación (Fig. 9).

##### **4.3.3 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. 10)

# TERMINOLOGIA DE LOS ELEMENTOS DEL TREPANO





TREPANO CON INSERTOS DE  
CARBURO DE TUNGSTENO  
Cojinetes Journal Sellados

TREPANO CON DIENTES DE ACERO  
Cojinetes Journal Sellados

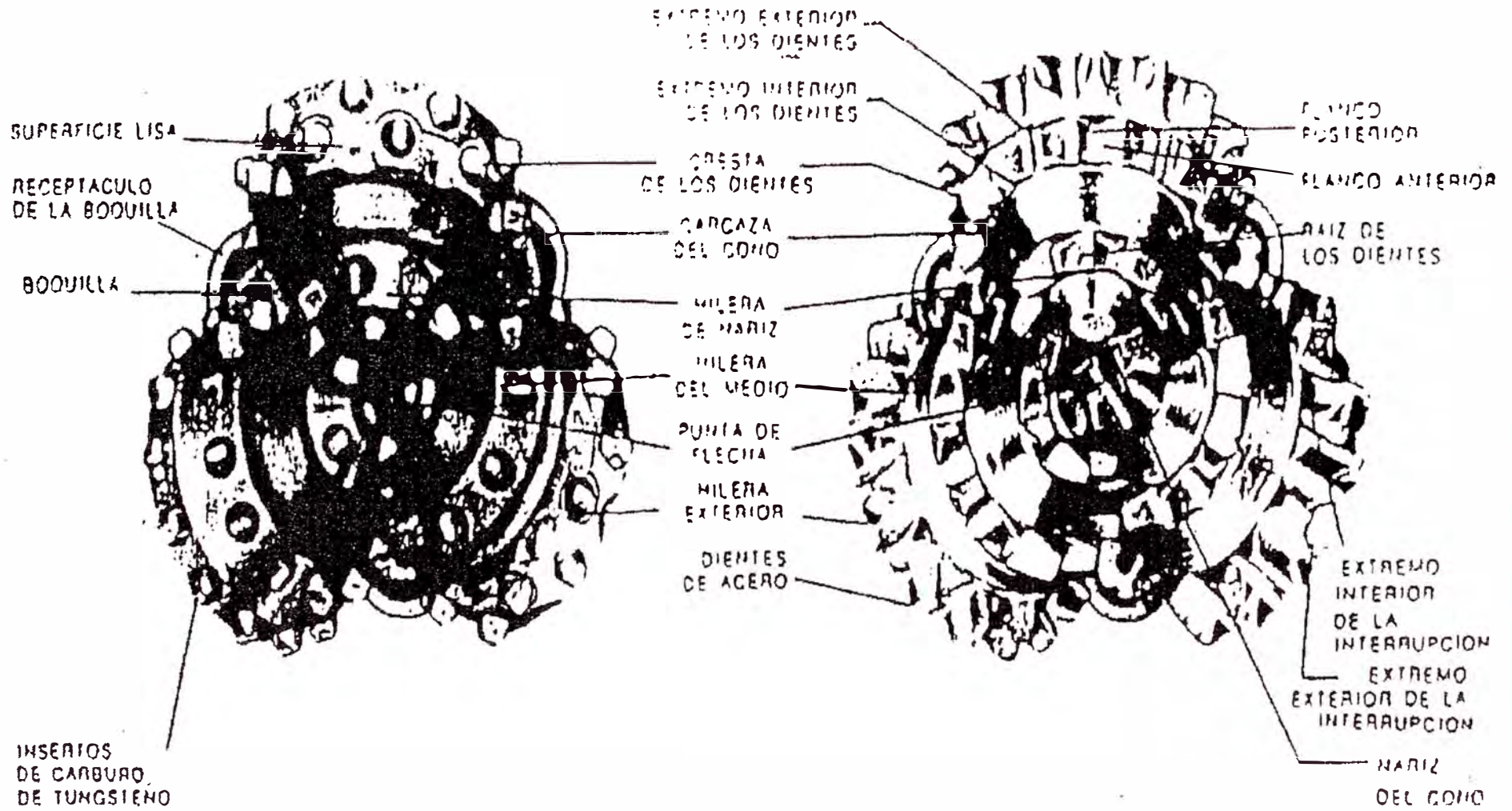
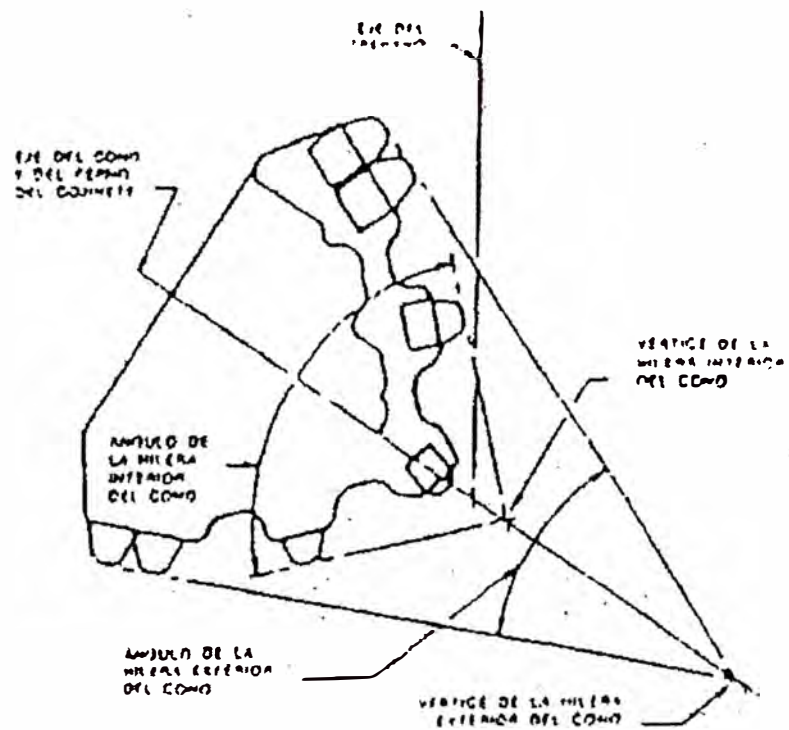


Fig. 1A

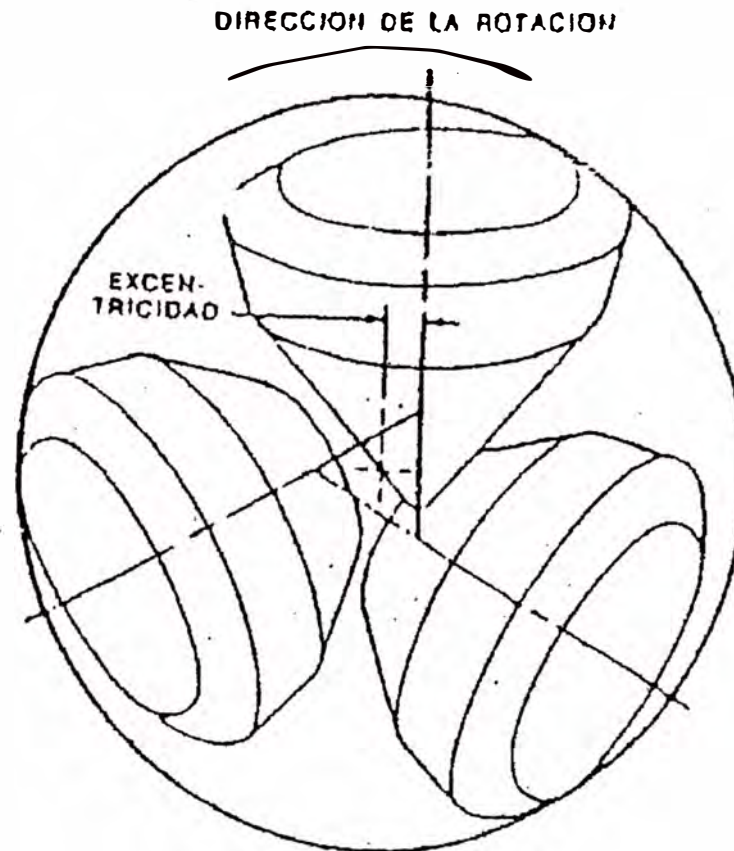
Fig. 1B

Fig. 2



DISEÑO DEL CONO PARA FORMACIONES BLANDAS

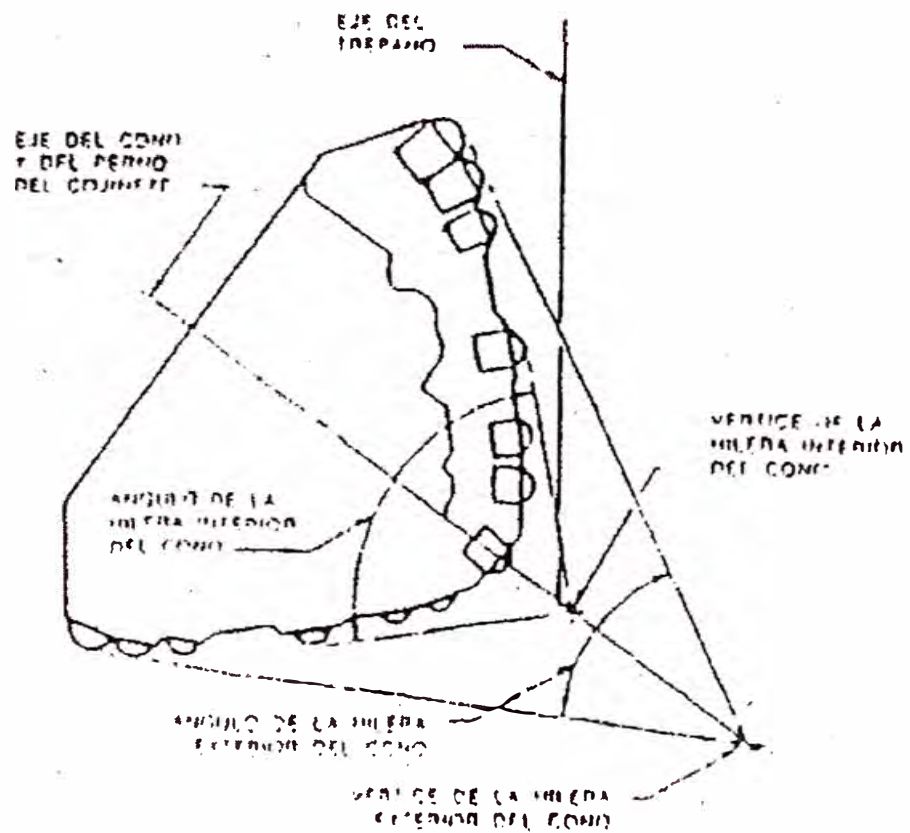
Fig. 2A



EXCENTRICIDAD



Fig. 3



DISEÑO DEL CONO PARA FORMACIONES DURAS

Fig. 4

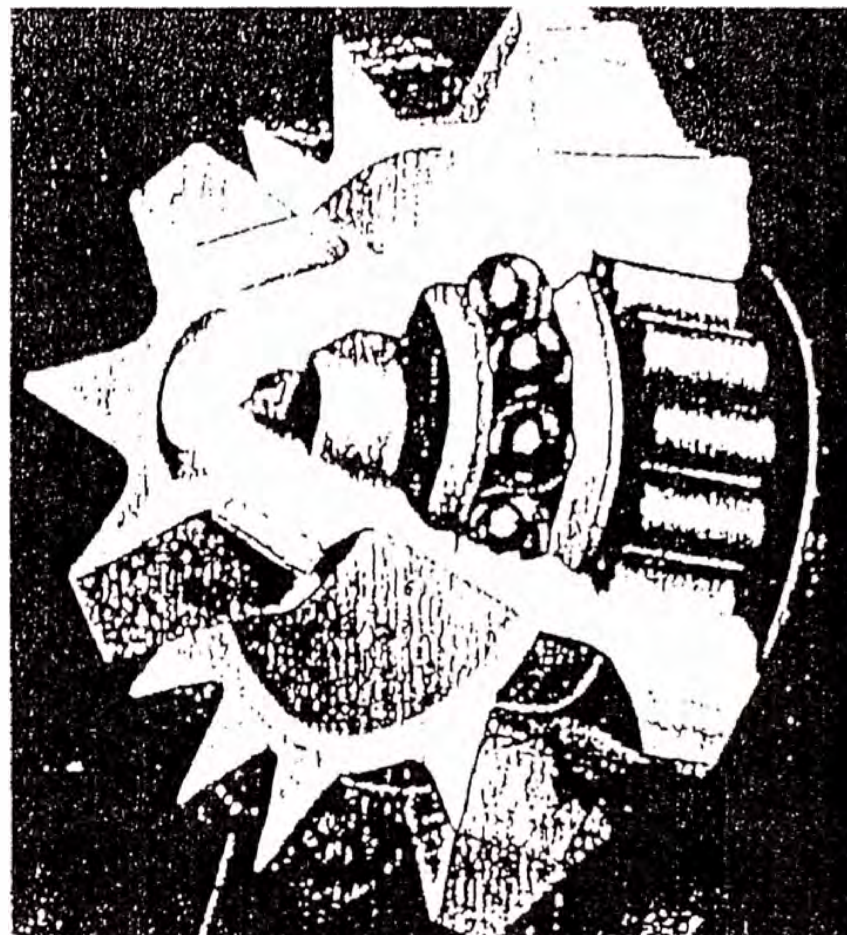


Fig. 5

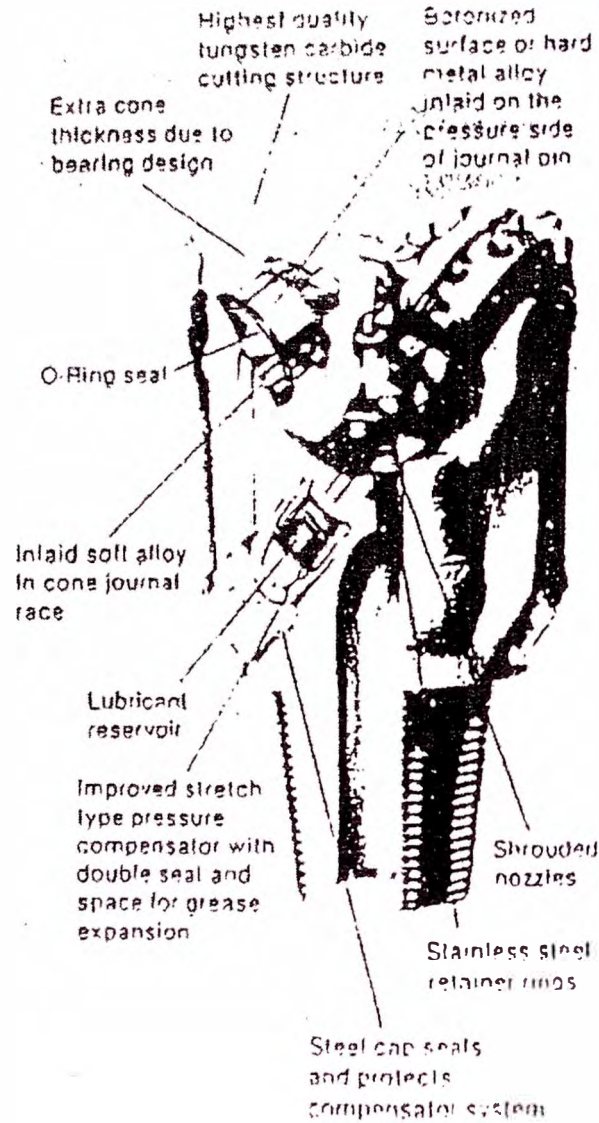


Fig. 6

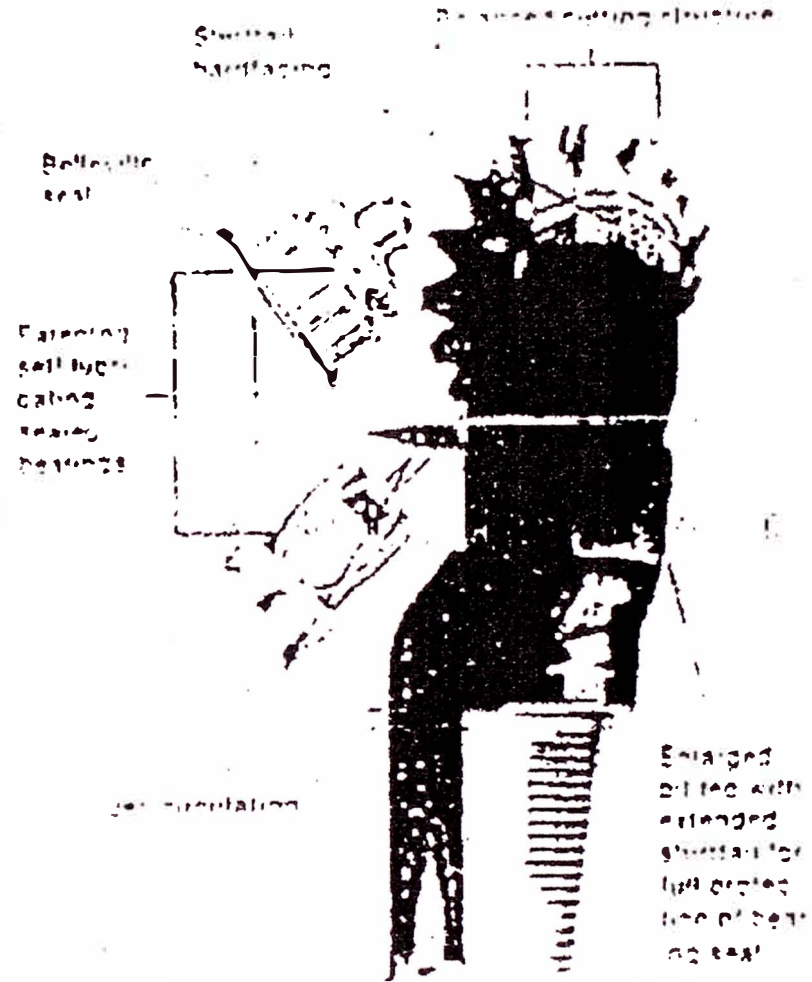




Fig. 7

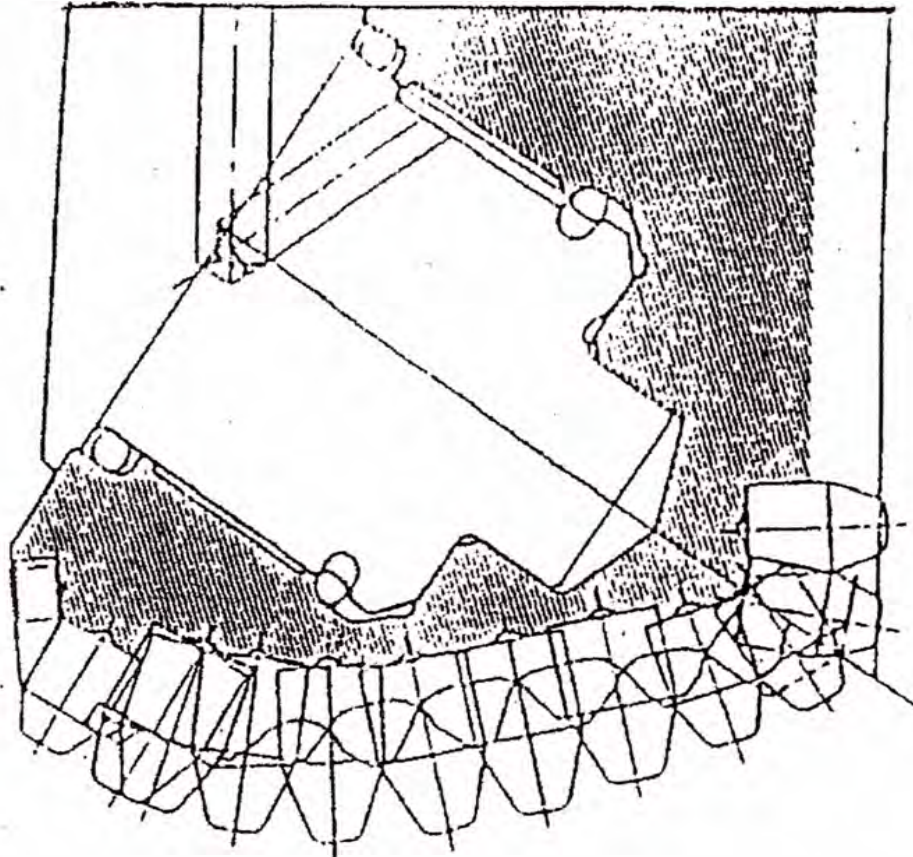


Fig. 8

Carbide tooth design

Hard



D-oid



Ogive

Medium  
to hard



Conical



90° Chisel

Medium  
to soft



Super Scoop<sup>1</sup>  
Chisel



Scoop  
Chisel



Wedge  
Crested  
Chisel

Fig. 9

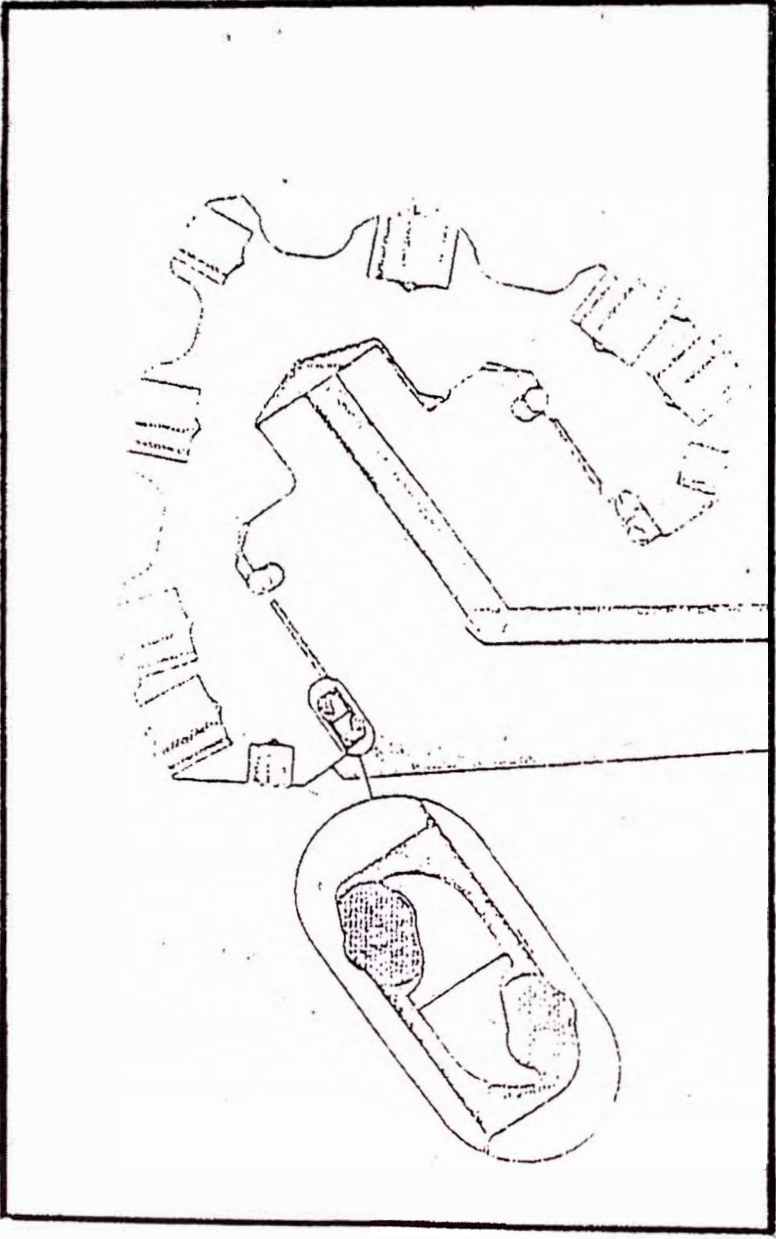
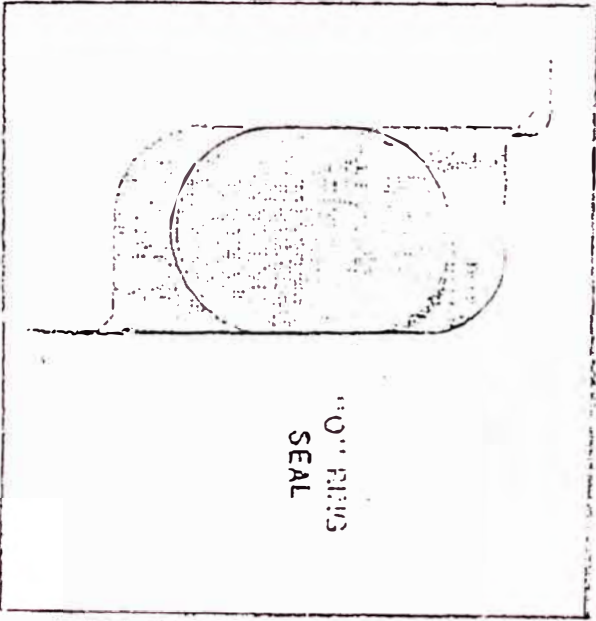
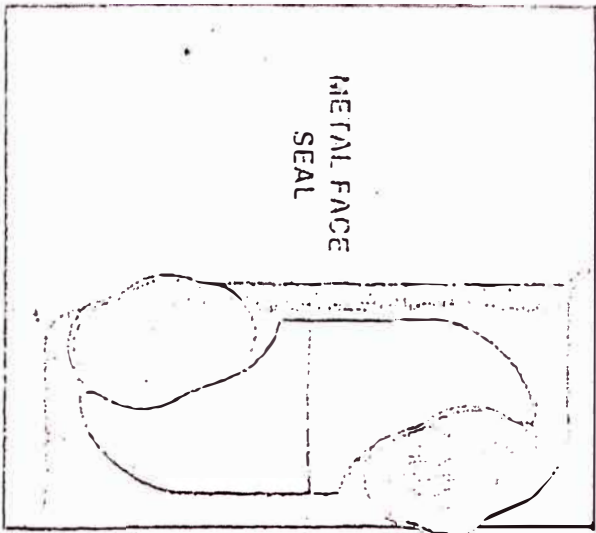
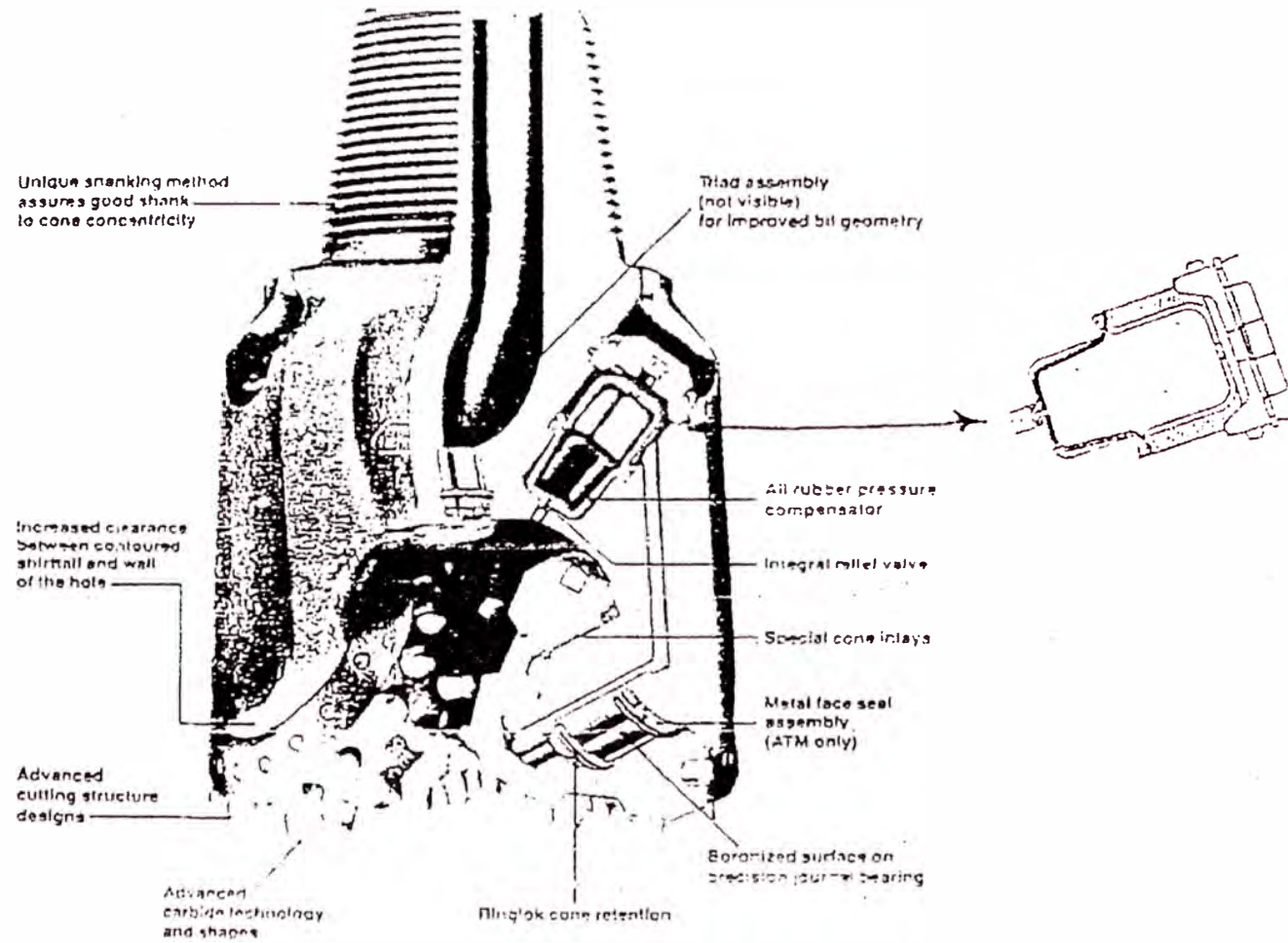


Fig. 10

ADVANCED TECHNOLOGY ROCK BITS.  
(ATJ - ATM)





#### 4.4 SISTEMA DE GRADUACION DEL DESGASTE DE BROCAS

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

Una evaluación 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 evaluación 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.

#### DOCUMENTACION DEL DESGASTE EN EL REGISTRO DE BROCAS

Estructura de corte		Característica principal	Ubicación	Cojinete ó sello	Calibre	Otra carácter. del desgaste	Motivo de extracción
Interna	Externa						
( 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 en lo cual "0" indica que no hay dientes ó insertos perdidos, gastados ó 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 plantilla de códigos adjunta.

- ◆ *En la columna (4) se indica la ubicación de la antes citada característica principal de desgaste. Ver punto (4) de la Plantilla de Códigos.*
- ◆ *La columna (5) emplea una escala lineal de 0 a 8 para estimar la cantidad de vida útil de cojinete utilizado en cojinetes no sellados, y un código de una letra para indicar el estado de los cojinetes sellados. Ver (5) de la Plantilla de Códigos.*
- ◆ *En la columna (6) se indica el estado del calibre de la broca. Ver punto (6) de la Plantilla 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.*

#### **4.5 FACTORES QUE AFECTAN LA VELOCIDAD DE PERFORACION**

*Los factores que afectan la velocidad de perforación son numerosos y con seguridad no están totalmente entendidos, sin embargo existen variables influyentes que todavía no se conocen.*

*Mencionaré en forma general los principales factores que de una u otra manera afectan la velocidad de perforación:*

##### ◆ **Eficiencia del personal**

**Competencia** (*Experiencia, Entrenamiento especial*)

##### **Factores psicológicos**

*Relaciones empleado – compañía*

*Satisfacción en el trabajo*

*Oportunidad de progreso*

##### ◆ **Eficiencia del Equipo de Perforación**

*Estado mecánico del equipo de perforación*

*Dimensión adecuada del equipo de perforación*

*Facilidad de operación*

## *Potencial del equipo*

### ◆ **Características de las formaciones**

*Resistencia a la compresibilidad de la roca*

*Dureza y/o abrasividad de la roca*

*Permeabilidad*

*Contenido del fluido y presión intersticial*

*Porosidad*

*Temperatura*

### ◆ **Características de la broca**

*Tipo de Cojinetes*

*Protección en el calibre*

*Brocas de dientes ó insertos*

### ◆ **Factores mecánicos**

*Peso sobre la broca*

*Velocidad de rotación*

*Tipo de broca*

### ◆ **Propiedades del lodo**

*Densidad*

*Contenido de sólidos*

*Propiedades de flujo*

*Perdida de fluido*

*Contenido de petróleo*

*Tensión superficial*

### ◆ **Factores hidráulicos**

*Limpieza de los cortes en el fondo del pozo*

*Cuidar que la broca no se embole*

#### **4.6 PROBLEMAS DURANTE LA PERFORACION DE POZOS**

*Los problemas más comunes que se presentan en estas áreas durante la perforación de los pozos, han sido y siguen siendo las variaciones bruscas de desviación y dirección de pozos, en unos yacimientos mas que en otros, los cuales originan Patas de Perro "dog-leg" y/o Ojos de llave "key seat" y por ende fatiga en las tuberías de perforación.*

*Esto se ha demostrado durante las operaciones de perfilaje de los últimos pozos perforados, donde se han encontrado problemas para el paso de la sonda, los mismos que han obligado a suspender la operación para reacondicionar el hueco del pozo, lográndose después de esto, la toma normal del conjunto de perfiles programados.*

*Se han reportado algunos casos en que se han presentado problemas durante la bajada del casing y durante la cementación al intentar reciprocar que si bien no han sido extremos, de no controlarse la desviación de los pozos estos podrían agravarse en cualquier momento. Igualmente la cementación podría estar siendo afectada, ya que es de conocimiento general que la eficiencia de esta disminuye conforme se hace mayor el ángulo de desviación.*

*Si bien tenemos que captar que perforar un pozo vertical es virtualmente imposible de acuerdo con la experiencia en este yacimiento y que normalmente los pozos se orientan buzamiento arriba de las formaciones que atraviesan, el control de la desviación es importante para la geología estructural.*

*Desde el inicio del control de las operaciones por parte de la cía Pérez Compánc del Perú a la fecha, se han perforado gran cantidad de pozos, y las estadísticas indican que en 7 pozos se han encontrado problemas para el paso de la sonda (20%). A esto, sumarse problemas de puentes y pegadas en los perfiles que es casi imposible y podría decirse que es un riesgo a que siempre se esta expuesto en operaciones como la nuestra. Sin embargo que esto suceda en los 4 últimos pozos perforados en el campo, hace necesario la determinación de las causas para que mediante la corrección de estas, evitar la repetición de los problemas.*

*Considerando estos problemas de desviación de pozos, se han realizado evaluaciones en cuanto al diseño de conjuntos de fondo a ser usadas en el fondo del pozo para contrarrestar*

*esta tendencia de desviación, que origina incrementos en el costo del pozo, debido a que la perforación se prolonga más tiempo, ya que el rate de penetración disminuye al bajar el peso sobre la broca a pesar que se aumente las revoluciones de la mesa.*

#### **4.7 CONJUNTOS DE FONDO DE POZO "BOTTOM HOLE ASSEMBLY"**

*El conjunto de fondo de pozo "Assembly" se usa para varios fines útiles, además de la simple necesidad de aplicar peso sobre la barrena con tubos lastrabarrenas. Estos conjuntos debidamente diseñados pueden:*

- a) *Evitar los pataperros "Dog leg" y ojos de llave "Key seat"*
- b) *Producir agujeros de pleno calibre (diámetro) y parejo recinto.*
- c) *Mejorar el rendimiento de las brocas*
- d) *Minimizar los problemas de perforación.*
- e) *Minimizar vibraciones perjudiciales*
- f) *Minimizar pegamientos por presión diferencial.*
- g) *Reducir problemas de producción.*

##### **4.7.1 CONTROL DEL ANGULO DEL POZO**

*Una vez detectado la desviación del pozo se procede a solucionar este problema mediante dos posibles soluciones:*

##### **4.7.2 TEORIA DEL PENDULO**

*El primer paso que realizamos es retirar la sarta de perforación e inmediatamente modificamos la ubicación de los estabilizadores, a 60 y 90 pies, mediante la teoría del péndulo. Para esto partimos de tres suposiciones lógicas:*



1. *La broca es como una junta de rótula y esfera libre para girar, pero lateralmente restringida.*
2. *Los tubos lastrabarrenas se recuestan contra el lado bajo del hoyo y permanecen estables en el lado bajo del hoyo.*
3. *La broca perfora en la dirección en que recibe el empuje y no necesariamente en la dirección en que se apunta.*

*Este diseño de péndulo lo usamos solamente como medio correctivo para reducir el ángulo cuando se ha alcanzado la máxima desviación permisible.*

*Al hacer uso de este diseño, se pierde mucho tiempo debido a que la velocidad de perforación se amortigua como consecuencia de que tenemos que bajar el peso sobre la broca y aumentar las revoluciones por minuto (r.p.m.).*

*Una vez corregido la desviación del ángulo, en forma progresiva cercano a la vertical, procedemos a modificar el diseño de fondo en caso necesario dependiendo de la profundidad del pozo. Generalmente cuando ya se esta avanzado en la profundidad se prefiere terminar con este tipo de conjunto ó cambiar con un diseño con estabilizadores a 30 pies y 60 pies de la broca.*

#### **4.7.3 CONJUNTO DEL HOYO EMPACADO**

*El conjunto de fondo consiste en herramientas de contacto con la pared que pueden tener un arreglo para ser rígidos ó pendular. Conjunto rígidos es para tratar de mantener la verticalidad del pozo y conjunto pendular para controlar el ángulo del pozo. Si se seleccionan correctamente las lastrabarrenas y el conjunto de fondo del pozo provisto de herramientas de contacto con la pared que han de situarse en los puntos necesarios sobre la barrena para lograr la rigidez necesaria, los cambios de ángulo en el hoyo serán graduales; con un rate de penetración óptimo debido a que el peso sobre la broca y las revoluciones serían las necesarias. El resultado será un pozo aprovechable de pleno calibre, de pared pareja, sin*

*pateperros, ojos de llave, retallos, espirales ni resalto, apto para completarse y ponerse en producción; sobretodo no habrá muchos problemas en la vida productiva del pozo tales como desgaste y/o rotura de varillas debido a la fricción entre ellas, lavados en los tubing, etc. (Manual Drillco conjuntos de Perforación).*

*Para el diseño de un conjunto de fondo empacado se requiere conocer las tendencias a las desviaciones de los pozos y la perforabilidad de las formaciones a perforar en un sitio dado.*

*Para efectos de diseño básico los siguientes parámetros se consideran pertinentes:*

**a) *Tendencia a la desviación de los pozos***

- *Regiones de tendencia ligera*
- *Regiones de tendencia mediana*
- *Regiones de tendencia severa*

**b) *Firmeza de las formaciones***

- *Formaciones duras a semiduras*
  - .- *Abrasivas*
  - .- *No abrasivas*
- ◆ *Formaciones semiduras a blandas*

*En resumen, un conjunto de fondo bien diseñado con la debida selección de herramientas estabilizadoras en las tres zonas, debe producir un pozo aprovechable, de pleno calibre, sin pate perros, ojos de llave, retallo, espirales ni resaltos y por lo tanto susceptible de completarse y ponerse en producción.*

## 5. CONCEPTOS DE CALCULOS

### 5.1 EL COSTO DE PERFORACION

La mejor forma de obtener una evaluación técnica 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 esta dada por:

$$Cp = \frac{Bt + Ce (Hrt + Hvt)}{P} \dots\dots\dots (1)$$

donde :

- $Cp$  = Costo por pie, \$/pie
- $Bt$  = Costo de la brocas, \$
- $Ce$  = Costo por hora de equipo, \$/hr
- $Hrt$  = Horas de rotación
- $Hvt$  = Horas de viaje
- $P$  = Pies perforados

### 5.2 CONSIDERACIONES

Para el uso de la formula (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 ( $Ce$ ) y habilidad del personal en las maniobras.
- El tiempo de viaje se estima en función de la profundidad y la capacidad del equipo.

### 5.3 DETERMINACION DEL COSTO EQUIVALENTE

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  $C_p$  (\$/pie ).

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

$$C_p = \frac{B + C_e ( X + H_v )}{Y} \dots\dots\dots(2)$$

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

La solución analítica consiste en despejar  $X$  de la fórmula ( 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  $C_p$ ,  $B$  y  $C_e$  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 :

$$M = - ( B / C_e + H_v ) \quad : \text{Valor de } X \text{ para } Y = 0$$

$$N = ( B + C_e * H_v / C_p ) \quad : \text{Valor de } Y \text{ para } X = 0$$

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 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 ).

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  $X$  que las

*previstas, se habrá obtenido una carrera de menor costo por pie que el de las brocas que sustituyó.*

## **6. EVALUACION TECNICO – ECONOMICA / POZO 7983 - BALLENA**

*Para este informe se tomaron como referencia los pozos vecinos 7954, 7956, y 7877 del yacimiento de Ballena para encontrar los valores promedios del costo/pie de la zona, y compararlos con lo obtenido en el pozo 7983.*

*Para realizar la evaluación seguimos los siguientes pasos a continuación:*

### **6.1 RENDIMIENTO DE LA BROCA AT-J00 / POZO 7983 - BALLENA**

*En la tabla N° 1 se muestra los parámetros reales usados en la corrida de la broca ATJ00 en el pozo 7983 Ballena, así como las formaciones atravesadas, desviaciones y penetraciones obtenidas en forma detallada.*

*En la tabla N° 2 se muestra el costo/pie obtenido en varios puntos de la corrida de la broca.*

*La representación en coordenadas cartesianas de costo por pie se muestra en el gráfico N° 1.*

### **6.2 COSTO POR PIE PROMEDIO DE LA ZONA**

*Se tomó como referencia tres pozos vecinos (7954, 7956, 7877) del campo de Ballena, para calcular el costo por pie promedio de dicha zona.*

*En la tabla N° 3 se muestra los datos de los pozos de referencia.*

### **6.3 DETERMINACION DE LA RECTA DE COSTOS EQUIVALENTES**

*Se desea utilizar una broca sustitutiva, para lo cual se debe conocer su rendimiento para lograr que al menos iguale el costo por pie promedio de la zona (11.88 \$/pie).*

#### **NUEVA BROCA A UTILIZAR:**

**Tipo : ATJ00**

Costo: \$ 4.044

Tiempo de viaje: 6.5 Hrs.

Costo de Equipo: 234.4 \$/hora.

Tramo a perforar: 3,600 pies.

Igualando el costo / pie promedio de la zona, con el costo / pie de la nueva broca obtenemos el gráfico N° 2 de la recta de costos equivalentes ó Brekeven, en el cual también se ha graficado el rendimiento de la broca ATJ00.

#### **6.4 AHORRO EN COSTOS DE PERFORACION**

El uso de la broca ATJ00, en el pozo 7983 Ballena, permitió un ahorro en tiempo de perforación, lo cual detallamos a continuación:

- *Días programados de perforación proyectados a 3700 pies:* 8 3/6 días.
- *Días reales de perforación a 3706 pies* : 5 4/6 días
- *Días adelantados* : 2 5/6 días
- *Costo de Equipo* : 5,625 \$/día
- **Ahorro en tiempo de perforación** : **\$ 15,937.50**
- *Brocas programadas tramo 7 7/8" : dos (2) ATJ05*
- *Brocas utilizadas tramo 7 7/8": una ATJ00, y una ATJ05 usadas con costo cero \$.*
- *Brocas no utilizadas : una ATJ05*
- **Ahorro en costo de brocas : \$ 4,044**
- *Costo programado en lodo de perforación* : \$ 11070.28
- *Costo real de lodo de perforación* : \$ 9.697.12
- **Ahorro en lodo de perforación** : **\$ 1.373.16**
- ◆ **Ahorro total en costos de perforación** : **\$ 21,354.66**

## **7. EVALUACION TECNICO – ECONOMICA / POZO 7887 – LA TUNA**

*Para este informe se tomaron como referencia los pozos vecinos 7923, y 7888 del yacimiento de La Tuna, para encontrar los valores promedios del costo/pie de la zona, y compararlos con lo obtenido en el pozo 7887 La Tuna.*

*Para realizar la evaluación seguimos los siguientes pasos a continuación:*

### **7.1 RENDIMIENTO DE LA BROCA AT-J00 / POZO 7887 – LA TUNA**

*En la tabla N° 4 se muestra los resultados de la corrida de la broca, así como las formaciones atravesadas y penetraciones obtenidas en forma detallada.*

*En la tabla N° 5 se muestra el costo / pie obtenido en varios puntos de la corrida de la broca.*

*La representación en coordenadas cartesianas de costo por pie se muestra en el gráfico N° 3*

### **7.2 COSTO POR PIE PROMEDIO DE LA ZONA**

*Se tomó como referencia dos pozos representativos del campo de la Tuna, para calcular el costo por pie promedio de dicha zona; no se pudo tomar otros pozos debido a que fueron realizados con brocas de menor tecnología y además durante la perforación tuvieron problemas operativos.*

*En la tabla N° 6 se muestra los datos de los pozos representativos del campo La Tuna: Los Pozos 7923 y 7888, así como el costo promedio \$ / pie del campo de La Tuna.*

### **7.3 DETERMINACION DE LA RECTA DE COSTOS EQUIVALENTES**

*Se desea utilizar una broca sustitutiva, para lo cual se debe conocer su rendimiento para lograr que al menos iguale el costo por pie promedio de la zona (10.67 \$/pie).*



**NUEVA BROCA A UTILIZAR:**

Tipo: AT-J00

Costo: \$ 4.044

Tiempo de viaje: 6.5 Hrs.

Costo de Equipo: 234.4 \$/hora.

Tramo a perforar: 3.550 pies.

Igualando el costo/pie promedio de la zona, con el costo/pie de la nueva broca obtenemos el gráfico N° 4 de la recta de costos equivalentes ó "BREAKEVEN", en el cual también se ha graficado el rendimiento de la broca ATJ00.

#### **7.4 AHORRO EN COSTOS DE PERFORACION**

El uso de la broca ATJ00, en el pozo 7887 LA-TUNA, permitió un ahorro total por menor tiempo de perforación, lo cual detallamos a continuación:

- *Días programados de perforación a 3550 pies* : 6 2/6 días
- *Días reales de perforación a 3550 pies* : 3 4/6 días
- *Días adelantados* : 2 4/6 días
- *Costo de Equipo* : 5.625,00 \$/día
- **Ahorro en Equipo de perforación** : **15.000,00 \$**
- *Brocas programadas tramo 7 7/8"* : AT – J05 ( dos )
- *Brocas utilizadas tramo 7 7/8"* : AT - J00 ( una )
- *Brocas no utilizadas* : AT - J05 ( una )
- **Ahorro en costo de brocas** : **\$ 4,044**
- *Costo programado en lodo de perforación* : 14.988,00 \$
- *Costo real de lodo de perforación* : 11.260,00 \$
- **Ahorro en lodo de perforación** : **3.728,00 \$**
- ♦ **Ahorro total en costos de perforación** : **22.772,00 \$**

## 8. CONCLUSIONES

- *La broca ATJ00 logró una mejor performance que las broca ATJ05 usada en los yacimientos Ballena y La Tuna lográndose penetraciones de 40 y 38 pies/hora, contra el promedio de la zona de 26.5 y 28 pies/hora, para una profundidad de 3300 pies medida a partir de la superficie.*
- ◆ *Los resultados de la perforación con la broca ATJ00 en el pozo 7983 Ballena, han sido satisfactorios, habiéndose obtenido ahorros de 15.289,00 US.\$, 17.679,00 US.\$, y 11.573,00 US\$ en comparación con los costos de los pozos 7954, 7956, y 7877 respectivamente (ver Tabla No 7).*
- ◆ *Los resultados de la perforación con la broca ATJ00 en el pozo 7887 La Tuna, han sido también satisfactorios, habiéndose obtenido ahorros de \$7,940 y \$11,104 en comparación con los costos de los pozos 7923 y 7888 respectivamente (ver Tabla No 8)*
- *Se obtuvo un costo bastante bajo de 7.54 \$/pie y 7.80 \$/pie en los dos yacimientos de Ballena y La Tuna, siendo el promedio de la zona de 11.94 \$/pie y 10.67 \$/pie respectivamente obteniéndose un ahorro de 4.4 \$/pie y 2,87 \$/pie para una profundidad promedio de 3,600 pies (ver gráficos 5,6,7 y 8).*
- *En una recta de costos equivalentes o " BREAKEVEN", se observa que el rendimiento de la broca ATJ-00, se mantiene siempre en la zona económica con un amplio margen, lo que indica lo óptimo en usar este tipo de brocas (ver gráfico 2).*
- *El uso de estos tipos de broca AT-J00 recién empleadas, permitió en estos pozos 7983 Ballena y 7887 la Tuna un ahorro total con respecto a los costos estimado en 21,354.66 US \$ y 22.772,00 US \$ respectivamente. En dicho ahorro total está*

*considerado el ahorro por el costo en menor días de alquiler del Equipo de Perforar, costo por menor número de brocas y costo por menor cantidad de aditivos como de días en el uso del lodo de perforación.*

- *En general, la broca ATJ-00 ha tenido un buen rendimiento cuando perfora formaciones suaves y de baja resistencia a la compresión como son las arcillas, lutitas y las areniscas poco consolidadas que son característicos de la mayoría de yacimientos del Lote X.*

## **9. OBSERVACIONES**

- *En los gráficos Nos 11 y 12 podemos observar en detalle el menor tiempo de rotación y de viaje realizada por la broca ATJ-00 en el pozo 7983 Ballena, versus los pozos 7954, 7956 y 7877 del mismo yacimiento Ballena en las cuales se usaron otro tipo de brocas tales como las ATJ-05.*

## **10. RECOMENDACIONES**

*De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda utilizar la broca en los siguientes casos:*

- ◆ *Para perforar formaciones suaves ó medianamente duras tales como las arcillas y lutitas, y cuya potencia sea grande para lo cual colocando los chorros adecuados se logra obtener un menor costo \$/pie en todas las áreas del Lote X (carrizo, ballena, laguna, Peña Negra, etc).*
- ◆ *Para perforar tapón, zapato y reiniciar la perforación; las brocas AT-J00 pueden remplazar perfectamente a las brocas de dientes ya que con un buen conjunto de fondo pueden llegar a taladrar hasta los 3000 pies obteniendo un menor costo US \$/pie que una broca de dientes.*
- ◆ *Para obtener un mejor rendimiento costo por pie, en lo cual se le puede adicionar una protección en el calibre de las rolas y reducir en un mínimo el desgaste que esta pueda tener y así evitar agarre de columna por parte de los estabilizadores.*

- ◆ *Se recomienda no usar este tipo de brocas en formaciones duras debido a la rotura de los insertos lo cual originaría altas torsiones en la mesa rotaria y disminución en el rate de penetración.*

**TABLA No 1****PERFORMANCE DETALLADA DE LA BROCA 7 7/8" TIPO ATJOO****POZO 7983 - BALLENA**

<b>PROFUNDIDAD</b> Pies	<b>PERF.</b> Parcial	<b>PERF.</b> Acumulado	<b>ROT.</b> Parcial	<b>ROT.</b> Acum.	<b>PENET.</b> Pies/hora	<b>WOB</b> M- Lbs	<b>RPM</b>	<b>PRESION</b> PSI	<b>GPM</b>	<b>DESV.</b> Grados	<b>FORMACION</b>
623	388	388	7	7,00	55.4	15	150	1100	302	0.25	Lobitos y echino rpto
1080	457	845	6.75	13,75	67.7	15	140	1150	302	0.25	Monte y Hélico rpto
1508	428	1273	6.75	20,50	63.4	18	140	1200	311	1.5	Hélico Rpto.
1888	380	1653	7	27,50	54.3	20	130	1300	311	2	Hélico Rpto.
2246	358	2011	7	34,50	51.1	20	120	1350	311	2	Lobitos
2511	265	2276	7.25	41,75	36.6	25	120	1400	311	1.75	Echino Ins.
2731	220	2496	7	48,75	31.4	25	120	1500	311	-	Ostrea
2913	182	2678	6.75	55,50	30	25	120	1500	311	-	Ostrea
3055	142	2820	5.5	61,00	25.8	25	120	1500	311	2	Ostrea
3258	203	3023	7.75	68,75	26.2	25	120	1500	311	-	Ostrea
3425	167	3198	7.5	76,25	23.3	25	120	1500	311	-	Ostrea
3515	90	3288	5.75	82,00	15.7	25	100	1500	311	2.75	Ostrea

**TABLA N° 2**

**COSTO POR PIE – BROCA ATJ00**  
**POZO 7983 BALLENA**

<b>PROFUNDIDAD PIES</b>	<b>PERFORADO PIES</b>	<b>HORAS DE ROTACION</b>	<b>HORAS DE VIAJE</b>	<b>COSTO / PIE \$/ PIE</b>
623	388	7	1.1	15.32
1080	845	13.75	1.9	9.13
1508	1273	20.5	2.7	7.45
1888	1653	27.5	3.4	6.83
2246	2011	34.5	4	6.5
2511	2276	41.75	4.5	6.54
2731	2496	48.75	4.9	6.66
2913	2678	55.5	5.2	6.82
3055	2820	61	5.5	6.96
3258	3023	68.75	5.8	7.13
3425	3190	76.25	6.1	7.33
3515	3280	82	6.3	7.54

Observación:

$$C = \frac{B + Ce (Hr + Hv)}{P}$$

- C: Costo por pie: (\$/pie)
- B: Costo de la broca: (\$ 4,044)
- Ce: Costo de equipo: (234.4 \$/Hr, equipo No 8 G.M.B.)
- Hr: Horas de rotación
- Hv: Horas de viaje: (1.8 hr/1,000 pies)
- P: Tramo perforado: (pies)



**TABLA No 3**

**DATOS DE POZOS DE REFERENCIA - BALLENA**

POZO N°	BROCA N° - TIPO	PROFUNDIDAD DE SALIDA PIES	TRAMO PERFORADO PIES	HORAS ROTADAS Hrs.	TIEMPO DE VIAJE Hrs.	COSTO BROCA \$	COSTO EQUIPO \$/Hr.
7954	1 - ATJ05	2,677	2,440	74.5	4.7	4,044	
	2 - ATJ05	3,722	1,095	59	6.7	4,044	
7956	1 - ATJ05	2,461	2,228	82	4.4	4,044	
	2 - ATJ05	3,704	1,243	62	6.7	4,044	
7877	1 - ATJ05	2,545	2,310	69.75	4.6	4,044	
	2 - ATJ05	3,733	1,188	48	6.7	4,044	
TOTAL			10,504	395.25	33.8	24,264	234.4

$$Cp = \frac{Bt + Ce ( Hrt + Hvt )}{Pt}$$

- C: Costo por pie promedio:
- Bt: Costo total de brocas:
- Ce: Costo de equipo:
- Hrt: Horas de rotación totales
- Hvt: Horas de viaje totales:
- Pt: Pies perforados totales

$$Cp: 24,264 + 234.4 * ( 395.25 + 33.8 ) / 10,504 = 11.88 \text{ \$/pie}$$

**TABLA No 4****PERFORMANCE DETALLADA DE LA BROCA 7 7/8" TIPO ATJOO****POZO 7887 – LA TUNA**

Serie : E65WG

Eq. : 8-GMB

PROFUNDIDAD Pies	PIES CORTADOS	HORAS ROTADAS	PENETRACION Pies/hora	FORMACION
698	462	8	55.75	Mirador – Chira
1252	1016	16	63.5	Verdún
1743	1507	24	62.8	Verdún
2100	1864	32	58.25	Verdun –Monte- Helico
2406	2170	40	54.25	Hélico
2658	2422	48	50.45	Hélico
2834	2598	56	46.39	Hélico
3026	2790	64	43.60	Echino
3228	2992	72	41.55	Echino
3423	3187	80	40.35	Ostrea
3550	3314	86.5	38.31	Ostrea

**PARAMETROS DE PERFORACION**

Peso sobre la broca	22,000 – 28,000 Lbs
Rotación	140 – 120 rpm
Presión de bomba	1,500 psi
Caudal	311 glns
Densidad de lodo	9.1–19 / 14-18 <i>Lb/glm.</i>
VP/YP	15-19 / 14-18
Chorros	11/11/2011



TABLA No 5

COSTO POR PIE – BROCA ATJ – OO

POZO 7887 – LA TUNA

<b>PROFUNDIDAD Pies</b>	<b>PERFORADO PIES</b>	<b>HORAS ROTADAS</b>	<b>TIEMPO DE VIAJE</b>	<b>COSTO/PIE (\$/PIE)</b>
453	217	4	0.83	23.85
698	462	8	1.28	13.46
988	752	12	1.81	9.68
1252	1016	16	2.29	8.20
1504	1268	20	2.75	7.40
1743	1507	24	3.19	6.91
1945	1709	28	3.56	6.69
2100	1864	32	3.84	6.68
2253	2017	36	4.12	6.67
2406	2170	40	4.40	6.66
2533	2297	44	4.64	6.72
2658	2422	48	4.87	6.79
2740	2504	52	5.02	6.95
2834	2598	56	5.19	7.08
2932	2696	60	5.37	7.18
3026	2790	64	5.54	7.29
3119	2883	68	5.71	7.40
3228	2992	72	5.91	7.45
3335	3099	76	6.11	7.51
3423	3187	80	6.27	7.61
3507	3271	84	6.42	7.72
3550	3314	86.5	6.50	7.80

**TABLA No 6**

**COSTO PROMEDIO \$ / PIE - YACIMIENTO LA - TUNA**

Yacimiento:	La Tuna	La Tuna
Pozo:	7923	7888
Broca:	ATJ - 05 (2)	ATJ - 05 (2)

Pozo	7923 – LA TUNA	7888 – LA TUNA
Tramo perforado (pies)	236 - 3550	228 – 3469
Brocas utilizadas	ATJ-O5 ATJ-O5	ATJ-O5 ATJ-O5
Costo de brocas (\$)	4,044 (100%) 2,022 (50%) ----- 6,066	4,044 (100%) 2,022 (50%) ----- 6,066
Pies cortados	3,314	3,241
Tiempo de rotación (Hrs)	54.00 54.75 ----- 108.75	28.50 93.75 ----- 122.25
Tiempo de viaje (Hrs)	9.50	9.50
Costo de equipo (\$/Hr)	234.38	234.38
Rate de perforación (Pies/Hr)	30.47	26.51
Costo de perforación tramo (\$)	33,781	36,945
Costo por pie (\$/pie)	10.19	11.40
Diferencia de costos (\$)	(+)7,940	(+)11,104

Cp: Costo por pie promedio:  
 Bt: Costo total de brocas:  
 Ce: Costo de equipo:  
 Hrt: Horas de rotación totales  
 Hvt: Horas de viaje totales:  
 Pt: Tramo perforado total:

**Cp:  $12,132 + 234.4 \cdot (231 + 19) / 6,628 = 10.67$  \$/pie**

## COMPARACION DE COSTOS POR POZO EN YACIMIENTO BALLENA

Cp:  $4,044 + 234.4 * (82 + 6,3) / 3280 = 7,54$  \$/pie Pozo 7983 Ballena

Cp:  $6066 + 234.4 * (133,5 + 11,4) / 3.535 = 11,32$  \$/pie Pozo 7954 Ballena

Cp:  $6066 + 234.4 * (144 + 11,1) / 3.471 = 12,22$  \$/pie Pozo 7956 Ballena

Cp:  $6066 + 234.4 * (117,75 + 11,3) / 3.498 = 10,38$  \$/pie Pozo 7877 Ballena

Pozo	7983 - BALLENA	7954 - BALLENA	7956 - BALLENA	7877 - BALLENA
Tramo perforado (pies)	235 - 3.515			
Brocas utilizadas	AT - J00	AT - J05 AT - J05	AT - J05 AT - J05	AT - J05 AT - J05
Costo de brocas (\$)	4.044 ( 100 % )	4.044 ( 100% ) 2.022 ( 50% )	4.044 ( 100% ) 2.022 ( 50% )	4.044 ( 100% ) 2.022 ( 50% )
Pies cortados	3,280	3.535	3,471	3,498
Tiempo de rotación (Hrs)	82	74,5 59 ----- 133,5	82 62 ----- 144	69,75 48 ----- 117,75
Tiempo de viaje (Hrs)	6,3	11,4	11,1	11,3
Costo de equipo (\$/Hr)	234,4	234,4	234,4	234,4
Rate de perforación (Pies/Hr)	40	26,48	24,1	29,71
Costo de perforación hueco 7 7/8" (\$)	24.742	40,031	42,421	36,315
Costo por pie (\$/pie)	7,54	11,32	12,22	10,38
Diferencia de costos (\$)		15,289	17,679	11,573

$$Cp = \frac{Bt + Ce ( Hrt + Hvt )}{Pt}$$

Cp: Costo por pie promedio:  
 Bt: Costo total de brocas:  
 Ce: Costo de equipo:  
 Hrt: Horas de rotación totales  
 Hvt: Horas de viaje totales:  
 Pt: Tramo perforado total:



## COMPARACION DE COSTOS POR POZO EN YACIMIENTO LA-TUNA

Cp:  $4,044 + 234.4 \cdot (86,5 + 6,50) / 3,314 = 7,80$  \$/pie      Pozo 7887 La Tuna

Cp:  $6066 + 234.4 \cdot (108,75 + 9,50) / 3,314 = 10,19$  \$/pie      Pozo 7923 La Tuna

Cp:  $6066 + 234.4 \cdot (122,25 + 9,50) / 3,241 = 11,40$  \$/pie      Pozo 7888 La Tuna

Pozo	7887 – LA TUNA	7923 – LA TUNA	7888 – LA TUNA
Tramo perforado (pies)	236 - 3550	236 - 3550	228 – 3469
Brocas utilizadas	ATJ-00	ATJ-O5 ATJ-O5	ATJ-O5 ATJ-O5
Costo de brocas (\$)	4,044 (100%)	4,044 (100%) 2,022 (50%)	4,044 (100%) 2,022 (50%)
	----- 4,044	----- 6,066	----- 6,066
Pies cortados	3,314	3,314	3,241
Tiempo de rotación (Hrs)	86.5	54.00 54.75	28.50 93.75
		----- 108.75	----- 122.25
Tiempo de viaje (Hrs)	6.5	9.50	9.50
Costo de equipo (\$/Hr)	234.38	234.38	234.38
Rate de perforación (Pies/Hr)	38.31	30.47	26.51
Costo de perforación tramo (\$)	25,841	33,781	36,945
Costo por pie (\$/pie)	7.80	10.19	11.40
Diferencia de costos (\$)	( --- )	(+)7,940	(+)11,104

$$Cp = \frac{Bt + Ce (Hrt + Hvt)}{Pt}$$

Cp: Costo por pie promedio:

Bt: Costo total de brocas:

Ce: Costo de equipo:

Hrt: Horas de rotación totales

Hvt: Horas de viaje totales:

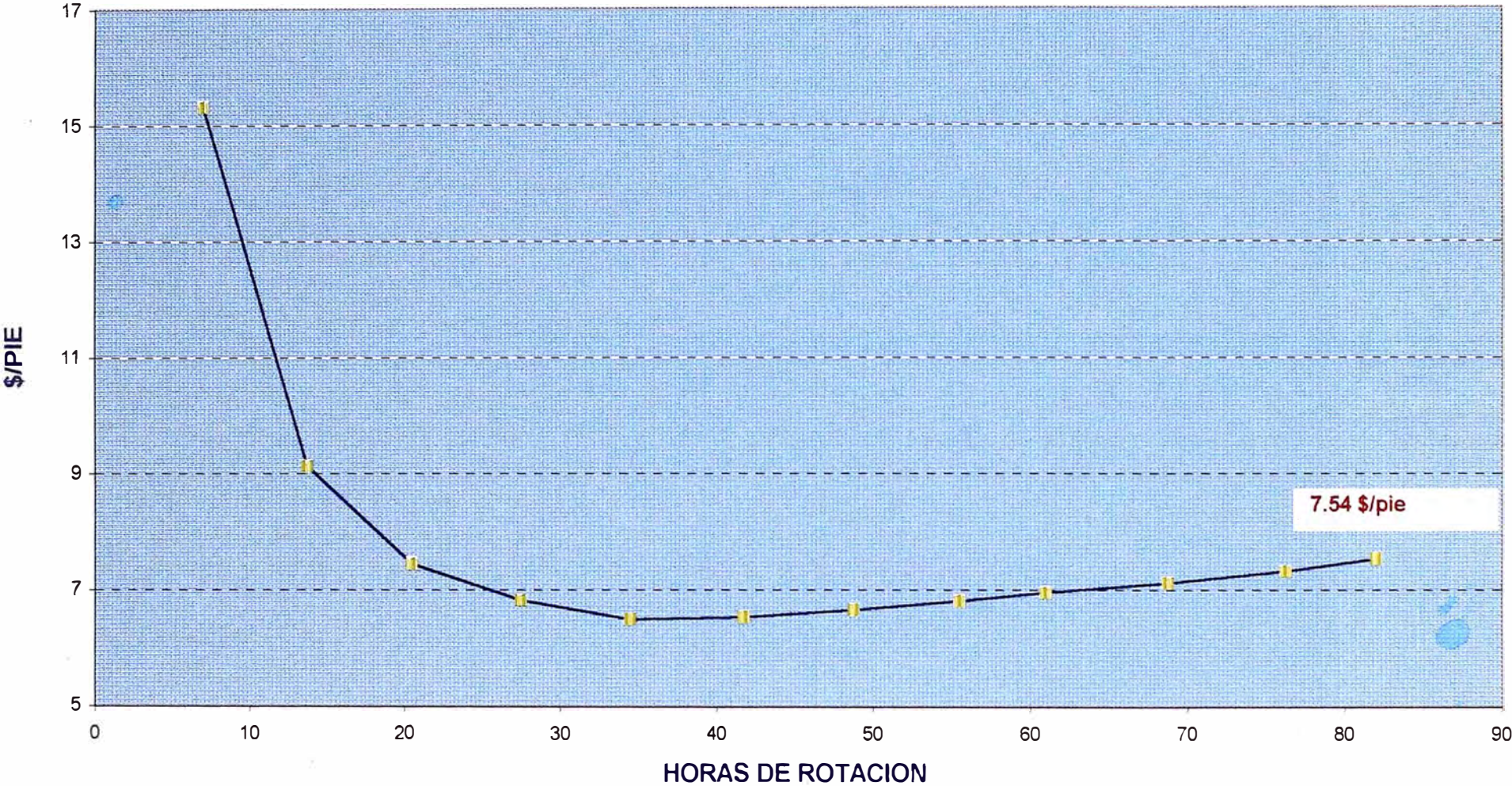
Pt: Tramo perforado total:



# GRAFICO COSTO/PIE - BROCA ATJ-OO

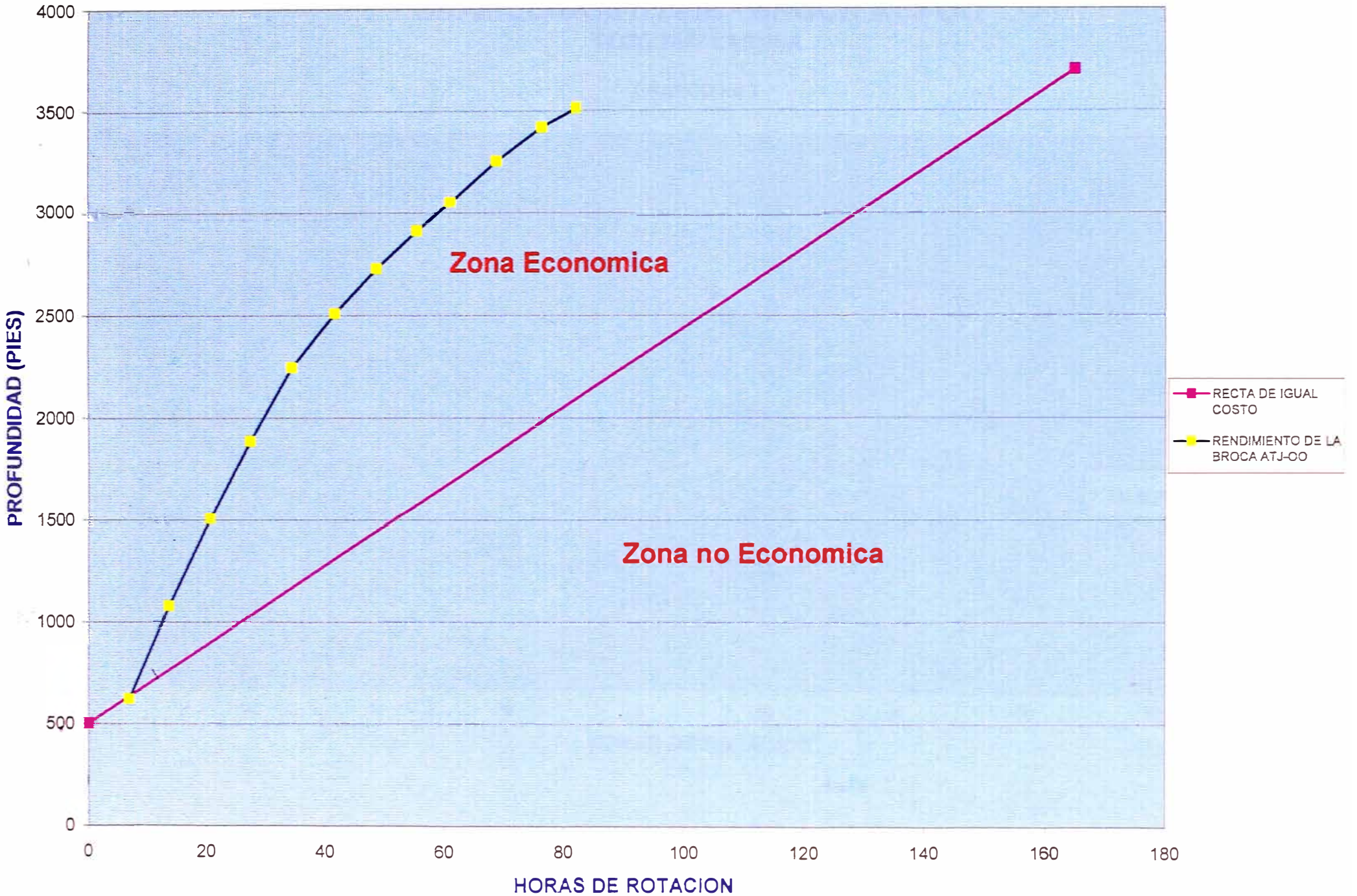
POZO 7983 - BALLENA

GRAFICO No 1





**POZO 7983-BALLENA**  
**GRAFICO No 2**

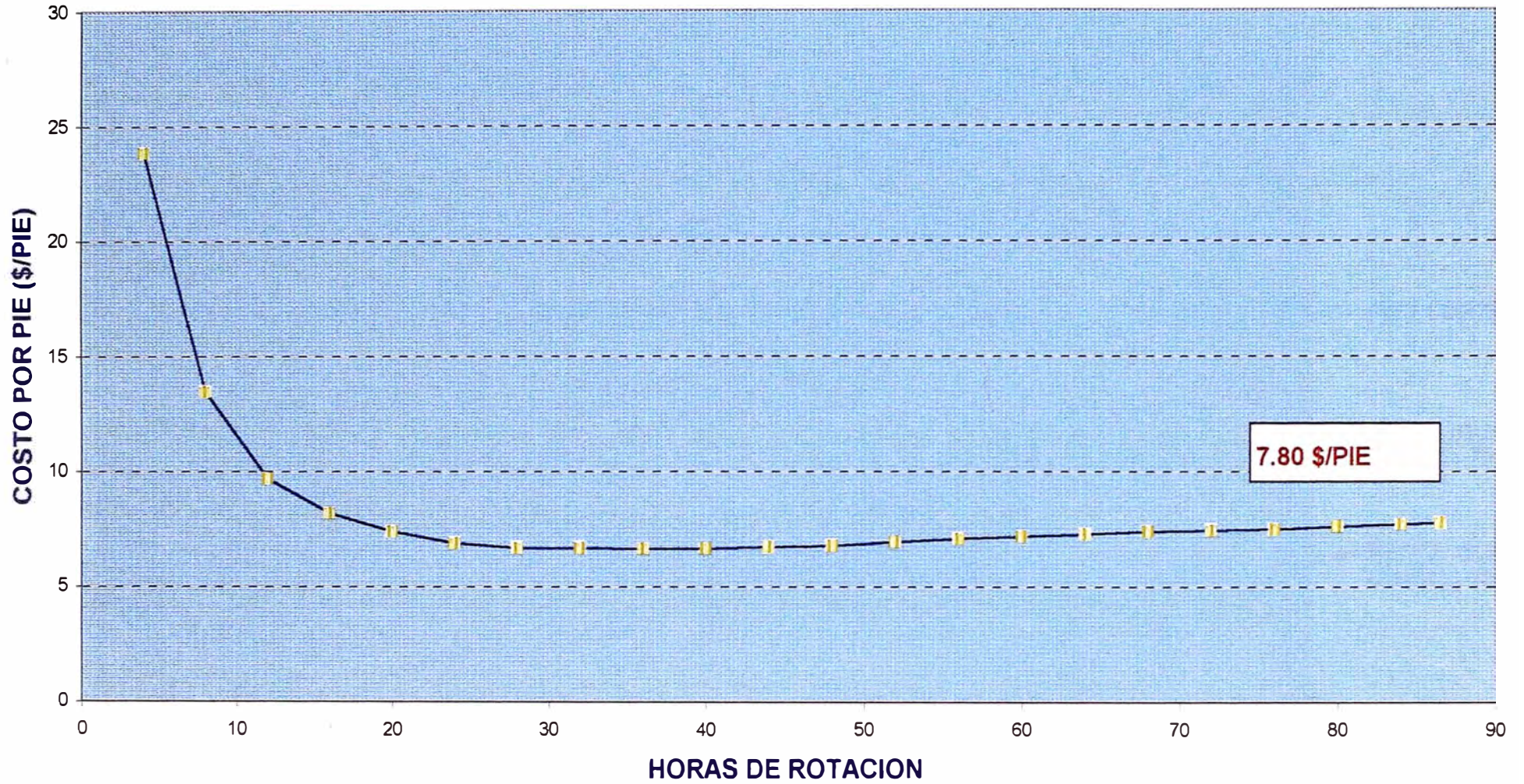




# GRAFICO COSTO PIE - BROCA ATJ-00

POZO 7887 LA TUNA

GRAFICO No 3

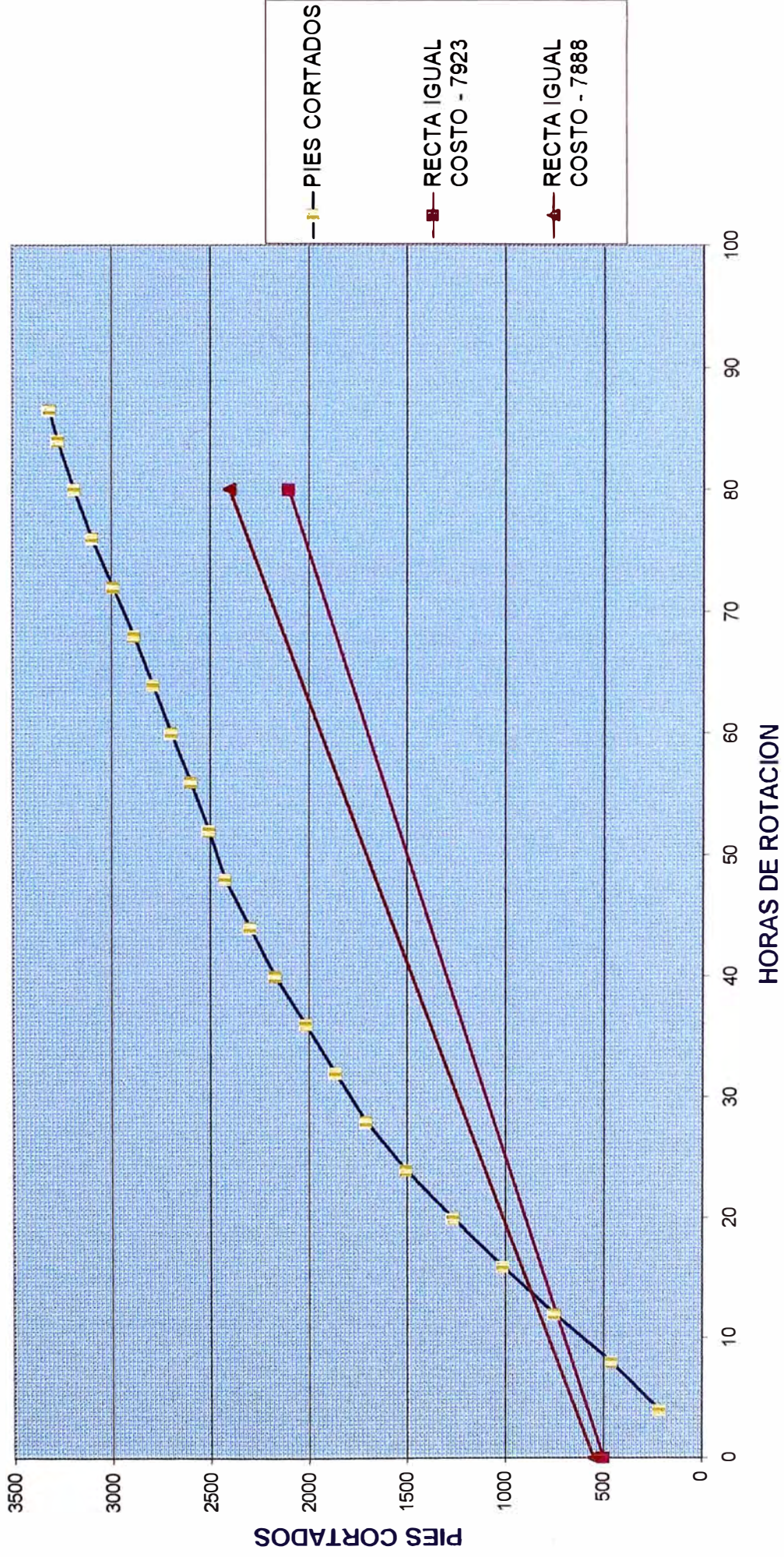




# RENDIMIENTO BROCA - ATJ-00

POZO 7887 - LA TUNA

GRAFICO No 4

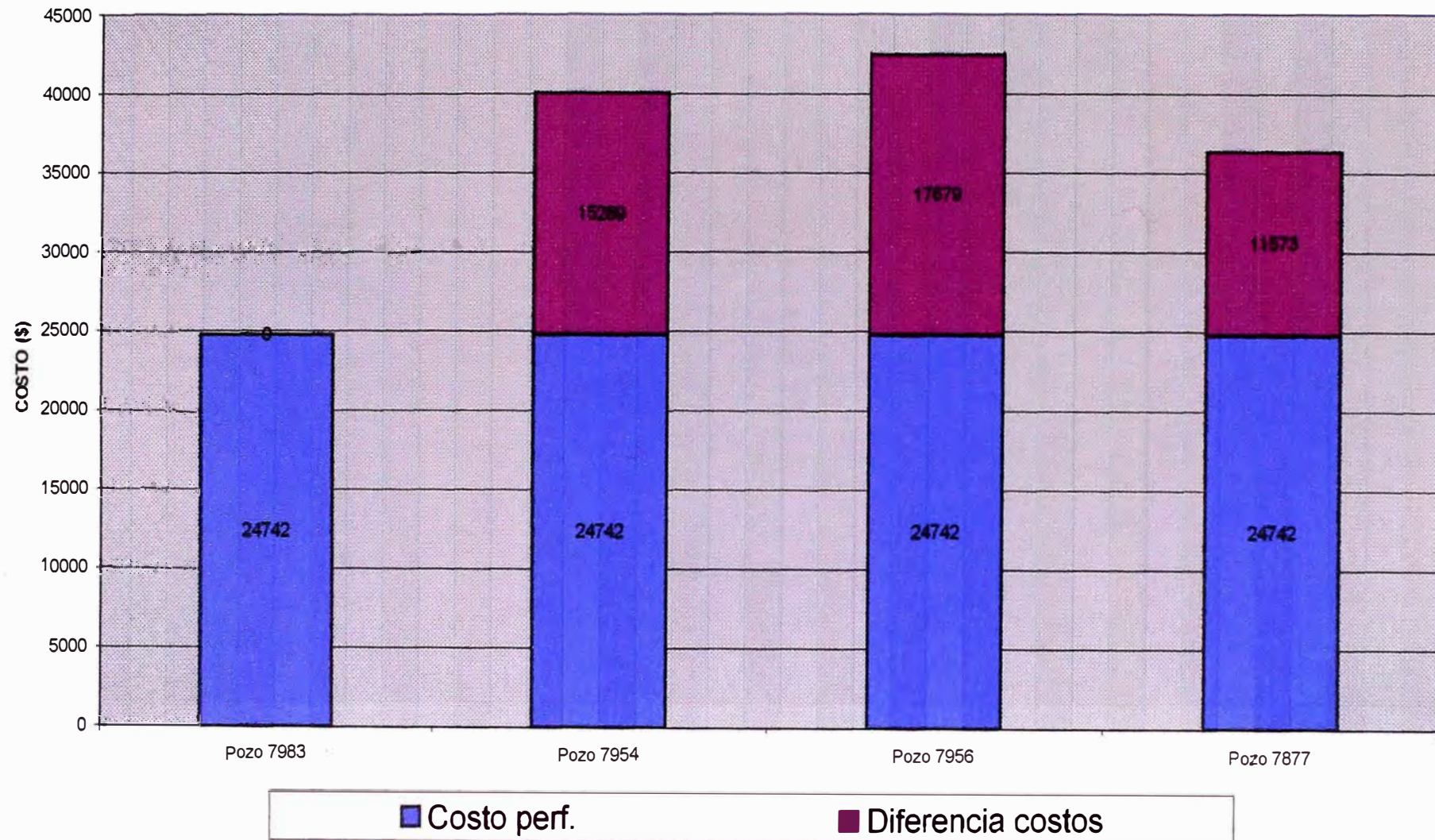




# COMPARACION DE COSTOS DE PERFORACION

YACIMIENTO BALLENA

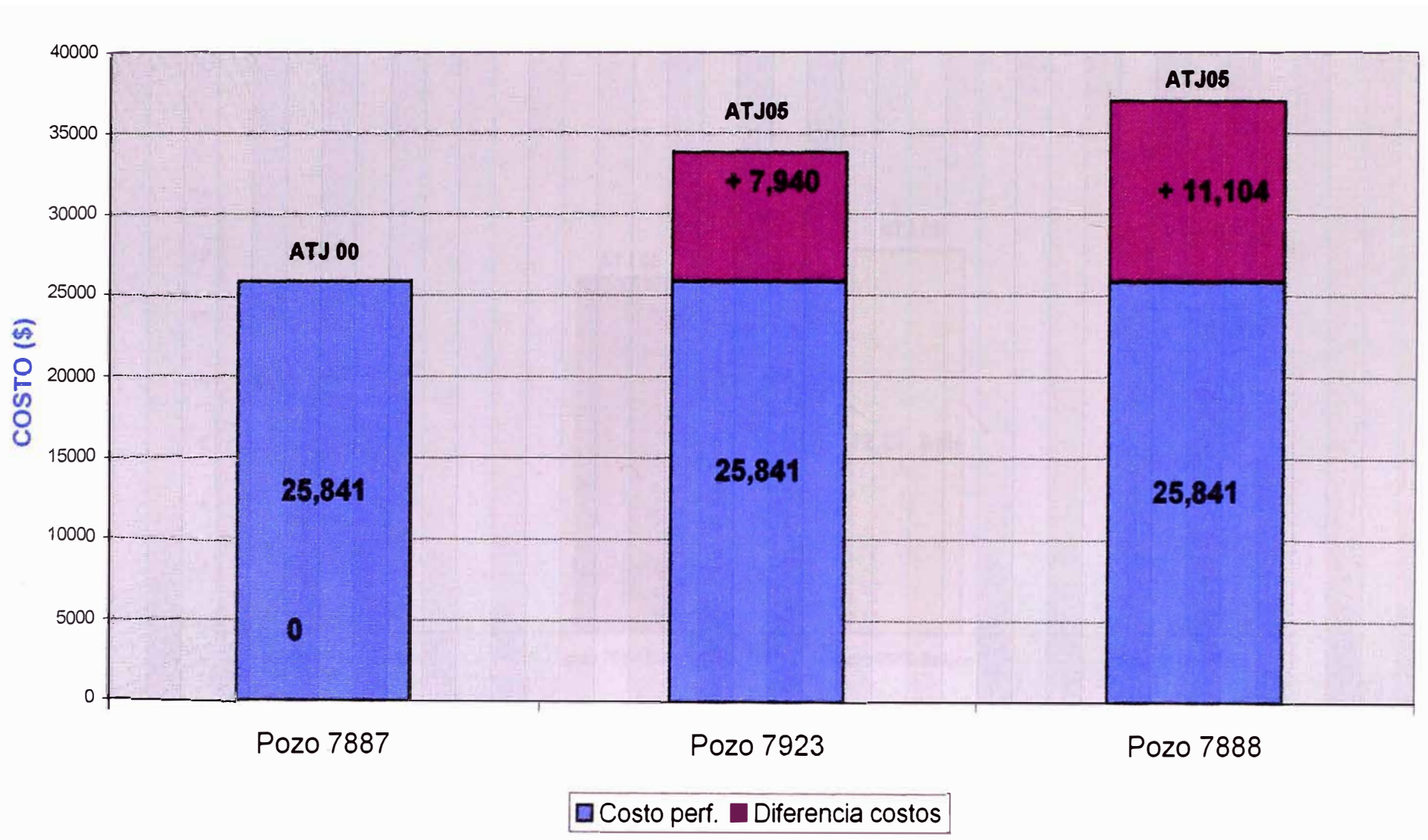
GRAFICO No 5



# COMPARACION DE COSTOS DE PERFORACION

YACIMIENTO: LA TUNA

GRAFICO No 6

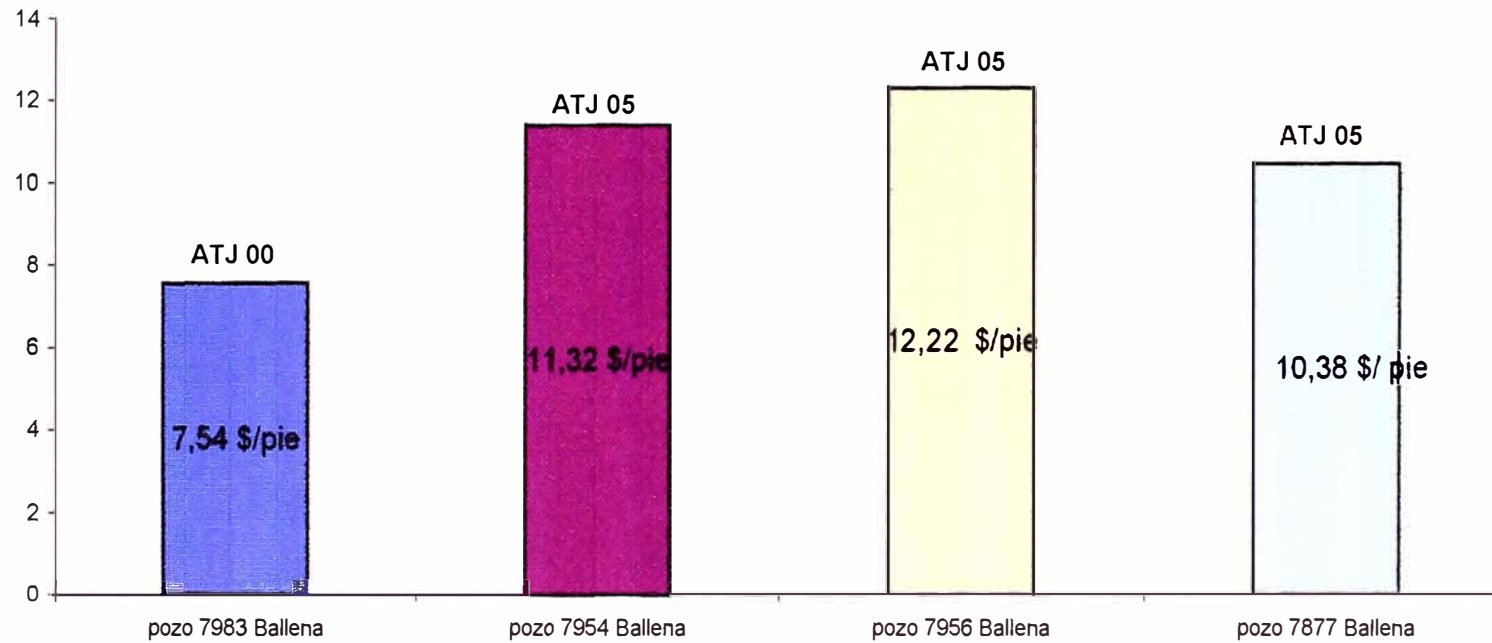




# COMPARACION DE \$/PIE - BALLENA

BROCA AT J-00 - POZO 7983  
BROCA ATJ-05 - POZOS 7954-7956-7877

GRAFICO 7

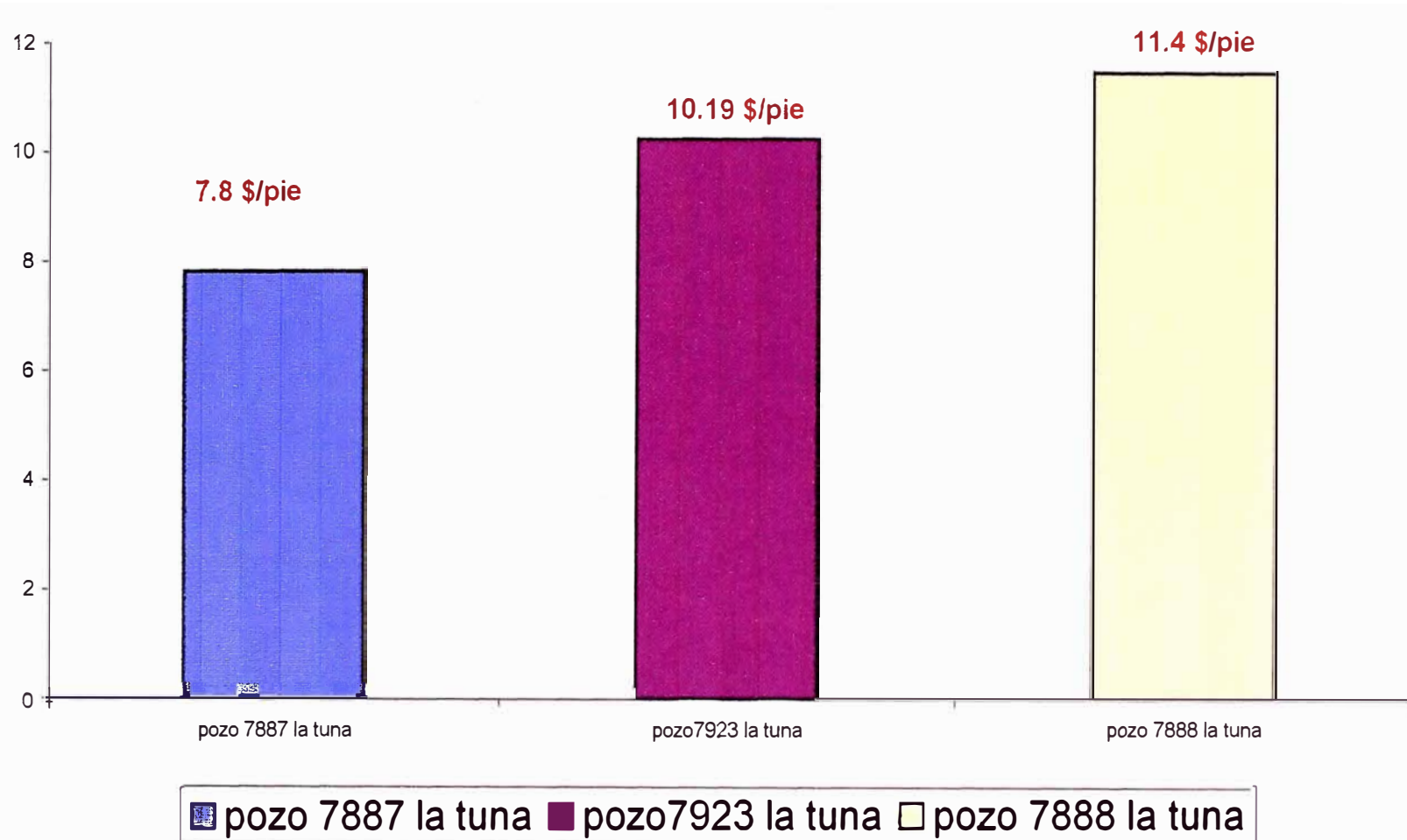


# COMPARACION DE \$/PIE - LA TUNA

BROCA ATJ-00 - POZO 7887

BROCA ATJ-O5 - POZOS 7923-7888

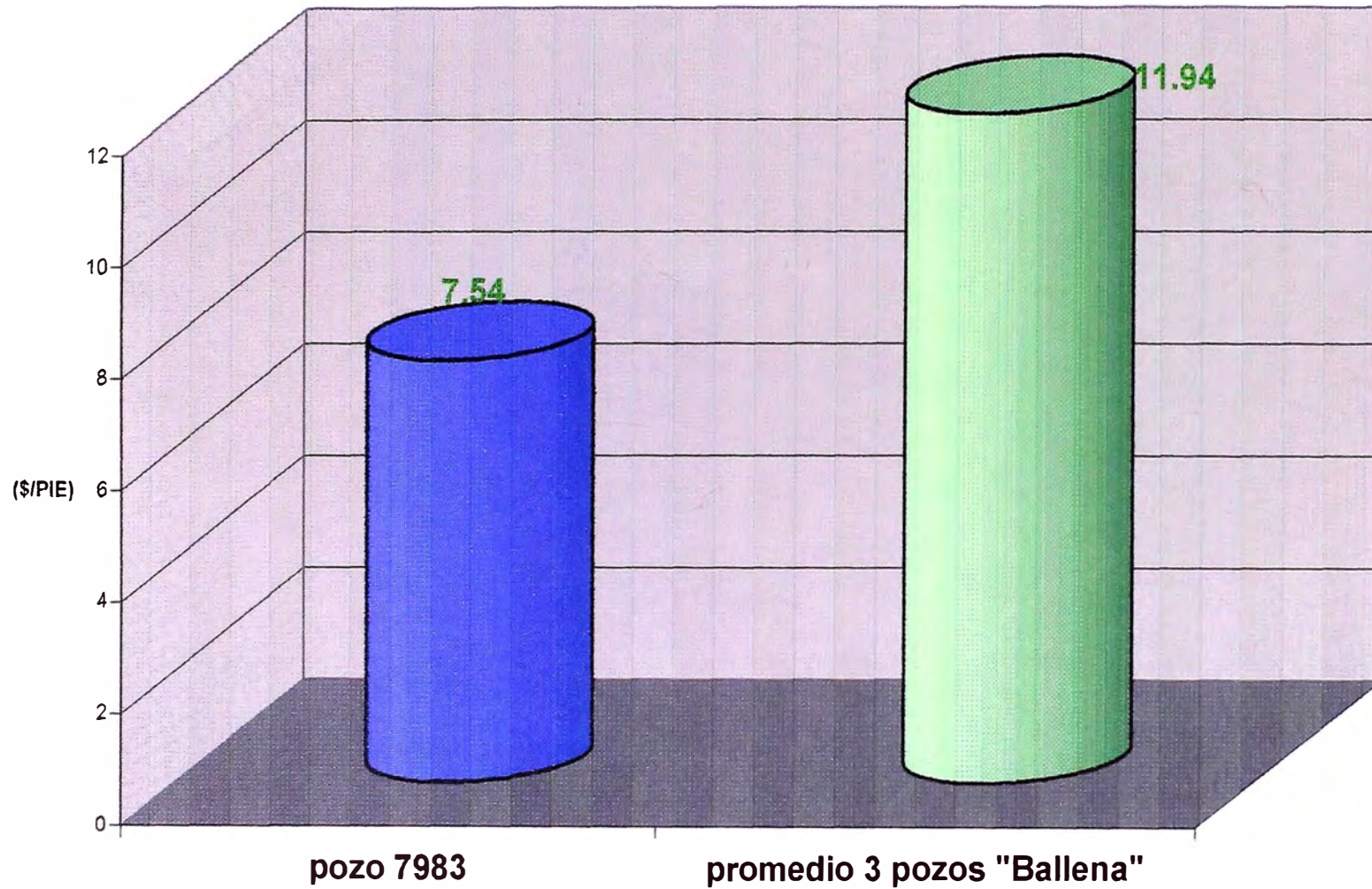
GRAFICO No 8



# COMPARACION DE COSTO/PIE - BALLENA

POZO 7983 - BROCA ATJ-00  
POZOS 7954-7956-7877 - BROCA ATJ-05

GRAFICO 9

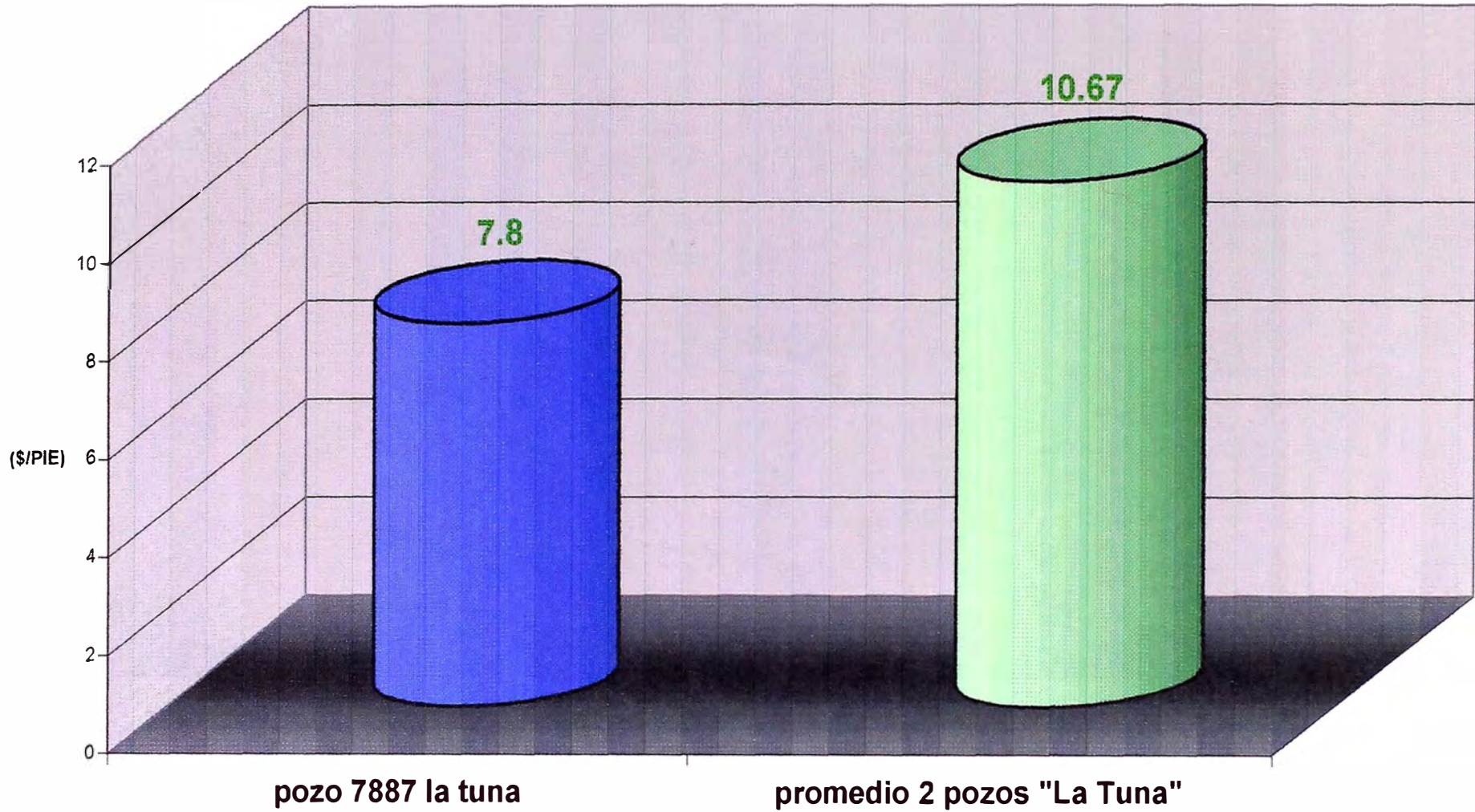




# COMPARACION DE COSTO/PIE - LA TUNA

POZO 7887 - CON BROCA ATJ-00  
POZOS 7923-7888 - CON BROCA ATJ-05

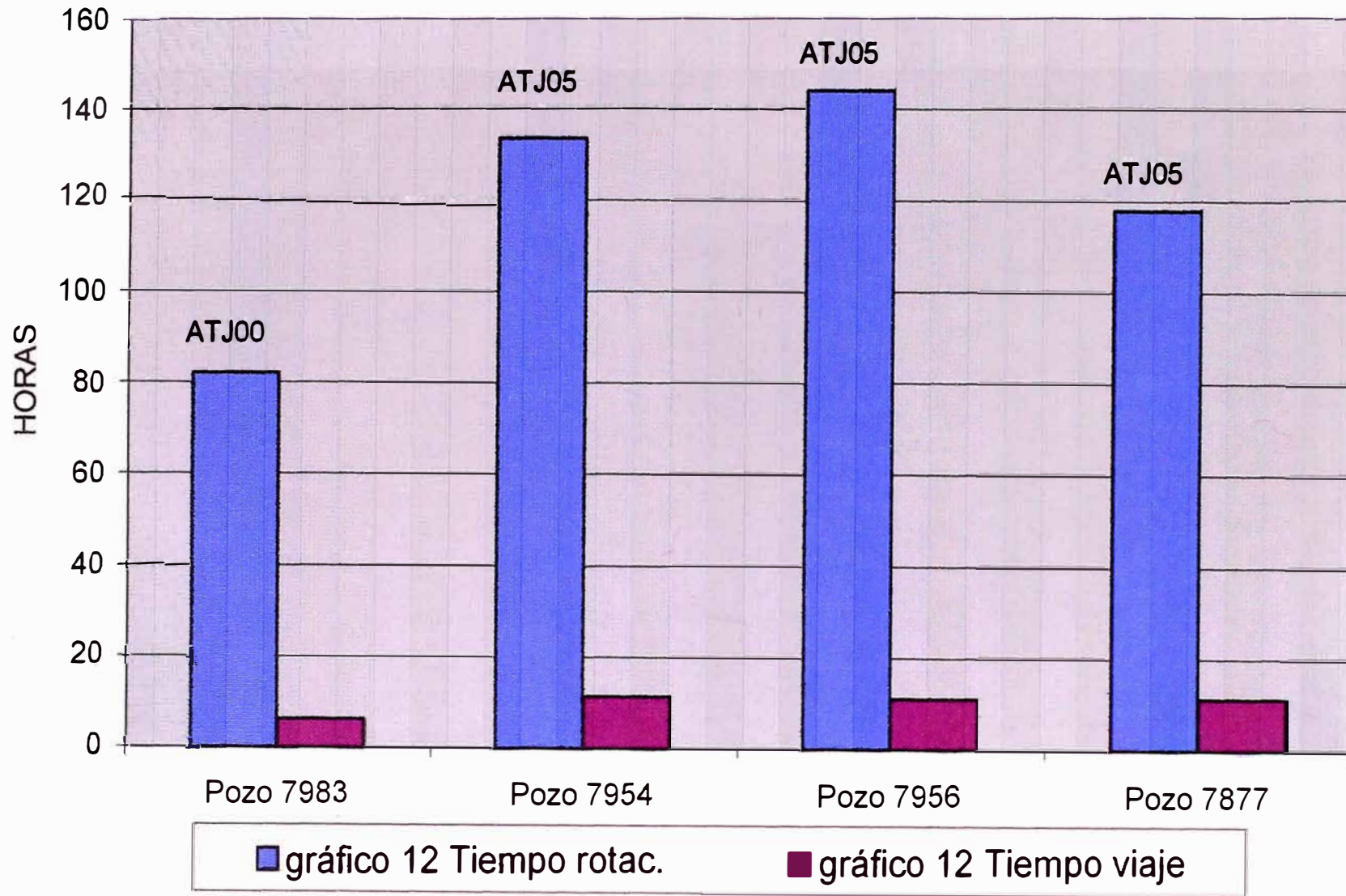
GRAFICO 10



# COMPARACION DE ROTACION Y TIEMPO DE VIAJE

YACIMIENTO: BALLENA

GRAFICO No 11





# COMPARACION DE ROTACION Y TIEMPO DE VIAJE

YACIMIENTO: LA TUNA

GRAFICO No 12

