

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO



**"Desarrollo de la Perforación Direccional  
En Selva Norte del Perú"**

**TITULACION POR EXAMEN PROFESIONAL**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE :

**INGENIERO DE PETROLEO**

**JAIME ROLDAN TAPIA PONCE**  
PROMOCION 1983-I

Lima - Perú  
1995

# INDICE

- 1.- RESUMEN
- 2.- INTRODUCCION
- 3.- FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA PERFORACION DIRECCIONAL
  - 3.1. Definiciones Básicas
  - 3.2. Consideraciones para la planificación de un pozo dirigido.
    - 3.2.1 Característica de las formaciones
    - 3.2.2 Sistema de coordenadas
    - 3.2.3 Objetivo del fondo del Pozo
    - 3.2.4 Tipos de trayectorias
    - 3.2.5 Determinación del punto de desviación
    - 3.2.6 Velocidades del incremento y caída del ángulo de inclinación.
- 4.- PLANIFICACION DE LA TRAYECTORIA DE UN POZO DIRIGIDO EN LA SELVA NORTE
  - 4.1. Trayectoria tipo "S"
  - 4.2. Trayectoria tipo "J"
  - 4.3. Resumen de la planificación de una trayectoria
- 5.- CALCULO DE LA TRAYECTORIA DE UN POZO DIRIGIDO
  - 5.1. Método del Angulo Promedio
  - 5.2. Método del Radio de Curvatura
  - 5.3. Método del Mínima Curvatura

PLANIFICACION DEL PUNTO DE DESVIACION Y CAMBIO DE TRAYECTORIA EN POZOS DIRIGIDOS TIPO "S"

7.- HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA PERFORACION DIRECCIONAL DE LOS POZOS EN SELVA NORTE

7.1. Herramientas de deflección

7.2. Herramientas de medición

7.3. Herramientas auxiliares

8.- CONJUNTOS DE FONDO

8.1. Teoría de los conjuntos de fondo

8.2. Tipo de conjuntos utilizados pozos dirigidos tipo "S"

9.- PROBLEMAS DE PERFORACION EN POZOS DIRIGIDOS

10.- EXPERIENCIA EN LA PERFORACION DIRECCIONAL DE POZOS TIPO "S" DESARROLLADOS EN SELVA NORTE (PROYECTO CORRIENTES-PAVAYACU)

10.1. Tipos de formaciones

10.2. Diseño de la trayectoria de un pozo tipo "S"

10.3. Tipos de brocas

10.4. Tipos de conjuntos de fondo

10.5. Comportamiento de los conjuntos de fondo

10.6. Problemas en la perforación de los pozos dirigidos

10.7. Estadística y Resultados de la perforación direccional en los yacimientos de Corrientes y Pavayacu

11. ANALISIS ECONOMICO

11.1. \* Costos comparativos de la perforación de pozos dirigidos  
pozos verticales en Selva Norte.

12.- CONCLUSIONES

13.- RECOMENDACIONES

14.- CUADROS Y GRAFICOS

15.- BIBLIOGRAFIA

## 1.- RESUMEN

Este trabajo, pretende dar una visión sobre el desarrollo de la perforación direccional que Petróleos del Perú está realizando en la Selva Norte del Perú desde el año de 1973 (inicio de las operaciones direccionales) hasta el año de 1995. Principalmente se detalla el control direccional que se tiene desde 1992 en que se inicio el Proyecto de perforación Corrientes-Pavayacu.

La primera parte del trabajo consiste en la descripción de los aspectos técnicos que se toman en cuenta en la planificación y en el control de la trayectoria dirigida de un pozo hasta alcanzar el objetivo programado. En Selva Norte la trayectoria dirigida comunmente usada es del tipo "S".

La segunda parte del trabajo muestra las experiencias obtenidas en la perforación direccional de los pozos con trayectoria "S" perforados en Selva Norte principalmente relacionado con el Proyecto de perforación Corrientes-Pavayacu. La experiencia más novedosa fue el uso de brocas de reciente tecnología llamada Compacta de Diamante Policristalinas (PDC) en el desarrollo de la trayectoria direccional de los pozos, estas brocas han abierto un nuevo capítulo en la perforación de pozos en Selva debido a la forma diferente de atacar las formaciones blandas comparado con las brocas tricónicas ó convencionales.

Actualmente se está perforando satisfactoriamente los pozos dirigidos en Selva Norte usando en forma combinada las brocas tricónicas y las PDC con los conjuntos de fondo rotarios convencionales. Se ha logrado importantes

reducciones de costos y tiempos de perforación comparado con las operaciones que se realizaban en los últimos 15 años.

Asimismo se ha introducido para el control direccional de la trayectoria de los pozos el Sistema de Medición mientras se Perfora (MWD), la cual está facilitando un mejor control de los parámetros direccionales (inclinación y dirección) y a la toma de decisiones inmediatas sobre el desarrollo de la trayectoria programada para alcanzar un objetivo predeterminado.

## **2.- INTRODUCCION**

El año de 1971 Petróleos del Perú inicia sus operaciones de perforación en la Selva Norte del Perú, los primeros pozos perforados fueron verticales puesto que era una etapa de exploración donde las ubicaciones eran programadas en diferentes locaciones.

A partir del año 1973 se inicia la aplicación de la perforación direccional en Selva para desarrollar los principales yacimientos productivos descubiertos: Corrientes, Pavayacu y Yanayacu.

Los trabajos de la perforación direccional en Selva Norte se hizo importante debido a que la geografía dificultaba las construcciones de locaciones para perforar pozos verticales en las ubicaciones programadas por Geología. Por lo tanto se tuvo que construir plataformas piloteadas para la perforación de los pozos en forma dirigida y desarrollar los yacimientos descubiertos.

El desarrollo y control de la perforación direccional en Selva Norte se realizan utilizando los conjuntos de fondo rotarios convencionales y los instrumentos de medición de fotos magnéticos simples (Single Shot) y el sistema de medición mientras se perfora (MWD).

Con estas herramientas se perfora la trayectoria dirigida tipo "S" comunmente empleado en Selva para alcanzar los objetivos programados. En los primeros años del inicio de los trabajos direccionales se utilizó la trayectoria tipo "J" (Slant).

El año de 1992 Petróleos del Perú reinicia en Selva su Proyecto de

perforación en los campos de Corrientes-Pavayacu, a fin de incrementar las reservas de petróleo en base a los nuevos estudios de la sísmica tridimensional (3D) y a la simulación de los reservorios. Este proyecto se desarrollo aplicando la perforación direccional con trayectoria tipo "S", se perforaron 21 pozos dirigidos de 23 pozos perforados desde abril de 1992 hasta mayo de 1995 (3 años y 1 mes).

Antes del año 1992 la perforación direccional se desarrollo utilizando solamente las brocas tricónicas convencionales y los conjuntos de fondo rotarios convencionales.

Durante el proyecto Corrientes-Pavayacu se realizaron importantes mejoras en la perforación direccional al utilizar la forma combinada los conjuntos de fondo rotarios con brocas tricónicas y las brocas de reciente tecnología denominados Compacta de Diamante Policristalinas (PDC).

Los conjuntos de fondo se optimizaron de acuerdo a las características litológicas de las formaciones para las diferentes secciones que consta la trayectoria dirigida tipo "S", esto permitió reducir los tiempos de perforación y obtener un adecuado control de la trayectoria hasta alcanzar el objetivo.



### 3.- FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA PERFORACION DIRECCIONAL

#### 3.1. Definiciones básicas

**Perforación direccional:** es el proceso de la desviación de un pozo a lo largo de una trayectoria a fin de alcanzar un objetivo predeterminado.

**Control de la desviación:** es el proceso de mantener el hueco dentro de límites programados relativos al ángulo de inclinación y separación horizontal medidos desde la vertical.

La perforación es un proceso tridimensional donde la broca no solamente penetra verticalmente sino que también puede ser desviada de la vertical en los planos X-Y.

El plano X se define como el plano de dirección y el plano Y como el plano de inclinación, los ángulos asociados con la deflección en los planos X-Y son llamados ángulos de "dirección" e "inclinación" respectivamente.

La figura N°1 muestra los planos de proyección de la trayectoria dirigida.

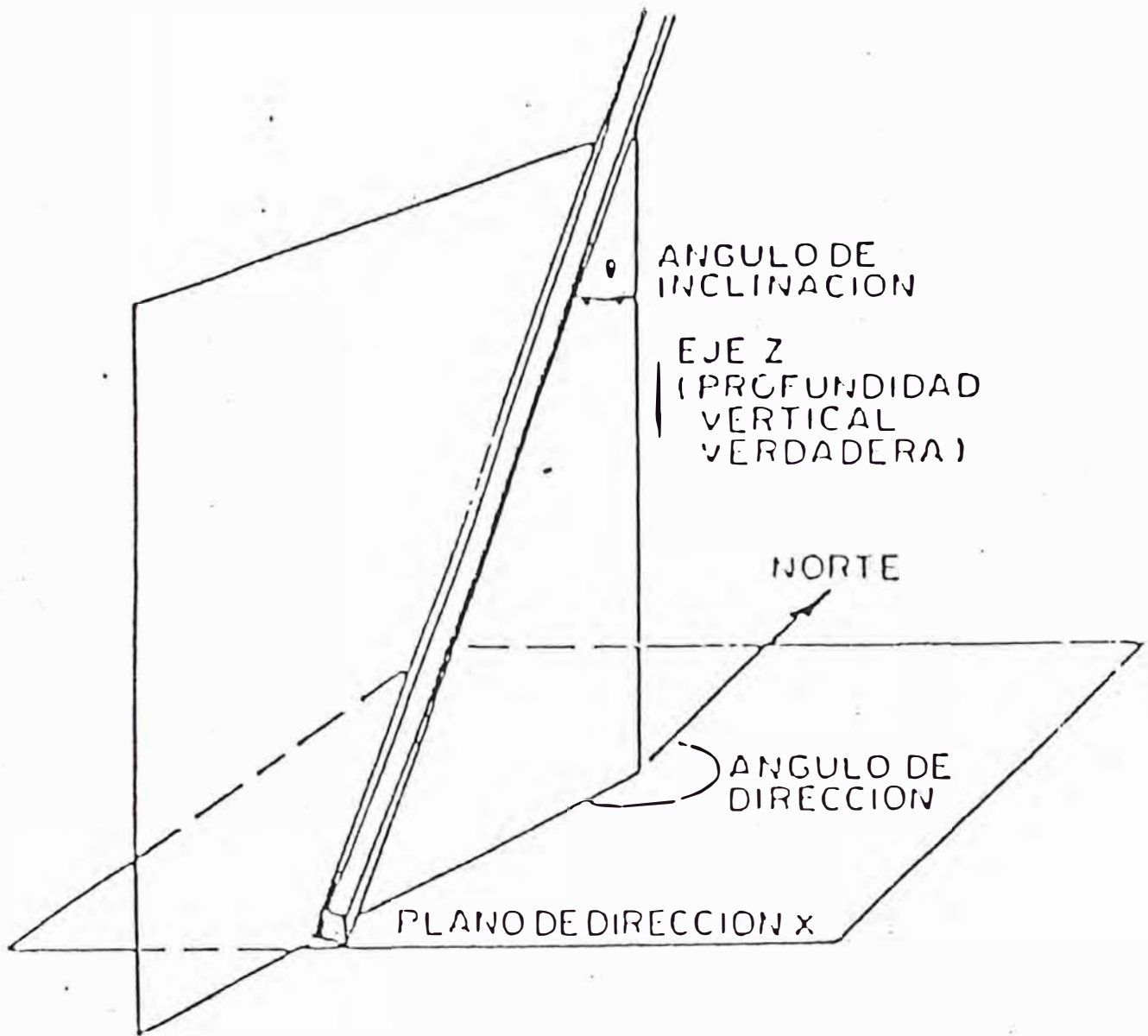


FIG 1 - PLANOS DE INCLINACION Y DIRECCION A MEDIDA QUE EL HOYO AVANZA EN EL PLANO DE PROFUNDIDAD.

## **3.2. Consideraciones para la planificación de un pozo dirigido**

### **3.2.1 Características de las formaciones**

Los efectos naturales de las formaciones puede afectar el perfil de la trayectoria dirigida de un pozo produciéndose cambios en los ángulos de inclinación y dirección mientras se va perforando.

Estos cambios pueden ocurrir cuando hay presencia de: buzamientos (inclinación) en los estratos, fallas geológicas y la dureza de las formaciones.

Así mismo los parámetros de perforación como el peso sobre la broca (WOB), revoluciones de la mesa rotaria (RPM) y la hidráulica pueden afectar también la cantidad de desviación.

En la Selva Norte, las formaciones geológicas presentan un alineamiento casi horizontal de sus estratos ó capas estratigráficas, los cuales difieren por sus características de perforabilidad (dureza).

Por lo tanto en la planificación direccional de un pozo, los efectos formacionales se toman en cuenta principalmente para:

- (.) selección del punto de desviación (KOP)
- (.) controlar la tendencia de giro de la broca tanto a la izquierda ó derecha.

### 3.2.2 Sistema de Coordenadas

Para los propósitos de la planificación de un pozo direccional se utiliza las coordenadas rectangulares mediante el sistema universalmente conocido como "Universal Transverse of Mercator" (UTM), la cual consiste básicamente en la proyección de la superficie de la tierra sobre una superficie plana a fin de facilitar la ubicación de un punto en los mapas.

En el sistema UTM, la ubicación de un punto sobre la tierra esta dada por la coordenadas Norte y Este, partiendo de mediciones hechas con referencia a un Punto de Vista de Satélite (PVS) ubicado en el área de interés.

Asimismo la dirección de la trayectoria está referido al Norte verdadero (geográfico) la cual puede ser expresado en dos maneras:

- (.) sistema de cuadrantes, en la cual el ángulo es medido de  $0^{\circ}$  -  $90^{\circ}$  desde el Norte o Sur.
- (.) como azimut, en la cual el ángulo es medido de  $0^{\circ}$  -  $359^{\circ}$  desde el Norte (sentido horario).

Para efecto de los cálculos de los registros de desviación es necesario que las direcciones estén referidas al Norte Geográfico para lo cual se debe realizar la corrección por efecto de la Declinación Magnética de la locación. La Declinación Magnética es el ángulo entre el Norte Magnético y el Norte Geográfico la cual cambia con el tiempo y el lugar.

### 3.2.3 Objetivo del fondo de pozo

El objetivo de un pozo es dado en base a criterios geológicos, su ubicación es expresada también mediante las coordenadas UTM y la profundidad vertical del objetivo. En la planificación y durante la perforación se utiliza simplemente las coordenadas parciales referidas al objetivo (diferencia entre las coordenadas de fondo y superficie), esta simplificación involucra el uso de las coordenadas de superficie como punto de referencia con valores de (0,0) que generalmente es la cabeza del pozo.

Si la diferencia de coordenadas Norte es positiva, entonces la dirección es hacia el Norte y si es negativa es al Sur. Si la diferencia de coordenadas Este es positiva, entonces se apunta al Este y si es negativa es al Oeste.

Al utilizar las coordenadas parciales se determinan lo siguiente: ubicación del objetivo, dirección de la trayectoria hacia el objetivo, desplazamiento horizontal del objetivo y radio de tolerancia del objetivo. Los cálculos indicados se obtienen de la siguiente manera:

- (.) La ubicación del objetivo en el mapa, se logra por la diferencia de las coordenadas UTM (Norte y Este) entre los puntos de superficie y en fondo, denominados como  $\Delta N$  y  $\Delta E$ .
- (.) La dirección y la distancia horizontal en coordenadas rectangulares es calculada como:
  - . dirección=azimut= $\tan^{-1} [(\Delta E/\Delta N)]$

$$\cdot \text{ distancia horizontal} = (\Delta E)^2 + (\Delta N)^2]^{1/2}$$

- (.) El radio del objetivo usualmente considera como un 1/12 parte de la separación horizontal.

### 3.2.4 Tipos de Trayectorias

Los tipos de trayectorias para perforar pozos dirigidos en Selva Norte son:

- a) **Tipo "S"**, esta trayectoria es la que comunmente se utiliza en Selva, consta de tres secciones:

- 1° Sección del incremento del ángulo de inclinación (build up).
- 2° Sección de mantenimiento del ángulo (hold).
- 3° Sección de caída del ángulo (drop off).

Los objetivos son perforados verticalmente.

Las tres secciones de la trayectoria tipo "S" son perforados en diferentes tamaños de hueco asi tenemos:

- (.) Tramo 17-1/2": sección del incremento del ángulo de inclinación hasta alcanzar el máximo ángulo programado.
- (.) Tramo 12-1/4": secciones de mantenimiento del ángulo(sección tangencial) y la caída del ángulo hasta obtener la verticalidad.
- (.) Tramo 8-1/2": sección vertical de la trayectoria hasta

alcanzar el objetivo.

La trayectoria tipo "S" se usa en Selva porque:

- (.) Los objetivos programados son relativamente profundos, varían entre las profundidades verticales de 2700,3000 y 3550 m.
- (.) Las separaciones horizontales de los pozos varían de cortas a medianamente largos, es decir de 300, 600 y 1000 m.

Estas condiciones del pozo permiten terminar el control direccional en el tramo de 12-1/4".

- (.) La sección vertical de la trayectoria facilita los trabajos de perforación del tramo de producción y los trabajos de completación de las arenas de interés.

**b) Tipo "J" (Slant)**, este tipo de trayectoria es la más simple para perforar pozos dirigidos. Consta de dos secciones:

- 1°) Incremento del ángulo
- 2°) Mantenimiento del ángulo de inclinación.

Las secciones de la trayectoria se desarrollan en los siguientes tramos:

- (.) Tramo 17-1/2": sección del incremento del ángulo hasta alcanzar el máximo programado.

(.) Tramos 12-1/4" y 8-1/2": sección del mantenimiento del ángulo hasta alcanzar el objetivo.

Esta trayectoria tipo "Slant" es utilizado con frecuencia cuando se requiere un desplazamiento horizontal grande para alcanzar objetivos en pozos pocos profundos. En Selva es usado generalmente cuando el objetivo tiene una separación horizontal mayor de 1000 m.

### **3.2.5. Determinación del punto de desviación:**

El punto de desviación (Kick Off Point) se denominada a una profundidad vertical donde se inicia la desviación del pozo con una dirección e inclinación programada.

La selección del punto de desviación es dado por consideraciones geométricas del perfil de la trayectoria y por características geológicas.

En Selva Norte los puntos de desviación normalmente se realizan a las profundidades verticales de 45 y 100 m (pozos tipo "S").

### **3.2.6. Velocidades del crecimiento y caída del ángulo de inclinación**

Los valores de las velocidades del incremento y caída del ángulo de inclinación es determinado en función de los siguientes consideraciones:



- (.) Profundidad total del pozo.
- (.) Máximos arrastres y torque permisible en el pozo.
- (.) Altas variaciones en los ángulos de inclinación y dirección en la sección del incremento, genera altos torques y arrastres que afecta al resto de la trayectoria del pozo a perforarse.
- (.) Los tipos de formaciones, por ejemplo las formaciones blandas no permiten altas velocidades de incremento del ángulo pero si favorecen a la caída del ángulo.
- (.) Limitaciones mecánicas de la sarta de perforación ó la tubería de revestimiento.
- (.) Formación de "pateperros" y "ojos de llave" en las secciones del incremento ó caída del ángulo.

Los valores del incremento y caída del ángulo utilizados en los pozos tipo "S" de la Selva Norte son de 2° a 2.5°/30 m. y de 1° a 1.5°/30 m. respectivamente.

### **3.2.7 Etapas de la planificación de una trayectoria dirigida**

Las principales etapas de la planificación de una trayectoria son:

- (.) La primera etapa de la planificación de un pozo dirigido es determinar la trayectoria en el plano vertical (profundidad vertical-separación horizontal) y luego en plano horizontal (dirección).

En la Fig. 2 se muestra las vistas vertical y horizontal de una trayectoria tipo "S".

Determinar los tipos de conjunto de fondo rotarios teniendo en cuenta la influencia de la litología de las formaciones a perforar.

- (.) El área del objetivo proporciona una zona de tolerancia para que la trayectoria del pozo pase a través de él. El tamaño lo da el denominado radio del objetivo.
- (.) El tamaño y las dimensiones del objetivo se basan generalmente en factores relacionados al drenaje del yacimiento y criterios geológicos.
- (.) Cuando se inicia la desviación en el punto de desviación (KOP), la práctica es la de orientar la trayectoria a algún ángulo de dirección específica llamado ángulo de "conducción" este ángulo es a la derecha ó izquierda de la trayectoria programada. Este procedimiento es en base a la experiencia de pozos vecinos y los factores que afectan a que la broca "camine". Ver Figura 3.

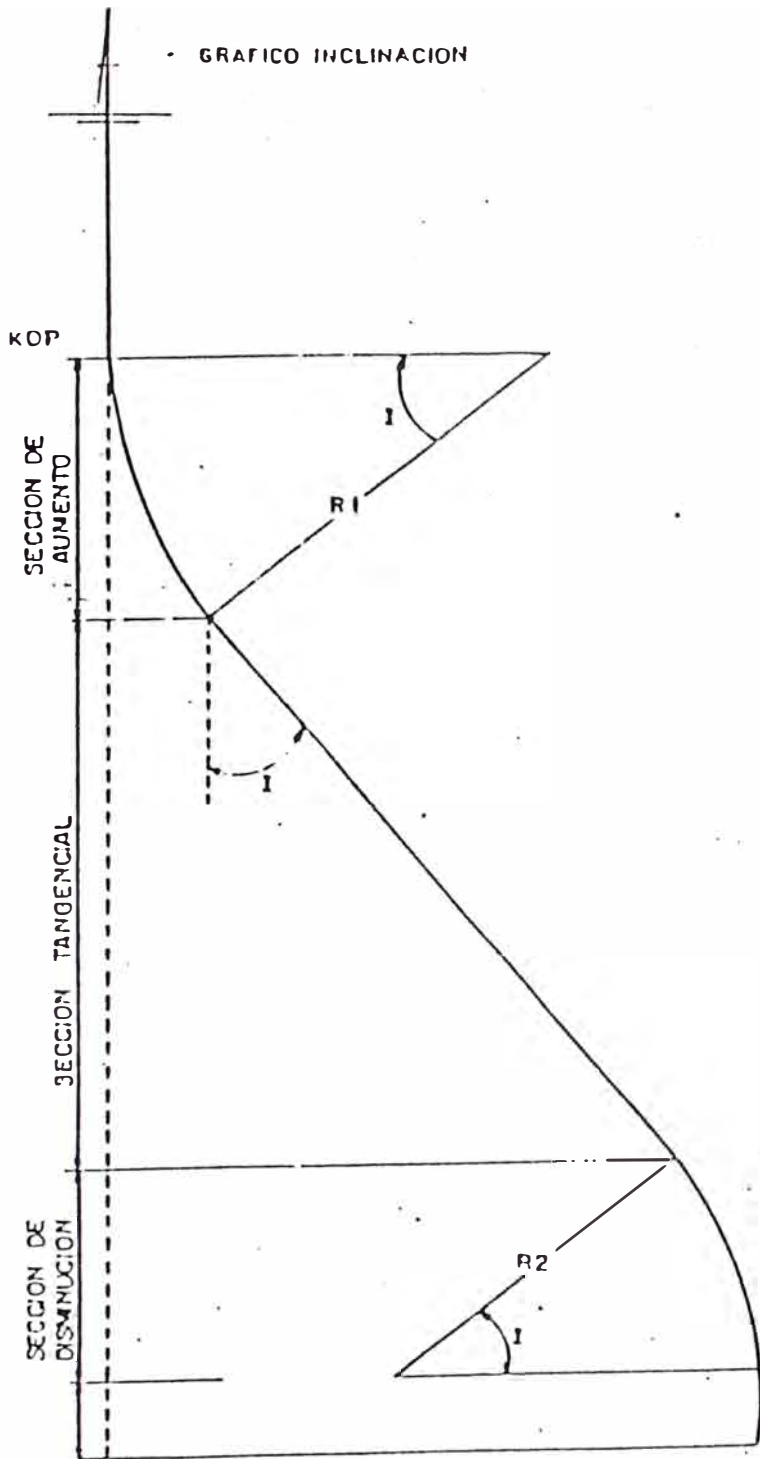


GRAFICO ORIENTACION

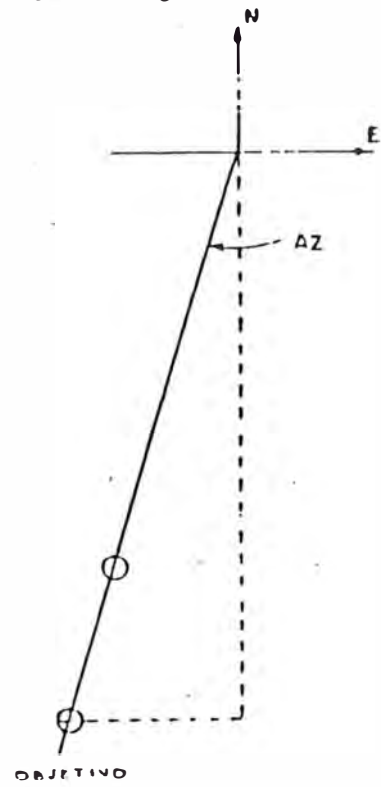


FIG. 2 PLANOS VERTICAL Y HORIZONTAL. TRAYECTORIA TIPO "S"

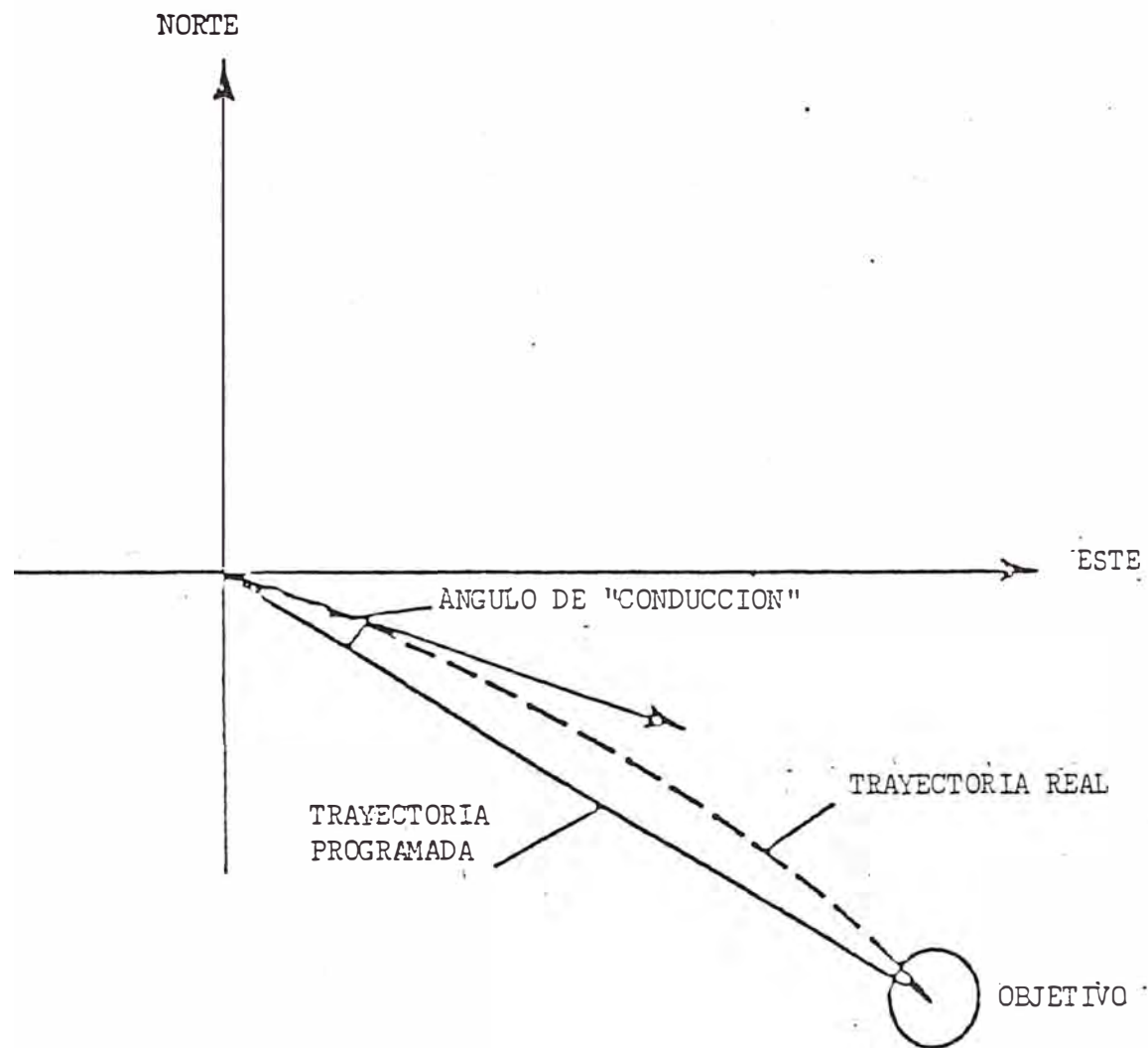


Fig. 3. USO DEL ANGULO DE "CONDUCCION" PARA COMPENSAR GIRO DE LA BROCA.

#### **4.- PLANIFICACION DE LA TRAYECTORIA DE UN POZO DIRIGIDO EN SELVA NORTE**

El primer paso en la planificación de cualquier pozo direccional es la de diseñar la ruta o trayectoria del pozo, para conseguir su intersección con un objetivo dado.

Para el desarrollo de la perforación direccional en Selva Norte utilizamos las trayectorias tipos "S" y "J" (Slant), siendo el tipo "S" el que más se utiliza.

##### **4.1. Trayectoria tipo "S"**

Esta trayectoria consta de tres (03) secciones que son: incremento, mantenimiento y disminución del ángulo de inclinación (figura 2). El objetivo es intersectado por una trayectoria vertical.

Para el diseño geométrico de la trayectoria se requiere la siguiente información:

- (.) Coordenadas UTM se superficie ( $N_{sup}$ ,  $E_{sup}$ ).
- (.) Coordenadas UTM del objetivo ( $N_{ob}$ ,  $E_{ob}$ ).
- (.) Profundidad vertical del objetivo ( $V_5$ ).
- (.) Profundidad vertical del punto de desviación ( $V_1$ ).
- (.) Velocidad de incremento ángulo de inclinación ( $b$ ).
- (.) Velocidad de caída del ángulo ( $b'$ ).
- (.) Prof. vertical del fin de caída del ángulo ( $V_4$ ).
- (.) Separación horizontal al objetivo ( $D_4$ ).

Para los pozos tipos "S" de la Selva Norte, usamos el caso en que la suma de los radios de curvatura de las secciones de incremento y caída el ángulo es mayor que el desplazamiento horizontal ( $B+B'>D_4$ ).

El cálculo de los parámetros de la trayectoria tipo "S" se determina en base a la construcción geométrica de la Fig. 4:

**A) En el plano vertical**

- 1) Radio de curvatura del incremento del ángulo (B)

$$B = \frac{180}{\pi \times b}$$

- 2) Radio de curvatura de la caída del ángulo (B')

$$B' = \frac{180}{\pi \times b'}$$

- 3) Angulo máximo ( $\phi_m$ )

$$\phi_m = \sin^{-1} \frac{B + B'}{V_4 - V_1} \cos \left( \text{tg}^{-1} \left( \frac{B + B' - D_4}{V_4 - V_1} \right) \right.$$

$$\left. - \text{tg}^{-1} \left( \frac{B + B' - D_4}{V_4 - V_1} \right) \right)$$

En la construcción geométrica se observa que:  $\phi_m = \beta - \delta$

- 4) Prof. vertical al final incremento ángulo ( $V_2$ ):

$$V_2 = V_1 + B \sin \phi$$

- 5) Prof. medida al final incremento ángulo ( $M_2$ ):

$$M_2 = V_1 + \frac{\phi_m}{b}$$

- 6) Separación horizontal final incremento ángulo ( $D_2$ ):

$$D_2 = B (1 - \cos \phi_m)$$

- 7) Prof. vertical al inicio de la caída ángulo ( $V_3$ ):

$$V_3 = V_4 - B' \sin \phi_m$$

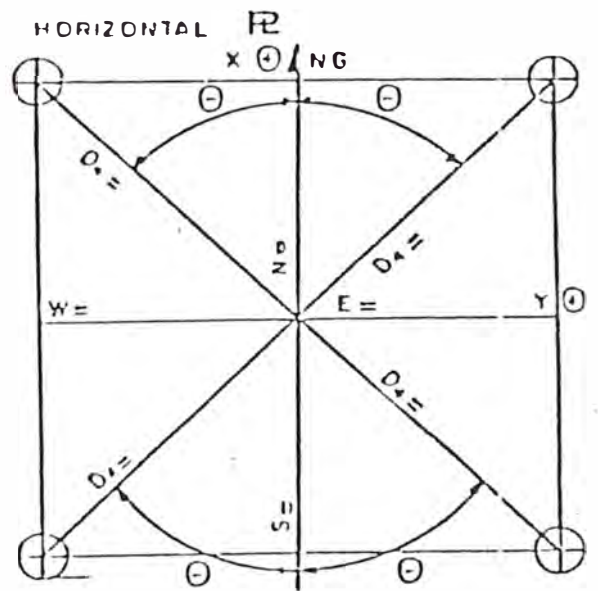
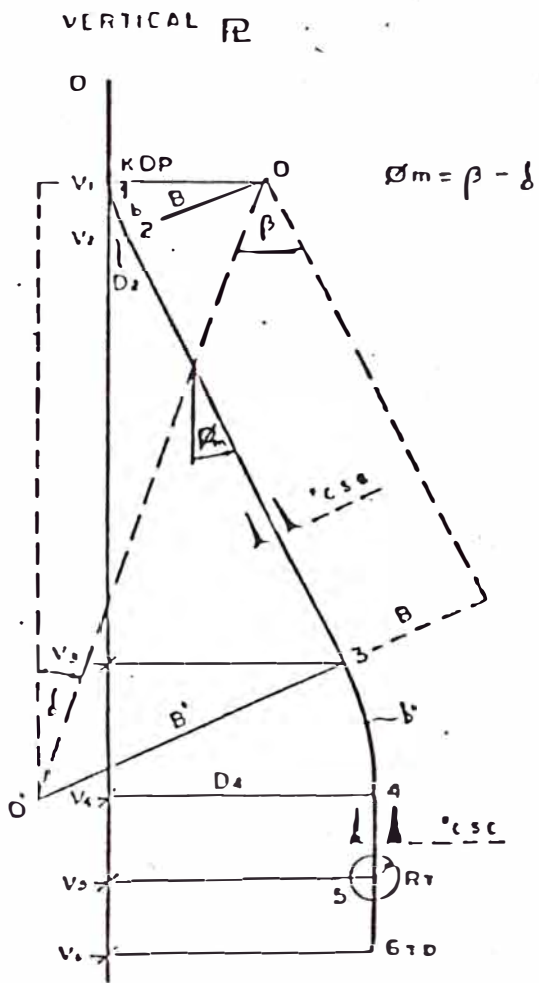


FIG. 4

PLANIFICACION GEOMETRICA TRAYECTORIA TIPO "S"

8) Prof. medida al inicio de la caída ángulo ( $M_3$ ):

$$M_3 = M_2 + \frac{V_3 - V_2}{\cos \phi_m}$$

9) Separación horizontal al inicio de la caída del ángulo ( $D_3$ ):  
 $D_3 = D_4 - B' (1 - \cos \phi_m)$

10) Profundidad medida de la tubería de revestimiento ( $M_{csg}$ ):

$$M_{csg} ; M_n = M_{n-1} + \frac{V_n - V_{n-1}}{\cos \phi_m}$$

11) Profundidad medida al final de la caída del ángulo ( $M_4$ ):

$$M_4 = M_3 + \frac{\phi_m}{b'}$$

### **Zona vertical**

12) Profundidad medida del objetivo ( $M_5$ ):

$$M_5 = M_4 + (V_5 - V_4)$$

13) Profundidad final medida ( $M_{PF}$ )

$$M_{csg} ; M_{PF} = M_n = M_{n-1} + (V_n - V_{n-1})$$

### **B) En el plano horizontal**

1) Separación horizontal al objetivo ( $D_4$ ):

$$D_4 = [(\text{Coord } N_{ob} - \text{Coord } N_{sup})^2 + (\text{Coord } E_{ob} - \text{Coord } E_{sup})^2]^{1/2}$$

$$D_4 = [(\Delta N)^2 + (\Delta E)^2]^{1/2}$$

2) Dirección de la trayectoria al objetivo ( $\odot$ )

$$\odot = \text{tg}^{-1} (\Delta E / \Delta N)$$

Este procedimiento del diseño de la curva tipo "S", se ha elaborado como una hoja de cálculo para las computadoras, la cual facilita la planificación direccional del pozo.

En la fig. 5 se muestra la hoja de cálculo.



DISEÑO TRAYECTORIA PERFORACION DIRIGIDA POZO 159D-CORRIENTES  
(METODO RADIO DE CURVATURA)

| ALTER. | KOP<br>( m ) | FINAL       | SEPAR.<br>HORIZ.<br>( m ) | RATE       | RATE  | MAX.<br>< INCL.<br>(Grd) | FINAL    |       | CASING    |       | INICIO   |       | FINAL    | ZONA VERTICAL |       |             |       |             |      |
|--------|--------------|-------------|---------------------------|------------|-------|--------------------------|----------|-------|-----------|-------|----------|-------|----------|---------------|-------|-------------|-------|-------------|------|
|        |              | DROP        |                           | BUILD      | DROP  |                          | BUILD UP |       | 1 1/2-3/8 |       | DROP OFF |       | DROP OFF | CSG 9-5/8     |       | AR.PRODUCT. |       | PROF. FINAL |      |
|        |              | OFF         |                           | UP         | OFF   |                          | VD       | MD    | VD        | MD    | VD       | MD    | MD       | VD            | MD    | VD          | MD    | VD          | MD   |
|        |              | VD<br>( m ) | ( g/30 m )                | ( g/30 m ) | ( m ) | ( m )                    | ( m )    | ( m ) | ( m )     | ( m ) | ( m )    | ( m ) | ( m )    | ( m )         | ( m ) | ( m )       | ( m ) | ( m )       |      |
| 1      | 100          | 2460        | 1014                      | 2.5        | 1.25  | 29.0                     | 434      | 449   | 446       | 462   | 1792     | 2003  | 2700     | 2540          | 2780  | 2970        | 3210  | 3072        | 3312 |
| 2      | 100          | 2410        | 1014                      | 2.5        | 1.25  | 30.0                     | 444      | 460   | 456       | 474   | 1723     | 1937  | 2656     | 2494          | 2740  | 2970        | 3216  | 3072        | 3318 |
| 3      | 100          | 2520        | 1014                      | 2.5        | 1.25  | 28.0                     | 423      | 436   | 435       | 450   | 1874     | 2080  | 2752     | 2583          | 2815  | 2970        | 3202  | 3072        | 3304 |
| 4      | 100          | 2315        | 1014                      | 2.5        | 1.25  | 32.0                     | 464      | 484   | 476       | 498   | 1587     | 1807  | 2575     | 2480          | 2740  | 2970        | 3230  | 3072        | 3332 |

|         | COORDENADAS ( m ) |           | SEPARACION<br>HORIZONTAL<br>( m ) | RADIO<br>( m ) | DIRECCION | AZIMUT  |
|---------|-------------------|-----------|-----------------------------------|----------------|-----------|---------|
|         | N                 | E         |                                   |                |           |         |
| SUP:    | 9,575,712.9       | 495,336.3 | 1014                              | 85             | S 2.0 W   | 182.0 ° |
| FONDO:  | 9,574,699.3       | 495,301.4 |                                   |                |           |         |
| PARCIAL | -1013.62          | -34.85    |                                   |                |           |         |

#### 4.2 Trayectoria tipo "J" (slant):

Esta trayectoria consta de dos (2) secciones que son: incremento y mantenimiento del ángulo de inclinación.

El objetivo es intersectado con el ángulo máximo programado.

Para el diseño de la trayectoria se requiere la siguiente información:

- (.) Coordenadas de superficie (Nsup, Esup)
- (.) Coordenadas del objetivo (Nub, Eob)
- (.) Profundidad vertical del objetivo (Vt)
- (.) Prof. vertical punto desviación (Vb)
- (.) Velocidad del incremento del ángulo de inclinación ( $\phi$ )
- (.) Separación horizontal al objetivo (Ht)

En base a la construcción geométrica de la fig. 6 (plano vertical), se calcula los siguientes parámetros:

##### A) En el plano vertical

- 1) Radio de curvatura (R):

$$\frac{\phi}{360} = \frac{1}{2\pi R} ;$$

$$R = \frac{180}{\pi \phi}$$

- 2) Angulo máximo ( $\alpha$ ) :

$$\alpha = x + y$$

$$\text{tg } x = \frac{Ht-R}{V_t-V_b}$$

$$\text{sen } y = \frac{PC}{PT} = \frac{R}{V_t - V_b / \cos x} = \frac{R \cos x}{V_t - V_b}$$

$$\alpha = \text{tg}^{-1} \frac{H_t - R}{V_t - V_b}$$

$$+ \text{sen}^{-1} \frac{R \cos (\text{tg}^{-1} (H_t - R / V_t - V_b))}{V_t - V_b}$$

- 3) Prof. vertical al final incremento ángulo ( $V_c$ ):

$$V_c = V_b + R \text{sen } \alpha$$

- 4) Separación horizontal al final incremento

ángulo( $H_c$ ):

$$H_c = R - R \cos \alpha$$

$$H_c = R (1 - \cos \alpha)$$

- 5) Profundidad medida al final incremento ángulo ( $M_c$ ):

$$M_c = V_b + \frac{\alpha}{\phi}$$

- 6) Profundidad medida al objetivo ( $M_t$ ):

$$M_t = M_c + \frac{V_t - V_c}{\cos \alpha}$$

## **B) En el plano horizontal**

- 1) Separación horizontal hasta el objetivo ( $H_t$ ):

$$H_t = [(\text{Coord } N_{ob} - \text{Coord } N_{sup})^2 + (\text{Coord } E_{ob} - \text{Coord } E_{sup})^2]^{1/2}$$

$$H_t = [(\Delta N)^2 + (\Delta E)^2]^{1/2}$$

- 2) Dirección de la trayectoria al objetivo ( $\beta$ ):

$$\beta = \text{tg}^{-1} (\Delta E / \Delta N)$$

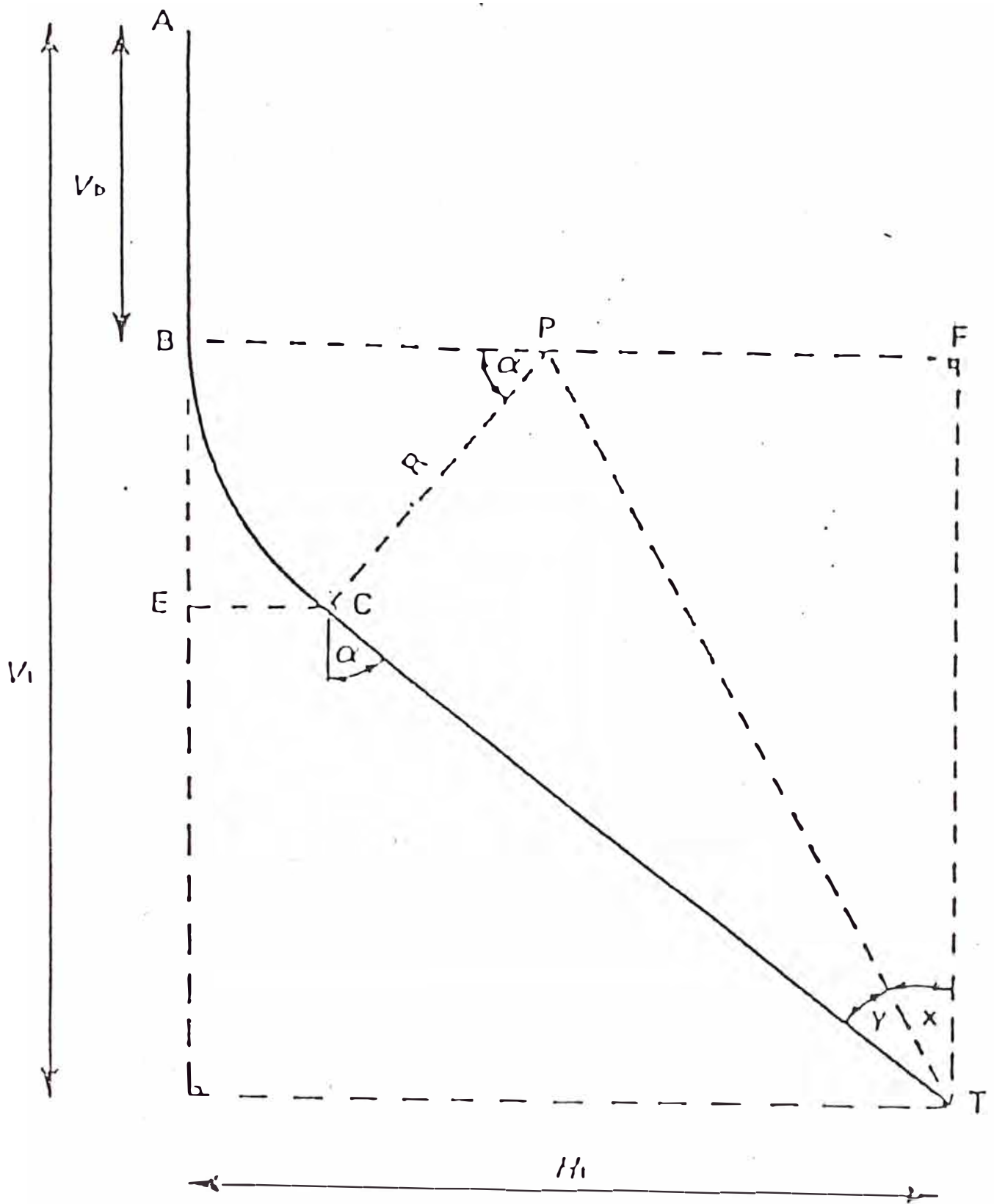


Fig. 6 PLANIFICACION GEOMETRICA TRAYECTORIA TIPO "J" (SLANT)

### **4.3 Resumen de la planificación de una trayectoria dirigida**

- (.) De la información geológica, establecer la profundidad del objetivo, radio del objetivo y desplazamiento horizontal del objetivo.
- (.) Seleccionar punto desviación, velocidades de incremento y/o caída del ángulo de inclinación, luego escoger el tipo de trayectoria para alcanzar el objetivo predeterminado.
- (.) Calcule el punto de máxima inclinación y otra información con respecto a la trayectoria.
- (.) Determine el ángulo de "conducción" y estime la tasa de cambio de dirección.
- (.) Calcule la trayectoria que seguirá el pozo hasta alcanzar el objetivo en los planos vertical y horizontal.

## 5.- CALCULO DE LA TRAYECTORIA DE UN POZO DIRIGIDO

El método normal para determinar el curso que está tomando un pozo direccional es el de averiguar las coordenadas usando algún tipo de instrumento de medición, para medir la inclinación y dirección a varias profundidades (estaciones) y luego calcular la trayectoria.

### 5.1. Método del ángulo promedio

Este método promedia los ángulos de inclinación y dirección entre dos puntos de medición y asume una línea recta para intersectar a las dos estaciones en los planos vertical y horizontal.

En base a la fig. 7 se puede calcular las coordenadas para los planos vertical y horizontal.

| <u>Coordenadas plano vertical</u>                      | <u>Coordenadas plano horizontal</u>   |
|--|---|
| $V = L \cos\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)$ | $N = L \frac{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}{2} \frac{\cos(\beta_1 + \beta_2)}{2}$ |
| $H = L \frac{\sin(\beta_1 + \beta_2)}{2}$              | $E = L \frac{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}{2} \frac{\sin(\beta_1 + \beta_2)}{2}$ |

Donde:

$\alpha_1$  y  $\beta_1$  : inclinación y dirección en el punto 1

$\alpha_2$  y  $\beta_2$  : inclinación y dirección en el punto 2

L : Longitud recta entre los puntos 1 y 2

▲V : prof. vertical

▲H : separación horizontal

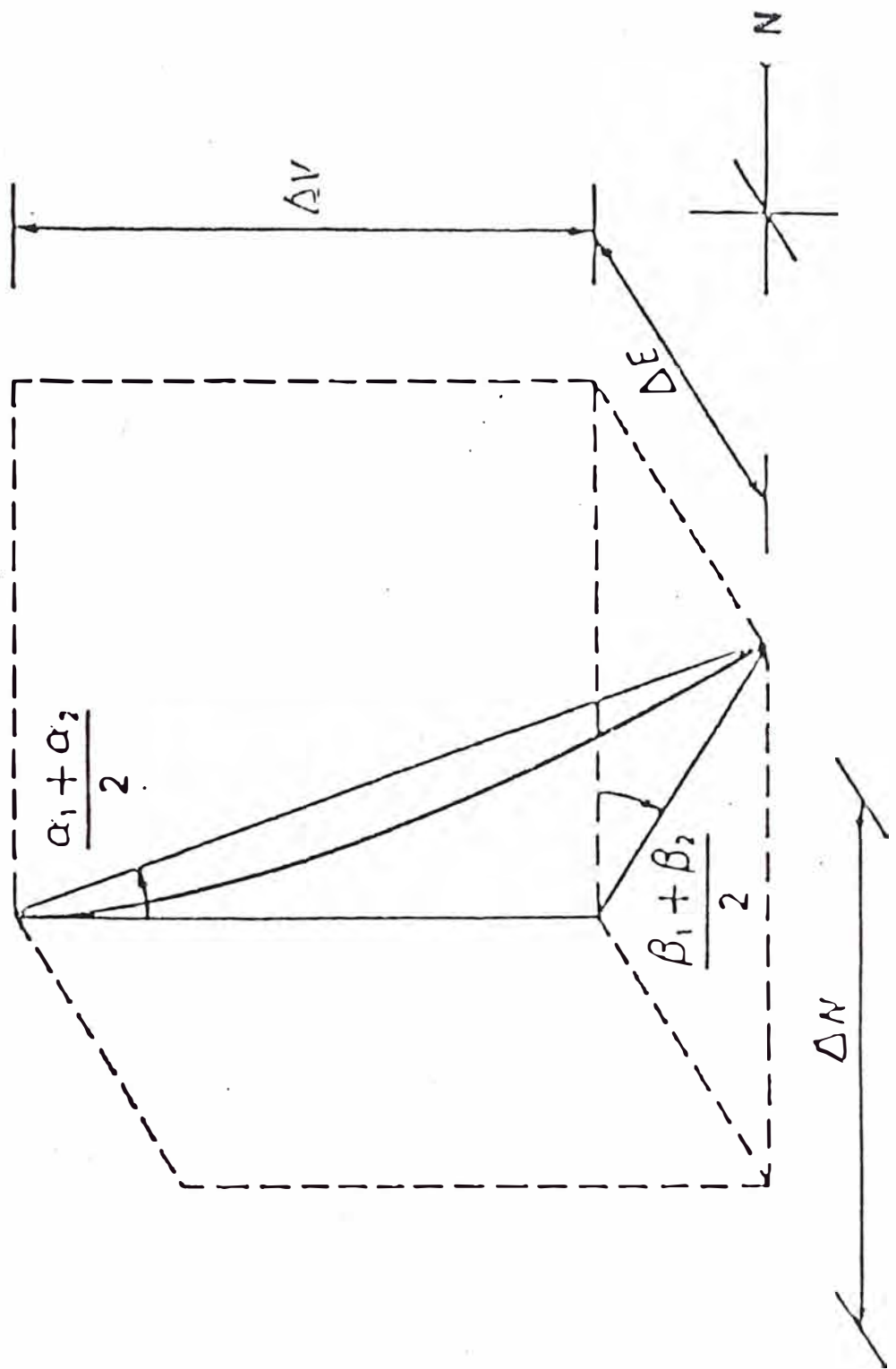


Fig. 7 MODELO ANGULO PROMEDIO

▲N : coord. Norte

▲E : coord. Este

Este es muy popular por los cálculos simples y por su exactitud para calcular la trayectoria. Su exactitud es aceptable para curvaturas y longitudes pequeñas.

## 5.2. Método de radio de curvatura

Este método asume que el perfil del pozo no es una línea recta sino un arco cilíndrico, tanto en los planos vertical y horizontal. El arco es tangente a la inclinación y dirección en cada punto.

De acuerdo a la fig.8 se obtiene las coordenadas:

### En el plano vertical

Se obtiene la profundidad vertical (▲V) y la separación horizontal (▲H).

$$\Delta V = \frac{L}{\alpha_2 - \alpha_1} \left( \frac{180}{\pi} \right) (\text{sen } \alpha_2 - \text{sen } \alpha_1)$$

$$H = \frac{L}{\alpha_2 - \alpha_1} \left( \frac{180}{\pi} \right) (\text{sen } \alpha_1 - \text{sen } \alpha_2)$$

$$\text{siendo: } R_v = \frac{L}{\alpha_2 - \alpha_1} \left( \frac{180}{\pi} \right)$$

$$\Delta V = R_v (\text{sen } \alpha_2 - \text{sen } \alpha_1)$$



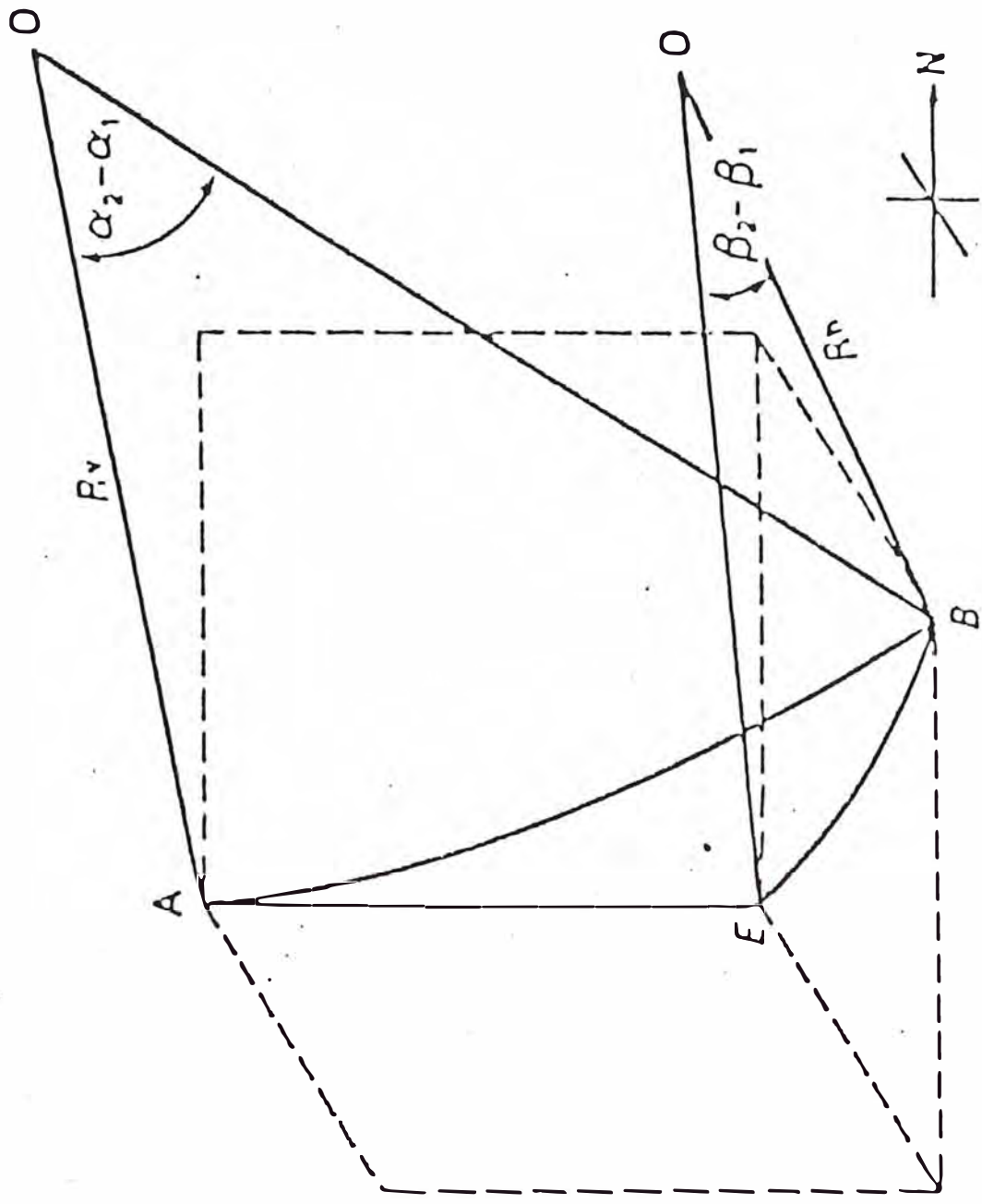


Fig. 8 METODO RADIO DE CURVATURA

Donde:

$\alpha_1$  y  $\alpha_2$  = inclinación en los puntos 1 y 2

L = longitud entre los puntos 1 y 2

Rv = Radio de curvatura

### **En el plano horizontal**

Se obtiene desplazamientos al Norte ( $\Delta N$ ) y Este ( $\Delta E$ ).

De la fig. 8:

$$R_h = \frac{\Delta H}{\beta_2 - \beta_1} \left( \frac{180}{\pi} \right)$$

$$\Delta N = R_h (\text{sen } \beta_2 - \text{sen } \beta_1)$$

Entonces:

$$\Delta N = \frac{\Delta H}{\beta_2 - \beta_1} \left( \frac{180}{\pi} \right) (\text{sen } \beta_2 - \text{sen } \beta_1)$$

$$\Delta N = \frac{L}{\alpha_2 - \alpha_1} \left( \frac{180}{\pi} \right)^2 \frac{(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)(\text{sen } \beta_2 - \text{sen } \beta_1)}{\beta_2 - \beta_1}$$

$$\Delta E = R_h (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

$$\Delta E = \frac{L}{\alpha_2 - \alpha_1} \left( \frac{180}{\pi} \right)^2 \frac{(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)(\cos \beta_1 - \cos \beta_2)}{\beta_2 - \beta_1}$$

Este método es exacto para estaciones largas y de altas curvaturas.

### 5.3. Método de Mínima Curvatura

Este método asume una longitud curva entre dos estaciones. También considera el cambio total del ángulo en el perfil del pozo, lo cual define la curvatura de la trayectoria.

La curvatura del pozo esta relacionado con el ángulo total producido por los "pateperros" (dog-leg).

Para los cálculos de este método se define un factor (F) que relaciona las secciones rectas y curvas de la trayectoria. Así tenemos de la fig.9:

$$F = \frac{AB + BC}{\text{arc.AC}}$$

$$AB = BC = R \text{tg}(\phi/2)$$

( $\phi$  = ángulo total del pateperro)

$$\frac{AC}{2\pi R} = \frac{\phi}{360} \implies AC = \frac{\pi R \phi}{180}$$

Luego tenemos:

$$F = \frac{2}{\phi} \left[ \frac{180}{\pi} \right] \text{Tg} \frac{\phi}{2}$$

Esta relación (F) se aplica a las coordenadas en los planos vertical y horizontal.

Para el plano vertical

$$\Delta V = F \frac{L}{2} (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

$$\Delta H = [(\Delta N)^2 + (\Delta E)^2]^{1/2}$$

En el plano horizontal

$$\Delta N = F \frac{L}{2} (\text{sen} \alpha_1 \cos \beta_1 + \text{sen} \alpha_2 \cos \beta_2)$$

$$\Delta E = F \frac{L}{2} (\text{sen} \alpha_1 \text{sen} \beta_1 + \text{sen} \alpha_2 \text{sen} \beta_2)$$

Donde:

L = Longitud entre dos puntos

$\Delta V$  = prof.vertical

$\Delta H$  = desplazamiento horizontal

$\Delta N$  = coord.Norte

$\Delta E$  = coord.Este

El cambio total del ángulo entre dos puntos que define la curvatura del pozo (pateperro) es dado por:

$$\phi = \cos^{-1} [\cos \alpha_1 \cos \beta_2 + \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos (\beta_2 - \beta_1)]$$

Este método de mínima curvatura es el más utilizado actualmente para determinar la posición de la trayectoria del pozo.

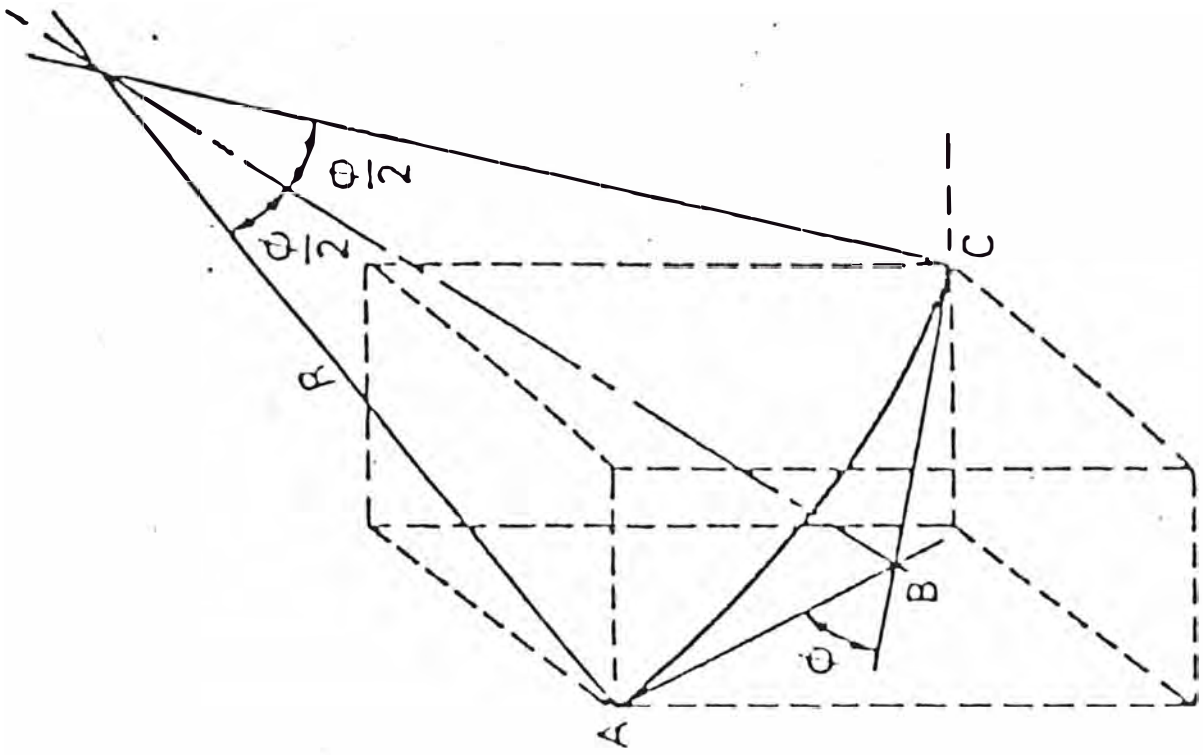


Fig. 9 METODO DE MINIMA CURVATURA

**6.- PLANIFICACION DEL PUNTO DE DESVIACION Y CAMBIO DE TRAYECTORIA EN UN POZO DIRIGIDO TIPO "S"**

**a) Planificación del punto de desviación**

- (.) Para los trabajos de perforación direccional que se realizan en Selva Norte, el inicio de la deflección del pozo a una profundidad vertical seleccionada se realiza empleando: un conjunto con motor de fondo y un substituto de desviación de  $1^\circ$ ,  $1.5^\circ$ ,  $2^\circ$  y  $2.5^\circ$ .
- (.) El inicio de la desviación del pozo dependerá de la manipulación de la sarta de perforación, esta maniobra causará la desviación de la broca en los planos de inclinación y dirección.
- (.) El substituto de desviación proporciona la dirección de la cara de la herramienta, y la magnitud de la desviación es controlada por el ángulo del substituto.
- (.) Las operaciones de deflección generan un cambio total del ángulo en la trayectoria (diferentes ángulos de inclinación y dirección en dos puntos), lo cual está directamente relacionado con la "severidad del pateperro" en una longitud determinada.

**b) Planificación de un cambio de trayectoria**

- (.) Un cambio de trayectoria de un pozo se diseña de acuerdo a cualquiera de estos planes:
  - 1) Máximo crecimiento o disminución del ángulo sin ningún cambio de dirección.
  - 2) Máximo cambio de dirección hacia la izquierda o derecha sin ningún cambio de inclinación.
  - 3) Crecimiento del ángulo con cambio de dirección hacia la derecha o izquierda.
  - 4) Disminución del ángulo con cambio de dirección hacia la derecha o izquierda.
- (.) El diseño también depende del motor de fondo y del substituto de desviación o cámara de desviación.
- (.) El cambio de dirección del pozo requerirá algún tipo de técnica de deflección donde una nueva colocación de la cara de la herramienta causará que el pozo rote a la izquierda o derecha.
- (.) Si se usa motor de fondo para corregir la trayectoria, se debe tener en cuenta el torque reactivo de la herramienta que siempre es a la izquierda. Esto obliga a una reorientación de la cara de la herramienta para compensar el efecto del torque de reversión. Por ejemplo, si la corrección de la trayectoria es a la derecha se debe sumar el valor del torque reactivo al valor de la corrección y si la corrección es a la izquierda se debe restar

el valor del torque reactivo.

- (.) La mejor forma de compensar los problemas del torque reactivo es utilizar una herramienta o sistema de medición para determinar la posición de la cara de la herramienta. Con ello se reorienta la cara de la herramienta teniendo seguridad de la corrección por el torque reactivo.
- (.) Los cambios de trayectoria sin tomar en cuenta la severidad del "pateperro" puede causar serios problemas en los conjuntos de fondo al rotar por la curvatura producido. También pueden producir desgaste de la tubería revestidora y después problemas de producción.
- (.) Determinar el máximo "pateperro" tolerable y diseñar el cambio de trayectoria de acuerdo a esta tolerancia. La forma más fácil de hacer ésto es controlando la longitud del curso.
- (.) A altos ángulos de inclinación donde la trayectoria debe ser cambiada, se debe extender la longitud del curso para disminuir la severidad del pateperro.
- (.) El efecto del substituto de desviación dependerá: tipo de formación, rigidez del motor, ángulo del substituto, configuración del conjunto de fondo y el peso axial que se aplica al motor.



## 7.- HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA PERFORACION DIRECCIONAL DE LOS POZOS EN SELVA NORTE

### 7.1 Herramientas deflectoras

#### a) Motor de Fondo

Es un motor que tiene la particularidad de eliminar la rotación de la tubería mediante una fuerza de torsión pozo abajo, impulsado por el fluido de perforación.

Los motores utilizados son de dos tipos:

1. **Motor tipo turbina.-** Es básicamente una bomba centrífuga. Se usa con poca frecuencia por ser de tecnología antigua.
2. **Motor de desplazamiento positivo (PDM).-** Este motor consta de: un motor helicoidal de dos etapas, válvula de descarga, conjunto de bielas, conjunto de cojinetes y eje. Este motor asimismo posee una cavidad espiral provista de una sección transversal elíptica que aloja un rotor sinusoidal de acero. Por consiguiente el flujo descendente presurizado del lodo de perforación entra en la cavidad espiral y hace que el rotor se desplace y gire. La rotación energiza el eje impulsor y el efecto de una fuerza de torsión hace girar la broca.

Actualmente el motor de desplazamiento positivo (PDM) domina las operaciones en el campo petrolero. Este motor ofrece la opción de perforar tanto con rotación ó sin rotación siguiendo la dirección de la cámara de desviación que esta sobre el motor.

Asimismo utiliza el substituto para efectuar la desviación del pozo.

En Selva Norte la herramienta deflectiva comunmente utilizado para inicar la desviación y la corrección de la trayectoria es:

Motor de fondo (de desplazamiento positivo), substituto de desviación ó cámara de desviación de ángulos  $1.5^{\circ}$ ,  $2^{\circ}$  y  $2.5^{\circ}$ . En la fig.10 se muestra el conjunto del deflector.

MOTOR DE DESPLAZAMIENTO  
POSITIVO

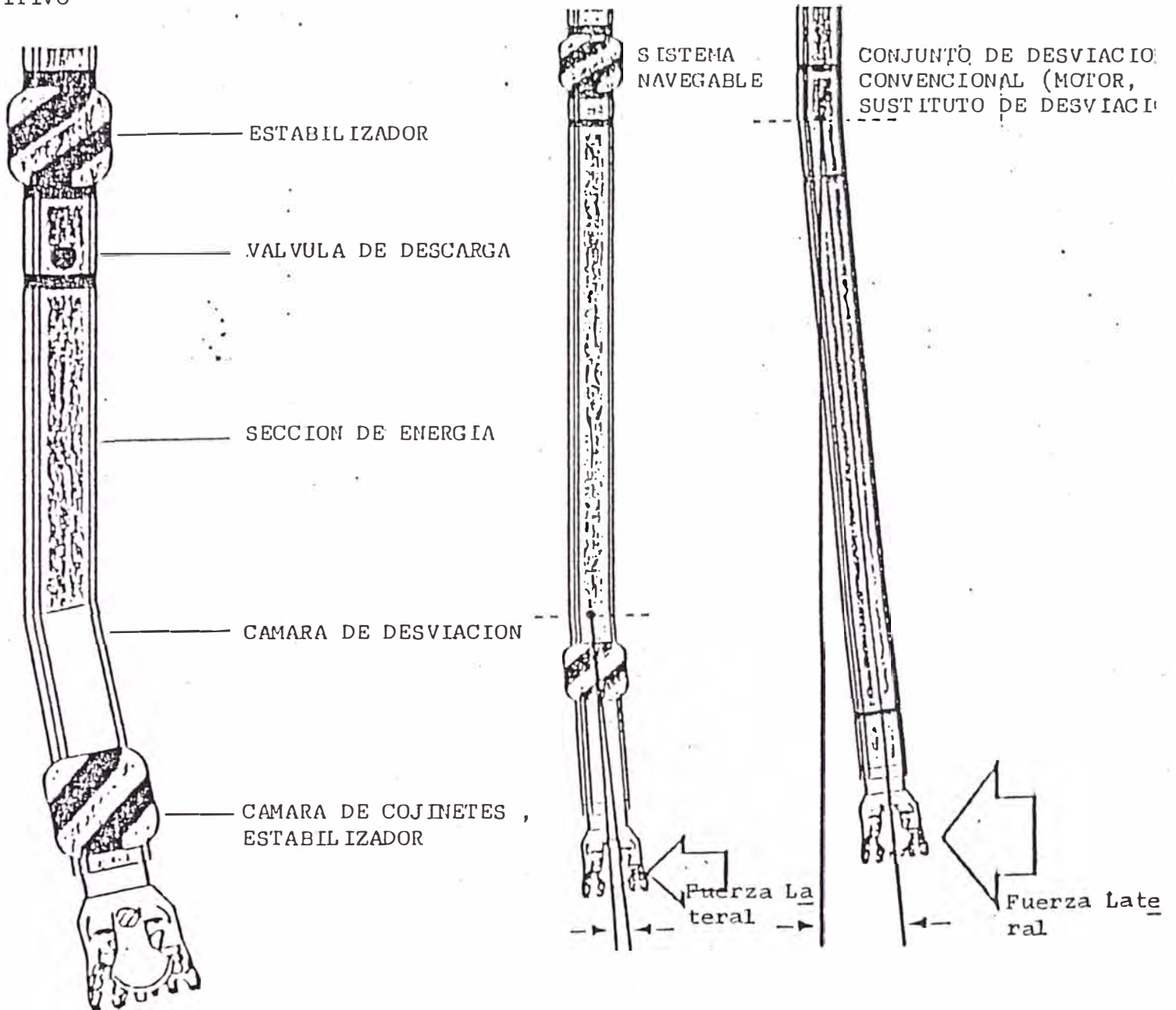


FIG. 10 HERRAMIENTAS DEFLECTORAS. MOTOR DE FONDO

### **Ventajas de usar un substituto ó cámara de desviación con motor de fondo**

- (.) Proporcionada la desviación del pozo sin necesidad de usar un pozo piloto.
- (.) Proporciona una fuerza lateral continua a la broca logrando una curvatura suave con menos riesgo de severos "pateperros".
- (.) Orientar a la broca a una dirección programada.

### **Aplicaciones del motor de fondo**

- (.) Iniciar la desviación y correcciones de la trayectoria.
- (.) Como motor navegable, la cámara de desviación permite perforar con o sin rotación de la cañería.

## **7.2. Herramientas de Medición**

Cuando se está perforando un pozo direccional se debe tener equipos de medición para determinar con exactitud la dirección e inclinación del pozo.

Estos instrumentos ó equipos sirven para localizar posibles "pata de perro" o excesivas curvaturas.

Los sistemas de medición usados en Selva Norte son:

**a) Sistema de tomas sencillas (Single Shot)**

Este sistema de medición utiliza un instrumento magnético para registrar simultáneamente la dirección magnética de la trayectoria de pozos sin enturbar y su inclinación con relación a la vertical a profundidades específicas.

Las mediciones de la inclinación y dirección son realizadas dentro de una tubería no magnética para evitar interferencias.

El sistema del Single Shot se viene utilizando en Selva desde el año de 1973, fecha del inicio de los trabajos direccionales.

La herramienta es bajada al fondo con cable para realizar las mediciones en condiciones estáticas. El tiempo de registro es aprox. de 20 a 30 minutos dependiendo de la profundidad. En la fig. 11 se muestra el diagrama del instrumento.

El instrumento de cuatro (04) unidades:

- (.) Unidad de poder (baterías)
- (.) Cronómetro
- (.) Cámara
- (.) Indicador de ángulo (compás y plomada).

El procedimiento de medición es: graduar el cronómetro para un tiempo determinado, el instrumento se baja al pozo con cable, al llegar al fondo el cronómetro energiza la cámara la cual toma una fotografía de las posiciones relativas del compás y plomada. El instrumento se

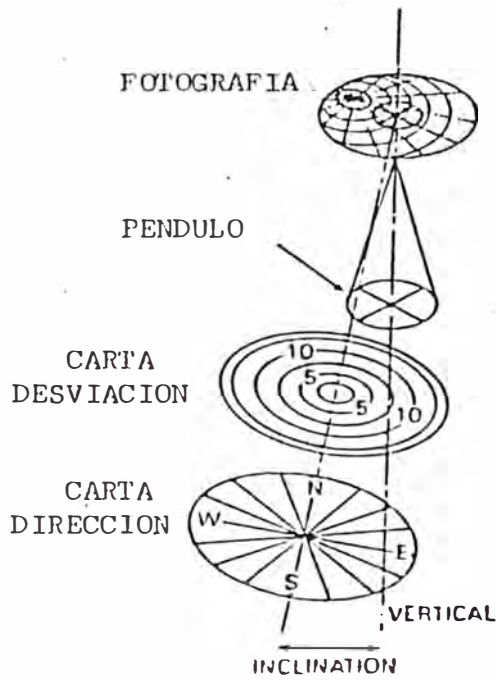


DIAGRAMA INSTRUMENTO SINGLE SHOT:

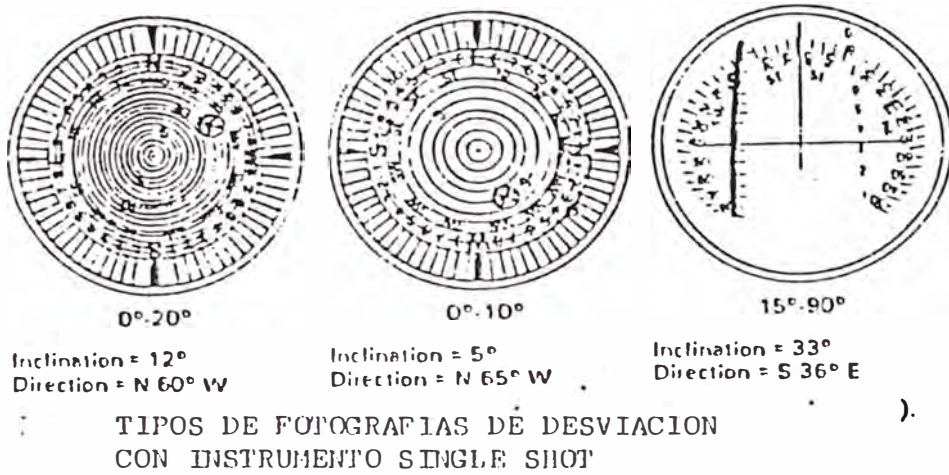


FIG. 11 INSTRUMENTO DE MEDICION DE TOMAS SENCILLAS (SINGLE SHOT)

saca y en superficie la película se revela y se coloca en un lector que indica la dirección e inclinación del pozo.

**b) Sistema de medición mientras se perfora (MWD)**

El sistema de medición mientras se perfora es llamado "Measurement While Drilling" (MWD).

Para las condiciones de perforación de un pozo dirigido en Selva Norte, el sistema MWD mide la información de inclinación, la dirección y orientación de la cara de herramienta cerca a la broca.

La información es transmitida a superficie sin interrupción de las operaciones de perforación, mediante un sistema de telemetría (pulsos de energía) usando el lodo de perforación la cual es procesada por un sistema de cómputo instalado en superficie.

El sistema MWD permite "ver" que está pasando en el fondo del pozo en tiempo real, lo cual facilita la toma de decisiones en pocos minutos sobre el desarrollo de la perforación direccional.

Las mediciones de los parámetros direccionales son realizadas através de unos sensores instaladas en una herramienta especial (Sliml-Anadrill) la cual es colocado en la tubería antimagnética de la sarta de perforación.

En la fig. 12 se muestra el sistema MWD.

El sistema MWD también puede medir aparte de los datos direccionales (inclinación, azimut, cara de la herramienta) lo siguiente:

- (.) Características de las formaciones (registros gama-Ray y resistividad).
- (.) Parámetros perforación en el fondo (peso sobre la broca, torque y RPM).

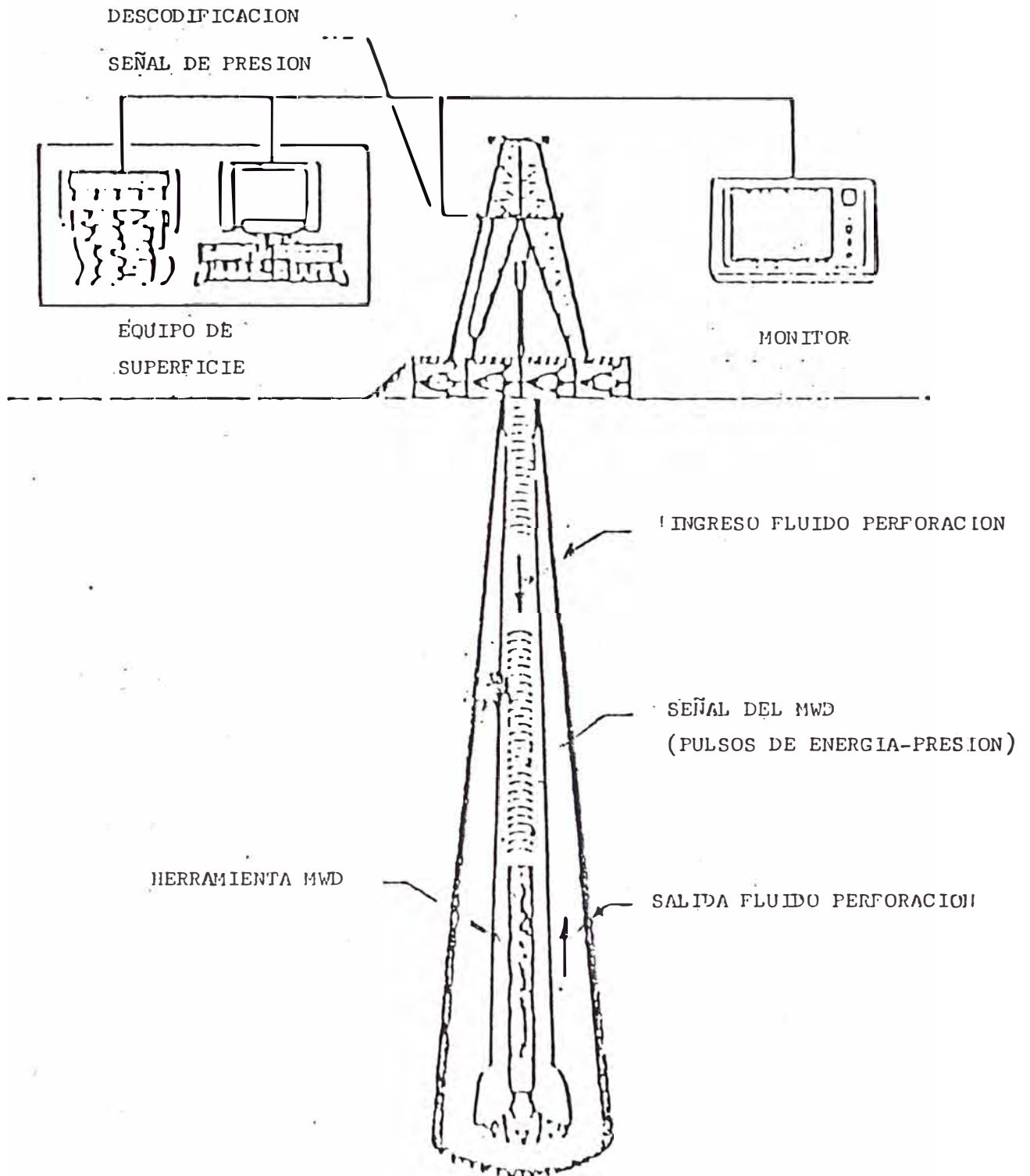
Esta información generalmente se requiere cuando se perforan pozos horizontales.

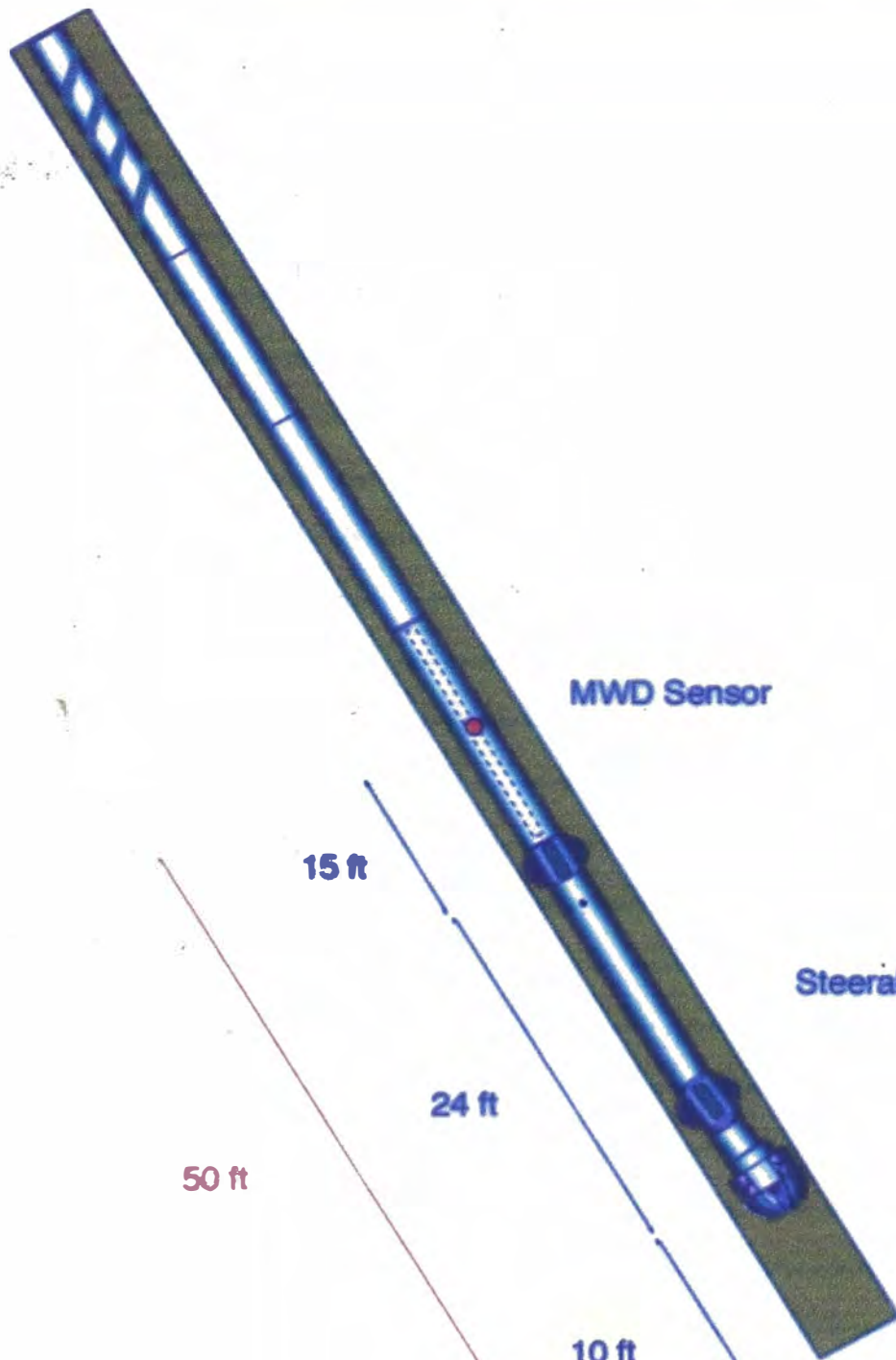
**Las principales ventajas del sistema MWD son:**

- (.) Tiempos de registro es de 2/3 minutos (durante las conexiones de la tubería de perforar).
- (.) Mejora el control y determinación de la posición real de la broca.
- (.) Reduce el tiempo de registros.
- (.) Reduce el riesgo de agarre por presión diferencial.
- (.) Reduce los "pata de perro"
- (.) Reduce el número de correcciones con motores de fondo.



FIG. 12 SISTEMA DE MEDICION MIENTRAS SE PERFORA (MWD)





MWD Sensor

Steerable PDM

15 ft

24 ft

50 ft

10 ft

### 7.3. Herramientas auxiliares

#### a) **Estabilizadores**

Son herramientas utilizadas en la perforación direccional para controlar o modificar el ángulo de inclinación, reducir los riesgos de agarre por presión diferencial y disminuir los "pateperros" y "ojos de llave".

Los estabilizadores se instalan en el conjunto de fondo de la sarta de perforación, la posición de éstos depende de los requerimientos de la trayectoria.

Estas herramientas pueden ser utilizadas para: aumentar, mantener y reducir el ángulo de inclinación. Son indispensables en los conjuntos rotarios.

#### Tipos de estabilizadores

(.) **Tipo camisa.-** Es aquel en la que se pueden intercambiar las camisas cuando existe desgaste.

(.) **Tipo integral.-** Es aquel donde se tiene que cambiar completamente el estabilizador cuando se presenta desgaste. Es usado para dar mayor área de contacto con la pared del pozo.

Los estabilizadores usados en el conjunto de fondo son de conexiones caja x caja (near bit) la cual se ubica cerca a la broca, y los de "pin" x caja (string) son los que se ubican en el resto del conjunto de fondo.

**b) Botellas (Drill Collars)**

Son usados en el conjunto de fondo para dar peso a la broca y rigidez. También sirven para controlar la dirección del pozo.

En perforación direccional se utilizan las botellas tipo espiral para favorecer la circulación del lodo de perforación.

**c) Botella corta (Short Drill Collar)**

Es una pequeña botella que se utiliza para facilitar el arreglo del conjunto de fondo de acuerdo a las necesidades de la perforación direccional.

**d) Botella Antimagnética (Monel)**

Esta tubería no magnética se utiliza para colocar los instrumentos de medición y con ello evitar cualquier interferencia magnética durante los registros.

**e) Tubería de Transición (Hevi-Wate)**

Esta tubería proporciona un peso intermedio a la sarta de perforación. Tiene menos área de contacto con la formación.

Son tubos de pared gruesa unidas entre si por juntas largas para facilitar su manejo, tiene las mismas dimensiones que la tubería de perforación.

Asimismo debido a su peso y forma esta tubería puede

mantenerse en comprensión, salvo en pozos verticales de diámetro grande.

Esta tubería Hevi-Wate se utiliza en pozos direccionales porque:

- (.) Reduce el torque y arrastre de la sarta de perforación.
- (.) Reduce el riesgo de pegadas por presión diferencial.
- (.) Reduce el riesgo de fallas en las conexiones cuando se perfora a través de "patas de perro".

La tubería "Hevi-wate" da estabilidad con menos contacto con la pared del pozo, esto permite controlar mejor la inclinación y dirección.

Es importante el número de "Hevi-wate" entre las botellas y la tubería de perforar, por experiencia se debe colocar de 15 a 25 tubos.

**f) Substituto desviado (bent sub)**

Es un sustituto que tiene el "pin" (punta de herramienta) desviado de su eje vertical una cierta cantidad de grados (usualmente es de 1° a 3°). Esta herramienta se coloca encima del motor de fondo para forzar a la broca una cierta curvatura mientras se perfora, es decir sirve para iniciar la desviación del pozo. Ver fig. 13.

**g) Sub-orientador (Orienting Sub)**

Es un pequeño niple con una camisa desviadora que se coloca

encima del substituto desviado. Esta herramienta es comunmente llamado UBHO ("Universal Bottom Hole Orientation") que facilita el asentamiento de los instrumentos de medición.

**h) Tijera golpeadora o Martillo**

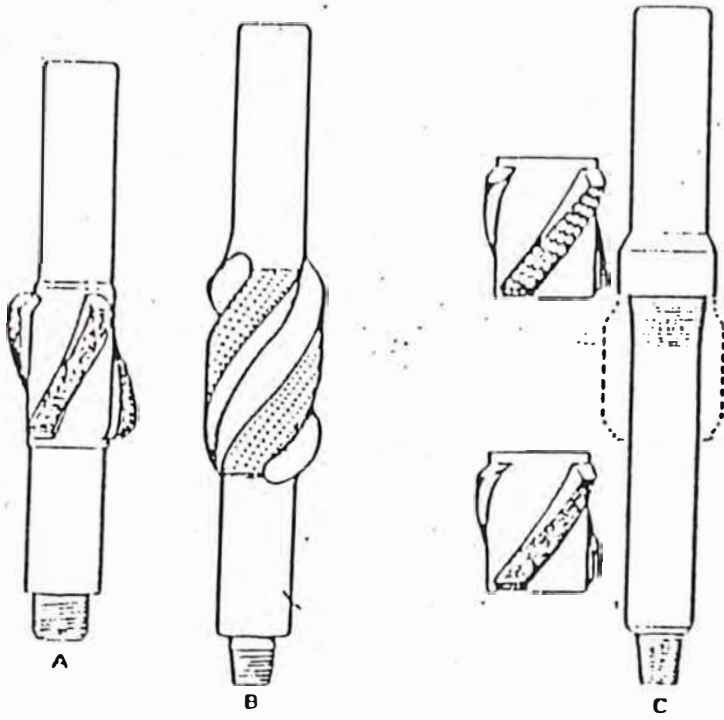
Es una herramienta que se coloca en la sarta de perforación para ser utilizada en casos de agarres de cañería.

El martillo puede ser mecánico o hidráulico y puede golpear hacia arriba o abajo (por tensión o compresión).

**i) Limpiador de canaletas (Key-seat wiper)**

Es una herramienta utilizada en la perforación direccional para corregir la presencia de "ojos de llave" ó canaletas los cuales fueron formados por los "patas de perro", es decir por cambios bruscos en la curvatura del pozo.

En la fig.13 se muestran las herramientas auxiliares usadas en las operaciones de perforación direccional.



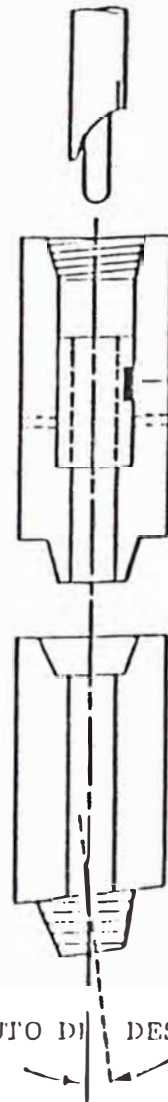
TIPOS ESTABILIZADORES a) CUCHILLA b) INTEGRAL c) CAMISA



BOFELLA DE PERFORACION



HEVI-WATE



SUB-ORIENTADOR

SUSTITUTO DE DESVIACION (Bent sub)



## **8.- CONJUNTOS DE FONDO**

### **8.1 Teoría de los conjuntos de fondo (BHA)**

Los conjuntos de fondo son componentes que se ubican entre la broca y la tubería de perforación, son los comunmente llamados conjuntos rotarios convencionales.

Las funciones básicas del conjunto de fondo son:

- (.) Proporcionar peso a la broca para la perforación
- (.) Evitar los "patas de perro" y "ojos de llave" en la curvatura del pozo
- (.) Mejorar el rendimiento de las brocas
- (.) Controlar la dirección e inclinación en pozos dirigidos
- (.) Minimizar las vibraciones de la sarta de perforación
- (.) Minimizar los agarres de cañería por presión diferencial.

Para los trabajos de la perforación direccional en los pozos de Selva Norte, los conjuntos de fondo son utilizados para los siguientes fines:

- 1°) Conjunto no rotario, sirve para iniciar la desviación y la orientación del pozo. Este conjunto lo constituye: broca, motor de fondo, substituto de desviación y botellas.
- 2°) Conjuntos rotarios, estos conjuntos son utilizados para continuar la perforación de la trayectoria dirigida diseñada. Estos conjuntos tienen diferentes ubicaciones de los



estabilizadores de acuerdo a los requerimientos del pozo dirigido.

Los conjuntos de fondo (BHA) afectan la trayectoria del pozo, por lo tanto los diseños deben ser realizadas con una adecuada planificación para las condiciones de la desviación.

Todos los conjuntos de fondo causan una fuerza lateral sobre la broca produciendo lo siguiente:

- (.) Incremento de la inclinación (fuerza lateral positiva)
- (.) Mantenimiento de la inclinación (fuerza lateral cero)
- (.) Disminución de la inclinación (fuerza lateral negativa-efecto pendular)

Así mismo los cambios de dirección pueden ocurrir también por efecto del tipo de broca, debido a que tienen tendencia de "caminar" a la derecha o izquierda. Esto se puede minimizar o incrementar con específicos conjuntos de fondo y parámetros de perforación.

## **8.2 Tipos conjuntos de fondo para pozos dirigidos tipo "S"**

Los tipos de conjuntos de fondo rotarios comúnmente utilizados para un pozo tipo "S" son las siguientes:

- a) Conjunto para incrementar el ángulo
- b) Conjunto para mantener el ángulo
- c) Conjunto para caída del ángulo

**a) Conjunto para incrementar el ángulo**

Este tipo de conjunto es utilizado para iniciar la desviación y la orientación del pozo usando un motor de fondo y la herramienta de deflección (bent sub). Luego se emplea un conjunto rotario para continuar con el incremento del ángulo hasta alcanzar el máximo ángulo programado.

El conjunto rotario utiliza normalmente dos (2) estabilizadores ubicados, uno cerca a la broca y el otro a 60 y 90 pies. El estabilizador cerca a la broca debe estar en calibre siempre.

El peso sobre la broca también afecta las características de la velocidad del incremento del ángulo.

**b) Conjunto para mantener el ángulo**

Este conjunto tiene el objetivo de reducir la tendencia del incremento o caída del ángulo de inclinación, se utiliza en la sección tangencial del pozo tipo "s".

En la práctica a veces es difícil lograr mantener el ángulo máximo constante, puesto que los efectos de formación y gravedad pueden alterar las condiciones del hueco.

Usualmente para mantener el ángulo se utiliza los conjuntos de fondo con tres (3) o cuatro (4) estabilizadores colocados a intervalos cortos. A estos conjuntos se les denominan "conjuntos empacados".

El peso sobre la broca (WOB) tiene un efecto mínimo en el

comportamiento direccional de estos conjuntos, por ello es posible optimizar la velocidad de penetración ( ROP) para los tipos de brocas que se utilizan. A veces el torque de la cañería limita optimizar el ROP.

c) **Conjunto para caída del ángulo**

Este conjunto llamado también pendular es básicamente usado en pozos direccionales tipo "S" para desarrollar la trayectoria de caída del ángulo hasta ingresar al objetivo en forma vertical.

En formaciones suaves y de altos ángulos de inclinación los conjuntos pendulares tienen buen comportamiento.

En formaciones duras la caída de ángulo es lenta, pero se puede mejorar su comportamiento reduciendo el peso sobre la broca aunque esto ocasiona la reducción de la velocidad de penetración.

Los conjuntos pendulares utilizan normalmente longitudes de péndulo de 45 ó 60 pies.

Finalmente para el diseño de los conjuntos de fondo es fundamental la experiencia en el área donde se va a perforar, con ello es posible lograr una baja severidad de la curvatura del pozo.

Una curvatura suave de la trayectoria significa : baja fricción, bajo torque rotario, menos problemas de "pata de perro", menor desgaste de las tuberías y menos problemas en los viajes de la cañería.

## **9. PROBLEMAS EN LA PERFORACION DE POZOS DIRIGIDOS**

Todo pozo direccional adiciona cierta cantidad de problemas a los presentados en un pozo vertical. Cuando el ángulo de inclinación incrementa, los problemas de perforación son más severos.

El grado de dificultad de un pozo es usualmente reflejado en el tiempo y costo de perforación.

Los principales problemas presentados son:

- 1) Control de la trayectoria.-** Todo pozo direccional para alcanzar un objetivo sigue una trayectoria predeterminada, para ello se requieren ciertos conjuntos de fondo para perforar. Estos conjuntos de fondo pueden ser afectados y con ello producirse cambio en la trayectoria, los factores que pueden ocasionar son:

Cambios formacionales

Excesivo peso sobre la broca

Incorrecta selección de los conjuntos de fondo

Una cierta cantidad de giro tanto a la derecha o izquierda es permitida para dar una proyección del perfil de la trayectoria para intersectar la zona del objetivo.

Para ello es importante la experiencia del comportamiento de giro de los conjuntos de fondo con determinados tipos de brocas en diferentes tipos de formaciones a perforarse.

Cambios severos en la trayectoria solamente son corregidos con motor de fondo.

- 2) **Colisiones.-** Este problema se presenta en locaciones donde existen varias plataformas con varios pozos perforados desde ellos. Para evitar la colisión es vital la información de la trayectoria de los pozos vecinos.

Una buena planificación puede reducir los riesgos de colisión, así tenemos:

Adecuada selección o separación de las cantinas de superficie para cada objetivo.

Variando la profundidad del inicio del desviación, se puede lograr cierta separación con los pozos vecinos.

Exactitud en los registros de desviación es esencial para conocer la posición de la trayectoria con respecto a los pozos adyacentes.

Observar con mucho cuidado el comportamiento de los parámetros de perforación y los recortes que salen a superficie, éstos pueden dar indicios de algún problema de colisión.

- 3) **Severidad de la "pata de perro".-** Un cambio brusco en el ángulo de inclinación y dirección del pozo pueden producir curvaturas severas en perfil de la trayectoria. Esto es detectado por el incremento del torque y arrastre en la sarta de perforación.

La magnitud del cambio de curvatura (ángulo del "pata de perro") es determinado por:

$$\phi = \cos^{-1} [\cos \alpha_1 \cos \alpha_2 + \sin \alpha_1 \sin \alpha_2 \cos (B_2 - B_1)]$$

La severidad del pata de perro (curvatura del pozo) en un intervalo es determinado por:

$$DLS = 100 \frac{\phi}{L} = 30 \frac{\phi}{L}$$

Donde:

$\phi$  = ángulo del pata de perro

$\alpha_1$  y  $\beta_1$  = ángulo de inclinación y dirección en el punto 1.

$\alpha_2$  y  $\beta_2$  = ángulo de inclinación y dirección en el punto 2.

DLS = severidad del pata de perro (cada 100 pies ó 30 m)

L = longitud entre los puntos 1 y 2

- 4) **"Ojo de llave" (Key-seat).**- Se forma después que la sarta de perforación ha pasado por un "pateperro", en esta curvatura la sarta está en tensión y trata de enderezarse al pasar por el "pata de perro". Esto crea una fuerza lateral que la tubería usa para cortar el centro del arco mientras gira. Esta fuerza es proporcional a la cantidad de peso que cuelga por debajo del "pata de perro". El "ojo de llave" se crea solamente si la formación es suficientemente blanda y si la fuerza lateral es lo suficientemente alta para que la tubería de perforación penetre.
- Son muchos los problemas que pueden ocurrir cuando se forman severos "patas de perro" y "ojos de llave". Ver Fig. 14

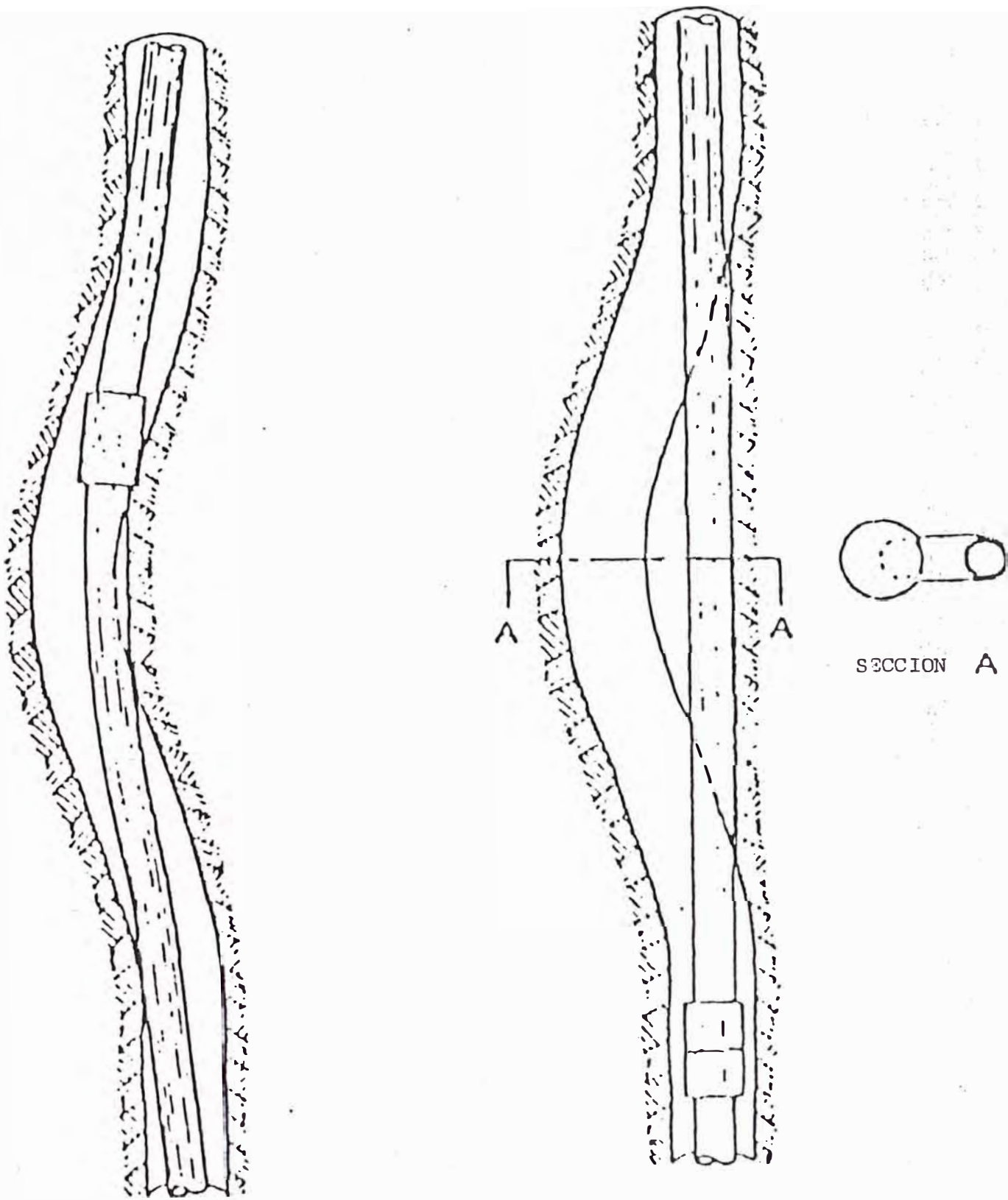


Fig. - 14 FORMACION DE "OJO DE LLAVE" (KEYSEAT)

- 5) Inestabilidad de las paredes del pozo.-** Una de las mayores causas de un agarre de cañería es debido a la tendencia de algunas formaciones a hacerse inestable durante la perforación o al finalizar. Esta inestabilidad puede causar derrumbes y acumulación de recortes alrededor de las botellas y la broca, lo cual ocasiona un agarre de cañería .

La inestabilidad es probable que ocurra por lo siguiente:

- (.) Zonas de lutitas que contienen arcillas "hidratables" ó "hinchables".
- (.) Formaciones fracturadas.
- (.) Zonas de lutitas sobre presurizadas.
- (.) Flujo turbulento en el anular causando erosión en la formaciones blandas.

Mucho de los problemas pueden ser relacionados a zonas de lutitas, puesto que muchas lutitas absorben agua produciéndose la disminución del esfuerzo a la compresión de las rocas y la expansión de éstas (caída de las paredes).

El grado de hinchamiento depende de la composición de las arcillas.

- 6) Agarre por presión diferencial.-** Este problema se produce cuando la tubería de perforar o el conjunto de fondo bloquea el flujo del fluido del pozo hacia la formación (por el contacto de éstos con la pared del pozo). La pérdida del fluido de perforación puede ser considerable en



un horizonte permeable, en el que la presión hidrostática del lodo es mas alta que la presión de formación. Junto con el flujo del fluido hacia la formación ocurre una filtración de sólidos en la pared del pozo con la consiguiente acumulación de costra de lodo sobre la superficie de la tubería. Según sea la longitud de la sección en contacto y la diferencia entre la presión del lodo y la formación, el bloque puede permitir que se acumulen fuerzas extremadamente altas contra los componentes de la sarta de perforación, lo cual hace que la cañería se atasque por presión diferencial.

Los estabilizadores de los conjuntos de fondo ayudan a disminuir el riesgo de agarre por presión diferencial. Ver Fig. 15.

La fuerza requerida para liberar la tubería se expresa por:

$$F = \Delta P \times \Delta C \times f$$

Donde:

$\Delta P$  = presión diferencial

$\Delta c$  = área de contacto entre la tubería y el hueco

$f$  = coeficiente fricción entre tubería-hueco.

AGARRÉ POR PRESION DIFERENCIAL

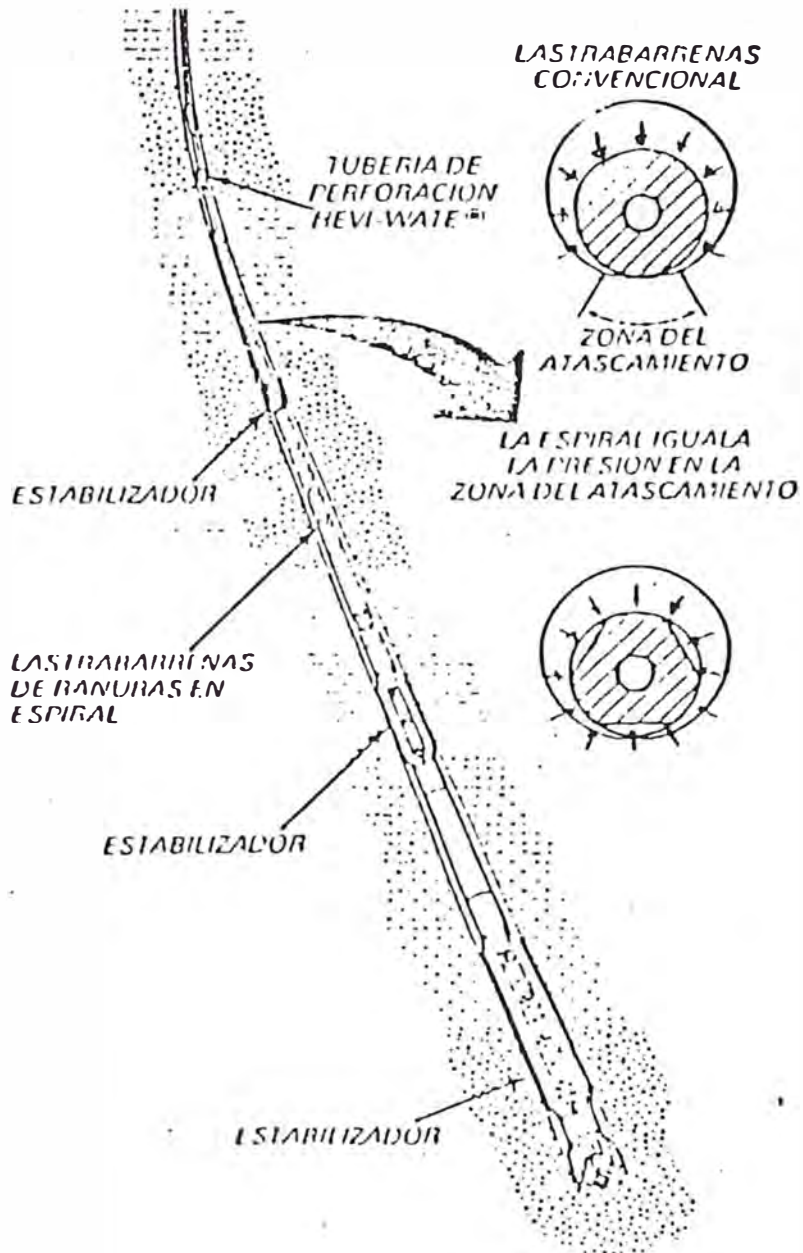


FIG. 15

## **10. EXPERIENCIA EN LA PERFORACION DIRECCIONAL DE LOS POZOS TIPO "S" DESARROLLADOS EN LA SELVA NORTE (PROYECTO CORRIENTES - PAVAYACU).**

### **10.1 Tipo de formaciones:**

Los tipos de formaciones perforadas en cada sección de la trayectoria de un pozo tipo "S" en la Selva Norte son:

- (.) **En la sección de incremento de ángulo**, las formaciones perforadas son Corrientes y Marañon los cuales están constituidos por arena y arcillas respectivamente. Se perfora hasta una profundidad vertical de +/- 500 m.
- (.) **En la sección tangencial**, las formaciones perforadas son Pebas y Chambira las cuales están constituidas en su totalidad por arcillas plásticas. Esta sección en promedio se perfora hasta una profundidad vertical de 1500 m.
- (.) **En la sección de caída de ángulo**, las formaciones perforadas son: Chambira, Lutitas Pozo, Pozo Basal, las cuales están constituidas por arcillas plásticas, lutitas y arena respectivamente. Esta sección se perfora hasta una profundidad vertical de 2200/2500 m.
- (.) **La parte vertical de la trayectoria**, atraviesa las formaciones Yahuarango, Vivian, Chonta, las cuales están constituidas principalmente por arcillas, lutitas y arena.

La profundidad vertical final de los pozos en Selva es de aproximadamente entre 3000m a 3600m.

Las formaciones perforadas en Selva se caracterizan por ser de dureza que van desde: blandas, medianamente blandas y medianamente duras.

En la fig. 16 se muestra la columna litológica de un pozo en la selva Norte.

## 10.2 Diseño de la trayectoria de un pozo tipo "S"

Diseño normalmente utilizado en la planificación de un pozo dirigido en Selva es la siguiente:

a) Con la información geológica, las coordenadas de superficie, fondo y profundidad vertical del objetivo se determina los siguientes parámetros:

(.) Separación horizontal hacia el objetivo, la cual es calculada con la siguiente fórmula:

$$SH = [(\Delta N)^2 + (\Delta E)^2]^{1/2}$$

Donde :

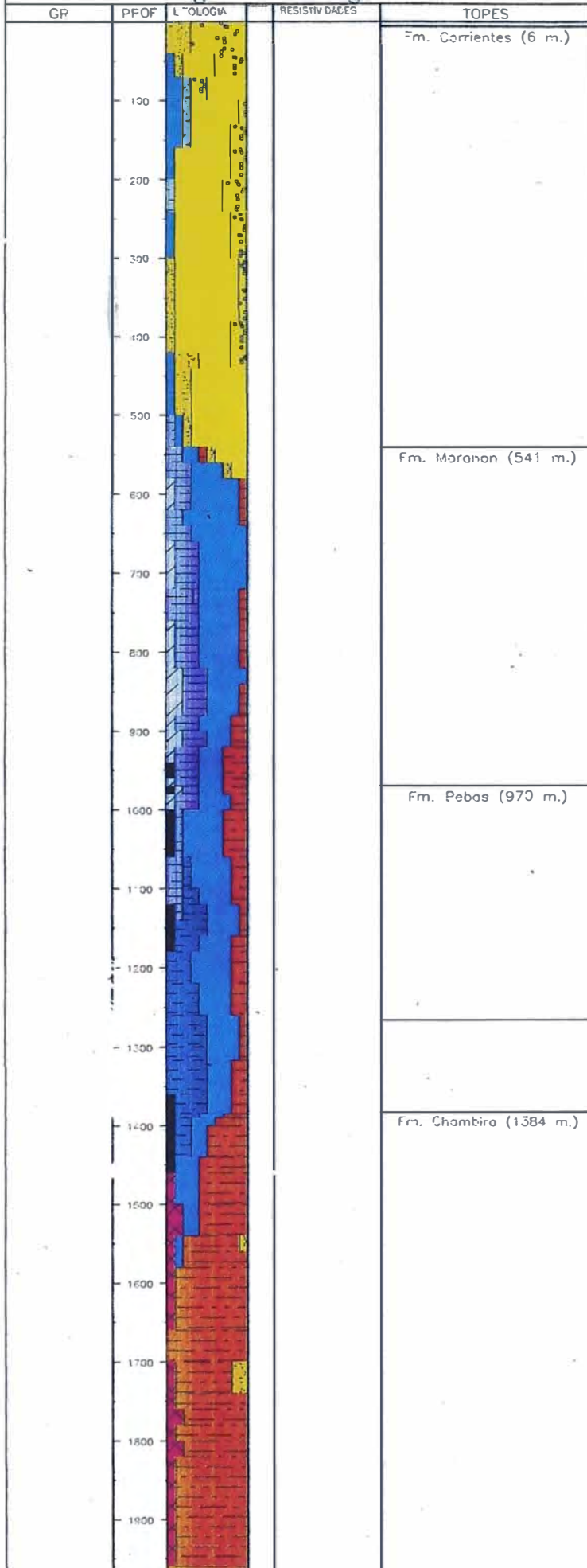
SH = separación horizontal

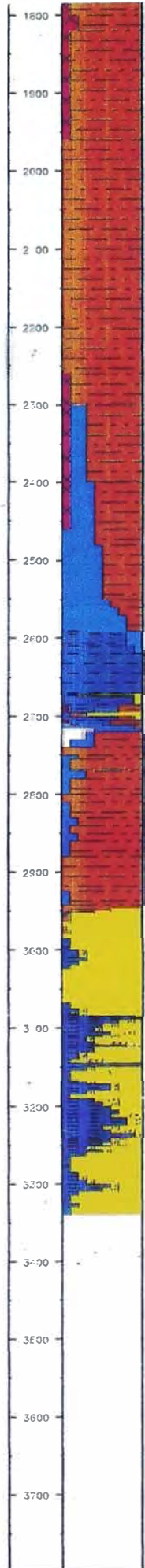
$\Delta N$  = diferencia de coordenadas Norte de fondo y superficie

$\Delta E$  = diferencia de coordenadas Este de fondo y superficie

159D\_U

Registro Litologico





|                            |  |
|----------------------------|--|
| Fm. Lutita Pozo (2593 m)   |  |
| Mb. Pozo Basal (2672 m)    |  |
| Fm. Yahuaranga (2700 m)    |  |
| Fm. Vivior (2944.5 m)      |  |
| Fm. Vivior (2944.5 m)      |  |
| Fm. Chonta (3085 m)        |  |
| Mb. Pena (3126.7 m)        |  |
| Mb. Pena (3126.7 m)        |  |
| Vb. Catico (3240.3 m)      |  |
| Fm. Agua Caliente (3306 m) |  |
| Prof. Final (3340 m)       |  |
| Arena                      |  |
| Arenisco                   |  |
| Ladolita                   |  |
| Arcillita                  |  |
| Marga                      |  |
| Lutita                     |  |
| Yeso                       |  |
| Anhidrita                  |  |
| Carbon                     |  |
| Tubo V. canico             |  |

- (.) Dirección de la trayectoria hacia el objetivo, es calculado como:

$$\phi = \text{tag}^{-1} (\Delta E / \Delta N)$$

- (.) Radio del objetivo, determinado por:

$$R = \frac{SH}{12}$$

- b)** Con los datos de la separación horizontal, la profundidad vertical final, inicio de desviación, velocidades del incremento y caída del ángulo, y la profundidad vertical del fin de caída de ángulo, se determina el ángulo máximo del pozo el cual nos da la idea de la curvatura de la trayectoria. Este ángulo máximo debe ser permisible con las condiciones de perforación que se tiene en la área.

Los valores de diseño que se utiliza en la Selva son:

- (.) Profundidad de inicio de la desviación:

50 y 100 m.

- (.) Velocidad del incremento del ángulo:

2° a 2.5°/30 m.

- (.) Velocidad de caída del ángulo:

1° a 1.5° / 30 m

- (.) Angulos máximos de desviación:

± 33°

(.) Separación horizontal :

$\pm 600$  a  $1000$  m

Con estas condiciones las trayectorias de los pozos dirigidos perforados en el Proyecto Corrientes-Pavayacu se desarrollaron con bastante éxito.

La hoja de cálculo para el diseño de la trayectoria es mostrada en la fig.5

- c) El ángulo de "conducción", es utilizado para compensar los giros de la broca de  $\pm 5^\circ$  a la derecha o izquierda de la dirección programada. Esto depende si se utiliza brocas Policristalinas (PDC) o tricónicas respectivamente desde el inicio de la sección tangencial.
  
- d) Se diseñan los conjuntos de fondo para perforar las diferentes secciones de la trayectoria tipo "S". Estos conjuntos se seleccionan de acuerdo a los requerimientos de la trayectoria dirigida: incremento, mantenimiento y caída del ángulo, efectos formacionales, y a la experiencia de la perforación direccional en los pozos vecinos del área.
  
- e) El control del desarrollo direccional del pozo se realiza utilizando las proyecciones en los planos vertical y horizontal.



Los cálculos de las coordenadas para ambas proyecciones se realiza mediante el método de mínima curvatura.

En la Fig. 17 se muestra el control direccional del pozo 1590 corrientes.

### 10.3 Tipos de brocas

Los tipos de brocas utilizadas para la perforación de un pozo tipo "S" son:

a) **Brocas tricónicas.**- Estas brocas convencionales es utilizada para iniciar la desviación y desarrollar la sección del incremento del ángulo en el tramo de 17-1/2". Esta broca es usada con motor de fondo y conjunto rotario.

Antes del año de 1993, las brocas tricónicas perforaban toda la trayectoria direccional del pozo hasta alcanzar el objetivo.

Después del año de 1993 las brocas tricónicas de 12¼" se están utilizando con poca frecuencia en los pozos de selva, debido a la introducción de brocas Compactas de Diamante Policristalinas (PDC). Generalmente se emplean para efectuar correcciones de la trayectoria con motor de fondo.

Las brocas tricónicas utilizadas son de dientes y de insertos y tienen un comportamiento de giro con tendencia a la derecha.

# DESARROLLO PERFORACION DIRECCIONAL POZO 159D-CORRIENTES

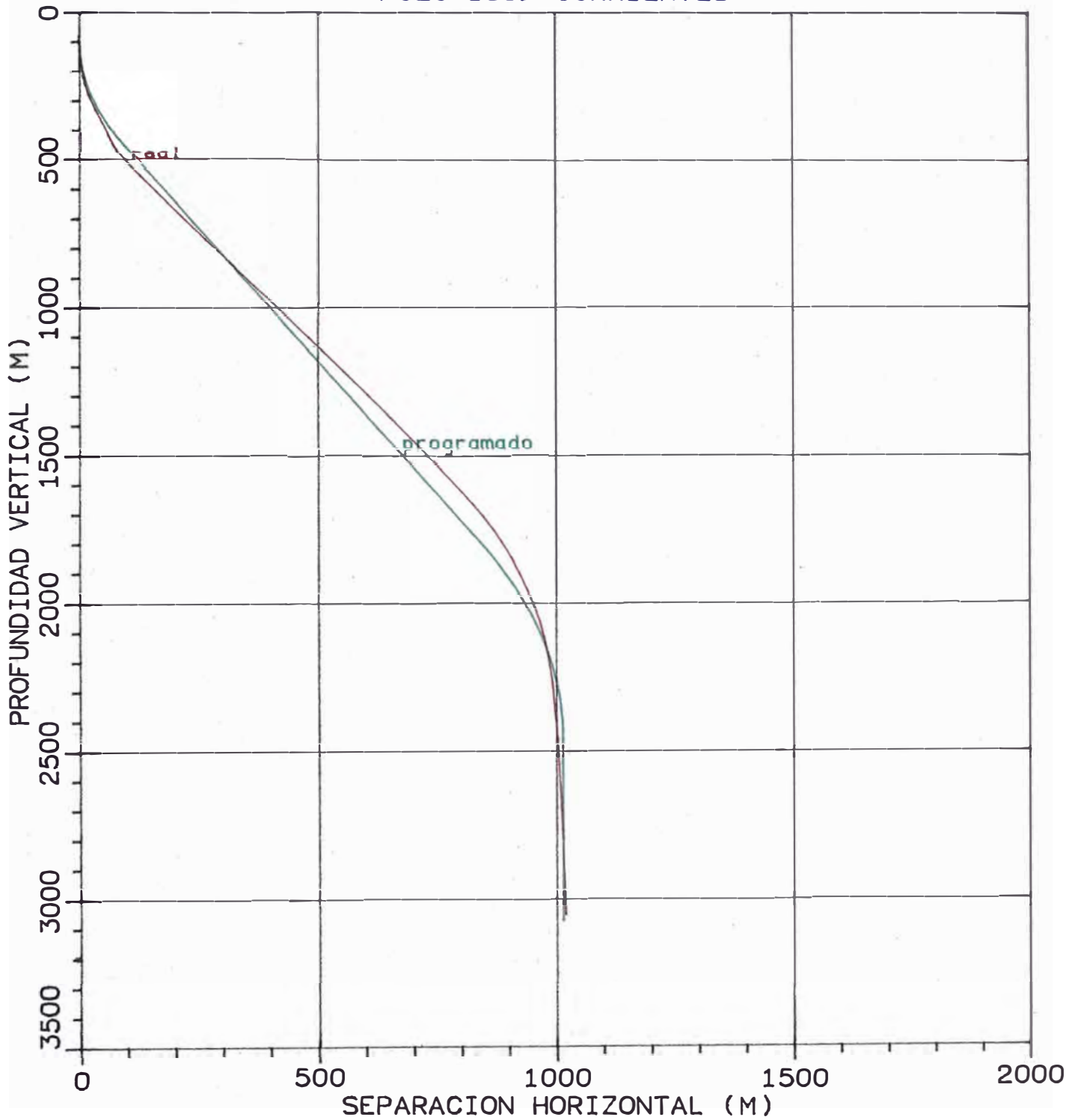


Figura 17

mayo 1995  
pre parado: J.Tapia

CONTROL DIRECCIONAL REAL DE PERFORACION  
POZO 159D-CORRIENTES  
(Método Mínima Curvatura)

=====

| Dirección : S 2° W |                    |               |           |             |                      | Plano vertical      | Plano Horiz. | COORDENADAS RECTANGULARES |                  | SECCION HORIZONTAL Trayectoria |  |  | DLS      |
|--------------------|--------------------|---------------|-----------|-------------|----------------------|---------------------|--------------|---------------------------|------------------|--------------------------------|--|--|----------|
| #                  | PROF. MEDIDA ( m ) | INCLINAC. (°) | RUMBO (°) | AZIMUTH (°) | PROF. VERTICAL ( m ) | PROYEC VERTI. ( m ) | N/S ( m )    | W/E ( m )                 | Horizontal ( m ) | Dirección (°)                  |  |  | (°/30 m) |
| 0                  | 0                  | 0.00          | S 0 W     | 0           |                      |                     |              |                           |                  |                                |  |  |          |
| 1                  | 77                 | 1.00          | N 85 E    | 85          | 77                   | 0                   | 0.06 N       | 0.67 E                    | 1                | N 85.00 E                      |  |  | 0.39     |
| 2                  | 95                 | 1.00          | N 78 E    | 78          | 95                   | 0                   | 0.10 N       | 0.97 E                    | 1                | N 83.90 E                      |  |  | 0.21     |
| 3                  | 122                | 1.75          | S 4 W     | 184         | 122                  | 0                   | -0.27 S      | 1.18 E                    | 1                | S-77.21 E                      |  |  | 2.43     |
| 4                  | 150                | 3.25          | S 3 W     | 183         | 150                  | 2                   | -1.47 S      | 1.11 E                    | 2                | S-36.96 E                      |  |  | 1.63     |
| 5                  | 179                | 5.00          | S 8 W     | 188         | 179                  | 4                   | -3.55 S      | 0.89 E                    | 4                | S-14.09 E                      |  |  | 1.85     |
| 6                  | 220                | 8.00          | S 2 W     | 182         | 220                  | 8                   | -8.17 S      | 0.54 E                    | 8                | S -3.79 E                      |  |  | 2.25     |
| 7                  | 229                | 9.00          | S 1 W     | 181         | 229                  | 10                  | -9.50 S      | 0.51 E                    | 10               | S -3.06 E                      |  |  | 3.37     |
| 8                  | 240                | 10.00         | S 3 W     | 183         | 239                  | 11                  | -11.31 S     | 0.44 E                    | 11               | S -2.24 E                      |  |  | 2.87     |
| 9                  | 278                | 14.00         | S 5 W     | 185         | 277                  | 19                  | -19.19 S     | -0.13 W                   | 19               | S 0.39 W                       |  |  | 3.17     |
| 10                 | 334                | 18.00         | S 9 W     | 189         | 330                  | 35                  | -34.49 S     | -2.08 W                   | 35               | S 3.44 W                       |  |  | 2.22     |
| 11                 | 370                | 18.25         | S 9 W     | 188.5       | 365                  | 46                  | -45.56 S     | -3.78 W                   | 46               | S 4.74 W                       |  |  | 0.25     |
| 12                 | 419                | 17.50         | S 8 W     | 188         | 411                  | 61                  | -60.44 S     | -5.94 W                   | 61               | S 5.61 W                       |  |  | 0.47     |
| 13                 | 436                | 18.00         | S 9 W     | 189         | 427                  | 66                  | -65.57 S     | -6.71 W                   | 66               | S 5.84 W                       |  |  | 1.03     |
| 14                 | 446                | 19.25         | S 9 W     | 188.5       | 437                  | 69                  | -68.72 S     | -7.19 W                   | 69               | S 5.97 W                       |  |  | 3.78     |
| 15                 | 456                | 20.50         | S 7 W     | 187         | 446                  | 72                  | -72.09 S     | -7.65 W                   | 72               | S 6.06 W                       |  |  | 4.05     |
| 16                 | 466                | 22.00         | S 5 W     | 185         | 456                  | 76                  | -75.70 S     | -8.02 W                   | 76               | S 6.05 W                       |  |  | 5.00     |
| 17                 | 475                | 23.00         | S 3 W     | 182.75      | 464                  | 79                  | -79.13 S     | -8.26 W                   | 80               | S 5.96 W                       |  |  | 4.40     |
| 18                 | 485                | 24.50         | S 1 W     | 180.5       | 473                  | 83                  | -83.16 S     | -8.37 W                   | 84               | S 5.75 W                       |  |  | 5.26     |
| 19                 | 521                | 30.25         | S 3 W     | 183         | 505                  | 100                 | -99.69 S     | -8.91 W                   | 100              | S 5.11 W                       |  |  | 4.89     |
| 20                 | 530                | 32.00         | S 3 W     | 183         | 513                  | 105                 | -104.34 S    | -9.15 W                   | 105              | S 5.01 W                       |  |  | 5.83     |
| 21                 | 540                | 32.00         | S 3 W     | 183         | 521                  | 110                 | -109.63 S    | -9.43 W                   | 110              | S 4.92 W                       |  |  | 0.00     |
| 22                 | 574                | 32.25         | S 3 W     | 182.5       | 550                  | 128                 | -127.69 S    | -10.30 W                  | 128              | S 4.61 W                       |  |  | 0.32     |
| 23                 | 639                | 32.25         | S 3 W     | 183         | 605                  | 163                 | -162.33 S    | -11.96 W                  | 163              | S 4.21 W                       |  |  | 0.12     |
| 24                 | 735                | 32.75         | S 3 W     | 183         | 686                  | 214                 | -213.84 S    | -14.66 W                  | 214              | S 3.92 W                       |  |  | 0.16     |
| 25                 | 830                | 33.00         | S 3 W     | 183         | 766                  | 266                 | -265.34 S    | -17.36 W                  | 266              | S 3.74 W                       |  |  | 0.08     |
| 26                 | 924                | 32.75         | S 3 W     | 183         | 845                  | 317                 | -316.29 S    | -20.03 W                  | 317              | S 3.62 W                       |  |  | 0.08     |
| 27                 | 1017               | 33.00         | S 4 W     | 184         | 923                  | 367                 | -366.68 S    | -23.11 W                  | 367              | S 3.61 W                       |  |  | 0.19     |
| 28                 | 1112               | 33.00         | S 4 W     | 184         | 1002                 | 419                 | -418.29 S    | -26.72 W                  | 419              | S 3.66 W                       |  |  | 0.00     |
| 29                 | 1226               | 33.00         | S 4 W     | 184         | 1098                 | 481                 | -480.23 S    | -31.05 W                  | 481              | S 3.70 W                       |  |  | 0.00     |
| 30                 | 1284               | 33.00         | S 4 W     | 184         | 1147                 | 513                 | -511.74 S    | -33.26 W                  | 513              | S 3.72 W                       |  |  | 0.00     |
| 31                 | 1363               | 32.50         | S 4 W     | 184         | 1213                 | 555                 | -554.38 S    | -36.24 W                  | 556              | S 3.74 W                       |  |  | 0.19     |
| 32                 | 1457               | 32.00         | S 5 W     | 185         | 1293                 | 605                 | -604.38 S    | -40.17 W                  | 606              | S 3.80 W                       |  |  | 0.23     |
| 33                 | 1550               | 31.50         | S 6 W     | 186         | 1372                 | 654                 | -653.09 S    | -44.86 W                  | 655              | S 3.93 W                       |  |  | 0.23     |
| 34                 | 1663               | 31.00         | S 7 W     | 187         | 1468                 | 713                 | -711.33 S    | -51.49 W                  | 713              | S 4.14 W                       |  |  | 0.19     |
| 35                 | 1728               | 30.50         | S 8 W     | 188         | 1524                 | 746                 | -744.28 S    | -55.82 W                  | 746              | S 4.29 W                       |  |  | 0.33     |
| 36                 | 1840               | 30.00         | S 9 W     | 188.5       | 1621                 | 802                 | -800.12 S    | -63.92 W                  | 803              | S 4.57 W                       |  |  | 0.15     |
| 37                 | 1887               | 29.50         | S 9 W     | 188.5       | 1662                 | 825                 | -823.19 S    | -67.37 W                  | 826              | S 4.68 W                       |  |  | 0.32     |
| 38                 | 1935               | 26.50         | S 8 W     | 188         | 1704                 | 847                 | -845.49 S    | -70.60 W                  | 848              | S 4.77 W                       |  |  | 1.88     |

Dirección : S 2 ° W

Plano vertical Plano Horiz.

| #  | COORDENADAS RECTANGULARES |               |           |             | SECCION HORIZONTAL Trayectoria |                     |            |          | DLS<br>(°/30 m) |                  |               |
|----|---------------------------|---------------|-----------|-------------|--------------------------------|---------------------|------------|----------|-----------------|------------------|---------------|
|    | PROF. MEDIDA ( m )        | INCLINAC. (°) | RUMBO (°) | AZIMUTH (°) | PROF. VERTICAL ( m )           | PROYEC VERTI. ( m ) | N/S (m)    | W/E (m)  |                 | Horizontal ( m ) | Direccion (°) |
| 38 | 1935                      | 26.50         | S 8 W     | 188         | 1704                           | 847                 | -845.49 S  | -70.60 W | 848             | S 4.77 W         | 1.88          |
| 39 | 1983                      | 23.25         | S 7 W     | 187         | 1748                           | 868                 | -865.50 S  | -73.25 W | 869             | S 4.84 W         | 2.05          |
| 40 | 2030                      | 22.00         | S 7 W     | 187         | 1791                           | 886                 | -883.44 S  | -75.45 W | 887             | S 4.88 W         | 0.80          |
| 41 | 2087                      | 19.50         | S 6 W     | 186         | 1844                           | 906                 | -903.51 S  | -77.75 W | 907             | S 4.92 W         | 1.33          |
| 42 | 2144                      | 17.50         | S 6 W     | 186         | 1898                           | 924                 | -921.49 S  | -79.64 W | 925             | S 4.94 W         | 1.05          |
| 43 | 2200                      | 15.00         | S 5 W     | 185         | 1952                           | 939                 | -937.09 S  | -81.15 W | 941             | S 4.95 W         | 1.35          |
| 44 | 2256                      | 13.00         | S 5 W     | 185         | 2006                           | 953                 | -950.58 S  | -82.33 W | 954             | S 4.95 W         | 1.07          |
| 45 | 2312                      | 11.00         | S 4 W     | 184         | 2061                           | 965                 | -962.19 S  | -83.25 W | 966             | S 4.95 W         | 1.08          |
| 46 | 2368                      | 9.00          | S 2 W     | 182         | 2116                           | 974                 | -971.90 S  | -83.78 W | 976             | S 4.93 W         | 1.09          |
| 47 | 2433                      | 6.50          | S 2 W     | 182         | 2181                           | 983                 | -980.66 S  | -84.09 W | 984             | S 4.90 W         | 1.15          |
| 48 | 2518                      | 4.25          | S 0 W     | 180         | 2265                           | 991                 | -988.61 S  | -84.25 W | 992             | S 4.87 W         | 0.80          |
| 49 | 2708                      | 2.5           | S 0 W     | 180         | 2455                           | 1002                | -999.80 S  | -84.25 W | 1003            | S 4.82 W         | 0.28          |
| 50 | 2945                      | 1.5           | S 0 W     | 180         | 2692                           | 1010                | -1008.07 S | -84.25 W | 1012            | S 4.78 W         | 0.13          |
| 51 | 3245                      | 1             | S 0 W     | 180         | 2992                           | 1017                | -1014.62 S | -84.25 W | 1018            | S 4.75 W         | 0.05          |
| 52 | 3304                      | 1             | S 0 W     | 180         | 3051                           | 1018                | -1015.65 S | -84.25 W | 1019            | S 4.74 W         | 0.00          |

**b) Brocas Compactas de Diamante Policristalinas (PDC).-**

Estas brocas son de reciente tecnología, constituido por un solo cuerpo. El trabajo de corte de las formaciones lo realizan los cortadores de diamante policristalinas que están ubicados en las aletas, el sistema de corte es por cizallamiento.

Esta nueva técnica de corte ha favorecido a obtener altas velocidades de penetración en el tramo de 12-1/4", debido a que las formaciones son blandas de litología arcillosa.

El desgaste de las brocas PDC de 12-1/4" son mínimas al término de la trayectoria en el tramo de 12-1/4". Por tal motivo las brocas de este diámetro es utilizado hasta en tres pozos.

Este tipo de broca PDC es utilizada en los pozos dirigidos de Selva para desarrollar las secciones tangenciales y de caída del ángulo en el tramo de 12-1/4".

Las brocas PDC de 12 1/4" utilizadas hasta el momento (marca Hycalog y Hughes) tienen la tendencia de cambiar la dirección del pozo ligeramente hacia la izquierda, pero a veces tienen tendencia a la derecha y a mantener la dirección del pozo en las formaciones muy blandas.

Actualmente, las brocas Policristalinas han reemplazado a las brocas tricónicas convencionales en la perforación de los pozos dirigidos en la Selva, debido a su forma agresiva de cortar las

formaciones blandas a altas velocidades de penetración y asimismo el control direccional no es afectada.

#### **10.4 Tipos de conjunto de fondo (BHA)**

Los tipos de conjunto de fondo utilizados en Selva Norte para perforar un pozo tipo "S" en sus diferentes secciones son:

**a) Conjuntos para el incremento del ángulo.-** Es utilizado para iniciar la desviación y orientar el pozo hasta alcanzar el ángulo máximo y la dirección con un ángulo de "conducción" ligeramente girado a la izquierda o derecha de la dirección programada. Los conjuntos de fondo empleados son:

**(.) Conjunto no rotario.** Constituido por el motor de fondo y el substituto de desviación ó cámara de desviación de 1.5° a 2.5°. Este BHA inicia y orienta la trayectoria del pozo.

**(.) Conjunto rotario.** Se utiliza para culminar la desviación hasta alcanzar el ángulo máximo y el ángulo de "conducción". Este conjunto se utiliza con dos (2) estabilizadores, el primero debe estar cerca a la broca y el otro a 90 pies. El primer estabilizador (near bit) siempre debe estar en calibre para conseguir la desviación, caso contrario no será posible.

**b) Conjuntos de mantenimiento de ángulo.-** Estos conjuntos rotativos son utilizados en el tramo de 12¼" para tratar de mantener el ángulo máximo programado. Los conjuntos utilizados en Selva son de cuatro (4) ó tres (3) estabilizadores ubicados a diferentes intervalos (cortos) en el BHA.

En la práctica normalmente el ángulo máximo es incrementado en  $\pm 2^\circ$  para desarrollar la trayectoria tangencial, esto es debido a que durante la perforación hay una tendencia ligera de los conjuntos a disminuir el ángulo por efectos formacionales y por parámetros de perforación. Con este procedimiento se logra un mejor control de la trayectoria.

Estos conjuntos de fondo rotarios, están siendo utilizados con brocas Policristalinas con mucho éxito en la selva.

Para perforar el tramo tangencial se emplea hasta dos (2) conjuntos de fondo, pero en algunos pozos se emplearon solo un solo conjunto.

**c) Conjunto pendular.-** Este conjunto es utilizado para desarrollar la caída del ángulo de inclinación de la trayectoria tipo "S".

En Selva últimamente se está empleando un solo conjunto pendular para la caída del ángulo, este conjunto tiene una longitud pendular de 45 pies. Con dicho conjunto las brocas de

PDC han tenido un mejor comportamiento para desarrollar la trayectoria de la caída del ángulo.

Anteriormente, con brocas tricónicas se utilizaba normalmente dos conjuntos pendulares con longitudes de 40 y 60 pies respectivamente.

La caída del ángulo es controlada por el peso sobre la broca (WOB), así a menor peso sobre la broca mayor es la velocidad de caída del ángulo, entonces para las brocas policristalinas que perforan con menor WOB que las tricónicas requieren una menor longitud para evitar caídas bruscas de ángulos (formación de patas de perro severos).

En la figura 18 se muestra los diferentes tipos de conjuntos de fondo utilizadas en pozos tipo "S" (Proyecto Corrientes-Pavayacu).



EASE 17 1/2"

BHA. # 1 : Broca 17 1/2"+ XO + PowerPak @ 1.5° + Float + UBHO + Monel 8"  
+ Saver Sub + Monel 8" + Saver Sub + 2 DC 8" + XO + 8 DC 6 1/2" + XO  
+ 15 HW 5".



INICIO DESVIACION

BHA. # 2 : Broca 17 1/2"+ XO + NB Stb (Fg) + Float + UBHO + Monel 8"  
+ Saver Sub + Stb (Fg) + Monel 8" + Saver Sub + Stb (Fg) + 2 DC 8"  
+ XO + 8 DC 6 1/2" + XO + 15 HW 5".



CONTINUA INCREMENTO DESVIACION

FIG.18  
CONJUNTOS DE FONDO

FASE 12 1/4"

BHA. # 5: Broca 12 1/4"+ NB Stb (FG) + SDC + Float +Stb Sleeve (FG) + UBHO + Monel + Saver Sub + Stb Sleeve (FG) + Saver Sub + Monel + Saver Sub +Stb Sleeve (FG) + DC 7 3/4" + (Jar+FJ) + 2 DC 7 3/4" + XO + 3 DC 6 1/4 + 15 HWDP.



MANTENIMIENTO ANGULO

BHA. # 6: Broca 12 1/4"+ NB Stb (FG) + SDC + Float + UBHO + Monel + Saver Sub + Stb Sleeve (FG) + Saver Sub + Monel + Saver Sub +Stb Sleeve (FG) + DC 7 3/4" + (Jar+FJ) +2 DC 7 3/4" + XO + 3 DC 6 1/4 +15 HWDP.



MANTENIMIENTO ANGULO

BHA. # 9 Broca 12 1/4"+ Bit Sub + Float + UBHO + Monel + Saver Sub + Stb Sleeve (FG) + Saver Sub + Monel + Saver Sub +Stb Sleeve (FG) + DC 7 3/4" + (Jar+FJ) + 2 DC 7 3/4" + XO + 3 DC 6 1/4 + 15 HWDP.



PENDULAR

## 10.5 Comportamiento de los conjuntos de fondo

- (.) En el desarrollo de la perforación direccional de los pozos del Proyecto Corrientes-Pavayacu, se ha observado cambios en el comportamiento de los conjuntos de fondo desde el uso de las brocas de PDC (año 1993).

El problema inicial era la de estimar el ángulo de "conducción" en la dirección para compensar los giros de la brocas tricónicas y de PDC cuando se usaban combinados.

- (.) Antes de la introducción de las brocas de PDC, los conjuntos de fondo eran utilizados con brocas tricónicas y el ángulo de "conducción" era girado de 5° a 8° hacia la izquierda de la dirección programado, para desarrollar la trayectoria dirigida hasta el objetivo.

El desfase del ángulo de dirección se realizaba para compensar el giro de las brocas tricónicas hacia la derecha.

- (.) La experiencia en la perforación de los pozos dirigidos tipo "S" en Corrientes y Pavayacu (21 pozos), nos mostró que el cambio de dirección (izquierda o derecha) en la sección tangencial de la trayectoria era más notorio cuando el conjunto rotario tenía tres (3) estabilizadores.

Pero cuando se empezó a utilizar cuatro (4) estabilizadores se obtuvo menos tendencia de giro.

- (.) En base a esta experiencia se esta utilizando un ángulo de

“conducción” igual a la dirección programada (plano horizontal) es decir apuntando al centro del objetivo, cuando se utiliza un conjunto de fondo de cuatro (4) estabilizadores en la sección tangencial. Debido a que el giro será mínimo la derecha o izquierda al utilizar las brocas tricónicas y de PDC respectivamente.

- (.) En la sección de caída del ángulo, es bien definido el giro a la derecha con broca tricónica y giro a izquierda con brocas de PDC, esto se debe a que solamente utilizamos dos (2) estabilizadores.
- (.) Un giro aleatorio de la trayectoria (izquierda o derecha) se presenta en las formaciones muy blandas. En el caso de la selva se presenta en las formaciones Marañón y Pebas (prof. de  $\pm$  500m a 1000m) tanto al perforar con brocas tricónicas o de PDC.

Cuando las formaciones son mas compactas (más profundo) el giro de la trayectoria se vuelve más definido, es decir que puede girar a derecha si se perfora con tricónica ó izquierda si es broca de PDC.

- (.) En la sección del incremento del ángulo, el giro de la trayectoria es controlado por el motor de fondo, pero cuando se utiliza el conjunto rotario el giro normalmente es a la derecha ó mantiene el ángulo.

## 10.6 Problemas presentados en la perforación direccional

Los problemas presentados durante la perforación direccional de los pozos tipo "S" en la Selva Norte fueron:

- (.) Desgaste de las brocas, ocasionaba cambios en la dirección e inclinación de la trayectoria, esto era mas notorio cuando se perforaba con brocas tricónicas.
  
- (.) Agarres de cañería por "ojos de llave", esto ocasionaba que en algunos pozos no se pudieran recuperar la sarta de perforación. Este problema se solucionó realizando un desvío del pozo (Side track) para continuar la perforación. Caso los pozos 139D-Corrientes y 154D-Pavayacu.
  
- (.) Control de la trayectoria direccional, generalmente se vió afectada por cambios bruscos en la dirección e inclinación debido a efectos formacionales, parámetros de perforación y una selección equivocada del conjunto de fondo. Este problema en algunos pozos obligó a realizar hasta dos (2) correcciones de la trayectoria con motor de fondo, a veces estas correcciones formaban cambios de curvatura (patas de perro) y luego con la rotación de la cañería se creaban los "ojos de llave", ocasionando problemas en los viajes de la cañería.

## 10.7 Estadística y Resultados de la perforación direccional en los yacimientos de Corrientes, Pavayacu y Chambira.

Los resultados de la perforación direccional obtenidas en las áreas de Corrientes, Pavayacu, y otras como Yanayacu, Chambira, se detallan en los siguientes cuadros y gráficos.

### **Cuadro N° 1**

(.) Muestra los resultados de la perforación direccional para la trayectoria tipo "S" obtenida en los pozos perforados en Proyecto Corrientes - Pavayacu, desde el año 1992 hasta 1995 ( agosto ).

(.) En el año 1992 todos los pozos dirigidos eran perforados con brocas tricónicas, conjuntos rotarios y el control direccional era con el sistema de medición Single Shot.

Las bombas de lodo proporcionaban un caudal máximo de 500 gpm.

Los tiempos de perforación promedio obtenidos fueron:

#### a) **Pozo dirigido**

| <b><u>Campo</u></b> | <b><u>Tiempo</u></b> | <b><u>Profundidad</u></b> |
|---------------------|----------------------|---------------------------|
| Corrientes          | 32                   | 3200                      |
| Pavayacu            | 24                   | 3000                      |

**b) Pozo vertical**

| <u>Campo</u> | <u>Tiempo</u> | <u>Profundidad</u> |
|--------------|---------------|--------------------|
| Corrientes   | 20            | 3050               |
| Pavayacu     | 22            | 2900               |

- (.) En junio de 1993 (pozo 143 D-Pavayacu) se introdujo por primera vez el uso de las brocas Compactas de Diamante Policristalinas (PDC) para perforar el tramo intermedio de 12 1/4" de un pozo dirigido en el área de Pavayacu. Los resultados fueron excelentes, se logró velocidades de penetración altas comparado a las obtenidas a las brocas tricónicas, logrando reducir los tiempos de perforación.

Los resultados en el área de Pavayacu fueron (pozo dirigido):

| <u>Brocas</u> | <u>Total (días)</u> | <u>Reducción (días)</u> |
|---------------|---------------------|-------------------------|
| Tricónica     | 24                  | 4                       |
| PDC           | 20                  |                         |

- (.) Asimismo en el año 1993 (enero), se cambió las bombas de lodo a una de mayor capacidad logrando disponer un caudal de 700 gpm (camisa 5") para el tramo de 12 1/4". Esta mayor capacidad hidráulica favoreció la introducción de la broca de PDC.
- (.) En el año de 1994 se optimizó el uso de las brocas PDC de 12 1/4" en la perforación de pozos dirigidos en el área de Pavayacu.

Asimismo en 1994 se introdujo por primera vez el uso de brocas PDC de 8½" para perforar el tramo de producción. Los resultados obtenidos en el área de Pavayacu hasta el año 1995 fueron los siguientes:

| <u>Campo</u> | <u>Perforación(días)</u> |                   | <u>Reducción<br/>(Días)</u> |
|--------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
|              | <u>PDC</u>               | <u>Tricónicas</u> |                             |
| Corrientes   | 25                       | 32                | 7                           |
| Pavayacu     | 18                       | 24                | 6                           |

- (.) En el Gráfico No. 1 se muestra los resultados de la perforación para los pozos perforados desde el año 1992 hasta 1995.

### Cuadro N° 2

- (.) En este Cuadro se muestra los resultados de algunos pozos dirigidos perforados desde el año 1973 hasta 1986. En 1973 se inició los trabajos direccionales en Selva por parte de PETROPERU.

El primer pozo dirigido perforado en Selva fue el 14XCD-Corrientes. Este pozo se abandonó por problemas mecánicos al final de la perforación. La trayectoria de este pozo fue tipo "J" (Slant).

- (.) Desde el año 1973 hasta 1976, todos los pozos dirigidos perforados en Selva fueron con trayectoria "J" (Slant) hasta



alcanzar el objetivo.

- (.) A partir del año de 1977 se inicia la perforación de pozos dirigidos con trayectoria tipo "S". El control direccional se culmina en el tramo de 12¼". El tramo de producción de 8½" se perfora en forma vertical.
- (.) Los resultados de los tiempos promedios de perforación para los pozos dirigidos desde el año 1973 hasta 1986 fueron:

| <u>Campo</u> | <u>Tiempo perfor.</u><br>(días) | <u>Profundidad</u><br>(m) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|
| Corrientes   | 36                              | 3200                      |
| Pavayacu     | 26                              | 3000                      |
| Yanayacu     | 40                              | 3650                      |

### Cuadro N° 3

- (.) En este Cuadro el resultado de los tiempos promedios de perforación obtenidos en las diferentes secciones de un pozo dirigido con trayectoria "S". Este cuadro comparativo se basa al uso de brocas tricónicas antes de 1993 y a brocas PDC de 12¼" y 8½" después de 1993.
- (.) El uso de las brocas de PDC en la perforación de los tramos de 12-1/4" y 8-1/2" han permitido reducir los tiempos de perforación en las áreas de Corrientes y Pavayacu.  
Así tenemos :

| <b>Campo</b> | <b>Reducción tiempo perfor.(días)</b> |                  |                 | <b>Total</b> |
|--------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|--------------|
|              | <b>Tramo 17½</b>                      | <b>Tramo 12¼</b> | <b>Tramo 8½</b> |              |
| Corrientes   | -                                     | 3                | 4               | 7            |
| Pavayacu     | -                                     | 2.5              | 4               | 6.5          |

- (.) Por lo tanto, el tiempo promedio de perforación reducido en los pozos dirigidos de las áreas de Corrientes y Pavayacu usando brocas de PDC fue de  $\pm 7$  días.
- (.) En los gráficos No. 2 y 3 se muestra los resultados de los tiempos de perforación por secciones de los pozos dirigidos en las áreas de Corrientes y Pavayacu.
- (.) En el gráfico No. 4 se detalla los resultados de los tiempos de perforación promedios obtenidos antes y después del año de 1993. Estos tiempos están basados al uso de las brocas tricónicas y de PDC.
- (.) En el gráfico No. 5 se muestra la curva de avance promedio de perforación obtenido hasta el año de 1995 en el área de Corrientes.

En ella se observa la mejora en los tiempos de perforación.

## **11. ANALISIS ECONOMICO**

### **11.1 Costo comparativo de la Perforación de un pozo dirigido y vertical en Selva Norte.**

- (.) En el Cuadro N° 4, se muestra un análisis comparativo de los costos de perforación para un pozo dirigido y un pozo vertical, en las operaciones de PETROPERU en Selva.

Los costos están referidos a los pozos perforados en el área de Corrientes y Pavayacu.

- (.) Referente al punto 14 del Cuadro, la construcción de las plataformas se realiza con el fin de perforar un pozo vertical y de dos a cuatro pozos dirigidos por plataforma . El costo de la plataforma es compartida entre los pozos a perforarse, por ello es que el costo de la construcción de la plataforma es igual para un pozo dirigido y para un pozo vertical.

- (.) Finalmente el costo de un pozo dirigido en Selva es aproximadamente US\$ 1'800,000 y para un pozo vertical es aproximadamente US\$ 1'400,000.

- (.) El análisis de los costos se ha considerado hasta la cementación de la tubería de producción de 7" (tubería corta o laina).

## 12. CONCLUSIONES

- a) La compañía Petróleos del Perú, inicio la perforación direccional en Selva Norte a partir del año de 1973, para desarrollar los yacimientos productivos descubiertos de Corrientes, Pavayacu, Yanayacu, Capirona, Nueva Esperanza, Valencia y Chambira.

Los trabajos de perforación con pozos verticales en Selva Norte se inicio el año de 1971.

- b) Los tipos de trayectoria utilizada en el perforación direccional de los pozos de Selva Norte para alcanzar los objetivos programados son: tipo "S" y tipo "J" (slant)

La trayectoria de tipo "S" se viene utilizando en Selva desde el año 1977, debido a que las separaciones horizontales hasta el objetivo son en promedio de 600m a 800m ; lo cual permite que el control direccional finalice a profundidades de 2200m en el tramo de 12¼". Esto favorece a la perforación en forma vertical del tramo de producción con broca de 8½" y también para los trabajos de completación de los tres reservorios existentes en pozos de Selva.

- c) La perforación direccional en Selva se hizo indispensable debido a la geografía agreste que presenta la Amazonia, que no permite perforar en forma continua pozos verticales. Asimismo otro factor importante es el alto costo de las plataformas para perforar sólo pozos verticales. Por lo tanto, es mas económico construir plataformas para perforar varios pozos dirigidos incluyendo un pozo vertical.

d) La perforación de la trayectoria dirigida de los pozos tipo "S" en Selva se realizan con conjunto de fondo rotarios convencionales. Solamente el inicio de la desviación y la orientación de la trayectoria del pozo se efectúa con motor de fondo y un substituto desviado (conjunto de fondo no rotario).

e) Los tipos de conjuntos de fondo utilizados en Selva para pozos tipo "S" son:

(.) Conjunto para incrementar el ángulo de desviación

(.) Conjunto para mantener el ángulo

(.) Conjunto para caída del ángulo

El comportamiento de los conjuntos de fondo se ha optimizado; lo cual está permitiendo perforar: sección incremento de ángulo con dos(2) conjuntos, sección tangencial con un solo conjunto y la sección de caída de ángulo con un solo conjunto.

f) Los pozos dirigidos perforados en Selva atraviesan formaciones constituidas principalmente por arcillas, cuya dureza van de blandas a medianamente blandas.

g) Con las brocas Compactas de Diamante Policristalinas (PDC) se han logrado altas velocidades de penetración en las formaciones blandas, y con ello se ha logrado reducir aproximadamente 3 días de perforación en el tramo de 12¼" y de 4 días en el tramo de 8½" de los pozos dirigidos de Selva.

Por lo tanto, el tiempo total de perforación reducido usando brocas

PDC de 12¼" y 8½" es de 7 días.

- h) El comportamiento de los conjuntos de fondo con diferentes tipos de brocas en pozos dirigidos tipo "S" de Selva, ha mostrado lo siguiente:
- (.) Las brocas tricónicas, tienen tendencia de girar hacia la derecha en formaciones consolidadas (sentido de las agujas de reloj)
  - (.) Las brocas de PDC, tienen tendencia de giro hacia la izquierda (sentido contrario de las agujas del reloj) en formaciones consolidadas.
  - (.) En formaciones no consolidadas las brocas de PDC tienen un comportamiento aleatorio, es decir pueden girar a la izquierda o derecha.
  - (.) El uso de conjuntos de fondo "empaquetados" con cuatro (4) estabilizadores a permitido disminuir la tendencia de giro de las brocas, y con ello se obtuvo un mejor control de la trayectoria.
  - (.) Estos conjuntos empaquetados han permitido usar un ángulo de "conducción" hasta un máximo de 5° girado hacia la derecha o izquierda de la dirección programada, para compensar el giro de los conjuntos.
- i) Los sistemas de medición utilizados para controlar la trayectoria de los pozos dirigidos en Selva son:
- (.) Sistema de tomas sencillas (instrumento single shot). Se requiere mayor tiempo de registro debido a que el instrumento se baja con cable.

- (.) Sistema de medición mientras se perfora (MWD). Este sistema permite medir los parámetros direccionales sin paralizar las operaciones de perforación. La transmisión de la información del fondo se realiza mediante un proceso de telemetría (pulsos de energía) usando el lodo de perforación
  - (.) El uso del sistema MWD ha permitido reducir el tiempo de los registros de desviación aproximadamente en 1.5 días.
- j) El sistema de medición mientras se perfora (MWD) está permitiendo un mejor control de la trayectoria direccional, puesto que facilita "ver" las condiciones de la trayectoria en intervalos cortos (10 a 30 m), y por lo tanto la toma de decisiones es inmediata sobre el desarrollo de la trayectoria.
- En cambio con el sistema de tomas sencillas (single shot) las decisiones eran lentas, puesto que las mediciones se realizaban en intervalos mas grandes (60 a 100 m) paralizando la perforación de 30 a 60 minutos por registro.
- k) Los parámetros direccionales utilizadas en el desarrollo de los pozos dirigidos tipo "S" en Selva son en promedio de :
- (.) Inicio de la desviación: 50m a 100m.
  - (.) Separación horizontal :  $\pm$  500m a 1000 m
  - (.) Angulo máximo :  $\pm$  32°
  - (.) Profundidad final  $\pm$  3200 a 3800 m
  - (.) Velocidades de incremento y caída del ángulo:

2°/2.5° y 1°/1.5° cada 30m.

- 1) Los tiempos de perforación de pozos dirigidos con trayectoria tipo "S", obtenidos antes y después del año de 1993 en los campos de Corrientes y Pavayacu son:

| <u>Campo</u> | <b>Antes 1993</b><br>(días) | <b>Después 1993</b><br>(días) |
|--------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Corrientes   | 32                          | 25                            |
| Pavayacu     | 24                          | 18                            |

El menor tiempo de perforación después del año 1993 se debe al uso de las brocas Policristalinas PDC y al incremento de la capacidad hidráulica de las bombas de lodo.

- II) El costo de perforación de un pozo dirigido en Selva es de aproximadamente US \$ 2'000,000.00 (dos millones de dólares).



### **13. RECOMENDACIONES**

- (.) Utilizar los conjuntos de fondo rotarios con el sistema de medición mientras se perfora (MWD) para continuar con el desarrollo de la perforación direccional tipo "S" en los pozos de Selva Norte.  
Este proceso permite un mejor control de la trayectoria dirigida y disminuye la formación de "patas de perro" y "ojos de llave" (cambios bruscos en la curvatura).
- (.) Utilizar las brocas Compactas de Diamante Policristalinas (PDC) para la perforación de los pozos dirigidos, debido que se logra altas velocidades de penetración sin afectar el control direccional de la trayectoria.
- (.) Para complementar una buena optimización de la perforación direccional usando los conjuntos rotarios, el sistema de medición mientras se perfora (MWD) y brocas policristalinas; es necesario contar con una adecuada capacidad hidráulica en las bombas de lodo en un rango de 650-700 GPM para obtener una buena limpieza del fondo del pozo y también para obtener una potencia hidráulica de 2.5 a 3.5 hp/pg<sup>2</sup> (HSI).
- (.) Asimismo para un buen control de la trayectoria es necesario tener un adecuado sistema de lodo de perforación principalmente para inhibir las formaciones arcillosas de los pozos de Selva.

## **14. CUADROS Y GRAFICOS**

**CUADRO N° 1**  
**ESTADISTICA PERFORACION DIRECCIONAL 1992-1995**  
**(PROYECTO CORRIENTES - PAVAYACU - CHAMBIRA)**

| Año  | Pozo                 | Tiempo perfora (dias) | Prof (m) | Max. Angulo | Separación Horizontal (m) | Prof. inicio desviación (m) | Tipo Brocas   |
|------|----------------------|-----------------------|----------|-------------|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1992 | 139D-Corr. (*)       | 51.5                  | 3220     | 29°         | 808                       | 150                         | Tricónicas    |
|      | 140D-Corrientes      | 32                    | 3103     | 15°         | 315                       | 260                         | Tricónicas    |
|      | 138D-Corrientes      | 35                    | 3170     | 22°         | 617                       | 100                         | Tricónicas    |
|      | 137-Corr (vertical)  | 20                    | 3016     |             |                           |                             |               |
| 1993 | 132D-Pavayacu        | 23.3                  | 2950     | 21°         | 510                       | 45                          | Tricónicas    |
|      | 130XC-Pav(vertical)  | 22.4                  | 2878     |             |                           |                             | Tricónicas    |
|      | 133D-Pavayacu        | 22.8                  | 2964     | 21°         | 506                       | 96                          | Tricónicas    |
|      | 143D-Pavayacu        | 19.6                  | 2945     | 16°         | 450                       | 100                         | Tricóni., PDC |
|      | 134D-Pavayacu        | 25.6                  | 2934     | 17°         | 445                       | 50                          | Tricóni., PDC |
|      | 144D-Pavayacu        | 32.5                  | 3003     | 21°         | 610                       | 55                          | Tricóni., PDC |
|      | 145D-Pavayacu        | 20                    | 3070     | 27.5°       | 750                       | 50                          | Tricóni., PDC |
|      | 146D-Pavayacu        | 19.8                  | 2945     | 15°         | 335                       | 45                          | Tricóni., PDC |
| 1994 | 135D-Pavayacu        | 17.4                  | 3017     | 20.5°       | 540                       | 55                          | Tricóni., PDC |
|      | 147D-Pavayacu        | 17.4                  | 2930     | 14°         | 235                       | 70                          | Tricóni., PDC |
|      | 148D-Pavayacu        | 20.9                  | 2930     | 19°         | 220                       | 50                          | Tricóni., PDC |
|      | 150D-Pavayacu        | 21.5                  | 3019     | 25.5°       | 610                       | 45                          | Tricóni., PDC |
|      | 149D-Pavayacu        | 22                    | 3102     | 31°         | 855                       | 45                          | Tricóni., PDC |
|      | 154ST-Pav (*)        | 46.2                  | 2955     | 21°         | 368                       | 55                          | Tricóni., PDC |
|      | 153D-Pavayacu        | 18.8                  | 3087     | 29°         | 820                       | 50                          | Tricóni., PDC |
|      | 155D-Pavayacu        | 28.7                  | 3233     | 51°         | 880                       | 1600                        | Tricóni., PDC |
| 1995 | 142D-Corrientes      | 24.6                  | 3180     | 20°         | 625                       | 45                          | PDC, Tricóni. |
|      | 141D-Corrientes      | 23.4                  | 3189     | 24°         | 690                       | 50                          | PDC, Tricóni. |
|      | 159D-Corrientes      | 27.5                  | 3340     | 32°         | 1000                      | 95                          | PDC, Tricóni. |
|      | 157D-Chamb. vertical | 27.9                  | 3636     |             |                           |                             | PDC, Tricóni. |
|      | 158D-Chambira        | 32.4                  | 3835     | 27°         | 960                       | 50                          | PDC, Tricóni. |
|      |                      |                       |          |             |                           |                             |               |

(\*) Pozos con "Side Track".

**CUADRO N° 2**

**RESULTADOS PERFORACION DIRECCIONAL ANTES DEL AÑO DE 1992  
(POZOS CORRIENTES - PAVAYACU)**

| Año  | Pozo            | Tiempo<br>perofora<br>(dias) | Prof<br>(m) | Max.<br>Angulo | Separación<br>Horizontal<br>(m) | Prof.<br>inicio<br>desviación<br>(m) | Tipo<br>Brocas |
|------|-----------------|------------------------------|-------------|----------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| 1973 | 14D-Corrientes  | 38                           | 3230        | 20°            | 1000                            | 180                                  | Tricónicas     |
| 1974 | 15D-Corrientes  | 39                           | 3200        | 22°            | 1100                            | 200                                  | Tricónicas     |
|      | 16D-Corrientes  | 36                           | 3220        | 20°            | 1000                            | 180                                  | Tricónicas     |
|      | 22D-Yana yacu   | 40                           | 3650        | 22°            | 1200                            | 200                                  | Tricónicas     |
| 1975 | 42D-Corrientes  | 36                           | 3210        | 20°            | 950                             | 160                                  | Tricónicas     |
|      | 46D-Corrientes  | 33                           | 3285        | 26°            | 1050                            | 150                                  | Tricónicas     |
| 1976 | 45D-Corrientes  | 35                           | 3300        | 35°            | 1500                            | 100                                  | Tricónicas     |
|      | 47D-Corrientes  | 30                           | 3100        | 15°            | 750                             | 150                                  | Tricónicas     |
|      | 55D-Corrientes  | 34                           | 3260        | 30°            | 750                             | 400                                  | Tricónicas     |
| 1977 | 50D-Pavayacu    | 47                           | 3030        | 30°            | 750                             | 250                                  | Tricónicas     |
|      | 51D-Pavayacu    | 25                           | 3100        | 30°            | 800                             | 250                                  | Tricónicas     |
|      | 59D-Pavayacu    | 25                           | 3000        | 15°            | 700                             | 200                                  | Tricónicas     |
|      | 65D-Pavayacu    | 23                           | 2980        | 23°            | 620                             | 120                                  | Tricónicas     |
| 1978 | 68D-Capirona    | 26                           | 3100        | 22°            | 600                             | 150                                  | Tricónicas     |
|      | 67D-Pavayacu    | 26                           | 3060        | 26°            | 660                             | 220                                  | Tricónicas     |
| 1979 | 66D-Pavayacu    | 31                           | 3100        | 38°            | 1080                            | 140                                  | Tricónicas     |
| 1980 | 71D-Capirona    | 37                           | 3000        | 37°            | 1100                            | 110                                  | Tricónicas     |
|      | 72D-Pavayacu    | 23.4                         | 3090        | 22°            | 580                             | 100                                  | Tricónicas     |
| 1982 | 79D-Pavayacu    | 26                           | 2980        | 21°            | 540                             | 110                                  | Tricónicas     |
|      | 89D-Corrientes  | 31                           | 3200        | 22°            | 550                             | 180                                  | Tricónicas     |
|      | 100D-Valencia   | 32                           | 3380        | 31°            | 980                             | 50                                   | Tricónicas     |
| 1983 | 97D-Corrientes  | 35                           | 3190        | 22°            | 620                             | 120                                  | Tricónicas     |
|      | 113D-Corrientes | 32                           | 3240        | 25°            | 720                             | 120                                  | Tricónicas     |
|      | 112D-Corrientes | 35                           | 3130        | 13°            | 400                             | 130                                  | Tricónicas     |
| 1986 | 116D-Corrientes | 38                           | 3240        | 29°            | 800                             | 120                                  | Tricónicas     |
|      | 120D-Corrientes | 33                           | 3130        | 23°            | 450                             | 130                                  | Tricónicas     |

### CUADRO N° 3

#### RESULTADOS TIEMPOS PROMEDIOS PERFORACION POR SECCIONES TRAYECTORIA TIPO "S"

##### I) ANTES DEL AÑO 1993 (a)

| Campo      | Tramo 17.5"   |                  | Tramo 12.25"  |                  | Tramo 8.5"    |                  |
|------------|---------------|------------------|---------------|------------------|---------------|------------------|
|            | Prof.<br>(m.) | Tiempo<br>(días) | Prof.<br>(m.) | Tiempo<br>(días) | Prof.<br>(m.) | Tiempo<br>(días) |
| Corrientes | 550           | 2.5              | 2550          | 16               | 3250          | 7.5              |
| Pavayacu   | 300           | 2                | 2350          | 10               | 3000          | 7.5              |

##### II) DESPUES DE 1993 (b)

|            |     |     |      |     |      |     |
|------------|-----|-----|------|-----|------|-----|
| Corrientes | 500 | 2.5 | 2550 | 13  | 3250 | 3.5 |
| Pavayacu   | 300 | 2   | 2350 | 7.5 | 3000 | 3.5 |
| Chambira   | 600 | 2.5 | 3150 | 15  | 3835 | 4   |

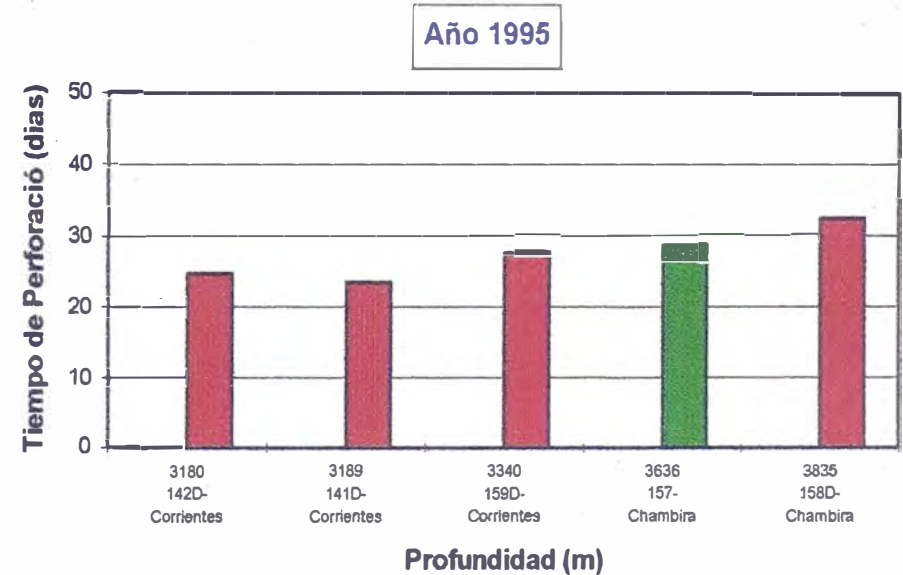
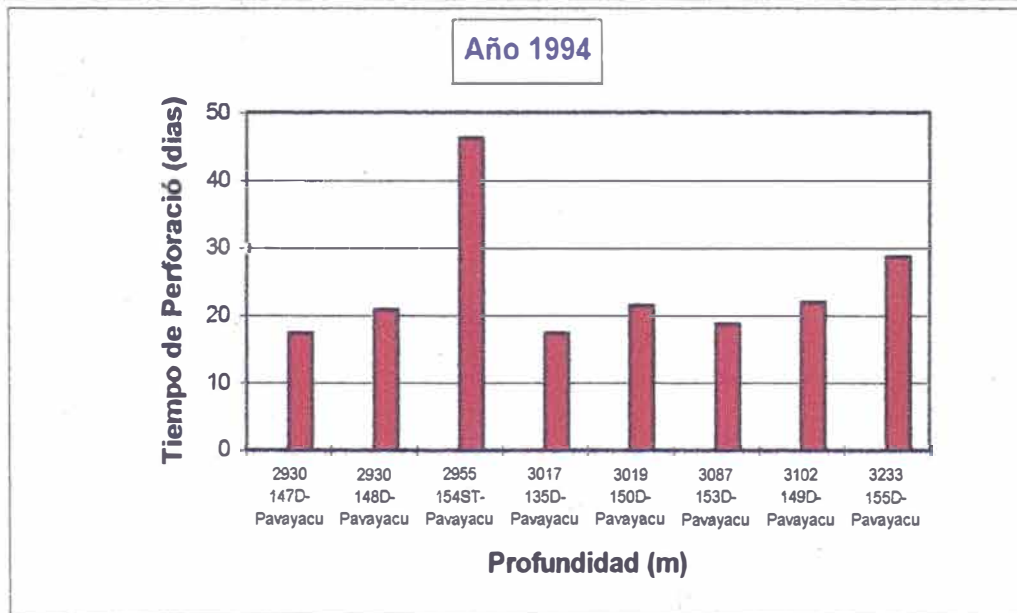
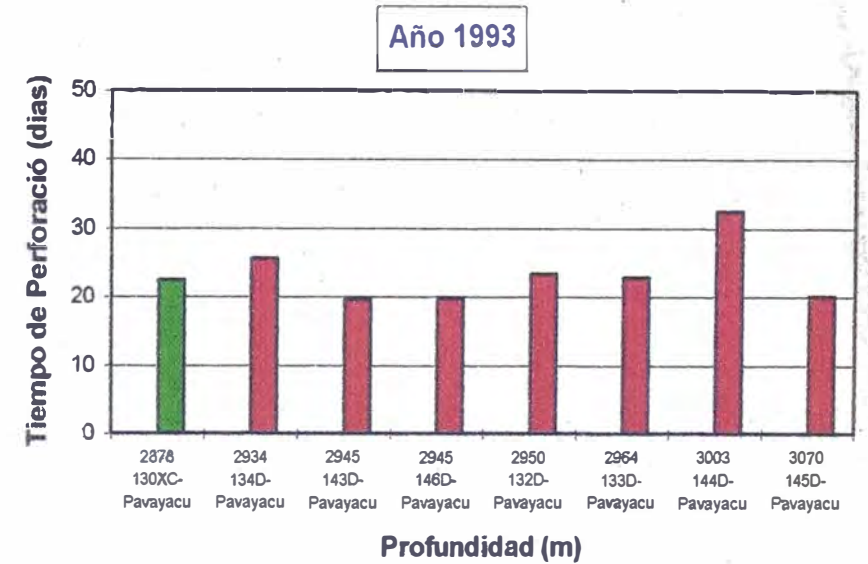
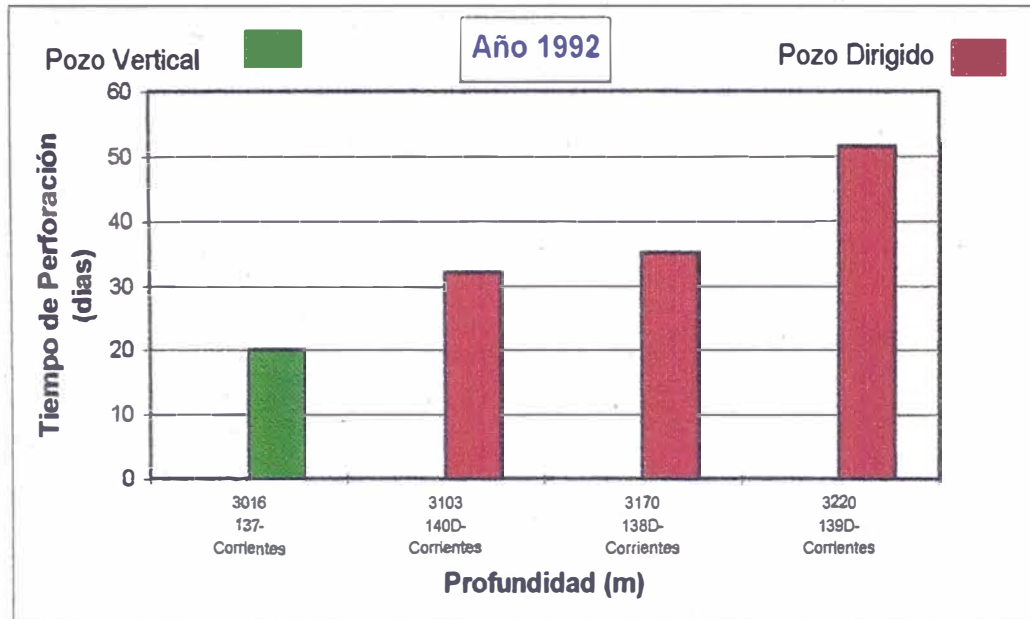
a) Brocas Tricónicas

b) Brocas de PDC

**CUADRO N° 4**

| Descripción  | Costo (US \$)    |                  |
|--|------------------|------------------|
|  | Pozo dirigido    | Pozo vertical    |
| 1.- Tiempo de perforación (días)                         | 25               | 20               |
| 2.- Alquiler equipo y personal (US \$ 10,823 / día)      | 270,575          | 216,460          |
| 3. Servicio alimentación                                 | 52,500           | 42,000           |
| 4.- Fluido de perforación                                | 120,000          | 80,000           |
| 5.- Servicio control direccional con sistema de medición | 140,000          | ---              |
| 6.- Tubulares  | 210,000          | 200,000          |
| 7.- Servicio cementación                                 | 45,000           | 40,000           |
| 8.- Accesorios perforación (133/8" 95/8" 7")             | 8,000            | 8,000            |
| 9.- Transporte Aéreo                                     | 112,500          | 94,500           |
| 10. Lubricantes y combustible                            | 80,000           | 70,000           |
| 11. Aditivos de cementación                              | 55,000           | 48,000           |
| 12. Brocas   | 60,000           | 60,000           |
| 13. Perfilaje  | 100,000          | 100,000          |
| 14. Construcción plataforma (*)                          | 400,000          | 400,000          |
| 15. Otros  | 100,000          | 80,000           |
| <b>TOTAL</b>   | <b>1'753,575</b> | <b>1'438,960</b> |

# Estadística de la Perforación Direccional (Proyecto Corrientes-Pavayacu-Chambira)





TIEMPOS PERFORACION SECCIONES  
TRAYECTORIA TIPO "S"  
AREA CORRIENTES

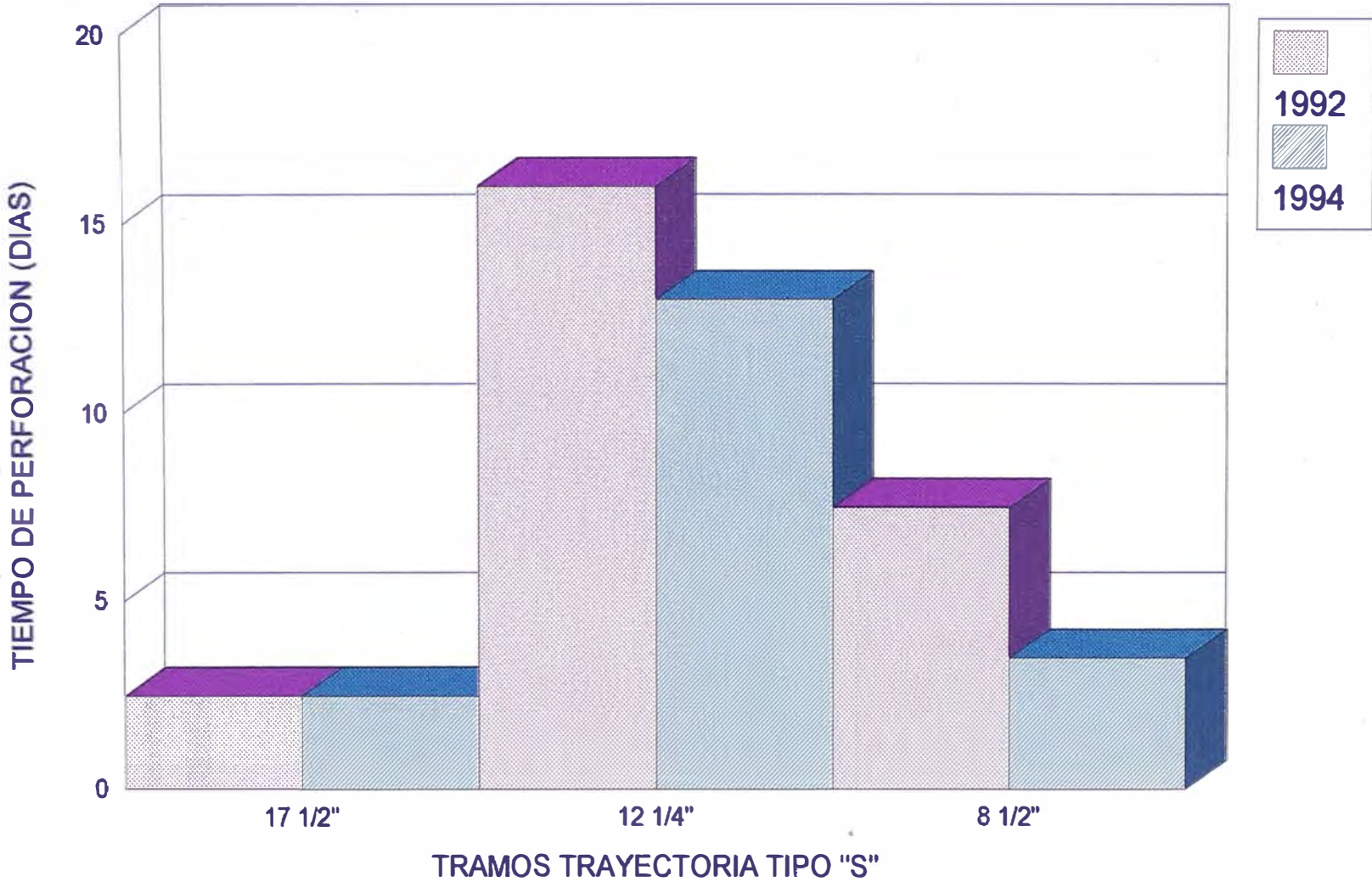


GRAFICO 2



TIEMPOS PERFORACION SECCIONES  
TRAYECTORIA TIPO "S"  
AREA PAVAYACU

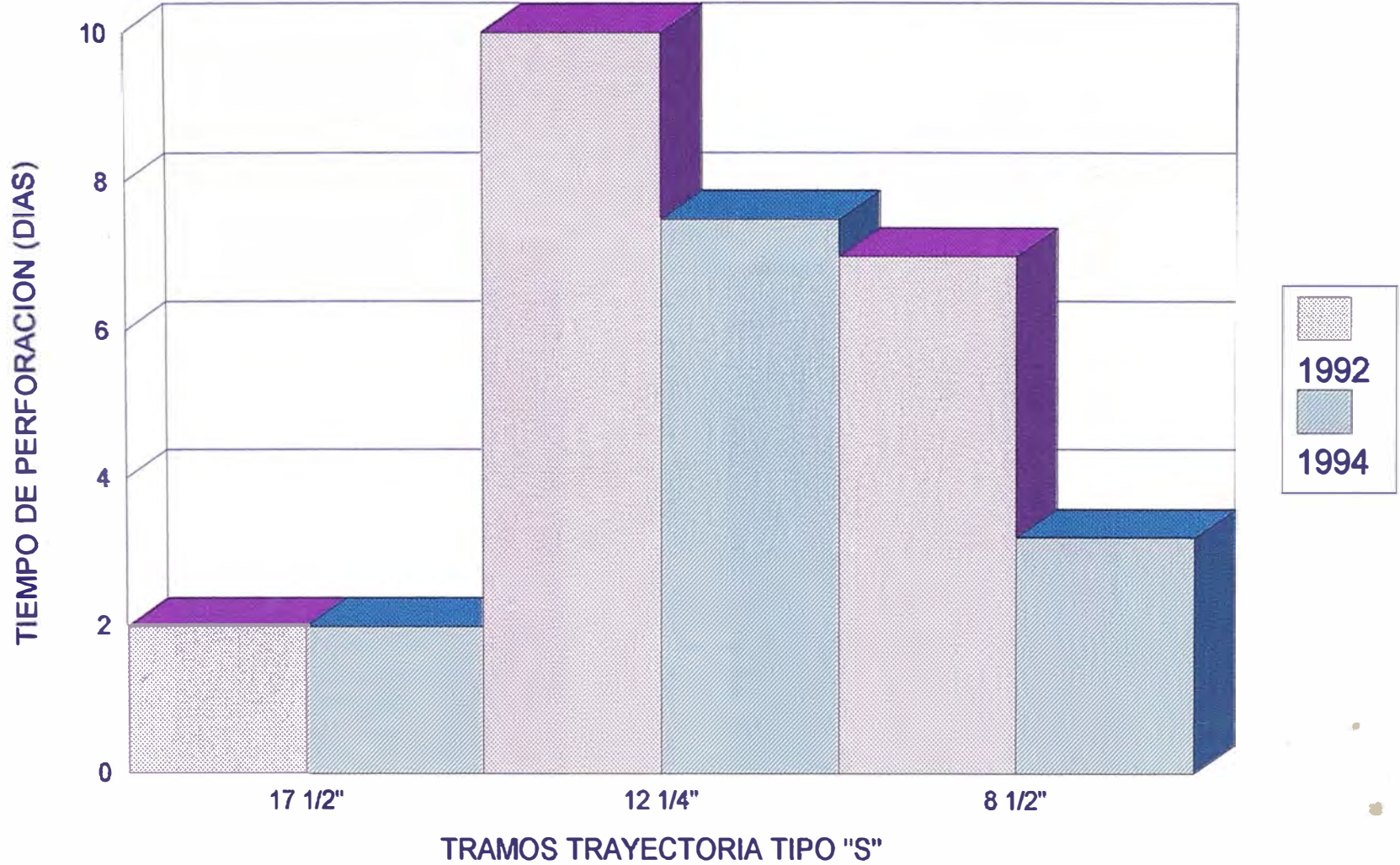


GRAFICO 3

## Tiempo Promedio Perforación Direccional Selva Norte

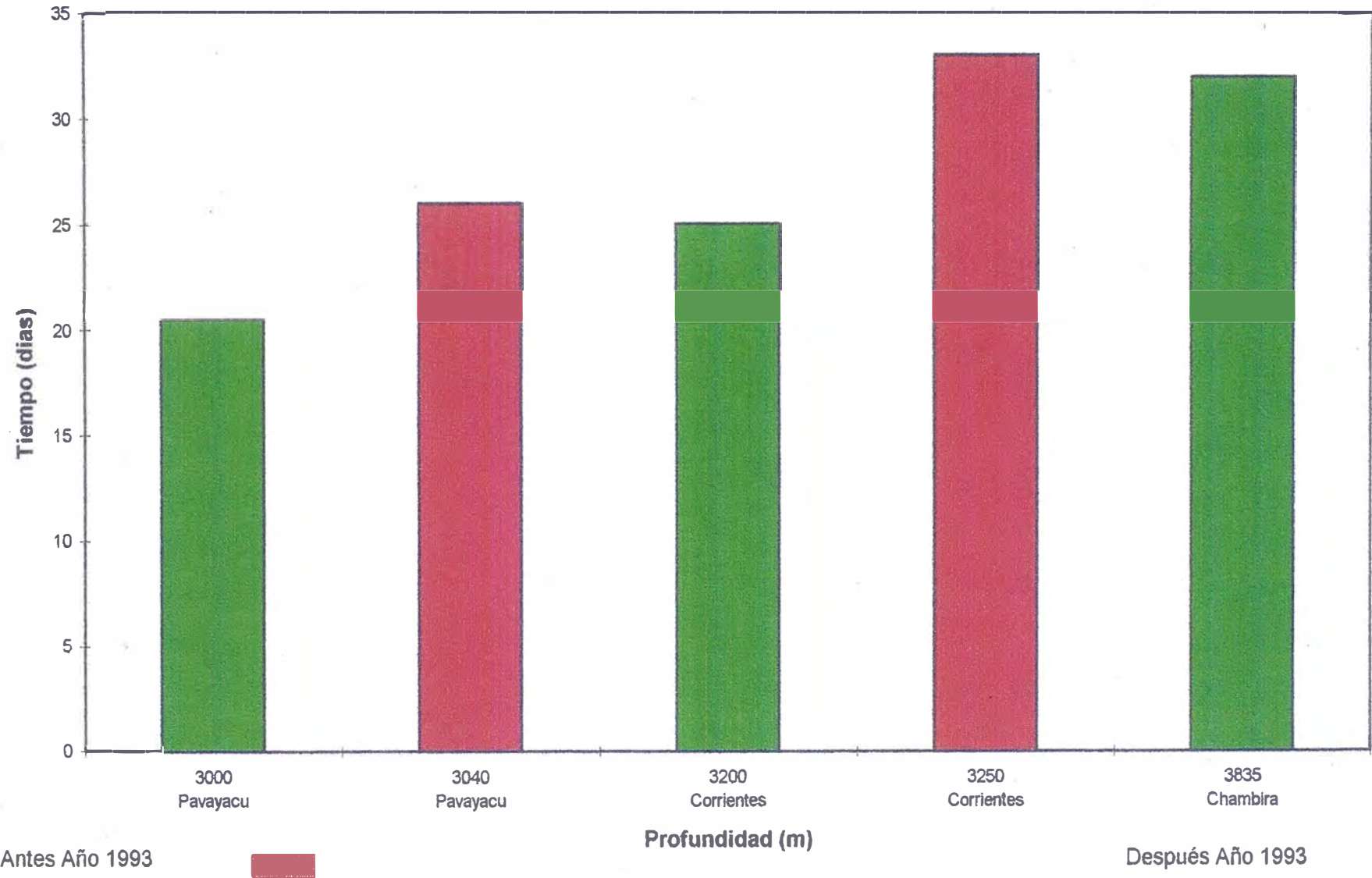


GRAFICO 4

# CURVA AVANCE PERFORACION SELVA NORTE AREA CORRIENTES

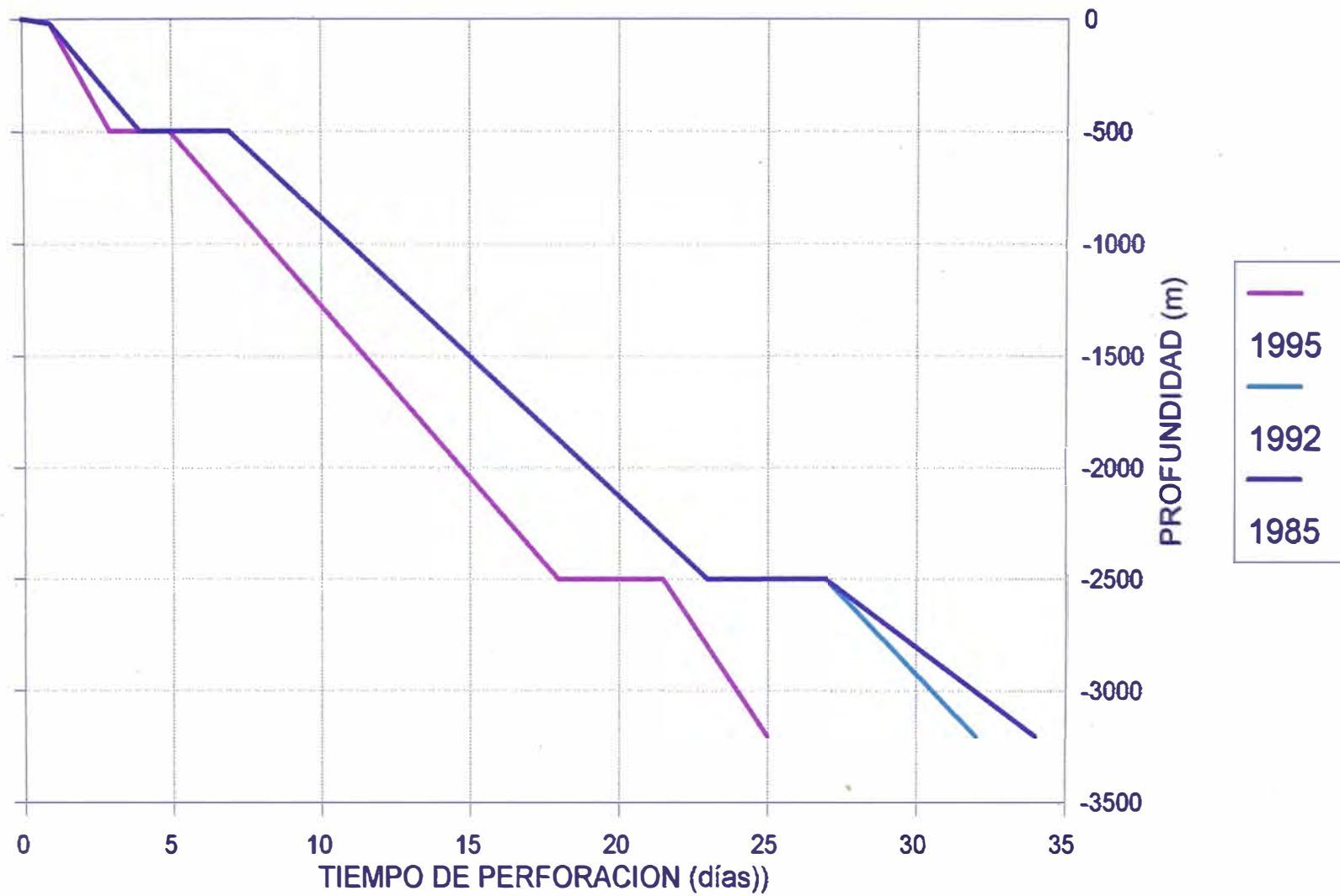


GRAFICO 5

## 15. **BIBLIOGRAFIA**

Direccional Drilling - Graham & Trotman

Manual de conjuntos de fondo. Drilco

Tecnología de la perforación direccional. Cía Anadrill

Curso Perforación Direccional.

Cía. Corpoven - Venezuela

Perforación Direccional. Mitchell