

18.  
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"HERRAMIENTAS PARA DESVIAR POZOS Y  
METODOS PARA DISEÑAR TRAYECTORIAS DE  
POZOS DIRECCIONALES".

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO PETROLERO

P R E S E N T A N

CUEVAS SOTO JUAN

ZEPEDA GARDUÑO RAFAEL



MEXICO, D. F.

1986.



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

Señor CUEVAS SOTO JUAN.  
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Angel J. Solano Ortega, para que lo desarrolle como tesis para - su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"HERRAMIENTAS PARA DESVIAR POZOS Y METODOS PARA DISEÑAR  
TRAYECTORIAS DE POZOS DIRECCIONALES"

- I INTRODUCCION.
- II ASPECTOS GENERALES DE LA PERFORACION DIRECCIONAL.
- III HERRAMIENTAS PARA DESVIAR POZOS.
- IV EQUIPO PARA MEDIR LA INCLINACION Y RUMBO DEL POZO.
- V METODOS PARA DISEÑAR TRAYECTORIAS DE POZOS DIRECCIONALES.
- VI EJEMPLOS DE APLICACION.
- VII CONCLUSIONES.  
REFERENCIAS.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento - con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como - - requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así - como de la disposición de la Coordinación de la Administración - Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los - ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., Julio 17 de 1984.

EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA

Dirección  
60-I-207

Señor ZEPEDA GARDUÑO RAFAEL.  
P r e s e n t e

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección, propuso el Prof. Ing. - Angel Solano Ortega, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO PETROLERO.

"HERRAMIENTAS PARA DESVIAR POZOS Y METODOS PARA DISEÑAR TRAYECTORIAS DE POZOS DIRECCIONALES"

- I INTRODUCCION.
- II ASPECTOS GENERALES DE LA PERFORACION DIRECCIONAL.
- III HERRAMIENTAS PARA DESVIAR POZOS.
- IV EQUIPO PARA MEDIR LA INCLINACION Y RUMBO DEL POZO.
- V METODOS PARA DISEÑAR TRAYECTORIAS DE POZOS DIRECCIONALES.
- VI EJEMPLOS DE APLICACION.
- VII CONCLUSIONES.
- REFERENCIAS

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar -- Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como -- requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así -- como de la disposición de la Coordinación de la Administración -- Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los -- ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente.  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., Julio 24 de 1984.  
EL DIRECTOR

Dr. Octavio A. Rascón Chávez

# I N D I C E

CAPITULO I .-	INTRODUCCION - - - - -	1
CAPITULO II.-	ASPECTOS GENERALES DE LA PERFORACION - DIRECCIONAL- - - - -	3
II.1.-	PRINCIPALES APLICACIONES DE LA PERFORA CIÓN ORIENTADA - - - - -	3
II.1.1.-	POZOS DE ALIVIO - - - - -	3
II.1.2.-	PERFORACIÓN DE VARIOS POZOS DESDE ES-- TRUCTURAS ARTIFICIALES (PLATAFORMA)- - -	4
II.1.3.-	LOCALIZACIONES INACCESIBLES- - - - -	4
II.1.4.-	PERFORACIÓN DE DOMOS SALINOS - - - - -	4
II.1.5.-	PERFORACIÓN EN ZONAS DE FALLAS GEOLOGI CAS. - - - - -	5
II.1.6.-	PERFORACIÓN EN POZOS DONDE SE TIENEN- PROBLEMAS POR ACCIDENTES MECÁNICOS - - -	5
II.1.7.-	MULTIPLES POZOS EN EXPLORACIÓN DESDE - UN SOLO AGUJERO - - - - -	5
II.2.-	PLANIFICACIÓN DE POZOS ORIENTADOS - - -	6
II.2.1.-	FACTORES QUE SE DEBEN CONSIDERAR EN- LA PLANEACIÓN DE PROGRAMAS DE PERFORA CIÓN ORIENTADA - - - - -	6
II.3.-	CONFIGURACIÓN DE UN POZO ORIENTADO - - -	8
CAPITULO III.-	HERRAMIENTAS PARA DESVIAR POZOS- - - - -	10
III.1.-	HERRAMIENTAS DE USO COMÚN EN LA PERFO RACIÓN ORIENTADA - - - - -	10
III.1.1.-	DESVIADORES O CUCHARAS - - - - -	10

III.1.2.-	BARRENA DE IMPACTO (SPUDDING BIT) - - -	15
III.1.3.-	BARRENA DE TOBERAS (JET BIT) - - - - -	16
III.1.4.-	ESTABILIZADORES - - - - -	17
III.1.5.-	LASTRABARRENAS - - - - -	20
III.1.6.-	TURBO PERFORADOR - - - - -	21
III.1.7.-	MOTOR DE FONDO (DYNA-DRILL)- - - - -	23
III.1.8.-	SUBSTITUTOS - - - - -	27
III.1.9.-	UNION ARTICULADA - - - - -	29
III.1.10.-	JUNTAS DYNA-FLEX- - - - -	30
III.1.11.-	JUNTA DEFLECTORA DE RODILLA- - - - -	31
III.1.12.-	HERRAMIENTA CORRECTORA DE DESVIA- CIÓN WHIPCO ( REBEL) - - - - -	32

CAPITULO IV	.- EQUIPO PARA MEDIR INCLINACIÓN Y - RUMBO DEL POZO - - - - -	35
IV.1	.- INCLINÓMETROS - - - - -	35
IV.2	.- GIROSCOPIOS - - - - -	40
IV.3	.- HERRAMIENTAS DE ORIENTACIÓN RÍGI- DA (D.O.T.) - - - - -	43

CAPITULO V	.- METODOS PARA DISEÑAR TRAYECTO- - RIAS DE POZOS DIRECCIONALES - - - - -	45
V.1	.- MÉTODO DE ANGULOS PROMEDIO - - - - -	46
V.2	.- MÉTODO DE RADIO DE CURVATU- RA - - - - -	47
V.3	.- PLANEACIÓN DE UN POZO DIRECCIO- NAL (MÉTODO GRÁFICO) - - - - -	54
V.4	.- SEVERIDAD Y PROBLEMAS QUE INVO- LUCRA.- - - - -	58

CAPITULO VI.-	EJEMPLOS DE APLICACIÓN - - - - -	64
VI.1.-	MÉTODO DE ÁNGULOS PROMEDIO - - - - -	64
VI.2.-	MÉTODO DE RADIO DE CURVATURA - - - - -	67
VI.3.-	MÉTODO GRÁFICO - - - - -	68
	NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL -	
	MÉTODO DE ÁNGULOS PROMEDIO - - - - -	72
	NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL -	
	MÉTODO DE RADIO DE CURVATURA - - - - -	73
	PROGRAMA DE CÓMPUTO DEL MÉTODO DE ANGU--	
	LOS PROMEDIO - - - - -	76
	RESULTADOS POR EL MÉTODO DE ÁNGULOS PRO-	
	MEDIO - - - - -	79
	RESULTADOS POR EL MÉTODO DE RADIO DE CUR	
	VATURA - - - - -	81
CAPITULO VII.7	CONCLUSIONES - - - - -	84
	APÉNDICE A - - - - -	86
	REFERENCIAS - - - - -	89

# C A P I T U L O I

## I N T R O D U C C I O N

La perforación orientada consiste en perforar un pozo siguiendo un curso planeado hacia un objetivo localizado fuera de la vertical del pozo.

La técnica de desviar un pozo petrolero fue iniciada en los últimos años de la década de los 20, en la Costa del Pacífico. Los pozos se perforaban desde muelles construídos internándose al Océano, lo que impedía el tráfico de barcos.

Se pensó que podría instalarse un equipo de perforación en la orilla y desviar el pozo de manera que llegara al fondo dentro del mar, este acto hizo que la desviación se considerara sospechosa y desfavorable por la mayoría de los contratistas petroleros, hasta que ocurrió un descontrol en un pozo en la Ciudad de Conroe, Texas.

El Meadley No.1 presentó una fuga de alta presión en su tubería de revestimiento, y en poco tiempo la presión que escapaba excavó un cráter que se tragó el equipo. Más tarde, la presión empezó a canalizar a través de las formaciones superiores y comenzó a salir a la superficie alrededor de los pozos vecinos.

Se sugirió que un equipo perforara un pozo acodado y se desviara de manera que llegara al fondo cerca del pozo descontrolado. Entonces, se podría bombear lodo por el pozo acodado y a presión para que se canalizara por la formación y llegara al pozo

descontrolado y apagar el fuego. La sugerencia se aprobó y - el proyecto se terminó con éxito. Como consecuencia, la perforación orientada se estableció como una forma de dominar - los pozos descontrolados y subsecuentemente se empezó a desarrollar esta técnica para resolver algunos problemas dentro del campo petrolero.

El progreso de la perforación orientada, ha sido posible gracias a interesantes adelantos en herramientas y métodos de control, estos últimos importantes ya que es necesario contar con ellos, debido a que este tipo de pozos ocasionan muchas dificultades. Por tanto, se debe tener un medio para determinar en cualquier punto y en cualquier momento la inclinación del eje del pozo respecto a la vertical, así como la orientación del mismo.

El presente trabajo trata de mostrar los aspectos generales de la perforación orientada, una descripción de las herramientas comunes utilizadas en perforaciones de este tipo; se describen también los instrumentos que se utilizan para medir la inclinación y rumbo del pozo. Así como, los métodos de Angulos Promedio y Radio de Curvatura, un método gráfico para la planeación de pozos orientados y el desarrollo para el cálculo de la severidad de la "pata de perro" en pozos -- que requieren un control en la desviación y orientación del mismo.

ASPECTOS GENERALES DE LA PERFORACION DIRECCIONAL

Un pozo orientado es aquel que se perfora con un cierto ángulo de inclinación respecto a la vertical, controlando el rumbo - hasta alcanzar un punto en el subsuelo considerado como objetivo.

La técnica de la perforación orientada se aplicó inicialmente para perforar pozos de alivio, a fin de poder bombear lodo y agua para controlar pozos; posteriormente se le ha dado paulatinamente diferentes aplicaciones, tanto para resolver problemas, como para el desarrollo de campos petroleros.

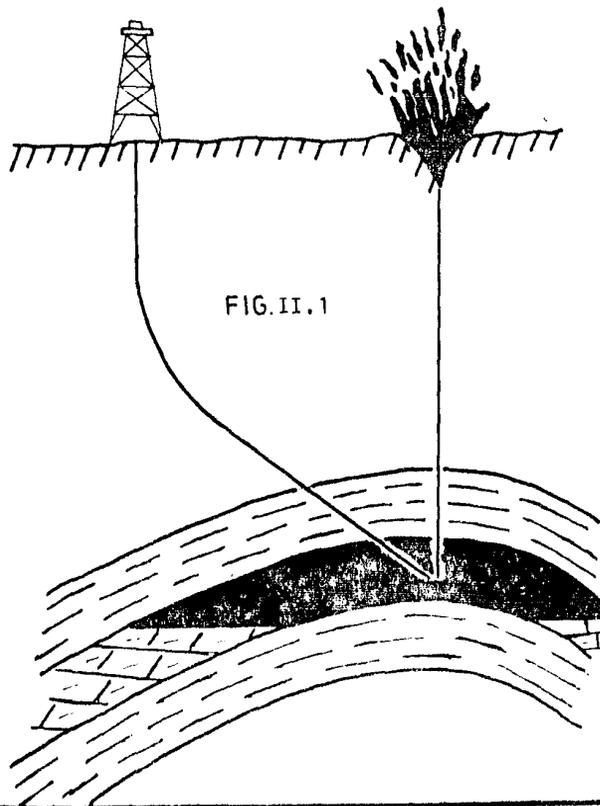
II.1 PRINCIPALES APLICACIONES DE LA PERFORACION ORIENTADA

II.1.1 POZOS DE ALIVIO

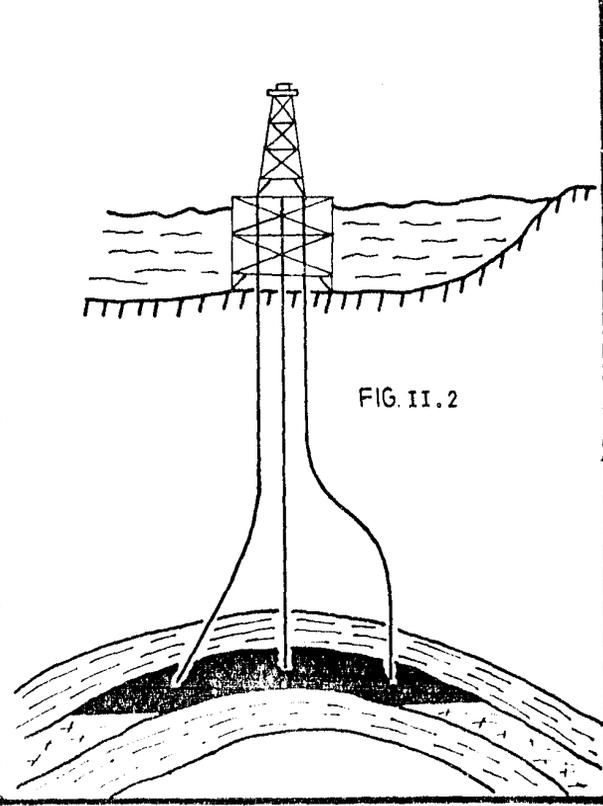
Posiblemente la más conocida aplicación de la perforación orientada son los pozos de alivio, para controlar pozos en los que por causas diversas han fallado los sistemas superficiales de seguridad - (Fig. II.1).

Las técnicas de perforación de este tipo de pozos son las mismas que se usan en la perforación controlada. Se perfora el pozo orientado, se le termina en las cercanías del pozo descontrolado, sin embargo, el objetivo de la localización requiere mucha precisión, ya que el pozo estará sin control -

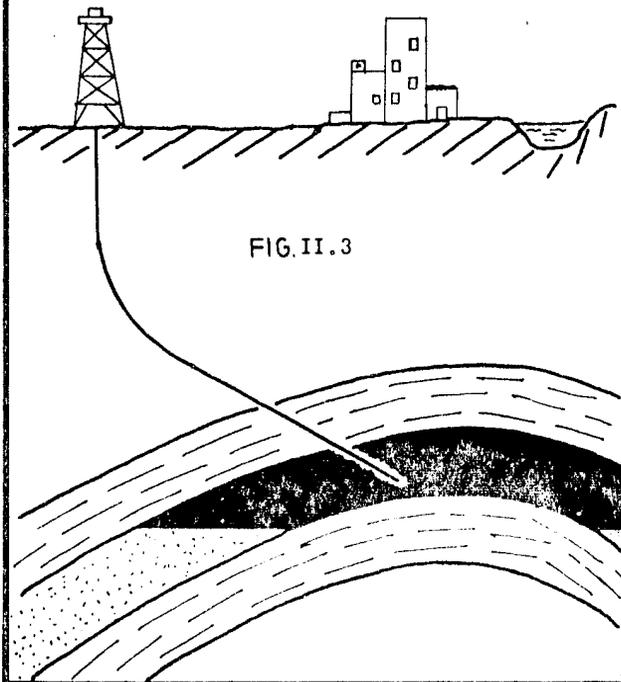
Perforación en pozos de alivio.



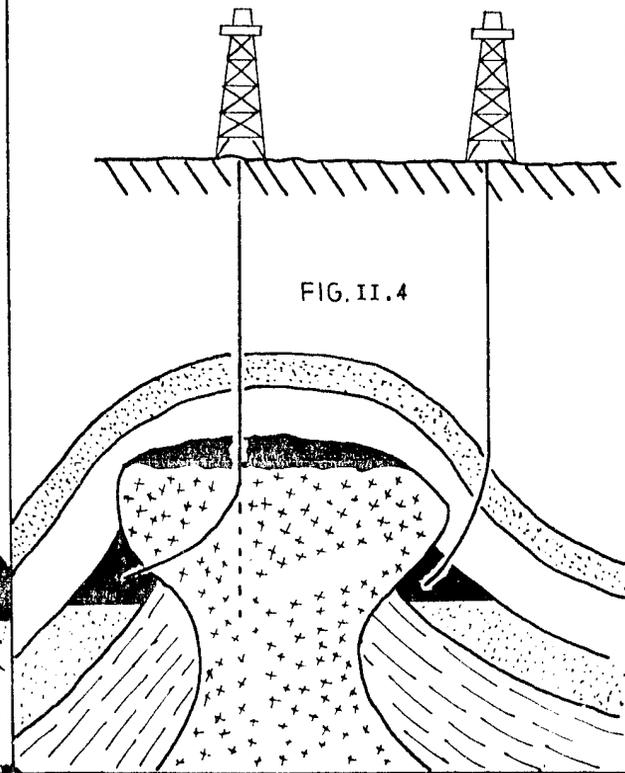
Perforación en plataformas marinas.



Localización inaccesible.



Domo salino.



hasta que el pozo de alivio sea terminado, permitiendo que sea bombeado lodo a presión hacia la formación para controlarlo.

#### II.1.2 PERFORACION DE VARIOS POZOS DESDE ESTRUCTURAS ARTIFICIALES (PLATAFORMAS)

Uno de los métodos más comunes de aplicación actual de la perforación orientada es en operaciones Costa fuera. Debido a que los costos de instalación de una plataforma de producción son elevados, no es costoso colocar una para cada pozo. Utilizando la perforación orientada se pueden iniciar varios pozos desde una misma plataforma y desviarse de manera que alcancen el objetivo, en la zona productora de acuerdo al espaciamiento previamente determinado (Fig. II.2).

#### II.1.3 LOCALIZACIONES INACCESIBLES

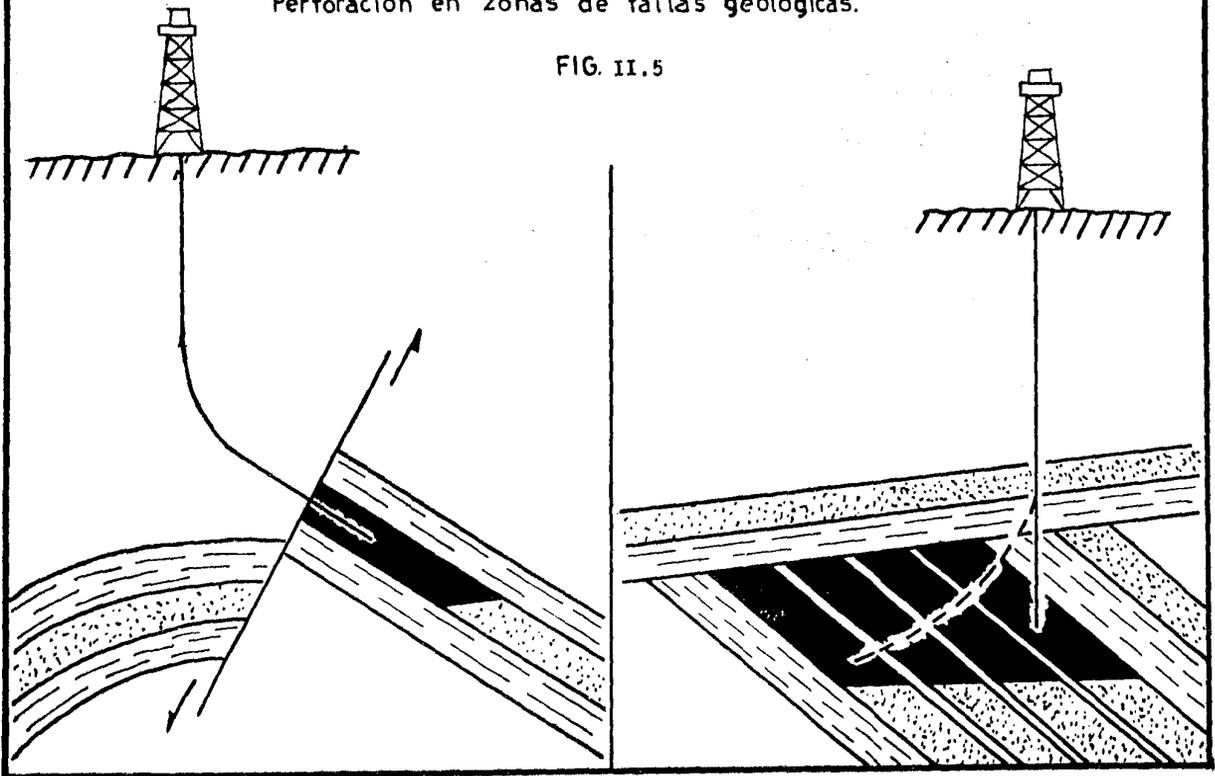
En ocasiones es necesario perforar uno o varios pozos, para cubrir el desarrollo completo de un yacimiento, encima del cual ya se tiene erigida una Ciudad, o bien la instalación de un equipo de perforación, se dificulta por las características del terreno (Ríos, Pantanos, Montañas, etc.) (Fig.II.3).

#### II.1.4 PERFORACION DE DOMOS SALINOS

El perforar domos salinos, ocasiona serias dificultades ya que éste contamina fácilmente al lodo de perforación, si el pozo incide en el acuífero, el desviarlo unos metros hacia el domo puede conducir al descubrimiento de un yacimiento comercialmente explotable.

Perforación en zonas de fallas geológicas.

FIG. II.5



Los intervalos productores frecuentemente están -  
situados bajo el tope protuberante del domo -  
(Fig. II.4). Cuando a la profundidad estimada no-  
se encuentra la zona productora y se continúa per-  
forando sal, puede cementarse el agujero y des-  
viar en dirección conveniente. Cuando se perforan  
formaciones salinas y se usa lodo base agua, pro-  
voca que la sal se disuelva y se ensanche el agu-  
jero, el problema puede solucionarse cambiando a  
lodos base aceite o saturados con cloruro de so-  
dio (NaCl).

#### II.1.5 PERFORACION EN ZONAS DE FALLAS GEOLOGICAS

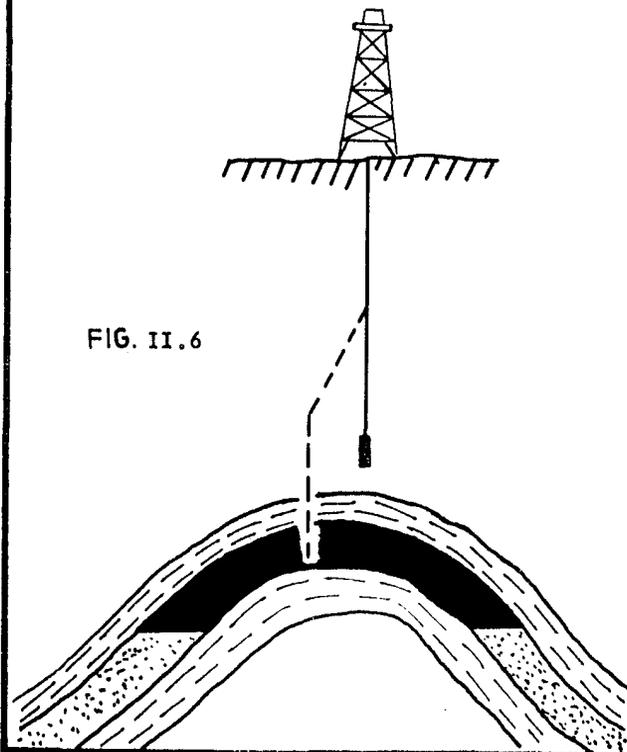
La perforación orientada evita perforar pozos adi-  
cionales, pues si el pozo vertical cae en una zo-  
na productora de agua salada, es factible colocar  
un tapón de cemento-arena a una profundidad con-  
veniente, y mediante la perforación orientada, di-  
rigir el pozo a una zona que tenga mejores proba-  
bilidades de acumulación de hidrocarburos (Fig. -  
II-5).

#### II.1.6 PERFORACION DE POZOS DONDE SE TIENEN PROBLEMAS - POR ACCIDENTES MECANICOS (PESCAO).

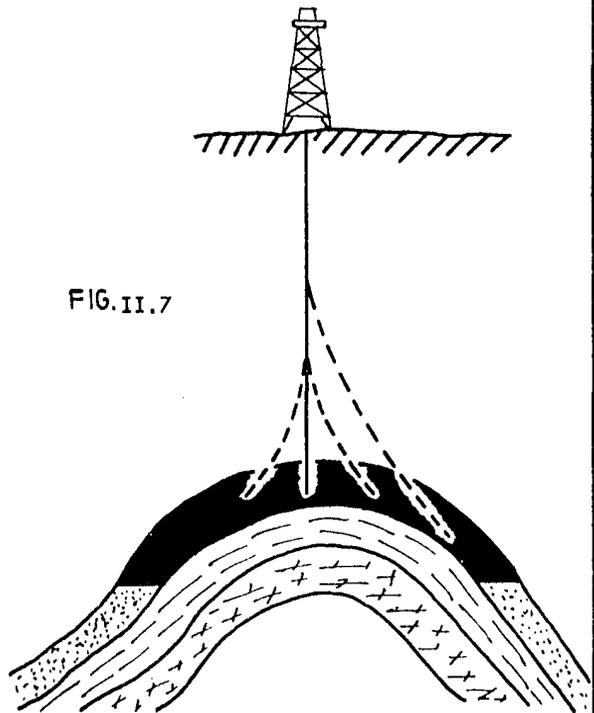
En éste caso es conveniente desviar el pozo, a -  
partir de un tapón cemento-arena que se coloca -  
arriba de la zona problema, se deberá tener cuida-  
do en la selección adecuada de la herramienta des-  
viadora (Fig. II.6).

#### II.1.7 MULTIPLES POZOS DE EXPLORACION DESDE UN SOLO AGU- JERO.

Perforación por problemas mecánicos



Múltiples pozos desde un solo agujero.



Si al perforar un pozo vertical éste resulta productor pero con invasión de agua, o las condiciones estructurales no son convenientes, es posible utilizar el mismo pozo para explorar otros intervalos mediante la desviación orientada. (Fig.II.7).

## II.2 PLANIFICACION DE POZOS ORIENTADOS

La desviación intencional de un pozo, comprende muchos y complejos factores que deben tenerse en cuenta individualmente. Por consiguiente la planificación por expertos, es la clave para minimizar el costo total de la perforación orientada, ya que la debida selección de herramientas y métodos puede redundar en la eficiencia de operación y resultados económicos más atractivos.

### II.2.1 FACTORES QUE SE DEBEN CONSIDERAR EN LA PLANEACION- DE PROGRAMAS DE PERFORACION ORIENTADA.

#### a) FORMA Y TAMAÑO DEL OBJETIVO

Consiste en especificar el objetivo (la zona que debe penetrar el pozo a una profundidad dada). - El tamaño y forma del pozo dependen generalmente de las características geológicas y de la localización de las zonas productoras, con relación a los límites de propiedad del yacimiento y al espaciado de los pozos.

#### b) SELECCION DE LA LOCALIZACION OPTIMA PARA EL EQUIPO DE PERFORACION

Escoger el sitio óptimo para situar el equipo de perforación es esencial, con el fin de aprovechar las tendencias naturales de desviación que tienen las formaciones, pues tales tendencias -

ejercen un marcado efecto sobre el grado de inclinación del pozo.

c) DIAMETRO DEL POZO

Se tiene el conocimiento de datos estadísticos - que los pozos de diámetro mayores son más fáciles de controlar que los de diámetro pequeño, - porque en estos últimos se usan conjuntos de tubos lastrabarrenas y de perforación más flexibles y de menor diámetro, lo que ocasiona que se pierda el control del ángulo y dirección.

d) PROGRAMAS DE TUBERIA DE REVESTIMIENTO

Deben proporcionar la protección adecuada al agujero de problemas probables en la zona a perforar. En casi todos los programas de perforación orientada, se pueden utilizar los mismos programas de tubería de revestimiento y de perforación que se usan en la perforación vertical. La excepción es en pozos profundos o inclinados, en los que es necesario instalar protectores de hule en la sarta de perforación, a fin de evitar el desgaste interno de la tubería revestidora.

e) CONTROL DEL FLUIDO DE PERFORACION

El control del fluido de perforación, también es importante para reducir el asentamiento de los cortes en el lecho bajo del pozo, es necesario por esto, una continua supervisión. Se le debe agregar al lodo aditivos reductores de fricción y de viscosidad.

f) EFEECTO DEL MAGNETISMO SOBRE LA SARTA DE PERFORACION Y DE LOS POZOS VECINOS SOBRE LOS INSTRUMENTOS DE ESTUDIOS DIRECCIONALES.

La práctica ha demostrado que la sarta de perforación en rotación, a veces se magnetiza. Sin embargo, ese efecto se puede compensar utilizando tubos lastrabarrenas no-magnéticos, que evitan la inconsistencia de los registros.

Además los estudios direccionales en el fondo del pozo, que se toman cerca de los pozos vecinos, pueden afectarse por el magnetismo, sin embargo, es de pequeña magnitud, pero debe tomarse en cuenta durante la planificación inicial.

II.3 CONFIGURACION DE UN POZO ORIENTADO

Un programa de perforación orientada bien planeado, tiene sus bases en la información geológica, programas de tubería de revestimiento, propiedades del lodo de perforación, localización del objetivo, etc. Estos datos se utilizan para seleccionar la configuración del pozo más apropiada para la operación.

La experiencia ha indicado que casi todos los pozos orientados caen en una de las tres categorías siguientes:

TIPO I. El pozo se programa de modo que la desviación inicial sea a una profundidad somera. El ángulo se mantiene constante hasta llegar a la profundidad del objetivo. Esta configuración se usa principalmente para pozos de profundidad moderada, en Regiones en las que la zona productora se encuentra en un solo intervalo y en las que no se requiere un desplazamiento lateral grande, ni el uso de más de una tube

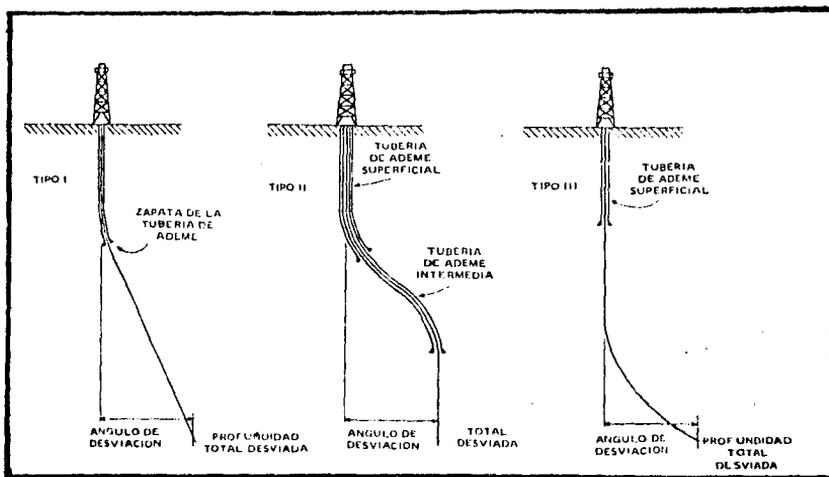


FIG. II.8

PATRONES BASICOS DE DESVIACION

ría de revestimiento intermedia. (FIG.II.8).

TIPO II. En esta configuración, denominada "S" se inicia también la desviación a una profundidad somera. La inclinación se mantiene constante, al igual que el Tipo I hasta casi lograr el desplazamiento horizontal. Seguidamente se reduce el ángulo de inclinación, hasta llegar el pozo a la vertical y en esta forma se continúa la perforación hasta la formación objetivo.

Esta configuración que puede traer consigo algunos problemas, se utiliza principalmente en zonas donde hay limitaciones impuestas por el tamaño y localización del objetivo. (Fig. II.8).

TIPO III. La desviación en éste tipo de configuración se inicia a una profundidad mayor que la impuesta en el tipo I, el ángulo de inclinación sigue el mismo patrón, conservándose constante hasta alcanzar el objetivo. Esta configuración es especialmente apropiada para situaciones tales como, las de perforación de fallas geológicas o domos salinos, o en cualquier situación en la que se requiera reperfilar o reubicar la sección inferior del Pozo (Fig. II.8).

ría de revestimiento intermedia. (FIG.II.8).

**TIPO II.** En esta configuración, denominada "S" se inicia también la desviación a una profundidad somera. La inclinación se mantiene constante, al igual que el Tipo I hasta casi lograr el desplazamiento horizontal. Seguidamente se reduce el ángulo de inclinación, hasta llegar el pozo a la vertical y en esta forma se continúa la perforación hasta la formación objetivo.

Esta configuración que puede traer consigo algunos problemas, se utiliza principalmente en zonas donde hay limitaciones impuestas por el tamaño y localización del objetivo. (Fig. II.8).

**TIPO III.** La desviación en éste tipo de configuración se inicia a una profundidad mayor que la impuesta en el tipo I, el ángulo de inclinación sigue el mismo patrón, conservándose constante hasta alcanzar el objetivo. Esta configuración es especialmente apropiada para situaciones tales como, las de perforación de fallas geológicas o domos salinos, o en cualquier situación en la que se requiera reperforar o reubicar la sección inferior del Pozo (Fig. II.8).

## C A P I T U L O    I I I

### HERRAMIENTAS PARA DESVIAR POZOS

En la perforación de pozos orientados, la desviación y rumbo -  
iniciales, son claves para el éxito de la operación.

Una herramienta desviadora o deflectora es un dispositivo mecá-  
nico que se coloca en el pozo para hacer que se desvíe de su -  
curso normal. Existen numerosas herramientas desviadoras para -  
utilizarse en la desviación de un pozo, o para corregir su di--  
rección.

La selección de una herramienta desviadora depende de varios -  
factores, pero principalmente del tipo de formación, en el pun-  
to en que ha de iniciarse la desviación del pozo.

Antes de iniciar la operación de desvío, es necesario acondicio-  
nar el lodo y dejar el agujero limpio de recortes, esto es con-  
veniente pues ellos dificultan sentar la herramienta desviadora  
y proporcionan el desplazamiento vertical del punto de inicio -  
de desviación, llegándose a tener problemas de dirección en el  
pozo y en ocasiones la dificultad de introducir la sarta reves-  
tidora.

#### III.1 HERRAMIENTAS DE USO COMUN EN LA PERFORACION ORIENTADA

##### III.1.1 DESVIADORES O CUCHARAS

- a) Desviador con circulación de chorro (cuchara)-  
es una pieza de acero pulido de longitud varia-  
ble, en forma semicilíndrica con un bisel -

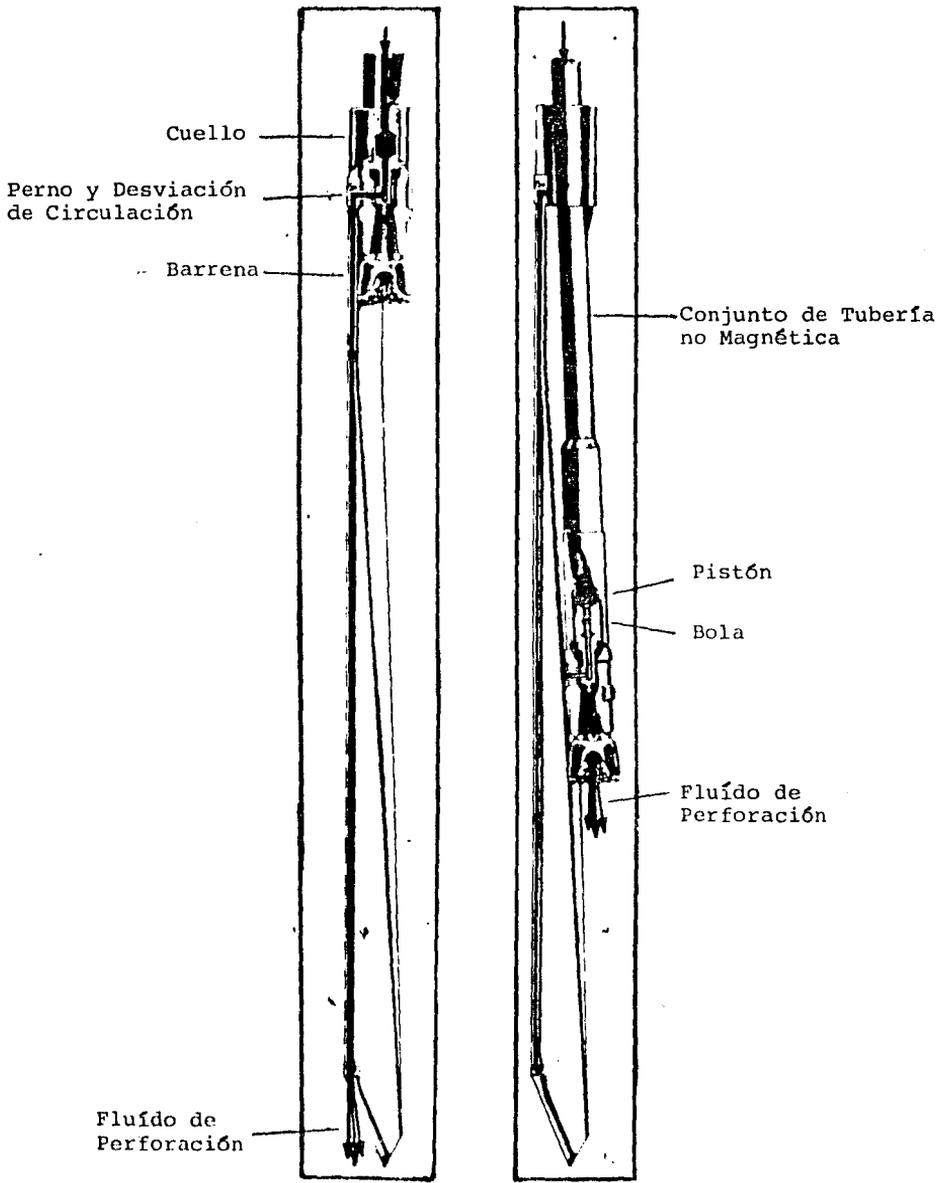


FIG. III.1.

CUCHARA DESVIADORA CON CIRCULACION

cóncavo y con cierto grado de inclinación con respecto a su propio eje vertical, que dirige a la barrena en la dirección deseada.

En la parte superior tiene un anillo o collar - donde se retiene el portabarrena o el estabilizador y a la barrena (ya que este anillo es de menor diámetro). La parte inferior es en forma de cincel, lo que permite fijarla en el fondo del pozo, mediante la aplicación de carga - - - (Fig.III.1). Se utiliza para iniciar el cambio de inclinación y del rumbo del pozo, para perforar al lado de taponos de cemento o para enderezar pozos "torcidos".

La circulación es a través de un tubo que se encuentra a la altura de la boquilla que, para este efecto, lleva el portabarrena estabilizador. El tubo pasa longitudinalmente por la cuchara, - hasta la parte inferior, Esta circulación es para limpiar el fondo del pozo donde será sentada la herramienta.

Cuando el desviador está en el fondo del pozo y orientado, se para la circulación y se desconecta la flecha y se suelta una canica a través de la sarta de perforación. La canica se aloja en el asiento que para ella existe en la herramienta y se mueve hacia abajo con presión, logrando así que la circulación del fluido de perforación sea dirigido a través de la barrena.

Actualmente las casas que fabrican esta herramienta han hecho algunas innovaciones a la misma y dentro de las cuales la principal es que ya

no se tiene que dejar caer la canica, como en -- los desviadores tradicionales. La válvula actualmente se acciona por el mismo movimiento que corta el perno.

- b) Desviador normal (standar).- Es llamada también-cuchara convencional, se instala y fija y usa lo mismo que el desviador en circulación, con la diferencia que la circulación se efectúa a través-de la barrena (Fig. III.2).

La conexión de la cuchara o desviador en la su--perficie se efectúa de la siguiente manera:

- Con el cable de maniobras se levanta la cuchara- y se mete parcialmente en el agujero, luego se - toma un tramo de tubería de perforación que, se- gún el diámetro de la cuchara y puede variar de- 2 7/8" a 4½" de diámetro y se hace pasar por el- anillo o collar de ésta.
- En el piñón del tubo van roscados ya sea, la ba- rrena o combinada con estabilizador y unión uni- versal. En la caja de éste mismo tubo, va colo- cado el sustituto orientador y enseguida un tubo no-magnético.
- Se levanta la herramienta y se colocan las cuñas en la cuchara para lograr la coincidencia del - orificio roscado en la pared posterior con el - orificio del estabilizador, por los que se pasa- el perno y con lo cual queda asegurado el desviador al resto de la sarta. En ciertos casos cuan- do la herramienta desviadora se va a utilizar a- poca profundidad y no hay suficiente peso para - romper el perno, se debilita su sección, cortán- dola hasta la mitad y colocándolo de modo que el

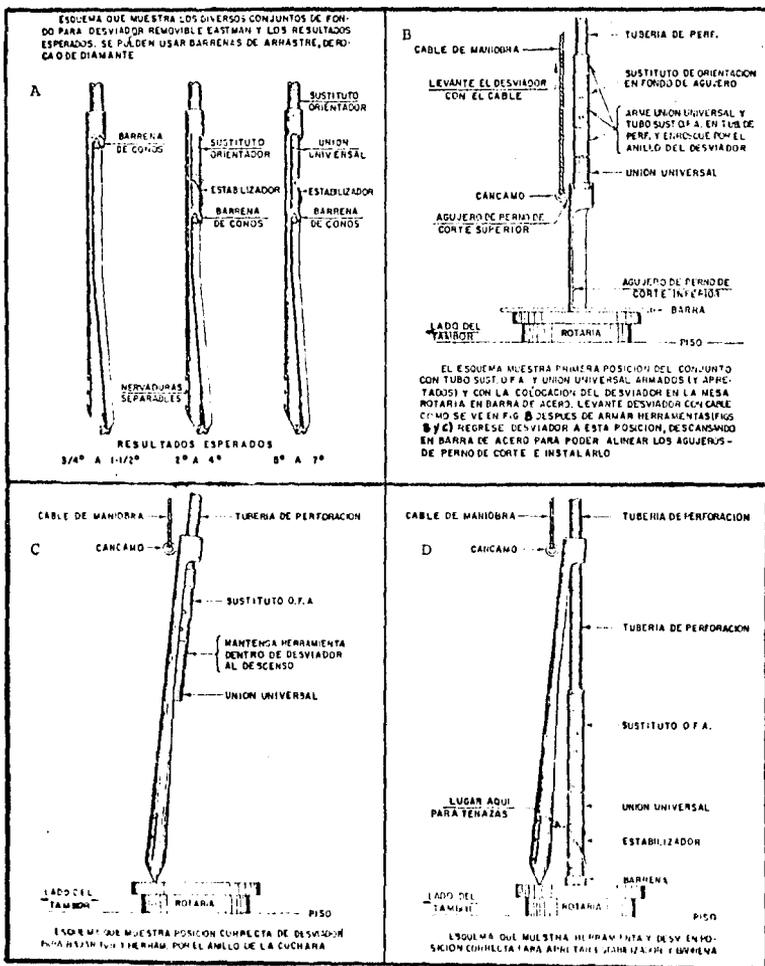


FIG. III.2.  
CUCHARA CONVENCIONAL

corte quede hacia arriba.

- Después se procede a alinear el centro de la parte cóncava de la cuchara con la cuña que lleva la camisa del sustituto orientador de fondo (Fig.III.3).
  
- Preparado el desviador, debe ser bajado con precaución, evitando sacudidas fuertes o fricciones con la pared del agujero que pudieran causar la rotura prematura del perno sujetador. Al llegar la herramienta al fondo (deberá probarse esto con el indicador de peso), se debe aplicar una o dos toneladas solamente. La indicación de una marca en la flecha deberá coincidir con el fondo del pozo.
  
- Logrado lo anterior, es conveniente eliminar la torsión de la tubería levantando varias veces la misma unos tres o cuatro metros, tocando el fondo con una o dos toneladas de peso, y el extremo de la cuchara logrará hacer un asiento para fijarla en el fondo. Hecho esto, se desconecta la flecha para tomar un registro por medio del cual conoceremos la orientación de la herramienta.  
Para independizar y dejar incada la herramienta en el fondo, hay dos procedimientos:
  
- + Con la cuchara ligeramente asentada, se hacen en la flecha tres marcas situadas a treinta centímetros una de otra a partir de la mesa rotatoria que la primera coincida con el fondo del pozo; y se empieza a bajar lentamente, observando cuidadosamente el indicador de peso en cada marca; generalmente un perno de 3/4" ó 1" se rompe entre la segunda y tercera marca; rotura que claramente se detecta por el movimiento rápido de la aguja del indicador de peso.

TUBO NO MAGNETICO

ORIENTADOR DE FONDO

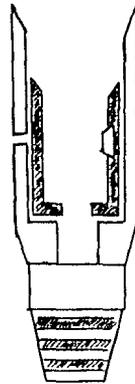
TUBO DE PERFORACION

JUNTA UNIVERSAL

ESTABILIZADOR PORTA  
BARRENA

DESVIADOR DE PARED  
(CUCHARA) RECUPERABLE

ALETAS REEMPLAZABLES  
PARA ABUJERO DE MAYOR  
DIAMETRO



CUÑA DEL  
ORIENTADOR  
ALINEADO CON  
EL CANAL DEL  
DESVIADOR

FIG. III.3 DETALLE ORIENTADOR DE FONDO.

- + En este otro, se logra la rotura del perno mediante un descanso rápido y controlado de la tubería, con lo que se produce un movimiento que rompe el perno, también es necesario observar la aguja del indicador de peso. Este procedimiento es el más usado, porque al hincar la cuchara o desviador en el fondo, se neutraliza el efecto de la fricción contra la pared del agujero. Como comprobación se tiene en la tubería, rotación libre y sin tensión ya que la barrena se hallará en la parte alta de la cuchara, sin tocar aún la formación.
- Comprobado esto, se comienza a bajar lentamente y una vez obtenida la resistencia, se inicia la perforación del agujero reducido, o sea una vez deslizada la barrena la longitud de la cuchara, se perfora el tramo conocido como "ratonera" que suele ser de cuatro a cinco metros. (Fig. III.4).
- El paso siguiente será levantar la barrena hasta el anillo del desviador y se saca. Estas operaciones son delicadas ya que al sacar la barrena con el desviador se forman derrumbes en la pared del pozo, causando que la herramienta se atore, con el resultado de que si se jala se acunará más hasta provocar un aumento de tensión. Si se observa que la barrena está aprisionada, no se aconseja jalar, sino que se tratará de bajar sacudiendo la tubería aplicando también alta presión de bombeo para levantar sedimentos o recortes. Al momento en que la barrena alcanza el anillo de la cuchara, ésta se podrá desanclar, por lo que se aplicará solo la tensión necesaria.

PERFORANDO AGUJERO DESVIADO

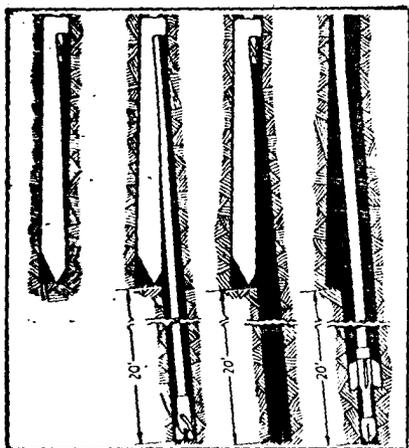


FIG. III.4

BARRENA DE IMPACTO

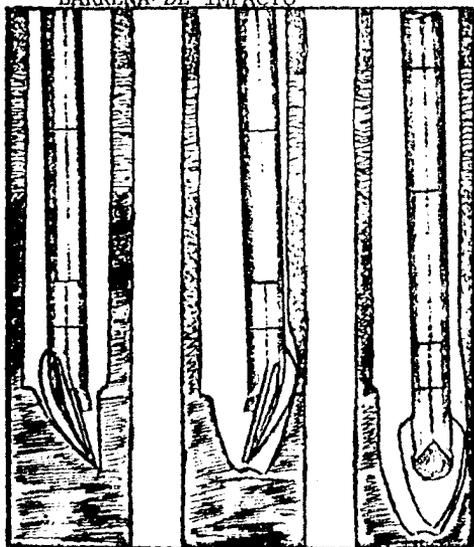


FIG. III.6

DESVIADOR PERMANENTE

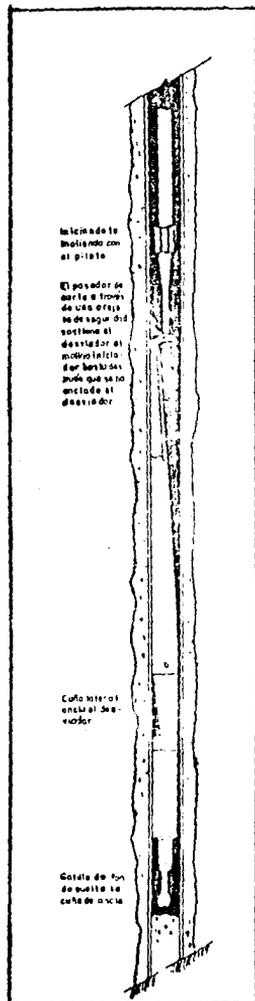


FIG. III.5

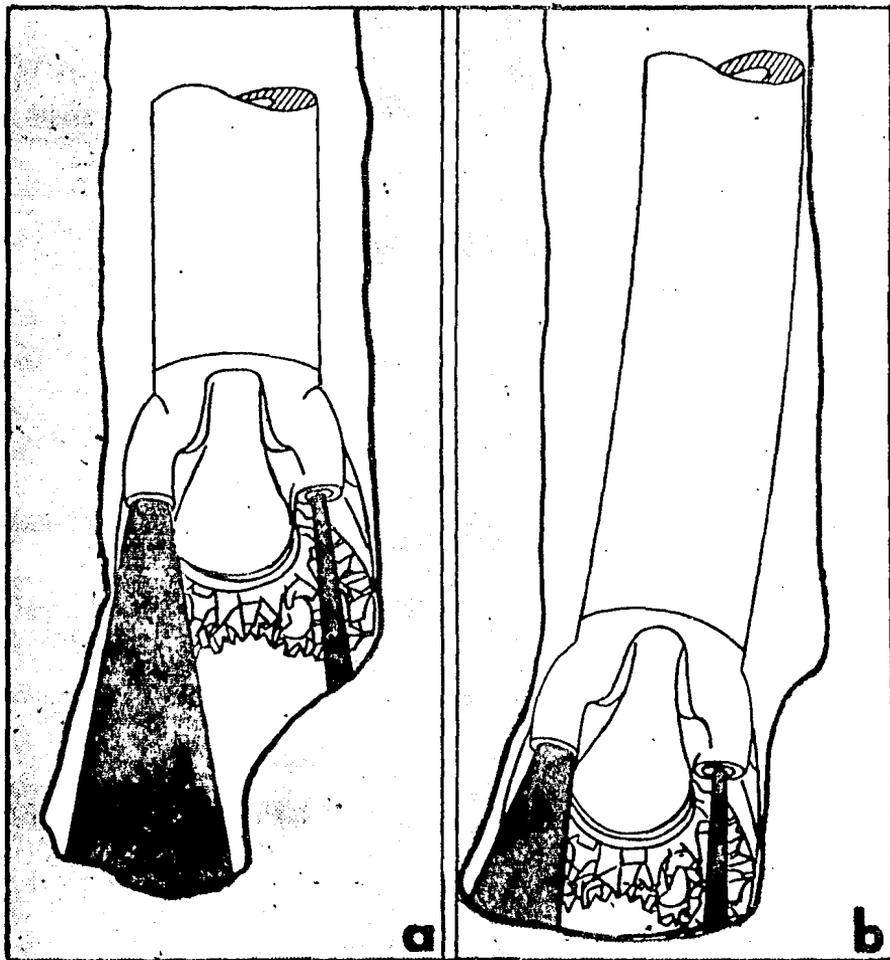
- Extraído el desviador, se procede a ampliar el agujero reducido con una barrena piloto. Con esta barrena se repasará la zona en que se colocó la cuchara, hasta la profundidad perforada por la barrena (Fig. III.4), seguidamente se efectúa un estudio direccional para registrar la desviación.
  
- c) Desviador permanente tipo revestidor. Este tipo de desviador queda permanentemente en pozo. Se utiliza principalmente para desviar el pozo de un tramo de tubería colapsada o donde haya obstrucciones o bien para reingresar en un pozo existente con el fin de reperforarlo. Se fija mediante un mecanismo energizador, a un conjunto que consta de barrena inicial, sustituto orientador y sarta normal de perforación. Una vez que el conjunto se haya orientado debidamente en el pozo entubado, el pasador se rompe, con lo que el desviador queda permanentemente en el pozo. La barrena inicial se hace girar lentamente y se guía mediante una oreja sacrificable directamente hacia la pared de la tubería de revestimiento (Fig. III.5).

Una vez perforada una sección de la tubería de revestimiento, se saca la sarta de perforación y en la superficie se acondiciona un nuevo aparejo de perforación, para establecer el rumbo del pozo.

### III.1.2 BARRENA DE IMPACTO (SPUDDING BIT)

Esta herramienta tiene la forma de una cuña con lomo curvado semejante a una pala. Su extremo inferior se asemeja a un cincel y tiene una tobera muy cerca de la punta para permitir el paso del fluido de perforación a alta velocidad en el lado cóncavo (Fig.III.6).

FIG. III.7 BARRENA DE TOBERAS



APLICANDO EL CHORRO

PERFORANDO

Se trabaja con percusión después de orientarla.  
Se utiliza solamente en formaciones suaves (arenas y areniscas poco consolidadas).

#### MODO DE OPERACION

- Se conecta la barrena al sustituto orientador de fondo, éste al lastrarbarrena no-magnético, después sarta normal de perforación y se baja al fondo.
- Se circula en el fondo y se orienta comprobando que no cambie de posición, moviendo verticalmente ( 2 ó 3 m), la sarta.
- Se colocan los candados a la mesa rotaria para que no gire, se procede a circular y con percusión de diez a quince toneladas, se perforan de 3 a 5 m antes de sacar la herramienta.

#### III.1.3 BARRENA DE TOBERAS ( JET BIT )

La barrena de toberas empleada en la perforación normal, puede ser utilizada en la desviación de pozos en formaciones de lutitas suaves o semicom pactas, intercaladas con arenas no consolidadas.

La barrena se acondiciona con dos toberas de  $\frac{1}{4}$ " de preferencia y una de  $\frac{3}{4}$ " ó  $\frac{7}{8}$ ", con objeto de que al trabajar la bomba, se obtenga un máximo gasto a través de 1 tobera de mayor diámetro para formar por el impacto del "chorro" de fluido de perforación contra la formación suave, una ampliación del diámetro del agujero (Fig III.7).

La barrena va enroscada en la sarta que consta de sustituto de extensión, un estabilizador, lastrarbarrenas no-magnético, dos lastrarbarrenas normales, otro estabilizador y el resto de la sarta común de perforación.

La tobera de mayor diámetro se alinea en la superficie con el orientador de fondo, con objeto de que cuando la barrena esté a la profundidad donde se va a iniciar la desviación, se pueda orientar ahí mismo sin sacarla nuevamente, evitando con ésto, pérdidas de tiempo y retraso en las operaciones. Una vez que la barrena se encuentra en el fondo, se procede a tomar una o varias lecturas con el inclinómetro (VER CAPITULO IV), hasta obtener la orientación deseada de la tobera de mayor diámetro. Hecho ésto, se asegura la mesa rotatoria con los candados.

Se procede a acelerar la bomba lentamente hasta obtener el máximo gasto, por el aumento de circulación a través de la tobera mayor, se formando una cavidad lateral originando el principio de la desviación, al mismo tiempo se golpea lenta y suavemente la barrena contra el fondo, causando esta operación combinada, la desviación esperada del agujero.

Cuando se ha perforado el tramo deseado se reanudan los procedimientos normales de perforación para incrementar la curvatura. Este procedimiento se puede repetir tantas veces como sea necesario, para lograr el ángulo de inclinación y la desviación deseada (sin tener que sacar la sarta de perforación), ya que a intervalos periódicos se efectúan registros para determinar el rumbo del pozo.

#### III.1.4 ESTABILIZADORES

En los trabajos de perforación orientada, uno de los objetivos que se persiguen es obtener la máxima economía y eficiencia, el uso de estabilizadores ayuda en gran parte a lograr ésto.

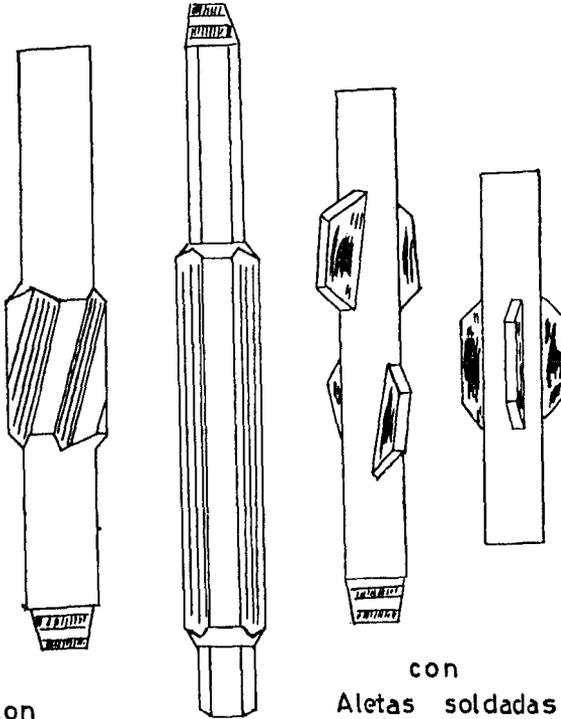
Los estabilizadores se utilizan generalmente con los siguientes propósitos:

- Centrar los lastrabarrenas y proporcionar un mejor alineamiento del pozo que está siendo perforado.
- Perforar áreas con problemas de desviación, los estabilizadores incrementan la longitud de lastrabarrenas libres sobre la barrena para producir un mayor efecto de péndulo y proporcionar pozos más rectos. Para perforación de pozos empacados, varios estabilizadores incrementarán ampliamente la rigidez de la sarta inferior de lastrabarrenas, para prevenir cambios rápidos en el ángulo del pozo.
- Para prevenir pegaduras y evitar en gran parte la fricción de la tubería, los estabilizadores mantienen a la superficie de lastrabarrenas separada de la pared del pozo.

El estabilizador es una pieza de acero de forma cilíndrica de longitud variable, lleva en la parte exterior del cuerpo, varias aletas en forma de espiral o vertical. Estas aletas se pueden cambiar cuando se desgastan. Se fabrican con aletas integrables y aletas soldadas (Fig. III.8).

- + Estabilizador de aletas integrables.- Pueden ser de dos tipos:
  - a) Tipo sólido.- Se fabrican con aletas integradas al cuerpo. El espacio entre las aletas está maquinado hasta el cuello o al diámetro de lastrabarrenas, para obtener la máxima circulación. Este diseño se adapta a diámetros muy pequeños donde el espacio que existe entre el diámetro exterior de las lastrabarrenas y las paredes del pozo es muy pequeño.

FIG. III.8 TIPOS DE ESTABILIZADORES.



con  
Aletas integrables

con  
Aletas soldadas

Cuando las aletas se desgastan, el cuerpo del estabilizador se deshecha o se puede utilizar como sustituto u otra herramienta.

- b) Tipo camisa desplazable.- El estabilizador integral de camisa desplazable está fabricado con aletas integradas a la camisa. La camisa se encuentra unida al cuerpo mediante un ajuste por contracción. Cuando las aletas sufren un desgaste excesivo, la camisa vieja puede ser eliminada con un equipo térmico adecuado. No requiere de maquinado de soldadura.
- + Estabilizador de Aletas Soldables.- En éste tipo de estabilizador las aletas son de acero dúctil y soldables al cuerpo, mediante un proceso de precalentamiento controlado en las áreas de soldadura y un relevador térmico de esfuerzos de la soldadura terminada. Las aletas están sometidas a un proceso de revestimiento endurecido por carburo de tungsteno granulado. Las aletas pueden ser reemplazadas del cuerpo con un soplete, rectificando las áreas de soldadura con un terminado liso. El cuerpo se somete a un precalentamiento de aproximadamente 427°C, para soldar las aletas nuevas. Después de colocarlas al cuerpo, éste se somete a un calentamiento de 593°C durante una hora aproximadamente.

El uso de estabilizadores es obligado durante cualquier operación de perforación orientada. Cuando están localizados y espaciados en forma apropiada en la sarta de perforación, son usados en varios patrones, dependiendo de las condiciones de operación. Los estabilizadores apropiadamente seleccionados y revestidos a la medida, son empleados a menudo para desviación deliberada y controlada del agujero.

### III.1.5. LASTRABARRENAS

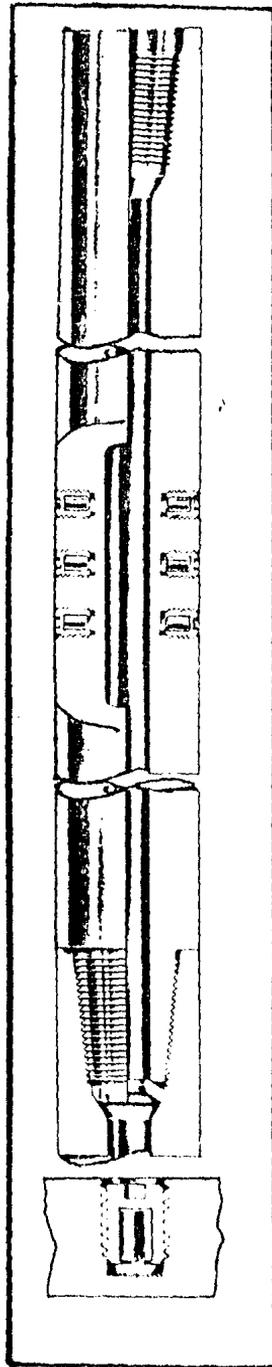
Como la tubería de perforación, son tubos de acero a través de los cuales se puede bombear lodo, los lastrabarrenas son mas pesados que la tubería de perforación y se utiliza en el extremo inferior de la sarta, para aplicar peso sobre la barrena. Este peso es lo que permite a la barrena perforar. Los lastrabarrenas miden aproximadamente 9 metros (30 pies).

Lastrabarrenas No-magnéticos.- Estos lastrabarrenas son usados en forma especial durante la perforación orientada. Su diámetro y longitud varían según las necesidades y condiciones de trabajo. Estos son colocados en un lugar lo mas cercano a la barrena o sobre estabilizador portabarrenas. (Fig. III.9).

Es de interés saber que cuando se emplea éste tipo de lastrabarrenas, es con el propósito de tener una sección no-magnética en la sarta de perforación ya que se ha comprobado que ésta se magnetiza con la rotación, esto afecta los instrumentos que se utilizan en la medición de la orientación de los pozos.

Estos tubos tienen dos juegos de magnetos reemplazables, localizados a  $180^\circ$  y aproximadamente 76 cm (30 pg) abajo del centro de la longitud total del mango. Los seis magnetos que se usan son pequeños pero poderosos y uniformes en fuerza. Se insertan en el cuerpo del tubo para que se repelan en dos líneas de tres cada una. Cada barra magneto se localiza en un alojamiento de diseño especial con rosca para su fácil inserción.

FIG. III.9 TUBO NO MAGNETICO



Estos magnetos se revisan continuamente y se recargan o reemplazan, cuando se encuentran bajos en fuerza. - Cuando no se requieren para orientar, los magnetos - son retirados del cuerpo del tubo y reemplazados por un material antimagnético para proteger la abertura.

Estos tubos están equipados con un receptáculo permanente para poner y colocar los instrumentos de muestreo. Este receptáculo está alojado en la parte inferior del piñón.

### III.1.6 TURBOPERFORADOR

Es una herramienta que tiene la característica de utilizar el fluido de perforación para dar movimiento a la barrena, con lo cual la sarta de perforación permanece estática. A diferencia de otras herramientas, ésta perfora un agujero de diámetro normal, por lo que no es necesario realizar ampliaciones posteriores.

Esta herramienta está compuesta por una sección de turbinas, una sección reemplazable de cojinetes y una unión sustituta rotatoria a la cual se conecta la barrena. Las turbinas funcionan por medio del fluido de perforación. La sección de turbinas contiene rotores y estatores en forma de aspas (Figs.III.10 A y B).

Los estatores están conectados al casco de la herramienta y se mantienen fijos. Para hacer funcionar este motor, el fluido de perforación se comienza a circular por la sarta de perforación. Las aspas en cada uno de los estatores guían el lodo hacia las de los rotores a un cierto ángulo. El flujo de lodo hace que los rotores y por ende el eje de transmisión - giren hacia la derecha, (Fig.III.10.C).

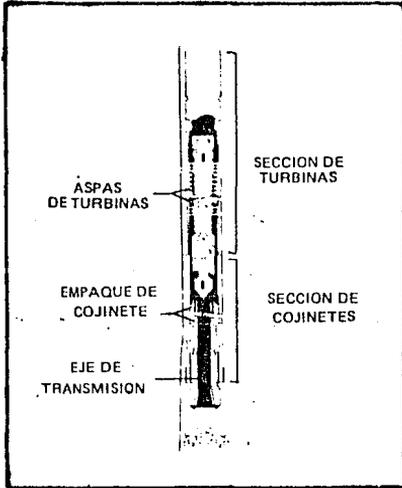


FIG.III.10.A TURBOPERFORADOR

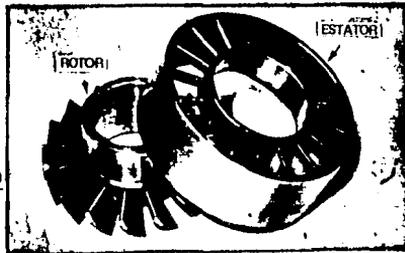


FIG.III.10.B. ENSAMBLE DE ROTOR Y ESTATOR

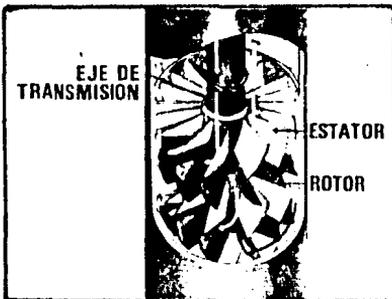


FIG.III.10.C SECCION DE UN TURBOPERFORADOR

Ya que la unión sustituta y la barrena están conectadas al eje, la barrena gira.

En la sección reemplazable de cojinetes, se encuentra un número de cojinetes de empuje. Cada cojinete está compuesto de un cuerpo de goma, una manga y un disco de empuje, (Fig.III.10.D).

Después de aproximadamente 150 horas de operación, los cojinetes de empuje de goma se desgastan. Entonces será necesario quitar solamente la sección de cojinetes de la turbina. Para facilitar esta maniobra, la sección de cojinetes está conectada a la sección de la turbina por medio de una conexión de estría o ranura. (Fig.III.10.E). La conexión hace posible que se pueda reemplazar la sección desgastada completa por una nueva. Esta maniobra se puede llevar a cabo en el equipo de perforación.

Cuando un turbo-perforador se utiliza para desviar un pozo, la barrena se baja a unas cuantas pulgadas del fondo y se orienta. Se ponen en funcionamiento las bombas y la barrena se baja lentamente al fondo del pozo. Cuando la turbina empieza a girar lo indicará una caída de presión de la circulación del lodo en la superficie. Entonces se puede aplicar el peso deseado sobre la barrena para iniciar la perforación de la sección desviada del pozo. La tubería de perforación no debe girar durante la operación de desviación.

El turbo-perforador no puede por sí solo desviar el agujero, esto se logra mediante sustitutos acodados que se describen mas adelante.

Ya que la unión sustituta y la barrena están conectadas al eje, la barrena gira.

En la sección reemplazable de cojinetes, se encuentra un número de cojinetes de empuje. Cada cojinete está compuesto de un cuerpo de goma, una manga y un disco de empuje, (Fig.III.10.D).

Después de aproximadamente 150 horas de operación, los cojinetes de empuje de goma se desgastan. Entonces será necesario quitar solamente la sección de cojinetes de la turbina. Para facilitar esta maniobra, la sección de cojinetes está conectada a la sección de la turbina por medio de una conexión de estría o ranura. (Fig.III.10.E). La conexión hace posible que se pueda reemplazar la sección desgastada completa por una nueva. Esta maniobra se puede llevar a cabo en el equipo de perforación.

Cuando un turbo-perforador se utiliza para desviar un pozo, la barrena se baja a unas cuantas pulgadas del fondo y se orienta. Se ponen en funcionamiento las bombas y la barrena se baja lentamente al fondo del pozo. Cuando la turbina empieza a girar lo indicará una caída de presión de la circulación del lodo en la superficie. Entonces se puede aplicar el peso deseado sobre la barrena para iniciar la perforación de la sección desviada del pozo. La tubería de perforación debe girar durante la operación de desviación.

El turbo-perforador no puede por sí solo desviar el agujero, esto se logra mediante sustitutos acodados que se describen mas adelante.

FIG.III.10.D COJINETE DE EMPUJE-  
DE HULE, MANGA Y DIS-  
CO (SECCION DE COJI-  
NETES REEMPLAZABLES)

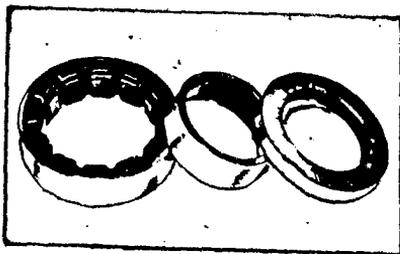


FIG.III.10.E SECCIONES DE TURBINA Y COJINETES CONECTADAS POR UNA  
CONEXION DE ESTRIA O RANURA

### III.1.7.- MOTOR DE FONDO (DYNA-DRILL)

Es un motor accionado hidráulicamente al igual que el turbo-perforador, convierte la energía hidráulica en energía mecánica de rotación. Básicamente, la herramienta consta de una bomba de etapas múltiples - que se utiliza en una aplicación inversa y comprende en forma aproximada la mitad de la longitud de la herramienta, el motor especialmente diseñado consta de una cavidad en espiral de sección transversal cilíndrica, la cual contiene un rotor de acero sólido, - que al girar se mueve excéntricamente. Modelado en forma sinusoidal (onda recurrente regular), el rotor está libre y desconectado en su extremo superior, en tanto que el inferior, está unido a la varilla de conexión, el extremo opuesto de dicha varilla está unido a la flecha motriz.

Cuando se bombea el fluido a presión al interior del motor, dicho fluido se dirige a través de las áreas vacías que existen entre el rotor y la cavidad en espiral (recubierta de hule) del estator. Para que ocurra flujo, la presión de la columna de fluido desplaza y hace girar el rotor dentro del estator, lo que a su vez acciona la varilla de conexión, la flecha motriz hueca y por último la barrena colocada en el extremo de la herramienta.

El "Dyna-Drill" típico consta de cinco componentes básicos.

- Válvula de doble paso
- Motor helicoidal de etapas múltiples
- Varilla de conexión

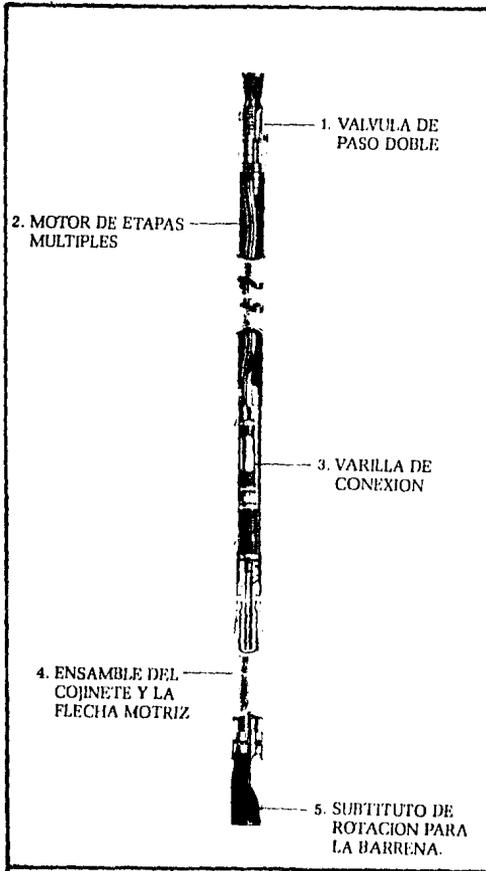


FIG.III.11.A MOTOR DE FONDO (DYNA-DRILL)

1. ENSAMBLE DE LA VALVULA DE PASO DOBLE

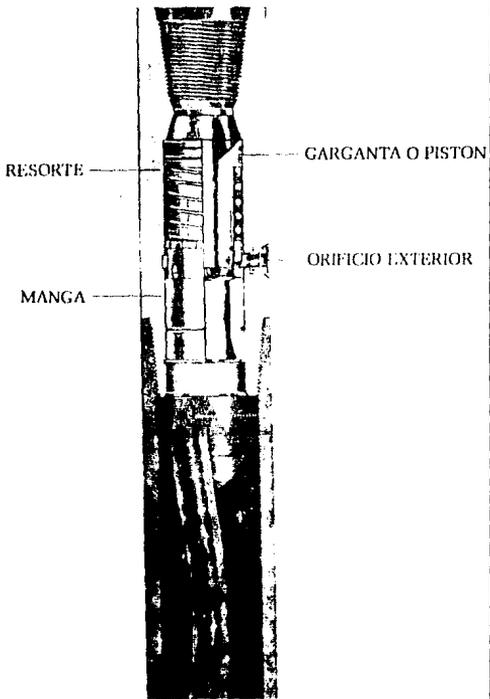


FIG.III.11.B VALVULA DE DOBLE PASO

- Conjunto de cojinete y la flecha motriz
- Sustituto de rotación para la barrena

En la Figura III.11.A. Aparece un corte de la herramienta con la descripción de sus componentes-

Válvula de doble paso.- El ensamble de esta válvula consta básicamente de un pistón deslizante, un asiento de manga, un resorte y orificios exteriores (Fig.III.11.B).

El "Dyna-Drill" no permite el flujo de fluido al interior o al exterior de la tubería de perforación, a menos que el motor esté operando. En consecuencia, la válvula está diseñada de tal modo que desvía del motor el fluido de perforación y permite el llenado de la tubería de perforación, mientras ésta se introduce al agujero. Por otra parte, permite el drenado de dicho fluido al sacar la sarta o al hacer una conexión.

Cuando no hay circulación de fluido, el resorte mantiene el pistón en la posición superior, con lo cual los orificios externos permiten entrada y salida de fluido a través de los costados del cuerpo de la válvula. La velocidad del fluido acciona el pistón. En consecuencia, al bombear fluido a través de la sarta de perforación, el pistón desciende y es forzado contra un asiento, con lo cual se obstruyen los orificios externos. Al dejar de bombear, el resorte hace que el pistón regrese a la posición superior (orificios abiertos).

Motor Helicoidal de Etapas Múltiples.-El motor del "Dyna Drill", es una bomba tipo helicoidal que se utiliza en una aplicación inversa. Normalmente, la flecha de la bomba gira para forzar el fluido a través de la bomba. Sin embargo, con el "Dyna Drill", el fluido bombeado a través de la herramienta hace que gire la flecha, con lo

cual, transforma la bomba en un motor de desplazamiento positivo accionado por el fluido de perforación. El motor consta de dos partes principales, el estator o cubierta exterior estacionaria y el rotor o flecha giratoria interna (Fig. III.11.C.).

El cuerpo exterior de la herramienta, está constituido por el tubo del estator recubierto con un compuesto especial similar al hule, para crear una cavidad en espiral de sección transversal cilíndrica a lo largo de toda su longitud. El recubrimiento es especial para obtener una alta resistencia a la abrasión y a los hidrocarburos. Sobre el estator de hule y en los puntos de unión sobre la flecha espiral del rotor se forma un sello continuo a todo lo largo del motor. (Fig.III.11.D.).

El rotor es una flecha helicoidal de acero (Fig.III.11.E) maquinada a partir de una barra de aleación sencilla de acero y cromada, para reducir el desgaste por abrasión. Dicho rotor es excéntrico en ambos extremos y tiene la forma de una onda sinusoidal. La flecha gira a medida que el fluido esforzado a través del motor.

Varilla de conexión.- Unida al extremo inferior del rotor la varilla de conexión transmite la torsión al ensamble de la flecha motriz. Básicamente, dicha varilla convierte la rotación excéntrica del rotor a la rotación concéntrica de la flecha motriz. La flexibilidad del ensamble de la varilla de conexión se logra mediante dos uniones universales opuestas. Dichas uniones están protegidas con camisas reforzador de hule llenas de grasa, para evitar que la unión universal se contamine con el fluido de perforación (Fig. III.11.F).

Conjunto de Cojinete y la Flecha Motriz.-La potencia giratoria se transmite a la barrena, mediante una flecha motriz, apoyada en cojinetes. Existen tres cojinetes principales. (Fig. III.11.G.).

2. MOTOR DE ETAPAS MÚLTIPLES

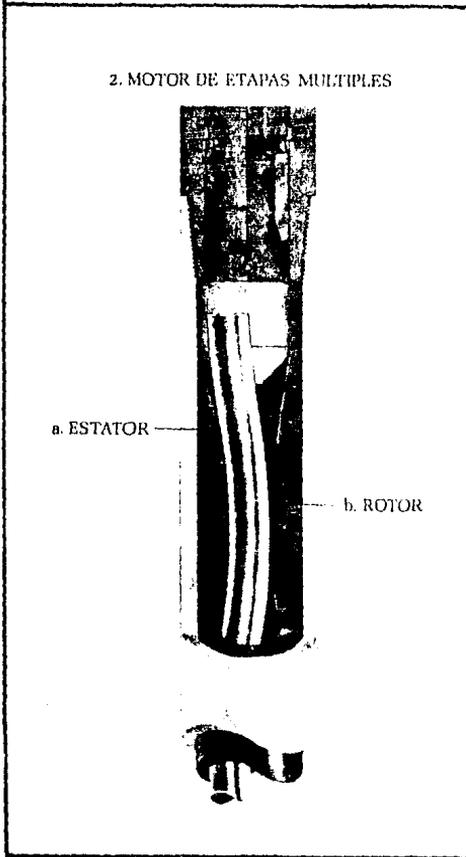


FIG.III.11.C MOTOR HELICOIDAL DE ETAPAS MÚLTIPLES

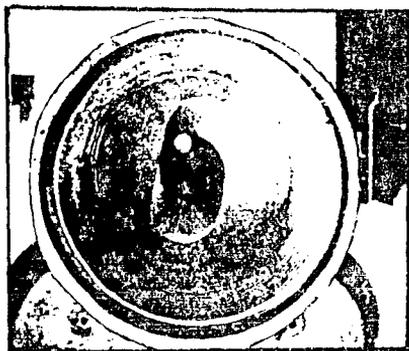


FIG.III.11.D ESTATOR EN FORMA DE ESPIRAL

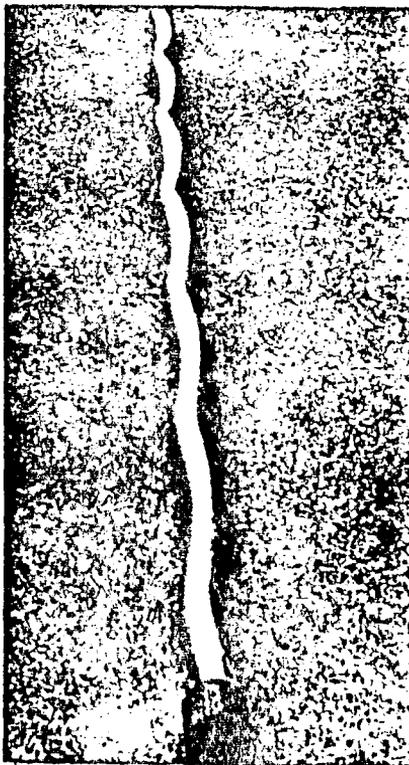


FIG.III.11.E ROTOR HELICOIDAL

3. VARILLA DE CONEXION

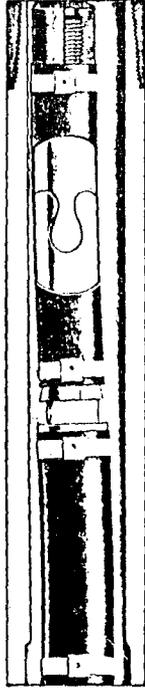


FIG. III.11.F VARILLA DE CONEXION

- Cojinete superior de carga.- Este cojinete soporta el efecto hidráulico del pistón o la carga sobre la herramienta al sacarla del fondo o cuando no se ejerce peso sobre la barrena.
  - Cojinete Radial y Reductor de Flujo.- La parte superior está diseñada para servir como un balero auxiliar. La cavidad del reductor de flujo está diseñado para medir o restringir el paso del fluido, a través de la sección de cojinetes. Este reductor de fluido permite de un 5 a un 10% del volúmen total del fluido, a través de los cojinetes y está diseñado para soportar una caída de presión de 10.5 a 35.2 Kg/Cm<sup>2</sup> (150 a 500 PSI). La mayor parte del fluido de perforación entra en la flecha motriz arriba del cojinete superior y sale a través de la barrena.
  - Cojinete inferior de carga.-Es un cojinete de bolas para trabajo pesado y baja fricción, diseñado para aguantar la carga ejercida sobre la barrena en el fondo del agujero.
- Sustituto de Rotación para la Barrena.- Esta es la única parte giratoria de la herramienta. Constituye la parte inferior de la flecha motriz y tiene conexión para la barrena. (Fig. III.11.H.).

Los motores hidráulicos de fondo de agujero, tienen una característica que otros tipos de herramientas desviadoras no tienen, una tendencia a crear torsión inversa.

Torsión inversa es el resultado del fluido de perforación fluyendo contra el estator, tratando de girar la sarta de perforación hacia la izquierda, mientras que los rotores y la barrena giran a la derecha. Este fenómeno no se tiene que tomar en cuenta cuando se están orientando los motores de fondo de agujero, porque, la dirección

4. ENSAMBLE DEL COJINETE Y LA FLECHA MOTRIZ

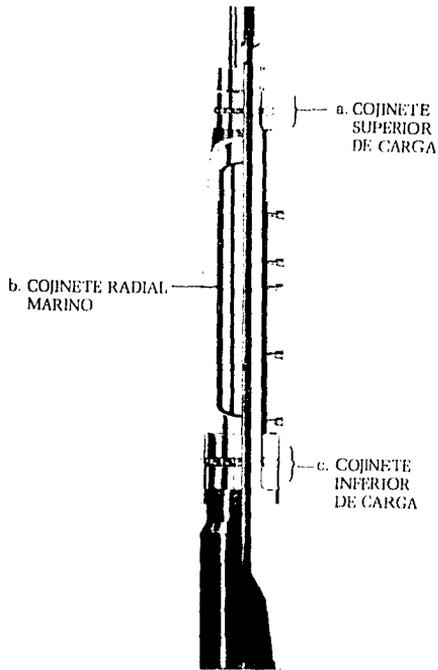


FIG. III.11.G

5. SUSTITUTO DE ROTACION PARA LA BARRENA.



FIG. III.11.H

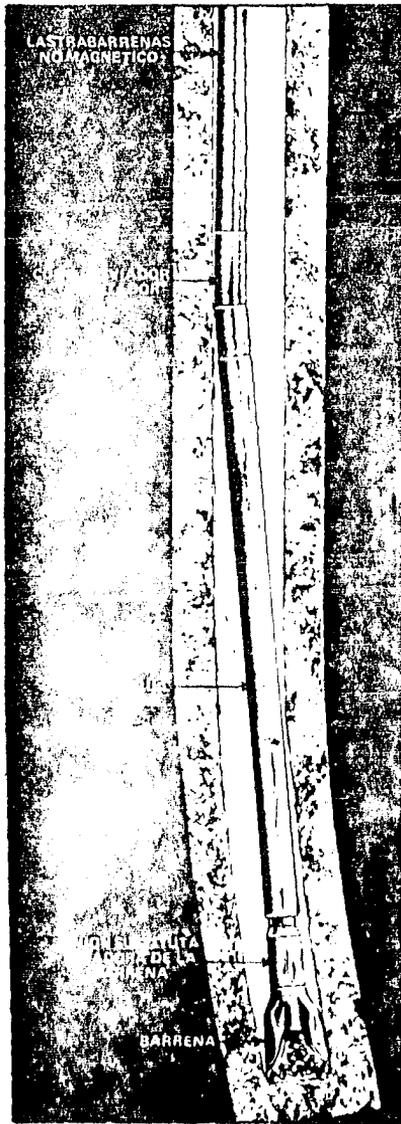


FIG. III. 11. I. CONEXION DEL DYNA-DRILL

en la cual queda la herramienta cuando llega al fondo, no es necesariamente la dirección que tomará cuando empiece a perforar. La experiencia es una de las formas de determinar cuanto se va a compensar por torsión inversa. Se recomienda permitir 10° por cada 305 m (1000 pies), de profundidad cuando se están perforando formaciones blandas y 5° por cada 305 m. (1000 pies), cuando se están perforando formaciones duras. En otras palabras, el motor se tiene que poner en posición de 5° a 10° hacia la derecha de la dirección deseada por cada 305 m (1000 pies), de profundidad. Luego cuando el motor empieza a funcionar, la torsión inversa girará la herramienta hacia la dirección apropiada, la (Fig.III.11.I) muestra un arreglo típico -- del motor de fondo orientado.

### III.1.8 SUBSTITUTOS

#### a) SUBSTITUTO DE CIRCULACION

Este substituto está diseñado especialmente para introducir el desviador con circulación a chorro al fondo del pozo. Se usa para correr, sentar y recuperar herramientas, pero fundamentalmente proveen un medio para circulación a través del desviador. También proveen circulación a través de la barrena, para las operaciones de desvío y el substituto de conexión para la barrena.

Este substituto es esencialmente para barrena con preparación para acoplar el desviador con circulación a chorro, en su parte superior. Se acopla por medio de un ensamble de perno sujetador hueco, especialmente diseñado. El cuerpo del substituto es un ensamble de dos piezas: - El cuerpo inferior contiene el perno sujetador en un lado, mientras que la punta inferior tiene una conexión caja para la barrena.

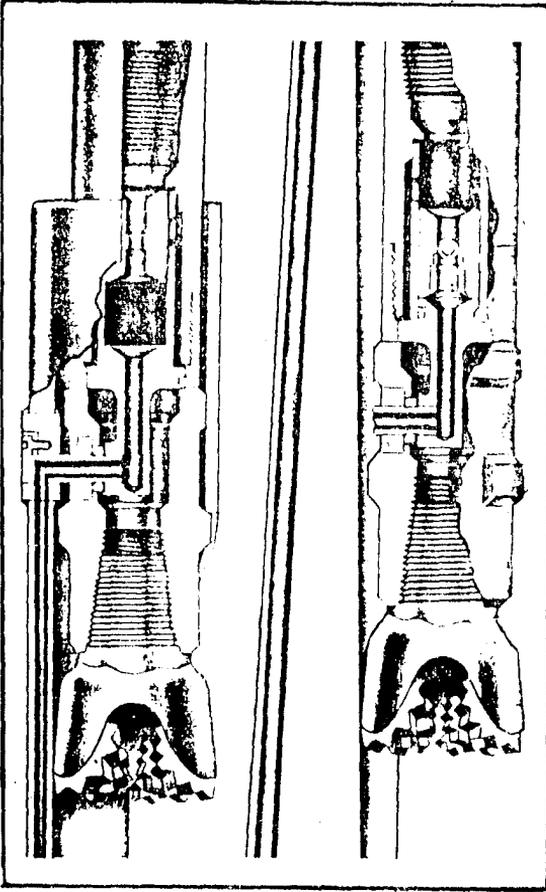


FIG.III.12 SUBSTITUTO DE CIRCULACION

También tiene una serie de agarres en su diámetro exterior para recuperar el desviador después de que el agujero de diámetro reducido a sido perforado.

El cuerpo superior tiene un pistón asegurado en posición. El propósito del pistón es dirigir la circulación después que el desviador está listo para empezar la perforación del agujero de diámetro reducido. El pistón se acciona al dejar caer una bola de acero desde la superficie (Fig. III.12).

b) Substituto Mecánico de Pasador Cortable.

Este sustituto está diseñado específicamente para correr y recuperar desviadores (cucharas) convencionales. El sustituto tiene una serie (generalmente cuatro), de orejas en su punta inferior para soportar el desviador (anillo). También tiene un agujero ciego a un lado en el cual cabe el pasador cortable para conectar el sustituto y la barrena al desviador. El extremo inferior del sustituto, así como el superior, tienen conexión caja (Fig. - III.13).

Una vez ensamblado el sustituto y el desviador, se corre al fondo del pozo manteniendo la circulación del fluido de perforación todo el tiempo que dure la operación.

El pasador se corta aplicando peso sobre él. Una vez hecho lo anterior se procede a perforar el agujero de diámetro reducido.

c) Substituto Acodado o Codo Desviador.

Este sustituto se usa en combinación con los motores hidráulicos de fondo para desviar la barrena en operaciones de perforación orientada. La punta inferior de este sustituto está cortada en ángulo con relación al eje longitudinal del cuerpo (Fig. III.14).

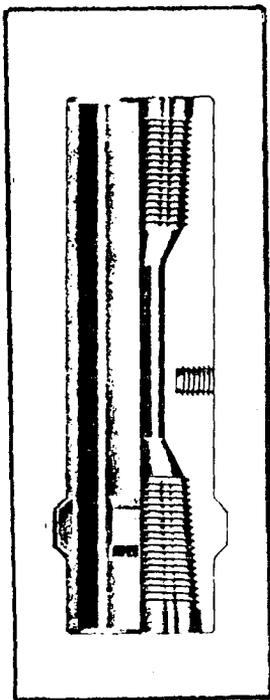


FIG.III.13 SUBSTITUTO MECANICO DE PASADOR CORTABLE

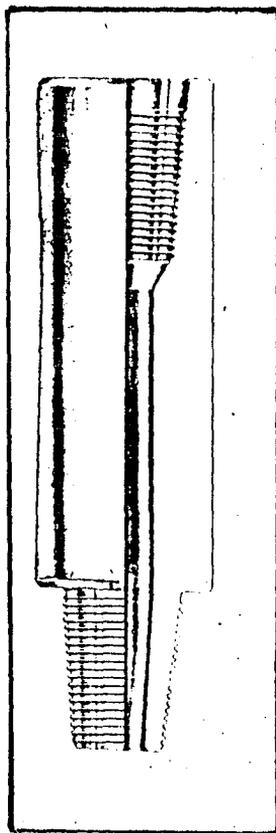


FIG.III.14 SUBSTITUTO ACODADO O CODO DESVIADOR

Este ángulo es preciso y generalmente es de 0.5 a 2.5 grados. Su operación es simple, el substituto se coloca en la sarta inmediatamente arriba del motor hidráulico de fondo, su orientación con respecto a la barrenas debe ser previamente determinada y anotada, para que cuando llegue al fondo, el ángulo de desviación del motor pueda ser precisado (Fig.III.15).

El ensamble se introduce hasta el fondo del pozo y se orienta en la dirección predeterminada. En este punto, las operaciones de desvío comienzan.

### III.1.9 UNION ARTICULADA

Es una herramienta especial que se usa para desviar el pozo, sin necesidad de desviadores. Consta de una junta que emplea el principio de la unión universal tipo esfera, conectada con la sarta de perforación, a fin de que la barrenas pueda perforar en ángulo con relación al eje de la sarta. La mitad inferior de la herramienta, puede girarse a un ángulo con respecto a la línea de centro del cuerpo (eje). La unión articulada está armada en el extremo inferior de la tubería de perforación. Raras veces se usan lastrabarrenas. Corrida hasta el fondo, la unión articulada se orienta de modo que la mitad inferior descentrada de la herramienta apunte en la dirección, en la que se va a perforar. Girando lentamente, con poco peso, la perforación progresa hasta que toda la herramienta esté enterrada en la sección desviada. Luego, se endereza la herramienta. Agregando peso y utilizando la flexibilidad de la tubería de perforación, se avanza la curvatura hasta completar el agujero de diámetro reducido, entonces se retira la herramienta y el agujero se inspecciona para poder ampliar a continuación (Figs.III.16 A y B).

El uso de esta herramienta es limitada a causa de las características de su diseño, su aplicación generalmente es en la perforación sin control de rumbo.



FIG.III.15 CONEXION DEL CODO DESVIADOR

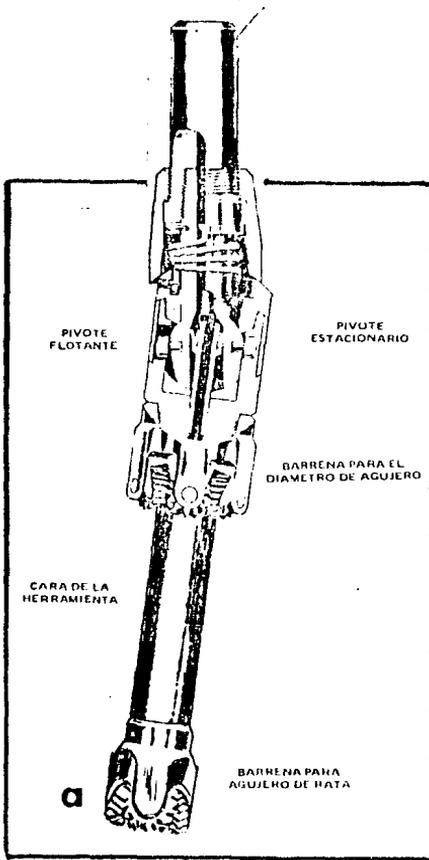


FIG. III.16 UNION ARTICULADA

### III.1.10 JUNTAS "DYNA-FLEX"

Estas juntas fueron diseñadas para utilizarse con cualquier motor perforador operando con líquido o aire. Su uso permite que el ensamble del motor perforador se use ya sea como aparejo de perforación orientada o vertical. La junta es operada y controlada desde la superficie, por medio de un explorador operado con línea de acero.

La junta puede ser usada en cualquier operación donde se use un substituto acodado (Fig. III.17). Algunas ventajas ofrecidas por esta herramienta son:

- La junta es corrida hacia dentro y fuera del pozo en posición vertical, eliminando dañar el enjarre del fondo, debido al movimiento lateral de la barrena.
- Los viajes se reducen ya que puede perforarse direccional o verticalmente sin salir del pozo.
- Puede efectuarse inspección y orientación, mientras la herramienta está en posición vertical, eliminando los problemas inherentes a los substitutos.
- Con esta herramienta, el operador puede colocar o recolocar el ángulo a la posición deseada, desde 0 hasta 2 grados, según se requiera.

La junta tiene una serie de pistones, conectados en línea y accionados por el fluido de perforación. Su esfuerzo acumulativo produce una fuerza adecuada para poner y mantener la barrena contra la pared del agujero. La deflexión máxima de la junta es controlada en forma precisa y limitada por el Candado Explorador maquinado con precisión y que es seleccionado e insertado en la herramienta. El ángulo de deflexión puede ser cambiado desde la superficie, cambiando el explorador que se está usando por un Explorador Alterno.

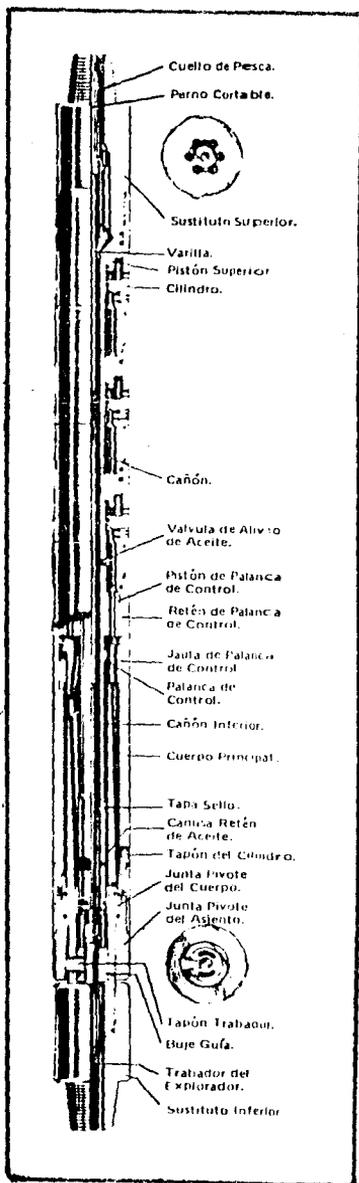


FIG.III.17 JUNTA "DINA-FLEX"

Esto, puede hacerse en cualquier punto de la operación - ya sea en el fondo o a cualquier profundidad.

El juego de Explorador consiste de un cuello de pesca, - una varilla y una serie de exploradores para producir - ángulos de 0 a 2 grados.

### III.1.11 JUNTA DEFLECTORA DE RODILIA

El uso de esta herramienta permite flexibilidad de la - sarta de perforación en el punto crítico de deflexión du- rante las operaciones de desvío. La junta es colocada en- tre el tubo no-magnético y la herramienta orientadora, - su presencia permite a la sección perforadora del agujero de diámetro reducido flexionarse con relación a la - sarta de perforación, arriba del desviador. Esto, previe- ne esfuerzos laterales indebidos en las conexiones de la sarta de perforación, mientras que simultáneamente permí- te a la barrena completa libertad de deflexión.

La junta consiste de siete partes principales: Sustruto Superior, Mandril Flecha, Cuerpo Guía, Perno Guía, Ani- llo Sello, Sustruto Inferior y Llave de la Flecha Guía. El anillo está sellado contra pérdidas de circulación - (Fig. III.18).

La sección en forma de bola del Mandril Flecha, tiene - libertad de movimiento en un arco de 360 grados con la - Llave de Flecha Guía, para transmitir la torsión a la ba- rrena, lo cual es requerido para establecer un nuevo cur- so de agujero.

No se requiere ningún dispositivo auxiliar externo para- operar; solo la aplicación de peso en la sarta de perfo- ración.

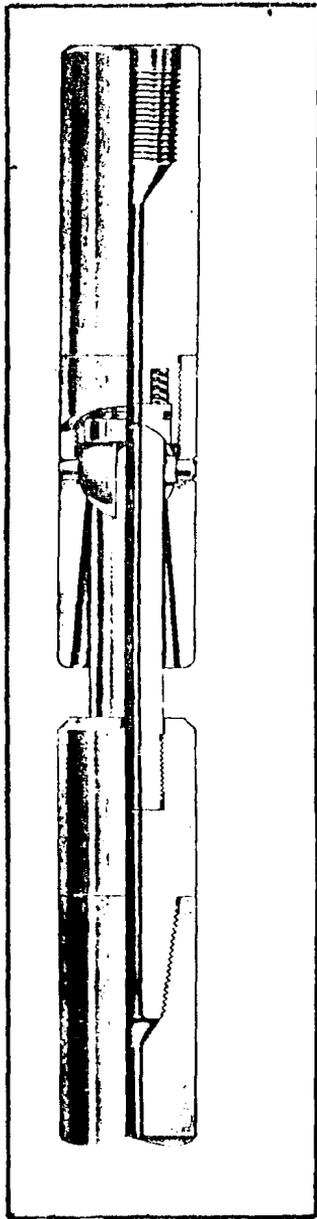


FIG. III.18 JUNTA DEFLECTORA DE RODILLA

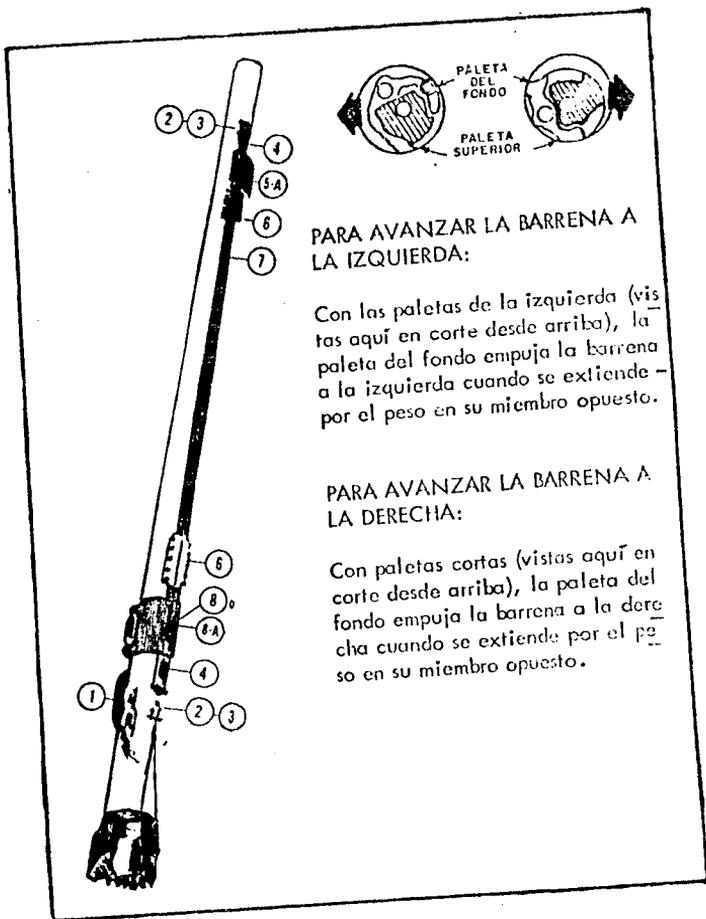
La sarta desviadora es corrida dentro del agujero hasta cerca del tapón de cemento previamente preparado y suspendido arriba del mismo, se circula hasta remover todo el asentamiento. El desviador es entonces orientado y colocado en posición.

Después que el desviador es colocado y los pernos cortados, se baja la sarta de perforación suavemente y se comienza a dar rotación circulando. La junta permitirá a la barrena seguir libremente la concavidad del desviador y comenzar la perforación del agujero de diámetro reducido. La deflexión así producida puede ser acentuada hasta un máximo de 6 grados, con la aplicación cuidadosa de peso a la sarta. La continuación de las operaciones de perforación orientada sigue los procedimientos usuales.

#### III.1.12 HERRAMIENTA CORRECTORA DE DESVIACION WHIPCO (REBEL)

Es una herramienta diseñada para evitar y corregir la desviación lateral. Sin necesidad de hacer una orientación, contrarresta la tendencia de la barrena a desviarse a la derecha o izquierda.

Con esta herramienta se puede continuar perforando con cargas, velocidades de rotación y presiones de bombeo normales. Puede además, mantener su ángulo de desviación, con tanta efectividad como con el uso de aparejos estabilizados. Así mismo, se eliminan los costosos procedimientos para mantener en la dirección adecuada un pozo orientado, como son: reducir la acción de "chorro" corregir la desviación y tomar registros con mucha frecuencia y dentro de estos se elimina el más agudo que es el de corregir "patas de perro", que tanto problemas causan en la perforación orientada.



PARA AVANZAR LA BARRENA A LA IZQUIERDA:

Con las paletas de la izquierda (vistas aquí en corte desde arriba), la paleta del fondo empuja la barrena a la izquierda cuando se extiende por el peso en su miembro opuesto.

PARA AVANZAR LA BARRENA A LA DERECHA:

Con paletas cortas (vistas aquí en corte desde arriba), la paleta del fondo empuja la barrena a la derecha cuando se extiende por el peso en su miembro opuesto.

FIG. III.19 HERRAMIENTA CORRECTORA DE DESVIACION

- 1.- Aleta Estabilizadora
- 3.- Pasador de Resorte
- 5 A.- Paleta Superior de desviación a la derecha
- 7.- Eje de torsión
- 2.- Pasador de Empuje
- 4.- Extremo de Cojinete
- 6.- Cojinete dividido
- 8.- Paleta inferior de desviación a la izquierda.

Anteriormente, ésta era una herramienta exclusiva para operaciones de corrección, actualmente es usada como medida preventiva al aparecer los primeros signos de desviación en agujeros verticales.

La herramienta correctora "montada" justo arriba de la barrena, le imparte a ésta un empuje lateral hacia la pared, por medio de dos aletas opuestas (Fig.III.19). - Dichas aletas están firmemente sujetas a una flecha común que gira libremente dentro de una ranura practicada a lo largo del cuerpo de la herramienta. A medida que ésta gira, pegada a la pared en un agujero desviado, la aleta superior es forzada a penetrar en una escotadura hecha en el cuerpo de la herramienta. Al ocurrir esto, gira la aleta inferior empujando en la pared y logrando que la barrena avance en la dirección deseada. Esta aleta inferior va situada muy cerca de la barrena donde el efecto es mayor. Con el simple cambio de aletas, se puede hacer que la herramienta empuje hacia la derecha o hacia la izquierda, según sea el caso.

En la misma herramienta, justo debajo de la aleta inferior, va colocada una hoja estabilizadora que se utiliza con doble propósito: ayuda a mantener el ángulo formado con la vertical y recibir parte de la carga que soporta la aleta inferior, de tal manera, evita que dicha carga se manifieste en la aleta superior y contrarreste así el efecto lateral deseado.

Para lograr resultados óptimos, las técnicas a seguir con la herramienta correctora, deberán estar regidas por las condiciones del agujero. Sin embargo, la experiencia de campo ha dictado los siguientes lineamientos,

- El procedimiento normal para armar la sarta consiste en colocar un lastrabarrena no-magnético, justo arriba de la herramienta correctora, por lo que deberá armarse un lastrabarrena antes de conectar el estabilizador mas

bajo. Esto permite una amplia flexibilidad debajo del estabilizador y por lo tanto, una máxima acción lateral.

- El gasto de lodo que circule por el espacio anular deberá ser comparativamente mayor, que durante la perforación normal. Esto permite que se mantengan libres las partes móviles de la herramienta, evitando el "embolamiento". Una disminución en la velocidad de rotación ayuda a "inflar" el volumen relativo de lodo. El uso de toberas más grandes también ayuda a incrementar el gasto de lodo.

Para obtener la máxima penetración durante los intervalos en que es menos severa la desviación, puede incrementarse la velocidad de rotación y disminuir el tamaño de las toberas.

- La carga sobre la barrena no afecta la operación de la herramienta correctora. Esto deberá aumentarse o disminuirse solo cuando tenga efectos en el mantenimiento del ángulo de desviación deseado respecto a la vertical.

La experiencia no indica que se incremente el par de torsión al usar esta herramienta. En algunos casos donde se han encontrado calizas, particularmente duras o intercalaciones de arena, se ha disminuido la carga sobre la barrena hasta pasar estas formaciones.

Las superficies de desgaste de las aletas se pueden recubrir varias veces, antes de cambiar los cojinetes. Este recubrimiento se hace generalmente después de unos mil metros de servicio.

EQUIPO PARA MEDIR INCLINACION Y RUMBO DEL POZO

En la perforación orientada es necesario llevar un control adecuado de las desviaciones, para esto es necesario un registro constante del ángulo de inclinación y rumbo del pozo.

Esta información es proporcionada por los diferentes tipos de instrumentos que se utilizan para medir la orientación y desviación de los pozos.

Si no se contara con estos instrumentos que permiten determinar los datos de inclinación y rumbo, la perforación de estos pozos se efectuaría prácticamente a ciegas, lo cual traería como consecuencia inmediata, una variación en la especialización de los mis mos.

Los instrumentos más comunes utilizados para determinar la orientación y desviación en pozos orientados son los siguientes:

- 1.- INCLINOMETROS
- 2.- GIROSCOPIOS
- 3.- HERRAMIENTAS DE ORIENTACION RIGIDA (D.O.T.)

IV.1.- INCLINOMETROS

Estos instrumentos proporcionan la inclinación del pozo (desviación), en cualquier momento que se requiera, ya sea en agujero descubierto o con tubería de revestimiento y sin necesidad de incluir en la sarta de perforación, herramientas especiales.

El dato del rumbo se obtiene con un inclinómetro equipado con aguja imantada, la cual es influenciada por los campos magnéticos permanentes que presentan las herramientas de perforación. Para evitar ésta influencia, es necesario incluir herramientas que no provoquen dichos campos (Fig. IV.1.).

#### IV.1.A INSTRUMENTO DE MEDICION DIRECCIONAL DE DISPARO UNICO

El instrumento de medición de disparo único es un instrumento de precisión construido para trabajo pesado y fácil de operar; registra simultáneamente, la inclinación (desviación) y la dirección magnética (rumbo) del agujero perforado, sobre un disco de película. Esto es, fotografiando la posición del indicador de ángulo referido a una brújula con una unidad calibrada. Los registros son fáciles de leer e interpretar.

Los registros son necesarios para la perforación orientada de agujeros descubiertos y para calcular la posición del fondo con relación a la superficie.

El instrumento completo consiste de un reloj (mecanismo de tiempo), una sección de baterías, cámara, compartimiento del disco y unidad angular; todas las partes están encerradas dentro de una camisa exterior.

Los relojes del instrumento están disponibles con máximos intervalos de tiempo de 33 ó 36 minutos. La sección de baterías contiene tres baterías secas fabricadas especialmente para usarse con los instrumentos de disparo único. La cámara está enfocada de antemano y no requiere ajuste. El diseño del compartimiento del disco permite la carga y descarga a la luz del día, eliminando la necesidad de un cuarto oscuro o de un saco para la cámara.

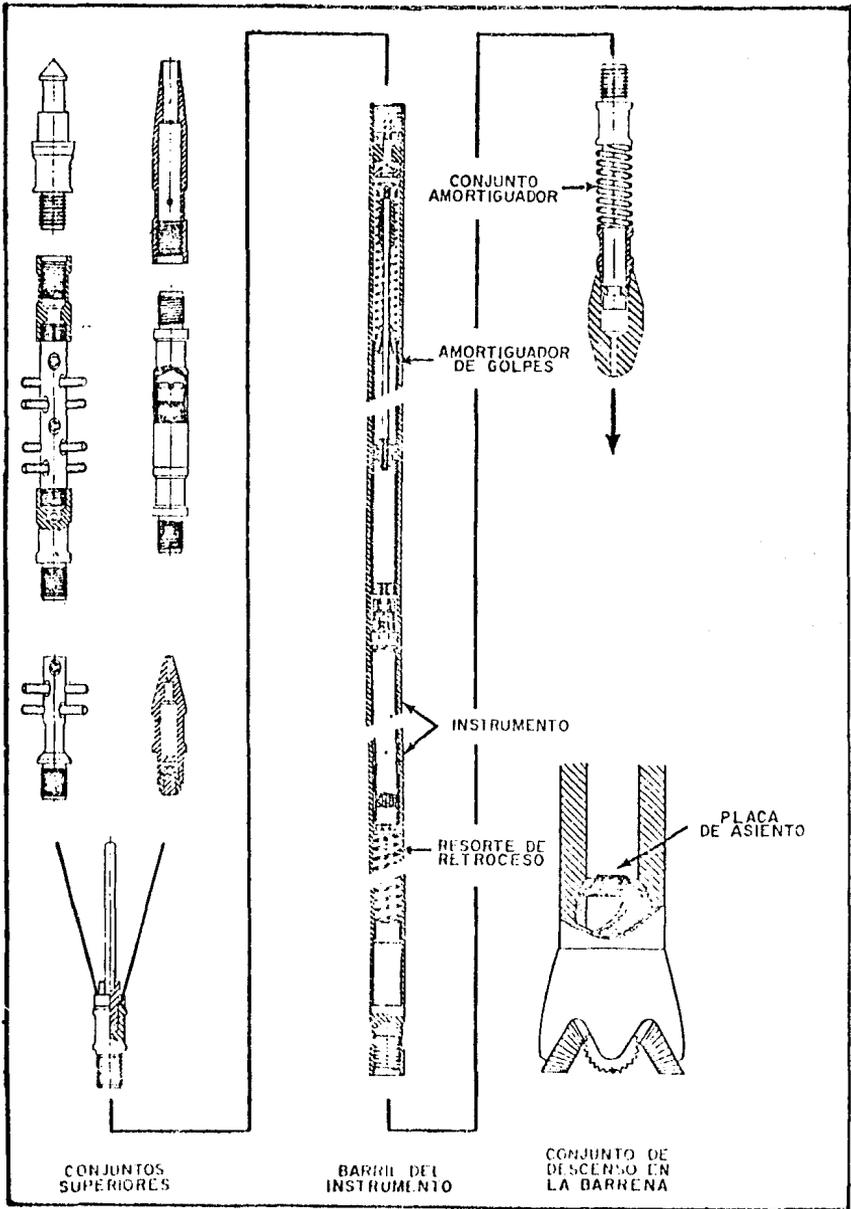


FIG. IV.1 CONJUNTO TÍPICO DEL INSTRUMENTO DIRECCIONAL (INCLINOMETRO)

Las unidades angulares de una sola exposición  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , -  $0^{\circ}$ - $20^{\circ}$  y  $15^{\circ}$ - $90^{\circ}$ , combinan una brújula imantada para indicar la dirección magnética y un indicador de ángulo para mostrar la inclinación con respecto a la vertical. Las partes móviles de las unidades angulares contienen un fluido amortiguador que asegura un buen servicio y evita los golpes que sufriese la herramienta; la inclinación de la aguja de la brújula es balanceada por el fabricante para cualquier latitud en el mundo (Fig.IV.2).

Los discos fotográficos de disparo único de  $0^{\circ}$ - $10^{\circ}$  y  $0^{\circ}$  -  $20^{\circ}$ , se leen utilizando un visor, de tal manera que la línea del visor pase exactamente a través del punto central del disco y de la intersección de las líneas cruzadas que indican el grado de inclinación.

La dirección magnética se lee de Norte a Este u Oeste, o de Sur a Este u Oeste, en la intersección de la línea y las graduaciones sobre el borde exterior del disco.

La inclinación se lee contando el número de círculos concéntricos. Cada círculo es igual a un grado, desde el punto central a la intersección de las líneas cruzadas ( FIG.IV.3.A).

Los discos de disparo único de  $15^{\circ}$ - $90^{\circ}$  se leen directamente sin la necesidad de utilizar el visor. La dirección magnética se lee en la intersección de la línea vertical con las graduaciones en la orilla inferior del disco. La inclinación (ángulo de desviación) se lee en la intersección de la línea horizontal y la escala calibrada sobre el disco de disparo único.

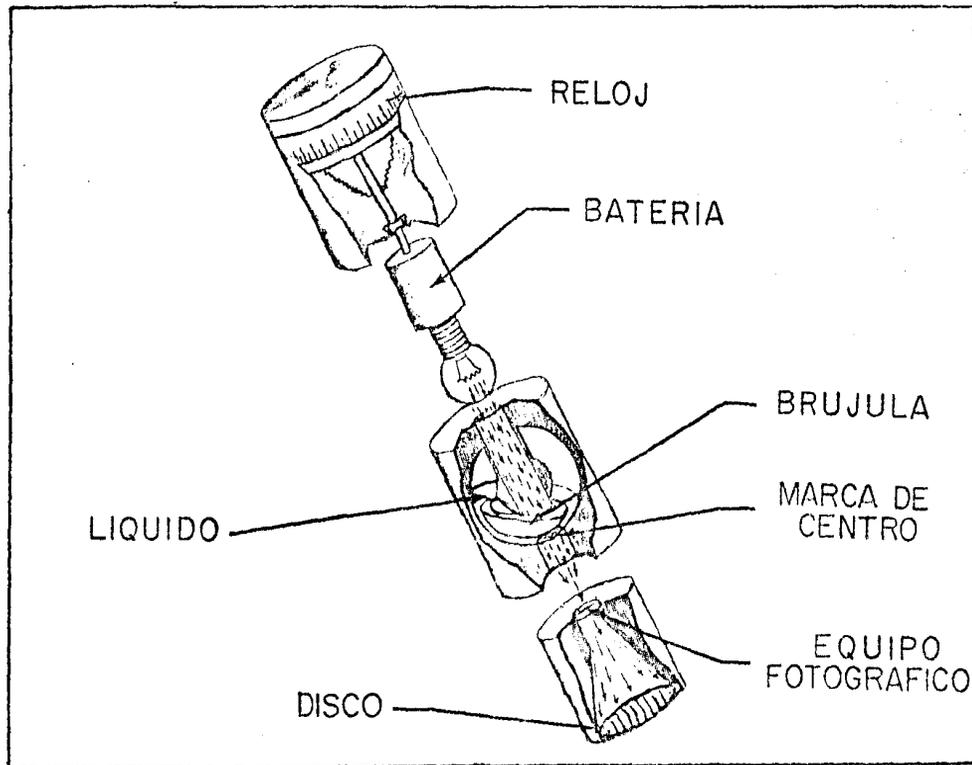
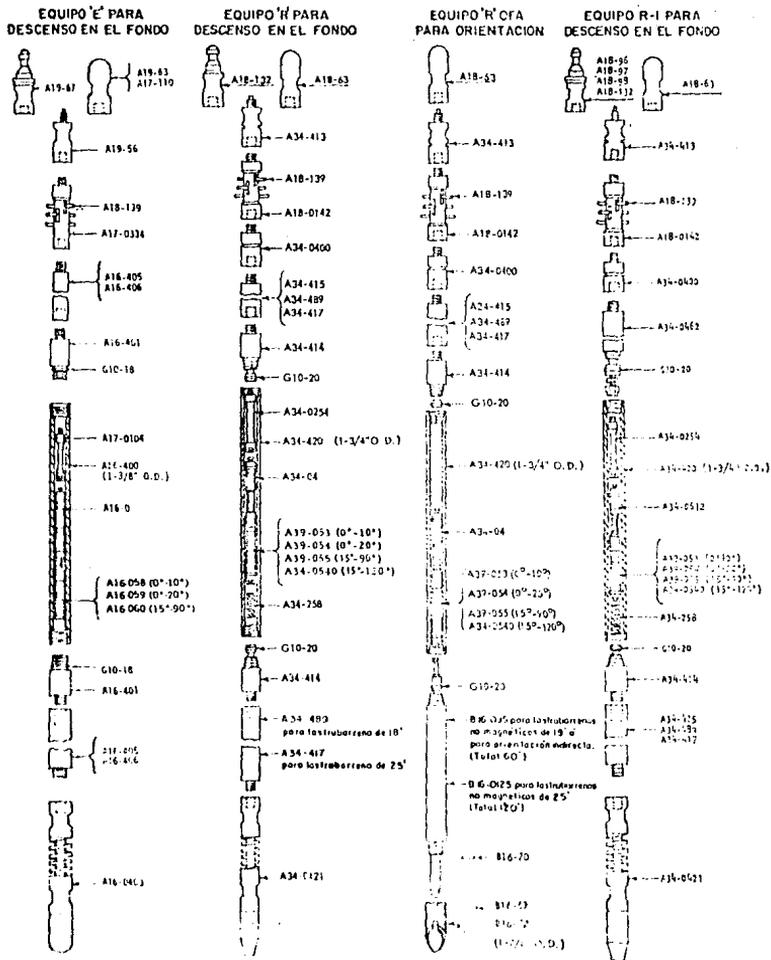


FIG. IV.2 INSTRUMENTO DE MEDICION DIRECCIONAL DE DISPARO UNICO

**BARRIL PROTECTOR DEL INSTRUMENTO EASTMAN DE DISPARO UNICO CON EL CONJUNTO DE ACCESORIOS DE LOS EQUIPOS R-I Y OFA**



**FIG. IV.3 BARRIL DEL INSTRUMENTO DE DISPARO UNICO**

CARACTERISTICAS DEL INSTRUMENTO DE DISPARO UNICO

<u>DESCRIPCION</u>	<u>D.E</u>	<u>LONG.</u>
- CUERPO DEL INSTRUMENTO	1¼"	15 7/16"
- UNIDAD ANGULAR DE 0°-10°	1¼"	7"
- UNIDAD ANGULAR DE 0°-20°	1¼"	7"
- UNIDAD ANGULAR DE 15°-90°	1¼"	8 15/16"
- UNIDAD ANGULAR DE 15°-120°	1¼"	8 15/16"

IV.1.B INSTRUMENTO DE MEDICION DE DISPARO MULTIPLE

Este instrumento presenta un método seguro, rápido y preciso para examinar agujeros descubiertos. El instrumento de medición está encerrado en un barril protector no-magnético, se deja caer libremente dentro de la tubería de perforación, deteniéndose en el fondo, ya sea en una mampara o sobre un anillo de asiento en el lastrabarrena no-magnético (Fig.IV.4).

Se usan los tubos no-magnéticos arriba o abajo del barril protector no-magnético del instrumento, con el objeto de mantener la posición de la brújula aproximadamente a un pie abajo de la línea central en las diferentes longitudes de los lastrabarrenas no-magnéticos.

La dirección magnética y la desviación con respecto a la vertical se pueden registrar fotográficamente sobre película de 10 mm , al sacar cada "lingada" de tubería.

Los registros se pueden efectuar a cualquier intervalo o profundidad que se requiera, mientras la tubería de perforación es sacada del agujero. Inmediatamente después de que se ha efectuado el registro de la película puede ser revelada, interpretada y calculados los resultados.

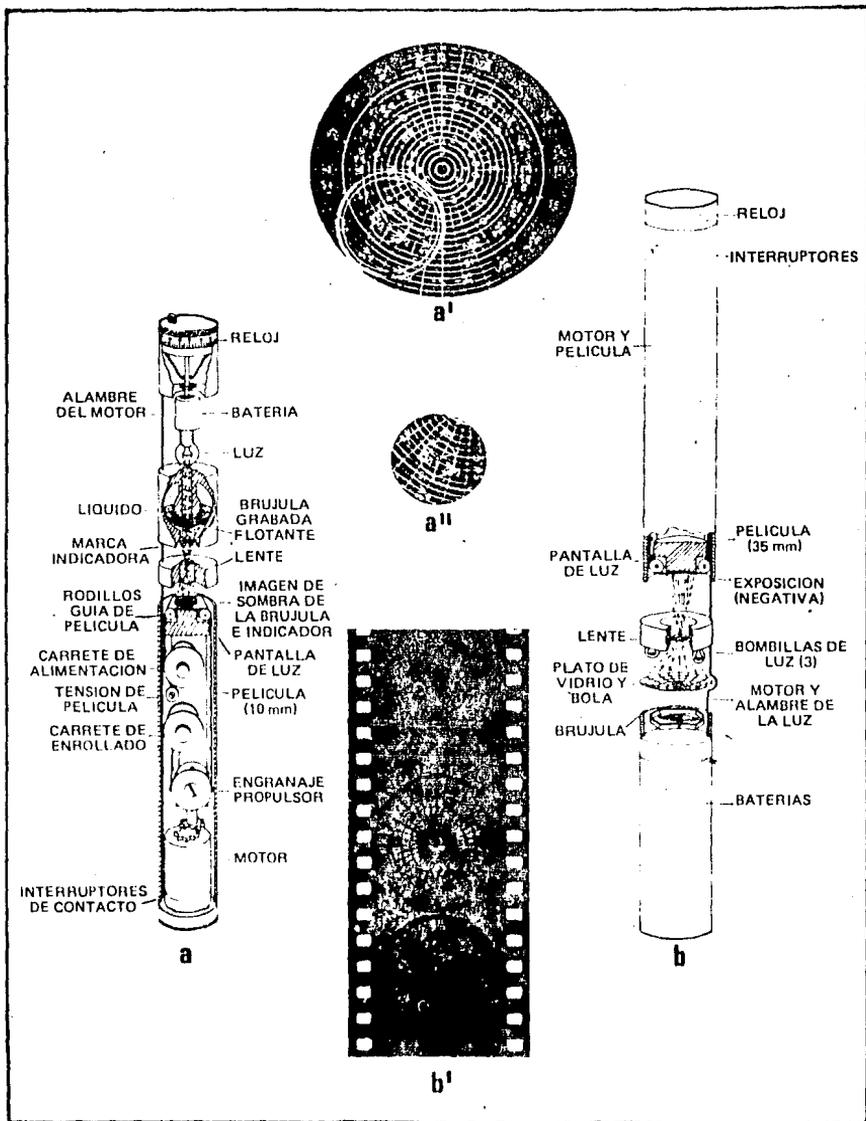


FIG.IV.4. INSTRUMENTO DE MEDICION DE DISPARO MULTIPLE

(a) Instrumento de Péndulo Líquido (a'') Registro de -  
 Péndulo líquido (b) Instrumento de Péndulo de Bola -  
 (b') Registro de Péndulo de Bola (a') Brújula de Péndulo Líquido.

Existe también un instrumento de las características anteriores de diámetro de  $1 \frac{1}{16}$ ", conocido con el nombre de instrumento miniatura de disparo múltiple (Fig.IV.5).

CARACTERISTICAS DEL INSTRUMENTO DE DISPARO MULTIPLE

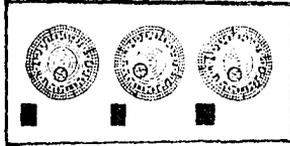
<u>DESCRIPCION</u>	<u>D.E.</u>	<u>LONG.</u>
- INSTRUMENTO DE DISPARO MULTIPLE	$1 \frac{1}{4}$ "	18"
- UNIDADES ANGULARES DE DISPARO MULTIPLE $10^\circ$ y $17^\circ$	$1 \frac{1}{4}$ "	$7 \frac{1}{4}$ "
- UNIDADES ANGULARES DE DISPARO MULTIPLE $0^\circ$ a $90^\circ$	$1 \frac{3}{4}$ "	8"
- UNIDAD ANGULAR DE DISPARO MULTIPLE $120^\circ$	$1 \frac{3}{4}$ "	8"
- CONJUNTO DEL BARRIL PARA EL INSTRUMENTO	$1 \frac{3}{4}$ "	9'

CARACTERISTICAS DEL INSTRUMENTO MINIATURA DE DISPARO MULTIPLE

<u>DESCRIPCION</u>	<u>D.E.</u>	<u>LONG.</u>
- INSTRUMENTO MINIATURA DE DISPARO MULTIPLE	$1 \frac{1}{16}$ "	$48 \frac{3}{4}$ "
- UNIDAD ANGULAR DE $10^\circ$ y $20^\circ$	$1 \frac{1}{16}$ "	8"
- UNIDAD ANGULAR DE $0^\circ - 90^\circ$	$1 \frac{1}{16}$ "	$9 \frac{1}{2}$ "
- CONJUNTO DEL BARRIL PARA EL INSTRUMENTO	$1 \frac{3}{8}$ "	11'7"
- CONJUNTO DEL BARRIL PARA PROTECCION DEL INSTRUMENTO.	$1 \frac{3}{4}$ "	13'6"

Los instrumentos descritos anteriormente utilizan como se describió, una brújula magnética que apunta al Polo Norte Magnético de la tierra.

POLICULA



SECCION AMPLIFICADA DE 8 MM DE DISPARO MULTIPLE

FOTO NO.	DESCRIPCION
1	Estuche p./Transportar el Instrumento
2	Unidad Angular Universal de 0-10°
3	" " " " 0-20°
4	" " " " Combinada de 0-90°
5	Compartimiento de la Batería
6	Conjunto del Reloj Electrónico
7	" " Cuerpo del Instrumento
8	Equipo de Revelado
9	Batería
10	Foco
11	Carrete de la Película
12	Solución Reveladora Dyl <sup>1</sup> (1/4 galón)
13	Compartimiento de la película c/4 Carretes
14	Rejilla de la Película
15	Llave de Tuercas de la Sección Ligera
16	Reloj de Superficie
17	Llave de Tuercas para el Tubo de las Lentes
18	Avión tipo C para el Barril Protector
19	Botón de Reflejo Positivo de Barril (00 pies)
20	Proyector y Estuche para Transportarlo
21	Bolsa para Efectuar el Revelado

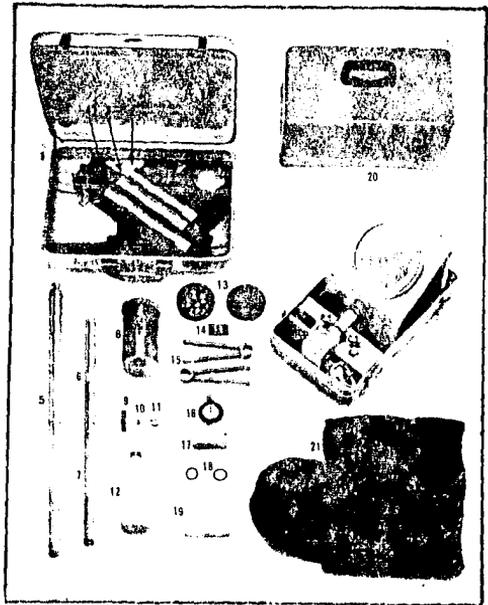


FIG. IV.5 INSTRUMENTO MINIATURA DE DISPARO MULTIPLE

Pero éste no coincide con el Polo Norte Geográfico. El - Polo Norte Magnético está a varios cientos de kilómetros al Sur del Polo Norte Geográfico, en dirección a la - Bahía de Hudson. Por lo tanto, el registro del rumbo en el disco deberá ajustarse para obtener una lectura del - rumbo verdadero.

La diferencia entre las lecturas del Norte verdadera y - el Norte Magnético se llama DECLINACION. La Declinación - varía de acuerdo con la localización del punto donde se - efectúa la inspección en relación con los Polos Nortes - Magnético y Geográfico.

Existen ya cartas Isogónicas; esto es, mapas que muestran las líneas a lo largo de las cuales la declinación es la - misma en todos los puntos (Fig.IV.6.A y B).

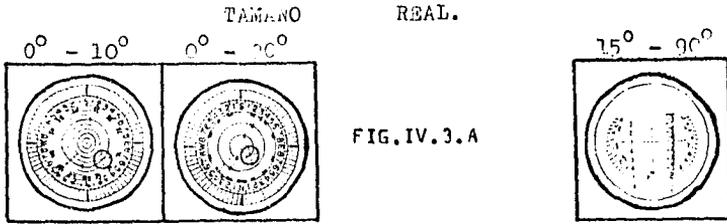
La corrección por declinación magnética es la siguiente:

<u>SI EL DISCO</u>	<u>(DECLINACION ESTE)</u>	<u>(DECLINACION OESTE)</u>
<u>DA LECTURA</u>		
NE	SUME a la lectura	RESTE de la lectura
SE	RESTE de la lectura	SUME a la lectura
SW	SUME a la lectura	RESTE de la lectura
NW	RESTE de la lectura	SUME a la lectura

#### IV.2. GIROSCOPIOS

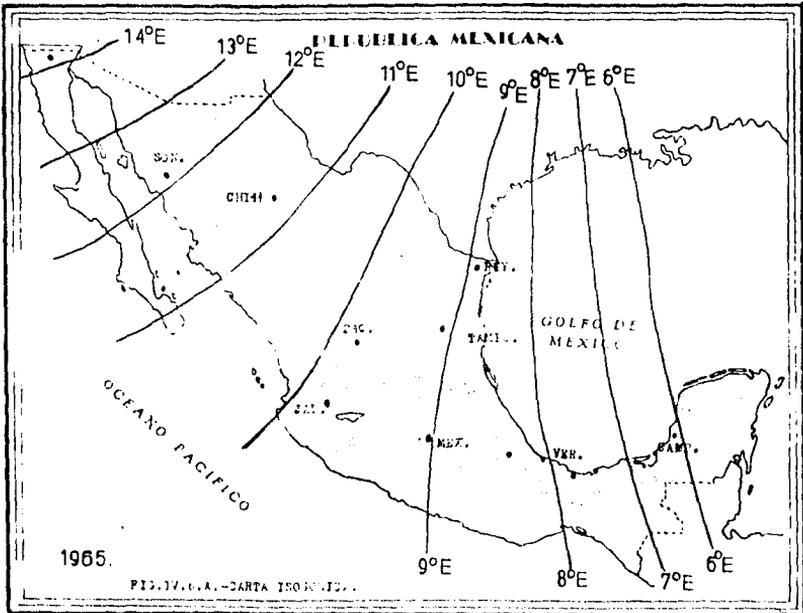
Para eliminar completamente los problemas que causa la in - terferencia magnética de los inclinómetros con aguja iman - tada, se empezó a emplear y a desarrollar la técnica de la aguja giroscópica. La aguja giroscópica es un instrumento - electromecánico cuyo funcionamiento se basa en el aprovecha - miento de la precisión y de la inercia o rigidez giroscópi - ca.

LECTURA DEL DISCO DE DISPARO UNICO.



La inclinación (ángulo de desviación) en los discos de disparo único es de 5° 00' y la dirección magnética (rumbo) es N 45° 00' E

La inclinación (ángulo de desviación) en este disco es de 30° 00' y la dirección magnética (rumbo) es N 45° 00' E



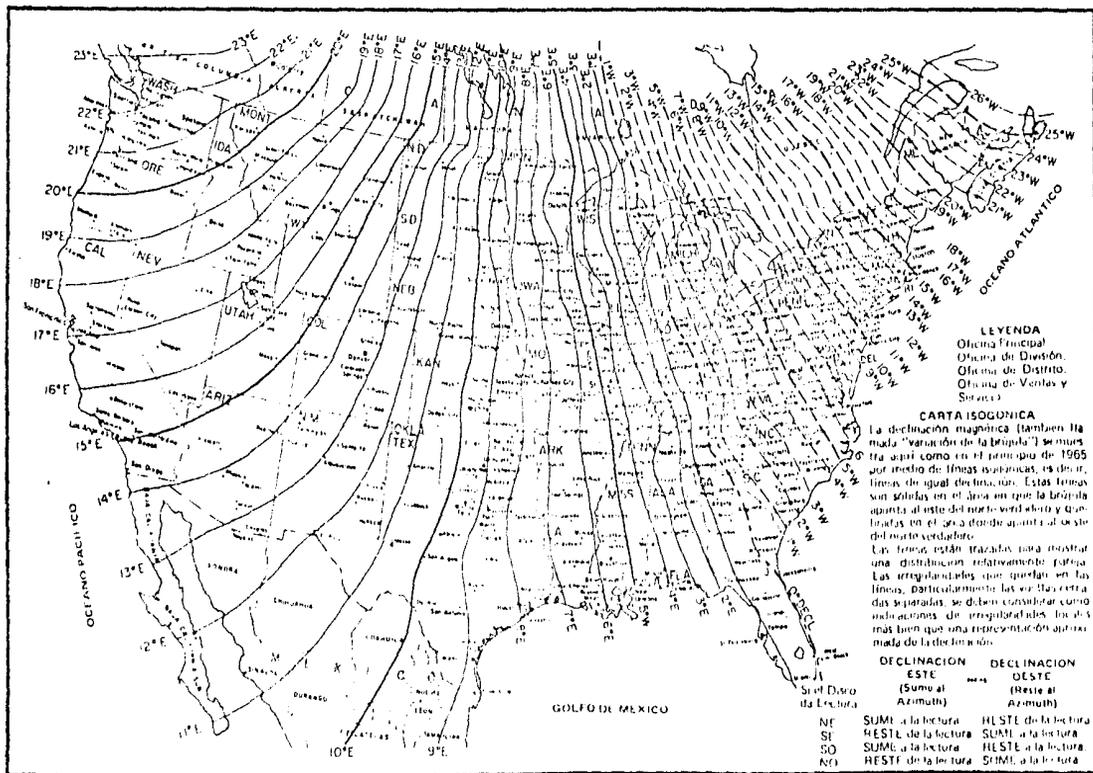


FIG. IV. Variaciones de declinación en los Estados Unidos

6.B

La rigidez giroscópica es la tendencia que presentan los giroscopios a mantener su eje constante, paralelo a sí mismo, cuando se le mantiene girando y en suspensión pendular (Fig. IV.7).

#### IV.2.A GIROSCOPIO DE DISPARO UNICO

El instrumento estandar de disparo único, proporciona un método preciso para orientar las herramientas empacadoras - u otros conjuntos de perforación que requieren orientación direccional (Fig.IV.8).

El instrumento no es afectado por los campos magnéticos, - ni se afecta la precisión del mismo, por la cercanía del fierro de la subestructura del equipo de perforación.

La película del disco de disparo único puede ser revelada - y leída, tan pronto como el instrumento es recuperado en la superficie del equipo, al igual que la elaboración y - graficación de los cálculos y resultados. Se elimina con este tipo de instrumentos la necesidad de orientar la tubería de perforación, mientras ésta va dentro del agujero.

Eje del Balancín Exterior

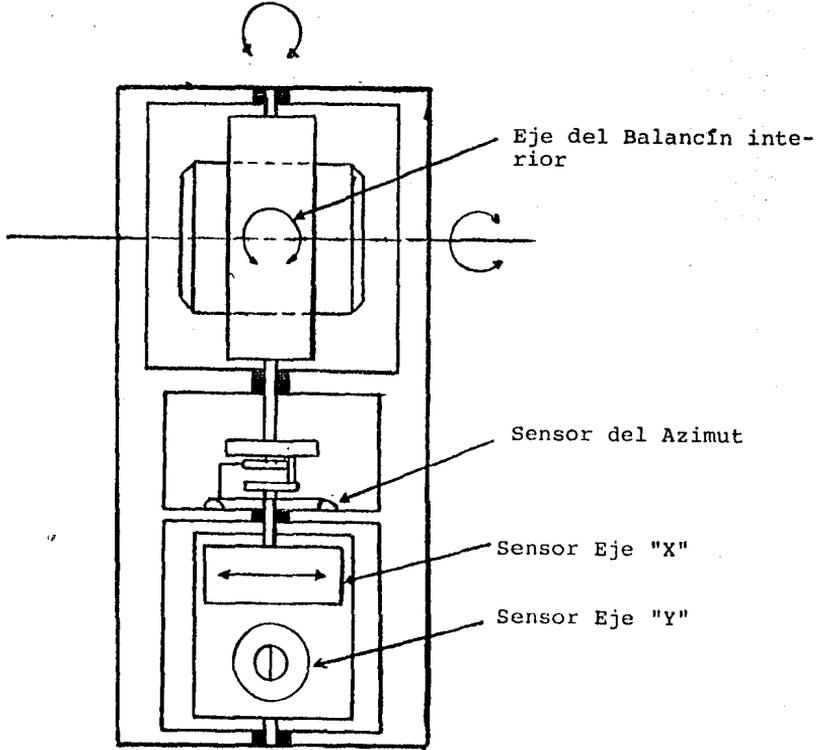
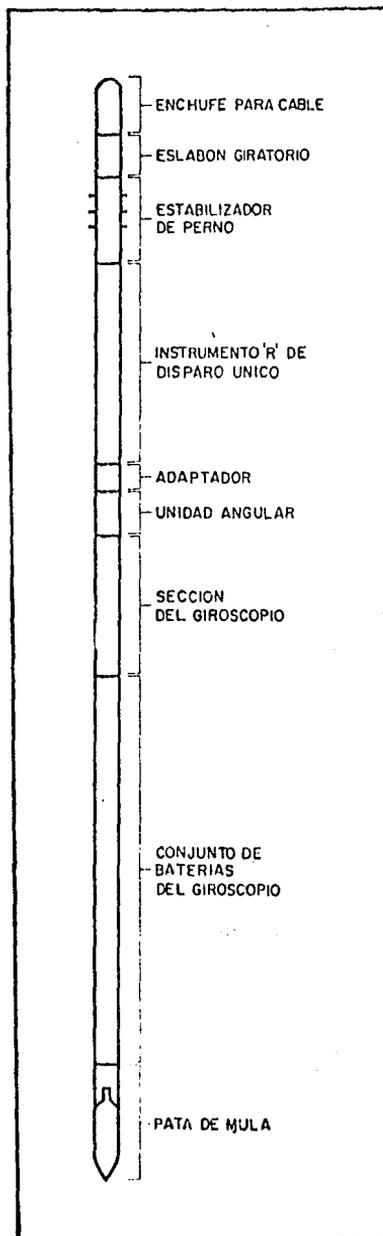


FIG. IV.7 GIROSCOPIO

DESCRIPCION	DIAMETRO
Enchufe para Cable	1-5/8"
Eslabón Giratorio	1-5/8"
Estabilizador de Pernos	1-5/8"
Instrumento R' de Disp. Unica	1-1/4"
Adaptador	1-1/2"
Unidad Angular de 12°	1-1/2"
" " " 24°	1-1/2"
" " " 34°	1-1/2"
Conj del Barril del Instrumento	2"
Sección del Giroscopio	2"
Secc de la Batena del Giroscopio	2"
Conj de la Pata de Mula	2"

FIG. IV.8 GIROSCOPIO DE DISPARO UNICO



## CARACTERISTICAS DEL GIROSCOPIO DE DISPARO UNICO

<u>DESCRIPCION</u>	<u>DIAMETRO</u>
ENCHUFE PARA CABLE	1 5/8"
ESLABON GIRATORIO	1 5/8"
ESTABILIZADOR DE PERNOS	1 5/8"
INSTRUMENTO DE DISPARO UNICO	1 1/4"
ADAPTADOR	1 1/2"
UNIDAD ANGULAR DE 12°	1 1/2"
UNIDAD ANGULAR DE 24°	1 1/2"
UNIDAD ANGULAR DE 34°	1 1/2"
CONJUNTO DEL BARRIL DEL INSTRUMENTO	2"
SECCION DEL GIROSCOPIO	2"
SECCION DE LA BATERIA DEL GIROSCOPIO	2"
CONJUNTO DE LA PATA DE MULA	2"

### IV.2.B GIROSCOPIO DE DISPARO MULTIPLE

Este instrumento giroscópico, proporciona un medio para -  
efectuar un registro direccional en forma continua, sobre -  
una película de 10 mm , en agujeros descubiertos o con tube-  
ría de revestimiento. Se usa una unidad angular del tipo -  
de plomada para medir la inclinación del agujero. (Fig.IV.9)

El giroscopio no es afectado por los campos magnéticos, to-  
ma el lugar de una brújula magnética y realiza la misma fun-  
ción que ella. El instrumento puede correrse con el cable -  
de sondeo, con una línea de acero o puede ser soltado den-  
tro del conjunto de perforación, llevando centradores en el  
cuerpo del instrumento. No puede dejarse caer libremente --  
dentro del agujero, debido a que la fuerza del impacto daña  
ría severamente al giroscopio. Dependiendo de la presión -  
hidrostática que se tenga; puede usarse el instrumento de -  
2" ó 3" de diámetro exterior (Fig.IV.10).

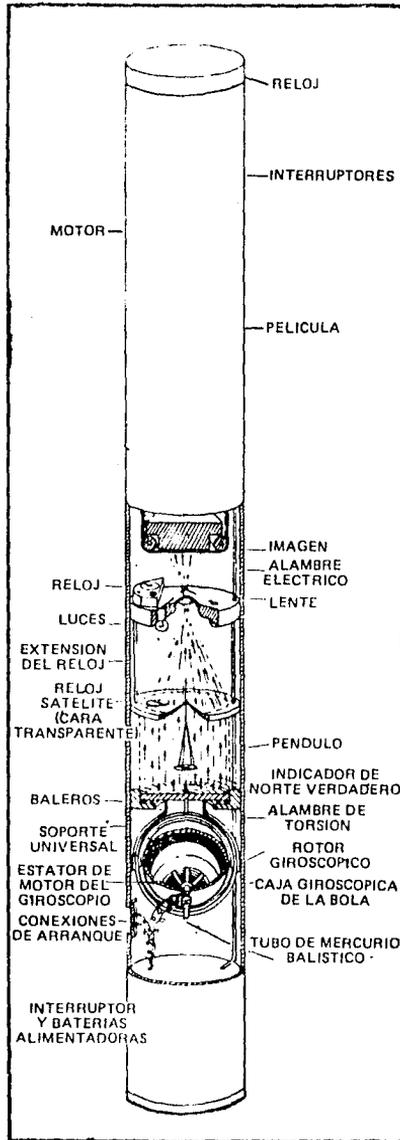


FIG. IV.9 INSTRUMENTO GIROSCOPIO DE DISPARO MULTIPLE

## VENTAJAS

- A. Mediciones direccionales en agujeros cementados o sin revestir.
- B. No es afectado por los campos magnéticos.
- C. Resultados exactos en tuberías de revestimiento y en tuberías de producción.
- D. Adaptable a varios tamaños de agujeros o tuberías de revestimiento.
- E. No só requieren cables conductores.
- F. En el mismo lugar donde se hace la medición se obtienen los resultados.
- G. Se dispone, a solicitud, de resultados obtenidos por computadora.

DESCRIPCION	DIAMETRO
Conjunto del Barril del Instrumento	2 1/2"
" de la Sección del Giroscopio	3"
" " " de la Batería	3"
" " Choque al Descenso	3"
Unidad Angular de 0-12°	1 1/4"
" " " 0-24°	1 1/2"
" " " 0-34°	1 3/4"
" " " 0-70°	2"

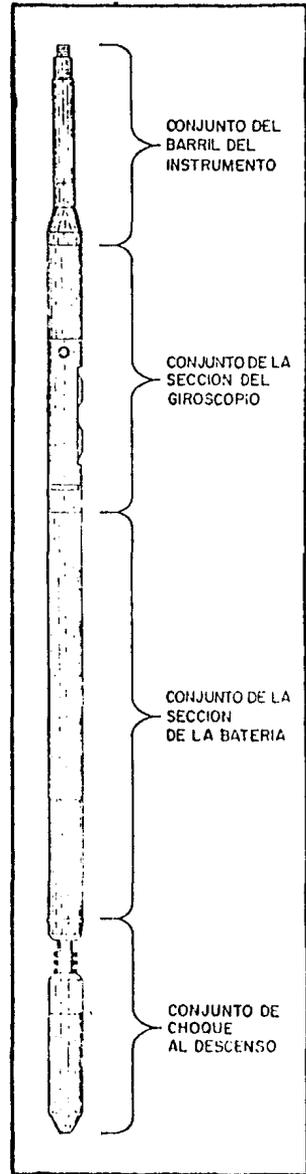


FIG. IV.10 EQUIPO COMPLETO DEL GIROSCOPIO DE DISPARO MULTIPLE

## CARACTERISTICAS DEL GIROSCOPIO DE DISPARO MULTIPLE

<u>DESCRIPCION</u>	<u>DIAMETRO</u>
CONJUNTO DEL BARRIL DEL INSTRUMENTO	2 1/8"
CONJUNTO DE LA SECCION DEL GIROSCOPIO	3"
CONJUNTO DE LA SECCION DE BATERIA	3"
CONJUNTO DE CHOQUE AL DESCENSO	3"
UNIDAD ANGULAR DE 0°-12°	1 3/4"
UNIDAD ANGULAR DE 0°-24°	1 3/4"
UNIDAD ANGULAR DE 0°-34°	1 3/4"
UNIDAD ANGULAR DE 0°-70°	2"

### IV.2.C CAMISA PROTECTORA DE ALTAS TEMPERATURAS

Se utiliza para obtener mediciones aceptables en pozos con temperaturas hasta de 260°C (500°F). La camisa protectora para usos en altas temperaturas, proporciona un medio de reflejar el calor y proteger el instrumento de medición, a la película, mientras se efectúan los registros (Fig. IV.11).

La camisa protectora resiste temperaturas hasta de 260°C, por un período de cuatro horas.

### IV.3 HERRAMIENTAS DE ORIENTACION RIGIDA (D.O.T.)

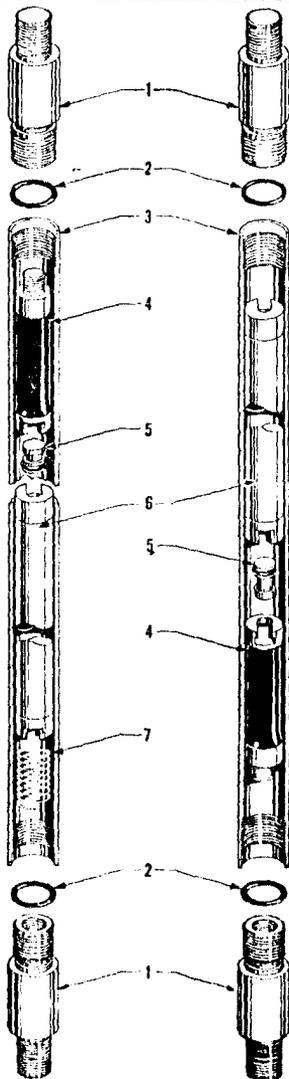
Es un instrumento electrónico de lo más avanzado y de mayor precisión que los mencionados anteriormente, ya que con él se obtienen las lecturas en la superficie, de la inclinación y rumbo del pozo, además indica la orientación de los motores que se usan para desviar y controlar la desviación (Fig. IV.12).

El sistema D.O.T., permite observar en forma continua el rumbo de la barrena, la dirección del pozo y el ángulo de desviación, a medida que cambian.

### CONJUNTO DEL BARRIL DE ALTA TEMPERATURA

DE DESCENSO EN EL FONDO

DE DESCENSO EN LA  
PARTE SUP. DEL LASTRA-  
BARRENA NO-MAGNETICO



### CONJUNTO DE LA CAMISA PROTECTORA

DISPARO UNICO

DISPARO MULTIPLE

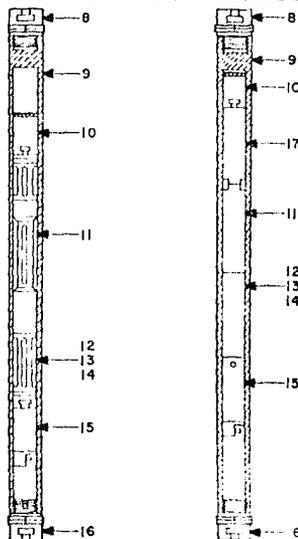


FIG. IV. 11

### CONJUNTO DEL BARRIL DE ALTA TEMPERATURA

- 1.-Tapón macho.
- 2.-Anillo tipo "O".
- 3.-Barril del instrumento.
- 4.-Amortiguador de impacto.
- 5.-Adaptador con terminal hembra.
- 6.-Conjunto de la terminal hembra.
- 7.-Resorte del fondo.
- 8.-Conjunto de la terminal hembra.
- 9.-Camisa protectora.
- 10.-Eliminador de calor superior.
- 11.-Cuerpo del instrumento.
- 12.-Unidad angular de  $10^{\circ}$ .
- 13.-Unidad angular de  $20^{\circ}$ .
- 14.-Unidad angular de  $15^{\circ} - 90^{\circ}$ .
- 15.-Eliminador de calor inferior.
- 16.-Tapón orientador.
- 17.-Sección de la batería.

Este sistema consta de tres unidades separadas, que trabajan en conjunto para suministrar datos precisos, los cuales son:

PROBADOR A CABLE.- Esta unidad es la recolectora de la información del sistema. Se baja al pozo con un cable conductor - sencillo y se sienta en el conjunto orientador, debajo de un tubo lastrabarrenas no-magnético. El probador contiene varios sistemas electrónicos necesarios para detectar las condiciones del pozo desviador y transmitir la información a la superficie.

COMPUTADOR DE SISTEMA.- El computador organiza, combina y efectúa cálculos a partir de las señales que recibe del probador y las convierte en información útil. El sistema además vigila más de 15 señales del probador para verificar las condiciones del cable y el funcionamiento de los circuitos de la herramienta.

UNIDAD DE LECTURA.- Esta unidad del sistema se sitúa en el piso del equipo de perforación, cerca de la consola del perforador, e indica en forma continua el rumbo magnético del pozo, azimut de la herramienta desviadora y el ángulo de inclinación.

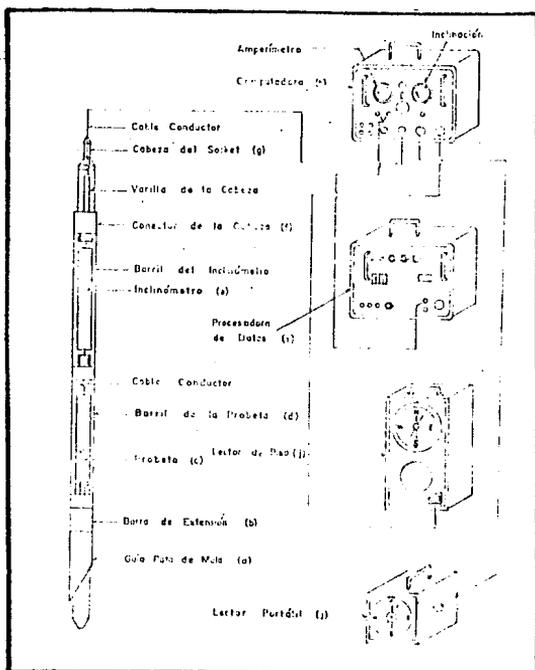


FIG. IV.12 HERRAMIENTA DE ORIENTACION RIGIDA (D.O.T.)

## C A P I T U L O V

### MÉTODOS PARA DISEÑAR TRAYECTORIAS DE POZOS DIRECCIONALES.

La perforación ha puesto énfasis en el incremento del costo - de la misma y en la importancia de conocer donde está localizado actualmente el fondo del pozo, y ésto ha originado un incremento en la variedad de métodos de cálculos direccionales.

Los métodos Tangencial, Angulos Promedio y Trapezoidal, han sido desarrollados para un intervalo entre dos estaciones consecutivas de registro, trazado como un segmento de recta, con el fin de simplificar el cálculo de las coordenadas de un punto. En esos casos la precisión obtenida es función de la amplitud del intervalo y será óptima cuando el registro se efectúe a profundidades muy próximas, lo cual aumenta sensiblemente los costos de perforación.

El método de Radio de Curvatura y el método Helicoidal (1), - son los primeros que toman en cuenta la trayectoria real del pozo, por lo que los resultados obtenidos con éstos son más - exactos que los anteriores.

En el presente trabajo sólo se discutirán dos métodos, los -- cuales han sido seleccionados por su aplicación tanto en el - gabinete como en el campo; dichos métodos son el de Radio de - Curvatura y el de Angulos Promedio, respectivamente.

## V.I METODO DE ANGULOS PROMEDIO.

Este método es muy similar al método Tangencial Convencional, sólo que es aproximadamente diez veces más exacto. El cálculo entre dos estaciones de estudio consecutivas está basado en los ángulos de inclinación ( $I_n$ ) y el rumbo ( $B_n$ ) de ambas estaciones.

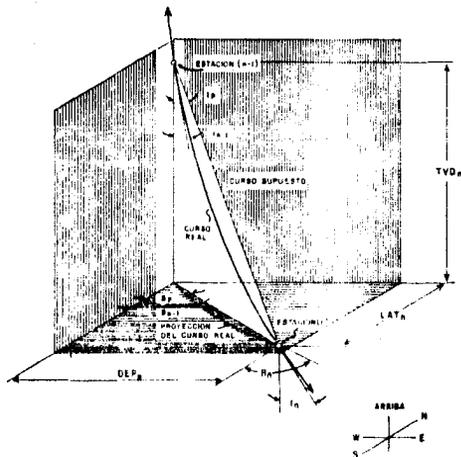
Al igual que el método Tangencial, este método considera que la distancia entre dos estaciones consecutivas en la trayectoria del pozo es una recta, que une las dos estaciones de registro.

La Fig. (V.1.A) muestra un segmento de la trayectoria de un pozo ubicado en el IV cuadrante (SE), los valores de  $I_p$  y de  $B_p$  con que se realizan los cálculos, son un simple promedio de la inclinación en los dos puntos ( $I_{n-1}$ ) e ( $I_n$ ), y un simple promedio aritmético de los rumbos en los puntos ( $B_{n-1}$ ) y ( $B_n$ ) respectivamente, siendo esto lo único que diferencia a este método del anterior, ya que los demás cálculos se hacen de manera similar.

Mientras más pequeños sean los intervalos de registro y la velocidad de cambio de ángulo reducida y constante, será menor el error en el cálculo de las coordenadas, ya que la diferencia entre la curva de la trayectoria real del pozo y la cuerda supuesta será despreciable.

Este método se puede aplicar fácilmente en el campo, -

# METODO DEL ANGULO PROMEDIO



$$\begin{aligned}
 DEP_n &= L_c \text{ Sen } \bar{I}_p \text{ Cos } \bar{B}_p \\
 LAT_n &= L_c \text{ Sen } \bar{I}_p \text{ Cos } \bar{B}_p \\
 TVD_n &= L_c \text{ Cos } \bar{I}_p \\
 \bar{I}_p &= \frac{I_1 + I_n}{2} \\
 \bar{B}_p &= \frac{B_1 + B_n}{2}
 \end{aligned}$$

FIG. V-1-A

ya que no requiere del manejo de matemáticas sofisticadas que el perforador o técnico no puedan comprender.

#### ECUACIONES GENERALES DEL METODO DE ANGULOS PROMEDIO.

Básicamente se emplean las mismas ecuaciones que son -- utilizadas en el método Tangencial Convencional:

$$DEP = Lc \cdot \text{Sen} (I_p) \cdot \text{Sen} (B_p) \cdot$$

$$LAT = Lc \cdot \text{Sen} (I_p) \cdot \text{Cos} (B_p) \cdot$$

$$TVD = Lc \cdot \text{Cos} (I_p) \cdot$$

Donde:

$$I_p = \frac{I_{n-1} + I_n}{2}$$

$$B_p = \frac{B_{n-1} + B_n}{2}$$

DEP = Coordenadas al E,W en m.

LAT = Coordenadas al N,S en m.

TVD = Profundidad vertical en M.

#### V.2 METODO DE RADIO DE CURVATURA.

En el método de Radio de Curvatura, cada segmento está-- definido por los datos obtenidos en ambos extremos del-- segmento o porción perforada del pozo; el agujero se --

# METODO DE RADIO DE CURVATURA

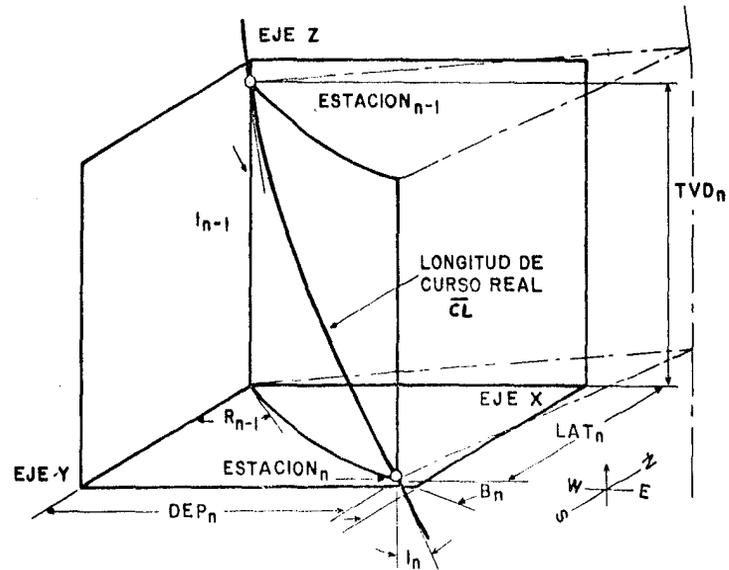


FIG. V-1

supone una curva tanto en proyección horizontal como vertical. Los datos de los registros muy a menudo no reflejan los cambios en el ángulo de inclinación y - en el rumbo de dos estaciones de registro sucesivas. Los segmentos de línea curva se sobreentienden mejor cuando los ritmos de incremento y decremento de los ángulos de inclinación se expresan en grados por longitud perforada (cada 30 m ó 100 pie aproximadamente). Aún los pozos verticales a menudo muestran curvatura. Por tanto, parece razonable considerar los - incrementos de la profundidad medida entre las estaciones de registro, como incremento de curvas.

Un método de Radio de Curvatura, desarrollado para - planear y analizar los pozos orientados, puede ser - usado para efectuar el cálculo de sus trayectorias.

En la Fig. (V.1.), la curva del pozo está presentada por el segmento  $\overline{CL}$ ;  $I_{n-1}$  y  $I_n$ , son los ángulos de inclinación al punto  $n-1$  y  $n$  respectivamente. Por definición el ritmo de cambio en  $I$  es la diferencia entre  $I_n$  y  $I_{n-1}$  dividido entre la longitud  $\overline{CL}$ . El radio de curvatura en el plano vertical es el recíproco del ritmo de cambio en  $I$  con el ritmo de cambio expresado en radianes por unidad de longitud del segmento medido.

La longitud verdadera TVD es igual al radio de curvatura multiplicada por la diferencia entre el  $\text{SEN } I_n$  y  $\text{SEN } I_{n-1}$ . La longitud  $A_n$  es igual al radio de curvatura por la diferencia entre el  $\text{COS } I_{n-1}$  y  $\text{COS } I_n$ .  
(FIG.V.3)

PROYECCION DE LA TRAYECTORIA  
EN UN PLANO VERTICAL

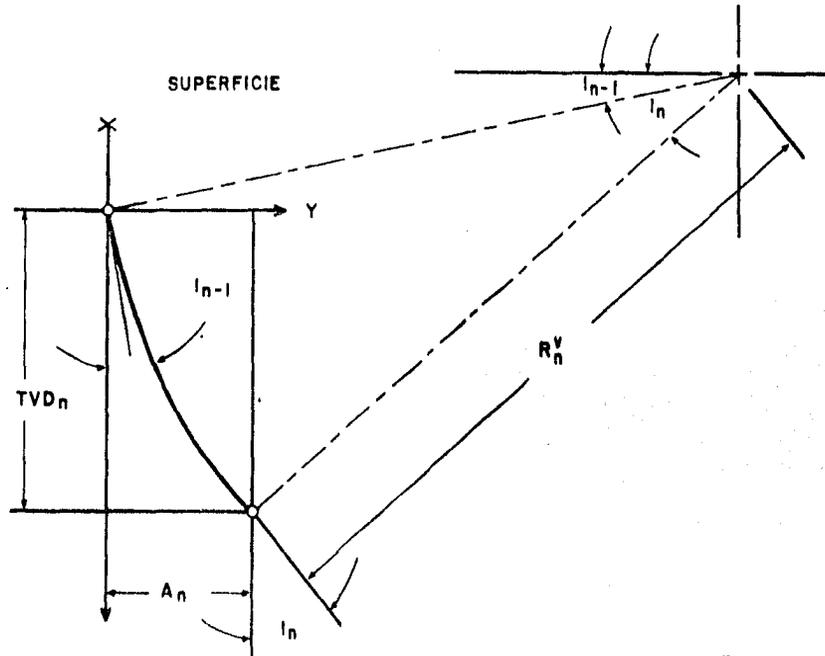


FIG. X-3

Los errores en los cálculos de la profundidad vertical y del desplazamiento horizontal ejecutados con los métodos Tangencial, Trapezoidal y Angulos promedio son eliminados por el método de Radio de Curvatura.

Aunque la longitud verdadera de  $A_n$  o desplazamiento horizontal, está definido por el radio de curvatura, esta longitud puede ser curva. El ritmo de cambio en B es la diferencia entre  $B_n$  y  $B_{n-1}$  dividido por la longitud de  $A_n$ .

El radio de curvatura en el plano horizontal, es el recíproco del ritmo de cambio en B expresado en radianes por unidad de longitud del segmento medido. En la fig. (V.4), la distancia al Norte o Sur, es igual al radio de curvatura multiplicado por la diferencia entre  $SEN B_n$  y  $SEN B_{n-1}$  y la coordenada DEP hacia el Este u Oeste es igual al radio de curvatura por la diferencia entre  $COS B_n$  y  $COS B_{n-1}$ . La aplicación del método de Radio de Curvatura no está limitada a porciones de segmento que se incrementan o decrecientan. El concepto es igualmente válido para las porciones verticales e inclinadas y cuando los segmentos son curvos tanto en un plano como en ambos (vertical y horizontal).

#### DEDUCCION DE LAS ECUACIONES GENERALES DEL METODO DE RADIO DE CURVATURA.

Las coordenadas de un punto en el espacio, al utilizar el método de Radio de Curvatura, se obtienen de proyecciones de un segmento de curva en un plano horizontal -

PROYECCION DE LA TRAYECTORIA  
EN UN PLANO HORIZONTAL

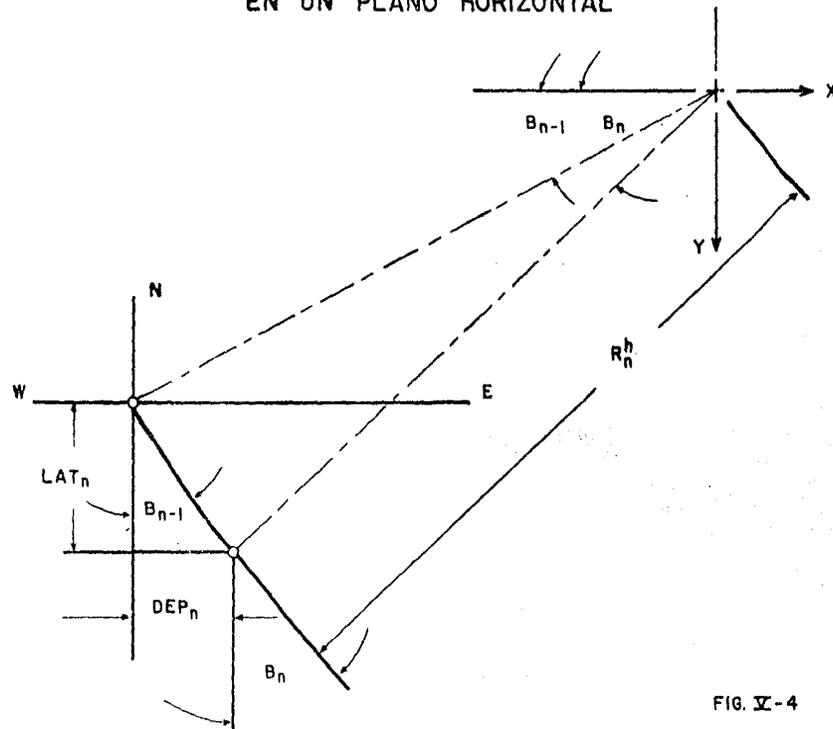


FIG. X-4

y otro vertical.

La Fig. (V.3.), corresponde al desarrollo del área del cilindro para el cálculo de la profundidad verdadera.

Por definición la velocidad de cambio de ángulo es:

$$I = \frac{I_n - I_{n-1}}{\overline{CL}}$$

Y el radio de curvatura en un plano vertical es igual al recíproco de la velocidad de cambio de ángulo, expresado en radianes por unidad de longitud.

$$R'_n = \frac{1}{I} \times \frac{180}{\pi}$$

La profundidad vertical verdadera está dada por la siguiente expresión:

$$TVD = R'_n ( \text{SEN } I_n - \text{SEN } I_{n-1} ) \dots\dots\dots(1)$$

Y el desplazamiento  $A_n$  por:

$$A_n = R'_n ( \text{COS } I_{n-1} - \text{COS } I_n )$$

De manera similar , analizando la proyección del segmento de curva en un plano horizontal Fig. (V.4), se tiene:

$$B = \frac{B_n - B_{n-1}}{A_n}$$

Donde B es la velocidad de cambio de ángulo (Rumbo). - Por definición, el radio de curvatura en el plano horizontal será:

$$R_n^h = \frac{1}{B} \times \frac{180}{\pi}$$

Y mediante relaciones Trigonométricas se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$LAT = R_n^h (\text{SEN } B_n - \text{SEN } B_{n-1}) \dots\dots\dots(2).$$

Para el cálculo del desplazamiento respecto al eje ( Y ), Y :

$$DEP = R_n^h (\text{COS } B_n - \text{COS } B_{n-1}) \dots\dots\dots(3).$$

Para el desplazamiento en el eje de las ( X ) .

La ecuación (6) es propuesta por Patrick Dailey para el cálculo del incremento de ángulo (Rumbo) por unidad de longitud, pero no debe aplicarse en forma general, -- pues debe tenerse en cuenta los posibles cambios de cuadrante, que determinarían la magnitud del ángulo.

Ya que el rumbo y la dirección se conocen en dos estaciones consecutivas de registro, se establecieron las ecuaciones que se muestran a continuación para calcular la variación total del rumbo en un intervalo dado:

$$B = \frac{(1.57 - B_n) + (1.57 - B_{n-1})}{A_n} \dots\dots\dots (4)$$

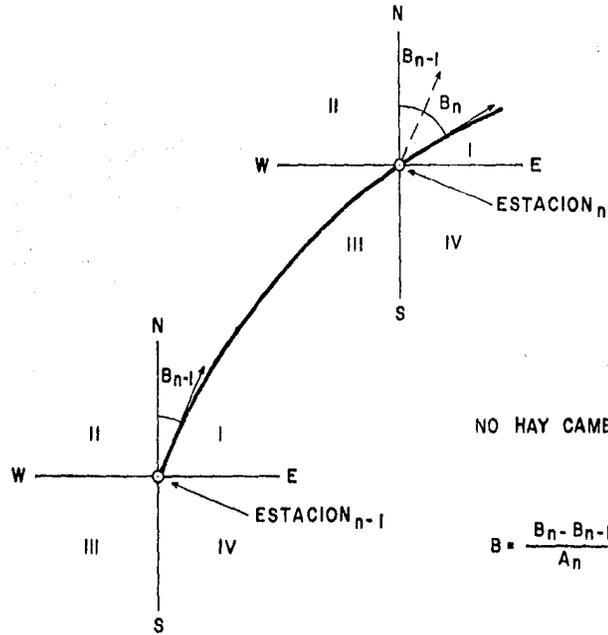
$$B = \frac{B_n + B_{n-1}}{A_n} \dots\dots\dots (5)$$

$$B = \frac{B_n - B_{n-1}}{A_n} \dots\dots\dots (6)$$

Ver Figs. (V.5, 6 y 7).

La tabla I indica bajo que condiciones se aplica cada ecuación.

# MAGNITUD DE B

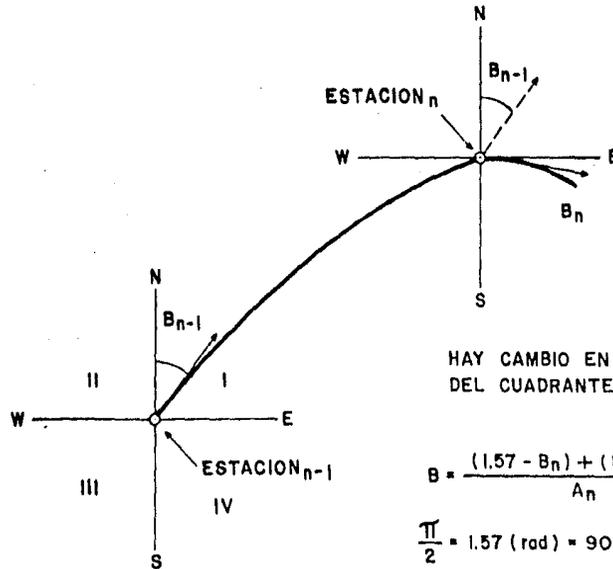


NO HAY CAMBIO DE CUADRANTE

$$B = \frac{B_n - B_{n-1}}{A_n}$$

FIG. V-5

# MAGNITUD DE B



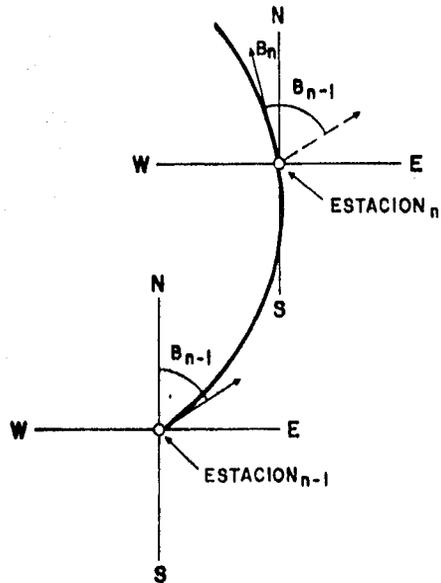
HAY CAMBIO EN LA TRAYECTORIA  
DEL CUADRANTE I AL IV

$$B = \frac{(1.57 - B_n) + (1.57 - B_{n-1})}{A_n}$$

$$\frac{\pi}{2} = 1.57 \text{ (rad)} = 90 \text{ (grados)}$$

FIG. Y-6

MAGNITUD DE B



LA TRAYECTORIA PASA  
DEL CUADRANTE I AL II

$$\theta = \frac{B_{n-1} + B_n}{A_n}$$

FIG. V-7

T A B L A I

CUADRANTE		ECUACION
ANTERIOR ( $B_{n-1}$ )	PRESENTE ( $B_n$ )	
I	I	6
I	II	5
I	III	5
I	IV	4
II	I	5
II	II	6
II	III	4
II	IV	5
III	I	5
III	II	4
III	III	6
III	IV	5
IV	I	4
IV	II	5
IV	III	5
IV	IV	6

### V.3 PLANEACION DE UN POZO DIRECCIONAL (METODO GRAFICO).

Cuando se decide perforar un pozo orientado, el primer paso es determinar las proyecciones tanto vertical como las dos horizontales de cada intervalo de perforación - desviada, para que al llegar a la profundidad deseada, - el objetivo se encuentre a la distancia calculada como - un punto referido a una localización en la superficie.

En la práctica el programa se prepara mediante el uso - de tablas o gráficas y el ángulo de inclinación del pozo se incrementa lo suficiente para intersectar el objetivo deseado. El ángulo de inclinación varía entre 1,1.5- 2,2.5 y 3 grados por cada treinta metros. El punto de - inicio de la desviación de un pozo orientado se planea - para iniciarse satisfactoriamente siguiendo la columna - geológica o una profundidad en donde aparezca la primera formación firme (una arena consolidada) para poder - colocar la herramienta desviadora en el pozo.

A continuación se dará la nomenclatura y los cálculos - necesarios para planear un pozo orientado. Fig. (V.1.B):

- 1.- Determinar la profundidad donde se va a iniciar la - desviación del pozo (PID) tomando en cuenta las si - guientes recomendaciones:
  - a).- Que el ángulo máximo (AM) no llegue a  $90^\circ$  .
  - b).- Que no haya formaciones suaves, con el fin de - evitar problemas de derrumbes, pérdidas de lo - dos o pegaduras de tuberías.
  - c).- Que no se toquen las tuberías de revestimiento

# VISTAS DE UN POZO DIRECCIONAL

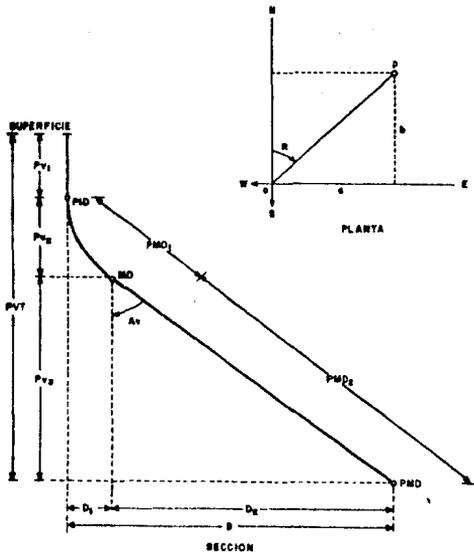


FIG. X.1-B

de los pozos vecinos terminados.

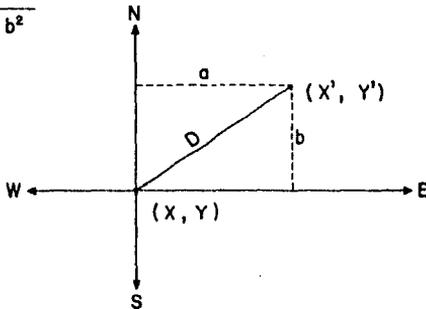
2.- Determinar la máxima desviación del pozo (MD). Se calcula por medio de la gráfica N<sup>o</sup>.1, en la que el desplazamiento (D) se obtiene mediante las coordenadas (X,Y) -- del punto donde está instalado el equipo y (X', Y') del objetivo, obteniendo las distancias "a" y "b" de la siguiente forma:

$$a = X' - X$$

$$b = Y' - Y$$

de donde:

$$D = \sqrt{a^2 + b^2}$$



Si sabemos que:

PVT = Profundidad vertical del objetivo, en m.

PV<sub>1</sub> = PID (profundidad de inicio de desviación), en m.

PV<sub>3</sub> = PVT - (PV<sub>1</sub> + PV<sub>2</sub>)

D = Desplazamiento total del objetivo, en m.

D<sub>1</sub> = Dato de la gráfica.

D<sub>2</sub> = D - D<sub>1</sub>

Entonces podemos obtener el ángulo máximo de la siguiente forma:

$$AM = \text{Tan}^{-1} \frac{D_2}{PV_3}$$

La profundidad medida direccionalmente PMD se obtiene de:

$PMD_1 = 30 \times (\text{Número de estaciones})$  o de la gráfica N°.1 .

$$PMD_2 = \sqrt{(D_2)^2 + (PV_3)^2}$$

De donde:

$$PMD = PV_1 + PMD_1 + PMD_2$$

El rumbo ( R ) se obtiene de la siguiente manera:

$$R = \text{Tan}^{-1} \frac{b}{a}$$

El ángulo de inclinación es la desviación angular del pozo -- con respecto a la vertical.

El incremento del ángulo de desviación se puede expresar como el número de grados que se incrementa la inclinación del pozo cada cierto avance en la profundidad (ejem. 1.5° para cada -- treinta metros.).

La profundidad vertical verdadera (PVV) es la profundidad -- real desde la superficie comparada con la profundidad medida en el pozo.

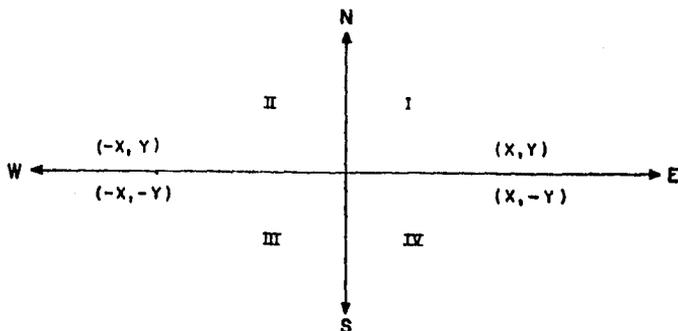
Línea de cierre, es la distancia y dirección en un plano horizontal del fondo del pozo con respecto al punto de la localización en la superficie.

El objetivo final de un pozo orientado, generalmente se elige en forma de un círculo o cuadrado con objeto de tener una tolerancia al final de la perforación del pozo. El centro de ese blanco se refiere como un punto en la superficie, la tolerancia final varía entre 15 y 30 metros de diámetro en el objetivo final.

Para determinar la situación de un punto, utilizamos dos líneas rectas de referencia que se intersectan en un ángulo de  $90^\circ$  llamados ejes coordenados.

La línea horizontal es el eje de las "X" y la línea vertical es el eje de las "Y".

Los dos ejes determinan cuatro cuadrantes que se enumeran en el orden indicado:



El punto se designa por  $(X, Y)$  siendo "X" la distancia más -- corta del punto al eje de las "Y" , (+) a la derecha y (-) a

la izquierda. "Y" es la distancia más corta del punto al eje de las "X", (+) hacia arriba y (-) hacia abajo.

#### V.4 SEVERIDAD Y PROBLEMAS QUE INVOLUCRA.

##### DEFINICION DE LA SEVERIDAD.

Severidad de la desviación, es la variación brusca del ángulo de la inclinación y/o rumbo del pozo en un intervalo de 30m (100 pies aprox.), se reporta en grados /30 m (grados - /100 pies aprox.). La experiencia indica que en pozos orientados una severidad de 3 grados /30m no causa problemas graves.

Actualmente es posible reducir las severidades de "patas de perro" excesivas mediante una estabilización adecuada y la utilización de los conjuntos rígidos en el fondo (ver Apéndice A), siempre que éstos sean necesarios, ya que de no hacerlo, pueden formarse severas "patas de perro" que traerán consigo una serie de problemas como los que se verán más adelante y que hacen necesario rimar el pozo a límites tolerables o en el peor de los casos, colocar un tapón de cemento y desviar el pozo.

Debido a que los registros de inclinación y rumbo se corren dentro de lastrabarreras, las mediciones llevadas a cabo se ven afectadas por la rigidez de los mismos, por lo general, los ángulos medidos serán menores a los reales y los esfuerzos a que está sometida la tubería de perforación más severos a los calculados.

## PROBLEMAS MECANICOS.

Cuando se forma en el pozo una "pata de perro" de severidad excesiva, ésta trae consigo una serie de problemas que repercuten directamente en el costo total del pozo. Los principales problemas que ocasiona son los siguientes Fig. (V.1,c)

- 1.- DAÑOS POR FATIGA.- La tubería de perforación sufre daño por fatiga al estar sujeta a un esfuerzo flexionante alternativo bastante grande. Los esfuerzos alternativos son producidos al estar rotando el tubo de perforación en la parte donde se ha formado la "pata de perro".
- 2.- FUERZA SOBRE LAS JUNTAS DE LA TUBERIA.- Al flexionarse la T.P en el intervalo donde se ha formado la "pata de perro", se produce una fuerza entre las juntas de la T. P y la pared del pozo o la T.R cuando esta fuerza es lo suficientemente grande, las juntas de la T.P se desgastan y si trabajan contra la T.R, ésta también sufre desgaste.
- 3.- DAÑOS AL EQUIPO DE PERFORACION.- La elevada torsión que se tiene al girar la sarta en la "pata de perro", puede sobrecargar los motores del equipo y el sistema de transmisión.
- 4.- AUMENTA LAS POSIBILIDADES DE RUPTURA POR TORSION, PEGADURAS DE LAS HERRAMIENTAS O T.P Y EL DESGASTE DE LA T.R.

DEDUCCION DE LA ECUACION PARA EL CALCULO DE LA PATA DE PERRO.

Sabemos que las ecuaciones paramétricas de una recta que pasa por los puntos  $P_1$  y  $P_2$  son:

FUERZAS QUE CAUSAN  
QUE SE FORMEN OJOS DE LLAVE

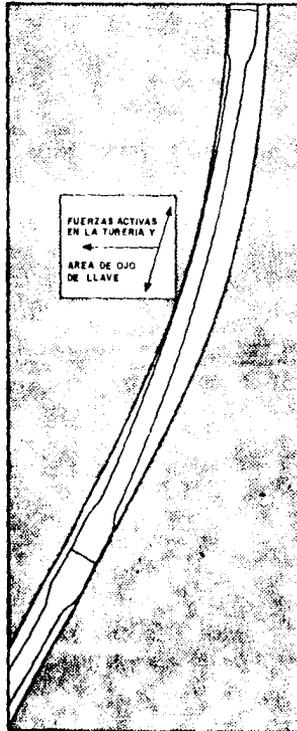


FIG. V.1-C

$$X_2 - X_1 = at \dots\dots\dots (1).$$

$$Y_2 - Y_1 = bt \dots\dots\dots (2).$$

$$Z_2 - Z_1 = ct \dots\dots\dots (3).$$

Si los números directores los determinamos a partir de la inclinación (I) y el rumbo (B) de la recta en el espacio, el factor de proporcionalidad o parámetro (t) se toma como la longitud del segmento entre los puntos P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub> entonces tenemos:

$$a = \text{Sen } I_2 \cdot \text{Sen } B_2 \dots\dots\dots (4).$$

$$b = \text{Sen } I_2 \cdot \text{Cos } B_2 \dots\dots\dots (5).$$

$$c = \text{Cos } I_2 \dots\dots\dots (6).$$

$$t = \frac{P_1 P_2}{P_2 - P_1} \dots\dots\dots (7).$$

Sustituyendo las ecuaciones (4, 5, 6 y 7) en (1, 2 y 3), tenemos:

$$X_2 - X_1 = (P_2 - P_1) \text{Sen } I_2 \text{Sen } B_2 \dots\dots\dots (8).$$

$$Y_2 - Y_1 = (P_2 - P_1) \text{Sen } I_2 \text{Cos } B_2 \dots\dots\dots (9).$$

$$Z_2 - Z_1 = (P_2 - P_1) \text{Cos } I_2 \dots\dots\dots (10).$$

Despejando los números directores tenemos lo siguiente:

$$\frac{X_2 - X_1}{P_2 - P_1} = \text{Sen } I_2 \text{Sen } B_2 \dots\dots\dots (11).$$

$$\frac{Y_2 - Y_1}{P_2 - P_1} = \text{Sen } I_2 \text{ Cos } B_2 \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$\frac{Z_2 - Z_1}{P_2 - P_1} = \text{Cos } I_2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

Estas ecuaciones definen un vector unitario  $\bar{A}$  en la dirección del segmento de la recta  $\overline{P_1 P_2}$ .

Considerando otro segmento  $\overline{P_2 P_3}$  que intersecta a  $\overline{P_1 P_2}$  formando un ángulo, tenemos:

$$\frac{X_3 - X_2}{P_3 - P_2} = \text{Sen } I_3 \text{ Sen } B_3 \quad \dots\dots\dots(14).$$

$$\frac{Y_3 - Y_2}{P_3 - P_2} = \text{Sen } I_3 \text{ Cos } B_3 \quad \dots\dots\dots(15).$$

$$\frac{Z_3 - Z_2}{P_3 - P_2} = \text{Cos } I_3 \quad \dots\dots\dots(16).$$

que definen otro vector unitario  $\bar{B}$  en la dirección de  $\overline{P_2 P_3}$ , si:

$$\bar{A} = \left[ \frac{X_2 - X_1}{P_2 - P_1} , \frac{Y_2 - Y_1}{P_2 - P_1} , \frac{Z_2 - Z_1}{P_2 - P_1} \right] \quad \dots\dots\dots(17).$$

$$\bar{B} = \left[ \frac{X_3 - X_2}{P_3 - P_2} , \frac{Y_3 - Y_2}{P_3 - P_2} , \frac{Z_3 - Z_2}{P_3 - P_2} \right] \quad \dots\dots\dots(18).$$

El ángulo que se forma entre los dos vectores  $\vec{A}$  y  $\vec{B}$  es:

$$\mathcal{V} = \cos^{-1} \left[ \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{|\vec{A}| |\vec{B}|} \right] \dots\dots\dots (19)$$

Sustituyendo las ecuaciones (17 y 18) en (19), tenemos:

$$|\vec{A}| = |\vec{B}| = 1 ; \text{ por ser vectores unitarios.}$$

$$\mathcal{V} = \cos^{-1} \left[ \frac{(X_2 - X_1)(X_3 - X_2)}{(P_2 - P_1)(P_3 - P_2)} + \frac{(Y_2 - Y_1)(Y_3 - Y_2)}{(P_2 - P_1)(P_3 - P_2)} + \frac{(Z_2 - Z_1)(Z_3 - Z_2)}{(P_2 - P_1)(P_3 - P_2)} \right] \dots\dots\dots (20).$$

Para plantear en forma general la expresión para calcular el ángulo entre dos rectas en función de sus inclinaciones y rumbos, se parte de la forma general de las ecuaciones ( 8, 9 y 10 ) que es la siguiente:

$$\begin{aligned} (X_n - X_{n-1}) &= (P_n - P_{n-1}) \text{ Sen } I_n \text{ Sen } B_n \\ (Y_n - Y_{n-1}) &= (P_n - P_{n-1}) \text{ Sen } I_n \text{ Cos } B_n \\ (Z_n - Z_{n-1}) &= (P_n - P_{n-1}) \text{ Cos } I_n. \end{aligned}$$

por tanto:

$$\frac{(X_n - X_{n-1})}{(P_n - P_{n-1})} = \text{Sen } I_n \text{ Sen } B_n \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{(Y_n - Y_{n-1})}{(P_n - P_{n-1})} = \text{Sen } I_n \text{ Cos } B_n \dots\dots\dots (22) .$$

$$\frac{(Z_n - Z_{n-1})}{P_n - P_{n-1}} = \text{Cos } I_n \dots\dots\dots (23) .$$

Sustituyendo ( 21, 22, y 23 ) en (20) tenemos:

$$\begin{aligned} \rho = \text{Cos}^{-1} & \left[ \text{Sen } I_{n-1} \text{ Sen } B_{n-1} (\text{Sen } I_n \text{ Sen } B_n ) + \right. \\ & (\text{Sen } I_{n-1} \text{ Cos } B_{n-1}) \text{ Sen } I_n \text{ Cos } B_n + \\ & \left. (\text{Cos } I_{n-1}) \text{ Cos } I_n \right] . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho = \text{Cos}^{-1} & \left[ (\text{Sen } I_{n-1} \text{ Sen } I_n ) \cdot \right. \\ & \cdot (\text{Sen } B_{n-1} \text{ Sen } B_n + \text{Cos } B_{n-1} \text{ Cos } B_n ) + \\ & \left. + \text{Cos } I_{n-1} \text{ Cos } I_n \right] \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

Dado que la severidad de la "pata de perro" entre dos estaciones ( SPP ) se define como el cambio de ángulo por cada 30.5-metros ( 100 pies aprox. ), se tiene que:

$$\text{SPP}_{n-1} , n = (30.5) \frac{\rho_{n-1} , n}{P_n - P_{n-1}} ; \left[ \text{Grados} / 30.5 \text{ m.} \right]$$

## C A P I T U L O VI

### EJEMPLOS DE APLICACION

A continuación se presenta la aplicación de los métodos desarrollados en el capítulo anterior. Se muestra un programa de computación para cada uno, mismo que permite la pronta tabulación de los resultados, el ejemplo corresponde al pozo KU 415 C/1 de la Sonda de Campeche, perforado en el año de 1985. Se aplicaron los dos métodos al mismo pozo con el fin de hacer notoria la diferencia entre los resultados obtenidos en gabinete y el método utilizado en el campo (ángulos promedio).

El pozo se perforó orientado a partir de los 600 metros, sin embargo, el desarrollo se presenta desde la superficie ya que se efectuó un registro giroscópico de 0 a 1560 m, y por esto aprovechamos la información para su estudio. Así también la planeación de un pozo orientado (Abkatún N°. 15 C/8) por medio del método gráfico.

#### VI.1 METODO DE ANGULOS PROMEDIO.

El programa ha sido desarrollado en lenguaje BASIC para una mayor interpretación, en la Fig. (VI.I) se muestra el diagrama de flujo correspondiente. Los datos han quedado almacenados en el programa fuente con la finalidad de que se visualice la cantidad y variación de los mismos.

La forma de introducción de datos es la siguiente: el primer-

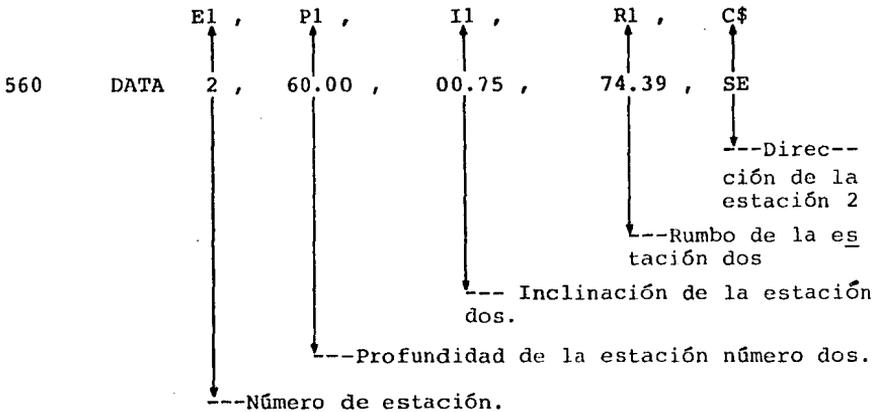
renglón corresponde a las variables:

		R	,	K\$	
		↑		↑	
550	DATA	58.36	,	NW	
↓	↓	↓		↓	
---	NOMBRE de la proposición.	---	RUMBO del objetivo en grados .	---	DIRECCION del objeti vo.
---	NUMERO de asignación.				

El segundo renglón de datos es la siguiente manera:

		E,	P,	Io ,	Ro ,	D\$	
		↑	↑	↑	↑	↑	
555	DATA	1,	30.00	, 00.00	, 00.00	NE	
		↓	↓	↓	↓	↓	
		---	Profundidad correspondiente a la estación uno.	---	Angulo de inclinación co rrespondiente a la estación- uno.	---	Dirección a la profundidad- indicada.
					---	Rumbo de la esta- ción número uno.	
		---	Número de estación.				

El tercer renglón de datos corresponde a las siguientes variables:



Los datos de las demás estaciones se introducen de igual manera; en este caso:

565 DATA 3 , 90.00 , 01.00 , 80.24 , NE

⋮

Hasta completar el número de estaciones registradas; el último número de asignación será el 999 que corresponde a la salida - y finalización del programa.

Obsérvese que los ángulos están en el sistema centesimal.

Podemos observar a continuación el programa fuente, así como - los resultados tal como aparecen impresos por la computadora,-

para poder tener una idea clara del desarrollo y aplicación del método.

## VI.2 METODO DE RADIO DE CURVATURA.

El método de Radio de Curvatura supone que:

- a).- La inclinación varía linealmente con la profundidad medida.
- b).- El rumbo varía linealmente a lo largo de la proyección de la longitud del curso, en un plano horizontal definiendo un arco de círculo.

Estas consideraciones son salvadas por el presente método de computadora, que introduce las ecuaciones del Método Tangencial y Helicoidal, logrando con esto una simplicidad y rapidez, amén de la exactitud del cálculo; en un solo programa.

También se ha introducido en el programa el cálculo de la severidad de la "pata de perro" para cada treinta metros en cada estación registrada. El programa está desarrollado en BASIC, en la Fig.(VI.2) podemos ver el diagrama de flujo correspondiente. En este programa, la forma de introducción de los datos es por separado, de tal forma que podemos ir registrándolo conforme se tomen las desviaciones en el pozo o bien al finalizar la etapa de perforación correspondiente.

Introducción de los datos:

E	PROF	INCLIN	RUMBO	CUADRANTE
1	30.00	00.00	00.00	NE

E	PROF	INCLIN	RUMBO	CUADRANTE
2	60.00	00.75	74.39	SE
3	90.00	01.00	80.24	NE
.				
.				
.				

### VI.3. PLANEACION DE UN POZO DIRECCIONAL ( METODO GRAFICO ).

Para comprender mejor lo expuesto en el capítulo anterior, - se hará el programa del pozo Abkatún N<sup>o</sup> . 15 C/8, perforado en la Sonda de Campeche y cuyos datos son:

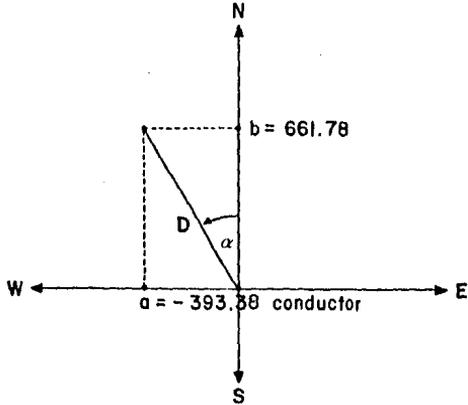
LOCALIZACION	COORDENADAS	LAMBERT
CONDUCTOR	X= 588 774.38	Y= 2 131 218.75
OBJETIVO	X= 588 381.00	Y= 2 131 880.53

#### PROGRAMA DE PERFORACION.

Se perforará verticalmente hasta 1200 m, donde se iniciará - la desviación del pozo con una razón de incremento de ángulo de 2.5° / 30 m. Si consideramos que las coordenadas del conductor son el punto de origen, se encontrará que el objetivo está situado en el cuadrante NW con su coordenada "X" negativa y su coordenada "Y" positiva.

$X' = 588\ 381.00$ $X = 588\ 774.38$	$Y' = 2\ 131\ 880.53$ $Y = 2\ 131\ 218.75$
$a = -393.38$	$b = 661.78$

Con lo anterior podemos localizar el objetivo a 661.78 m al-Norte y 393.38 m hacia el Oeste del conductor. Ahora bien, - para saber el rumbo exacto de dicho punto se recurre a las - funciones trigonométricas:



Si sabemos que:

$$\tan \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}} = \frac{a}{b} = \frac{393.38}{661.78} = 0.594427$$

$$\alpha = \tan^{-1} (0.594427) = 30^\circ 43' 42''$$

Por tanto el rumbo del pozo al objetivo será:

$$R = N 30^\circ 43' 42'' W$$

Ahora para saber su desplazamiento se recurre a la fórmula:

$$D = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(-393.38)^2 + (661.78)^2} = 769.87$$

Para concluir el programa direccional de este pozo, determinaremos el ángulo máximo y la profundidad desarrollada total a perforarse. Nos auxiliamos con la gráfica N<sup>o</sup>. 1 de incremento de ángulo de acuerdo con el programa seleccionado para el proyecto (2.5° / 30 m ) , de la siguiente forma:

Primero obtendremos la profundidad que se tiene disponible - para incrementar el ángulo, restando la profundidad de inicio de desviación (PID= 1200 m) a la profundidad vertical - total del pozo (PVT = 3217.43 m ), quedando:

$$\text{Prof. Dis.} = 3217.43 - 1200 = 2017.43 \text{ m.}$$

Con el valor anterior y con el valor del desplazamiento total del objetivo (D = 769.87) se entra a la gráfica N<sup>o</sup>. 1, - leyendo en la intersección de ellos el valor del ángulo máximo disponible que en este caso será:

$$AM = 22.5^\circ$$

y en el recuadro podemos leer para 22.5°

$$PMD_1 = 270.00 \text{ m.}$$

$$PV_2 = 263.11 \text{ m.}$$

$$D_1 = 52.34 \text{ m.}$$

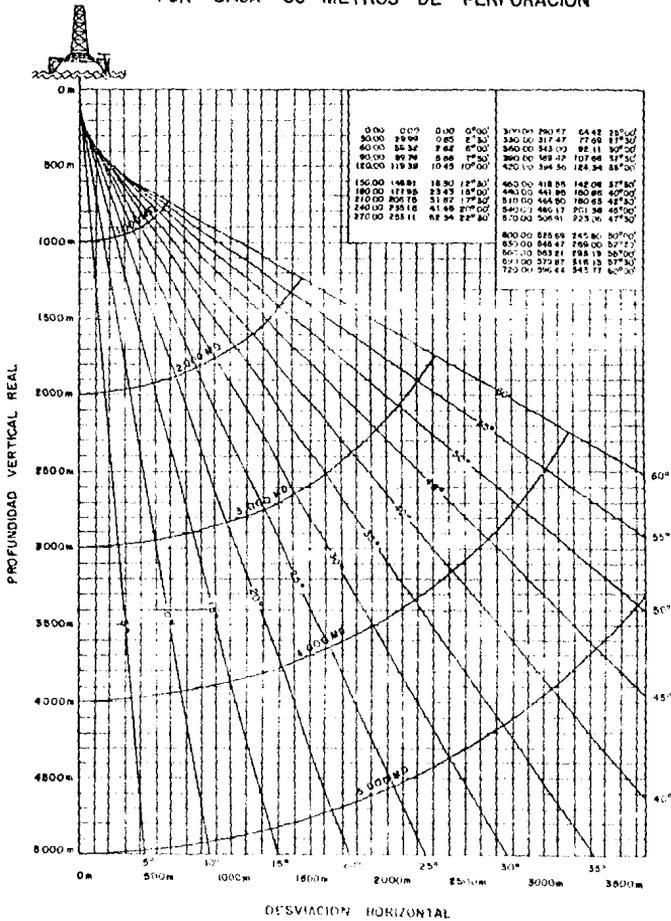
de lo anterior se tiene que:

$$PV_3 = PVT - (PID + PV_2) = 3217.43 - (1200 + 263.11) = 1754.32 \text{ m}$$

$$D_2 = D - D_1 = 769.87 - 52.34 = 717.53 \text{ m.}$$

finalmente se obtiene la profundidad medida direccionalmente (PMD), la cual será:

AUMENTO UNIFORME DE INCLINACION DE 2° 30'  
 POR CADA 30 METROS DE PERFORACION

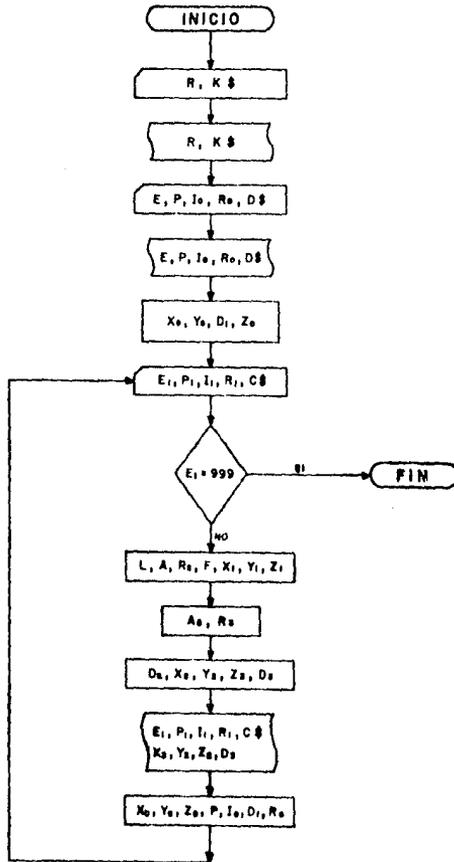


GRAFICA No. 1

$$\text{PMD} = \frac{PV_3}{\text{Cos (AM)}} = \frac{1754.32}{\text{Cos (22.5)}} = 1898.86 \text{ m.}$$

$$\text{PMD} = \text{PID} + \text{PMD}_1 + \text{PMD}_2 = 1200 + 270 + 1898.86 = 3368.86 \text{ m.}$$

FIG. VI-1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE ANGULOS PROMEDIO



NOMENCLATURA DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE ANGU  
LOS PROMEDIO ( EN ORDEN DE EJECUCION)

R = Rumbo del objetivo en grados.

k\$= Cuadrante del objetivo, NE, NW, SW o SE.

E, E<sub>1</sub> = Primera y segunda estación respectivamente.

P, P<sub>1</sub> = Profundidad en metros de la primera y segunda esta-  
ción respectivamente.

I<sub>o</sub>, I<sub>1</sub>= Inclinación en grados de la primera y segunda esta-  
ción respectivamente.

R<sub>o</sub>, R<sub>1</sub> = Rumbo en grados de la primera y segunda estación res-  
pectivamente.

D\$ = Cuadrante de la primera estación, NE, NW, SW, SE.

C\$ = Cuadrante de la segunda estación, NE, NW, SW, SE.

L = Longitud de curso en metros.

A = Angulo promedio en grados.

R = Rumbo promedio en grados.

X<sub>1</sub> = Coordenada parcial al E, W, en metros.

Y<sub>1</sub> = Coordenada parcial al N, S en metros.

Z<sub>1</sub> = Profundidad vertical parcial en metros.

X<sub>2</sub> = Coordenada final al E, W en metros.

Y<sub>2</sub> = Coordenada final al N, S, en metros.

Z<sub>2</sub> = Profundidad vertical total en metros.

A<sub>5</sub> = Azimut del objetivo en radianes.

R<sub>3</sub> = Azimut promedio en radianes.

D<sub>1</sub> = Desplazamiento inicial en m.

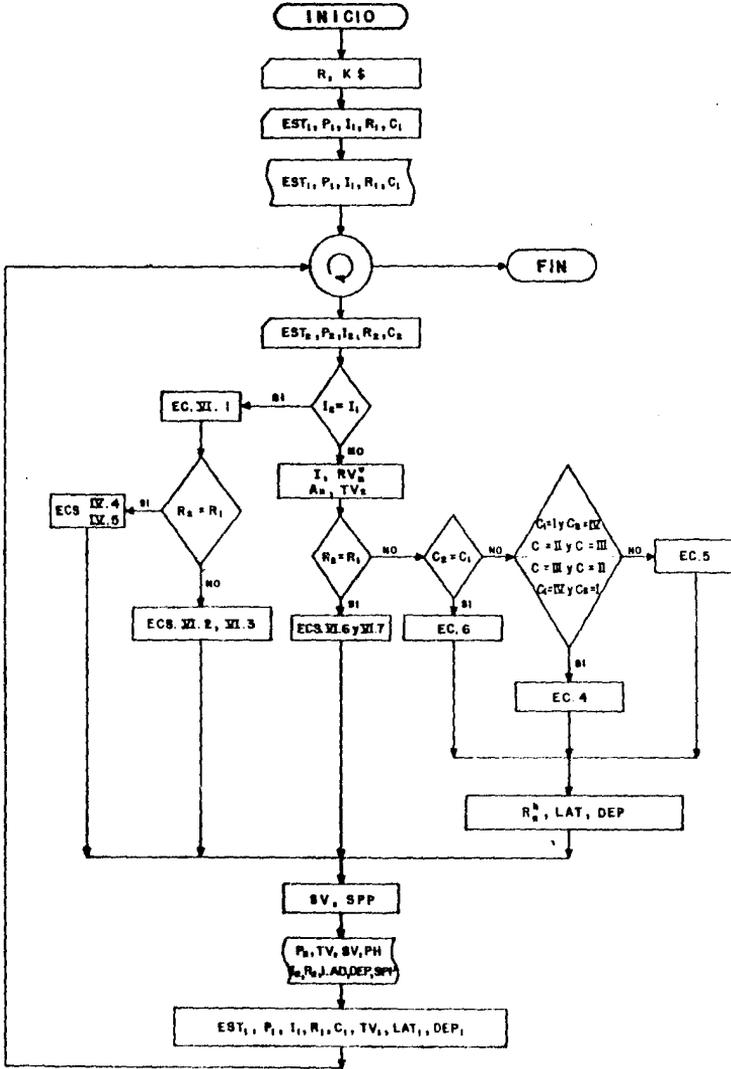
D<sub>2</sub> = Diferencia de rumbo en radianes.

D<sub>3</sub> = Desplazamiento horizontal total en m.

D<sub>4</sub> = Desplazamiento horizontal parcial en m.

F = Factor constante =  $\pi/180$

FIG. XI-2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO DE RADIO DE CURVATURA



## N O M E N C L A T U R A

DEP = Desplazamiento real en la dirección del eje (x) o coor  
denada al E, W en m o pies.

LAT = Desplazamiento real en la dirección del eje (y) o coor  
denada al N, S, en m o pies.

TVD = Profundidad real en la dirección del eje (z) en m o -  
pies.

$I_p$  = Angulo promedio entre dos estaciones de registro en --  
grados.

$B_p$  = Rumbo promedio entre dos estaciones de registro, en ---  
grados.

$R_n^v$  = Radio de curvatura en un plano vertical en m o pies.

$A_n$  = Proyección de la longitud de curso en un plano horizon  
tal, en la estación "n", en m o pies.

$R_n^h$  = Radio de ourvatura en un plano horizontal, en m o pies.

$SPP_{n-1}$  = Severidad de la pata de perro (grados/30.5 m) en m-  
o pies.

Las ecuaciones adicionales que utiliza el presente método son las siguientes. Si los ángulos y rumbos están en radianes y además:

$$I_n = I_{n-1} \quad \text{y} \quad R_n \neq R_{n-1}$$

$$T_v = Lc \cos I_n \dots\dots\dots VI.1$$

$$DESP = \left| \frac{Lc \operatorname{Sen} I_n (\operatorname{Cos} R_{n-1} - \operatorname{Cos} R_n)}{R_n - R_{n-1}} \right| \dots VI.2$$

$$LAT = \left| \frac{Lc \operatorname{Sen} I_n (\operatorname{Sen} R_n - \operatorname{Sen} R_{n-1})}{(R_n - R_{n-1})} \right| \dots VI.3$$

Este caso representa un azimut variable a una inclinación constante, o el caso de una hélice. Esto se asemeja a la trayectoria de una línea recta en un plano, cuando éste se desvía de la forma de un cilindro vertical.

$$I_n = I_{n-1} \quad \text{y} \quad R_n = R_{n-1}$$

$$Pv = Lc \cos I_n \dots\dots\dots VI.1$$

$$DESP = Lc \operatorname{Sen} R_n \dots\dots\dots VI.4$$

$$LAT = Lc \operatorname{Sen} I_n \operatorname{Cos} R_n \dots\dots\dots VI.5$$

Este caso represente una línea recta en el espacio.

$$I_n \neq I_{n-1} \quad \text{y} \quad R_n = R_{n-1}$$

La TV se calcula con la ec. VI.1 descrita en el método de radio de curvatura y:

$$\text{DESP} = \left| \frac{\text{Lc} (\text{Cos } I_{n-1} - \text{Cos } I_n) \text{ Sen } R_n}{(I_n - I_{n-1})} \right| \dots \text{VI.6}$$

$$\text{LAT} = \left| \frac{\text{Lc} (\text{Cos } I_{n-1} - \text{Cos } I) \text{ Cos } R_n}{(I_n - I_{n-1})} \right| \dots \text{VI.7}$$

Este caso representa una línea de curvatura constante en un plano vertical. Esto se asemeja a la curva resultante de la intersección de las partes de un cilindro horizontal con un plano vertical. La proyección de la línea en la superficie horizontal XY es una línea recta.

```

5 CLEAR @ PRINTER IO 10,132
6 PRINT CHR$(26)
10 REM METODO DE ANGULOS PROMEDIOS
20 REM GRADOS EN SISTEMA CENTESIMAL
21 I$="EST" @ L0$="PROF" @ L1$="INCL" @ L2$="RUMBO"
22 L3$="E(-),W(-)" @ L4$="N(+),S(-)" @ L5$="PROF. VERT" @ L6$="DESPL. HOR"
23 IMAGE X,3A,2X,4A,2X,5A,4X,6A,X,2(3X,9A),2X,10A,3X,9A
30 READ R,X$
40 PRINT "RUMBO OBJETIVO=";R;X$ @ PRINT
45 PRINT USING 23 ; L$,L0$,L1$,L2$,L3$,L4$,L5$,L6$
50 PRINT
60 READ E,P,I0,R0,D$
65 PRINT USING 585 ; E,P,I0,R0,D$
80 X0=0
90 Y0=0
100 Z0=R0
110 D1=0
120 READ E1,P1,I1,R1,D$
130 IF E1=999 THEN 9999
140 L=P1-P
150 A=(11+I0)/2
160 R2=(R1+R0)/2
170 F=.017453292
180 X1=L*MSIN(A*F)*MSIN(R2*F)
190 Y1=L*MSIN(A*F)*COS(R2*F)
200 Z1=L*CSOS(A*F)
210 IF K$="NW" THEN 250
220 IF K$="SW" THEN 270
230 IF K$="SE" THEN 290
240 IF K$="NE" THEN 320
250 A5=360*F-R*F
260 GOTO 330
270 A5=180*F+R*F
280 GOTO 330
290 A5=.90*F-R*F
300 GOTO 330
310 A5=R*F
320 GOTO 330
330 IF C$="NW" THEN 370
340 IF C$="SW" THEN 400
350 IF C$="SE" THEN 440
360 IF C$="NE" THEN 470
370 X1=X1*(-1)
380 R2=360*F-R2*F
390 GOTO 490
400 X1=X1*(-1)
410 Y1=Y1*(-1)
420 R2=180*F+R2*F
430 GOTO 490
440 Y1=Y1*(-1)
450 R1=180*F-R2*F
460 GOTO 490
470 R1=R2*F

```

480 COPY 490  
 490 22:45:47  
 500 P2=Y1+Y0  
 510 Y2=Y1+Y0  
 520 Z2=Y1+Z0  
 530 TP 00 5.1415+256 THEN 540  
 540 D:=256+P-17  
 550 GOTO 540  
 560 P4:=KRIN(A\*P)KCOS(D2)  
 570 M:=D4+D1  
 580 IMAGE X,10,2X,40,2X,00-D,2X,30,20-X,2A,2(2X,540,40),2X,540,40,2X,540,30  
 58A PRINT USING,58F : D1,P1,11.83,12,Y2,Y2,77-D3  
 600 20:47  
 610 Y0=Y2  
 620 Z0=Z2  
 630 P=P3  
 640 I0=1  
 650 M0=P1  
 660 M1=D7  
 670 GOTO 100  
 700 DATA 52.35,NU  
 710 DATA 1.00,0.00,NU  
 720 DATA 2.00,0.75,74.47,5F  
 730 DATA 3.00,1.80,74.98,NE  
 740 DATA 4.00,3.15,75.29,2F,NE  
 750 DATA 5.00,4.65,75.48,NE  
 760 DATA 6.00,6.30,75.54,NE  
 770 DATA 7.210,8.10,75.57,NE  
 780 DATA 8.240,10.14,75.54,NU  
 790 DATA 9.270,12.20,75.45,NU  
 800 DATA 10.300,14.35,75.32,NU  
 810 DATA 11.330,16.50,75.14,NU  
 820 DATA 12.360,18.65,74.95,NU  
 830 DATA 13.390,20.85,74.75,NU  
 840 DATA 14.420,23.05,74.55,NU  
 850 DATA 15.450,25.25,74.35,NU  
 860 DATA 16.480,27.45,74.15,NU  
 870 DATA 17.510,29.65,73.95,NU  
 880 DATA 18.540,31.85,73.75,NU  
 890 DATA 19.570,34.05,73.55,NU  
 900 DATA 20.600,36.25,73.35,NU  
 910 DATA 21.630,38.45,73.15,NU  
 920 DATA 22.660,40.65,72.95,NU  
 930 DATA 23.690,42.85,72.75,NU  
 940 DATA 24.720,45.05,72.55,NU  
 950 DATA 25.750,47.25,72.35,NU  
 960 DATA 26.780,49.45,72.15,NU  
 970 DATA 27.810,51.65,71.95,NU  
 980 DATA 28.840,53.85,71.75,NU  
 990 DATA 29.870,56.05,71.55,NU  
 1000 DATA 30.900,58.25,71.35,NU  
 1010 DATA 31.930,60.45,71.15,NU  
 1020 DATA 32.960,62.65,70.95,NU  
 1030 DATA 33.990,64.85,70.75,NU

1040 DATA 24,1020,26.5,45.58,NW  
1050 DATA 25,1050,27.5,44.56,NW  
1060 DATA 26,1080,27.5,44.17,NW  
1070 DATA 27,1110,26.5,43.17,NW  
1080 DATA 28,1140,26,44.07,NW  
1090 DATA 29,1170,27,42.23,NW  
1100 DATA 40,1200,29.5,41.43,NW  
1110 DATA 41,1230,31,40.59,NW  
1120 DATA 42,1260,31.5,40.09,NW  
1130 DATA 43,1290,31,40.56,NW  
1140 DATA 44,1320,30,46.02,NW  
1150 DATA 45,1350,30,75,51.13,NW  
1160 DATA 46,1380,29,75,57.16,NW  
1170 DATA 47,1410,30,75,58.47,NW  
1180 DATA 48,1440,28,75,59.44,NW  
1190 DATA 49,1470,28,75,58.51,NW  
1200 DATA 50,1500,28,25,58.5,NW  
1210 DATA 51,1530,28,25,58.46,NW  
1220 DATA 52,1560,28.5,56.57,NW  
1230 DATA 53,1590,30,59,NW  
1240 DATA 54,1617,28,75,56,NW  
1250 DATA 55,1645,28,25,56,NW  
1260 DATA 56,1702,28.5,56,NW  
1270 DATA 57,1735,29,56,NW  
1280 DATA 58,1775,29,25,56,NW  
1290 DATA 59,1800,30,55,NW  
1300 DATA 60,1845,31,53,NW  
1310 DATA 61,1885,32,52,NW  
1320 DATA 62,1915,32,50,NW  
1330 DATA 63,2003,33,75,48,NW  
1340 DATA 64,2140,34.5,47,NW  
1350 DATA 65,2195,35,47,NW  
1360 DATA 66,2250,36,47,NW  
1370 DATA 67,2300,36,75,45,NW  
1380 DATA 68,2378,37,75,47,NW  
1390 DATA 69,2416,37.5,47,NW  
1400 DATA 70,2490,37,47,NW  
1410 DATA 71,2584,36.5,47,NW  
1420 DATA 72,2676,37,75,48,NW  
1430 DATA 73,2726,36,48,NW  
1440 DATA 74,2781,37,49,NW  
1450 DATA 75,2819,37,49,NW  
1460 DATA 76,2894,37,50,NW  
1470 DATA 77,2951,36,25,50,NW  
1480 DATA 78,2988,35,75,50,NW  
1490 DATA 79,3026,35,75,50,NW  
1500 DATA 80,3092,35.5,49,NW  
1510 DATA 81,3150,35,25,47,NW  
1520 DATA 82,3213,35,47,NW  
1530 DATA 83,3262,35,47,NW  
1540 DATA 84,3370,35,46,NW  
1550 DATA 999,0,0,0,NW  
9999 END

RUMBA OBJEKTIF= 56.34 NW

EST	PROP	TWGL	RUMBU	E(+),W(-)	N(+),S(-)	PROP.VEKT	DESPL.HOR
1	30	0.0	0.00 NF				
2	60	.8	74.39 SE	+1.187	-1.1564	+59.9994	-1.183
3	90	1.0	80.24 NE	+5.556	-1.0558	+89.9959	-5.11
4	120	.8	29.27 NE	+9.998	+1.2084	+119.9924	-6.91
5	150	1.0	5.30 NE	+1.0756	+1.4440	+149.9889	-5.77
6	180	.8	.38 NE	+1.0986	+1.1036	+179.9854	-3.56
7	210	1.0	10.47 NF	+1.1419	+1.5597	+209.9819	-1.54
8	240	1.0	44.04 NW	+9.922	+2.0251	+239.9773	+2.94
9	270	1.0	35.55 NW	+5.252	+2.4777	+269.9715	+0.53
10	300	1.5	46.46 NW	+0.528	+3.0289	+299.9679	+1.540
11	330	1.8	51.14 NW	-1.5873	+3.5813	+329.9608	+2.379
12	360	2.0	49.09 NW	-1.3147	+4.2175	+359.9547	+3.349
13	390	2.0	32.55 NW	-2.1403	+4.8863	+389.9485	+4.385
14	420	2.0	57.50 NW	-2.9982	+5.4865	+419.9432	+5.431
15	450	2.0	57.44 NW	-3.8810	+6.0493	+449.9399	+6.477
16	480	1.8	58.41 NW	-4.7128	+6.5704	+479.9379	+7.459
17	510	1.5	62.37 NW	-5.4525	+6.9908	+509.9318	+8.399
18	540	1.2	62.19 NW	-6.0907	+7.3246	+539.9232	+9.077
19	570	1.0	52.40 NW	-6.5864	+7.4476	+569.9174	+9.614
20	600	2.0	47.41 NW	-7.1872	+7.1872	+599.9111	+10.393
21	630	3.8	47.43 NW	-8.2951	+9.1659	+629.9033	+11.670
22	660	5.5	54.43 NW	-10.1732	+10.6905	+659.8914	+14.269
23	690	7.8	55.43 NW	-13.0060	+12.6792	+689.8811	+17.724
24	720	9.3	57.43 NW	-16.7007	+15.1312	+719.8714	+22.156
25	750	10.3	57.43 NW	-20.9622	+17.8643	+749.8625	+27.236
26	780	11.3	54.42 NW	-25.5652	+20.9633	+779.8541	+32.762
27	810	11.8	54.46 NW	-30.3807	+24.4013	+809.8479	+38.665
28	840	13.5	53.00 NW	-35.6780	+28.2795	+839.8435	+45.201
29	870	16.5	51.06 NW	-41.7690	+32.0566	+869.8403	+52.918
30	900	19.8	49.12 NW	-48.9503	+39.0412	+899.8387	+62.155
31	930	22.5	48.27 NW	-57.0756	+46.1744	+929.8376	+72.814
32	960	27.3	47.36 NW	-65.8059	+54.0864	+959.8371	+84.397
33	990	25.0	46.46 NW	-74.8477	+62.5444	+977.8380	+96.532
34	1020	26.5	45.58 NW	-84.2263	+71.5951	+1004.8389	+109.264
35	1050	27.5	44.16 NW	-93.8350	+81.2475	+1031.8391	+122.508
36	1080	27.5	44.17 NW	-103.4964	+91.1844	+1057.8495	+135.938
37	1110	26.5	43.17 NW	-112.8708	+101.0359	+1084.8797	+149.112
38	1140	26.0	44.07 NW	-122.0445	+110.6415	+1111.2858	+161.944
39	1170	27.0	42.23 NW	-131.1993	+120.4074	+1138.1335	+174.861
40	1200	29.5	41.43 NW	-140.6693	+130.9839	+1164.5676	+188.474
41	1230	31.0	40.59 NW	-150.5865	+142.3923	+1190.4751	+202.900
42	1260	31.5	40.09 NW	-160.6409	+154.2548	+1216.1220	+217.699
43	1290	31.0	40.56 NW	-170.7327	+166.1200	+1241.7704	+232.498
44	1320	30.0	46.02 NW	-181.1726	+177.2030	+1267.6192	+247.200
45	1350	30.8	51.12 NW	-192.5472	+187.2783	+1293.5011	+262.150
46	1380	29.8	57.16 NW	-204.7965	+196.0922	+1319.4163	+277.222
47	1410	30.3	58.47 NW	-217.4915	+204.0820	+1345.3971	+292.221
48	1440	28.3	59.44 NW	-230.1482	+211.7005	+1371.5078	+306.993
49	1470	28.3	58.51 NW	-242.4151	+219.0785	+1397.8723	+321.307

50	1530	28.3	59.50 NW	-254,5229	+226,4467	+1424,2890	-295,507
51	1530	28.3	56.46 NW	-266,1275	+223,5202	+1420,1757	+349,706
52	1560	28.5	56.57 NW	-278,6539	+241,5774	+1477,1214	-353,942
53	1590	29.0	59.00 NW	-281,0559	+249,3117	+1520,1997	-378,610
54	1615	28.3	56.00 NW	-307,5719	-251,4537	+1523,3191	+759,500
55	1685	28.3	56.00 NW	-329,0930	-274,6851	+1536,6141	+494,227
56	1702	28.1	56.00 NW	-375,7535	+279,1623	+1601,5715	+402,299
57	1735	29.0	56.00 NW	-348,9099	+288,0567	+1630,5635	+448,158
58	1775	29.3	56.00 NW	-365,0501	+298,9454	+1666,4459	+467,610
59	1800	30.0	55.00 NW	-375,2347	+305,9451	+1687,1779	+479,953
60	1845	31.0	55.00 NW	-393,7120	-319,3497	+1728,9512	+502,724
61	1895	32.0	52.00 NW	-414,4383	+335,2735	+1768,5832	+528,714
62	1915	31.1	50.00 NW	-423,6748	+341,9437	+1778,9142	+539,228
63	2041	33.8	48.00 NW	-491,4341	+401,7105	+1826,6801	+629,203
64	2140	34.5	47.00 NW	-515,3740	+413,3713	+1871,8254	+660,607
65	2195	35.0	47.00 NW	-538,2018	+444,7143	+1919,0542	+691,343
66	2250	35.1	47.00 NW	-561,2601	+466,5965	+1963,1925	+721,654
67	2305	36.1	45.00 NW	-562,4911	+487,1254	+1994,6502	+751,622
68	2375	37.3	47.00 NW	-616,6531	+515,1121	+2046,1301	+797,741
69	2418	37.5	47.00 NW	-633,4197	+535,7877	+2116,2551	+826,485
70	2490	38.0	47.00 NW	-666,1783	+566,1116	+2255,1194	+844,399
71	2514	38.7	47.00 NW	-707,5115	+604,6567	+2330,4575	+813,540
72	2611	39.3	46.00 NW	-745,4534	+642,1225	+2403,3107	+974,079
73	2715	39.1	45.00 NW	-779,7474	+682,2488	+2443,6051	+1003,567
74	2781	39.0	49.00 NW	-795,2496	+691,9264	+2498,0131	+1035,819
75	2819	37.0	45.00 NW	-812,5051	+695,9300	+2518,3683	+1058,063
76	2874	37.0	50.00 NW	-846,8309	+728,2426	+2576,2160	+1102,981
77	2951	36.1	50.00 NW	-872,8600	+750,1014	+2624,0118	+1136,624
78	3119	35.3	50.00 NW	-889,5430	+714,0908	+2653,6454	+1153,141
79	3128	35.9	50.00 NW	-906,5473	+728,2116	+2684,2352	+1180,107
80	3092	35.7	49.00 NW	-919,7800	+803,3187	+2713,1151	+1218,092
81	3150	35.3	47.00 NW	-967,7331	+825,1766	+2787,1751	+1251,122
82	3221	35.0	47.00 NW	-991,4513	+854,4315	+2848,4316	+1292,301
83	3235	35.0	46.00 NW	-1007,6772	+863,8284	+2877,3782	+1314,193
84	3412	35.0	47.00 NW	-1097,4973	+952,7051	+3047,7629	+1430,271

REGISTRADO ENTRANDO  
POR  
RADIO DE CURVATURA

POZO: KU H KU-415 C/1

PROF. MED.	PROF. VERT.	SECC. VERT.	PROYEC. HORIZ.	INCL. °	RUMBO °	COORDENADAS		SEVERIDAD POR 30
						LATITUD	LONGITUD	
30.0	30.00	0.00	0.00	00-00	N 00-00	E 0.46 N	0.00 E	0.00
60.0	60.00	-0.19	0.20	00-45	S 74-39	E 0.05 S	0.19 E	0.75
90.0	90.00	-0.59	0.46	01-00	N 80-24	E 0.07 S	0.64 E	0.45
120.0	119.99	-0.76	0.46	00-45	N 29-27	E 0.10 N	1.01 E	0.79
150.0	149.99	-0.66	0.46	01-00	N 05-30	E 0.61 N	1.14 E	0.44
180.0	179.99	-0.44	0.46	00-45	N 00-30	E 1.07 N	1.17 E	0.26
210.0	209.98	-0.74	0.46	01-00	N 10-47	E 1.53 N	1.21 E	0.29
240.0	339.98	0.13	0.52	01-00	N 44-04	W 2.01 N	1.07 E	0.92
270.0	269.97	0.69	0.59	01-15	N 35-55	W 2.46 N	0.69 E	0.30
300.0	399.96	1.30	0.72	01-30	N 46-46	W 3.00 N	0.22 E	0.36
330.0	329.95	2.22	0.95	01-45	N 51-14	W 3.56 N	0.43 W	0.28
360.0	359.93	3.19	0.70	02-00	N 40-05	W 4.19 N	1.17 W	0.27
390.0	389.92	4.32	1.05	02-00	N 52-55	W 4.86 N	1.99 W	0.17
420.0	419.90	5.37	1.05	02-00	N 57-50	W 5.45 N	2.84 W	0.17
450.0	449.88	6.32	1.05	02-00	N 57-46	W 6.01 N	3.73 W	0.00
480.0	479.86	7.30	0.90	01-45	N 58-41	W 6.53 N	4.56 W	0.25
510.0	509.85	8.15	0.85	01-30	N 61-31	W 6.95 N	5.31 W	0.27
540.0	539.84	8.86	0.72	01-15	N 67-24	W 7.29 N	5.94 W	0.25
570.0	569.84	9.45	0.59	01-00	N 69-40	W 7.59 N	5.44 W	0.32
600.0	599.83	10.23	0.79	02-00	N 67-41	W 8.09 N	7.01 W	1.01
630.0	629.75	11.71	1.50	03-45	N 47-43	W 9.11 N	8.16 W	1.75
660.0	659.57	14.10	2.42	05-30	N 51-43	W 10.67 N	10.04 W	1.84
690.0	689.49	17.56	3.46	07-45	N 55-42	W 12.59 N	12.98 W	2.25
720.0	719.16	21.89	4.43	09-15	N 57-43	W 15.03 N	16.59 W	1.53
750.0	749.72	27.07	5.09	10-10	N 57-43	W 17.74 N	20.89 W	1.00
780.0	779.11	32.60	5.53	11-00	N 54-47	W 20.91 N	25.48 W	0.92
810.0	807.11	38.50	5.92	11-45	N 54-40	W 24.23 N	30.32 W	0.75
840.0	835.87	45.04	6.56	13-00	N 53-00	W 28.07 N	35.62 W	1.79
870.0	865.87	52.75	7.76	14-30	N 51-05	W 32.06 N	41.74 W	3.04
900.0	894.37	61.78	7.33	12-35	N 49-17	W 36.04 N	48.91 W	3.30

REGISTRADO ENTRANDO  
POR  
RADIO DE CURVATURA

POZO: KU H KU-415 C/1

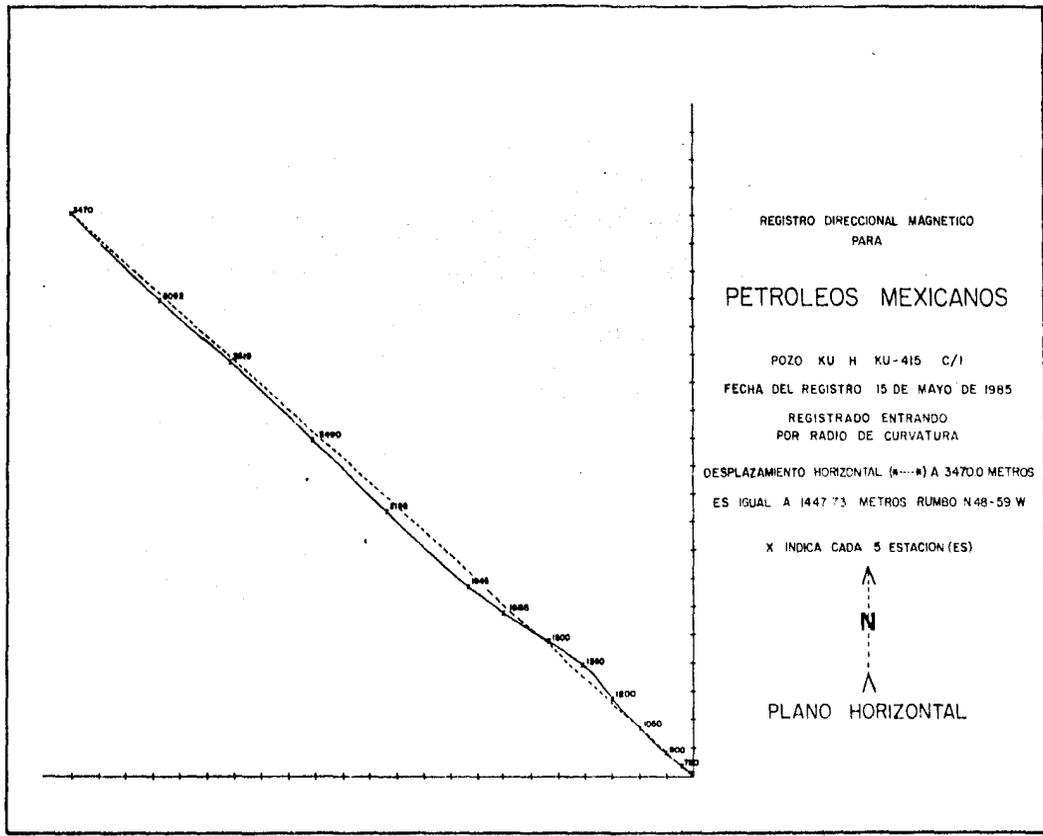
PROF. MED.	PROF. VERT.	SECC. VERT.	PROYEC. HORIZ.	INCL. ° /	RUMBO ° /	COORDENADAS LATITUD LONGITUD	SEVERIDAD POR 30
930.0	922.35	72.63	10.81	22-30	N 48-27 W	45.95 N 57.05 W	2.77
960.0	949.94	84.22	11.78	23-45	N 47-36 W	53.93 N 65.81 W	1.29
990.0	977.27	96.35	12.38	25-00	N 46-46 W	62.24 N 74.89 W	1.30
1020.0	1004.29	109.09	13.03	26-30	N 45-58 W	71.24 N 84.32 W	1.54
1050.0	1031.62	122.33	13.62	27-30	N 44-16 W	80.65 N 93.97 W	1.26
1080.0	1057.63	135.75	13.85	27-30	N 44-17 W	90.77 N 103.64 W	0.01
1110.0	1084.36	149.92	13.62	26-30	N 43-17 W	100.60 N 113.07 W	1.10
1140.0	1111.27	161.74	13.27	26-00	N 44-07 W	110.19 N 122.23 W	0.62
1170.0	1139.11	174.65	13.59	27-00	N 42-25 W	119.94 N 131.40 W	1.26
1200.0	1167.54	189.26	14.20	29-30	N 41-43 N	130.48 N 140.91 W	2.52
1230.0	1197.65	202.69	15.11	31-00	N 40-59 W	141.83 N 150.90 W	1.54
1260.0	1216.10	217.49	15.56	31-30	N 40-09 W	153.65 N 161.02 W	0.66
1290.0	1241.75	232.39	15.56	31-00	N 40-56 W	165.48 N 171.10 W	0.64
1320.0	1267.69	246.99	15.23	30-00	N 46-02 W	176.52 N 181.61 W	2.77
1350.0	1293.58	261.78	15.00	30-00	N 51-13 W	188.43 N 192.86 W	2.59
1380.0	1315.59	276.64	14.94	29-45	N 57-16 W	195.16 N 204.98 W	3.02
1410.0	1345.52	291.54	15.00	30-45	N 58-47 W	204.10 N 217.71 W	0.91
1440.0	1371.68	306.41	14.77	28-45	N 59-44 W	210.65 N 230.40 W	1.57
1470.0	1398.04	320.72	14.81	28-15	N 58-51 W	217.94 N 242.71 W	0.65
1500.0	1424.47	334.93	14.70	28-15	N 58-50 W	225.31 N 254.86 W	0.01
1530.0	1450.90	349.13	14.20	28-15	N 58-46 W	232.67 N 267.01 W	0.03
1560.0	1477.37	363.38	14.24	28-30	N 56-57 W	240.25 N 279.08 W	0.90
1590.0	1503.47	378.04	14.66	30-00	N 59-00 W	248.02 N 291.51 W	1.90
1613.0	1523.51	389.22	11.28	28-45	N 57-00 W	254.89 N 301.02 W	2.52
1685.0	1586.78	423.67	34.36	28-15	N 56-00 W	271.30 N 329.50 W	0.21
1702.0	1601.73	431.71	8.98	28-30	N 56-00 W	277.91 N 336.20 W	0.44
1725.0	1630.67	447.16	15.37	25-00	N 56-00 W	283.69 N 347.36 W	0.45
1775.0	1675.62	462.01	19.47	29-15	N 56-00 W	292.58 N 365.50 W	0.19
1800.0	1697.35	472.85	17.35	30-00	N 55-00 W	304.58 N 375.68 W	1.08
1845.0	1726.17	502.12	22.84	31-00	N 53-00 W	318.00 N 394.16 W	0.95

REGISTRADO ENTRANDO  
POR  
RADIO DE CURVATURA

PROF. MED.	PROF. VERA.	SECC. VERT.	PROYEC. HORIZ.	INCL. ° '	RUMBO ° '	COORDENADAS LATITUD	LONGITUD	SEVERIDAD POR 30
1895.0	1768.75	528.89	26.12	32-00	N 52-00 W	433.90 N	414.89 W	0.58
1915.0	1785.71	538.60	10.60	32-00	N 50-00 W	340.57 N	423.12 W	1.59
2083.0	1926.80	628.50	21.19	34-45	N 48-00 W	400.40 N	491.94 W	0.37
2140.0	1973.99	659.89	31.98	34-30	N 47-00 W	422.00 N	515.51 W	0.49
2195.0	2019.18	690.59	31.35	35-00	N 47-00 W	443.38 N	538.44 W	0.27
2250.0	2064.96	721.88	31.94	36-00	N 47-00 W	465.16 N	561.80 W	0.55
2300.0	2109.91	750.82	29.64	36-45	N 45-00 W	485.76 N	583.13 W	0.84
2378.0	2166.30	796.89	32.21	37-45	N 47-00 W	518.55 N	617.09 W	0.60
2416.0	2198.30	819.61	23.20	37-30	N 47-00 W	534.32 N	634.06 W	0.20
2490.0	2255.30	863.49	44.79	37-00	N 47-00 W	564.92 N	666.81 W	0.20
2584.0	2330.30	918.58	56.24	36-30	N 47-00 W	603.29 N	707.95 W	0.16
2676.0	2408.93	971.81	54.14	35-45	N 48-00 W	639.92 N	747.94 W	0.31
2726.0	2445.34	1000.63	29.30	36-00	N 48-00 W	659.53 N	769.71 W	0.15
2781.0	2489.36	1032.81	32.71	37-00	N 49-00 W	681.21 N	794.21 W	0.62
2819.0	2520.00	1055.86	22.77	37-00	N 49-00 W	696.31 N	811.42 W	0.00
2894.0	2579.90	1099.93	45.14	37-00	N 50-00 W	725.52 N	845.79 W	0.24
2951.0	2637.85	1133.35	34.00	36-15	N 50-00 W	747.38 N	871.84 W	0.39
2988.0	2650.58	1155.05	21.75	37-45	N 50-00 W	761.36 N	888.50 W	0.41
3036.0	2686.32	1177.91	22.20	35-45	N 50-00 W	775.63 N	905.51 W	0.00
3092.0	2740.37	1214.92	30.44	35-30	N 49-00 W	800.60 N	934.24 W	0.21
3150.0	2790.36	1247.92	33.58	35-15	N 47-00 W	823.06 N	959.69 W	0.61
3223.0	2847.67	1289.11	42.00	35-00	N 47-00 W	851.71 N	990.41 W	0.10
3262.0	2879.01	1310.92	22.37	35-00	N 46-00 W	867.11 N	1005.64 W	0.44
3370.0	3049.40	1427.42	119.30	35-00	N 46-00 W	949.58 N	1092.46 W	0.00

\*\*\*\*\*  
 \* EL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL A LA PROFUNDIDAD DE \*  
 \* 3370.0 METROS ES 1427.73 METROS RUMBO N 48-59 W \*  
 \* \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*





## C A P I T U L O   V I I

### C O N C L U S I O N E S

Inevitablemente todos los pozos orientados tienen "patas de perro", que es la curvatura total del pozo. Pero éstas también pueden significar que la curvatura total del pozo se --- afecta por cambios de dirección y de inclinación.

Existe un cierto límite en la severidad de las "patas de perro", el que una vez que se ha sobrepasado redundará en daños de la sarta revestidora y de perforación. A este límite se le denomina "pata de perro permisible" y lo determinan las dimensiones del aparejo tubular a la profundidad que ocurre.

Los métodos presentados en este trabajo, son tan solo dos de los muchos que han sido desarrollados hasta la fecha; fueron seleccionados en base a su representatividad de la trayectoria real del pozo y su aplicación actual en el campo de trabajo. Se comentaron de manera general, los fundamentos y restricciones de cada uno.

La práctica ha demostrado que aún midiendo las desviaciones a intervalos de 10 m , es posible que pasen desapercibidas las "patas de perro". Sin embargo, si se logra controlar la inclinación y el rumbo de la trayectoria del pozo mediante un diseño adecuado de la sarta de perforación y una combinación -- "peso sobre barrena y velocidad de rotación", apropiada, la distancia entre estaciones de registro puede incrementarse -- con la seguridad de que los métodos presentados en éste traba

jo arrojarán resultados aceptables.

De los instrumentos descritos, el que tiene más aplicación -- actualmente, es el equipo de teleorientación (D.O.T. ), utilizado tanto en los inicios de desviación, como en las correcciones de trayectorias de pozos y en las desviaciones por --- accidentes mecánicos (librar pez); el instrumento de disparo único (Single-shot ) es utilizado durante todo el intervalo - desviado del pozo y es una de las herramientas fundamentales del operador.

El motor de fondo ha desplazado casi en un cien por ciento a todas las demás herramientas desviadoras debido a su eficiencia de operación, esto no quiere decir que éstas hayan dejado de utilizarse completamente.

En conclusión, con la tecnología actual, lo que parecía inconcebible en la perforación años atrás, es ya una realidad. ¿ Cuáles son las limitaciones de la perforación orientada?. - Esta pregunta nunca se podrá contestar. Con la experiencia de hoy y la tecnología del futuro, no hay límites posibles.

## A P E N D I C E A

### APAREJOS DE FONDO UTILES PARA PERFORAR POZOS ORIENTADOS EN LA SONDA DE CAMPECHE

#### APAREJO N°. 1

Se utiliza para iniciar a perforar hasta la profundidad donde se cementará la T.R. DE 20" .

#### APAREJO N°. 2 y 3

Se utilizarán después de perforar para la T.R. de 20" para rimir cualquier variación que pudiera haber en el pozo en -- rumbo e inclinación. Se utilizará cualquiera de los dos, dependiendo del número de estabilizadores con que cuente la -- plataforma. Se recomienda de preferencia el aparejo número 3.

#### APAREJO N°.4 y 5

El apajero número cinco se utilizará para rebajar cemento -- y accesorios, perforar un metro abajo de la zapata y efectuar prueba de cementación en T.R. de 20", con este mismo aparejo se perforarán treinta metros y se efectuará la prueba de "Leak-off". Si el pozo se iniciara a desviar cincuenta me tros abajo de la zapata, se perforará con el mismo aparejo - hasta la profundidad de inicio de desviación. Si se iniciara a desviar a más de cien metros abajo de la zapata de 20", se elimina el aparejo después de perforar los cincuenta metros, se baja el aparejo número cuatro y se perfora hasta la pro-- fundidad de inicio de desviación.

#### APAREJO N°. 6

Con este aparejo se iniciará a desviar hasta alcanzar un ángulo de 8-12°, y dejar el rumbo 10 - 15° abierto a la izquierda el rumbo programado, dependiendo de la tendencia que tengan los pozos vecinos a girar a la derecha y el ángulo máximo que se desee alcanzar. Estos valores podrán variar de acuerdo a las condiciones del pozo y el criterio del operador.

#### APAREJO N°. 7

Se utilizará para ampliar el intervalo desviado de 12 ¼" a 18 ½".

#### APAREJO N°. 8, 9, 10, 11 y 12

Se utilizarán los aparejos 8 y 9 para levantar el ángulo máximo programado. El número ocho se usará para pozos con ángulo máximo menor de 30° ó como aparejo de prueba inicial ya que incrementa ángulo en forma moderada.

El aparejo número nueve se usará para pozos con ángulo máximo mayor de 30° ó bien cuando la anterior no levanta el ángulo deseado; éste es más flexible. El aparejo número 10 se utiliza cuando la relación agujero-diámetro de herramienta es alto. Cuando los aparejos número 8 y 9 no responden como se espera se utiliza el número 11 que tiene el inconveniente de que hace que la barrena gire más rápido a la derecha. El número 12 se utiliza para ángulos elevados.

APAREJO N°. 13 y 14

Estos aparejos son los más comunes como sartas rígidas, sirven para pozos verticales y orientados con ángulos bajos, -- conservan ángulo y rumbo.

APAREJO N°. 15, 16, 17 y 18.

Se utilizan para tratar de mantener ángulo y frenar giros de rumbo en el pozo.

APAREJO N°. 19

Se utiliza para tratar de mantener ángulo y hacer girar gradualmente el rumbo del pozo hacia la derecha.

APAREJO N°. 20, 21, 22, y 23.

Se diseñan para tratar de mantener ángulo y rumbo en condiciones extremas.

APAREJO N°. 24, 25, 26 y 27

Se utilizan para disminuir gradualmente la inclinación del pozo.

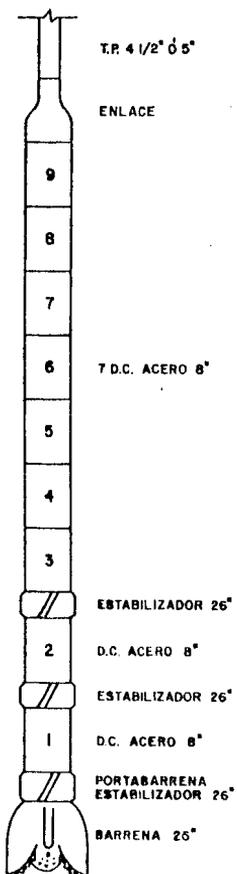
NOTA: TODOS ESTOS ARREGLOS PUEDEN VARIAR DE ACUERDO AL CRITERIO DEL OPERADOR.

**APENDICE A**  
**APAREJOS DE FONDO UTILIZADOS PARA PERFORAR POZOS ORIENTADOS**  
**EN LA SONDA DE CAMPECHE**

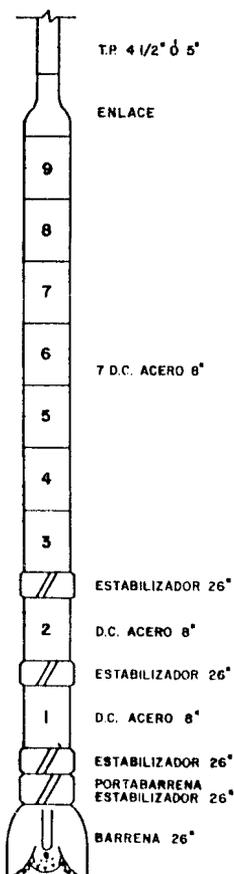
**BARRENA 26" T.R. 20"**



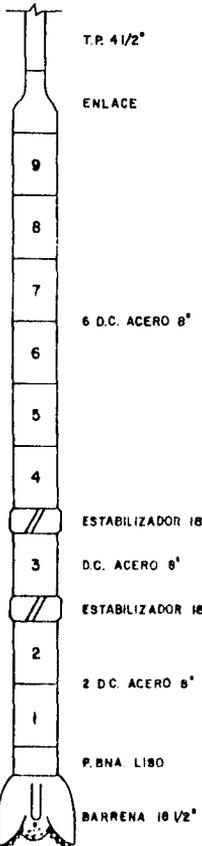
**APAREJO No. 1**  
 1ª ETAPA: PERFORAR



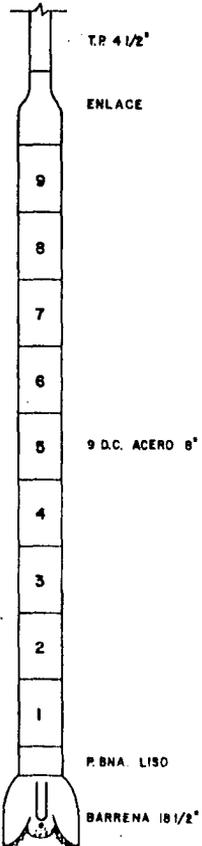
**APAREJO No. 2**  
 2ª ETAPA: RIMAR



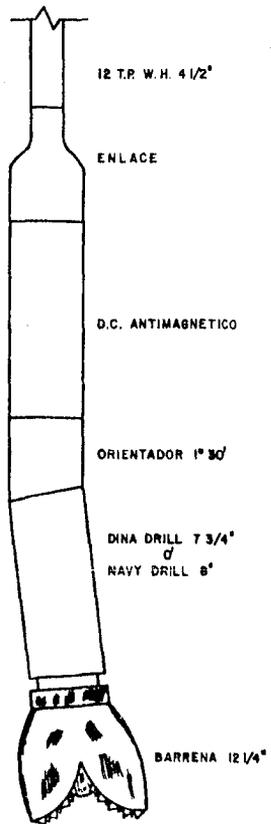
**APAREJO No. 3**



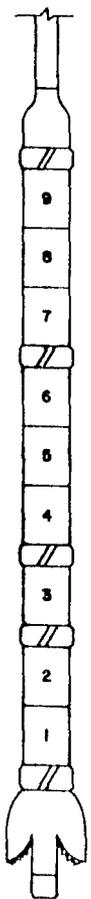
APAREJO No. 4  
 1ª ETAPA: PERFORAR HASTA LA PROFUNDIDAD DONDE  
 INICIARA DESVIACION



APAREJO No. 5



APAREJO No. 6  
 2ª ETAPA: INICIAR A DESVIAR  
 POZO



T.P. 4 1/2"

ENLACE

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

9

8

3 D.C. ACERO 8"

7

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

6

5

3 D.C. ACERO 8"

4

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

3

D.C. ACERO 8"

2

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

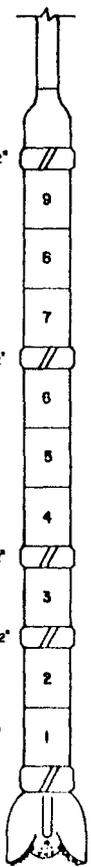
1

D.C. ANTIMAGNETICO 8"

P.B.N.A. ESTABILIZADOR  
6" X 18 1/2"

BARRENA AMPLIADORA  
18 1/2" C/NARIZ

APAREJO No. 7  
3ª ETAPA: AMPLIAR A 18 1/2"



T.P. 4 1/2"

ENLACE

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

9

8

3 D.C. ACERO 8"

7

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

6

5

3 D.C. ACERO 8"

4

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

3

D.C. ACERO 8"

2

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

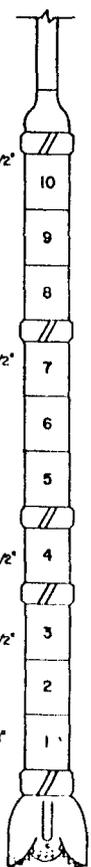
1

D.C. ANTIMAGNETICO 8"

P.B.N.A. ESTABILIZADOR  
6" X 18 1/2"

BARRENA 18 1/2"

APAREJO No. 8  
4ª ETAPA: LEVANTAR ANGULO MAXIMA



T.P. 4 1/2"

ENLACE

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

10

9

3 D.C. ACERO 8"

8

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

7

6

3 D.C. ACERO 8"

5

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

4

D.C. ACERO 8"

3

ESTABILIZADOR 6" X 18 1/2"

2

2 D.C. ACERO 8"

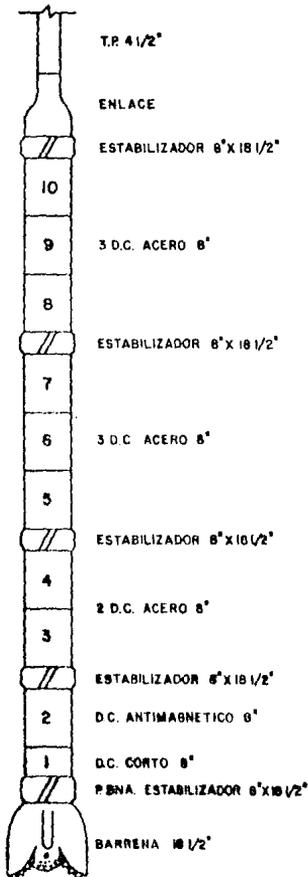
1

D.C. ANTIMAGNETICO 8"

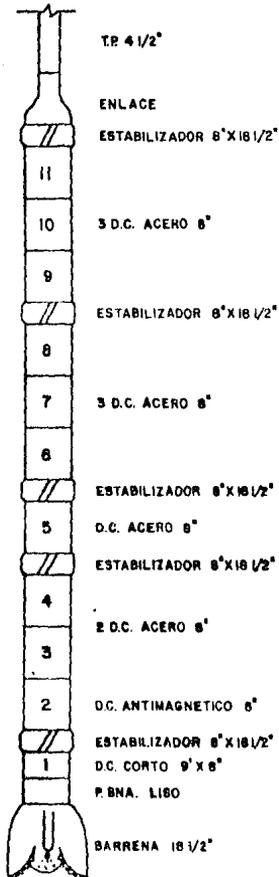
P.B.N.A. ESTABILIZADOR  
6" X 18 1/2"

BARRENA 18 1/2"

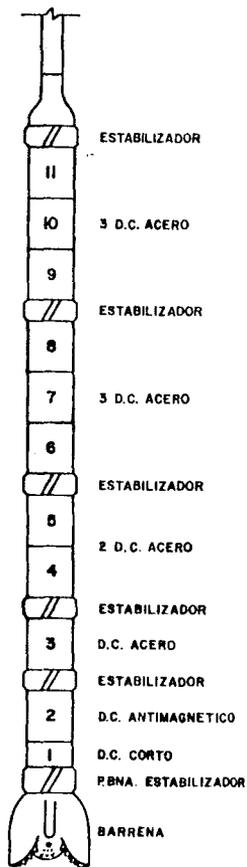
APAREJO No. 9



**APAREJO No. 10**  
 LEVANTA ANGULO LENTO  
 4ª ETAPA LEVANTAR ANGULO MAXIMO

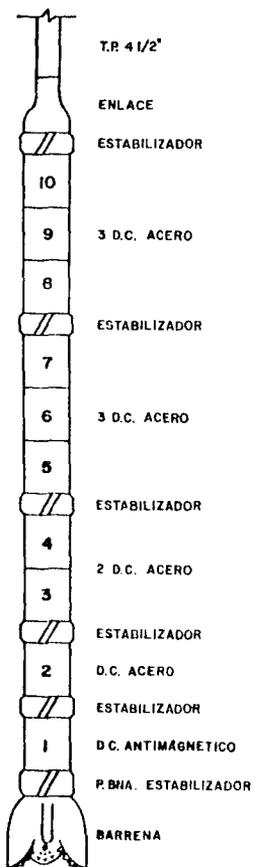


**APAREJO No. 11**  
 LEVANTA ANGULO RAPIDO Y GIRA A LA DERECHA



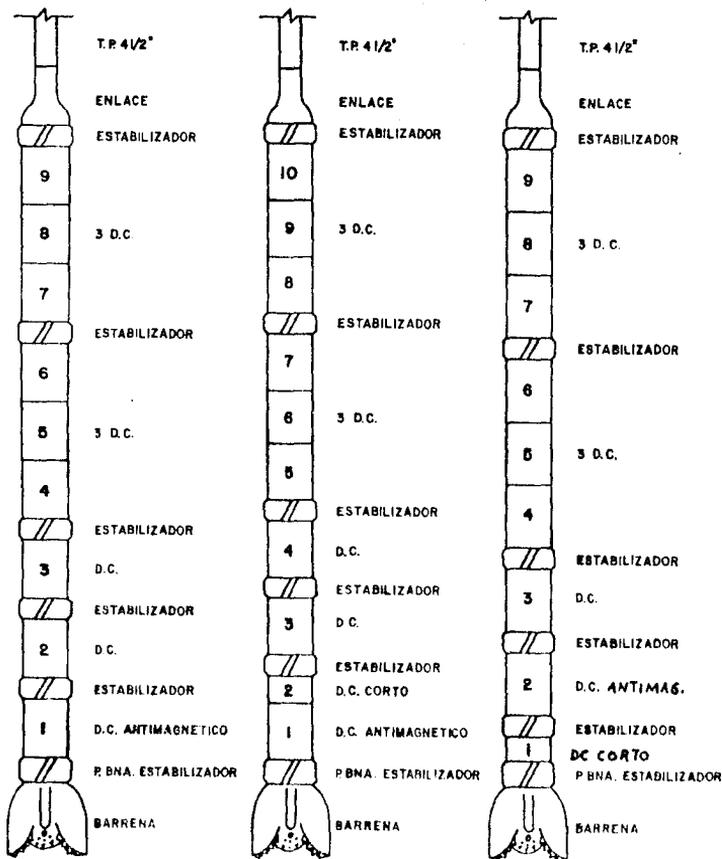
**APAREJO No. 12**  
SEMIFLEXIBLE P/ANGULOS ELEVADOS

5<sup>o</sup>. ETAPA: MANTENER ANGULO MAXIMO



**APAREJO No. 15**  
PARA ANGULOS MENORE DE 25°

BARRENA 18 1/2" - 12 1/4" - 8 3/8"

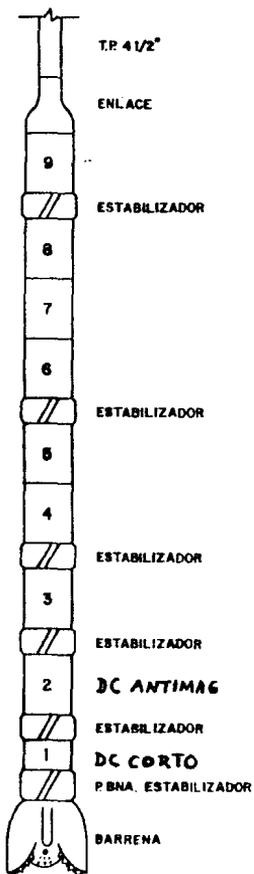


APAREJO No. 14

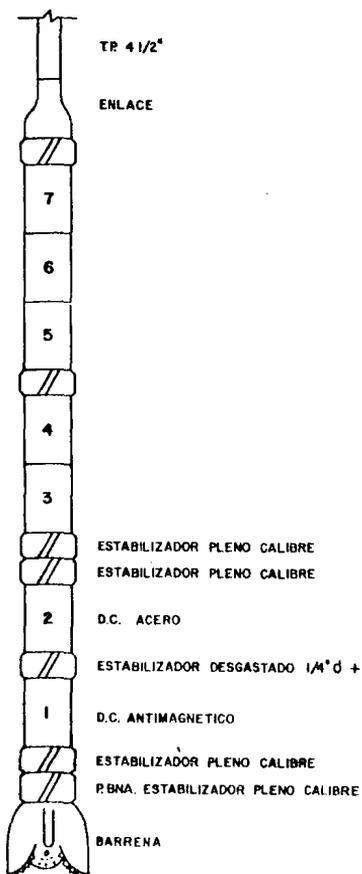
APAREJO No. 13

APAREJO No. 16

5ª ETAPA. MANTENER ANGULO MAXIMO BARRENA 18 1/2° - 12 1/4° - 8 3/8°

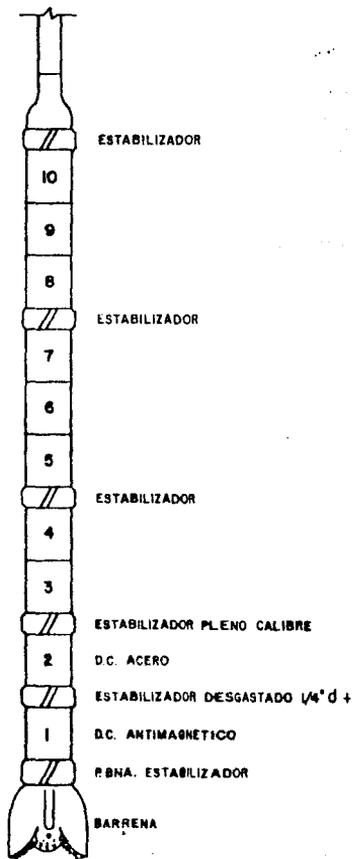


APAREJO No. 17

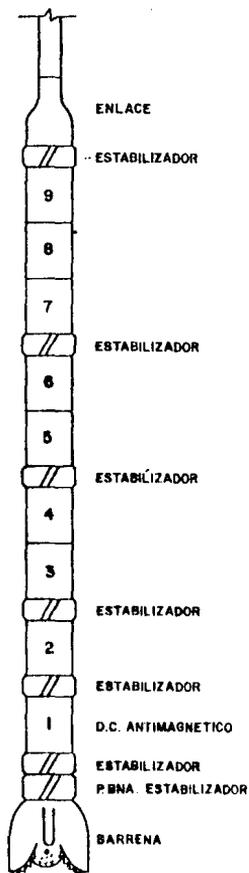


APAREJO No. 23

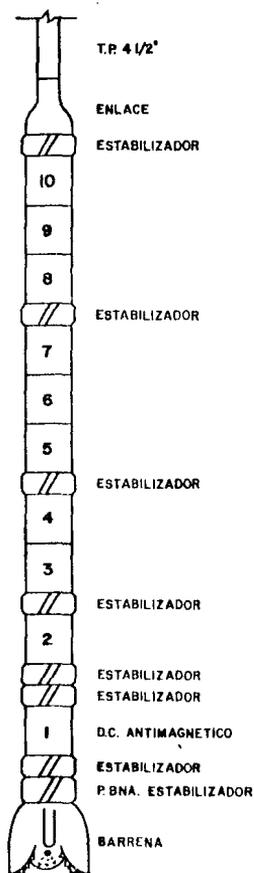
5ª ETAPA. MANTENER ANGULO MAXIMO, SARTA EMPACADA DOBLE



APAREJO No. 18  
 BARTA EMPACADA SEMIFLEXIBLE P/ANGULOS MAYORES DE 25°

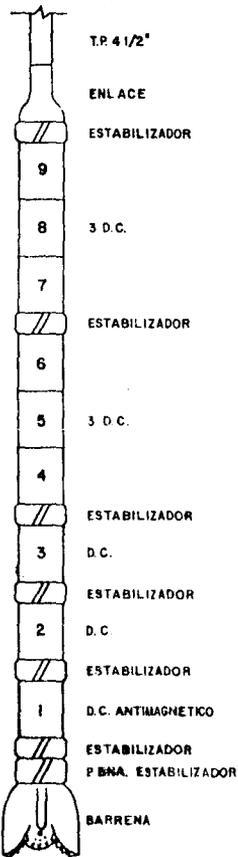


APAREJO No. 20

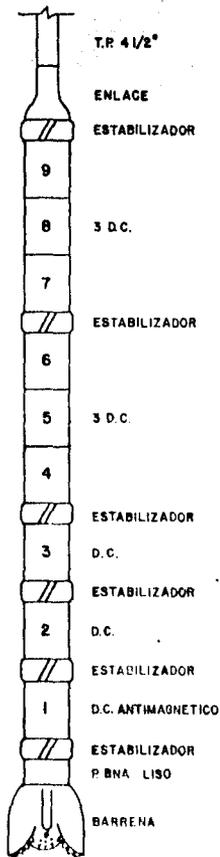


APAREJO No. 22

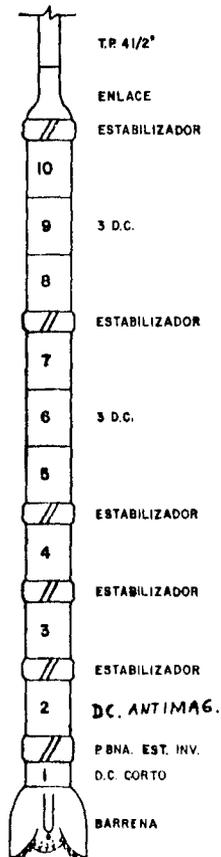
5ª ETAPA: MANTENER ANGULO MAXIMO



APAREJO No. 21



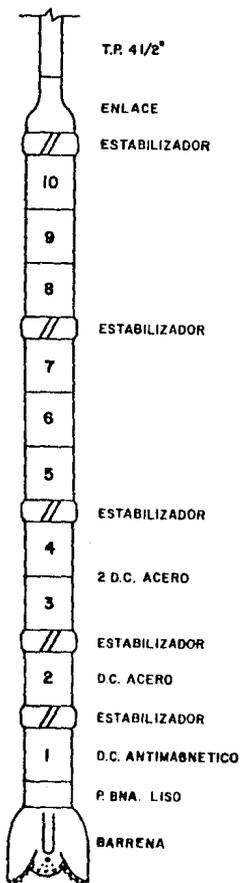
APAREJO No. 19  
MANTENER ANGULO MAXIMO  
Y GIRAR A LA DERECHA



APAREJO No. 24  
DISMINUIR ANGULO LENTAMENTE  
30° a 1°/30m ±

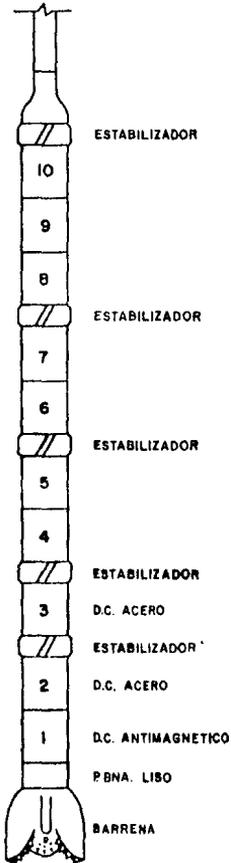


APAREJO No. 25  
DE CAIDA LENTA 1"/80m. ±



APAREJO No. 26  
DE CAIDA REGULAR 2 a 3"/30m. ±

DE CAIDA RAPIDA 4° A 5° / 30 m ±



APAREJO No. 27

DE CAIDA RAPIDA 4° A 5° / 30 m. APROX.

R E F E R E N C I A S .

- 1.- Vega Ibarra Mario Alberto.  
Luna Melo Francisco J.  
" MODELOS MATEMATICOS PARA EL CALCULO DE LA TRAYECTORIA  
EN POZOS DIRECCIONALES".  
Tesis Profesional, UNAM.
- 2.- Eastman Whipstock.  
GENERAL CATALOG 1974-1975 .  
" LO BASICO DE LA PERFORACION DIRECCIONAL".  
" INSTRUMENTOS Y EQUIPO PARA PERFORACION DIRECCIONAL, -  
MANUAL DE INSTRUCCIONES".
- 3.- Wilson Downhole Services.  
" PERFORACION DIRECCIONAL Y SERVICIOS DE PESCA".
- 4.- División of Smith International, Inc.  
" MANUAL DE OPERACION DEL DYNA-DRILL ".
- 5.- Universidad de Texas.  
" PERFORACION DIRECCIONAL CONTRGLADA ".  
Unidad III, Lección I, PETEX 1979 .
- 6.- DIRECTIONAL DRILLING  
Serie de Ocho Artículos.  
JPT- Nov. - 6-78/ Feb.- 12-79 .

7.- Benítez Hernández M.A.

"TECNOLOGIA DE LA PERFORACION"

Apuntes Fac. de Ingeniería.

UNAM.

8.- William H. Mc. Milliam.

" PLANNING THE DIRECTIONAL WELL A CALCULATION METHOD "

J.P.T. Junio 1981.

9.- José del S. Leija Ibarra.

" PERFORACION DIRECCIONAL Y SUS APLICACIONES "

Tesis Profesional. IPN.