

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



**LA PERFORACION DIRECCIONAL
CONTROLADA Y HERRAMIENTAS
DESVIADORAS**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A

CARLOS ETZAEI GARCIA VALENZUELA

MEXICO, D. F.

1980



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.

INTRODUCCION.

El creciente desarrollo de nuestro país, tiene como primordial necesidad, crear bases y dar apoyos financieros para la construcción de industrias y plantas, que proporcionen una estabilidad económica, política y social.

En México, el consumo de energía está basado en su mayor parte en los hidrocarburos; en el futuro, sin contar la producción de fuentes de energía como la nuclear, hidroeléctrica, el carbón y otras, seguiremos requiriendo del petróleo y gas, debido a que no sólo son fuentes de energía, sino que se les pueden dar múltiples aplicaciones en la industria.

La gran necesidad del mundo moderno de energía, - ha obligado al hombre a desarrollar nuevas tecnologías para la búsqueda y obtención de nuevas cantidades de hidrocarburos, nuevos yacimientos que en la actualidad son cada vez - más difíciles de encontrar y explotar.

Esto ha dado como resultado que los países productores de los hidrocarburos, se lanzaran a la exploración - del mar en busca de yacimientos. La Sonda de Campeche ha abierto un extenso panorama para las aplicaciones de la per

foración direccional.

La finalidad del presente trabajo es la de visualizar desde aplicaciones, métodos de cálculo de programas, herramientas, estudios direccionales y de una forma somera problemas que se presentan en la perforación direccional.

En nuestros días y debido a la gruén aplicación - de los pozos direccionales en nuestro país, se ha tenido - que emplear lo último en instrumentos, especificaciones y equipo, debido a que no es posible dejar que los programas de los pozos diferencien mucho de la realidad, esto es, — que se debe cuidar el espaciamiento entre pozos para no — desperdiciar un área al no ser debidamente drenada; además en las plataformas hay pozos que se perforan rodeados de otros ya perforados y cualquier error en orientación podría ser de catastróficos resultados.

Hace algunos años, no se contaba con la suficiente tecnología, para solucionar muchos de los problemas que se presentaban en la perforación de pozos direccionales, - por lo que se aumentaba el tiempo de perforación, lo que - hacía muy costoso el proyecto y además los pozos tenían muchos problemas, los cuales se han seleccionado en su mayoría actualmente, con la consiguiente economía.

APLICACIONES TÍPICAS DE LA PERFORACION DIRECCIONAL CONTROLADA.

La técnica de la perforación direccional se aplicó inicialmente para perforar pozos de alivio, a fin de poder bombear lodo y agua para controlar pozos desbocados, posteriormente, con el tiempo, se le ha ido dando distintas aplicaciones como las que a continuación se mencionan:

CONTROL DE VERTICALIDAD.

Un pozo vertical es aquel que no cambia apreciablemente su ángulo o dirección mientras avanza, a una distancia dada. Un método de pozo vertical es conveniente, excepto en casos especiales donde se desvía intencionalmente por algún propósito particular.

Un pozo inclinado no es conveniente y puede definirse como un pozo que cambia su rumbo ó dirección cuando progresa a una distancia dada.

PERFORACION EN FALLAS GEOLOGICAS.

Con este método, el pozo puede ser desviado a través de una falla o paralelo a ella para buscar mayor producción.

En algunos casos, un pozo situado al pie de una falla se desvía para penetrar el yacimiento de petróleo. Esto evita perforar un pozo vertical a través de un plano inclinado.

Algunas veces el pozo se perfora en la pared colgante de la falla y a una profundidad apropiada se desvía para pene-

trar en el plano de la falla aproximadamente en ángulos rectos. Se elimina así el riesgo de perforar pozos verticales a través de planos de fallas muy inclinados, lo que puede ocasionar el deslizamiento y el cisallamiento de las sartas revestidoras.

En casos donde la intersección del pozo y la formación de petróleo no son favorables, debido a fallas, agua y otras anomalías, puede emplearse la perforación direccional controlada para corregir ya sea el fondo del pozo o hacer trabajo exploratorio.

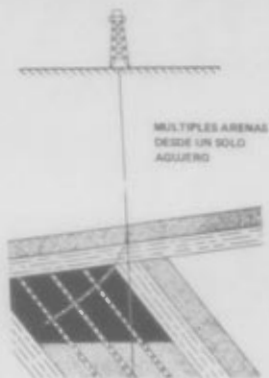
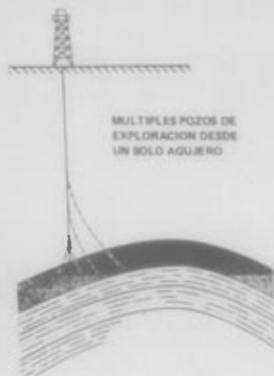
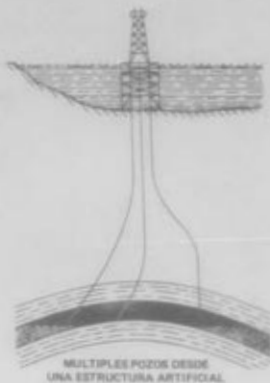
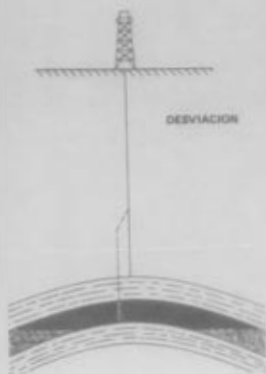
LOCALIZACIONES INACCESIBLES.

Los mismos métodos se aplican cuando la localización inaccesible de un intervalo productor dicta la necesidad de situar el equipo de perforación a distancia, como ocurre cuando se desea obtener producción de intervalos situados bajo ríos, montañas, ciudades, etc.

Estos ejemplos son apenas algunos de los muchos usos de la perforación direccional. Los nuevos métodos de recuperación de petróleo actualmente en desarrollo ampliarán la escala de aplicaciones a corto plazo.

PERFORACION DE POZOS DE ALIVIO.

Posiblemente la más conocida aplicación de la perforación direccional son los pozos de alivio para controlar pozos que explotan o se inflaman. Las técnicas fundamentales son las mismas que se usan en perforación direccional controlada para o



tres propósitos; sin embargo, el blanco de la localización requiere mucha precisión, porque el pozo estará sin control hasta que el pozo de alivio sea completado, permitiendo que se — bombee el lodo dentro del otro, controlándolo.

DESVIACION LATERAL Y ENDERECAMIENTO.

Se usa primordialmente para solventar dos problemas: el de apartarse de una obstrucción desviando el pozo, o el de enderezar el pozo si éste se ha torcido. Este es probablemente el uso más frecuente de perforación direccional controlada.

El propósito principal es desviar el pozo alrededor de obstáculos que no pueden perforarse. en la mayoría de dichos casos, el pozo no se dirige a un blanco especial. En muchos casos, sin embargo, después de desviarlo, el blanco original queda sin cambiar. En dichos casos, mucho control se requiere, al igual que en cualquier otra operación para volver el pozo hacia el blanco bajo la desviación.

PERFORACION DE DOMOS SALINOS.

Los programas de perforación direccional también se usan para eludir los problemas de perforación de domos salinos. Para alcanzar los intervalos productores que frecuentemente están situados bajo el tope protuberante del domo, el pozo se — perfora primero en paralelo con el domo y seguidamente se desvía para que penetre bajo la protuberancia.

VARIOS POZOS DESDE ESTRUCTURAS ARTIFICIALES.

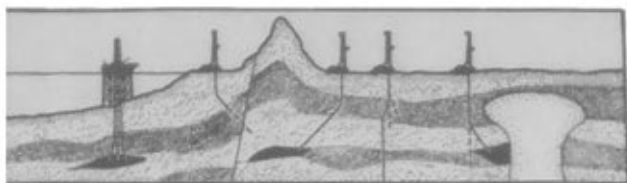
La aplicación actual más común de los métodos de desvisión es en la perforación costafuera, ya que permite perforar un número óptimo de pozos desde la misma plataforma o isla artificial. Esa operación simplifica notablemente las redes de recolección y los sistemas de producción, factores que gobiernan la viabilidad económica de la industria.

MÚLTIPLES POZOS DE EXPLORACION DESDE UNA PERFORACION.

Este sistema implica taponeo, perforación, retaponeo y reperforar tantas veces como se requiera para los pozos de exploración que se desvíen del mismo pozo, para valorizar diferentes formaciones y profundidades.

MÚLTIPLES ARENAS DESDE UN SOLO POZO.

Una aplicación provechosa de perforación direccional implica la intersección de múltiples arenas desde un solo pozo. Este método permite una terminación múltiple, de múltiples arenas bajo un domo de sal, bajo una deformación ó áreas adyacentes a una falla.



1

2

3

4

5

- 1) Varios Pozos Desde Plataformas Fijas.
- 2) Perforación de Fallas.
- 3) Localizaciones Inaccesibles.
- 4) Desviación Lateral y Enderezamiento.
- 5) Perforación de Domos Salinos.

PLANIFICACION DE POZOS.

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

FACTORES A CONSIDERAR AL PLANEAR PROGRAMAS DE PERFORACION DIRECCIONAL.

Tamaño y Forma del Objetivo:

El primer paso para planificar la perforación direccional consiste en especificar el objetivo (la zona que debe penetrar el pozo a una profundidad dada). Su tamaño y forma 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. El objetivo por consiguiente, deben discutirlo todas las partes interesadas a fin de no reducirlo a un tamaño refinado con la realidad, - cosa que aumenta considerablemente el costo de la operación.

Selección de la Localización Optima para el Equipo de Perforación:

Es esencial escoger un sitio óptimo para situar el equipo de perforación, a fin de aprovechar las tendencias natura

les de desviación que tienen las formaciones. Tales tendencias ejercen un marcado efecto sobre el grado de inclinación del pozo. Por ejemplo, cuando se perfora en intercalaciones alternas de formaciones blandas y duras con una barrena bien estabilizada, el rumbo del pozo suele ser perpendicular al plano de estratificación. Sin embargo, cuando el buzamiento de la formación laminada es de más de 45 grados, la barrena tiende a perforar en paralelo con el plano de estratificación. Por lo mismo, las tendencias de las formaciones afectan también las tendencias de la perforación direccional. Si se desea perforar buzamiento arriba, nada obstaculiza las tendencias de la barrena y la inclinación se puede aumentar rápidamente. Pero si se desea perforar a la izquierda del buzamiento arriba, la barrena tenderá a perforar hacia la derecha; y si se perfora a la derecha del buzamiento arriba, la barrena se desvía a la izquierda. Por consiguiente, la elección de una localización óptima para el equipo de perforación se debe basar en toda la información conocida del subsuelo para poder aprovechar las tendencias de las formaciones y minimizar la posibilidad de que el pozo se desvíe en dirección contraria a la deseada.

Tamaño del Pozo.

Los pozos de diámetro más grande son más fáciles de controlar que los de diámetro pequeño porque en éstos últimos se usan conjuntos de tubos lastrabarrenas y tubos más flexibles y más pequeños. Por consiguiente, en pozos de diámetro reducido las características de las formaciones ejercen un efecto

to más pronunciado en la pérdida de rumbo del pozo. Tales pro
blemas, afortunadamente, no son insolubles y puede obviarlos -
el personal competente de perforación.

Programas de Tuberías de Revestimiento y de Lodo:

En casi todos los programas de perforación direccio-
nal se pueden usar los mismos programas de tubería revestidora
que se usan en perforación vertical. La única excepción son en
pozos profundos o muy inclinados, en los que es necesario ins-
talar protectores de hule en la carta de perforación a fin de
evitar el desgaste de ésta y de la tubería revestidora.

El control del lodo es también muy importante para -
reducir el arrastre en pozos direccionales. Al lodo se le deben
añadir aditivos reductores de fricción y su densidad, así como
su viscosidad, se deben mantener bajo control en todo momento.

Efecto del Magnetismo de la Carta de Perforación y de los Pozos Vecinos Sobre los Instrumentos de Estudios Direccionales:

La experiencia ha demostrado que la carta de perfora
ción en rotación a veces se magnetiza. Sin embargo, ese efecto
conocido se puede compensar usando tubos lastrabarreras no mag-
néticos que evitan la inconsistencia de los registros.

Además, los estudios direccionales pozo abajo que se
toman cerca de pozos existentes puedan afectarse por el magne-
tismo residual de las cartas revestidoras de dichos pozos. El
magnetismo, sin embargo, es de pequeña magnitud pero debe te-
nerse en cuenta durante la planificación inicial.

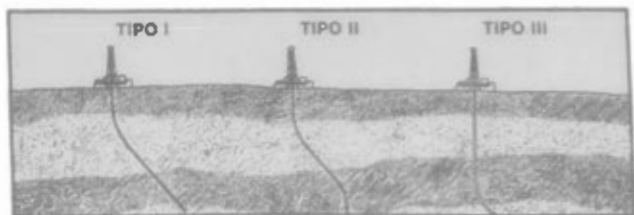
CONFIGURACIONES BASICAS DE POZOS.

Un programa de perforación direccional bien concebido se basa en información geológica, conocimiento de los programas de revestimiento y de lodos, localización del objetivo, etc. Estos datos se usan para escoger la configuración del pozo más apropiada para la operación. La experiencia ha indicado — que casi todos los pozos desviados caen en una de las tres categorías siguientes:

Tipo I. El pozo se planea de modo que la desviación inicial se obtenga a poca profundidad. El ángulo de inclinación se mantiene constante hasta llegar al objetivo. Esta configuración se usa principalmente para pozos de profundidad moderada, en regiones en las que la producción está en un solo intervalo y en — las que no se requiere mucho desplazamiento lateral.

Tipo II. Es el pozo de configuración en "S". La desviación se inicia también cerca de la superficie. La inclinación se mantiene, lo mismo que en el tipo I, hasta que se logra casi todo el desplazamiento lateral. Seguidamente se reduce el ángulo de desviación hasta volver el pozo a la vertical para llegar al — objetivo. Esta configuración, que puede traer consigo algunos — problemas, se usa principalmente para perforar pozos con intervalos productores múltiples, o en los que hay limitaciones impuestas por el tamaño y la localización del objetivo.

Tipo III. La desviación se comienza bien abajo de la superfi—



CONFIGURACIONES BASICAS DE FOSOS.

cie y el ángulo promedio de inclinación se mantiene hasta llegar al objetivo. Esta configuración es especialmente apropiada para situaciones tales como las de perforación de fallas o de domos salinos, o en cualquier situación en la que se requiera reperforar o reubicar la sección inferior del pozo.

PLANIFICACION DE LA PROPUESTA.

Selección del punto Inicial de Desviación.

La desviación y el rumbo iniciales adecuados son indispensables para ejecutar un trabajo de perforación direccional. Por consiguiente, un factor determinante en el éxito de la operación es la elección del punto inicial más apropiado; es decir, la profundidad a la cual debe comenzar la perforación del tramo desviado.

Debe prestarse especial atención a la intensidad del ángulo de inclinación necesaria para lograr la desviación deseada. En muchos casos deben usarse ángulos grandes, de 15 a 45 grados, ya que con ellos hay más flexibilidad para escoger el punto inicial más indicado. Con ellos, además, se logra más estabilidad del rumbo que con ángulos pequeños, tales como los de 5 a 10 grados.

Cantidades Aceptables y Límites de Desplazamiento Lateral.

El desplazamiento lateral o avance es la proyección del desplazamiento angular de la barrana, ya sea a la derecha o a la izquierda del rumbo propuesto.

Por consiguiente, y como quiera que la barrana tiende naturalmente a perforar en curva, el plan direccional debe concebirse cuidadosamente a fin de poder tolerar un desplazamiento de unos pocos grados a uno u. otro lado de la línea horizontal imaginaria que conecta la localización de la superficie con la ubicación del objetivo. Tratar de contrarrestar la tendencia natural de la barrana sólo trae como consecuencia — más tiempo de perforación y rendimiento inadecuado.

Hay un límite, sin embargo, en lo que toca a la cantidad aceptable de desplazamiento lateral. En sitios donde los pozos están poco espaciados, por ejemplo, el pozo se debe perforar y mantener dentro de un cilindro imaginario alrededor — del eje propuesto, para evitar la interferencia de los pozos — vecinos. A causa de las características específicas de las formaciones geológicas, tal vez existan restricciones similares — en lo que respecta al objetivo.

CALCULO DE PLANES PERFORACION DIRECCIONAL.

El cálculo comprende un procedimiento matemático fundamental cuyo desarrollo requiere ciertos datos. Generalmente comprende lo siguiente:

- a) La Profundidad Vertical Real del objetivo (o sea la profundidad total del pozo proyectada en el plano vertical).
- b) La profundidad del punto inicial de desviación (la profundidad escogida para comensar la desviación).
- c) La desviación (desviación horizontal), la cual suele calcu-

larse en relación con la localización en la superficie.

d) El régimen de aumento de inclinación y si tal es el caso el de disminución (a veces denominado "pata de perro") y que suele expresarse en grados por cada 30 mts. de perforación.

Para simplificar el cálculo se pueden usar gráficas matemáticas de aumento de inclinación, cada una de las cuales es para un régimen específico de incremento. Las gráficas permiten computar los planes en casi cualquier situación.

A continuación se presentan unos ejemplos de cálculo de configuraciones, utilizando las gráficas que desarrolló la compañía Eastman Whipstock, las cuales se presentan en el apéndice.

CALCULO DE CONFIGURACIONES TIPO I O III.

El primer tipo de gráfica, denominada de incremento estándar facilita el cálculo de proyecciones verticales y horizontales de pozos de configuración I ó III (pozos direccionales en los que el ángulo de desviación se mantiene constante). Veamos un ejemplo de uso:

Datos: Punto inicial de desviación 425 m.

Profundidad vertical total 2100 m.

Desplazamiento horizontal 800 m.

Severidad del incremento de ángulo 2.5 grados/30 m.

En el apéndice seleccionamos la gráfica correspondiente al incremento de ángulo requerido.

Determinamos la profundidad vertical aprovechable, o sea la diferencia entre el punto inicial de desviación y la profundidad vertical real: $2100 - 425 = 1675$ m.

En la gráfica, buscamos la intersección de la profundidad aprovechable (escala vertical) y la desviación horizontal (escala horizontal). O sea, en éste caso, 1675 y 800 mts. Se lee que el ángulo máximo de desviación en la línea oblicua correspondiente es de 27.5 grados; en el apéndice de la misma gráfica se puede leer que para éste valor, que es cuando se llega al ángulo máximo requerido tendremos:

Profundidad medida = 330 m.

Profundidad vertical = 317.47 m.

Desplazamiento horizontal = 77.69 m.

Inclinación = 27.5 grados

Se debe tomar en cuenta la profundidad del punto inicial de desviación, sumándoselo a las medidas obtenidas, para determinar profundidades reales al alcanzarse el ángulo deseado:

Profundidad medida = $330 + 425 = 755$ m.

Profundidad vertical real = $317.47 + 425 = 742.47$ m.

Para determinar las medidas más abajo del punto de obtención del ángulo máximo, deben despejarse los valores del triángulo remanente: la profundidad vertical dada y la profundidad vertical en ese punto; esto es $2100 - 742.47 = 1357.53$ m. La profundidad total medida, es por consiguiente:

$$\text{Prof Medida en Ang. Máx.} = \frac{\text{Prof. Vert. bajo Ang. Máx.}}{\text{Coseno de ngulo Máximo.}}$$

$$\text{o sea: } 755 + \frac{1357.53}{\cos 27.5}$$

Profundidad medida en total será 2285 m.

CÁLCULO DE CONFIGURACION TIPO II.

El procedimiento var ligeramente ya que no sólo es necesario calcular el aumento de inclinación, sino también computar el retorno a la vertical. Veamos un ejemplo:

Datos: Punto inicial de desviación 600 m.

Profundidad vertical real 3100 m.

Desplazamiento horizontal 750 m.

Severidad del incremento de ángulo 2 grados/30 m.

Severidad de la disminución 1.5 grados/30 m.

La primera parte del cálculo es igual a la descrita previamente. Así se tiene:

a) Profundidad aprovechable 2500 m.

b) ngulo al terminar el incremento de inclinación 18 grados.

c) Profundidad medida y profundidad vertical al alcanzar el incremento deseado de inclinación:

Profundidad medida = 270 m. y Profundidad vertical = 265.58

Determinar la profundidad medida, la profundidad vertical y la desviación necesarias para retornar el pozo a la vertical (de 18 a 0 grados). Los datos se pueden obtener en el apéndice del gráfico para 1.5 grados.

Para un ángulo de 18 grados, la profundidad medida es de 360 m. la profundidad vertical de 354.11 m. y el desplazamiento de — 56.09 m.

Despejar los valores del triángulo situado en la parte media del plano: el ángulo máximo se obtiene resolviendo la ecuación:

Tangente de Angulo Máximo =

$$= \frac{\text{Desp. Tot.} - (\text{Desp para sum.} + \text{Desp. para Dism.})}{\text{Prof. aprov.} - (\text{Prof. vert. aument.} + \text{Prof. vert. dismin.})}$$

La profundidad medida de la sececión constante =

$$= \frac{\text{Prof. aprov.} - (\text{Prof. vert. aument.} + \text{Prof. vert. dism.})}{\text{Coseno de Angulo Máximo}}$$

Coseno de Angulo Máximo

$$\begin{aligned} \text{Prof. Total Medida} &= \text{Prof. medida en el punto inicial} + \text{Prof. medida durante incremento} + \text{Prof. medida en tramo constante} + \text{Prof. medida en tramo de disminución} = \\ &= 600 \text{ m} + 270 \text{ m} + 1977 \text{ m} + 360 \text{ m} = 3207 \text{ m.} \end{aligned}$$

Este método de cálculo de configuraciones ó trayectorias de los pozos es muy sencillo y se utiliza para resolver problemas prácticos en los que se necesite un cálculo rápido; sin embargo existen también métodos de cálculo analíticos, los cuales son mucho más exactos y que son calculados con ayuda de una computadora.

PLANTEAMIENTO DE TRAYECTORIA.

Este método está basado en la ecuación de radio de curvatura, donde se hace la suposición de que el recinto del pozo es un arco continuo y esférico.

Haciendo:

ϕ = Angulo máximo.

R.C. = Radio de Curvatura para incrementar o reducir ángulo

$$R.C. = \frac{18\ 000}{W \times \Delta \times 3.28}$$

Donde Δ = cambio de ángulo/30 m. de profundidad.

P.M. = Profundidad medida (distancia medida a lo largo de la trayectoria de un pozo).

P.I. = Punto inicial de desviación.

D.H. = Desplazamiento horizontal del objetivo.

P.V.R.A. = Profundidad Vertical Real Aprovechable.

Se da por entendido en las siguientes ecuaciones, que el ángulo es primero incrementado de la vertical, y en el caso de pozos tipo II se les reduce el ángulo hasta que lleguen a una posición vertical.

$$\phi = \text{Arc Tan } \frac{D.H. - R.C.}{P.V.R.A.} + \text{Arc Sen } \frac{R.C. \times \text{Cos Arc Tan } \frac{D.H. - R.C.}{P.V.R.A.}}{P. V. R. A.}$$

En el caso de pozos tipo II se tiene que $R.C. = R.C.1 + R.C.2$

Una vez que se ha calculado el ángulo máximo de inclinación, la trayectoria restante del pozo se calculará así:

Posos Tipo I

a) Profundidad Vertical al terminar el incremento de ángulo:

$$= (R.C. \times \text{Sen } \phi) + P.I.$$

b) Desplazamiento Horizontal al terminar el incremento:

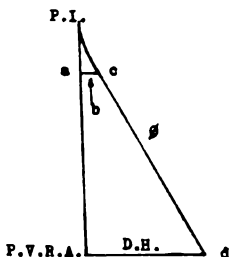
$$= R.C. \times (1 - \text{Cos } \phi)$$

c) Profundidad vertical medida al terminar el incremento:

$$= \frac{100 \times \phi}{\Delta \times 3.28} + P.I.$$

d) Profundidad medida al llegar al objetivo:

$$= \frac{D.H. - b}{\text{Sen } \phi} + c$$



Veamos un ejemplo con los mismos datos que se usaron anteriormente en el cálculo por medio de gráficas:

Datos: Punto inicial de desviación 425 m.

Profundidad vertical real 2100 m.

Desplazamiento Horizontal 800 m.

Severidad del incremento = 2.5 grados/30 m.

Profundidad vertical real aprovechable 1675 m.

Radio de Curvatura:

$$R.C. = \frac{18000}{3.14 \times 2.5 \times 3.28} = 698.72 \text{ m.}$$

$$\phi = \text{Arc Tan } \frac{800 - 698.72}{1675} + \text{Arc Sen } \frac{698.72 \times \text{Cos Arc Tan } \frac{800 - 698.72}{1675}}{1675}$$

$$\phi = 28.0668 \text{ grados} = 28 \text{ grados } 4 \text{ minutos.}$$

Trayectoria restante del pozo:

a) Prof. al terminar el incremento =

$$= (698.72 \times \text{Sen } 28.0668) + 425 = 753.75 \text{ m.}$$

b) Desp. Horizontal al terminar el incremento:

$$= 698.72 \times (1 - \text{Cos } 28.0668) = 82.17$$

c) Prof. vertical medida al terminar el incremento:

$$= \frac{100 \times 28.0668}{2.5 \times 3.28} + 425 = 767.27$$

d) Prof. medida al llegar al abjetivo:

$$= \frac{800 - 82.17}{\text{Sen } 28.0668} + 767.27 = 2292.94$$

Pegos Tipo II

a) Profundidad vertical al terminar el incremento:

$$= (R.C._1 \times \text{Sen } \phi) + P.I.$$

b) Desplazamiento Horizontal al terminar el incremento:

$$= R.C._1 \times (1 - \text{Cos } \phi)$$

c) Profundidad medida al terminar el incremento:

$$\frac{100 \times \phi}{\Delta_1 \times 3.28} + P.I.$$

d) Profundidad vertical al comienzo de la reducción:

$$= \text{Profundidad del objetivo} - (R.C._2 \times \text{Sen } \phi)$$

e) Desplazamiento Horizontal al comienzo de la reducción:

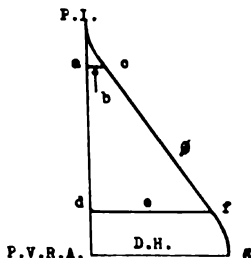
$$= (d - a) \text{ Tan } \phi + b$$

f) Profundidad medida al comienzo de la reducción:

$$\frac{a - b}{\text{Sen } \phi} + c$$

g) Profundidad medida al llegar al objetivo:

$$= \frac{100 \times \phi}{\Delta_2 \times 3.28} + f$$



HERRAMIENTAS PARA INICIAR LA DESVIACION DEL POZO.

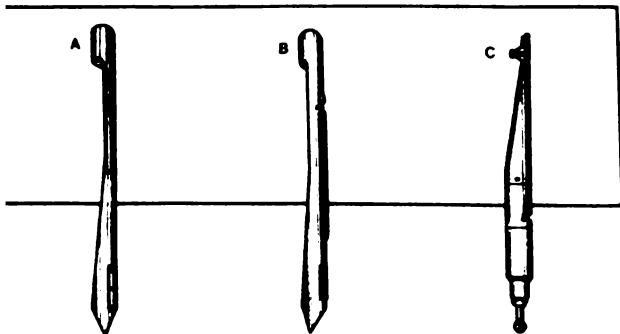
Herramientas Deflectoras.

En cualquier pozo direccional, la desviación y el rumbo iniciales son claves para el éxito de la operación. De aquí que uno de los prerequisites sea escoger las herramientas deflectoras más indicadas. Puesto que cada herramienta es para una situación específica, la debida elección depende principalmente del tipo de formaciones presentes en el punto inicial de la desviación.

Guiasondas ó Desviadores de Chorro al Fondo del Pozo.

El guiasondas estandard removible se usa para iniciar el cambio de inclinación y de rumbo del pozo, para perforar al lado de tapones de cemento o para enderessar pozos torcidos. Consta de una larga cuña invertida de acero, cóncava en un lado para sostener y guiar el conjunto de perforación. Tiene en el extremo inferior punta de formón para evitar que la herramienta gire, y un tubo lastrabarrenas situado en el tope para reseatar la herramienta.

El guiasondas de circulación se instala, fija y usa lo mismo que el guiasondas estandard. Pero, en este caso, el fluido de perforación pasa por un orificio situado en el fondo del guiasondas para desalojar por circulación el ripio (recortes) del fondo del pozo. Es muy eficiente para desbaratar puentes que obstruyen el recinto del pozo o desalojar material del fondo.



A) GUIASONDAS ESTANDARD REMOVIBLE.

B) GUIASONDAS DE CIRCULACION.

C) GUIASONDAS PERMANENTE TIPO REVESTIDOR.

Ambos guiasondas se usan con un conjunto de perforación que consta de una barrana guiasondas de las dimensiones a propiedades, un estabilizador de aletas en espiral, y un sub orientador rígidamente sujeto al guiasondas por medio de un pasador trozable.

Una vez que el conjunto se ha bajado y orientado, se aplica el peso necesario para fijar el guiasondas y trozar el pasador. Se inicia la perforación y se perfora el tramo inicial, denominado "ratonera". El tramo suele ser de 4 a 5 mts. contados a partir de la punta del guiasondas.

La ratonera, que generalmente se perfora con barrana de menor diámetro, se ensancha al diámetro corriente con una barrana piloto o con ensanchador y seguidamente se efectúa un estudio direccional para registrar la cantidad de desviación. Si se necesita rectificar lo hecho, se usa un nuevo conjunto de fondo compuesto de barrana de calibre pleno y estabilizador, lastrabarranas corto antimagnético, y sarta corriente de perforación. Con este conjunto, que es más flexible, es necesario a efectuar estudios direccionales a intervalos más cortos de lo normal.

El guiasondas permanente tipo revestidor queda permanentemente en el pozo. Se usa principalmente para desviar el pozo de un tramo de tubería de revestimiento aplastada ó donde haya obstrucciones, o para reingresar en un pozo existente para reperforarlo. Se fija, mediante un mecanismo energizador, a

un conjunto que consta de fresadora inicial, sub orientador y sarta corriente de perforación. Una vez que el conjunto se ha orientado debidamente en el recinto del pozo entubado, el pasador se rompe, con lo que el guiasondas queda permanentemente instalado en el pozo. La fresadora inicial se hace girar lentamente y se guía, mediante una oreja sacrificable, directamente hacia la pared de la tubería de revestimiento.

Una vez fresada una sección de la tubería se instala un nuevo conjunto de fresadora rápida, para establecer el rumbo del recinto del pozo. Consta de fresadora calibre plano (de diamantes o carburo de tungsteno, de fondo plano), estabilizador de carburo de tungsteno y conjunto estandar de sarta de perforación. Se perforan cuatro mts. más ó menos, antes de empezar a usar el conjunto estandar de perforación.

Substitutos Circulantes de Pasador Cortante.

Estos substitutos están diseñados especialmente para introducir el desviador de chorro al fondo del pozo. Se usan para correr, sentar y recuperar herramientas, pero fundamentalmente proveen un medio para la circulación a través del desviador. También proveen circulación a través de la barrena para las operaciones de desvío y el sustituto de conexión para la barrena.

Este substituto es esencialmente para barrena con — preparación para acoplar el desviador de chorro al fondo en su

parte superior. Se acopla por medio de un ensamble de perno su jetador 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 el acople de la barrena. También tiene una serie de agarres en su diámetro exterior para recupear el desviador después que la ratonera ha sido perforada.

El cuerpo superior tiene un pistón asegurado en posición. El propósito del pistón es dirigir la circulación después que el desviador está listo para espesar la ratonera. El pistón se acciona al dejar caer una bola de acero desde la superficie.

El substituto se arma para para desviar a ciegas; éste tiene una serie (generalmente 4) de orejas en su punta inferior para soportar el desviador. También tiene un agujero ciego en un lado en el cual cabe el pasador cortable para conectar el substituto y la barrena al desviador. Amplios orificios aseguran buena circulación a través de la barrena. El extremo inferior del substituto, así como el superior, tienen conexión por medio de caja.

Junta Articulada.

La junta articulada es una herramienta especial que se usa para desviar el pozo sin necesidad de guíasondas. Consiste de una junta universal tipo esfera cargada a resorte, conecta

tada con la sarta de perforación, a fin de que la barrena pueda perforar en ángulo con relación al eje de la sarta.

Su uso, sin embargo, es limitado, a causa de las características de diseño, que impiden la debida orientación. Su aplicación, por consiguiente, se limita a perforación no direccional o para desviar sin control de rumbo.

Barrenas de Chorro.

La barrena de chorros es un medio económico y eficiente para desviar pozos en formaciones blandas. Es una barrena - modificada de dos o de tres conos, con tres boquillas lansachorros - dos pequeñas y una grande.

La barrena se enrosca en el conjunto lansachorros - que consta de sub de extensión, lastrabarrenas de calibre pleno, lastrabarrenas no magnético, dos lastrabarrenas estandar, otro estabilizador y el resto de la sarta corriente de perforación.

El conjunto se baja al fondo del pozo y la boquilla-grande se orienta en la dirección debida; todos los orificios-lansachorros se obturan o se reducen drásticamente. Se aplica máximo régimen de circulación a fin de iniciar la acción de — deslave. La sarta de perforación se apoya en el fondo y se levanta periódicamente, para abrir una cavidad grande frente a la boquilla grande.

La acción combinada de chorro y escoplo se continúa a los intervalos necesarios hasta lograr la curvatura inicial.

Cuando se ha perforado el tramo deseado se resmanan 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 deseados (sin tener que sacar el conjunto lensachorros, ya que a intervalos periódicos se efectúan estudios direccionales para determinar el rumbo del pozo).

La desviación a chorro, por consiguiente, es muy económica. Permite perforar rápidamente sin necesidad de sacar la sarta para cambiar los conjuntos de perforación o para acondicionar el pozo. Permite perforar rápidamente recintos de plano calibre con cambio suave de dirección en formaciones blandas, y reduce el número de horas de perforación rotaria. Se puede usar, además, una nueva herramienta denominada herramienta hidráulica lensachorros con la cual se pueden iniciar desviaciones a más profundidad. Es una bomba de emergencia, poco abajo, que no requiere equipo especial, a no ser por las bombas disponibles en el equipo de perforación y el aparejo corriente de perforar.

Estabilizadores de Hojas Soldadas.

Los estabilizadores son esencialmente un diseño de una pieza. Los cuerpos son maquinados con precisión en acero de alto grado y cuidadosamente tratados al fuego para darles mayor resistencia al uso y fuerza.

Las hojas, planeadas para dureza pueden ser elimina-

das por molienda en caso de que la sarta de perforación tenga que ser lavada con tubería lavadora. Las hojas son insertadas y soldadas al cuerpo, después de lo cual son cuidadosamente revisadas. Finalmente, las hojas son maquinadas en concentricidad con el cuerpo y aplicadas con un material duro (metal) en sus caras, el cual es altamente resistente al uso. El material estandard de revestimiento, puede ser reemplazado por Eutrité o otro material cuando sea requerido en formaciones extremadamente duras.

Su uso permite altos promedios de penetración. Su -- precisión asegura al operador un agujero vertical y de calibración uniforme; mientras que su construcción simple y fuerte elimina la posibilidad de quebraduras o pérdidas de cualquier parte pequeña o de las hojas.

El uso experto de estabilizadores confiables es obligado durante cualquier operación de perforación direccional. Cuando están localizados y espaciados en forma apropiada en la sarta de perforación; son usados en varios patrones, dependiendo de las condiciones de operación, en todos los arreglos normales de perforación direccional. Otros patrones son usados en arreglos de perforación método del péndulo y en varios ensambles de agujero empaçado. Los estabilizadores propiamente seleccionados y revestidos a la medida, son empleados a menudo para desviación deliberada y controlada de agujero.

Lastrabarrenas de Perforación Desviador.

El lastrabarrenas de perforación desviador es una herramienta para propósitos especiales en perforación direccional. Es un ensamble simple de una pieza, diseñado específicamente como un accesorio para correrse en conjunto con desviadores de chorro ó convencionales. Estos lastrabarrenas están fabricados de una aleación de acero, tratada al fuego para máxima resistencia y dureza.

Se usan para espaciar la barrena y el sustituto de perno cortable, durante la deflexión en perforación desviada, colocando la barrena en la mejor posición para iniciar las operaciones de perforación.

Guías para Reentradas en "Ratoneras".

Las guías "ratoneras" están diseñadas especialmente como herramientas de perforación direccional controlada, usadas para reentrar en "ratoneras". En operaciones de desvío ya sea convencionales o de chorro al fondo, se debe colocar un tapón de cemento en el punto de desviación, perforar una "ratonera", y esto permite establecer un curso nuevo para el pozo. Una vez terminada la "ratonera" se rima a su medida programada.

La guía "ratonera" es usada en el fondo del ensamble de perforación para guiar el amplificador de agujero a la ratonera, asegurando una reentrada apropiada.

Consiste esencialmente de cinco partes; el sustituto

superior, mandril flecha, cuerpo guía, anillo sellante y tapón. Cuando la herramienta está ensamblada, está sellada contra pérdidas de circulación excepto a través de la herramienta y fuera del conducto en el tapón.

Cuando se aplica presión del fluido durante la operación, la velocidad y presión en el tapón lo forzará hacia un lado, causando que el mandril flecha forme rodilla en el punto de articulación, a un ángulo máximo de cinco grados. En esta posición lateral, el tapón es usado para explorar y encontrar la ratonera previamente preparada.

Una vez que la guía entra en la ratonera, puede procederse con las operaciones de rimado hasta terminar. Después del rimado, el ensamble es sacado y reemplazado con el ensamble de perforación y se continúan las operaciones normales de perforación direccional.

Juntas Deflectoras de Rodilla.

Las juntas deflectoras de rodilla son herramientas de perforación direccional especialmente diseñadas. Su uso permite flexibilidad de la sarta de perforación en el punto crítico de deflexión durante operaciones de desvío.

Cuando debe desviarse el curso de un agujero perforado una junta deflectora de rodilla es usualmente incluida en el ensamble desviador. Su presencia permite a la sección perforada de la ratonera flexionarse con relación a la sarta de perforación arriba del desviador, cuando la ratonera es comenzada.

Esto previene esfuerzos laterales indebidos en las conexiones de la sarta de perforación, mientras que simultáneamente permite a la barrena "ratonera" completa libertad de deflexión.

La herramienta está localizada en la sarta arriba de la barrena y el lastrabarrenas de perforación desviador y justamente abajo de la herramienta orientadora. En esta posición permite flexibilidad para que la barrena deflexione libremente cuando los pernos cortables del desviador sean cortados y la ratonera comenzada. Su altura arriba de la barrena en la mayoría de los casos es de 1.5 a 2 metros.

Lastrabarrenas de Perforación Anti-Magnéticos.

Estos lastrabarrenas se usan en cualquier operación que requiera la orientación de la herramienta perforadora ó — desviadora. Son elemento esencial en la operación con:

Desviador de chorro al fondo, o convencionales.

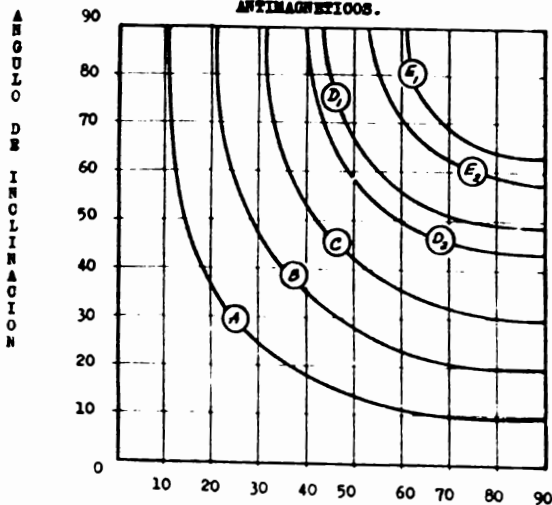
Desviador con motor hidráulico pozo abajo.

Desviador por chorros en formación suave.

Estos lastrabarrenas se utilizan siempre que se requiera hacer un estudio direccional, en donde se necesita que los instrumentos de medición que son afectados por el magnetismo de la sarta se mantengan fuera del alcance de éste.

Se ha comprobado que la sarta de perforación se magnetiza con la rotación, y esto afecta los instrumentos que se utilizan para la medición de la orientación de los pozos. Para

**GRAFICA PARA SELECCIONAR LONGITUD DE LASTRABARRERAS
ANTIMAGNETICOS.**



RUMBO DEL POZO A PARTIR DEL NORTE O SUR MAGNETICO

Bajo la curva A usar lastrabarreras de 5.4 m con compás a 2.13 - 2.43 m. arriba de la barrena.

Bajo la curva B usar lastrabarreras de 7.62 m con compás a 2.74- 3 m. arriba de la barrena.

Bajo la curva C usar de 9.14 con compás a 3.4 m sobre barrena.

Bajo la curva D₁ usar de 9.14 y 5.5 con compás a 4.8 sobre la - barrena.

Bajo la curva D₂ usar de 9.14 y 5.5 con compás a 5.5 arriba del motor o de tubo lastrabarreras.

Bajo la curva E₁ usar de 9.14 y 7.6 con compás a 5 m arriba de la barrena.

Bajo la curva E₂ usar de 9.14 y 7.6 con compás a 5.5 m. arriba del motor o de lastrabarreras de acero.

evitar esto, se han creado modernos lastrabarreras antimagnéticos, los cuales están contruidos con acero monal. Sin embargo es de primordial importancia la selección de la longitud de dicho lastrabarreras, ya que en base a ello se pueden obtener resultados ciertos.

Para elegir la longitud de los lastrabarreras se utiliza una gráfica en donde los parámetros son la inclinación del pozo, la dirección ó rumbo de la desviación y la longitud de los lastrabarreras necesarios que se deben incluir en la sarta de perforación.

Motores Hidráulicos Pozo Abajo.

El motor pozo abajo es la herramienta deflectora que más se usa actualmente. Lo impulsa el lodo de perforación, que fluye a través de la sarta. El motor genera fuerza de torsión pozo abajo, lo que elimina la necesidad de dar rotación a la sarta.

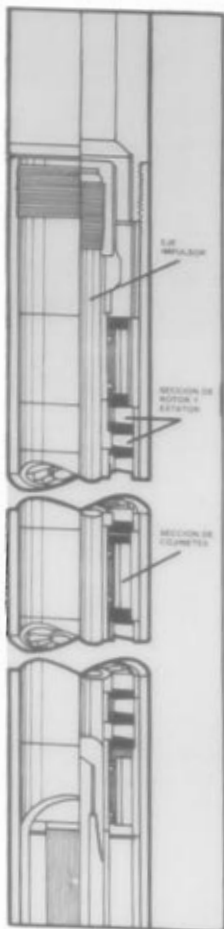
La primera variación del motor pozo abajo, que se conoce por el nombre de turbobarrena o motor tipo turbina, es una recia unidad axial multietapa que ha demostrado ser muy eficiente y confiable, especialmente en formaciones semiduras a duras.

Consta de una sección multietapa de rotor y estator, una sección de cojinetes, un eje impulsor y un sub que hace girar la barrena. La primera etapa consta de rotor y estator de



BARRERA PARA DESVIAR.

MOTOR HIDRAULICO.



configuración idéntica. El estator es fijo y desvía el flujo - de lodo de perforación hacia el rotor, el cual va fijo en el - eje impulsor, cosa de que pueda transmitir la acción rotatoria para hacer girar la barrena.

La segunda variación del motor pozo abajo es el motor de desplazamiento positivo ó helicoidal. Consta de un motor helicoidal de dos etapas, una válvula de descarga, un conjunto de biela y otro de cojinetes y eje. El motor helicoidal tiene una cavidad en espiral forrada de hule, provista de sección transversal elíptica que aloja un rotor sinusoidal de acero. Por consiguiente, el flujo descendente presurizado del lodo, entra entre la cavidad espiral y el rotor, el cual se desplaza y gira. La rotación energiza el eje impulsor y el efecto es fuerza de torsión que hace girar la barrena.

Ambos tipos de motores pozo abajo se pueden usar con conjunto compuesto de barrena de calibre pleno, el motor pozo-abajo, un sub curvo corriente ó hidráulico, un tubo lastrabarreras antimagnético y el conjunto corriente de perforación.

El sub curvo se usa para impartir deflexión constante al conjunto. Su rosca superior es concéntrica con el eje - del cuerpo, y su rosca inferior es concéntrica con un eje inclinado de uno a tres grados con relación al eje de la rosca superior.

Se ha desarrollado también un sub hidráulico curvo - que se puede fijar en posición para perforación vertical, o sol

tar y reajustar para perforación direccional.

Por las razones arriba anotadas, los motores pozo abajo tienen muchas ventajas sobre el guiasondas. Cuando la perforación a chorro se vuelve impráctica, permiten perforar pozos de calibre pleno desde el punto inicial de desviación con el fin de eliminar viajes redondos innecesarios de la sarta. La orientación es también precisa, ya que los motores pozo abajo producen una curva suave y gradual en los tramos de incremento y disminución de ángulo. Las correcciones, en caso de — que se necesiten, se hacen pozo abajo sin tener necesidad de — sacar la sarta. Finalmente, los motores eliminan la necesidad de tandas de rectificación para eliminar puentes, pateperros, — etc., ya que con la herramienta se puede circular y perforar — hasta el fondo.

Substituto Acodado.

Estos substitutos acodados se usan con sondas de motor perforadoras para desviar la barrana en operaciones de perforación direccional. El substituto tiene una pequeña curva en la punta de tamaño controlado. En uso, esta curva causa que la barrana en la sonda-motor busque el lado del pozo y comience — un nuevo curso desviado para el pozo, en la dirección que se — le oriente.

Estos substitutos son iguales, esencialmente, que — los substitutos de rotaria, excepto que la punta inferior está cortada en ángulo con relación al eje largo de la parte. Este — ángulo es preciso y es de generalmente de medio a dos grados y

medio. Su operación es simple, el substituto se pone en la sagta inmediatamente arriba de la sonda-motor. Su orientación con relación a la sonda motor debe ser precisamente determinada y anotada, para que cuando se llegue al fondo, el ángulo de desviación de la sonda-motor pueda ser precisado.

El ensamble se introduce hasta el fondo y la sonda-motor se orienta en la dirección prescrita. En este punto, las operaciones de desvío comienzan.

Juntas DYNA-FLEX.

Las juntas Dyna-Flex fueron especialmente desarrolladas para usarse con cualquier motor perforador operado con líquido ó aire. Su uso permite que el ensamble del motor perforador se use ya sea como aparejo de perforación direccional 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 curvo. Entre las ventajas de la herramienta se tiene:

La junta es corrida dentro y fuera del pozo en posición — derecha, eliminando dañar el enjarre del lodo debido al movimiento lateral de la barrena.

Los viajes se reducen ya que puede perforarse direccional o verticalmente sin salir del pozo.

Puede hacerse inspección y orientación mientras la herramienta está en posición derecha, eliminando los problemas inh-

rentes a los substitutos.

Se eliminan los derrumbes ya que la junta es colocada en posición antes de formar la junta de rodilla.

Con esta herramienta el operador puede colocar ó recolectar el ángulo direccional a la posición deseada.

PERFORACION DEL TRAMO ENVIADO DEL POZO.

Tan pronto se fijan la desviación y el rumbo del pozo, el control direccional se logra, en su mayor parte, mediante métodos corrientes de perforación.

EL PRINCIPIO DEL FULCRO.

El incremento subsiguiente de la curvatura para obtener el ángulo predeterminado de inclinación se obtiene aplicando el principio del fulcro. Este es un escariador ó un estabilizador, que se inserta en la sarta de perforación, inmediatamente arriba de la barrena. Cuando se aplica el peso debido, - el estabilizador ejerce efecto de palanca en la sarta y hace - que aumente el ángulo del pozo. Para acción adicional de palanca arriba del punto del fulcro se puede usar un sub de extensión.

La experiencia ha indicado que mientras más flexible sea el conjunto situado inmediatamente arriba del fulcro, más rápido es el aumento del ángulo. Por consiguiente, la selección del conjunto más indicado la determina el régimen de aumento - que se requiera para cada operación específica.

El conjunto estándar de incremento es relativamente flexible. Se usa para regímenes normales de aumento y se saca del pozo una vez logrado el ángulo máximo.

Otro dispositivo que se usa para aumentar el ángulo de inclinación es el motor de pozo abajo, parecido al que se -

usa como herramienta defleitora.

EL PRINCIPIO DE LA ESTABILIZACION.

Cuando se logra el ángulo prescrito de inclinación, - éste se debe mantener hasta la profundidad total, o hasta que el pozo deba retornarse a la vertical. La estabilización requiere conjuntos rígidos de fondo de pozo y estricta atención a la combinación de velocidad rotatoria y peso sobre la barrena. Un conjunto rígido de uso común es el conjunto empacado estándar, que consta de escariador ó estabilizador puesto justa mente encima de la barrena y de otro escariador situado arriba del lastrabarrenas grande del fondo. Este conjunto es muy rígi do, los lastrabarrenas que se usan son lo suficientemente pequeños para pescarlos, pero lo bastante grandes para evitar — que la barrena se desvíe a la derecha ó a la izquierda del rum bo requerido.

Otro conjunto es el de empaque máximo, todavía más — rígido que el anterior, y bien apropiado para regiones donde — hay pronunciada tendencia a la deriva lateral. Tiene dos estabilizadores de calibre pleno o un lastrabarrenas cuadrado justa mente arriba de la barrena, un lastrabarrenas grande de fondo y dos estabilizadores más, inmediatamente encima.

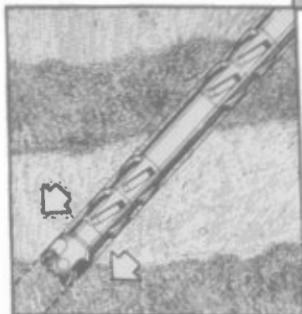
La rigidez del lastrabarrenas de fondo hace que el — conjunto resista la tendencia a perforar en curva, o sea se — trata de que la barrena perfora inclinada pero en línea recta.

EL PRINCIPIO DEL PENDULO.

Este principio básico se aplica para disminuir el ángulo de inclinación cuando se perforan pozos de configuración tipo II. El efecto pendular se produce removiendo el estabilizador puesto encima de la barrana, pero dejando el estabilizador superior. El resultado es que el estabilizador remanente mantiene el lastrabarranas del fondo apartado del lado bajo de la pared del pozo; la fuerza de gravedad actúa sobre la barrana y sobre el lastrabarranas del fondo, y tiende a hacerlos volver a la vertical. Pero, comoquiera que la barrana está comprimida — contra el lado bajo del pozo por el peso del lastrabarranas del fondo y puede perforar lateralmente o de frente, el ángulo del pozo disminuye a medida que la barrana avanza. El pozo por consiguiente se endereza.

Existen distintos problemas para cada zona donde se perforen pozos, sin embargo se ha tratado de hacer una clasificación general de los diferentes tipos y combinaciones de arreglos de sartas. Cada una de ellas se utiliza para variar la dirección e inclinación del pozo, sin embargo no puede decirse a ciencia cierta cuánto cambiará de rumbo determinado pozo, con determinada sarta, esto sólo sucederá con la experiencia que se se tenga de la zona, sin embargo se presentan los arreglos de las sartas con los cambios que pueden ocasionar a la dirección del pozo.

PRINCIPIO DEL FULCRO.



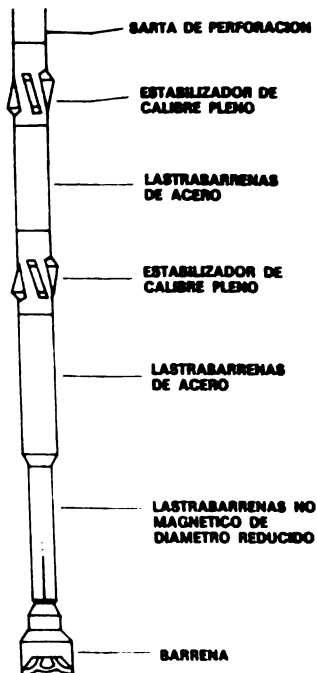
PRINCIPIO DE ESTABILIZACION

PRINCIPIO DEL PENDULO



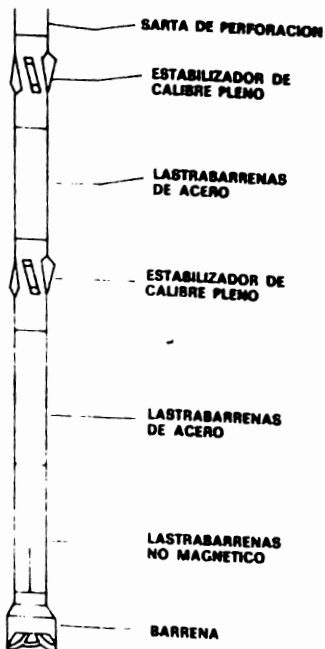
**CONJUNTO DE
DESMINUCION
TIPO OLLIGAN**

**(PARA REDUCIR AL
MAXIMO EL ANGULO)**



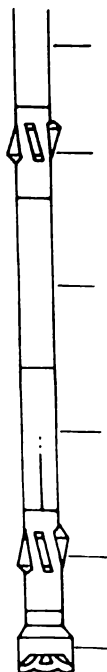
**CONJUNTO DE
DISMINUCION
ESTANDARD**

**(PARA REDUCIR
ANGULO)**



**CONJUNTO
DE DISMINUCION
GRADUAL**

**(PARA MANTENER
RUMBO Y GRADUALMENTE
DISMINUIR ANGULO)**



**LASTRABARRENAS
DE ACERO**

**ESTABILIZADOR DE
CALIBRE PLENO**

**LASTRABARRENAS
DE ACERO**

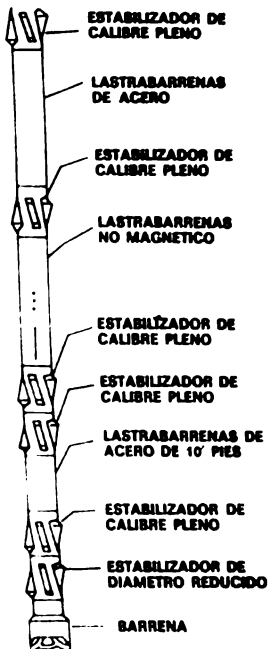
**LASTRABARRENAS
NO MAGNETICO**

**ESTABILIZADOR DE
DIAMETRO REDUCIDO**

BARRENA

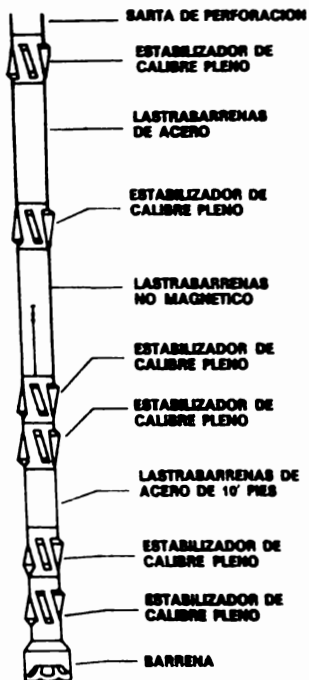
**CONJUNTO
EMPACADO
DE DIAMETRO
REDUCIDO**

**(PARA MANTENER RUMBO
Y REDUCIR
GRADUALMENTE
EL ANGULO)**



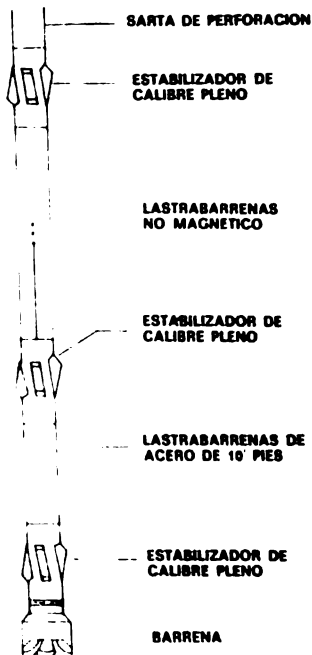
**CONJUNTO
SUPEREMPACADO**

**(PARA MANTENER
ANGULO Y RUMBO)**



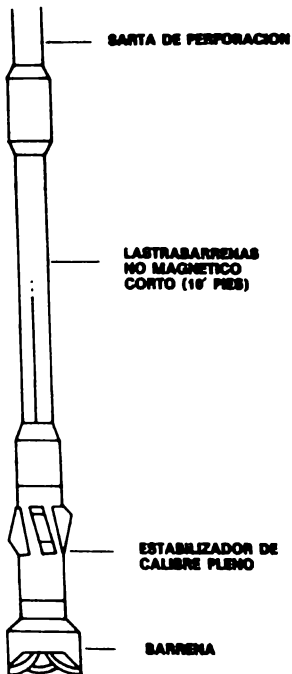
**CONJUNTO
EMPACADO
ESTANDARD**

**(PARA MANTENER
ANGULO Y RUMBO)**



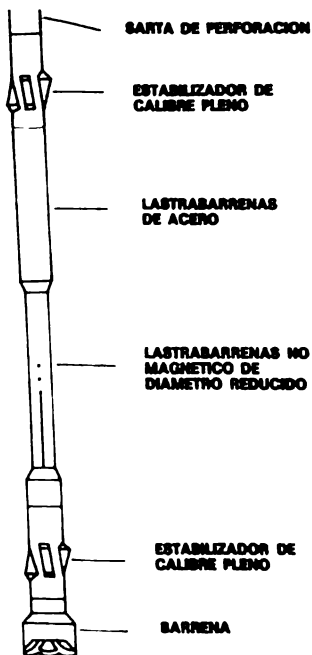
**CONJUNTO
CORTO**

**(PARA AUMENTAR
RAPIDAMENTE EL
ANGULO)**



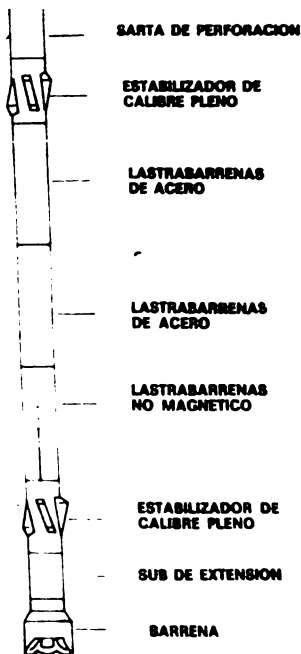
CONJUNTO GILLIGAN

**(PARA AUMENTO
DE ANGULO)**



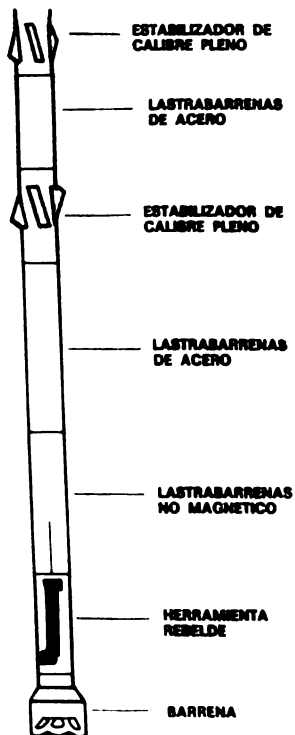
**CONJUNTO
STANDARD**

(PARA AUMENTO DE ANGULO)



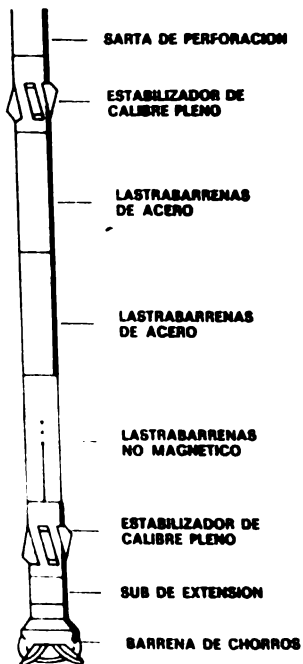
**CONJUNTO PARA
HERRAMIENTA
REBELDE**

**(PARA MINIMO CAMBIO
EN ANGULO
Y CORREGIR
EL DESPLAZAMIENTO
LATERAL)**



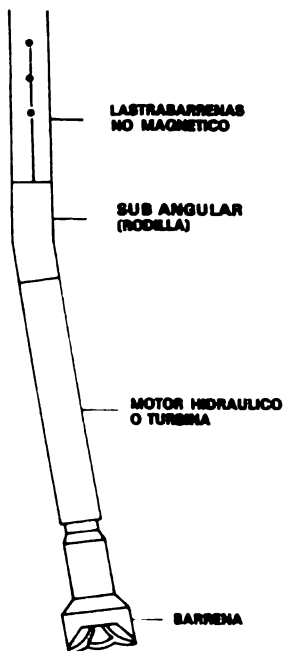
**CONJUNTO
PARA BARRENA
DE CHORROS**

**(PARA CAMBIOS
MÚLTIPLES)**



**CONJUNTO DE
MOTOR POZO
ABAJO**

(PARA CAMBIOS MULTIPLES)



ESTUDIOS DIRECCIONALES.

Los estudios direccionales se usan para determinar - precisamente la dirección de los pozos. Permiten precisar la - localización del fondo con relación a la ubicación de la superficie, a una profundidad vertical dada; sirven para localizar - posibles patas de perro o excesivas curvaturas, para vigilar - el rumbo y la deriva durante la perforación, y para orientar - las herramientas deflectoras.

Los instrumentos y métodos actuales son un medio rápido, preciso y económico de vigilar el recinto del pozo. La - inclinación y la dirección del recinto del pozo a profundidades específicas se determina mediante estudios de toma sencilla. - Los de tomas múltiples se usan para tomar varias lecturas individuales a los intervalos predeterminados.

Estudios Magnéticos que Requieren Lastrabarreras Antimagnético.

Todos los métodos magnéticos de estudios direccionales tienen un denominador en común. Los instrumentos deben instalarse dentro de un tubo lastrabarreras no magnético, hecho - de aleación especial de níquel, para situar o espaciar la sección del compás a distancia de la influencia del magnetismo de la sarta de perforación.

Estudio Magnético de Toma Sencilla.

El primer método de estudio magnético es el de toma-

sencilla. Se usa para registrar simultáneamente la dirección-magnética del rumbo de pozos sin entubar, y su inclinación — con relación a la vertical. El instrumento consta de tres unidades básicas: un cronómetro ó sensor de movimiento, una cámara y un indicador de ángulo. El cronómetro se usa para accionar la cámara en el momento predeterminado. Pero, comoquiera que es difícil predecir exactamente el tiempo que transcurre durante el descenso de la herramienta, para evitar contratiempos se usa el sensor de movimiento. Es un singular dispositivo electrónico de la cámara, a los pocos segundos de haber cesado el movimiento es energizado el sistema. La cámara se preenfoca y se precarga con una película circular hecha de material resistente al calor. La unidad indicadora del ángulo — consta de compás magnético y plomada, y sirve para determinar el ángulo de inclinación con relación a la vertical.

Para usar el instrumento, el cronómetro se gradúa — para un lapso predeterminado. El conjunto se arma en un cilindro protector y se baja al pozo con cable, o se deja caer con una barrena embotada. Cuando llega al fondo, el cronómetro energiza la cámara la cual toma una fotografía de las posiciones relativas del compás y la plomada. El instrumento se saca a la superficie, donde la película se revela y se sitúa en un lector que indica la dirección y la inclinación exactas del — pozo.

Estudio Magnético de Caída Libre.

El método de caída libre es el más económico para determinar la inclinación y el rumbo de un pozo sin entubar. Se efectúa después de perforar el pozo y se usa una tira de película de 10 mm para tomar varios registros a profundidades predeterminadas. El instrumento fotográfico, energizado mecánicamente, lleva un cronómetro que se sincroniza en la superficie con un reloj. Una vez armado el instrumento y puesto en su cilindro protector, se deja caer libremente dentro de la sarta de perforación para que se asiente en una placa deflectora -un pedestal redondo que descansa en el extremo de espiga del subo de la barrena-. Al rescatar la sarta de perforación se registran los datos pozo abajo, los cuales son registrados como un estudio direccional una vez que se revela la película.

Estudios en Pozos Abiertos.

Otro tipo de estudios magnéticos es el de tomas múltiples para pozos sin entubar. Se usa para determinar la inclinación y el rumbo de un pozo sin entubar, una vez concluida la perforación. En el pozo se introduce un instrumento energizado por baterías y de accionamiento mecánico que fotografía el ángulo y la dirección del compás a profundidades predeterminadas. Al igual que en el de toma sencilla, el instrumento tiene cronómetro y cámara, en este caso con tira de película de 16 mm - en vez de película circular (para registrar los cambios de ángulo y dirección a varias profundidades).

Herramienta de Orientación Direccional (DOT).

Dada la creciente precisión que se requiere en perforación direccional, hoy en día se están usando más y más motores hidráulicos y turbobarrenas para iniciar la desviación y - cambiar la dirección del pozo. A causa de la torsión de reacción ocasionada por la acción del motor hidráulico es necesario vigilar la orientación de la barrena al hacer los cambios direccionales.

Ingenieros expertos en investigación y desarrollo — han perfeccionado el DOT para lograr indicaciones continuas de la orientación de la barrena, la dirección del pozo y el ángulo de desviación de la vertical a medida que cambian. Es un — sistema que consta de tres unidades que trabajan en conjunto — para suministrar datos.

El probador a cable: éste es el recolector de información del sistema. Se baja al pozo con un cable de un solo — conductor y se sienta en la guía del conjunto de orientación, — más abajo de un tubo lastrabarrenas antimagnético. El probador tiene los varios sistemas electrónicos necesarios para recabar la información pozo abajo y transmitirla a la superficie.

Computador del sistema: éste es el cerebro de la herramienta; organiza, combina y ejecuta cálculos a partir de — las señales que transmite el probador, y las convierte en información inteligible. El computador del sistema vigila también más de 18 señales del probador para verificar el estado —

del cable, así como el funcionamiento de los circuitos de la herramienta.

La unidad de lectura del sistema: se sitúa cerca de la consola del perforador para que éste tenga indicaciones continuas de la dirección magnética del pozo, el azimut de la cara de la herramienta y el ángulo de desviación de la vertical.

Es una herramienta que suministra información sobre la orientación de la barrena, datos sobre estudios direccionales pozo abajo, información de temperaturas en el pozo e información de interferencia magnética pozo abajo.

Otros Tipos de Estudios que se Efectúan sin Lastrabarrenas Antimagnéticos.

Indicador de Inclinación.

El indicador de inclinación es un dispositivo accionado mecánicamente que se usa primordialmente para obtener datos de inclinación en pozos verticales. Sin embargo, también se usa para computar el desplazamiento total o la desviación de resintos dentro de un radio dado a la profundidad vertical total.

El instrumento va confinado en un cilindro que lo — protege contra sacudidas y presión. La unidad, que se pregña en la superficie, se introduce a cable o se deja caer con una barrena embotada. Una vez transcurrido el lapso predeterminado, el instrumento punzona un disco impreso de papel, gira 180 grados automáticamente y a los 45 segundos vuelve a punzo-

narlo para verificar la exactitud de la lectura. Este tipo de instrumento es inmune al mag mo y se puede usar sin tubos-lastrabarrenas antimagnéticos.

Estudio de Inclinación de Tomas Múltiples, de Caída Libre.

El instrumento de caída libre, para tomas múltiples-de inclinación, se usa para tomar varios registros después de perforarse el pozo. Puesto que las aptitudes de inclinación de la unidad indicadora de ángulo son inmunes a la interferencia magnética, se puede situar dentro de lastrabarrenas de acero, ya sea en pozos entubados o sin entubar. El instrumento se deja caer libremente por dentro de la sarta para que se asiente en la placa deflectora. Los registros se toman mientras la sarta se saca del pozo.

Estudios Giroscópicos.

El instrumento giroscópico también se puede usar sin lastrabarrenas antimagnéticos, ya que el compás magnético se reemplaza por un compás de disco giroscópico que controla un motor eléctrico de alta velocidad.

El fin primordial del giroscópico de toma sencilla es el de orientar las herramientas deflectoras en áreas de fuerte influencia magnética, y determinar tanto la inclinación como el rumbo del pozo. El instrumento tiene un cronómetro, o una brújula, y un compás giroscópico muy sensible.

La unidad giroscópica se orienta en dirección conocida y el cronómetro se pone a la hora deseada. El instrumento - se mete en el cilindro protector y se baja al punto en que se desea tomar el registro. Seguidamente, el instrumento se saca y la película se revela.

El instrumento giroscópico de tomas múltiples se usa para registrar, en tira de 10 mm la inclinación y el rumbo de un pozo entubado ó sin entubar. El instrumento y la sección de la cámara son iguales a las del instrumento de tomas múltiples de caída libre. El giroscopio se orienta en una dirección conocida y el cronómetro se sincroniza en la superficie con un reloj. Una vez armado el instrumento se baja a cable.

Los sistemas giroscópicos son muy sensibles y deben manejarse con mucho cuidado. Cuando el conjunto se resaca es necesario inspeccionar la unidad giroscópica para determinar - la deriva.

Para asegurar la precisión de los datos tomados pozo abajo, todos los instrumentos de estudios direccionales se deben alinear en paralelo con el eje del recinto del pozo.

El método más común, el centralizado, se ejecuta e quipando el cilindro del instrumento con "dedos" de caucho, — también denominados centradores. Cuando el instrumento se baja en el pozo para asentarlos en la placa deflectora, su sección superior la centran los centradores y el instrumento queda alineado con el eje del recinto del pozo.

MÉTODOS DE ORIENTACION DE FONDO DE POZO.

La inclinación y el rumbo debidos del pozo sólo se - pueden lograr orientando precisamente las herramientas deflectoras. La orientación del fondo del pozo requiere gran cantidad de datos de ingeniería para determinar precisamente en que dirección debe apuntarse la herramienta, a fin de orientarla - en esa dirección cuando llegue al fondo del pozo.

El cálculo de la dirección en que debe apuntar la herramienta se hace rápidamente por métodos gráficos. Se puede efectuar dibujando un sencillo diagrama de vectores o usando un gráfico preimpreso de análisis de vectores.

Para apuntar la herramienta deflectora en la dirección deseada hay varios métodos:

Método de Superficie.

Este método consiste en orientar la herramienta enteramente en la superficie, cosa que se logra alineando un telemopio puesto en la torre de perforación con un jalón y repitiendo el procedimiento hasta que llegue al fondo. Este método, sin embargo, requiere mucho trabajo y puede ser de resultados inexactos.

Método Directo.

El método directo es un medio más rápido, preciso y económico de orientar herramientas deflectoras y barrenas de-

chorros. Con este método, los datos direccionales se toman simultáneamente con otros datos.

a) Substituto orientador:

El método de sustituto orientador requiere un lastrebarrenas no magnético o una junta corta y equipo orientador especial, así como un instrumento de toma sencilla. El sustituto orientador contiene una ramura o chaveta, alineada directamente con la cara de la herramienta cuando se arma el conjunto. Antes de meter el conjunto en el pozo, en el sub orientador se enrosca un tubo lastrebarrenas no magnético. Seguidamente, junto con el tapón ciego y el sub orientador se instala un instrumento de toma sencilla. Cuando llega al fondo, se asienta suavemente en la chaveta del sub orientador, donde queda alineado con la cara de la herramienta. Los únicos cuadrantes que no quedan orientados en la misma dirección son el péndulo y las cartas del compás. Por consiguiente, la línea de referencia de la herramienta deflectora se registra en relación directa con la dirección magnética del recinto del pozo. Al revelarse, la película indica la relación entre la cara de la herramienta, la inclinación y el norte magnético.

Si la herramienta no ha quedado debidamente apuntada, sólo se requieren cálculos menores para determinar cuántos grados se debe hacer girar la sarta de perforación. Tal vez se requieran varias operaciones de reposicionamiento, a causa de la fricción de la sarta contra la pared del pozo. Cada operación-

se verifica mediante estudios direccionales.

El uso de éste método, sin embargo, es limitado en pozos en los que se necesita perforar mucho a chorro, ya que el sub orientador no permite aplicar plena circulación.

b) Método de orientación magnética.

Esta variación del método directo es para tareas de perforación en las que se requiere mucha perforación a chorro. Elimina el sub orientador, es cosa de poder aplicar plena circulación a través de la tubería de perforación y de los tubos lastrabarrenas. Usa un lastrabarrenas no magnético equipado con 6 magnetos pequeños alineados con la cara de la herramienta o por compensación matemática. El instrumento orientador tiene un péndulo, un compás corriente y otro de tipo aguja, fijos en posición mediante los magnetos del lastrabarrenas.

Para usarlo, el conjunto se espacia al lastrabarrenas no magnético, de modo que el indicador de posición quede frente a los magnetos orientadores. Una vez armado, el conjunto de perforación se baja al fondo. El conjunto del instrumento se mete por dentro de la sarta de perforación y se registran los datos. Al revelarse el disco circular se ve la imagen del compás de aguja superpuesta en el compás corriente, lo que indica la posición relativa de los magnetos y la dirección del pozo. Para determinar en que dirección está apuntando la herramienta se usa un lector especial. La sarta de perforación se hace girar, tantos grados como sea necesario, y luego se hace verificación mediante un nuevo estudio direccional.

Una vez alcanzadas las limitaciones de la junta corta, los varios instrumentos que se usan en el método directo - se pueden usar, sin modificaciones, en el método indirecto de orientación en el fondo del pozo.

Método Indirecto de Orientación.

El método indirecto se basa en la dirección del lado bajo del pozo y requiere conocimiento previo del rumbo del pozo. El recinto del pozo, además, debe tener una inclinación mínima de 3 grados a fin de que el equipo orientador pueda fun-cionar satisfactoriamente.

a) Uso de Herramientas Orientadoras Mecánicas.

En esta variación del método indirecto se aplica un principio básico, según el cual, una esfera suelta, confinada en una golilla circular dentro de la herramienta, se dirige hacia el lado bajo del pozo. Una chaveta, situada en el vástago del conjunto, se fija en una posición que representa el lado bajo del pozo, y el vástago orientador se fija en posición. El conjunto orientador se arma y se baja al pozo donde, una vez - en el fondo, se puede levantar y hacer girar unos pocos grados para orientar la esfera con la ranura del vástago orientador.

Sólo cuando eso ocurre se cierra la herramienta. El cierre lo indica en la superficie una caída detectable de presión. Esta herramienta orientadora, que se puede usar con cualquier dispositivo deflector, es especialmente útil cuando se -

requiere mantener la circulación durante la operación de orientación.

b) Uso de Instrumentos Orientadores de Estudios Direccionales (substitutos magnéticos especiales; orientación de fondo de pozo).

En esta variación, el polo sur de los magnetos va alineado con una línea marcadora puesta en la superficie exterior del sub inferior. El ángulo entre la marca y la herramienta deflectora se mide con un transportador sujeto al sub, que se usa para determinar la relación entre la línea marcadora y la cara de la herramienta deflectora. Cuando se arma el sub, el conjunto se baja al fondo. El instrumento orientador, equipado con cronómetro, compás especial, disco magnético giratorio y plomada, se baja a cable por la sarta de perforación hasta que asiente en el sub. El polo norte del compás queda magnéticamente fijo en el campo magnético de los polos sur de los magnetos del sub, lo que indica la posición relativa de la cara de la herramienta. Por consiguiente, a medida que la plomada se dirige al lado bajo del pozo, la línea de referencia de la herramienta se registra en relación directa con el índice de ángulo ó dicho en otras palabras, con el lado bajo del pozo.

Para calcular en qué dirección está apuntando la herramienta se usa un lector especial. Puesto que contiene magnetos que se pueden situar exactamente lo mismo que los del sub, con una simple graduación de los cuadrantes se ve la rela

ción exacta entre el lado bajo del pozo y la cara de la herramienta. En este caso también pueden necesitarse varios intentos para lograr que la herramienta gire tantos grados como la sarta de perforación.

Orientación Giros cópica de toma sencilla.

Este método de orientación de fondo de pozo usa un — instrumento estándar de toma sencilla con un adaptador para acoplarlo a una unidad giros cópica. Por consiguiente, al instrumento no lo afecta el campo magnético ni la proximidad del hierro de la subestructura del equipo de perforación y tubería.

La unidad giros cópica la orientan hacia un eje conocido, antes de introducirla en el pozo. La unidad del instrumento se sincroniza en la superficie con un reloj, se sitúa en un cilindro de acero y se baja a cable hasta el fondo del pozo. Una vez tomados los datos, el instrumento se resaca, y la película circular se revela y se lee, una vez hechos los cálculos se pueden graficar inmediatamente. Con este tipo de instrumento no es necesario orientar la sarta de perforación mientras ésta se introduce en el pozo.

Herramienta de Orientación Direccional.

Un dispositivo del que se habló anteriormente, denominado herramienta de orientación direccional, le permite al operario mantener debidamente la orientación de los motores pozo a bajo durante la perforación. El cerebro electrónico es un sen—

tor probador peso abajo que vigila continuamente la torsión de la sarta de perforación. Transmite los datos consiguientes al procesador de datos situado en la superficie, y de éste a una unidad de lectura ubicada cerca del perforador. El probador sensor, cuyo tope va conectado con el cable, se entrosca en una barra espaciadora y un conjunto estándar de sub orientador. El conjunto íntegro se introduce en el lastrabarranas no magnético donde el sub orientador queda fijo con el sub curvo. Las señales electrónicas de lado alto y las magnéticas se transmiten continuamente hasta la superficie mediante el cable, de esta manera, el perforador sabe constantemente en que dirección está apuntando la herramienta.

Métodos de Cálculo de Estudios Direccionales.

Los cálculos de estudios direccionales de recintos de pozos se hacen a partir de una serie de tomas individuales de fotografías. Al revelarse, los discos suministran la información de la inclinación del fondo del pozo con relación a la vertical y la dirección magnética de esa inclinación, tomada a distintos intervalos de la profundidad medida. Con esa información y mediante una serie de cálculos, se establecen para cada intervalo la profundidad vertical real, el desplazamiento horizontal y el rumbo del fondo del pozo, lo que permite determinar la posición del fondo del pozo en cada intervalo.

Antes de hacer los cálculos necesario es corregir la indicación del disco a dirección real, ya que todos los instrumentos de estudios magnéticos, están diseñados para orientarse hacia el norte magnético, y los planos direccionales se grafican con relación al norte real.

La diferencia entre las lecturas del norte verdadero y el norte magnético se llama declinación. La declinación varía de acuerdo con la localización del punto donde se hace la inspección en relación con los polos norte magnético y geográfico. Existen mapas denominados cartas isogónicas en donde se muestran las líneas a lo largo de las cuales la declinación es la misma en todos los puntos. El cambio anual de la declinación es de aproximadamente 6 minutos oeste, por lo tanto siempre se de-

berá tener una carta actualizada y si la carta es de algunos años atrás se deberá calcular la declinación actual multipli-
cando el número de años por el cambio que existe por año y sumar-
lo al dato obtenido en la carta antigua.

En la sonda de Campeche la declinación que existe es de 5 grados 15 minutos Este, por lo tanto a los registros de o-
rientación obtenidos, se deberá corregirlos para obtener el rum-
bo del pozo orientado al norte geográfico.

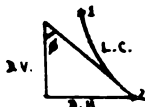
Una vez hecha la corrección del rumbo del pozo y con los datos que también nos proporciona el disco, además de sa-
ber la profundidad medida entre dos estaciones, se procede a -
calcular la localización tridimensional de cada punto ó esta-
ción y para ello se han desarrollado varios métodos, los cua-
les se mencionan a continuación.

a) Método Tangencial.

Este método se basa en la suposición de que el pozo mantiene la misma inclinación y el mismo rumbo entre estacio-
nes y es sencillo de calcular, sin embargo es muy impreciso, -
especialmente en pozos de configuración tipo I y III en los -
que indica menos desplazamiento vertical y más horizontal del-
que hay en realidad y también en los de tipo II en los que hay más
desplazamiento vertical y menos horizontal. La falta de -
precisión de este método ha hecho que se desarrollen medios -

más exactos.

La figura muestra dos estaciones de un pozo a una — profundidad determinada si consideramos que:



θ : ángulo de inclinación con respecto a la vertical en la estación 2.

θ : rumbo que lleva el pozo en la estación 2

L.C.: Distancia perforada de la estación 1 a la estación 2

D.V.: Desplazamiento vertical. Nos indica la profundidad real-perforada.

D.H.: Desplazamiento horizontal. Indica la proyección horizontal del tramo perforado.

Profundidad vertical total: Profundidad vertical total anterior más profundidad vertical parcial.

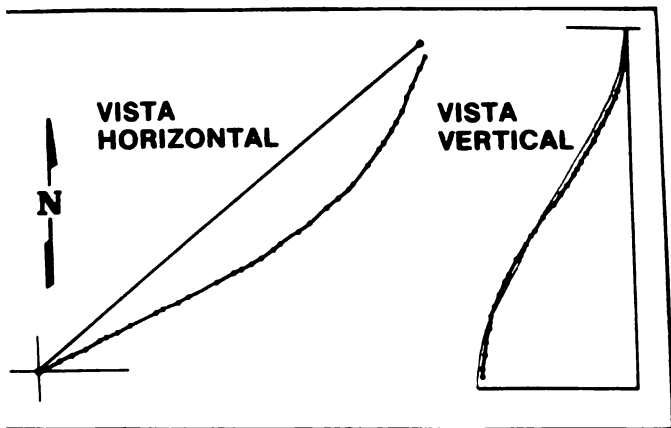
Diferencia de rumbo: es el ángulo formado entre el rumbo objetivo y el rumbo en la estación 2.

Coordenadas parciales Norte-Sur: es el coseno del rumbo en la estación 2 por el desplazamiento horizontal.

Coordenadas parciales Este- Oeste : es el seno del rumbo en la estación 2 por el desplazamiento horizontal.

Coordenadas Finales: es la coordenada final anterior más la — coordenada parcial en la estación 2 .

En base a lo anterior se puede calcular, una vez obtenidos los datos, una planilla en donde se lleve el avance del so día con día y una vez obtenidos los resultados se puede - aficar la vista horizontal y la vertical del pozo.



1) Método de ángulo promedio.

Se basa en la suposición de que el recinto del pozo - se paralelo al promedio sencillo de los ángulos de inclinación - y dirección entre dos estaciones. Este método, que es mucho más difícil justificar teóricamente es, sin embargo, lo suficientemente sencillo para usarlo en el campo, ya que los cálculos se -

pueden efectuar en una calculadora no programable.

Así tenemos que:

Método Tangencial

$$D.V. = L.C. \times \cos \beta$$

$$D.H. = L.C. \times \sin \beta$$

$$N.-S. = D.H. \times \cos \theta$$

$$E.-O. = D.H. \times \sin \theta$$

Método de Angulo Promedio.

$$D.V. = L.D. \times \cos((\beta_1 + \beta_2)/2)$$

$$D.H. = L.C. \times \sin((\beta_1 + \beta_2)/2)$$

$$N.-S. = D.H. \times \cos((\theta_1 + \theta_2)/2)$$

$$E.-O. = D.H. \times \sin((\theta_1 + \theta_2)/2)$$

c) Método de radio de curvatura.

Este método se basa en la suposición de que el recinto del pozo es un arco parejo y esférico entre estaciones o — puntos de estudio. Es teóricamente sensato y es muy preciso. — Sin embargo, no es de fácil aplicación en el campo porque re— quiere el uso de una computadora programable.

PREVENCIÓN Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN.

Desviación Lateral.

La experiencia ha demostrado que las barrenas de diseño especial tienen ciertas propiedades correctivas para limitar las tendencias de desviación en la dirección indeseada. - Esas barrenas, tienen los conos realmente concéntricos -cosa - que no ocurre en las barrenas normales- a fin de que puedan girar sobre un eje real y perforar sin oscilación en dirección - relativamente recta.

Sin embargo, hay otra herramienta, que se diseñó especialmente para limitar la desviación lateral ya que contrarresta, sin orientación la tendencia de la barrena a salirse - del rumbo prescrito. Se parece a un lastrabarranas corto pero tiene dos aletas curvas sujetas a un eje de movimiento libre.- El eje va empotrado en el lado de la herramienta. Por consiguiente, a medida que la paleta de arriba gira hacia el lado - bajo del pozo, el peso la hace retraer. Simultáneamente, la paleta del fondo se extiende y empuja contra la pared en la dirección deseada. La dirección, a la derecha o a la izquierda, - capacita de alterar el rumbo del pozo y de mantener el ángulo, la determina la longitud de las paletas.

Intensidad de Patas de Perro.

Inevitablemente, todos los pozos direccionales tie-

nen patas de perro que es la curvatura total del resinto del -
pozo. Pero las patas de perro también pueden significar que la
curvatura total del pozo se afecta por cambios de dirección y
de inclinación.

Este tipo de patas de perro se puede detectar temprana-
mente, efectuando estudios direccionales a intervalos periódicos,
para evitar que se vuelvan muy pronunciados, lo cual —
puede causar muchos problemas y grandes pérdidas de dinero. Es-
tas patas de perro no causan problemas inmediatos porque los -
tubos lastrabarrenas trabajan en compresión y pueden adaptarse
fácilmente a las variaciones del rumbo del pozo. Los efectos -
perjudiciales, tales como el daño de la sarta de perforación, -
la formación de chaveteros y el desgaste de las sargas revesti-
das no aparecen sino mucho más tarde. Por consiguiente, las-
patas de perro deben detectarse y corregirse tan pronto como -
sea posible. Las patas de perro poco pronunciadas se deben eli-
minar escariando el tramo correspondiente, después de lo cual,
se deben efectuar nuevamente estudios direccionales. Si no se-
pueden eliminar, el pozo se debe retaponar y desviar.

Hay, por consiguiente, un cierto límite que, una vez
sobrepasado, redundará en daños de la sarta de perforación o de
revestimiento. El límite se denomina pata de perro permisible-
y lo determinan las dimensiones del aparato tubular a la pro-
fundidad en que ocurre.

Tamaño del Pozo.

Ha quedado bien establecido que los pozos direccionales de diámetro grande son más fáciles de perforar que los de diámetro pequeño. Los de diámetro grande se definen como aquellos que varían de 9 5/8 a 12 1/4 pulgadas (24.45 a 31.16 centímetros). Hay varias razones por las cuales es más difícil — perforar los hoyos de diámetro más pequeño. Una de las razones es que los de diámetro menor requieren lastrabarreras y tubería de perforación más pequeñas en diámetro, que son más flexibles; consecuentemente, las características de la formación, — tales como la inclinación y rumbo del estrato limitan la amplitud de aplicación de peso que puede ajustar el perforador variándolo con menor libertad. También contribuyen menos al efecto de péndulo cuando el pozo se va a regresar a la vertical.

Los lastrabarreras grandes también presentan problemas, hacen más difícil la aplicación del principio del fulero para aumentar un ángulo y el área grande de su superficie los hace más propicios a que se peguen en las paredes. Pero las — ventajas de los lastrabarreras más grandes sobrepasan a las de los lastrabarreras pequeños y el uso de lastrabarreras grandes para perforar un pozo direccional ha llegado a ser cosa común.

Efecto de la Formación.

La inclinación y el rumbo del estrato de las formaciones afecta el curso del pozo. Cuando una formación laminada

tiene una inclinación de 45 grados o menos, la barrenadora tiende a perforar buzamiento arriba. No siempre es posible planear un pozo direccional para aprovecharse de este fenómeno. Las sartas de perforación rígidas se usan para combatir la tendencia a virar fuera del curso.

Pozos Adyacentes.

Cuando se desvían varios pozos desde un solo sitio, el magnetismo residual en los hoyos de los pozos adyacentes — puede influir en el instrumento que se usa para hacer una inspección de la parte superior de un pozo. Aunque la cantidad de magnetismo residual es pequeña puede ser causa de que se registren datos erróneos de la inspección. Este problema ocurre más frecuentemente en la parte superior del pozo. A medida que el pozo se aleja de las secciones verticales, el problema deja de existir. Por experiencia se sabe que una separación de 6 pies (1.83 m) entre los pozos es suficiente para dejar los instrumentos fuera de la influencia del magnetismo residual.

Fuerzas de Fricción.

Solamente una porción del peso de la columna de perforación se tiene disponible para mover las barrenadoras por pozos de gran angularidad. En un pozo que tiene un ángulo de 70 grados, más del 90 % del peso de la columna de perforación lo soporta el lado inferior del pozo. Esto no solamente hace -

difícil girar la columna de perforación, sino que también desgasta rápidamente las uniones de tubería y la tubería. Se pueden formar ojos de llave en el lado inferior del pozo cuando éste es de gran angularidad, además el peso aplicado a la barrena no es el mismo que el de un pozo vertical, para solucionar esto último existe un gráfico que sirve para seleccionar el número de lastrabarreras óptimo para aplicar el peso debido a la barrena. Para reducir la fricción en las paredes se utilizan lodos de emulsión inversa.

Los problemas anteriores no son todos los problemas - que tiene que resolverse en los pozos direccionales controlados, pero si son los más comunes.

L I M I T A C I O N E S .

En la actualidad los métodos y el equipo han progresa-
do tanto que las limitaciones se reducen a casi las mismas
que las de un pozo vertical, o sea que siempre existirán pro-
blemas difíciles de resolver, sin embargo, las aptitudes de -
la perforación direccional son ya muy extensas.

Las especificaciones y las limitaciones de equipo -
que anteriormente existían, restringiendo las operaciones, --
son ahora más flexibles en cuanto a su diseño, lo que permite
ejecutar las operaciones más rápida y precisamente.

Los ángulos más grandes, de hasta 45 grados, redundan en más estabilidad del rumbo y mejor control de la direc-
ción del pozo. Y aún en ángulos mayores como de 70 grados no
presentan grandes problemas, como lo demuestra la perforación
de este tipo de pozos en la costa de Chile, donde se perforan
en la playa pozos con dirección al mar y de una inclinación -
como la antes mencionada. Los adelantos en estudios direccio-
nales y en tecnología, están ampliando los horizontes de la -
perforación haciéndola que se apegue con mayor exactitud a --
los programas planeados. Con la tecnología actual, lo que pa-
recía inconcebible años atrás, es ya una realidad y lo único
que realmente podría limitar la perforación de un pozo direc-
cional sería un estudio económico negativo.

CONCLUSIONES.

Se ha visto que la planeación y perforación de un pozo direccional es relativamente sencillo, todo estriba en que se haga una buena selección, desde el programa de perforación, hasta un estudio direccional del pozo y métodos para calcular la dirección del mismo.

En el presente trabajo se presentaron las aplicaciones de la perforación direccional, las cuales son muy diversas, pero sobre todo sabemos que en México la aplicación primordial es en las plataformas de la sonda de Campeche donde desde una localización podemos perforar hasta 12 pozos — sin problema. Si se toma en cuenta el espaciamiento, en los pozos de desarrollo, las coordenadas objetivo son fáciles de obtener, y en base a esto y a la profundidad del yacimiento, se puede calcular un programa de desviación del pozo, sin olvidar que la columna geológica es también muy importante y afecta el diseño, tanto de la desviación, como del programa de tuberías de revestimiento.

El método gráfico de cálculo de configuraciones y desviaciones de pozos, es sumamente sencillo y útil, existen además otros métodos para calcularlo, como el que se desarrolló en el tema correspondiente y que es igualmente fácil de aplicar.

Existen en la actualidad más de 10 tipos de configuraciones de pozos, sin embargo la mayoría son pequeñas variantes de los tres tipos de pozos que se clasificaron.

Se debe recalcar que hay un punto que es preponderante en el buen desarrollo del pozo, es la selección adecuada de la herramienta desviadora, debido a que la desviación y el rumbo iniciales son claves para el éxito de la operación. En la actualidad con el motor de desplazamiento positivo y la herramienta de orientación direccional el problema se ha reducido mucho debido a que, durante el inicio de la desviación, se sabe a ciencia cierta y constantemente la dirección e inclinación que tiene el pozo. Sin embargo, en caso de no desviar con esta herramienta, existen otras igualmente efectivas que con una buena orientación y dependiendo de la formación en que se trate de desviar, proporcionan resultados satisfactorios.

Otro punto también importante es la selección adecuada de la sarta de perforación, debido a que con ella se puede seguir inclinando el pozo ó regresarlo a la vertical, según sean los objetivos.

Los estudios direccionales son en la actualidad tan avanzados que se puede saber la orientación e inclinación del

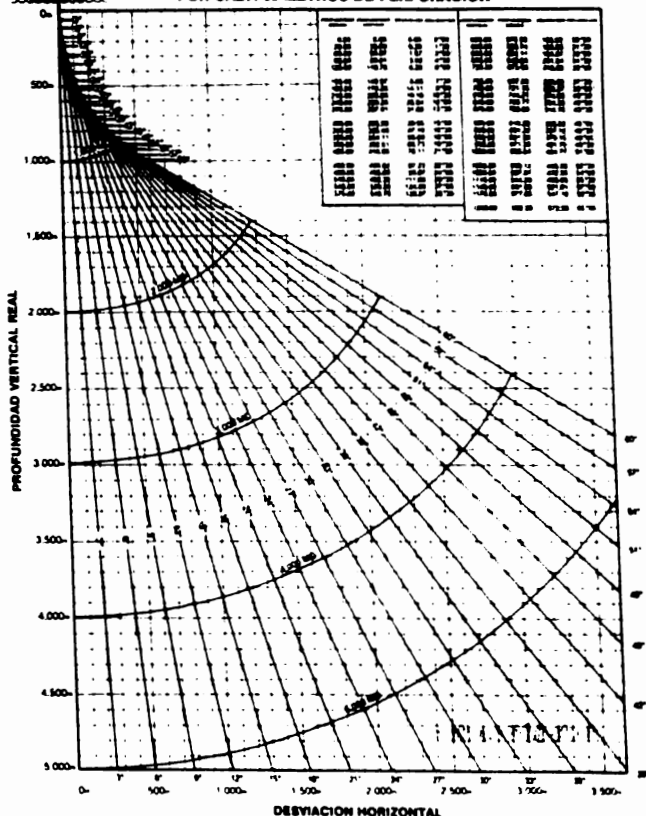
pozo en cuestión de pocos minutos, lo que es de gran ayuda para evitar pérdidas de tiempo y podamos corregir antes de que se presente algún problema.

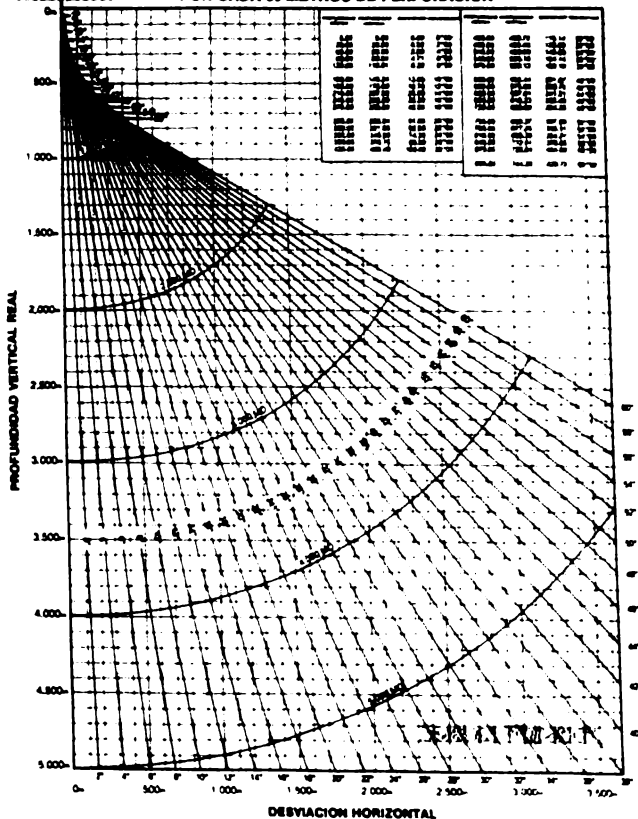
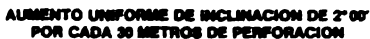
Se ha llegado en nuestros tiempos a un avance tal - en tecnología, que la perforación de éste tipo de pozos ya no representa problema alguno y en cambio tenemos una gran economía y ahorro de tiempo al utilizar la técnica de la perforación direccional controlada.

A P P E N D I C E .



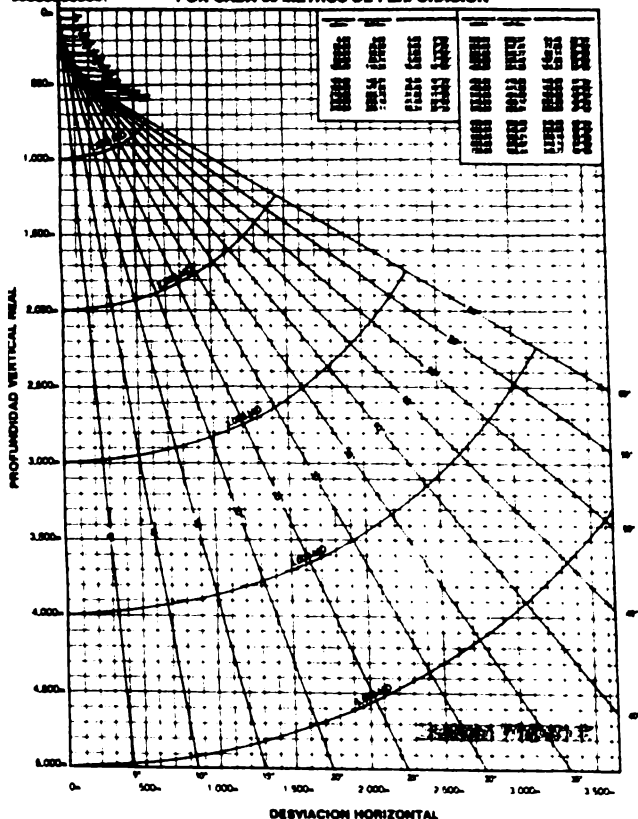
AUMENTO UNIFORME DE INCLINACIÓN DE 1°30'
POR CADA 30 METROS DE PERFORACION





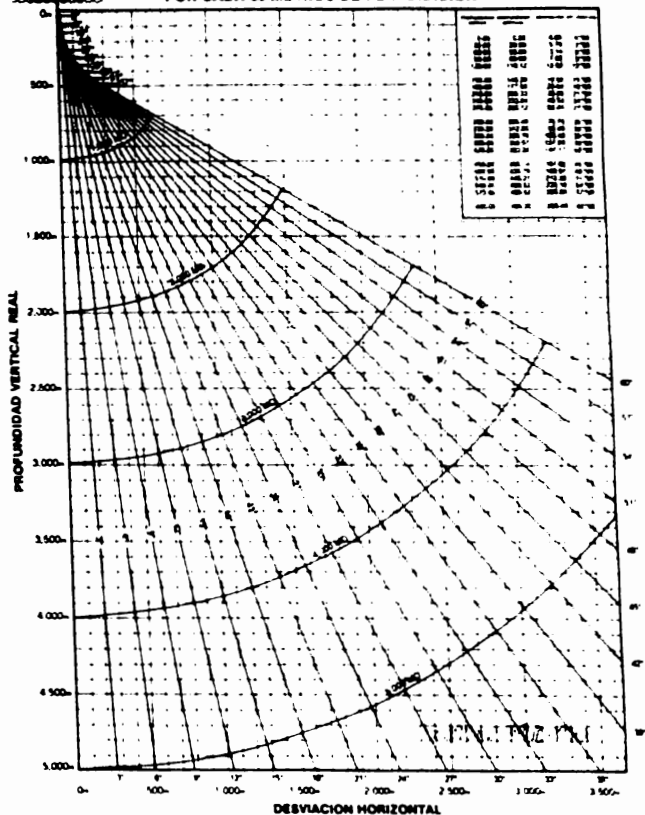


AUMENTO UNIFORME DE INCLINACION DE 2° 30'
POR CADA 30 METROS DE PERFORACION



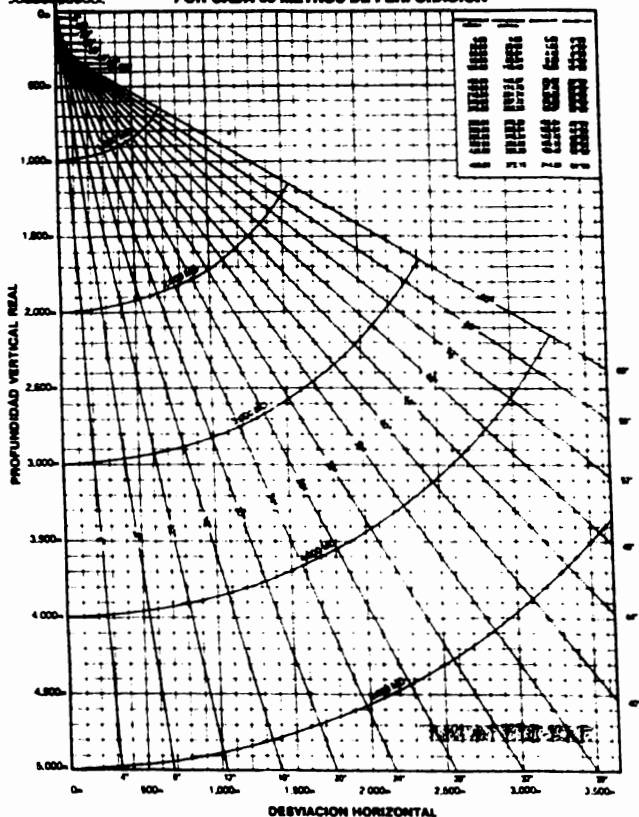


AUMENTO UNIFORME DE INCLINACION DE 3° 00'
POR CADA 30 METROS DE PERFORACION



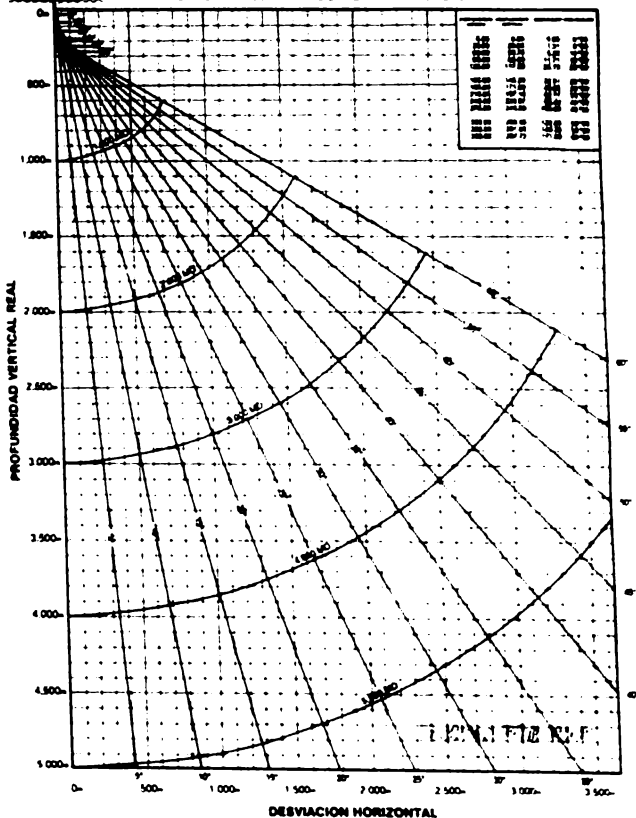


AUMENTO UNIFORME DE INCLINACION DE 4° 00'
POR CADA 30 METROS DE PERFORACION





AUMENTO UNIFORME DE INCLINACION DE 5°00'
POR CADA 30 METROS DE PERFORACION



B I B L I O G R A F I A .

- 1.- LO BASICO DE LA PERFORACION DIRECCIONAL.
EASTMAN WHIPSTOCK, 1979.**
- 2.- PERFORACION DIRECCIONAL CONTROLADA. UNIDAD III.
UNIVERSIDAD DE TEXAS EN AUSTIN, 1979.**
- 3.- MOTORES DE PERFORACION POZO ABAJO.
DYNA DRILL, SMITH TOOL, 1979.**
- 4.- CATALOGO GENERAL EASTMAN WHIPSTOCK.
EASTMAN WHIPSTOCK, 1979.**
- 5.- PLANEACION DE POZOS DIRECCIONALES.
W. H. McMillian SPE, Artículo No. SPE 8337.**
- 6.- PERFORACION DIRECCIONAL CATALOGO.
WILSON DOWNHOLE SERVICES.**

I N D I C E .

Página.

Introducción.	1
Aplicaciones Típicas y Factores a Considerar al Planear Programas de Perforación Direccional.	3
Herramientas para Iniciar la Desviación del Pozo.	21
Perforación del Tramo Desviado del Pozo.	36
Limitaciones Actuales de la Perforación Direccional.	63
Conclusiones.	64