

Universidad Nacional de Ingeniería

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA
DE PETROLEO Y PETROQUIMICA**



TITULACION PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

**“Técnica de Posicionamiento Dinámico para
Perforación “Costa - Afuera”**

Trabajo Profesional para optar el Título de:

INGENIERO DE PETROLEO

CARLOS L. HORLER ALTAMIRANO

LIMA • PERU • 1983

A mis Maestros....

*A mi querida esposa
a mis hijos.....*

" TECNICA DE POSICIONAMIENTO DINAMICO PARA PERFORACION "

" COSTA AFUERA "

I N D I C E:

Pág. N°

Prólogo .-----	1
Introducción .-----	4
Sumario .-----	6
<u>Capítulo I - Mantenimiento de Posición .-----</u>	<u>17</u>
-Capacidad de Anclaje Convencional.-	18
-Posicionamiento Dinámico.-----	20
-Anclaje Vs. Posicionamiento Dinámico Costos.-----	21
-Posicionamiento Dinámico - Visión Técnica.-----	22
1.- Diagrama de Control.-----	22
2.- Embarcación.-----	23
3.- Control .-----	24
4.- Sensores :-----	27
a).- Acústico .-----	28
b).- Cable tieso (taut wire).--	29
c).- Angulo de la Junta Esférica.-----	30
5.- Impulsores (hélices).-----	30
a).- Laterales .-----	31
b).- Propulsores adelante/atrás	32
c).- Azimutales.-----	32
-Redundancia en el Sistema DP.--	33
-Consumo de Combustible en el Sistema DP.-----	33
-Limitaciones Ambientales.-----	34

/..

<u>Capítulo II - Drilling Risers.</u> -----	35
-Criterio General de Operación.----	36
-E s f u e r z o .-----	37
-P a n d e o .-----	37
-Angulo de la Junta Esférica Inferior.	38
-Requerimientos de Tensión.----	38
-Flotabilidad del Riser.-----	40
-Consideraciones Especiales.-----	41
-Colapso del Riser.-----	41
-Operaciones en Areas Correntosas.-	42
-Juntas Esféricas.-----	43
-Rebote del Riser.-----	45
<u>Capítulo III- R e - I n g r e s o .</u> -----	47
-E q u i p o .-----	48
-T e l e v i s i ó n .-----	48
-S o n a r .-----	48
-Campanas, Submarinos.-----	50
-Procedimientos Operacionales para Re Ingreso.-----	50
-Revestimiento de 30 pulgadas.-----	50
-Broca de 26 pulgadas.-----	51
-Revestimiento de 20 pulgadas.-----	52
-Conjunto de BOP's.-----	53
<u>Capítulo IV - Sistema de Control de Reventones.-</u>	56
-Sistemas de Control BOP Multiplex	58
-Suministro de Fluído de Energía.-----	59
-Sistema de Emergencia de Control- Acústico.-----	59

//...

<u>Capítulo V - Programa del Pozo / Control del -</u>	
<u>P o z o .-----</u>	61
1.- Relación entre Revestimiento, Cabeza de Pozo y Conjunto de BOP's.-----	61
-Resistencia al "arranque" del revestimiento.-----	62
-Esfuerzo de flexión en el casing - debajo de la cabeza del pozo.-----	64
-Esfuerzos de flexión en la cabeza del pozo y los BOP's.-----	65
2.- Gradiente de Fractura de Formación en Aguas Profundas.-----	66
3.- Circulación de un Kick.-----	71
<u>Capítulo VI - Procedimientos de Emergencia.-----</u>	74
*****R e f e r e n c i a s*****	76
***** G L O S A R I O *****	77
* * * * *	

P R O L O G O

El petróleo es, desde hace más de un siglo, la fuente de energía que mueve al mundo. Su hallazgo y explotación inicial fué en tierra, pero por tratarse de una riqueza agotable y de consumo en constante aumento hasta el año pasado; actualmente su búsqueda se realiza en los lugares más inhóspitos de la tierra así como en el mar. Aquí se perforaban, al principio, pozos en poca profundidad de agua, de acuerdo a las áreas y el equipo disponible.

El descontrolado aumento del consumo y su consecuente alto precio fueron los incentivos principales, además de su valor estratégico, para mejorar y desarrollar técnicas más sofisticadas con el fin de investigar y explorar la geología submarina en profundidades de agua cada vez mayores. Es la profundidad de agua que limita la explotación y explotación de muchas zonas marinas promisorias. Por esta razón, constantemente se estudian y mejoran técnicas para perforar en aguas de profundidades mayores de 2000 pies, que es el nivel considerado como aguas profundas.

Acaba de perforarse un pozo en el mar Mediterráneo, en una profundidad de agua de 5624 pies. El éxito de esta perforación ha permitido la comprobación y el mejoramiento de equipos y técnicas que en un futuro no muy lejano nos permitirá perforar pozos de petróleo y/o gas en aguas con profundidad de 10,000 pies.

El presente trabajo tiene por objeto, sintetizar las actuales técnicas para perforar en aguas profundas, principalmente la que se refiere a la perforación con barco mediante el "posicionamiento dinámico". Esta técnica, relativamente nueva, parece ser la mejor respuesta para llegar al conocimiento del fondo submarino y perforar comercialmente pozos para gas o petróleo en profundidades de agua hoy aún solo en mente.

Este informe desarrollado por un experimentado grupo de profesionales tanto operadores como científicos, pretende ser una introducción a esta técnica para la perforación de pozos en aguas profundas mediante barcos en posicionamiento dinámico.

Al presentarlo, pienso estar contribuyendo a aumentar el conocimiento y aún mejorar el nivel del ingeniero de petróleo peruano, que en la última década, hemos podido constatar ha desempeñado una gran actuación profesional - en el mundo entero.

Este es un tema técnico presentado más bien en forma académica.

INTRODUCCION

Dado que casi la totalidad de las perforaciones en profundidades de agua mayor de 2000 pies son hechas por barcos dinámicamente posicionados (DP), vamos a enfocarnos en el equipo y procedimientos relacionados. Actualmente son pocas las embarcaciones equipadas para anclar en aguas de profundidades mayores de 2000 pies; sus componentes de amarre, el tamaño y peso, generalmente las limitan.

Durante 1980 solamente ocho pozos fueron perforados con barcos dinámicamente posicionados en profundidades de agua mayores de 2000 pies. El primer pozo perforado dentro de esta categoría fue en 1974; cuatro años después se perforó en 4000 pies de agua y en el prólogo se indica el record actual.

El reporte está dividido en seis tópicos principales. Los primeros cuatro :

- | | | |
|-----|---------------------------|----------------------|
| I | Mantenimiento de Posición | (Stationkeeping) |
| II | Conductora de Perforación | (Drilling Risers) |
| III | Re-ingreso | (Reentry) |
| IV | Sistemas de Control BOP's | (Blowout Preventers) |

son examinados desde el punto de vista de la tecnología actual; cada componente es tratado ampliamente, se estudia su función y se indican, de existir, sus limitaciones.

En las otras secciones :

V Programa del Pozo / Control del Pozo

VI Procedimientos de Emergencia,

se mencionan requisitos que son únicos para la operación de aguas profundas. También se indican sugerencias para resolver, los problemas más críticos así como los requisitos para un eventual programa de desconexión por emergencia.

S U M A R I O

Casi toda la perforación en aguas más profundas que 2000 pies, es hecha por barcos D.P. Aunque el anclaje convencional es posible en profundidades debajo de 3000 pies, conforme la profundidad del agua aumenta la mayor longitud de cable de anclaje requiere ser de mayor diámetro, los carreteles más grandes y winches más potentes para producir la fuerza horizontal de restauración. Este equipamiento más grande aumenta el espacio del aparejo, el trabajo de manipuleo y el tiempo necesario, así como también la necesidad de botes auxiliares más potentes, reduciendo consecuentemente la capacidad de carga útil para embarcaciones de agua profunda. Por esto, solamente pocas embarcaciones están equipadas con sistemas de anclaje para profundidades mayores de 2000 pies.

Aún con el actual elevado precio del combustible, el Posicionamiento Dinámico (DP) es económicamente superior al anclaje para perforar en aguas con más de 2000-pies de profundidad de agua equivalente, para ambos sistemas ,

varía de acuerdo al tiempo requerido para perforar el pozo, se estima que para un pozo de 90 días a los costos actuales, el anclaje convencional sería más económico sólo en aguas con profundidad menor a 1500 pies.

El Sistema de Posicionamiento Dinámico está compuesto por tres sistemas básicos :

- sistema de sensor de posición.- que determina la posición de la embarcación.
- sistema computarizado de control.- que determina la fuerza necesaria para mantener la posición.
- impulsores.- que proporcionan la fuerza apropiada para mantenerse en estación.

Para perforar en aguas de profundidad mayor a las actuales 5000 pies no es necesario modificar mayormente el concepto de los sistemas existentes, más bien el problema a profundidades mayores está en la confiabilidad en el sistema de referencia de posición.

Los actuales controles de Posiciona - miento Dinámico se apoyan en dos o más tipos de sistemas de re

ferencia de posición para asegurarse información confiable. Para mayor redundancia, por lo menos uno de ellos es duplicado.

Los sistemas de referencias Acústicos, constituyen actualmente el principal método para controlar - barcos D.P. Estos sistemas consisten de : un beacon o transponder colocados en la cabeza del pozo sobre el fondo del océano hidrófonos colocados en el casco del barco, y una unidad de referencia vertical en el barco junto con procesador asociado de señales y pantallas de exhibición. El cable tenso y el sistema de ángulo del riser son usados normalmente como equipo de emergencia.

Desde que abandonar la locación puede causar serios daños al riser y BOP, el sistema de Posicionamiento Dinámico debe ser diseñado para operar cotinuamente dentro de una pequeña circunferencia de error. El control procesa la información del sensor y ejecuta el control lógico necesario para que los comandos transmitan las instrucciones a los impulsores.

El control toma en consideración el error por desplazamiento, la velocidad de desplazamiento de la locación y el lapso durante el cual el error ha tenido efecto. Calculando la contribución de la fuerza del viento, determina la fuerza resultante total y el momento requerido por los impulsores. La distribución lógica divide la fuerza total requerida entre los varios impulsores.

El barco de perforación está conectado al lecho marino por medio del riser que provee el conducto por el cual se llevan a cabo las operaciones de perforación. Las fuerzas en general, que actúan sobre el riser, incluyen el peso del mismo menos su flotabilidad, densidad del lodo, el esfuerzo de los tensores, las fuerzas de las olas y la corriente y las fuerzas de reacción en el barco y el BOP stack. Estas fuerzas, conjuntamente con la configuración geométrica del riser, determinan los esfuerzos del riser, estabilidad estructural, y los ángulos de la junta esférica y la junta deslizante. El esfuerzo del tensor y el desalineamiento del barco son regulados para satisfacer un criterio de operación aceptable.

Para operaciones normales la tensión del riser se limita a un 33 % del mínimo esfuerzo de deformación del material del riser; este porcentaje se aplica para prevenir falla por fatiga cíclica. El esfuerzo de tensión debe ser suficiente para prevenir la formación de una carga axial de compresión en cualquier punto del riser. La tensión requerida varía con el peso del lodo y la profundidad del agua. La mayoría de los barcos DP tienen un mínimo de 640000 # de capacidad de tensión. El ángulo de la junta esférica inferior debe estar limitado a un máximo de 4° para perforar y hacer los viajes.

La flotabilidad del riser es necesaria para mantener la tracción del tensor dentro de límites aceptables. El grado de flotabilidad usado, en muchos casos, provee un empuje neto equivalente aproximadamente al 25 % del riser dentro del agua. La flotabilidad es provista por flotadores de espuma sintéticos fundidos, que son los preferidos o por cilindros de flotación de fondo abierto.

Para la operación y diseño del riser se deben tomar en consideración lo siguiente :

- 1.- La posibilidad de colapso del riser durante la perforación debido a una severa pérdida de circulación.
- 2.- Los efectos de corrientes superficiales sobre la tensión - en la parte superior y los esfuerzos del riser, así como en la desconexión y reconexión del riser y BOP.
- 3.- La necesidad de juntas "flexibles" para reemplazar las más convencionales juntas esféricas cuando se precise de altos esfuerzos de tracción.
- 4.- Precauciones para evitar el enrollamiento del riser cuando se precise una desconexión de emergencia.

Para la operación de reconexión a un pozo, en un barco DP, se emplea equipo "sin guías", *guidelines* y procedimientos para guiar ese equipo sobre o dentro del pozo. La operación de reconexión con equipo sin guía, generalmente involucra el uso de una cámara de televisión y/o sonar para ubicar la boca del pozo y maniobrar debidamente el barco. Actualmente, en forma general la reconexión se observa con TV.

Los conjuntos de BOP submarinos usados para la perforación en aguas profundas funcionan hidráulicamente, tal como los que se usan en operaciones convencionales en aguas poco profundas. Sin embargo, las señales de mando son transmitidas electrónicamente a través del agua por medio de un cable multiconductor para obtener acción inmediata, es decir en el menor tiempo posible. Estos sistemas se denominan sistemas de control electrohidráulicos (E/H). La respuesta o reacción rápida es importante para el adecuado control del pozo y porque la necesidad de un desplazamiento - del barco DP podría precisar de una desconexión de emergencia del conjunto de BOP's.

El tiempo de transmisión de señales-piloto con un sistema E/H en 3000 pies de agua es una fracción de segundo; por otro lado el tiempo requerido para las - señales piloto hidráulicas pueden variar de 10 a 30 segundos, dependiendo del tipo de conductor piloto. El método, actualmente más aceptable para transmisión de señales eléctricas es el sistema multiplex que envía una señal codificada. Con

este sistema se eliminan problemas, habidos con anteriores sistemas eléctricos, debido a la ocurrencia de señales de mando espurias como resultado de fallas de componentes.

Muchos de los barcos para perforación en aguas profundas están, ahora, equipados con un sistema de control acústico que sirve como emergencia en caso que el sistema de control multiplex falle. Estos sistemas funcionan independientemente del sistema principal de control y están, generalmente, diseñados para operar tres o cuatro funciones críticas de los BOP. La unidad de control de superficie transmite señales acústicas codificadas, que son decodificadas por un controlador en los BOP. El flujo hidráulico para operar la función deseada es proporcionada por un banco de acumuladores.

En el diseño y control del pozo hay ciertas áreas que son esenciales para la perforación en aguas profundas y deben ser tenidas en cuenta cuando se desarrollan procedimientos específicos de operación y diseño del pozo. Estas incluyen los revestimientos, la integridad estructural -

de la cabeza del pozo y BOP's, el efecto de bajas gradientes de fractura en el diseño del revestimiento y control del pozo, y los procedimientos de circulación para matar al pozo.

La gran tensión vertical requerida, puede crear problemas particulares nuevos especialmente si las corrientes del océano son significativas. Esta carga de tensión reacciona a través de los BOP's, cabeza del pozo y revestimiento. Por consiguiente los esfuerzos de flexión en estos tres componentes así como la resistencia del revestimiento a la tensión de arranque deben ser tomados en cuenta.

Las gradientes de fracturas de la formación en aguas profundas son menores que en aguas poco profundas o en tierra. La diferencia entre la gradiente de fractura de la formación y la presión hidrostática del lodo necesaria para sobre-balancear la presión porosa de la formación es por consiguiente menor a una profundidad dada. Por lo tanto, el margen de error disponible es más pequeño, lo que implica mayor exactitud en el diseño del pozo y los procedimientos de operación.

La teoría de control del pozo muestra que, la larga línea del choke desde el fondo del océano en el BOP hasta el múltiple del choke (choke manifold), puede ocasionar problemas de ser necesario circular fluidos que ingresen de la formación. Como alternativa se está desarrollando un choke o estrangulador sub-marino colocado en el conjunto de los BOP's.

Aunque la tecnología y equipo para D.P. ha progresado al punto que fallas de funcionamiento que ocasionen la pérdida de la locación son muy raras, se debe adoptar el uso de un sistema de contingencia para controlar un posible desastre ya sea debido a fallas del barco o problemas del tiempo. Este procedimiento debe permitir un aseguramiento rápido del pozo y desconexión del riser del BOP antes que el barco se haya desplazado una distancia mayor que aproximadamente 10 % de la distancia de la profundidad de agua.

Experiencia obtenida en operaciones exitosas han probado y determinado los componentes básicos para perforar en aguas de más de 5000 pies de profundidad e identi-

ficando áreas en donde se puede aún mejorar tanto el equipo, como algunos procedimientos que permitirán mayor eficiencia en la operación. Más de 42 pozos han sido perforados usando barcos DP en aguas de más de 2000 pies de profundidad. El más profundo ha sido en 4876 pies; en total 6 han sido perforados en aguas de más de 4000 pies y 16 en profundidades de 3000-4000 pies. Para perforar estos 42 pozos, solamente 7 de las 15 embarcaciones DP disponibles han sido utilizadas. De las 15 embarcaciones DP, todas menos una (semi-sumersible) son barcos de perforación. Muchas de las embarcaciones no están completamente equipadas para perforar en aguas con profundidad mayor que 2000 pies ya que no cuentan con componentes como sistema sin guías, adecuado riser y flotabilidad, capacidad de tensión del riser y sistema de control E/H para BOP's.

I Mantenimiento de Posición

La permanencia en la estación o locación, en aguas profundas, se puede conseguir mediante sistemas convencionales de anclaje o por medio del posicionamiento dinámico DP. Los barcos de perforación raramente usan el sistema convencional en aguas más profundas que 3000 pies, y muy pocos sistemas de anclaje han sido utilizados a profundidades mayores de 1500 pies. El tamaño y peso de los componentes del sistema de anclaje restringen su aplicación a profundidades cercanas a los 3000 pies. Los sistemas de posicionamiento dinámico D.P. tiene pocas limitaciones físicas en aguas profundas y prácticamente ofrecen capacidad ilimitada, excepto por la disminución de la confianza en el sistema principal acústico de posicionamiento conforme aumenta la profundidad de agua. Los sistemas secundarios de referencia tienen limitaciones para trabajar debajo de los 4000 /5000 pies, para ello precisan del mejoramiento de un sensor para agua profunda. Una unidad de referencia de posición del ángulo del riser y unidades de referencia de inercia marina son soluciones potenciales del problema, ~~pero~~ ambos sistemas necesitan de más desarrollo y prueba.

Capacidad del Anclaje convencional

Los sistemas convencionales de anclaje varían considerablemente con el tipo y tamaño de la embarcación, con la profundidad del agua y objetivos ambientales. Generalmente, los sistemas para aguas poco profundas tienen anclas con líneas de cadena, para mediana profundidad se usan con cables y en aguas profundas el anclaje se logra con un tramo de cadena entre el ancla y otro de cable conectado al barco, formando un sistema combinado de anclaje. Estos sistemas proveen el mejor acomodo entre el esfuerzo mínimo de la línea y la componente de peso mínima para una fuerza ambiental sobre el barco, dentro de su respectivo rango de diseño de profundidad de agua. Los tamaños de la línea y el ancla del sistema se escogen de modo que satisfagan la tensión de la línea y la fuerza del ancla requerida de acuerdo al diseño del equipo de perforación.

Al aumentar la profundidad de agua, las mayores longitudes de la línea requieren mayor diámetro - de la misma, winches más grandes, y más pesados para desarrollar la fuerza restauradora horizontal necesaria. Este equipo más grande, a su vez, requiere de mayor espacio en el rig,

aumentando el esfuerzo y tiempo de manipuleo, y la necesidad de botes auxiliares más grandes y potentes. La reducción de la capacidad de carga útil de la embarcación es un factor crítico en los barcos de perforación en aguas profundas.

La limitación por profundidad de agua, de los sistemas de anclaje convencionales, resulta no de la limitación física de sus componentes sino del factor económico, practicibilidad y características de operación al compararse con el sistema DP. Mayor número de líneas o componentes más grandes pueden extender el límite de profundidad de agua de cualquier embarcación con anclas, pero el gasto que conlleva y el aumento de peso pueden exceder el costo de un sistema DP para similar profundidad. El punto de equivalencia de profundidad de agua entre los sistemas de anclaje y posicionamiento dinámico depende de su aplicación, del tamaño y tipo del rig, los objetivos ambientales, la profundidad del agua, los costos y muchos otros factores.

Así, con fines prácticos y económicos, el sistema D.P. es considerado superior para barcos de perforación operando en profundidades de agua mayores de 2,000 pies.

Posicionamiento

Dinámico

El sistema DP (Posicionamiento Dinámico) está compuesto por tres sub-sistemas :

- sistema de sensor de posición; que determina la posición de la embarcación.
- sistema de control computarizado; que determina la fuerza requerida para mantener la posición, e
- impulsores y hélices; para proveer la fuerza apropiada para mantener el estacionamiento o posición.

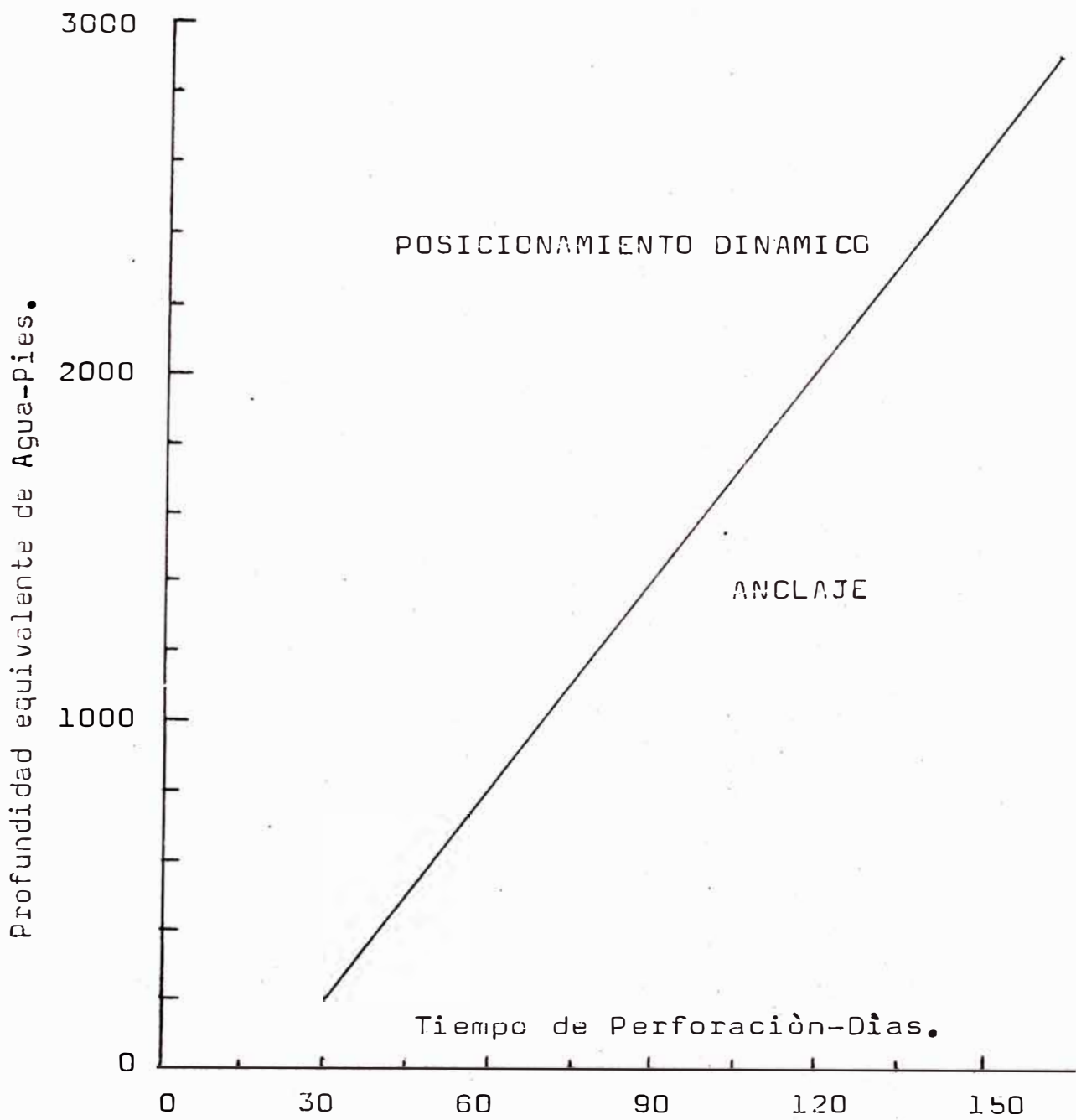
Los diseños de los actuales sistemas, no necesitan de cambios conceptuales para poder ser usados en aguas más profundas que 5000 pies. La potencia de los impulsores deben aumentarse en forma directamente proporcional al aumento del tamaño de la embarcación y se necesitarán beacons más potentes para el sistema referencial de posición acústico. El mayor problema a resolverse en el actual sistema DP, para perforar en aguas con profundidad mayor de 5000 pies, es la precisión y confianza en la información de la posición. La interferencia o pérdida total de la señal en el sistema acústico de posición diferencial aumentará con la separación entre los transmisores y receptores al aumentar la profundidad -

del agua. Actualmente no existe un sistema de apoyo completamente confiable para profundidades mayores de 5000 pies.

Anclaje Vs. Posicionamiento Dinámico. Costos -

Aún hoy en día con el alto costo de combustible el sistema DP es más económico que el anclaje, para operaciones de perforación en aguas con profundidad mayor que 2000 pies. La Figura N° 1, muestra, para el sistema DP, la profundidad económica versus tiempo de duración del pozo, basada en los costos actuales de operación y la experiencia en operaciones de anclaje profundo. O sea que para un número de días de perforación dado, a una profundidad de agua mayor que la recta equivalente, el costo total del pozo será menor usando DP que anclaje.

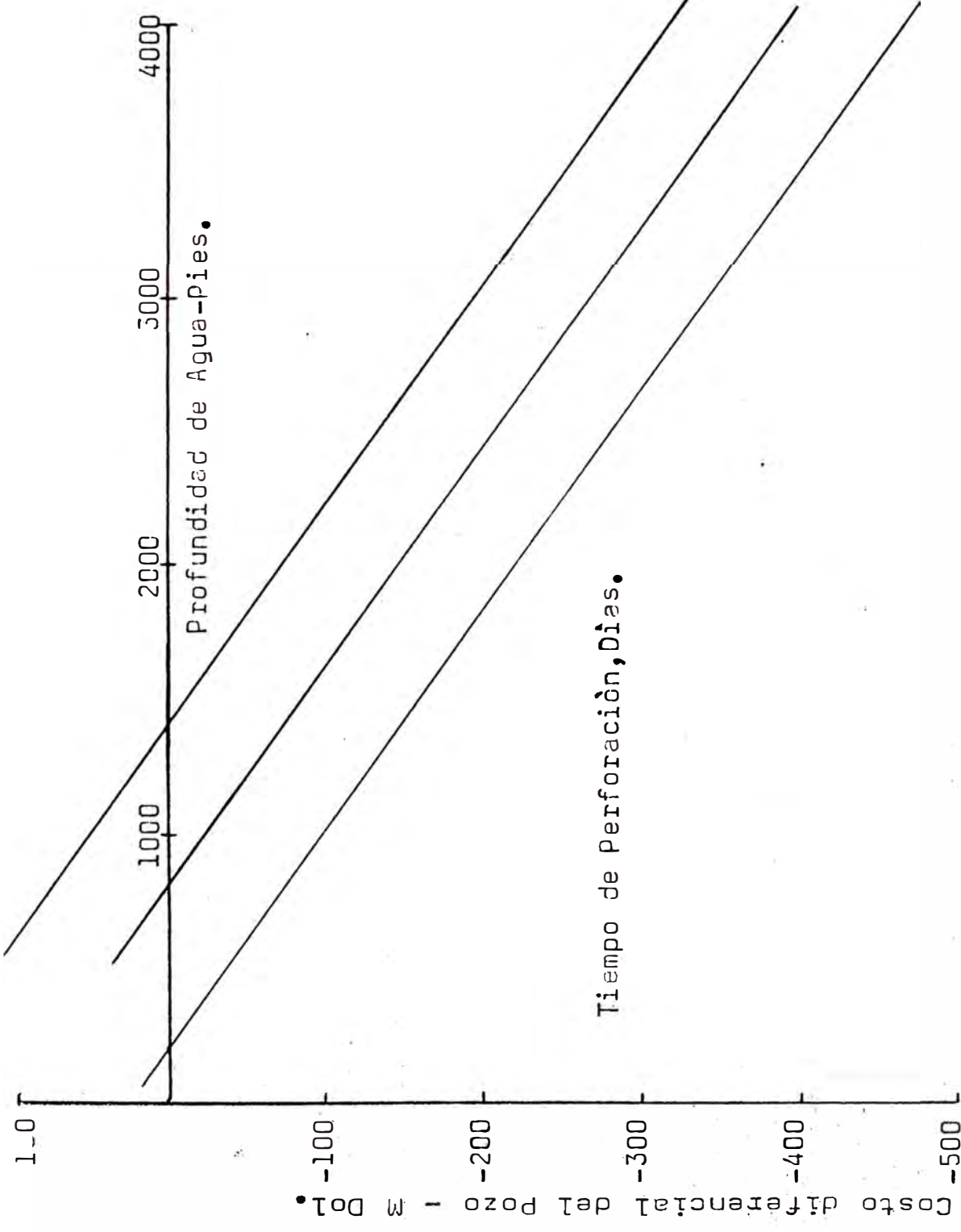
La Figura N° 2, indica la diferencia en el costo total, entre DP y anclaje, versus profundidad de agua para duración de pozos de 30, 60 y 90 días. Para un pozo típico de exploración offshore de 60 días la profundidad de agua neutra con el sistema DP es ligeramente mayor que 800 pies, considerablemente menos profunda que la considerada comunmente "agua profunda". Consideraciones econó



Profundidad de Agua equivalente en Función del Tiempo de perforación.

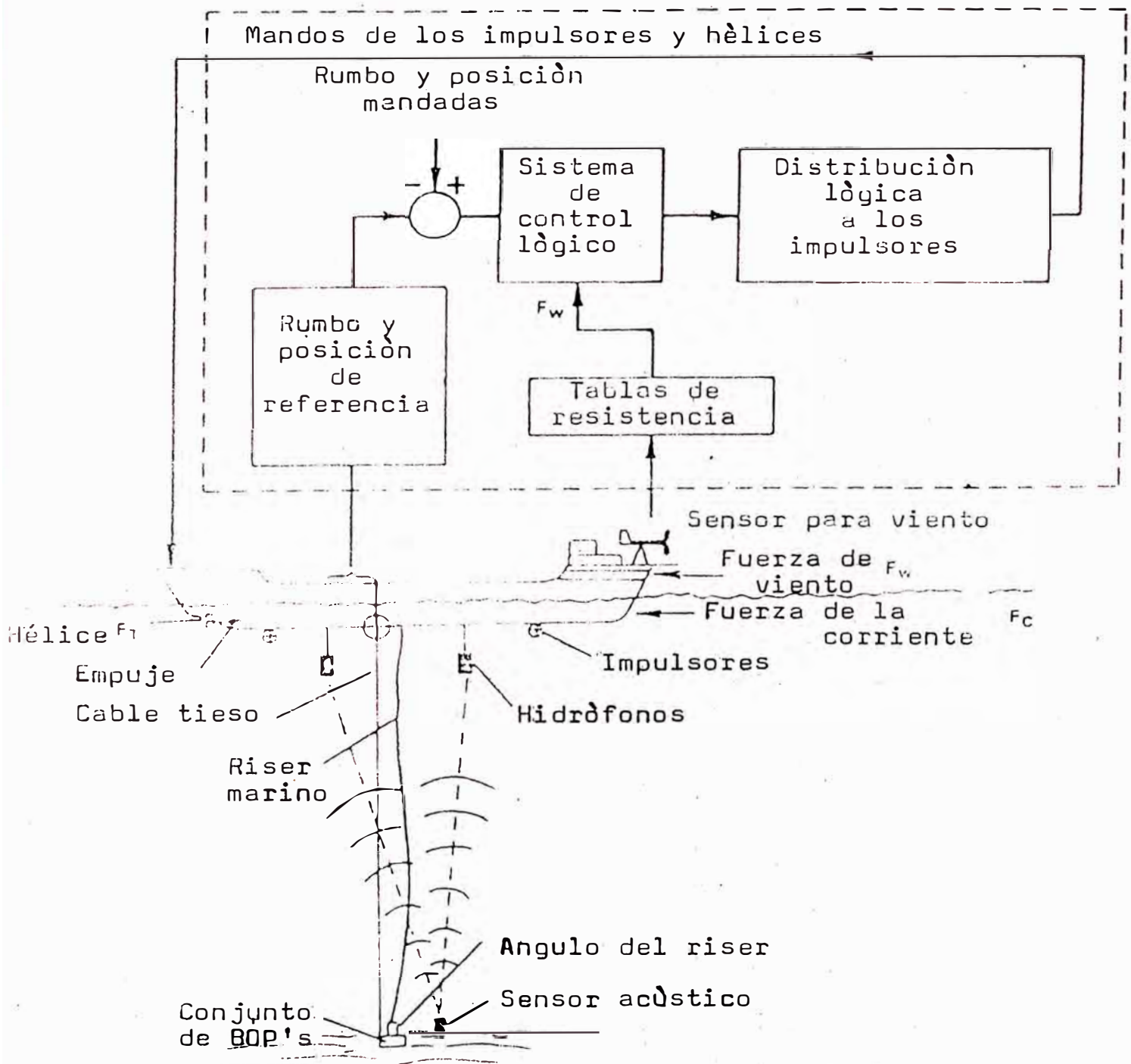
Posicionamiento Dinámico vs. Anclaje.

Figura 1.



Costo de una Operación DP, menos Costo de una Operación con Anclas.

Figura 2.



Sistema Básico Automático para Mantenimiento de Posición.

Figura 3.

micas aparte, actualmente sólo una embarcación de perforación está equipada completamente para anclar en aguas más profundas que 2000 pies.

Posicionamiento Dinámico - Visión - Técnica

Los principales componentes del sistema de posicionamiento dinámico, mostrados en la Fig. N° 3, son:

- 1.- Diagrama de control
- 2.- Embarcación
- 3.- Control
- 4.- Sensores
- 5.- Impulsores (hélices)

1.- Diagrama de control

La Fig. N° 4, muestra un diagrama simple, de control para un sistema típico de DP. La realimentación del circuito de control opera al recibir una posición aparente del sistema de posicionamiento referencial, compara esta posición con la deseada, y calcula el error. El controlador, acepta esta señal errada y calcula la fuerza necesaria para mover la embarcación a la posición deseada. Estos mandos de fuerza son transmitidos a los impulsores que mueven la embarcación.

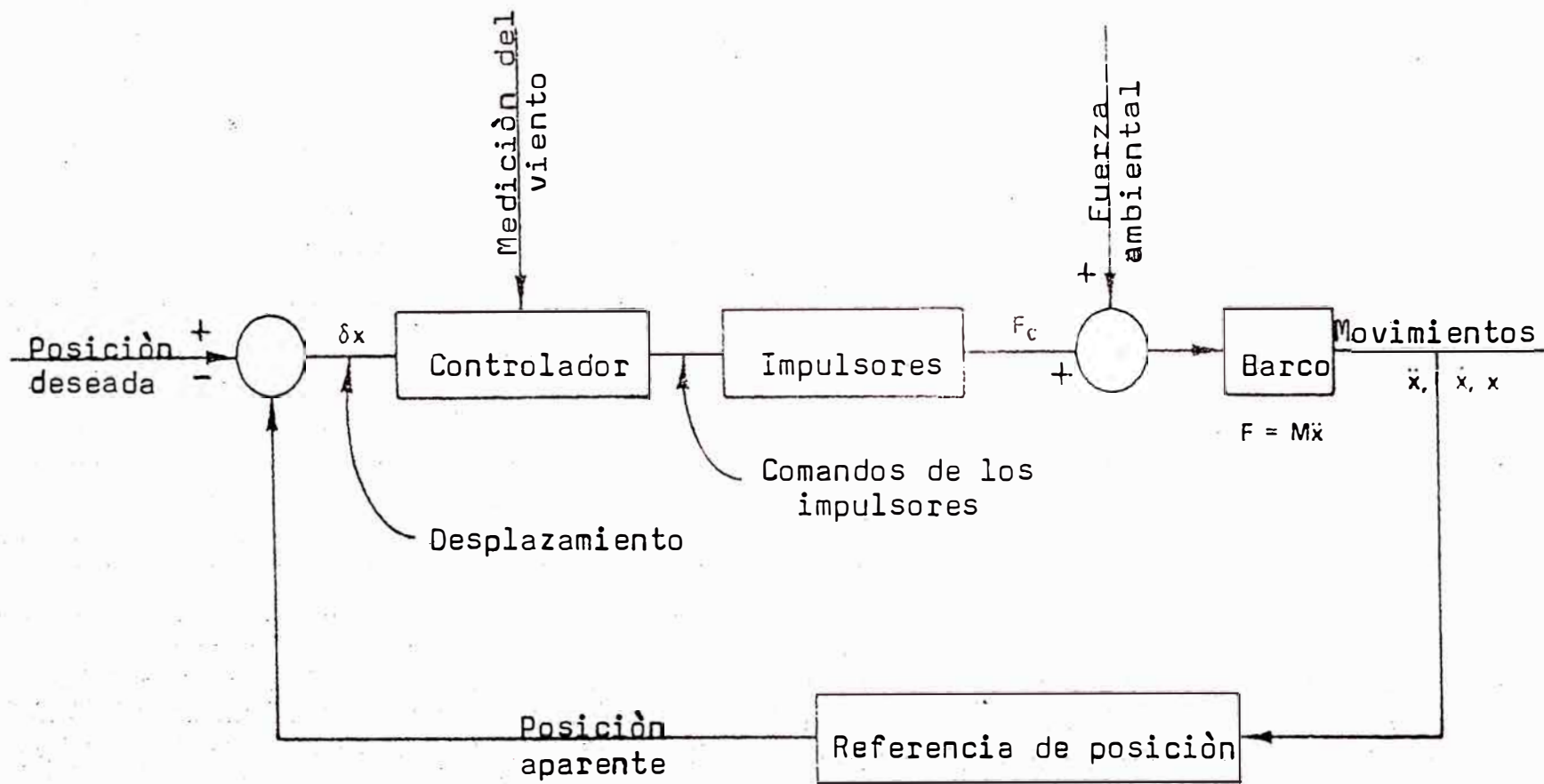


Diagrama de Flujo de Control para Posicionamiento Dinámico.

Figura 4.

ción, modificando por consiguiente su posición. Información sobre el viento, también es ingresada al computador, donde esta es transformada en una fuerza de viento calculada y usada para el cálculo de la fuerza resultante requerida para el posicionamiento correcto.

2.- Embarcación

El tamaño, forma y características generales de una embarcación para perforación DP son dictadas por las necesidades tanto de perforación como para su mantenimiento y operación. Ver la Tabla 1, que indica las características de varias embarcaciones DP. La embarcación está influenciada por fuerzas externas generadas por el viento, o las, corrientes y por los impulsores. La embarcación se puede mover con tres grados de libertad a través de los ejes X, Y, Z, con respecto al pozo. Las propiedades hidrodinámicas de la embarcación, en particular, deben ser conocidas para diseñar el sistema de control. Ejemplo de estas propiedades es la cantidad de corte de agua que el casco genera y las características de la fricción del viento en la super-estructura. La fuerza del viento es generalmente la única fuerza que es calculada directamente y usada en la operación de control.

T A B L A N° I

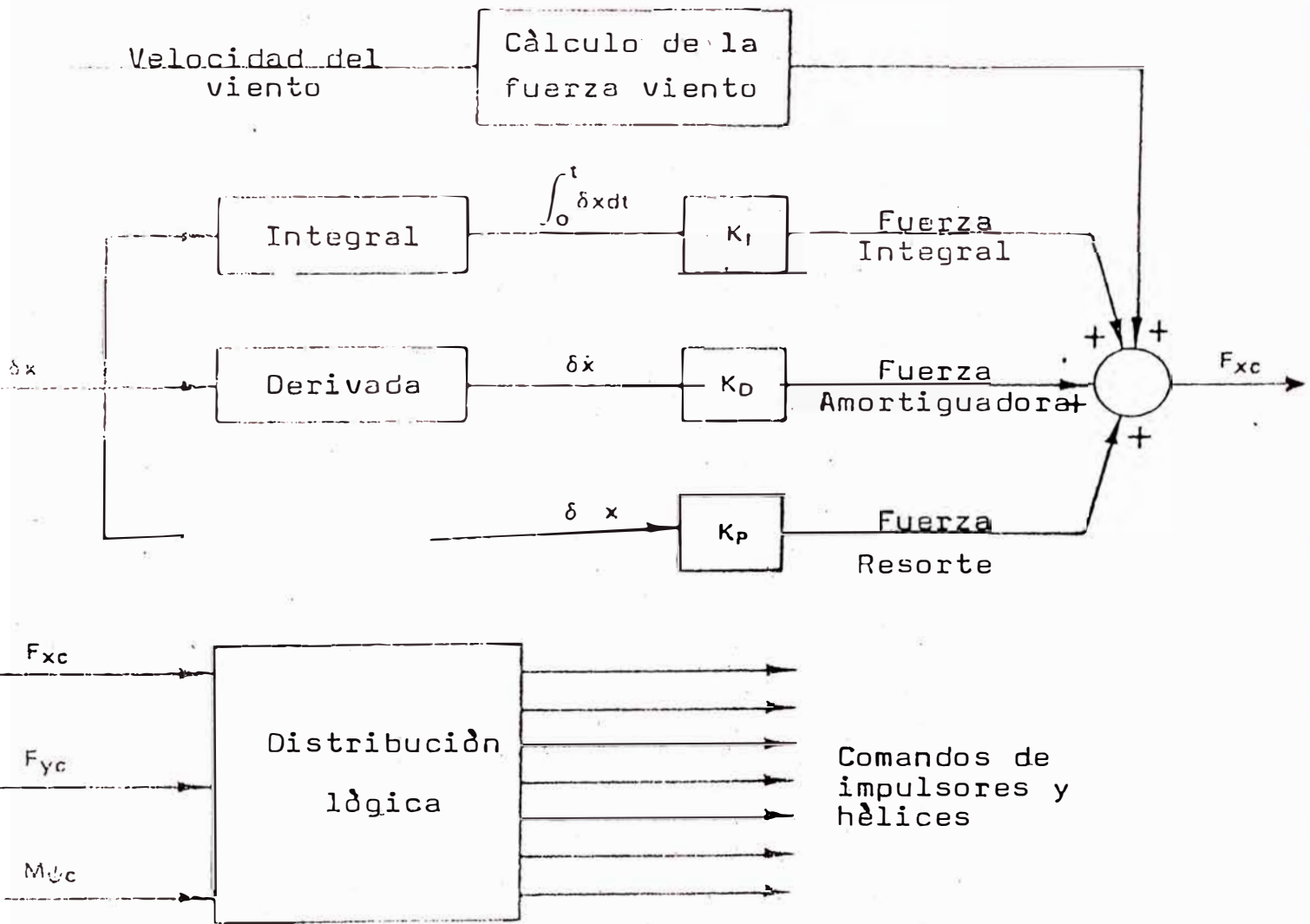
CARACTERISTICAS DE EMBARCACIONES PARA PERFORACION CON POSICIONAMIENTO DINAMICO

	<u>Polly Bristol</u>	<u>Petrel</u>	<u>Sedco 472</u>	<u>Discoverer Seven Seas</u>	<u>Glomar Atlantic</u>	<u>Sedeo (semisumergible)</u>	<u>709</u>
Eslora, pies.	488	492	470	534	450		295
Manga, pies.	89	70	70	80	72		245
Calado, pies.	25	24	24	24	23		80
Desplazamiento, ton. larga.	18098	15900	18700	20700	14750		22420
Potencia Total Instalada, hp.	15750	17000	19700	23000	14750		26000
Impulsores Laterales, hp.	8750	8750	9600	15000	8375		24000 (azimutales)
Hélices Principales, hp.	7000	7000	9000	16000	9600		*
Electrónica del PD.	CIT-Alcatel	CIT-Alcatel	Honeywell	Honeywell	Delco		Honeywell
Consumo de Combustible del PD, Ton. Larga /día.	10-12	10-12	10-12				25-30

* Usa 4 impulsores para navegar.

3.- Control

El controlador es una computadora a bordo que procesa la información de los sensores y ejecuta el control lógico necesario para que los mandos ordenen la acción a los impulsores. La lógica del controlador se ilustra en la Fig. N°5. La fuerza "spring" es proporcional al error de desplazamiento; la fuerza "damping" es proporcional al movimiento de alejamiento; y la fuerza integral, es una función del error de desplazamiento y el tiempo durante el cual el error ha tenido efecto. Estas fuerzas son multiplicadas por factores para dimensionarlas y transformarlas en fuerza de impulsión. Después que estas tres fuerzas de impulsión se suman con la fuerza del viento calculada, la resultante de la fuerza y el momento requerido por los impulsores son alimentados a la lógica de distribución. Esta divide la fuerza total requerida entre los impulsores. Este tipo de controlador lógico es conocido como lógica PID. (Posición Integral Dividida) y es el sistema de control lógico básico usado en las embarcaciones de perforación DP. Recientemente ha sido sugerido el uso de programas sofisticados de computación que emplean la teoría de filtro Kalman para el control lógico DP, con el



Control Lógico.

Figura 5.

fin de hacer que los sistemas de control DP sean menos dependientes de la exacta medida de la posición, que es el principal parámetro de medida del controlador PID. En lugar de determinar las requeridas fuerzas de impulsión a partir de las coordenadas de posición, el propuesto sistema filtro Kalman se basa en un modelo matemático para predecir los movimientos de la embarcación basado en las fuerzas ambientales estimadas. (El modelo incorpora estimación de fuerzas). Estos movimientos de la embarcación predichas son luego comparadas con las coordenadas de posición y rumbo y el modelo matemático es modificado mediante un proceso iterativo para minimizar el error entre los movimientos predichos y medidos. Después que esta "calibración" inicial, bajo ciertas condiciones ambientales dadas, es completada, el controlador filtro Kalman es menos dependiente de las medidas de posición continuas, aunque periódicamente hay que poner al día al modelo matemático usando medidas de posición por variación de las condiciones ambientales. Actualmente, sin embargo, todas las embarcaciones de perforación DP activas continúan empleando el control lógico convencional PID.

Los controladores DP actuales se ba

san en dos o más tipos de posición referencial para garantizar la corrección de los datos. Generalmente, por lo menos uno de estos sistemas es duplicado. Los métodos acústicos, basados en las pulsaciones acústicas transmitidas periódicamente por los sensores submarinos hacia los hidrófonos montados en el casco, proveen una exactitud de profundidad de agua mayor de 1 % y han sido usados como referencia de posición DP a más de 20000 pies de agua. Sin embargo, en los sistemas acústicos, ocasionalmente se presentan interferencias de las señales acústicas causadas por las gradientes de densidad del agua, señales reflejadas, ruido de los impulsores y enturbamiento de los hidrófonos por la descarga de los cortes de perforación y/o en el riser, originando la pérdida de las medidas de posición.

La falta de confianza absoluta en las medidas acústicas lleva al uso de un sistema de indicador de mediciones de posición secundaria o de respaldo para socorrer al sistema o sistemas acústicos durante interferencia de señales.

Esa información provisional se obtiene ya sea mediante la medida del ángulo inferior del riser (so-

bre la conexión flexible que une el riser y los BOP) ó el ángulo dado en superficie por el "taut wire". Para ambos mé todos, se asume que el riser y el "taut wire" están rectos y no responden dinámicamente a las fuerzas de la corriente, oleaje y el movimiento de la embarcación.

Estas suposiciones son válidas en aguas poco profundas, sin embargo, al aumentar la profundidad - la reacción dinámica de estos sistemas secundarios se hace más pronunciada, afectando la estabilidad del controlador DP.

4.- S e n s o r e s

Para que el controlador DP funcione, éste debe recibir información correcta y continua de la velocidad y dirección del viento y la posición de la embarcación. La información sobre el viento es proporcionada por un anemómetro. Para la posición el controlador necesita información en cada uno de los tres ejes. La información azimutal (yaw) es obtenida de la brújula giroscópica. La correspondiente a los efectos de la marea (surge), é inclinación (sway) es derivada de un conjunto de sensores cuyas señales deben ser claras y continuas y su exactitud dentro del 1 % de la profundidad del agua.

Actualmente hay en uso tres sistemas referenciales de posición; el acústico, cable tieso (taut wire) y el ángulo del riser.

a) Acústico

Los sistemas referenciales de posición acústicos son, en la actualidad, los principalmente usa dos para controlar embarcaciones DP. Ver las Figuras Nos. 6 y 7.

Estos sistemas consisten de : una señal o "transponder" en la cabeza del pozo sobre el fondo del mar, hidrófonos colocados en el casco de la embarcación y una unidad de referencia vertical en la embarcación con proce sadores de señal y pantallas de exhibición. Los hidrófonos, reciben la señal acústica enviada por el "transponder". El procesador de señales usa esta información, conjuntamente con la de los ángulos sobre los ejes X e Y (pitch and roll) , proporcionada por la unidad de referencia vertical, para cal cular la posición de la embarcación.

El sistema acústico es el más exacto

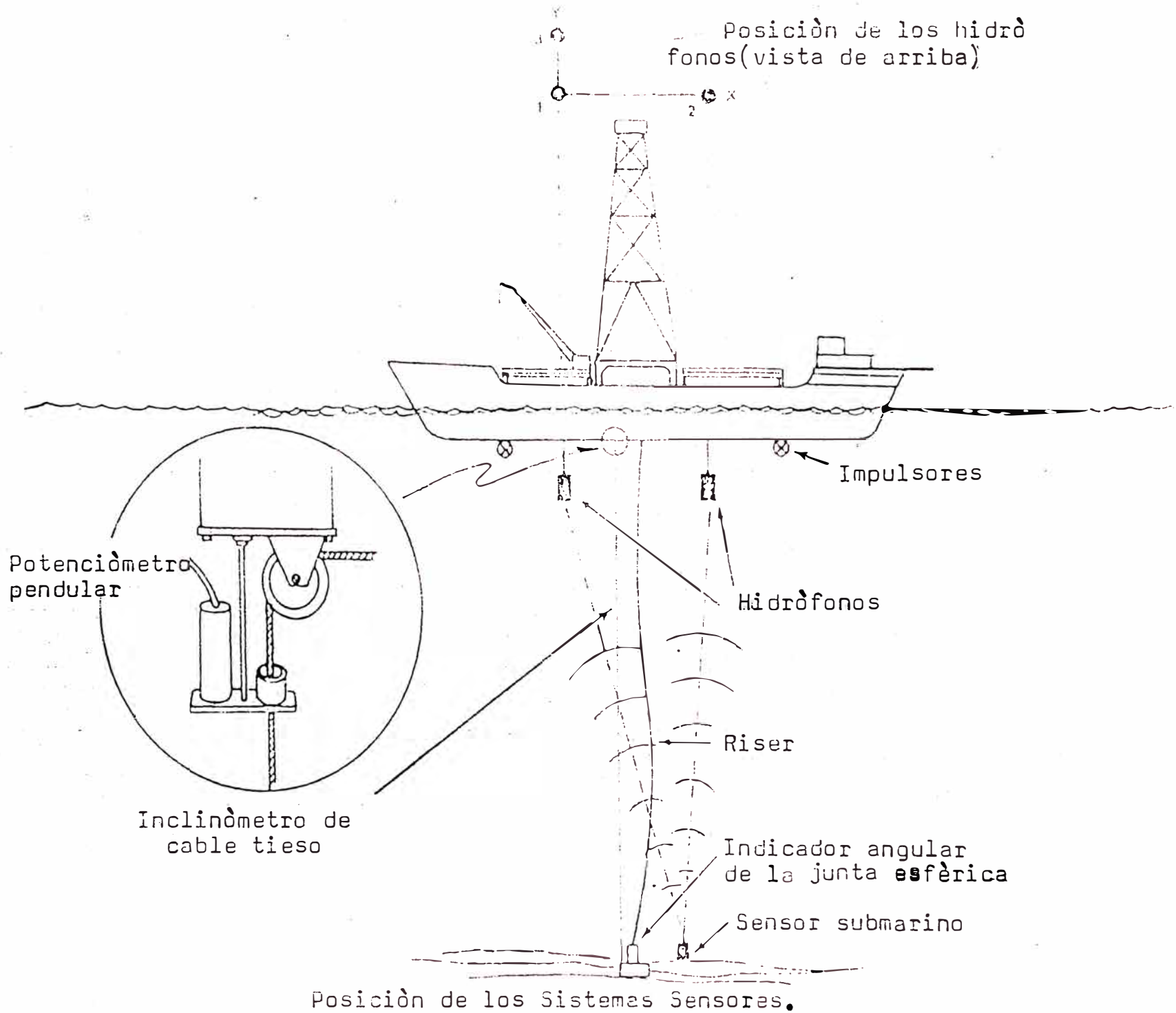
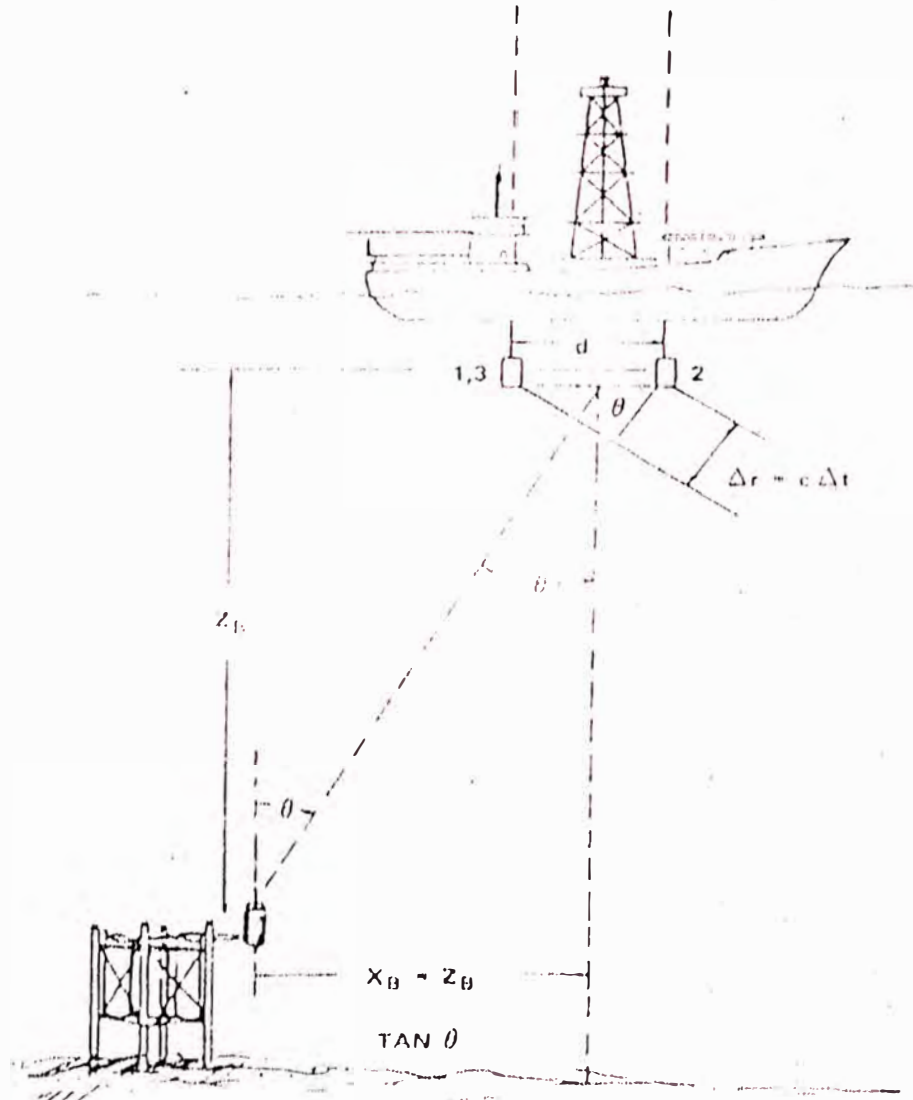


Figura 6.



Geometria de los Hidrófonos
Vista de arriba



Geometria
Sistema Referencial de Posición.

Figura 7.

disponible. Sin embargo, la señal acústica se puede perder cuando el agua es aireada por los impulsores o hélices de los botes auxiliares. También puede perderse debido al enmascaramiento causado por el riser o la descarga de los detritus de perforación. Debido a estas desventajas, el sistema referencial acústico, es normalmente respaldado por otro tipo de referencia.

b) Cable tieso (taut wire)

Consiste de un peso macizo en el fondo, un alambre hacia la superficie, un tensor para mantenerlo rígido y un indicador de ángulo, en la superficie, que provee la señal angular al procesador donde ésa es filtrada, transformada y exhibida en la pantalla.

El cable es de aproximadamente $3/8$ de pulgada, de diámetro, bajo tensión con un potenciómetro - pendular standard para registrar el ángulo. Este tipo de arreglo es muy usado en varias embarcaciones DP como principal respaldo del sistema acústico y ha funcionado en profundidades de agua mayores de 5000 pies.

Debido a las cargas catenaria y de la corriente sobre el cable se producen errores absolutos de

la posición. Sin embargo, si el cable se usa como respaldo, éste puede ser calibrado contra el sistema acústico, y de ahí que sea de importancia sólo la repetición y desviación de la posición con respecto a un nuevo "cero".

c) Angulo de la junta esférica

El indicador del ángulo de la junta-esférica del riser es una tercera alternativa como sensor de posición. Este ángulo indica el comportamiento del riser y puede usarse como señal de entrada al sistema de control DP para posicionar la embarcación. Como una variable de entrada, puede ser usada, directamente, para calcular la posición (asumiendo que el riser está recto) o en un control de secuencia lógica para disminuir el ángulo del riser en los BOP. Este último, es el uso del ángulo del riser como respaldo de referencia de posición en vista de los obvios errores que se introducen al asumir que el riser está derecho.

5.- Impulsores (hélices)

Los impulsores producen las fuerzas y el momento calculado por el controlador DP para posicionar la embarcación. El tamaño y número de impulsores deben ser suficientes para proveer las fuerzas para mantener dinámica -

mente la embarcación en posición en determinado medio ambiente. Los impulsores deben producir más fuerza que la suma de las fuerzas ambientales exteriores porque ellas también tienen que vencer la inercia de la embarcación, que está siempre en movimiento.

Las características de los impulsores, deben ser tales que reducen al mínimo, el ruido acústico transmitido al agua, la aereación y la cavitación. Tanto el ruido como la aereación pueden degradar la confiabilidad y precisión de las señales acústicas. Se reduce el ruido por desviación y absorción; y la aereación y cavitación con un apropiado diseño de las hélices y la profundidad de ubicación del impulsor.

Los impulsores se clasifican en tres categorías laterales principales y azimutables, que pueden producir empuje tanto lateral como hacia adelante o atrás.

a) Laterales

Pueden ser de túnel colocados en la quilla del casco de la embarcación o retráctiles tipo tobera que se sacan más abajo de la quilla cuando se van a usar. Ambos tipos pueden emplear hélices con velocidad y grado de incli

nación controlables para modular la fuerza de empuje. Las toberas Kort en general son las más eficientes y entrapan menos aire debido a sus características hidrodinámicas y su colocación más profunda.

b) Propulsores adelante / atrás

Las hélices principales se usa para los movimientos adelante o atrás mientras la embarcación está en posicionamiento dinámico. Su desventaja está en que están principalmente diseñados para mover la embarcación hacia adelante, de aquí que son menos eficientes para retroceder. Además de esto, las hélices principales tienden a entrapar aire y aerear el agua debajo del barco, que puede interferir la recepción de las señales acústicas. Los timones principales, no se usan para producir ningún movimiento o fuerza lateral.

c) Azimutales

En las embarcaciones DP modernas, los impulsores azimutales son ya sea toberas Kort gobernables o hélices cicloidales Vorth-Schneider. Ellas pueden dirigir su fuerza o impulso a lo largo del eje de la fuerza ambiental-resultante.

Redundancia en el Sistema DP

Dado que salirse o dejar la locación puede causar serio daño al riser y al conjunto BOP, el sistema de posicionamiento dinámico DP, está diseñado para trabajar continuamente dentro de un pequeño círculo de error en la superficie del agua. Por esta razón los componentes del sistema están respaldados por uno o más aparatos similares, a ser usadas inmediatamente en caso de emergencia. Una computadora a bordo controla el cambio y funcionamiento automático de los componentes; algunos cambios pueden hacerse manualmen

En adición al equipo redundante, generalmente se dispone de un procedimiento de contingencia para usarse en caso que toda la referencia de la posición se haya perdido.

Consumo de Combustible en el Sistema

DP.

El consumo de combustible de este sistema depende de las condiciones ambientales en el lugar de

perforación y varía sustancialmente en lugares calmos como el sur del Mar de China o el Mar del Norte. También es función del tamaño de la embarcación.

Limitaciones Ambientales

En general las embarcaciones DP pueden mantener su posición durante operaciones de perforación - bajo condiciones severas ambientales similares a las que pueden tolerar las embarcaciones ancladas, siempre y cuando se encuentren trabajando en aguas de 750 pies o más de profundidad. En aguas de menor profundidad, las operaciones en DP pueden ser restringidas a zonas de condiciones ambientales menos severas porque el diámetro del círculo de error de posición permitido se empequeñece conforme la profundidad del agua disminuye.

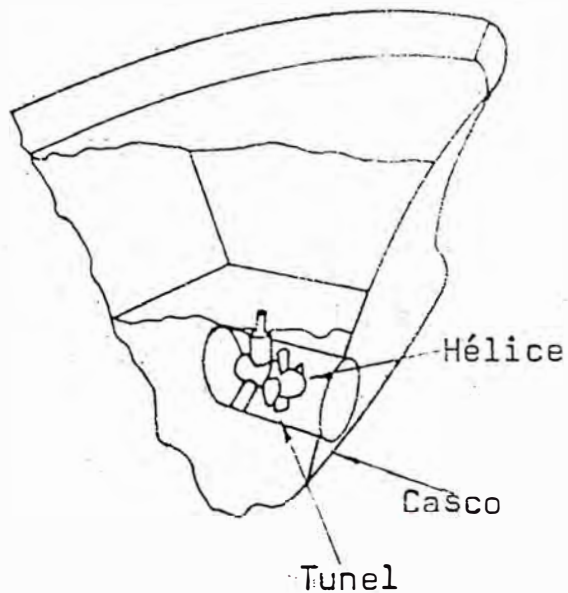
II - Drilling Risers

El drilling riser provee el conducto desde la embarcación al lecho marino a través del cual se llevan a efecto las operaciones de perforación. Los componentes principales del sistema del riser mostrados en la Figura N° 9 incluyen : el conector gimbal al barco de perforación, la junta deslizante, los tensores del riser, una junta esférica superior (opcional), los tubos riser y la junta esférica inferior.

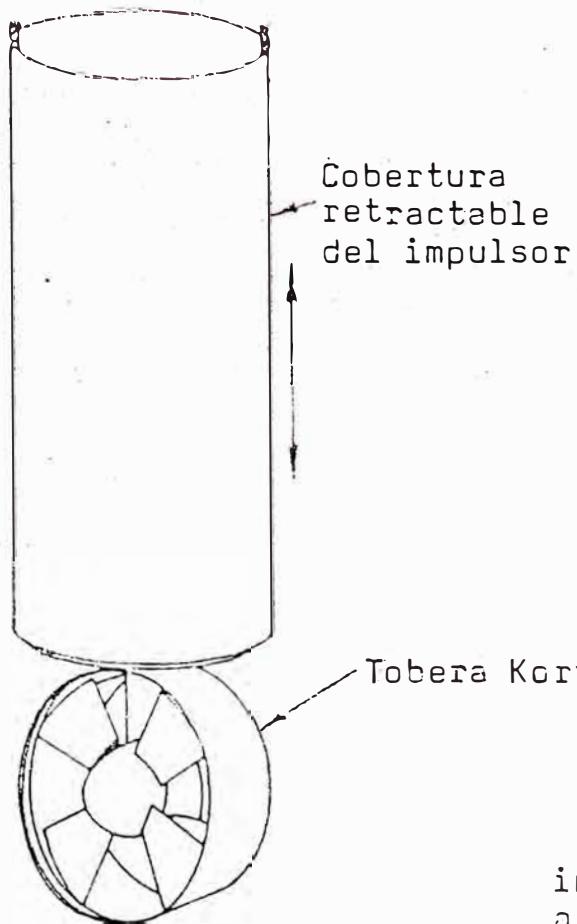
-El conector gimbal (generalmente una junta esférica) del cilindro interior de la junta deslizando aísla el riser de los movimientos angulares con respecto a los ejes X e Y (pitch y roll) de la embarcación. Igualmente, la junta deslizante permite movimiento vertical relativo eje Z, (heave) entre la embarcación y el riser.

-Los tensores del riser producen una fuerza tensional, en el tope del cilindro exterior de la junta deslizante, suficiente para mantener tensión a lo largo de la sarta de riser. Esta fuerza se mantiene casi constante - por medio de tensores neumático/hidráulicos que compensen el movimiento entre la embarcación y el cilindro exterior de la

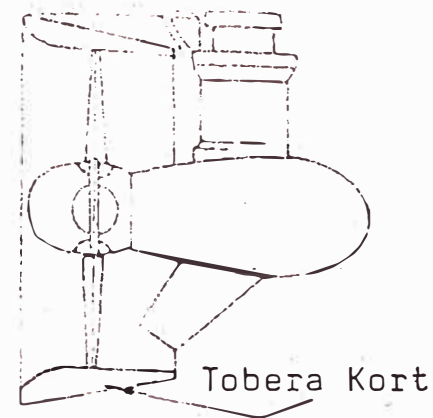
Eje de rotación vertical



Impulsor tunel.



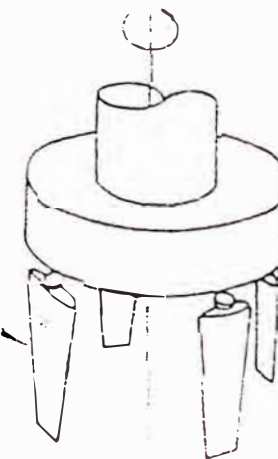
Impulsor con tobera Kort retractable.



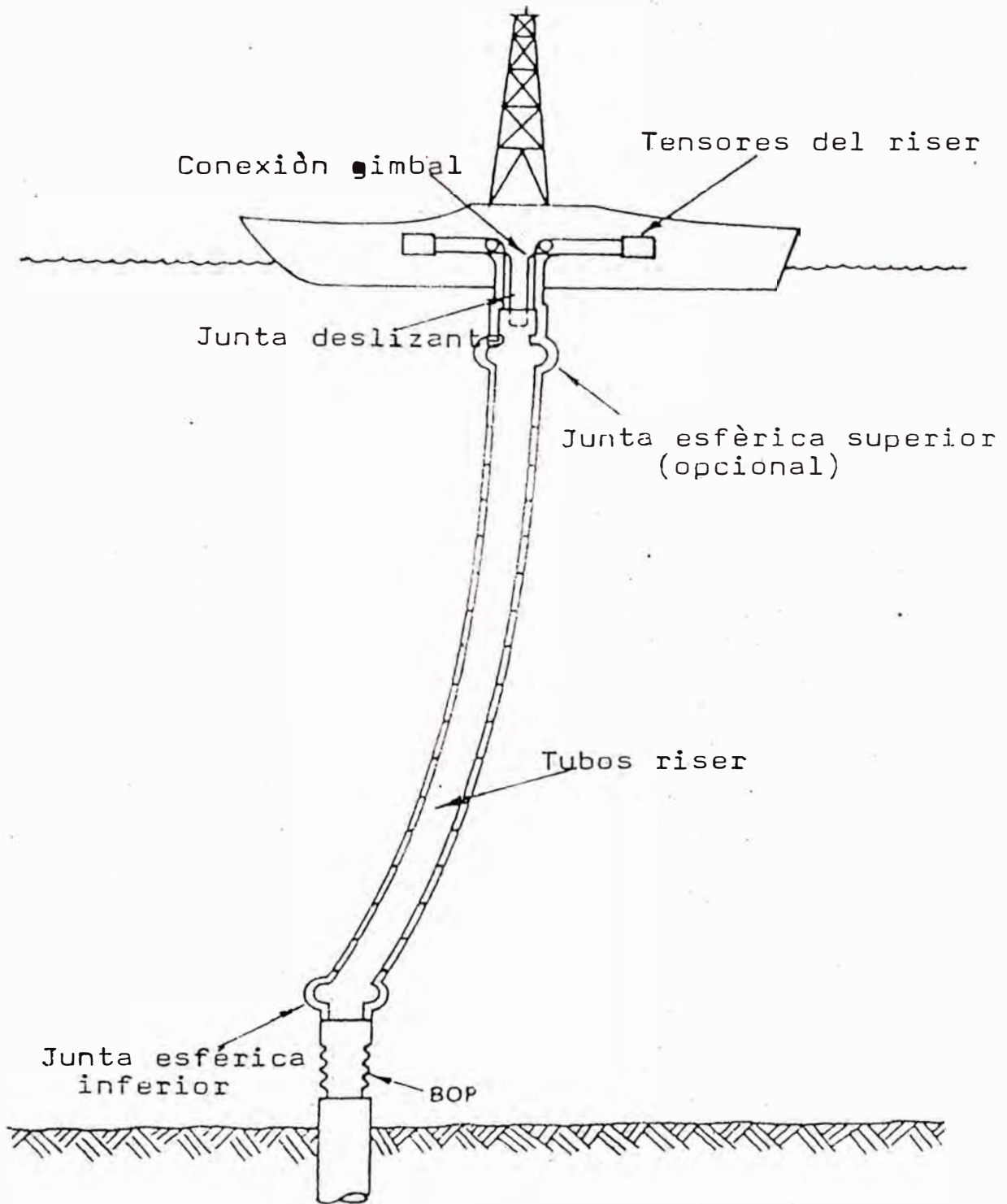
Impulsor con tobera graduable Kort.

Eje de rotación

Aletas inclinables ajustables



Impulsor cicloidal.



Sistema del Riser para un Equipo de Perforación Flotante

Figura 9.

junta deslizante. Ver Fig. N° 10.

-Una junta esférica superior inmediatamente debajo de la junta deslizante reduce el esfuerzo de doblar, y muchas veces se usa cuando se esperan altos esfuerzos de dobladura en la zona de oleaje.

-Una junta esférica inferior proporciona una conexión flexible entre el terminal inferior del riser y el conjunto de BOP's.

Criterio General de Operación

La Figura N° 11 muestra las fuerzas externas que actúan sobre el riser. Estas fuerzas se deben a :

Peso de los tubos del riser

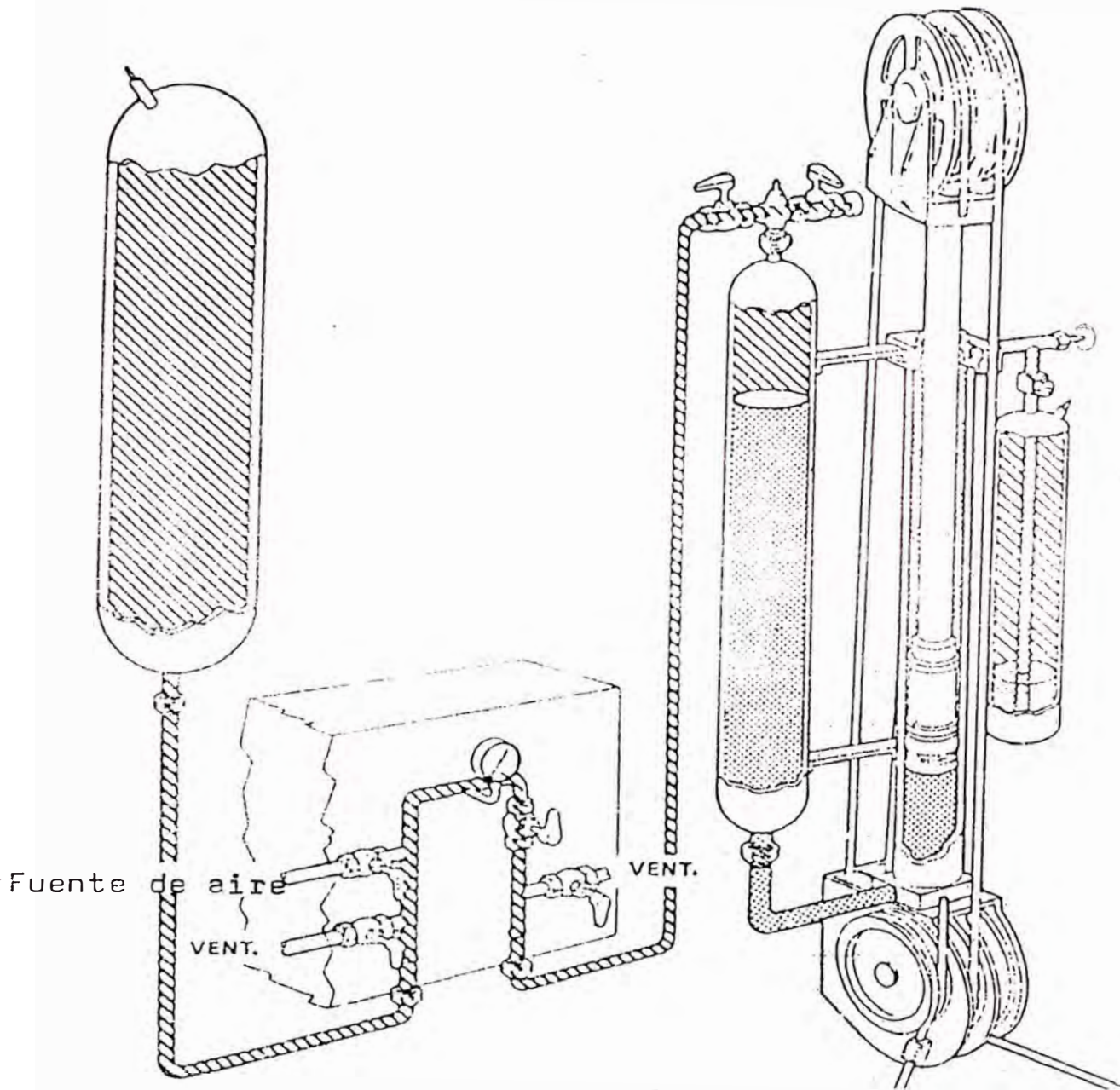
Peso o densidad del lodo





Flotabilidad exterior adherida al riser

Esfuerzo del tensor

Fuerzas de oleaje y corriente

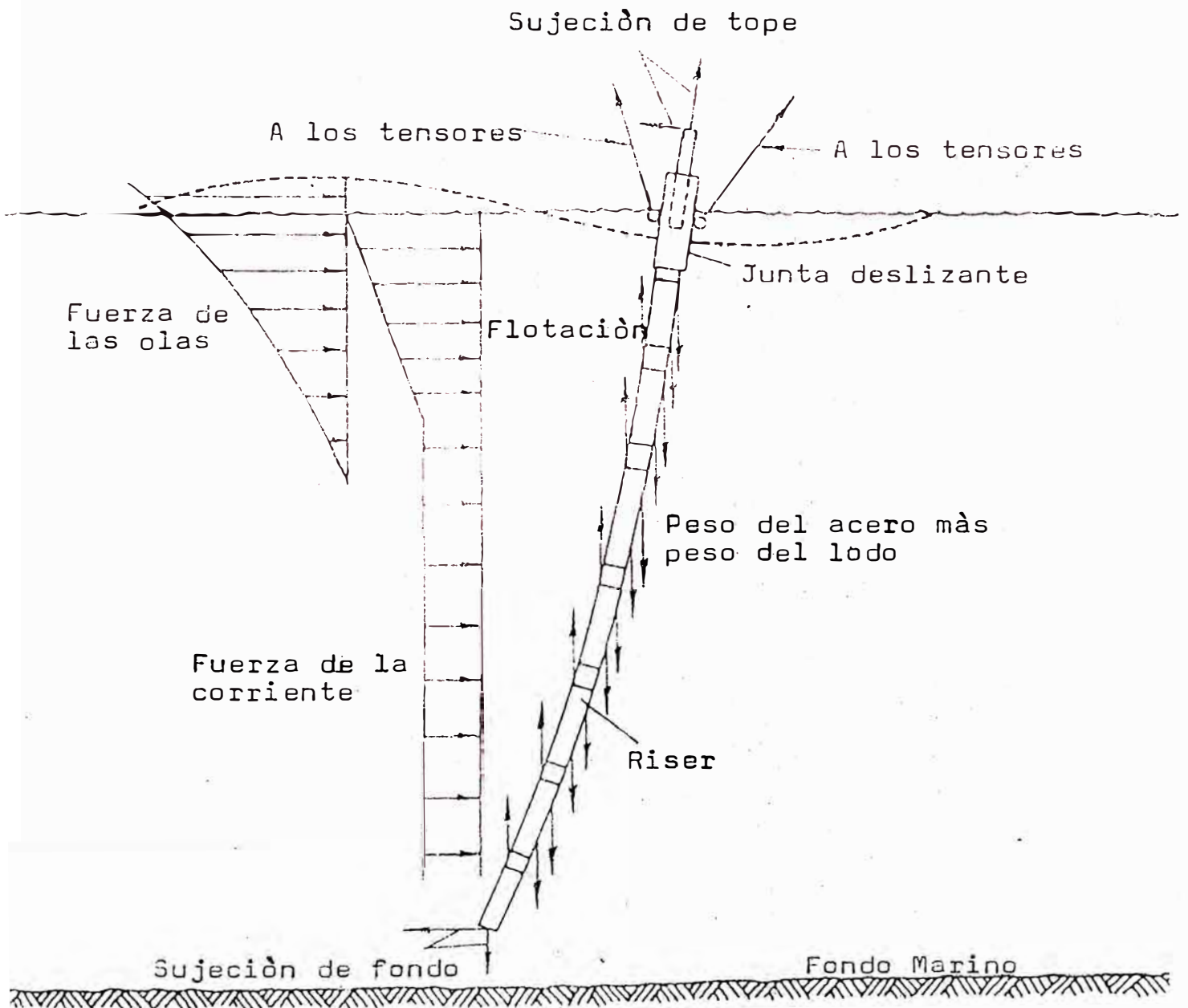
Fuerzas de reacción en el barco de perforación y el conjunto BOP.



-  Aire baja presión.
-  Aire alta presión.
-  Aceite baja presión.
-  Aceite alta presión.

Circuito Neumático. Sistemas de Tensores Rucker.

Figura 10.



Fuerzas externas sobre el Riser de Perforación.

Figura 11.

Estas fuerzas exteriores, junto con la configuración geométrica del riser (longitud del riser y desalineamiento de la embarcación), determinan los esfuerzos - del riser, la estabilidad estructural (tendencia al pandeo) y los ángulos de las juntas esférica y deslizante. La fuerza - del tensor y el desalineamiento de la embarcación son controlados de modo que cumplan con el siguiente criterio general de operación.

Esfuerzo

El máximo esfuerzo combinado (doblado *ra más tensión*) en el riser debe limitarse al 33 - 50 % del mínimo esfuerzo de deformación permanente del material del ri ser. El límite del 33 % se usa para operaciones generales; el 50 % se permite en forma esporádica y momentánea tal como en situaciones de mal tiempo. Se prefiere el límite de 33 % como una forma de prevenir falla por fatiga cíclica.

Pandeo

El esfuerzo de tensión debe en todo momento ser suficiente para evitar la ocurrencia de una carga de compresión axial en cualquier punto del riser; tal carga po

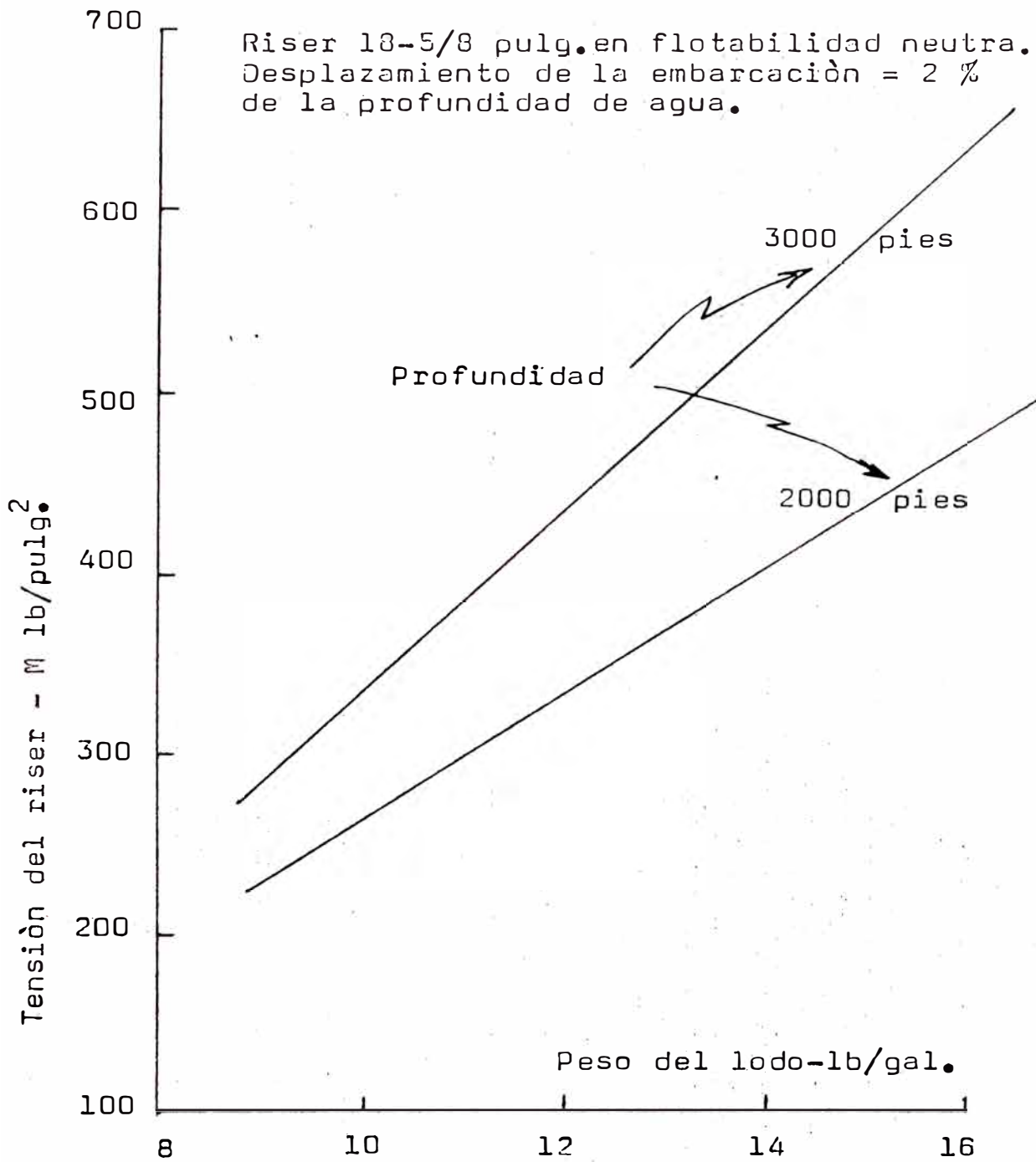
dría causar una falla de la sarta por pandeo. Se debe poner especial cuidado cuando se reduce el esfuerzo de tensión por mantenimiento o debido a falla de o de los tensores.

Angulo de la Junta Esférica Inferior-

Este debe estar limitado a un máximo de 4° cuando se está perforando, haciendo viaje, rotando la sarta de perforar o subiendo y bajando la misma dentro del riser. La omisión en observar este límite puede ocasionar severo daño a las juntas o tubos inferiores del riser, la junta esférica y el BOP stack. El ángulo de la junta esférica puede relajarse hasta 8° para operaciones stand by cuando la cañería de perforación no está moviéndose dentro del riser. No se debe exceder los 8° porque la mayoría de las juntas esféricas tienen un tope mecánico a los 10° de deflexión volviéndose rígida en este punto. Cualquier exceso, más allá de los 10° , causará un drástico aumento del esfuerzo del riser y su posible falla.

Requerimientos de Tensión

La Figura N° 12 muestra valores de tensión del riser en función del peso del lodo y profundidad -

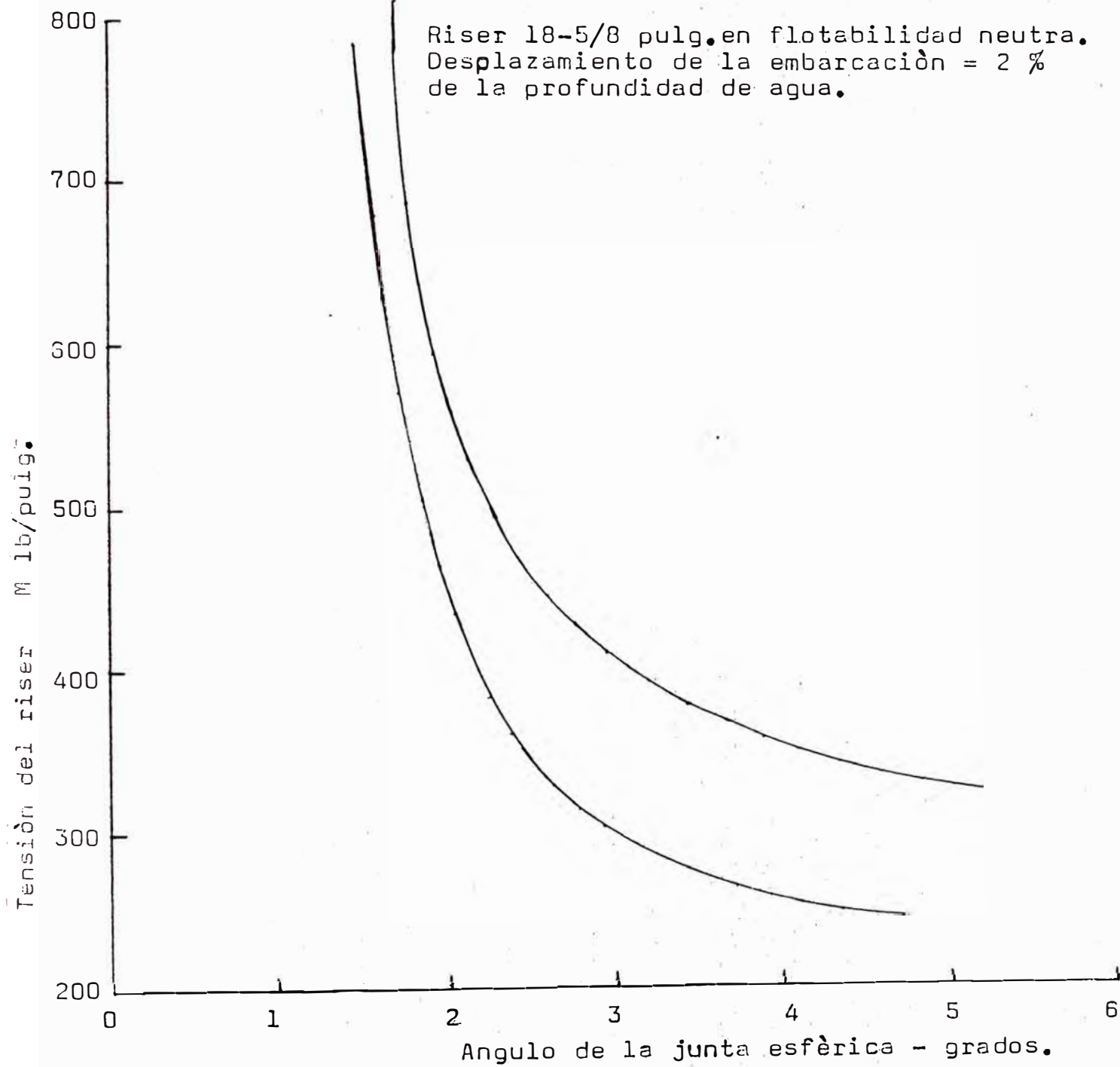


Tensión vs. Peso del Lodo.

Figura 12.

de agua para un riser de flotabilidad neutra. El término *flotabilidad neutra*, aquí usado, quiere decir tubos de riser con *flotabilidad exterior adherida* proporcionando empuje de flotación neto igual al peso dentro del agua del tubo riser. La Figura N° 13, ilustra el comportamiento del ángulo de la junta esférica inferior en función de la tensión aplicada. La Figura N° 14, ilustra el mínimo de tensión requerida para evitar el pandeo en función del peso del lodo y profundidad de agua.

Estos ejemplos de tensiones requeridas están basados en un análisis computarizado del comportamiento de un riser en particular bajo condiciones ambientales y profundidad de agua. Nótese que los requerimientos de tensión del riser no se pueden generalizar de éste u otro ejemplo, porque el esfuerzo del riser y el comportamiento del ángulo dependen mayormente de las condiciones ambientales (especialmente el perfil de la corriente) en el lugar de la perforación. En cada caso se debe hacer un análisis computarizado. Existen programas de computadora para análisis estructurales estático y dinámico del riser disponibles comercialmente. Nótese que la tensión requerida por el riser en este ejemplo así como en



Tensión del Riser vs. Angulo de la Junta Esférica.

Figura 13.

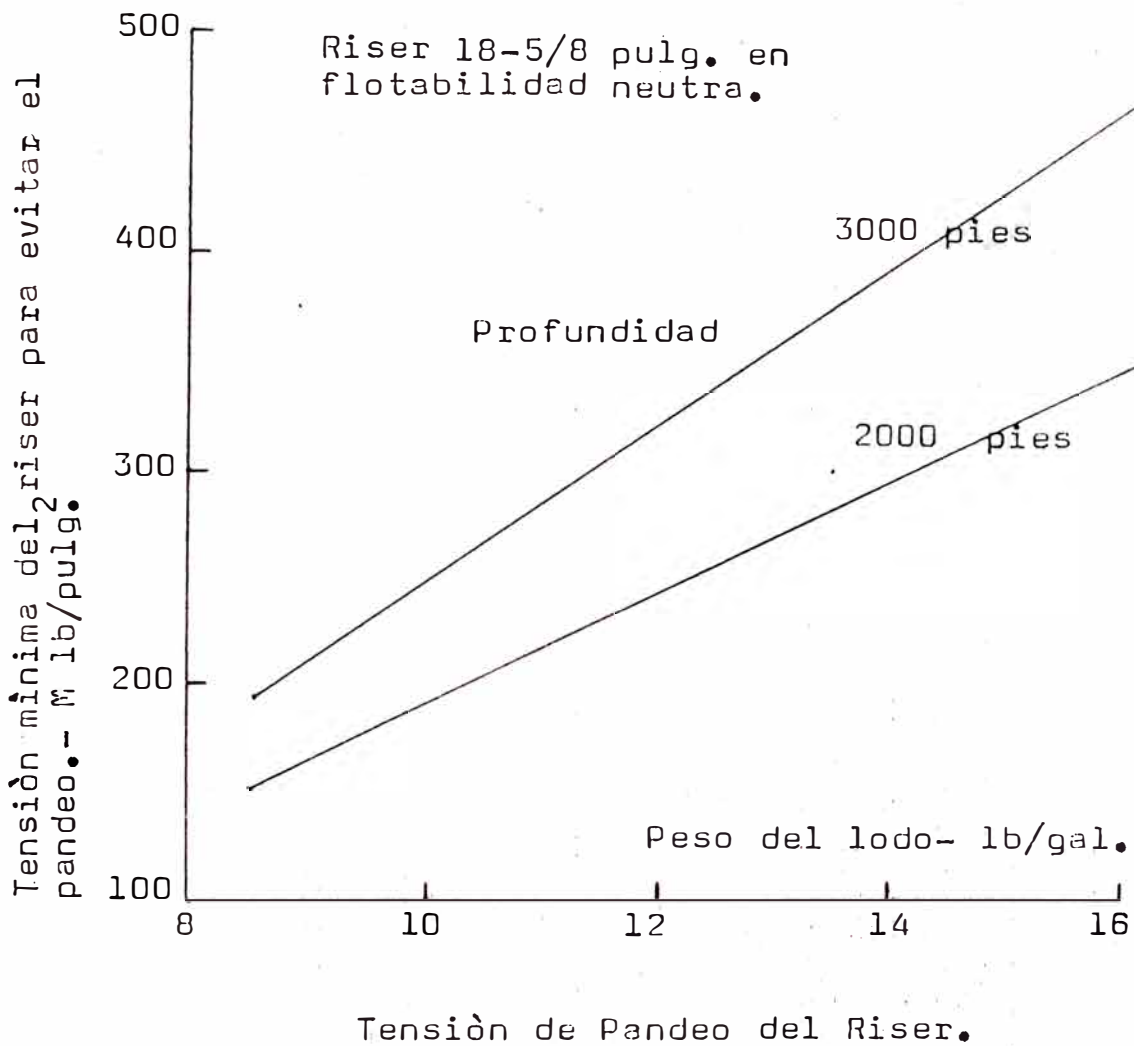


Figura 14.

la mayoría de los programas representan la tensión verticalmente aplicada a la junta deslizante. Las tensiones de operación reales deben ser aumentadas mediante factores apropiados, que darán cuenta de las variaciones del tensor así como de cualquier pérdida repentina de la tensión debida a fallas de cable.

La mayoría de los equipos de perforación para agua profunda DP están equipados con tensores con capacidades de 680,000 a 960,000 lb. de tensión, que son adecuadas para templar un riser de flotabilidad neutra en el rango de 2000-4000 pies de profundidad de agua. La tracción del tensor se limita, generalmente, al 75 % de la capacidad instalada, excepto en situaciones de corta duración.

Flotabilidad del Riser

La tensión del riser necesaria para evitar el pandeo en un riser sin flotabilidad rápidamente se vuelve excesiva al aumentar la profundidad del agua sobre los 1000 pies, originando grandes esfuerzos de tensión en la parte superior del riser. El uso de flotación distribuida a lo largo del riser, ayuda a sostener el peso del riser, reduciendo así la tensión en la parte superior del mismo.

Esta necesidad de flotar del riser ha sido reconocida en la industria y todas las embarcaciones para aguas profundas DP están equipadas con risers flotantes. La cantidad de flotación usada en la mayoría de los casos va de 95 a 98 % de flotación neutral (i.e. el equipo de flotación adherido a un tubo del riser provee un empuje neto equivalente a aproximadamente 95 - 98 % del peso del tubo en agua de mar).

La flotación del riser se logra mediante flotadores de espuma sintética fundida sujetos o engrampados a los tubos del riser o por medio de latas flotantes de fondo abierto, que son inyectadas con aire desde la superficie una vez que están sumergidas. Los flotadores sintéticos de espuma son los preferidos por ser más simples e inertes. Las latas flotadoras necesitan de compresor de aire, válvulas, sellos, etc.

Consideraciones Especiales

Colapso del Riser

Bajo la mayoría de las condiciones de operación el peligro de colapso del riser no es tomado en cuenta ya que la presión interna hidrostática del lodo es mayor -

que la presión externa del mar. Sin embargo, si se produce una fuerte pérdida de circulación que haga descender el nivel del fluido interior debajo del nivel del mar, el riser estará sujeto a la presión de colapso hidrostático del mar.

No es práctico diseñar risers de gran diámetro (18 5/8 ó 21 pulg.), usados por barcos de perforación en aguas profundas, que soportan la totalidad de la presión hidrostática del mar (1332 psi a 3000 pies). Para evitar esta contingencia se puede usar una "válvula de inundación" en el riser. Esta se instala, generalmente, en un tubo corto del riser que es colocado en la sarta un poco debajo del nivel de agua. Si se pierde circulación, originando la caída del nivel del fluido, la "válvula de inundación" puede abrirse permitiendo al agua marina llenar el riser y evitar que ocurra el colapso.

Operaciones en áreas corrientosas -

Las corrientes fuertes determinan no sólo que la tensión en la parte superior del riser y los esfuerzos del riser en sí sean mayores, sino que dificultan las operaciones de desconexión y reconexión del mismo al conjunto-BOP, al causar un desalineamiento horizontal excesivo. Se

forma un ángulo grande con la vertical en el tope del riser , causando que los tubos del riser se doblen y daños a los módulos de flotación. También pueden hacer que el ángulo de la junta deslizante sea muy grande de modo que ésta entre en contacto con el moon pool causando daño o falla de la junta. Además un desalineamiento horizontal muy grande puede hacer, en algunos casos, imposible la reconexión, como resultado del acortamiento vertical de la sarta del riser.

Las corrientes fuertes han causado - serias dificultades y pérdida de tiempo en perforaciones en aguas profundas como en la parte norte de la costa sudamericana.

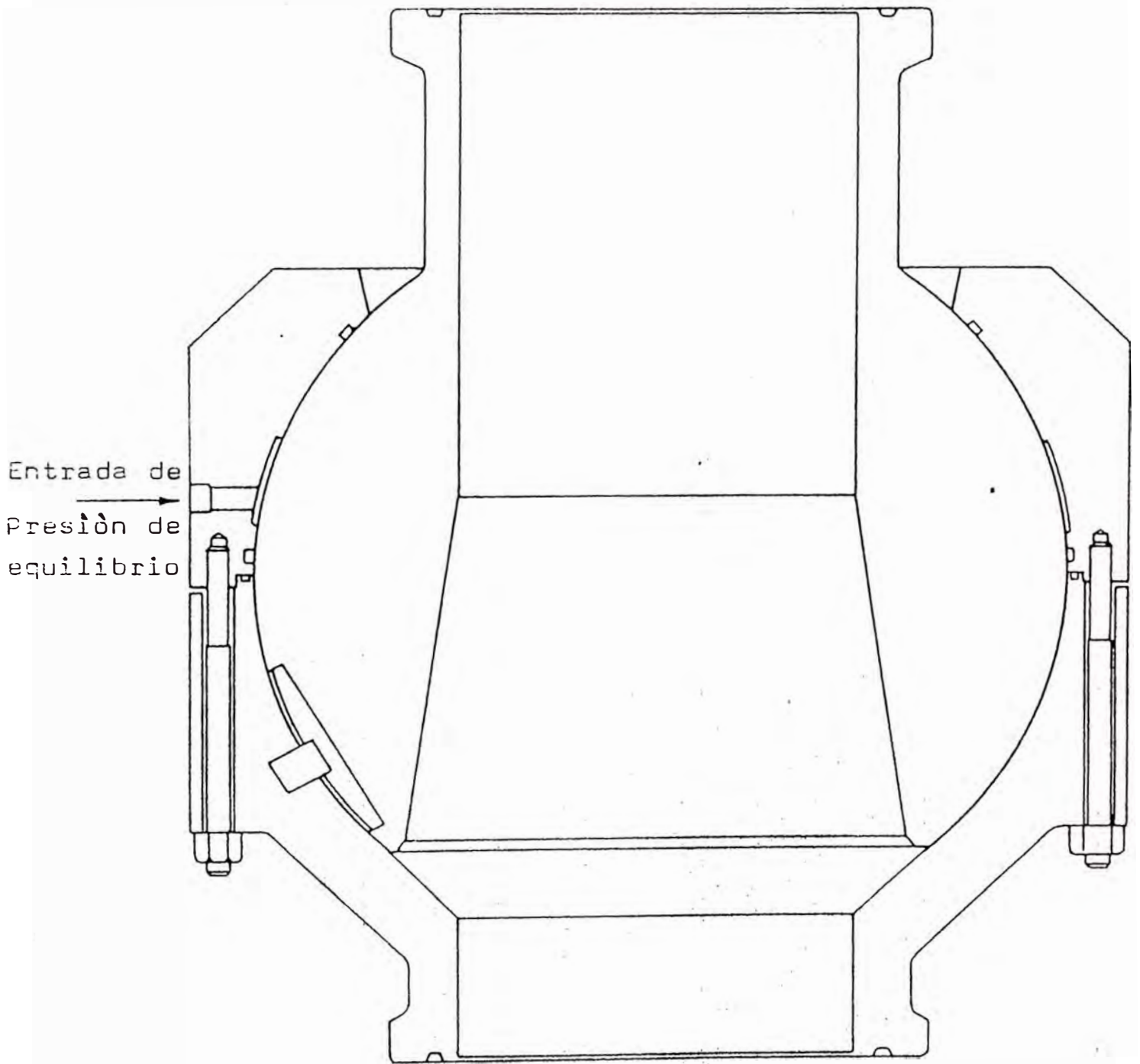
Por lo expuesto, es muy importante - conocer el perfil de corrientes del lugar donde se vá a perforar, para una correcta planificación del proyecto.

Juntas Esféricas

Las juntas esféricas o "juntas flexibles" son utilizadas en el terminal superior del riser para reducir los esfuerzos de dobladura en la zona de oleaje, en algunos casos, y en el terminal inferior del riser para proveer una conexión flexible, de momento casi nulo, con el con

junto BOP, que está rígidamente sujeto a la cabeza del pozo en el fondo marino. En la Figura N° 15, se muestra una junta esférica convencional con presión balanceada. Este diseño utiliza presión hidráulica del sistema de BOP's para balancear - el efecto pistón de la presión interna del lodo y la tensión - del riser para evitar fricción excesiva en el contacto esfera receptáculo, que podría ocasionar la rigidez de la junta. En operaciones en aguas profundas tiene cierta limitación debido, a que la alta tensión del riser en la junta esférica y el creciente efecto pistón de la presión interna por el lodo precisará de una presión de balance que puede exceder el sello integral de la junta esférica. Como ejemplo : Una junta esférica de 18 5/8 pulg. con riser de flotabilidad neutra en 3000 pies de agua (400,000 lb. de tensión) y lodo de 12 lb/gal., requerirá una presión de balance superior a las 3400 psi. Los fabricantes recomiendan como máxima presión de balance, para - estas juntas esféricas de 1000 a 2000 psi.

Como alternativa a las juntas esféricas de posición balanceada están la junta universal, Figura N° 16, y junta flexibles elásticas, Figuras Nos. 17 y 18. La junta universal Cameron incorpora un chumacera universal para



Junta Esférica Convencional de Presión Balanceada.

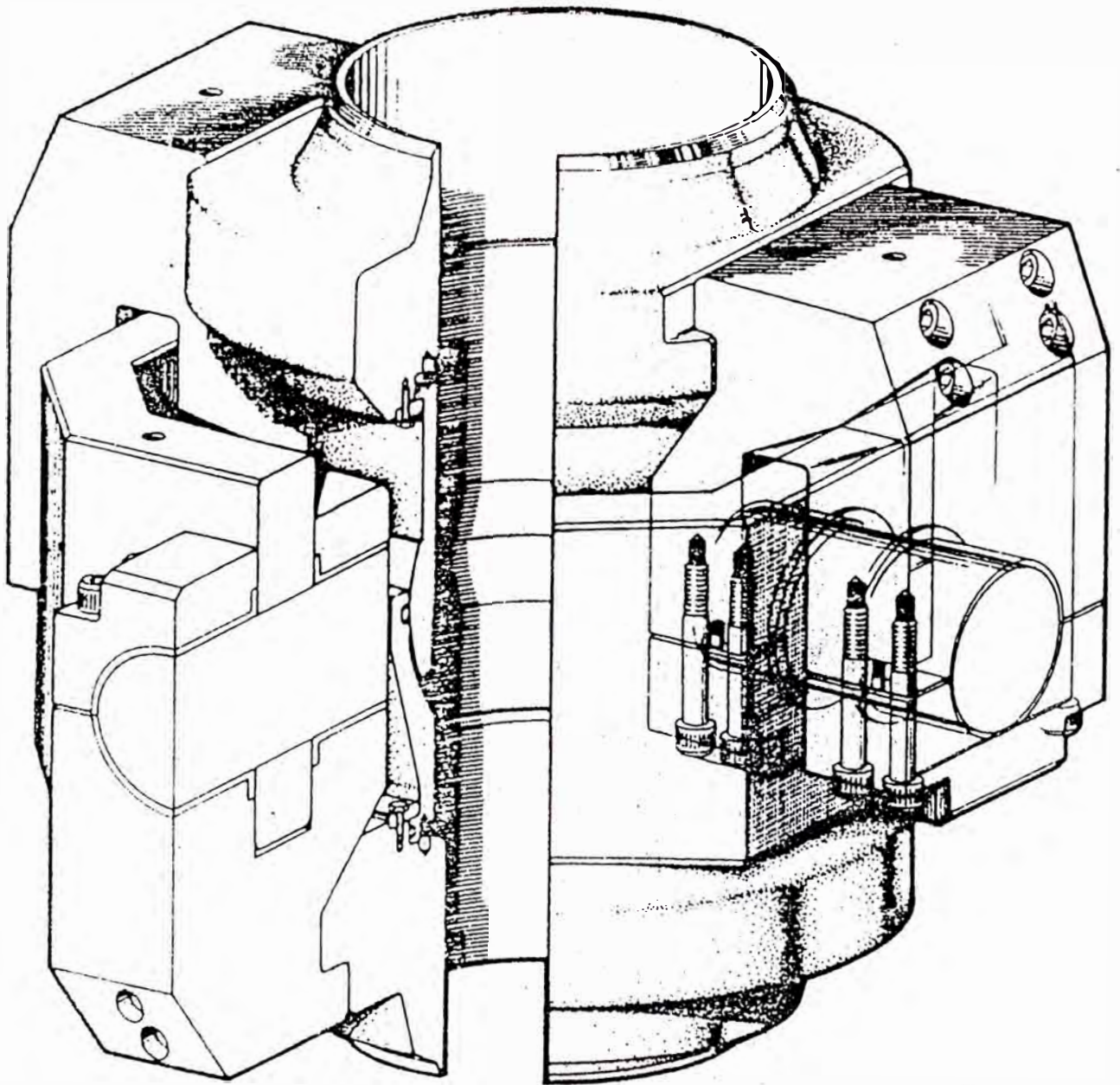
Figura 15.

transmitir la carga de tensión al riser y un conducto flexible independiente. Las juntas "elastomer flex" emplean una serie de platinas circulares ligadas a elastomer para proporcionar flexibilidad. La mayoría de las embarcaciones DP para aguas profundas están equipadas con estos componentes.

Estos son componentes inertes que no requieren de presión de balanceo o lubricación desde la superficie. Ambos tipos han sido usados con mucho éxito en perforaciones en aguas profundas.

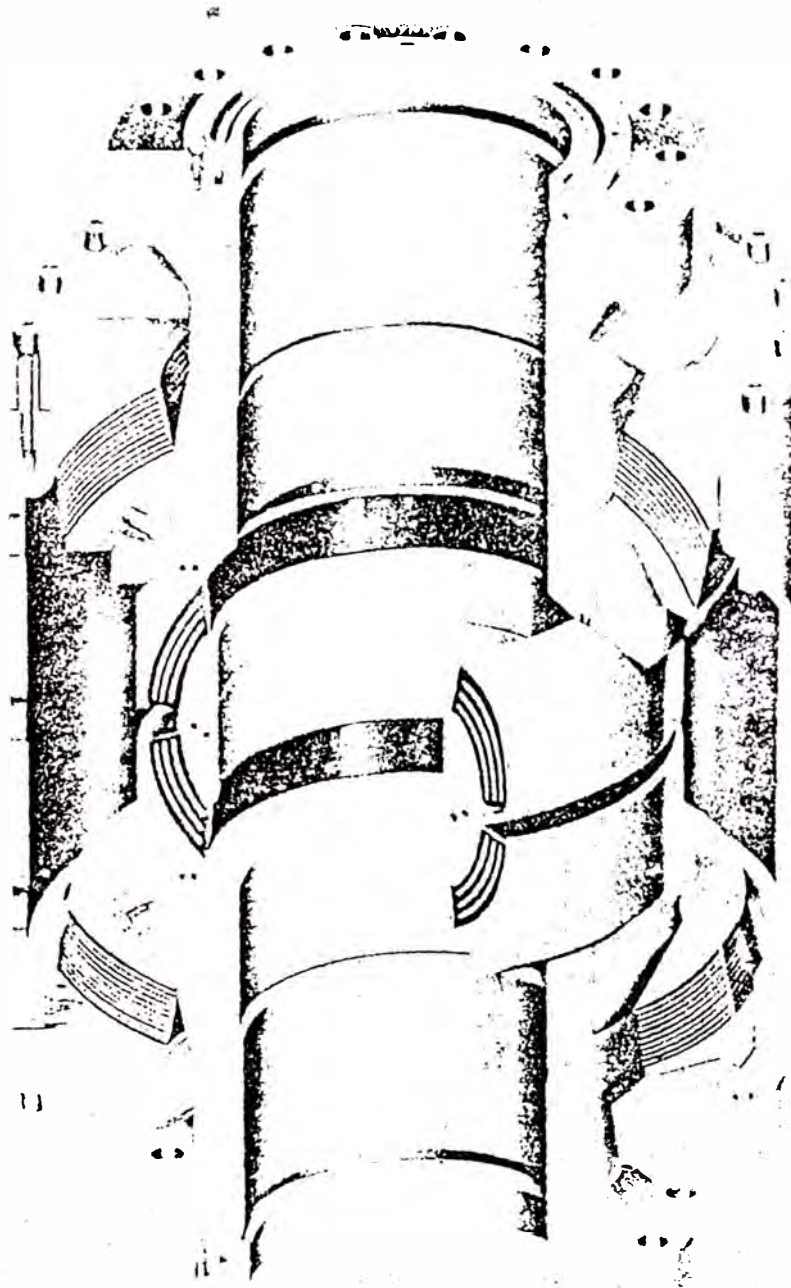
Rebote del Riser

En caso de una desconexión de emergencia, la tensión del riser debe ser reducida a un valor ligeramente superior al peso en el agua marina del riser y la parte superior del conjunto BOP antes de desconectar para evitar la colisión del riser con la subestructura del rig. Este problema se presenta sobre todo en aguas profundas donde el valor de la tensión del riser es muy superior al de los pesos indicados anteriormente. Si la desconexión se hace bajo la tensión de operación, la tensión o fuerza liberada hará que el riser colisione el rig a 15 ó 20 m.p.h. cuando la junta deslizante se cierre, causando una gran inercia y



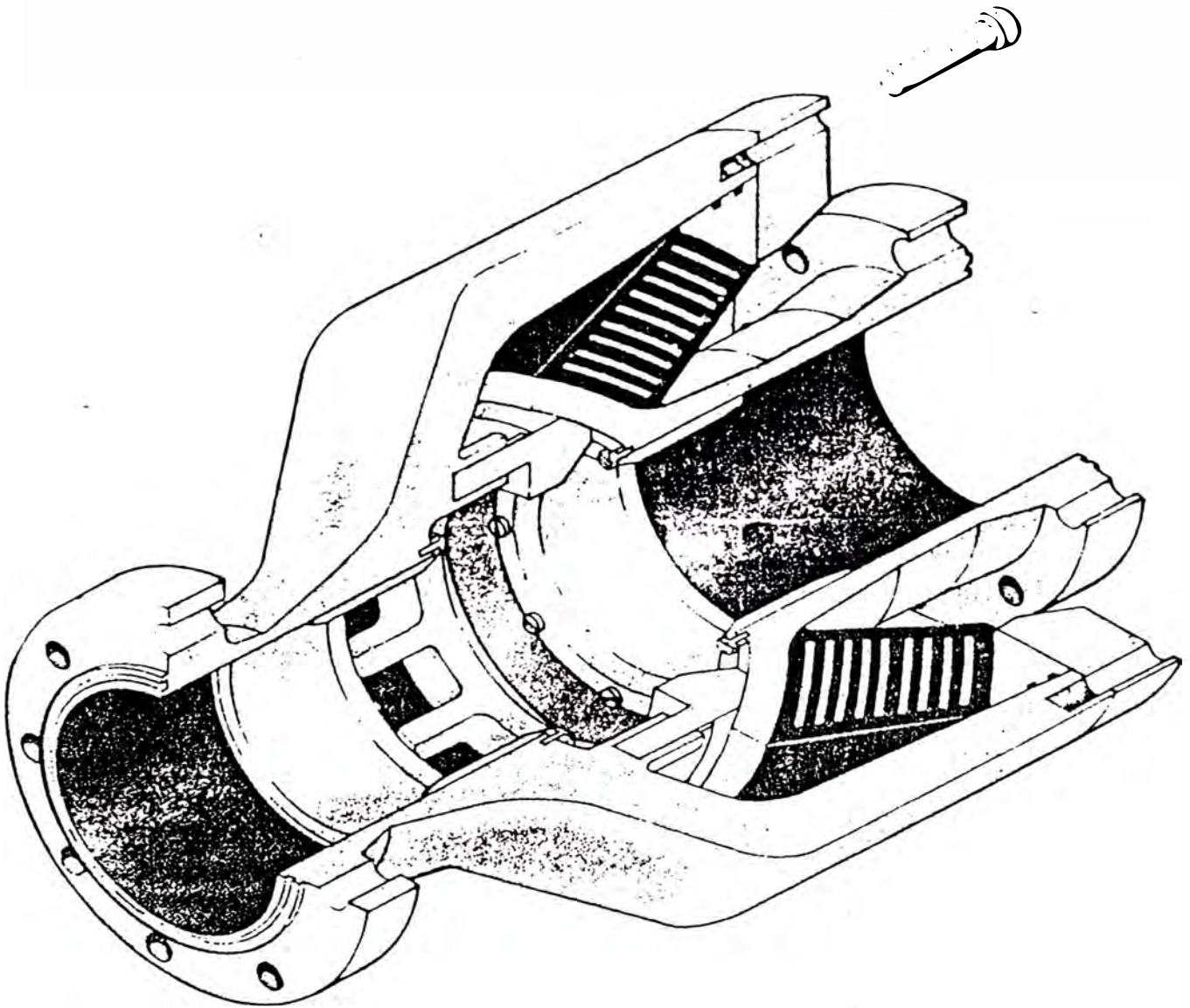
Junta Esfèrica Tipo Universal de Càmeron.

Figura 16.



Junta Uni-Flex de Vetco.

Figura 17.



Conector Flexible de Caucho Oil States.

Figura 18.

posiblemente la partición del riser.

El impacto puede aliviarse reduciendo rápidamente la presión de los sensores antes de desconectar (si es posible) o mediante el uso de válvulas a control remoto para aislar los sensores de la fuente de aire de alta presión y /o aumentar la presión en la zona de baja presión del pistón del sensor; Ver Figura N° 10.

Muchas de las embarcaciones DP están, equipadas con estas válvulas. Si se desea, las válvulas a control remoto pueden funcionar automáticamente como parte de la operación de desconexión de emergencia operada por el sistema de control de BOP's.

III Re - ingreso

En esta sección se verá el equipo y procedimientos usados, en la perforación en aguas profundas, para re-ingresar al pozo con brocas, revestimientos u otras herramientas, para desconectar o reconectar el conjunto de BOP's a la cabeza del pozo. Las operaciones de "re-ingreso" en embarcaciones de perforación DP emplean equipo "sin guía" al contrario del equipo convencional con guías de cable usados en las embarcaciones ancladas.

No se usan guías en las embarcaciones DP por las dificultades en restaurar las guías (cables) en el caso de apartarse de la locación, que podría ocasionar sus roturas o pérdidas.

La operación de re-ingreso "sin guía" generalmente, precisa de una cámara de TV o sonar (o una combinación) para localizar la broca del pozo en el fondo marino. La embarcación se maniobra mediante el sistema de posicionamiento dinámico (DP) para colocar el equipo a ser re-ingresado o conetado directamente sobre la cabeza del pozo, antes de ser introducido en él.

E q u i p o

-Televisión

En operaciones de perforación en agua profunda, la TV submarina es el método más usado para localizar y observar la cabeza submarina del pozo. La mayor parte del equipo de TV utilizado es similar al usado para aguas poco profundas, con la adición de las sondas sonar/TV dentro de la tubería de perforación.

El equipo de TV submarino convencional puede ser montado en un embudo guía articulado tal como se indica en la Figura N° 21. Para conectar el conjunto BOP, se puede montar la cámara de TV en un recipiente metálico protector y bajarlo dentro del riser hasta el fondo del conjunto BOP para observar la cabeza del pozo durante la operación de conexión. Algunas embarcaciones tienen cámaras de TV con brazos hidráulicos montados permanentemente en el conjunto BOP, para ser usadas cuando se hace esta conexión.

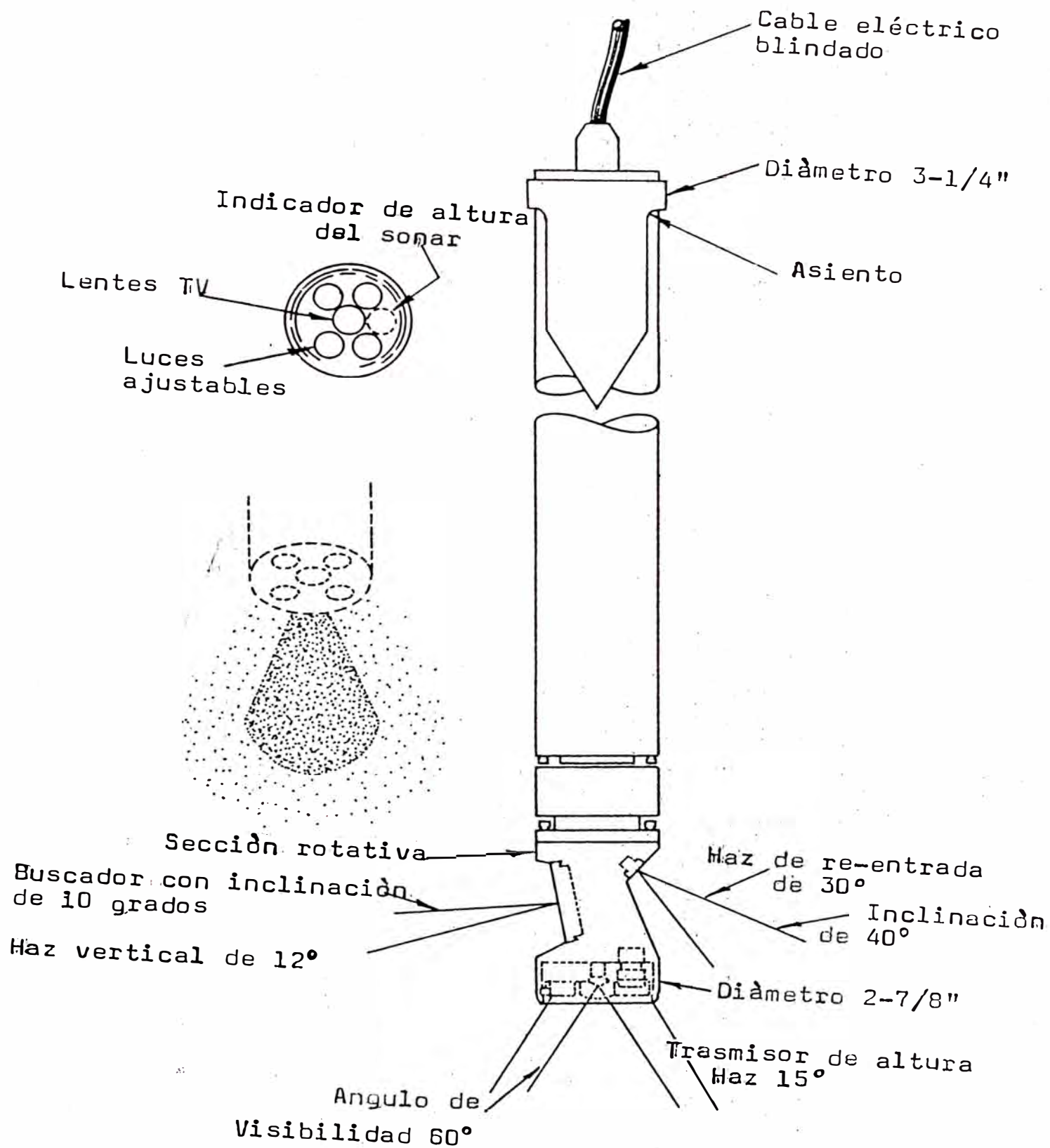
-Sonar

Cuando la claridad del agua es pobre

o existen corrientes fuertes que empujan el fondo de la columna de re-ingreso fuera de la cabeza del pozo, se puede usar el sonar para ubicar a Ésa. Luego, la embarcación se reposiciona hasta que se pueda establecer contacto visual por TV.

Las herramientas sonar de guía generalmente usadas en perforación son una combinación de sonda sonar/TV; ver Figura N°19. Estos aparatos permiten explorar 360° y una observación hacia abajo mediante una cámara TV con fuente de luz propia. El sonar está diseñado para localizar una cabeza de pozo a distancias de 500 pies. Cuando éste ha establecido contacto con el pozo, se maniobra la embarcación para colocar la columna de reingreso sobre el pozo. El posicionamiento final es ayudado por reflectores sonar ubicados en la cabeza del pozo, que emiten una señal especial y por la cámara de TV. La sonda sonar/TV puede ser bajada dentro de la tubería de perforación de 5 pulg., para re-ingresar con brocas y revestimientos. Esta sonda es operada a través de cable similar al de los usados para registros eléctricos.

Debido a considerable cantidad de problemas que ocurren este sistema, a pesar de haber mejorado, aún no es considerado el principal, sino como de respaldo.



Sonda para Re-entrar Sonar/TV (Edo Western).

Figura 19.

-Campanas, Submarinos

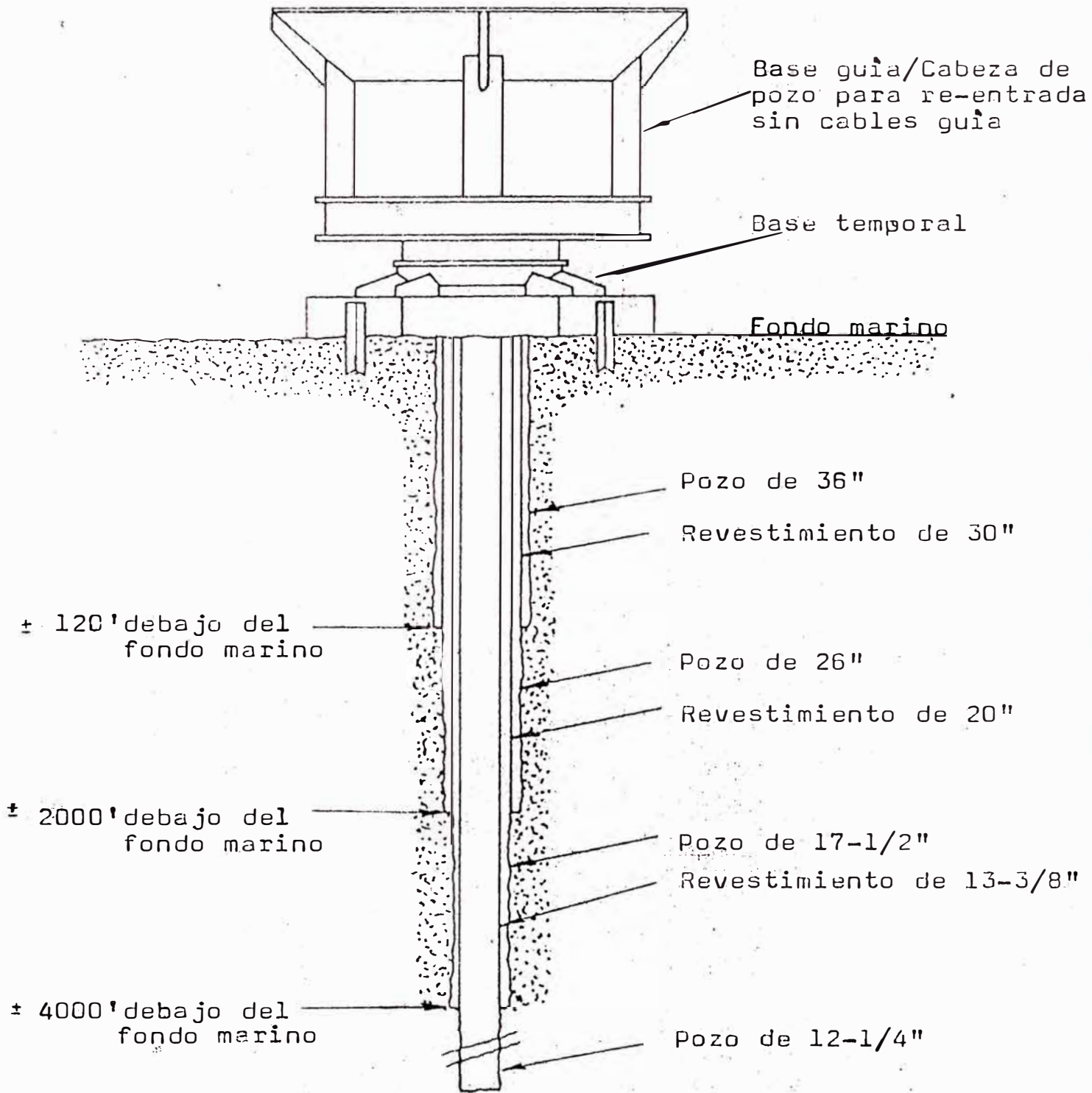
Submarinos para agua profunda tripulados han realizado algunos de estos trabajos con éxito, sin embargo son muy costosos. Campanas convencionales han sido también usadas con bastante éxito pero su uso aún no está muy divulgado.

Procedimientos Operacionales para Re-
Ingreso

Para mejor explicación en la Figura N° 20, se muestra un diseño típico de un pozo exploratorio en aguas profundas. Este pozo requiere de las siguientes operaciones de re-ingreso durante el curso de su perforación.

-Revestimiento de 30 pulgadas

La mayoría de operadores prefieren "jetear" el casing de 30 pulg. en el fondo marino para ahorrar tiempo en lugar de perforar el hueco de 36 pulg., y cementar el revestimiento. Si se perfora el hueco de 36 pulg., y el revestimiento de 30 pulg. cementado; el revestimiento de 30 pulg. debe reentrar en el hueco de 36 pulg., observando generalmente por TV.



Diseño de Pozo para Agua Profunda.

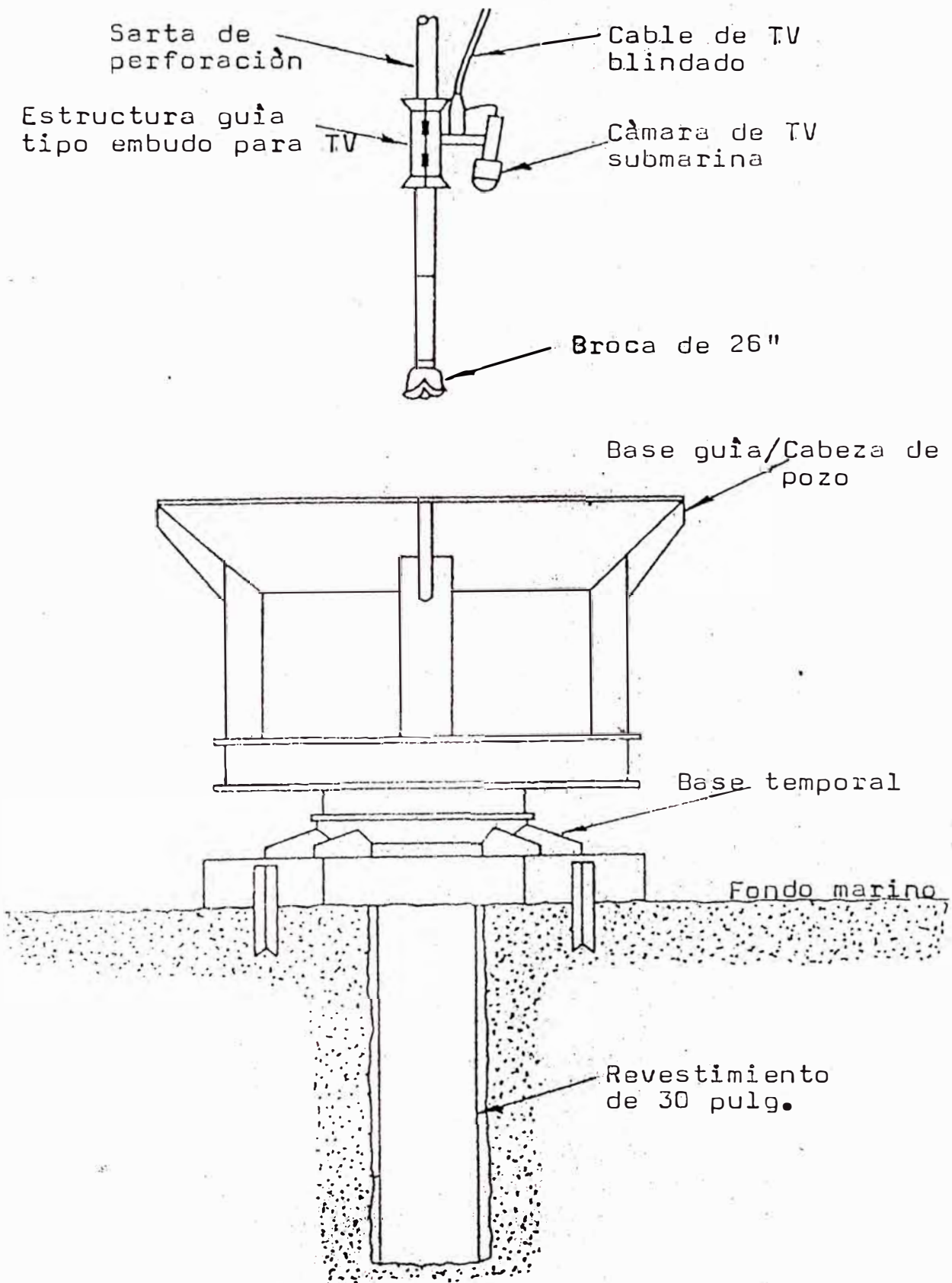
Figura 20.

La cámara de TV y la luz se montan en un armazón situado a corta distancia sobre el fondo del casing de 30 pulg. La cámara es usada para ubicar el hueco de 36 pulg (o la base temporal). Luego el revestimiento se baja dentro del hueco y la re-entrada es observada en la pantalla de TV. Una vez que ésa es visualmente confirmada, se desengancha el armazón de la TV. del casing mediante del cable que quita el pin de seguridad o rompe el punto de soldadura, procediéndose enseguida a sacarla a la superficie.

-Broca de 26 pulg.

En la mayoría de las operaciones en aguas profundas, se perfora un hueco de 26 pulg., a continuación del revestimiento de 30 pulg., sin estar el riser aún en su lugar. Esto requiere de re-entrada de la broca de 26 pulg. dentro del "housing" de la cabeza del pozo de 30 pulg. Esta re-entrada se efectúa usando, generalmente, una cámara submarina de TV montada en un "embudo guía" o armazón guía que es bajada en la columna de perforar; Ver la Figura N° 21.

La embarcación se maniobra en superfi



Re-entrada con Broca de 26".

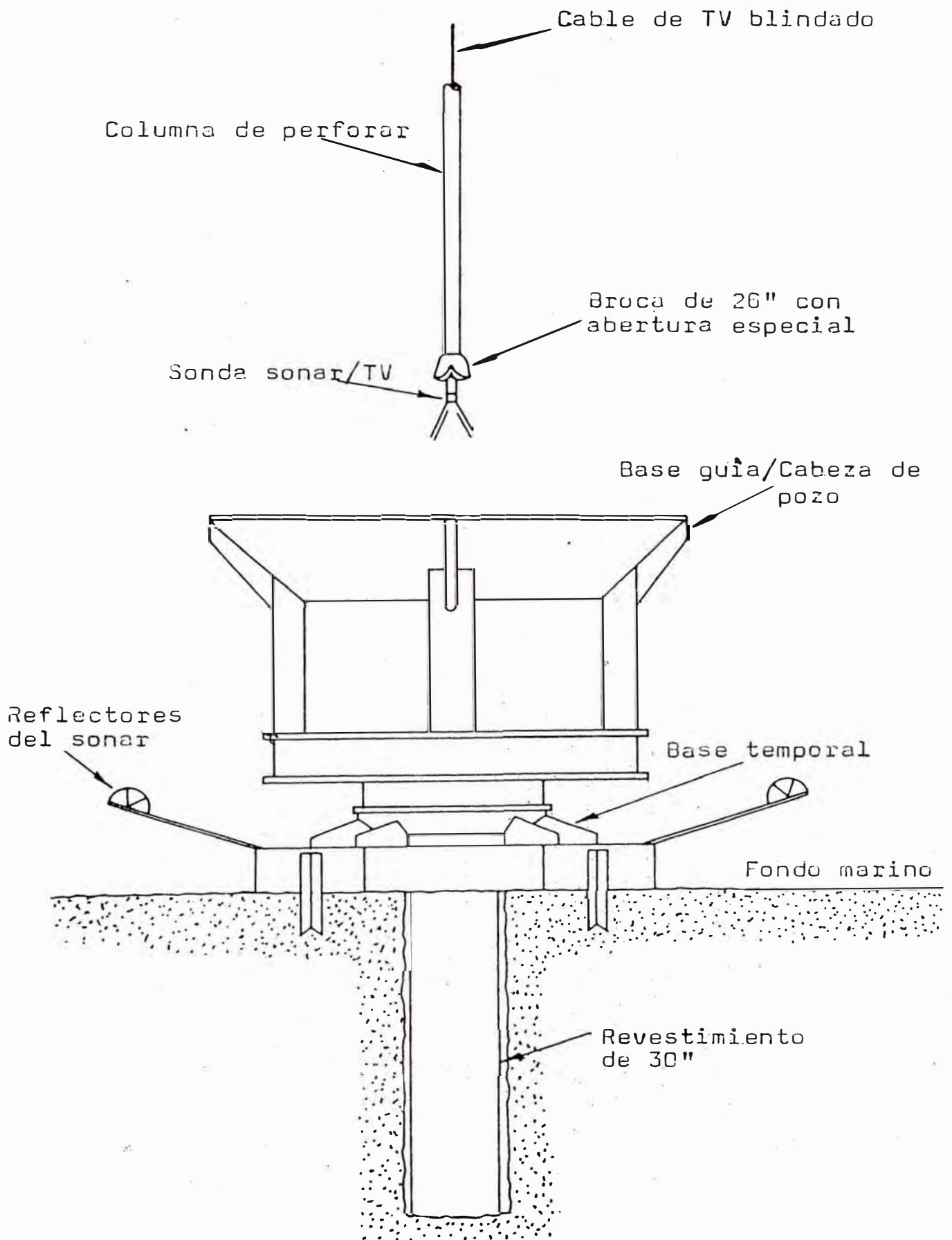
Figura 21.

cie mediante el sistema de posicionamiento dinámico (DP) hasta que la cabeza de 30 pulg. y el embudo guía son ubicados con la cámara. Luego se maniobra la embarcación hasta que la broca esté directamente encima de la boca del pozo y se baja la columna de perforación para hacer la entrada.

Otra alternativa es usando la sonda sonar/TV dentro de la columna de perforar para ubicar la cabeza del pozo y observar la re-entrada como se indica en la Figura N° 22. Esto requiere un tipo especial de brocas que permiten a la sonda sonar/TV extenderse debajo de la broca para observar la cabeza del pozo, ver la Figura N° 23. Una vez efectuada la re-entrada, se saca la sonda a la superficie; y se bombea un tapón especial para la broca, en la columna de perforar. Este tapón sella el orificio en el centro de la broca y consecuentemente el fluido de perforación pasará a través de las boquillas. Este procedimiento aún no es muy común porque requiere de equipo especial y es más demorado.

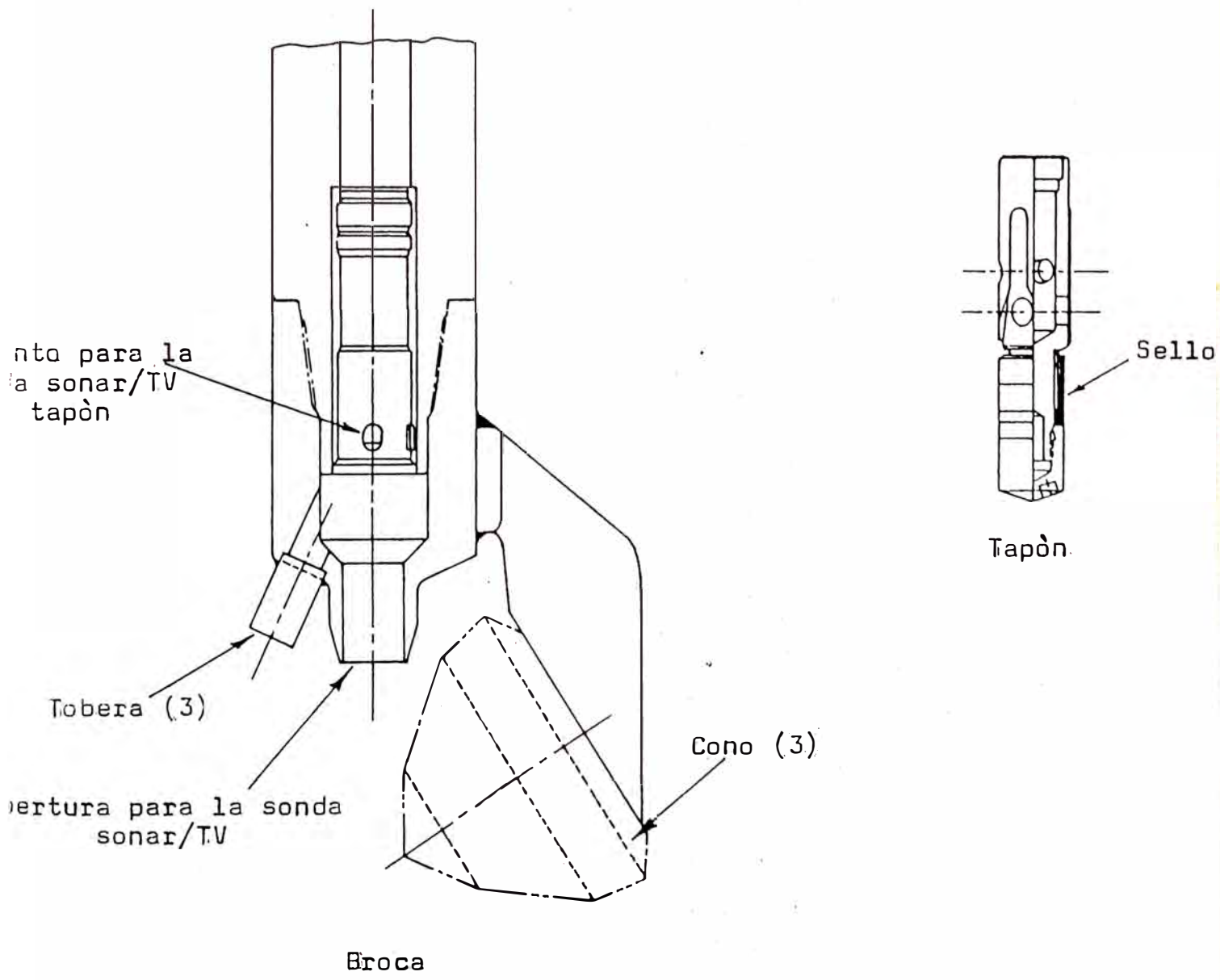
-Revestimiento de 20 pulg.

El casing de 20 pulg., generalmente re-entra en el "WHD housing" de 30 pulg. de la misma forma



Re-entrada de la Broca de 26" mediante el uso de la Sonda Sonar/TV dentro de la tubería de Perforar.

Figura 22.



Re-entrada con Broca de 26 pulg.(STC).

Figura 23.

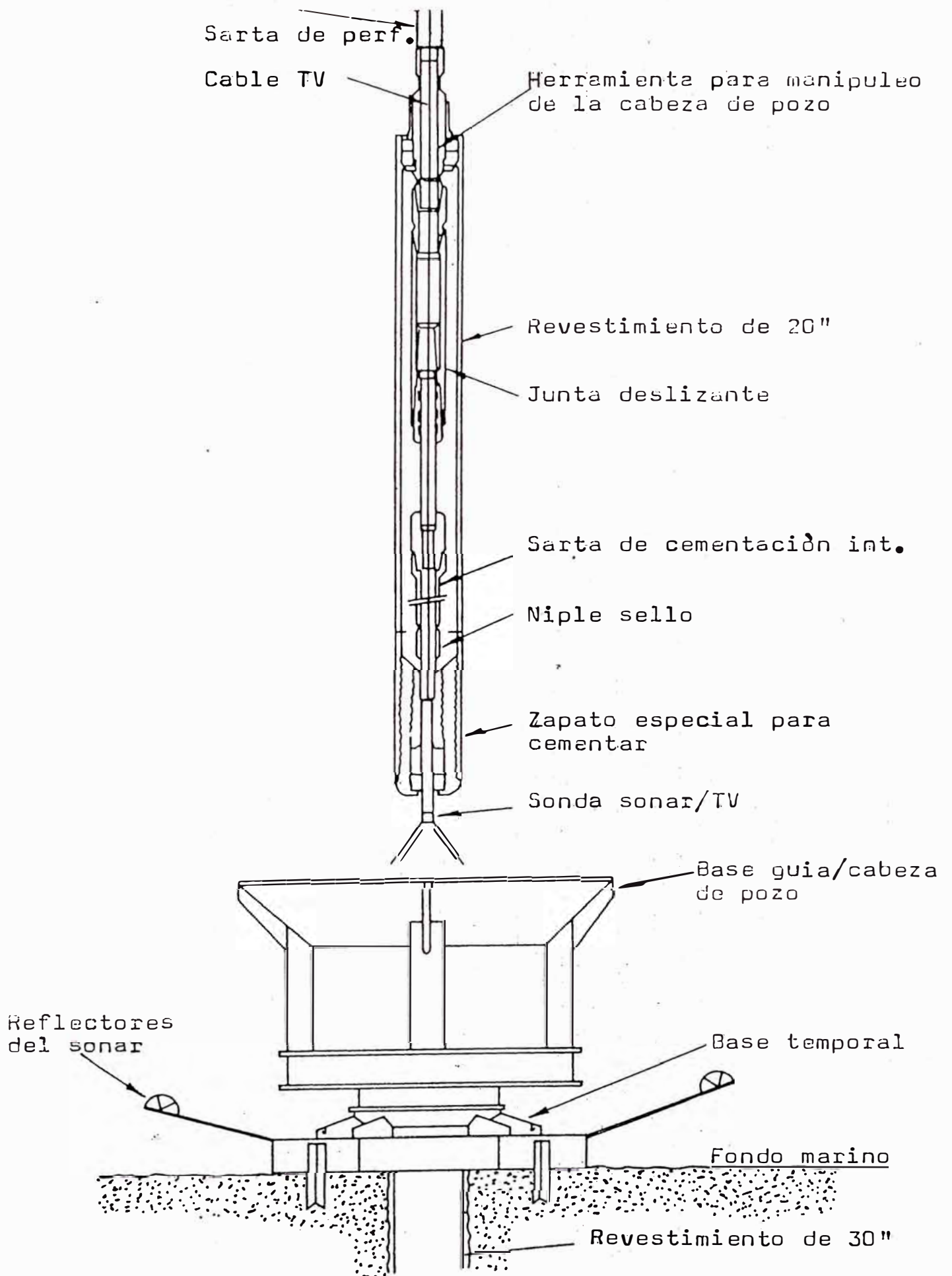
como las descritas para el revestimiento de 30 pulg. y broca - de 26 pulg. El revestimiento de 20 pulg. puede re-entrarse usando la sonda sonar/TV, mediante la tubería de perforar, como se muestra en la Figura N° 24.

Este procedimiento, sin embargo, requiere el uso de una sarta de cementación interior, juntas colapsables y un zapato para cementar especial, ver la Figura N° 25. Debido al equipo especial requerido, y un procedimiento tedioso, éste no es de uso común.

-Conjunto de BOP's

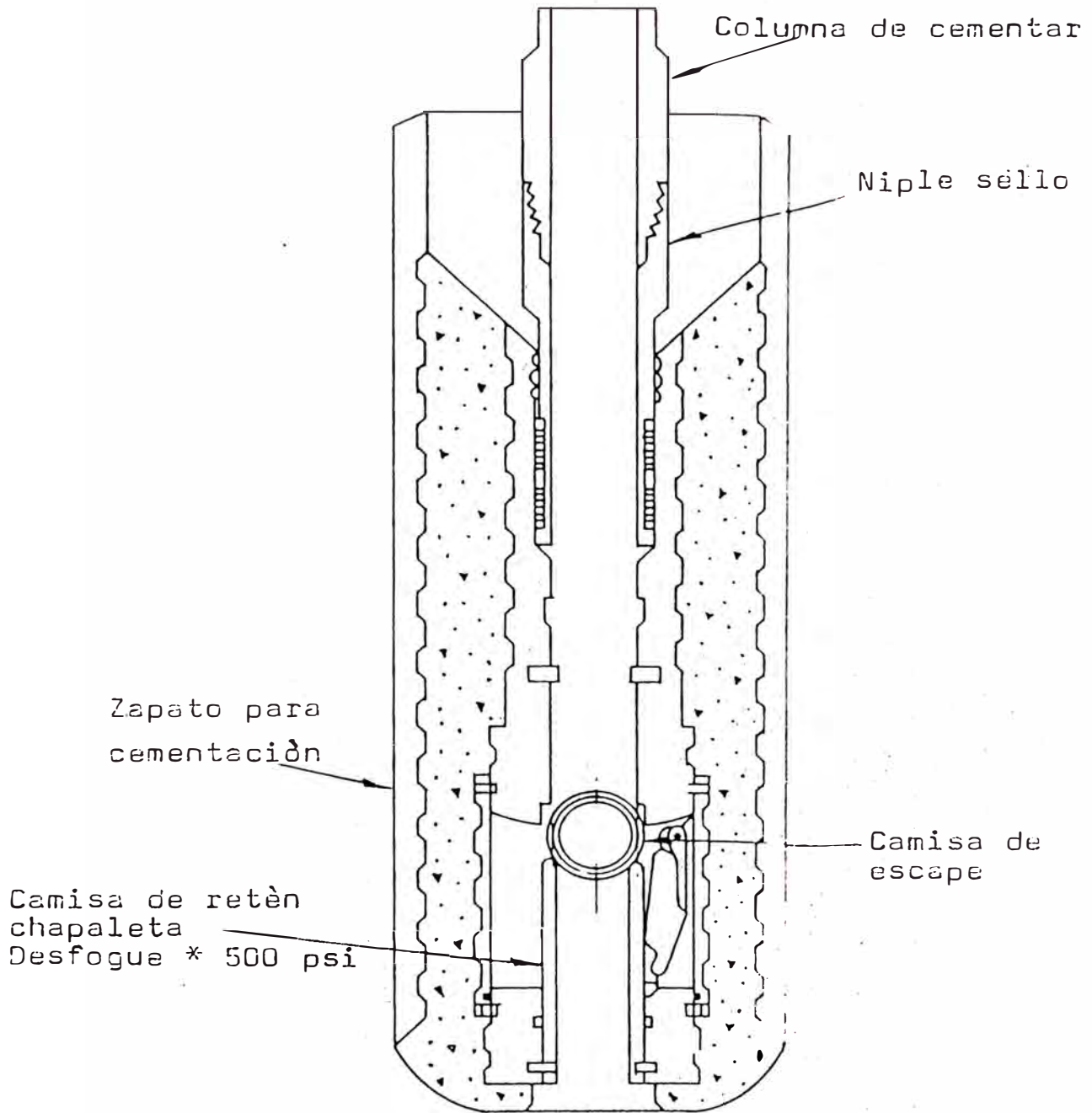
La re-entrada del conjunto de BOP's , o sea su conexión con la cabeza del pozo, se logra generalmente usando unidades de TV colocadas en el exterior del conjunto, Ver la Figura N° 26, o mediante una cámara TV convencional montada en un receptáculo metálico que es bajado mediante un cable blindado dentro del riser hasta el fondo del conjunto BOP.

También puede usarse la sonda sonar / TV con la sarta de tubos de perforar como guía a través del riser. Ver Figura N° 26. Aunque esta alternativa es más demorada, pocas veces usada, tiene la ventaja que la sarta de tu-



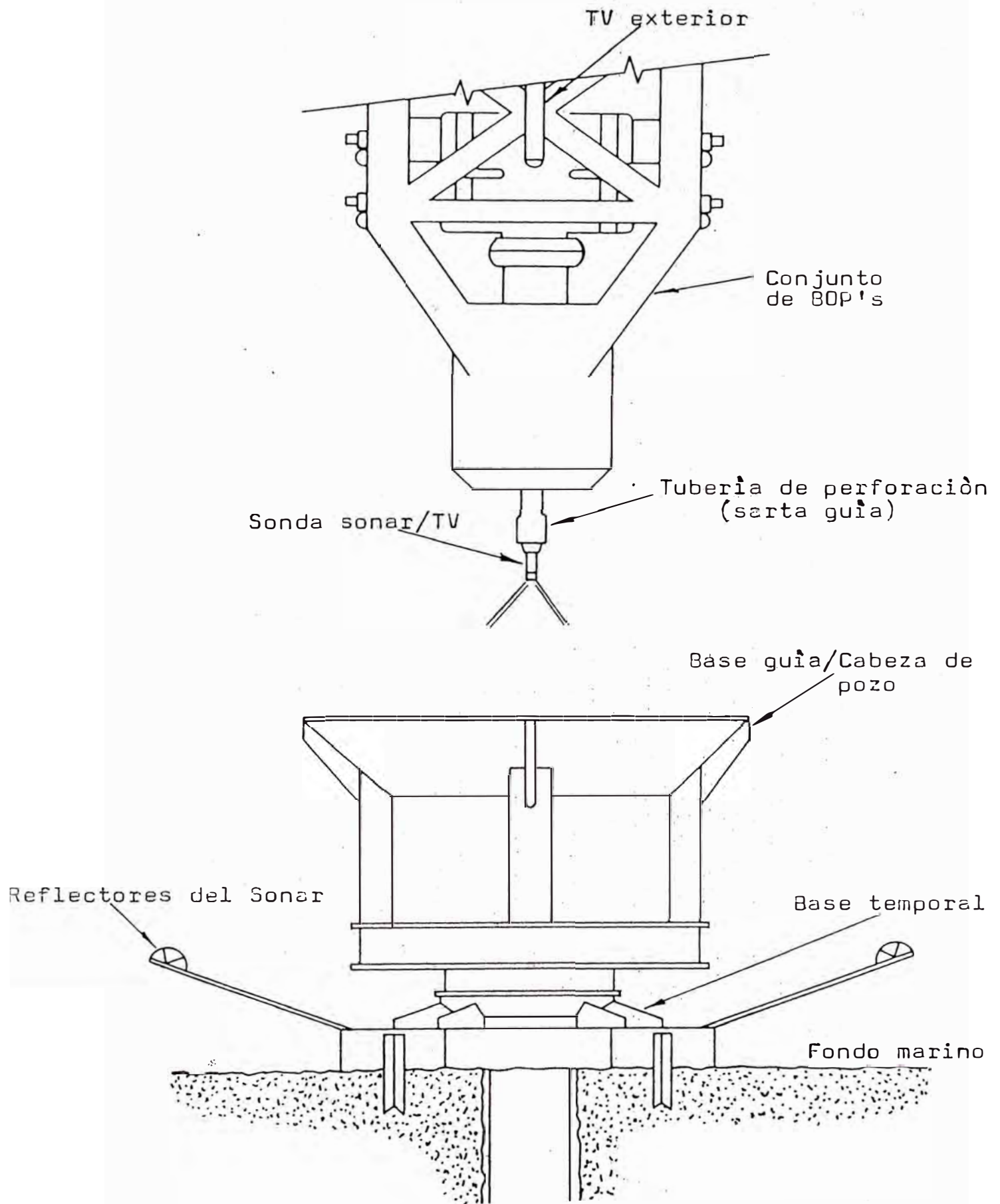
Re-entrada del Revestimiento de 20" con Sonar/TV.

Figura 24.



Re-entrada Zapato de Cementación.

Figura 25.



Re-entrada de la Estructura o Conjunto de BOP's.

Figura 26.

bos sirve como centralizador cuando el conjunto BOP es bajado sobre la cabeza del pozo.

Después de una desconexión por mal tiempo u otras razones, el conjunto superior de los BOP's (LMRP ó lower marine riser package) es reconectado usando el mismo procedimiento que para el conjunto de BOP's. Cuando se reconecta el LMRP al conjunto inferior de los BOP's, se necesita de un alineamiento angular específico en el plano horizontal para lograr la conexión efectiva del "control pod" y las líneas choke/kill con el conjunto inferior. Con una embarcación DP, este alineamiento se logra cambiando su rumbo. Si este cambio es imposible, por mal tiempo, se puede rotar - el riser con cables de los winches amarradas al tubo exterior de la junta deslizante.

Cuando la visibilidad es muy mala se puede colocar, en la parte inferior del conjunto BOP, un sensor acústico de posicionamiento dinámico para que ayude a ubicar la cabeza del pozo.

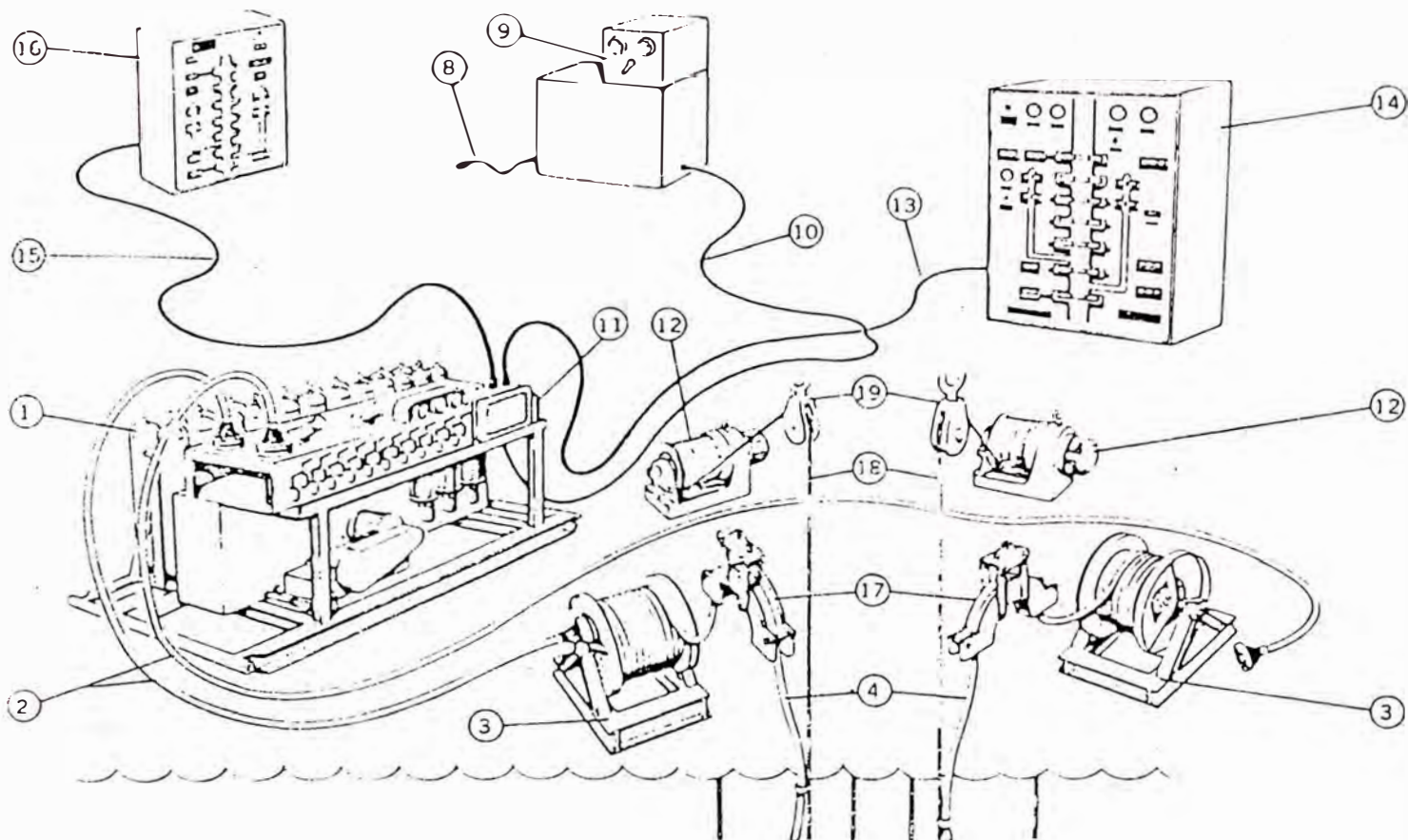
El sensor o beacon debe tener una frecuencia diferente a la de los de posicionamiento dinámico.

Este mostrará las posiciones tanto de la embarcación como de la parte inferior del equipo a re-entrar con relación a la cabeza del pozo. Esto permite maniobrar la embarcación hasta que la parte inferior de lo re-entrante esté sobre la cabeza.

IV Sistema de Control de Reven-
tones.-

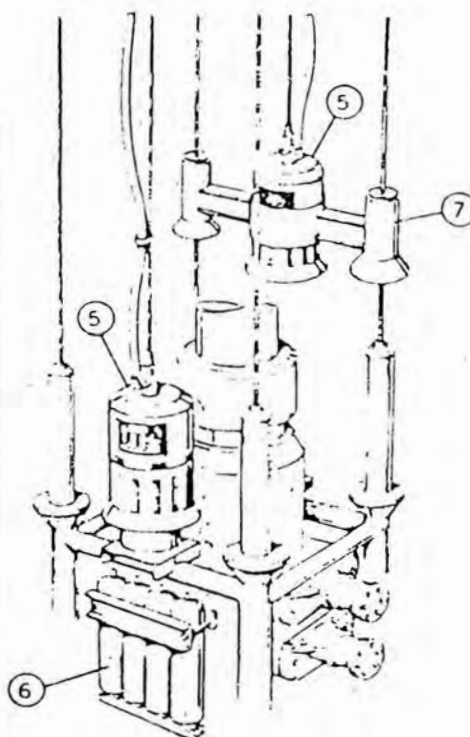
Los conjuntos submarinos de BOP's utilizados en aguas profundas son accionados hidráulicamente, igual que en operaciones en aguas poco profundas. Ver Figura N° 27. El elemento principal del sistema de control hidráulico es el "control pod" submarino montado en el conjunto BOP. El "control pod" contiene válvulas de control hidráulico que comandadas de la superficie, dirigen el flujo del fluido hidráulico hacia y de los BOP's, válvulas y conectores hidráulicos, y otras partes del BOP., Ver Figura N° 28. Las válvulas de control son de dos posiciones y tres pasos.

En los sistemas de control hidráulico para aguas poco profundas, la presión piloto que acciona las válvulas del pod control es enviada directamente de la superficie a través de mangueras individuales contenidas en un cordón umbilical flexible, ver la Figura N° 29. En la mayoría de los sistemas de control para aguas profundas las señales de mando se transmiten eléctricamente a través de un cable multi-conductor submarino, lográndose respuesta o funcionamiento mucho más rápidos; Figura N° 29.



Equipment List

1. Hydraulic Power Unit with Pumps
2. Hydraulic Jumper Hose Bundles
3. Subsea Hose Reels (with Manual Control Manifold)
4. Subsea Hydraulic Hose Bundles
5. Subsea Control Pods
6. Subsea Accumulators
7. Retrieving Frame for Subsea Pods
8. Electric Control Power Supply Cable
9. Electric Power Pack
10. Electric Power Cable to Control System
11. Central Hydraulic Control Manifold
12. Air Winches for Running Subsea Pods
13. Master Electric Panel Control Cable
14. Master Electric Panel
15. Electric Mini Panel Control Cable
16. Electric Mini Panel
17. Sheaves for Subsea Hose Bundles
18. Wire Lines to Subsea Pods
19. Sheaves for Wire Lines to Subsea Pods



Fuente: NL Rig Equipment

Sistema de Control Hidráulico.

Figura 27.

Fluido hidráulico de la superficie (3000 psi)

Presión piloto en superficie

Regulador de presión submarino

Fluido hidráulico (1500 psi.)

Presión piloto de superficie (3000psi)

Fluido de control, venteo

Presión piloto, cero

Válvulas de control

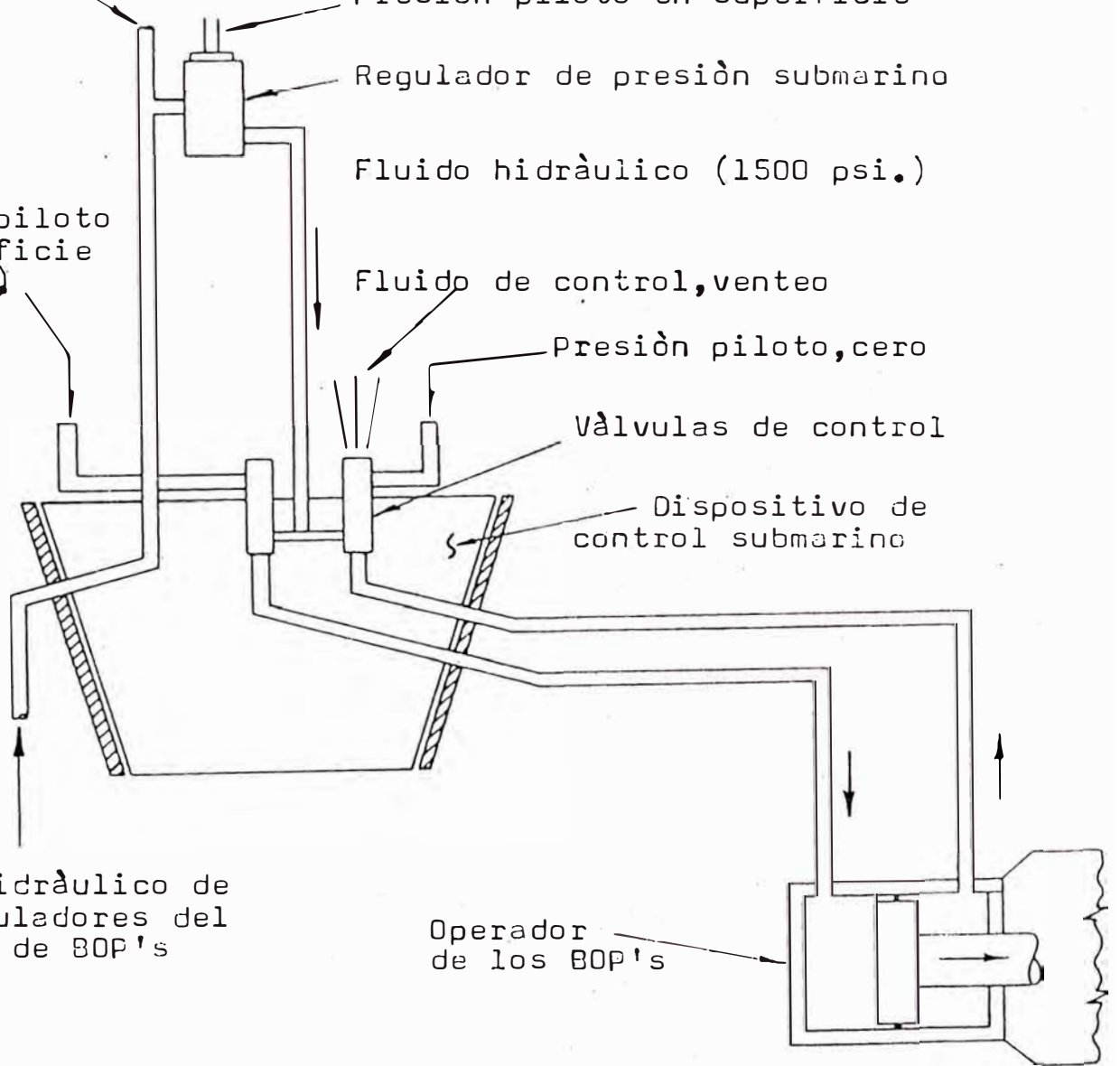
Dispositivo de control submarino

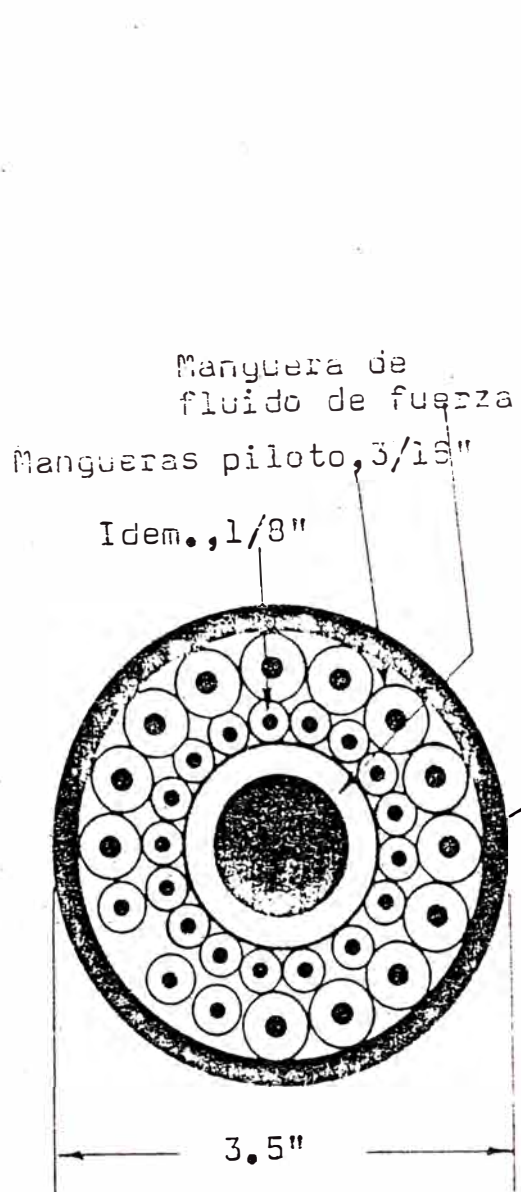
Fluido hidráulico de los acumuladores del conjunto de BOP's

Operador de los BOP's

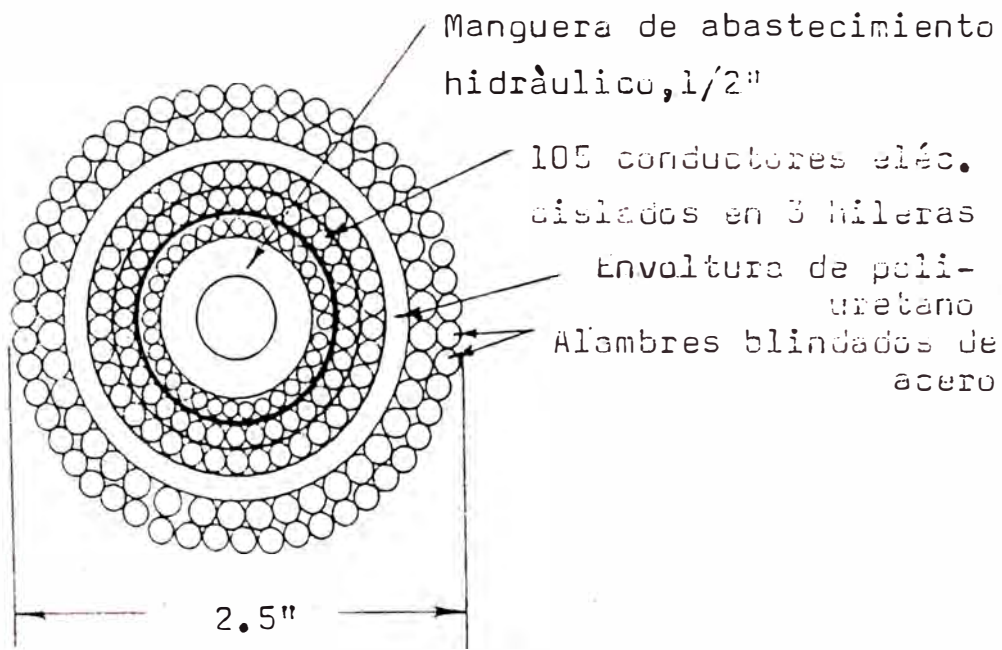
Operación del Dispositivo de Control Submarino.

Figura 28.



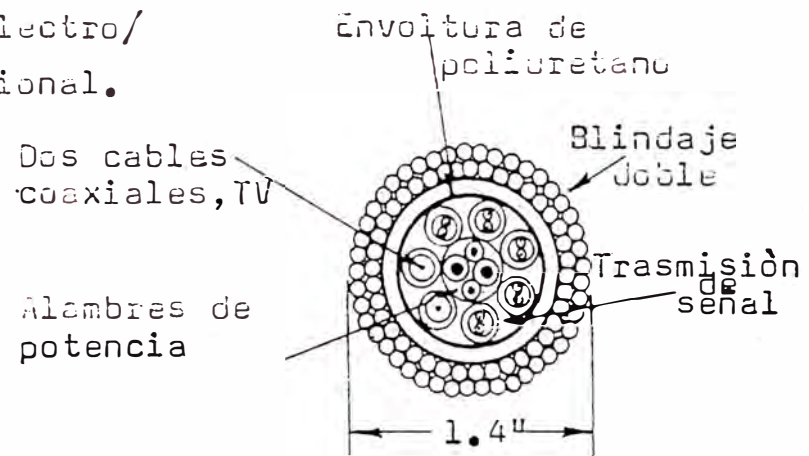


Manguera de Control Hidráulico Umbilical.



Cable de Control Electro/Hidráulico convencional.

Envoltura protectora



Cable de Control Multiplex

Sistema de Cables para Control de los BOP's.

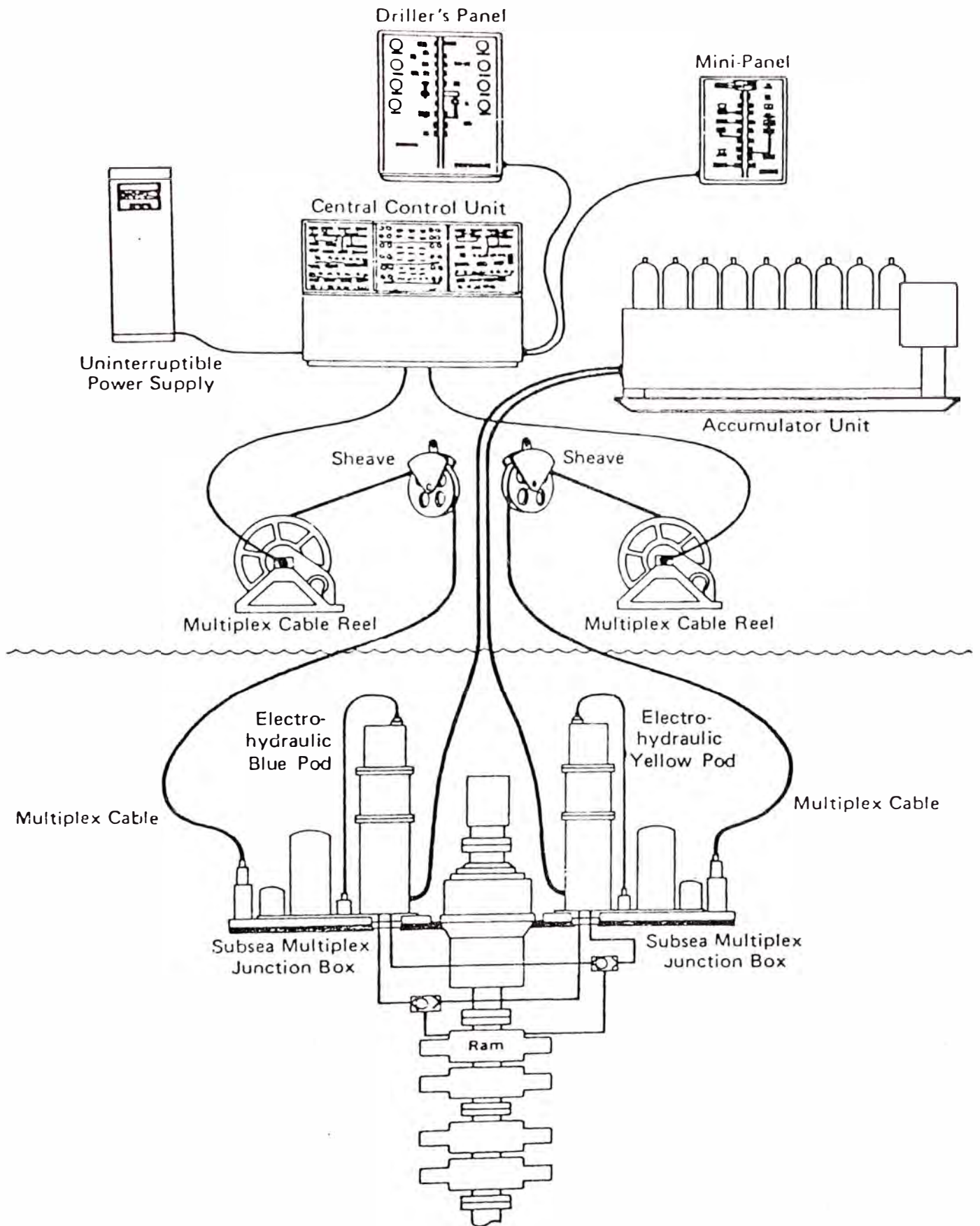
Estos sistemas de control para agua profunda se les denomina electrohidráulicos (E/H). En ambos sistemas, hidráulico y E/H, el fluido hidráulico que acciona los componentes del conjunto de BOP's es suministrado al pozo de la unidad bomba/acumulador en la superficie a través de (1) cordón umbilical, (2) mangueras separadas, o (3) un conducto rígido integrado a los tubos del riser. Generalmente los componentes submarinos de control están duplicados para proveer redundancia.

Los sistemas de control E/H fueron desarrollados para proporcionar una rápida respuesta del control BOP, que es muy importante particularmente en aguas profundas, sobretodo porque existe la posibilidad de una desconexión de emergencia de los BOP's (drive-off). En 3000 pies de agua, el sistema de control E/H funciona substancialmente más rápido que el sistema hidráulico convencional. El tiempo de transmisión de la señal piloto con un sistema E/H es una fracción de segundo, mientras que la señal piloto hidráulica a través de los 3000 pies de cable puede variar de 10 a 30 segundos, dependiendo del tipo de manguera piloto. Los sistemas de control-

hidráulico y E/H difieren principalmente en la transmisión de la señal piloto. El E/H consigue una rápida respuesta al transmitir una señal comando piloto eléctrica a una válvula piloto operada por solenoide, instalado en el pod sumario, que a su vez dirige la presión piloto a la válvula hidráulica de control designada.

-Sistemas de control BOP Multiplex -

La Figura N° 30, ilustra un sistema típico de control multiplex. Mediante el uso de transmisores/receptores (transmisers) electrónicos en la unidad de control en superficie y en los pods submarinos de control, el sistema multiplex transmite órdenes codificadas y señales similares a la transmisión FM de radio, por un pequeño cable multiconductor, Figura N° 29. Las señales de mando son recibidas por el control pod, decodificadas, verificadas por transmisión recíproca a la superficie y luego ejecutadas en una fracción de segundo. En adición a la transmisión de señales de mando y datos, el cable de control multiplex transmite potencia para accionar la válvula solenoide y las señales de TV.



KOOMEY SUBSEA MULTIPLEX BOP CONTROL SYSTEM

Figura 30.

-Suministro de Fluído de Energía

El fluído hidráulico para accionar los componentes del conjunto de BOP's es suministrado a través ya sea de, una manguera umbilical de control (sistema hidráulico), a manguera separada, o a través de conductores rígidos integrados al riser en forma similar a las líneas de choke/kill. El conductor rígido puede suministrar fluído o alta presión con menos demora que las mangueras ya que no se forma el efecto de la "hinchazón" de éstas. Para reducir el tiempo de accionamiento de los componentes del BOP, la mayoría de los conjuntos para aguas profundas están equipados con los acumuladores montados directamente en el conjunto de BOP's. Estos acumuladores submarinos proporcionan una fuente inmediata de fluído a alta presión que puede accionar los componentes del conjunto mucho más rápido que los acumuladores en la superficie, a través de varios miles de pies de manguera o conductores rígidos.

-Sistema de Emergencia de Control Acústico

Este sistema opera en forma similar al multiplex E/H, excepto que las señales de mando codificadas -

son transmitidas acústicamente a través del agua en lugar de un cable eléctrico. La unidad de control en la superficie transmite señales acústicas codificadas desde un transponder - en el casco de la nave o desde una unidad portátil que puede ser operada de un bote auxiliar. Las señales son recibidas por un hidrófono y procesadas electrónicamente en un "mini pod" en el conjunto BOP.

El pod de control acústico contiene - válvulas solenoide piloto y válvulas de control de operación-piloto para enviar el fluido hidráulico a la función designada del conjunto BOP. La energía eléctrica para el pod acústico es proporcionada por un paquete de baterías. El fluido hidráulico de energía, es suministrado por un banco de acumuladores cargado por una válvula cheque por la línea de abastecimiento del sistema de control principal.

V Programa del Pozo /Control
del Pozo

Para el desarrollo de diseños de pozos, así como de procedimientos de operación se debe poner especial cuidado en ciertas áreas, tales como : los revestimientos, el conjunto integral de la cabeza del pozo con el conjunto de BOP's , el efecto de las gradientes de fractura para el diseño del revestimiento y control del pozo y procedimientos - para matar el pozo.

1.- Relación entre Revestimiento, Cabeza de Pozo y Conjunto de BOP's-

La tensión vertical es aplicada al riser para evitar el pandeo y mantener el ángulo, de la junta esférica inferior, dentro de límites aceptables. Tensiones altas usadas en operaciones en aguas profundas pueden crear problemas nuevos, particularmente si hay fuertes corrientes. El esfuerzo de tensión que resulta del incremento de tensión aplicado en la superficie puede ajustarse diseñando adecuadamente el riser. Sin embargo, esta tensión actúa a través de los BOP's, la cabeza del pozo, el revestimiento y finalmente sobre

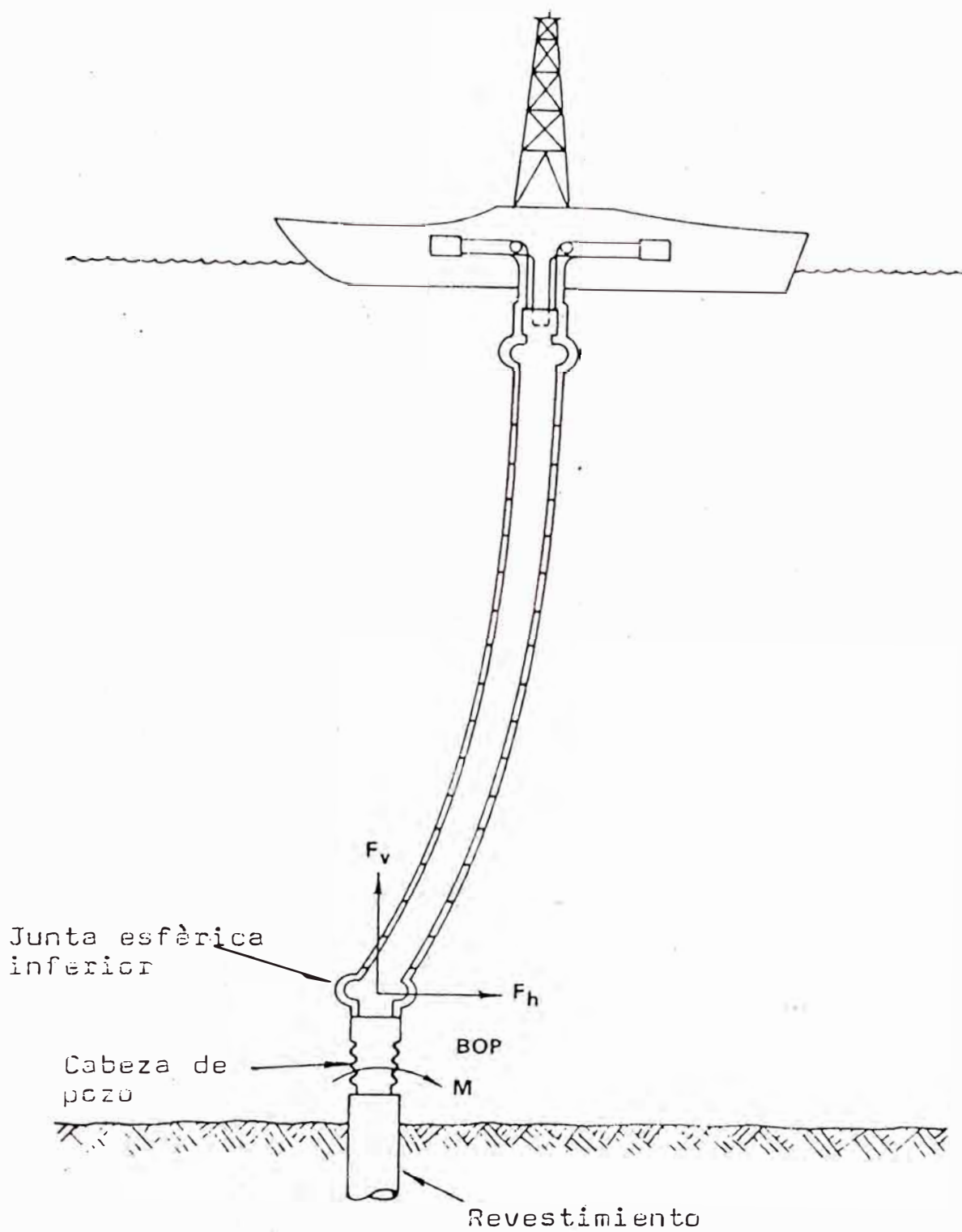
el suelo alrededor del mismo.

Al combinarse con la fuerza lateral en la junta esférica, como se indica en la Figura N° 31, se originan otros problemas tales como :

- Resistencia al arranque del revestimiento.
- Esfuerzo de flexión en el revestimiento debajo de la cabeza del pozo.
- Esfuerzos de flexión en la cabeza del pozo y los BOP.

-Resistencia al "arranque" del revestimiento

El revestimiento estructural de 30 pulg. debe diseñarse para evitar su arranque si el riser vá a ser conectado para perforar el hueco conductor de 26 pulg. En aguas profundas, la mayoría de operadores no bajan el riser antes de perforar el hueco conductor. El peligro de un reventón superficial es menor en aguas profundas y el costo de bajar el riser es proporcionalmente mayor. Más aún los diseños deben tener en cuenta un buen anclaje del revestimiento estructural, en el fondo del mar, que permita aplicar en la superficie la tensión necesaria para mantener el ángulo de



Fuerzas de Tensión y Pandeo sobre los BOP's,
Cabeza de Pozo y Revestimiento.

Figura 31.

la junta esférica inferior dentro de límites aceptables. Dado que el peso del lodo es bajo cuando se perfora el hueco conductor, la tensión requerida por el riser es reducida. Sin embargo, la velocidad y profundidad de las corrientes oceánicas, son los factores más importantes para determinar la tensión que debe aplicarse en la superficie. Generalmente se desconoce el perfil de las corrientes; por consiguiente es imposible, predecir exactamente que fuerza de arranque será aplicada al revestimiento estructural. El problema comúnmente, se resuelve no bajando el riser hasta después de haber sentado la conductora.

Los suelos cerca al fondo marino carecen de la consistencia necesaria para evitar el arranque o sacado del casing. Los sedimentos oceánicos profundos son menos cohesivos que en la costa porque éstos consisten principalmente de restos de esqueletos calcáreos de organismos marinos que forman una capa no consolidada con un alto porcentaje de agua intersticial.

La fuerza de arranque neta está reducida por el peso de los BOP, las bases guía y sartas de reves

timientos. Una vez que la conductora de 20 pulg es cementada, el problema del "arranque" disminuye substancialmente.

-Esfuerzo de flexión en el casing de-
bajo de la cabeza del pozo

Este problema no es raro en el caso de anclaje malo en aguas poco profundas. Para aguas profundas, los cálculos indican que la combinación de los esfuerzos axial y de flexión en el revestimiento serán altos, aún cuando, la embarcación esté directamente sobre la locación. Asumiendo que el casing está firmemente sostenido en el fondo marino, puede demostrarse matemáticamente que cargas comunes del riser en aguas profundas, 3000 pies o más, impondrán esfuerzos de tensión y flexión suficientes para causar la separación facial en tre el conector hidráulico y la cabeza del pozo, causando por consiguiente pérdida de la presión integral.

Este análisis es considerado verdadero y real que ha motivado a los fabricantes a diseñar una nueva cabeza de pozo para profundidades mayores de 5000 pies.

Actualmente no se tiene conocimiento de informes sobre flexión o falla del revestimiento como resul

tado de esfuerzos de flexión inducidas del riser en operaciones de aguas profundas.

-Esfuerzos de flexión en la cabeza -
del pozo y los BOP's

La componente lateral de la tensión del riser en la junta esférica, en aguas profundas, puede crear un alto momento de flexión a través del conjunto de BOP's; Ver Figura N° 31. La gravedad del esfuerzo de flexión depende principalmente de :

- a) Tensión del riser en la junta esférica.
- b) Angulo de la junta esférica.
- c) Flexión del casing debajo del fondo marino (mud line).

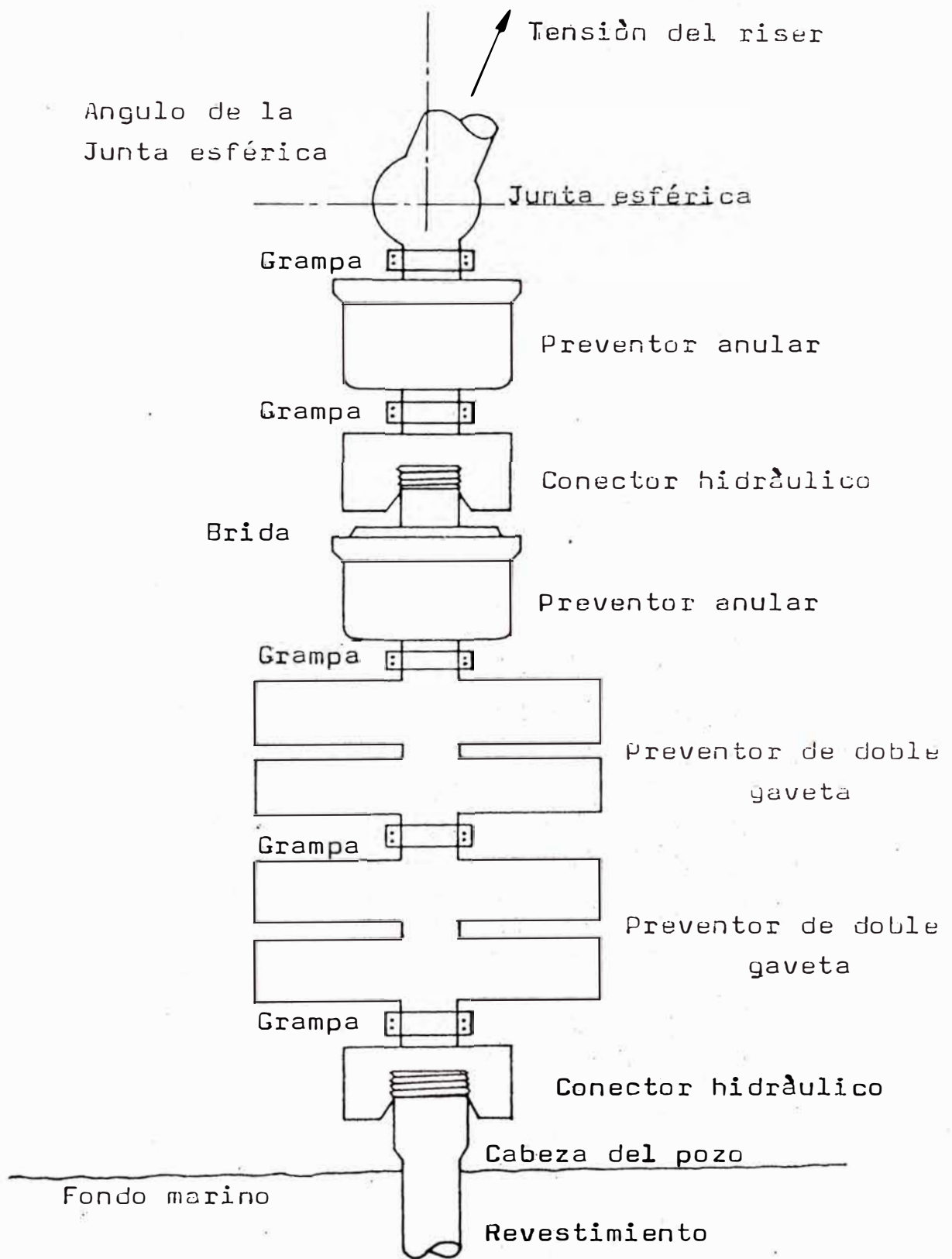
La tensión del riser y el ángulo de la junta esférica están influenciados, fuertemente, por la fuerza de las corrientes y el desalineamiento de la embarcación. La flexión del revestimiento debajo del mud line es tá principalmente en función de la firmeza del suelo.

El conjunto de BOP's es esencialmente un cuerpo a presión, que con la cabeza del pozo y sartas - de revestimientos anclan el riser al fondo marino, Ver Figura N° 32. El conjunto de BOP's debe contener presión debajo - de los BOP's, cerrados y al mismo tiempo resistir las fuerzas vertical, horizontal y el momento de flexión impuesto por el riser. En las peores condiciones, la combinación de las cargas de tensión y flexión impuestas por el riser y la presión-interna pueden causar la separación facial entre la brida y la grampa de conexión, originando la pérdida de presión integral. Las bridas y grampas standard para mantener la presión integral bajo esfuerzos normalmente esperados a 3000 pies de agua.

No se conocen reportes de fallas de BOP's debido a esfuerzos de flexión del riser en operaciones en aguas profundas. El conocimiento que se tiene al respecto ha sido obtenido mediante modelos matemáticos.

2.- Gradiente de Fractura de Forma - ción en Aguas Profundas

Las gradientes de fractura de las -

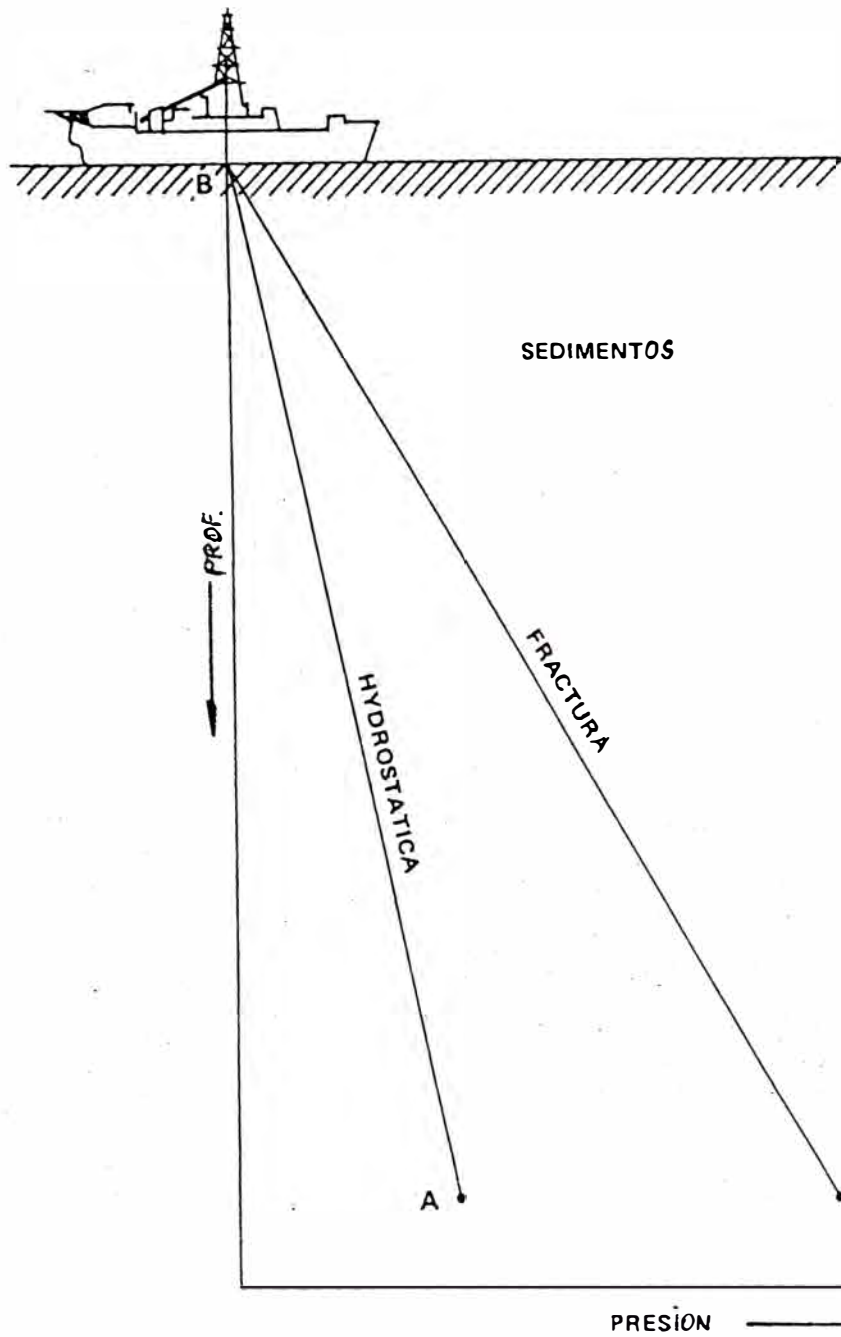


Esquema Típico de un Conjunto de Preventores (BOP's).

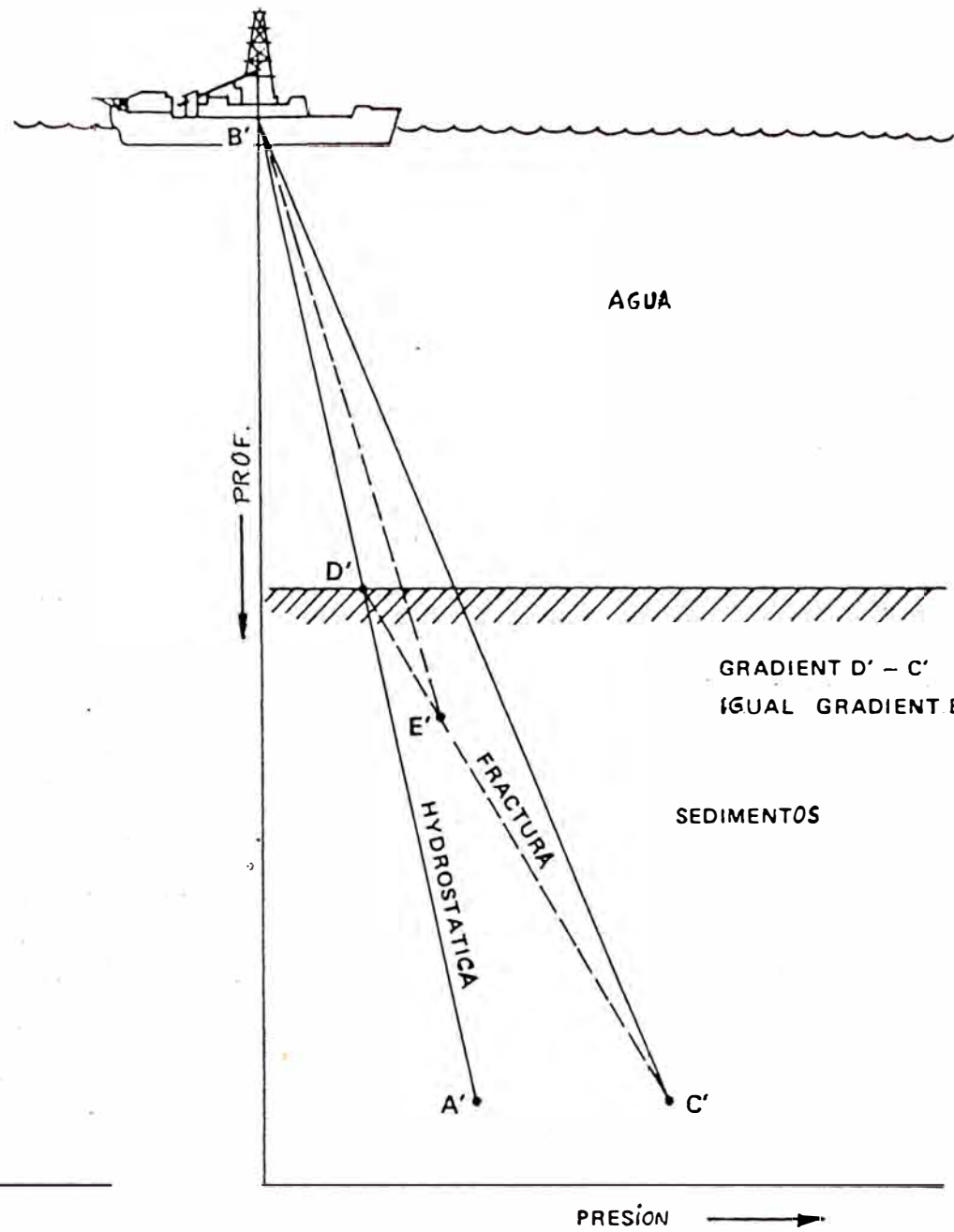
Figura 32.

formaciones en aguas profundas, tomando como datum la mesa rotaria, en psi/pie son menores que en aguas poco profundas o en tierra. La diferencia entre la presión de fractura de la formación y la presión hidrostática del lodo que es necesaria para sobre-balancear la presión porosa de la formación es por consiguiente menor a una profundidad dada. La Figura N° 33 muestra porque las gradientes de fractura en aguas profundas son de mayor preocupación que en tierra o agua poco profunda. El ángulo ABS es siempre más grande que el $A' B' C'$. Este ángulo es la medida directa de la diferencia entre el peso necesario para balancear la presión porosa a una profundidad dada y el peso del lodo que fracturará la formación a esa profundidad. Como indica la misma figura, la diferencia de presión es menor a menores profundidades en el pozo (ángulo $A' B' E'$).

La menor diferencia entre las gradientes de fracturas y la necesaria para controlar el pozo permite un pequeño margen de error y requiere mucho más atención - para la perforación en la parte poco profunda del pozo, los caudales de circulación y el control del lodo.



Tierra o Agua poco profunda



Agua profunda

Gradientes de Fractura

Asimismo, posiblemente más sargas de revestimientos deberán usarse y se han hecho necesarios dos cambios fundamentales para perforar pozos de larga duración y en el procedimiento de control de los mismos.

(1) Perforar el hueco conductor debajo del revestimiento de 30 pulg. sin el riser.

(2) Perforar formaciones anormalmente presurizadas con menos peso de lodo que el necesario para sobrebalancear la presión porosa de formación si la cabeza hidrostática en el riser se perdiese por fallas mecánicas.

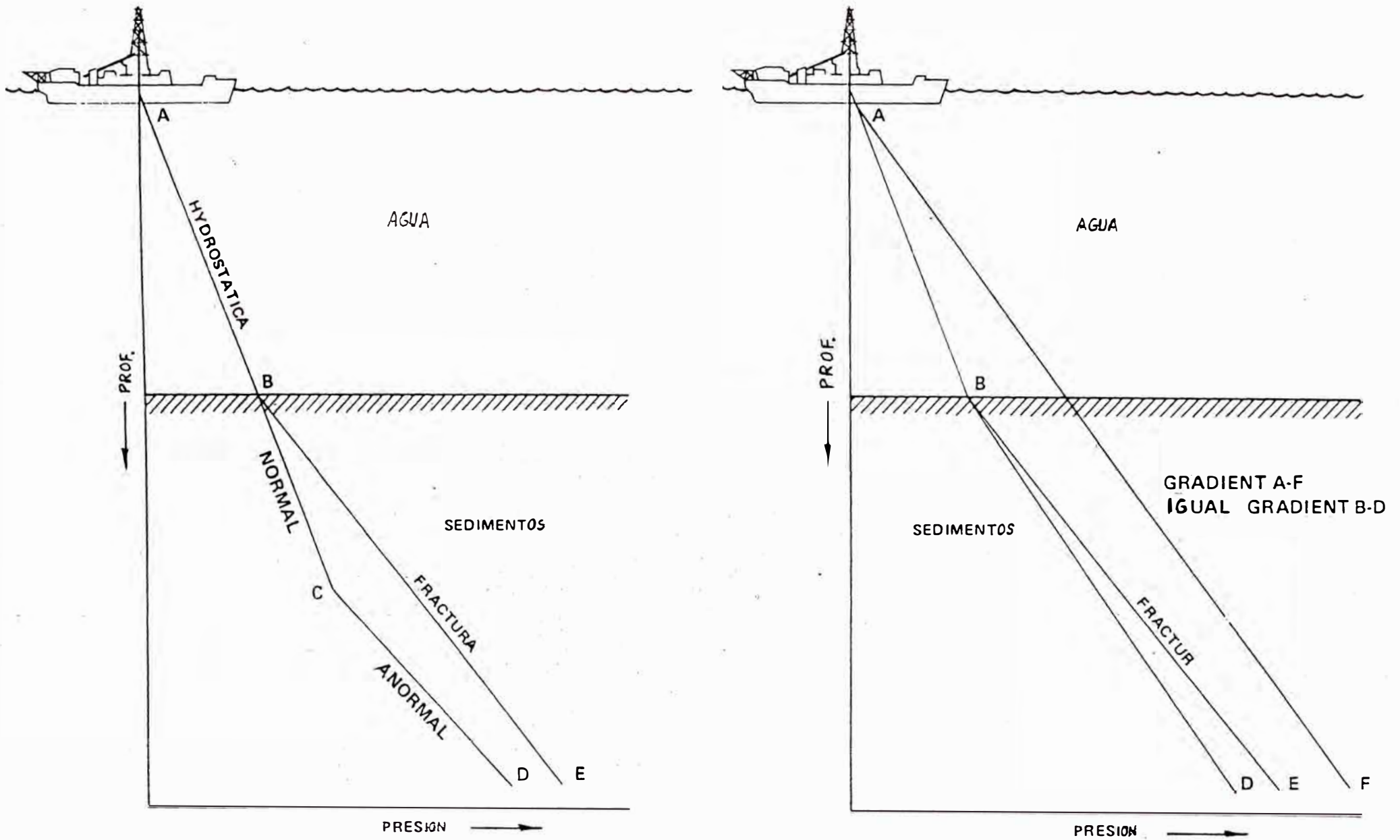
Algunos países han dispuesto que se baje el riser para recobrar el detritus debajo del revestimiento estructural de 30 pulg, en todas las perforaciones off-shore. En aguas profundas, este procedimiento es impracticable porque la densidad equivalente de circulación del fluido en retorno es difícil de mantenerla debajo de la gradiente de fractura en la porción superior del pozo. Actualmente, se perfora el hueco conductor sin usar el riser; llevándose los detritus al fondo marino. Perforar sin el riser no es considerado un compromiso con importancia práctica en los procedimientos de control del pozo.

Un cambio más comprometedor ha sido aceptado para la perforación en zonas de presión anormal. Históricamente el peso del lodo ha sido la primera línea de de fensa contra los reventones.

Al inicio de la perforación off shore se aumentaba el peso del lodo ligeramente para compensar - cualquier pérdida en el riser por problemas mecánicos, manteniéndose así el pozo controlado.

Esta regla no se observa en aguas profundas; la razón se ilustra en la Figura N° 34. Las curvas a la izquierda indican un caso de presión anormal. La presión porosa es normal de B a C y anormal de C a D. Para obtener una cabeza hidrostática para balancear el pozo - sacando el riser se requerirá de un peso de lodo equivalente a la gradiente B - D. Sin el riser, una gradiente compuesta equivalente a A - B - D balanceará la presión de fondo del pozo en D.

Sin embargo, los sistemas de perforación actuales no tienen técnicas para mantener una gradiente diferente en el anulus del fondo marino al barco. Por consi



Presiòn Anormal

Figura 34.

guiente, la gradiente A - F a la derecha de la Figura N° 34 se necesitará para balancear la presión en el punto D si el riser falla. No sería práctico perforar con la gradiente de fractura A - B - E.

Quedan así, tres alternativas :

1) Limitar la penetración dentro de la presión anormal al punto que la gradiente A - F no excederá la gradiente A - B - E.

2) Desarrollar un sistema para reducir la gradiente sobre el fondo marino (mud Line) de modo que la gradiente compuesta A - B - D sea menor que la de fractura (i.e. gas lift o una bomba sumergible al lecho marino). Esto permitirá perforar con un peso de lodo equivalente a la gradiente B - D.

3) Perforar con un peso de lodo equivalente a la gradiente A - B - D y confiar en cerrar el pozo mecánicamente si el riser fallase.

La industria ha optado por la tercera alternativa.

La pequeña diferencia entre la gra-

diente de fractura y la gradiente del lodo requerido para controlar el pozo en aguas profundas puede necesitar de sargas de revestimientos adicionales. Si se está forzando a perforar el hueco conductor con el riser en su lugar se tendrá que usar una sarga de revestimiento superficial adicional. La Figura N° 35 ilustra el efecto de la profundidad de agua sobre la gradiente de fractura de la superficie para una sarga de 3000 pies de revestimiento de superficie. El número de sargas de casing adicionales requeridas dependerá de cuánto penetrará el pozo dentro de la zona de presión anormal.

3.- Circulación de un Kick

La teoría de control de pozo indica que el extenso choke line desde los BOP's hasta el múltiple en el barco, puede originar problemas al tratar de circular un influx de fluido o gas mediante procedimientos convencionales en una operación en aguas profundas. El principal problema es el rápido incremento simultáneo de la presión anular y la caída de presión en la tubería de perforación cuando el fluido de formación llega al conjunto BOP y comienza a desplazar lodo del choke line. El rápido cambio de presiones se debe al desplazamiento del fluido de formación liviano a

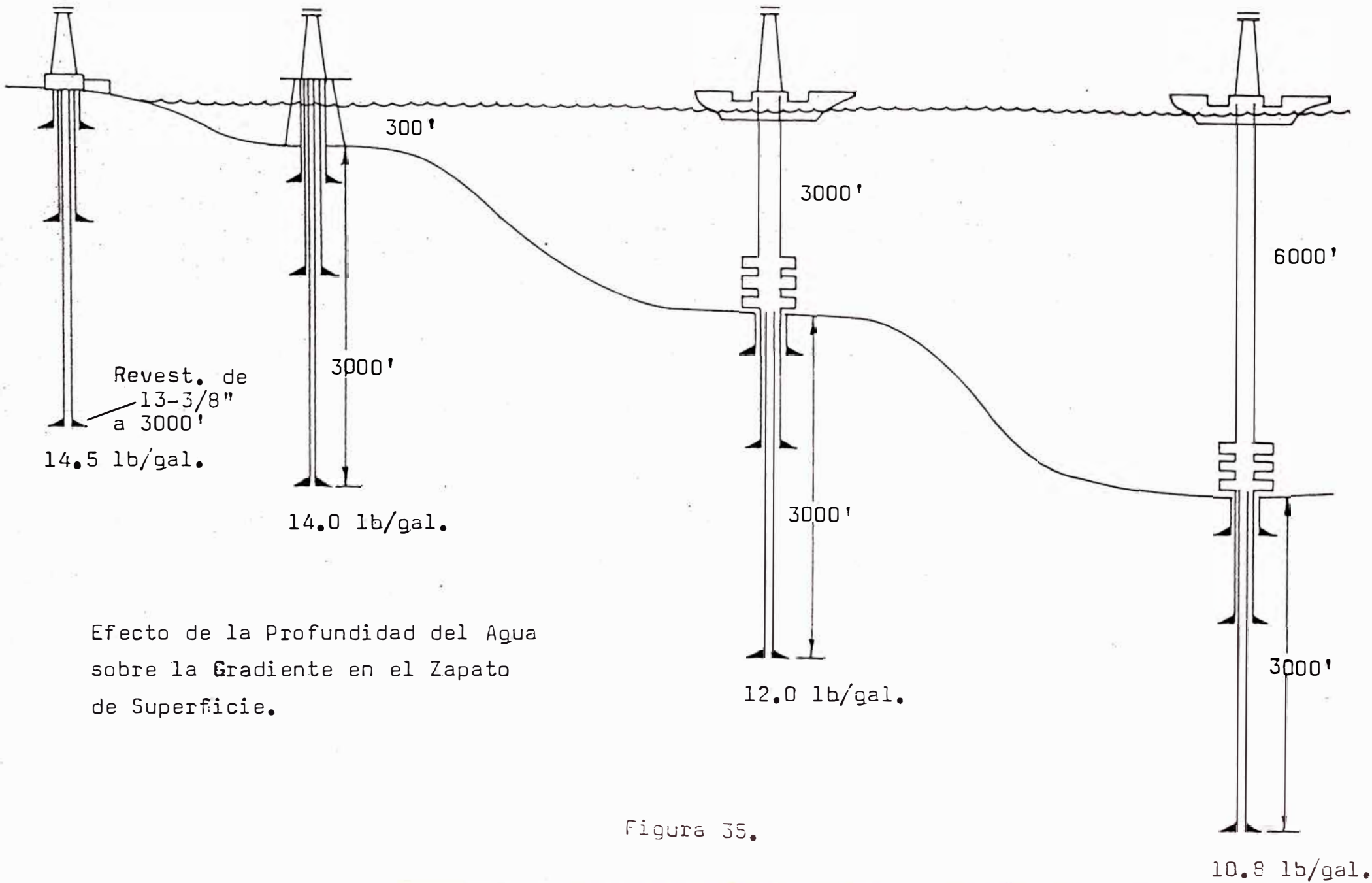


Figura 35.

través de la larga choke line.

La longitud total del choke line puede ser desplazada por un pequeño volumen de gas (+ 12 Bbl/1000 pies) originando cambios de presión en el anular de varios cientos de psi, por minuto a velocidades normales de circulación (3 a 5 Bbl/min.). Es dudoso que el choke en la superficie pueda ser operado lo suficientemente rápido para mantener la presión sobre el fondo constante bajo estas condiciones.

Un procedimiento de circulación simple ha sido propuesto para resolver este problema, aún no usado en el campo. El procedimiento consiste en parar la circulación y cerrar el estrangulador cuando la burbuja de gas ingresa al choke line, ^{que} which debe estar indicado por una caída de presión drástica en el drill pipe. Luego se reanuda el bombeo muy despacio, + 0.5 Bbl/min. con la bomba de la unidad de cementación; hasta que el fluido que ingresó sea expulsado del pozo. Este procedimiento no reducirá el alto pico de presión anular causado por la gran longitud del choke line, pero la manipulación del estrangulador será reducido a un valor razonable.

Para evitar las potenciales dificultades causadas por la gran longitud del choke line al circular un golpe de gas, ha sido propuesto el uso de un choke submarino instalado en el conjunto de BOP's, circulándose el influx a través de un estrangulador situado inmediatamente encima del conjunto de BOP's.

El estrangulador descarga el influx dentro del riser de donde es circulado a la superficie, posiblemente con lodo bombeado de la superficie a través de una línea auxiliar en el riser. La expansión del gas en el riser al circular del fondo marino a la superficie será controlada por el sistema del divertér de superficie y un separador de producción.

VI - Procedimientos de Emergencia

Aunque la tecnología y equipo para Posicionamiento Dinámico ha progresado mucho al punto que, fallas que lleven a la pérdida de estación o ubicación son muy raras, se deben establecer procedimientos de contingencias para un eventual alejamiento causado por fallas mecánicas o acción del tiempo. Estos procedimientos deben dar disposi - ciones para un rápido aseguramiento del pozo y desconexión del riser de los BOP's antes que la embarcación se mueva a una distancia mayor que, aproximadamente, el 10 % de la profundi - dad de agua. Si el riser no es suelto a tiempo sufrirá serio daño conjuntamente con los BOP's.

Las funciones del conjunto BOP gene - ralmente accionados en una emergencia para desconectar inclu - yen :

- 1) Cerrar los arietes ciegos
- 2) Cerrar los seguros de los arietes
- 3) Retirar la línea choke/kill y co-

nexiones del sistema de control entre las secciones superior e inferior de los BOP.

4) Abrir el conector hidráulico superior.

La mayoría de los sistemas de control de BOP para aguas profundas incluyen un control de secuencia - automático para desconexión de emergencia que acciona las funciones necesarias en la debida secuencia, a la orden emanada - de un simple botón. El tiempo normal para una secuencia de desconexión de emergencia varía de 15 a 30 segundos.

* * * * *

R e f e r e n c i a s

1. Vol. 3 Deep Water Operations : Exploratory Drilling
Beyond 2000 feet.
J. H. Norman Triton Engineering Services Co.
2. "Record Setting Year in Deeps Water"
R.A. Warriner and D.H. Shumway.
3. "A New Generation of Dynamic Positioning Systems for
Vessels" - T. Lokling.
4. "Exploration Drilling in Very Deep Water"
J.D. Bullock and C.B. Corley
5. "Circulating Out Gas Kicks in Deep Water Floating Dri-
lling Operations" W.T. Ilfrey
6. "The First Dynamically Stationed Semisubmersible SEDCO
709" - D.S.Hammett.

* * * * *

G L O S A R I O

Beacon	-	sensor, receptor
BOP stack	-	conjunto de impide-reventones
Casing	-	revestimiento tubular
Control pod	-	cápsula de control, centro de control de operación.
Choke	-	estrangulador
Choke/Kill line	-	línea de tubos para controlar un pozo, que permiten eliminar el fluido intruso y bombear lo do para matar el pozo. Líneas de matar.
Diverter	-	desviador
Drill pipe	-	tubería para perforar, cañería.
Drill off	-	apartamiento de la embarcación, respecto a la boca del pozo debido al mal tiempo.
Drive off	-	igual al anterior pero debido a condiciones mecánicas de la <u>em</u> barcación.
Influx	-	entrada, ingreso
Kick	-	cabeceo de gas, generalmente.
Off shore	-	en el mar, costa afuera
Mud line	-	fondo marino
Riser	-	tubería que comunica la <u>embarca</u> ción con el pozo y permite la <u>e</u> jecución de las operaciones de perforación.
WHD housing	-	encaje de la cabeza de pozo.