

23
2e



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

SISTEMAS DE CONTROL DE POZOS EN AGUAS PROFUNDAS.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO PETROLERO
P R E S E N T A :
LUIS MANUEL PEREZ CEJA

ASESOR: JUAN ANTONIO MORALES DIAZ DE VIVAR.



MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

263283



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-009

SR. LUIS MANUEL PEREZ CEJA
Presente

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Juan Antonio Morales Díaz de Vivar y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Petrolero :

SISTEMAS DE CONTROL DE POZOS EN AGUAS PROFUNDAS

- INTRODUCCION
- I ANTECEDENTES
- II CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE CONTROL
- III COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL
- IV OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL
- V ANALISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL
- VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Ciudad Universitaria, a 30 de abril de 1998
EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS*RLR*gtg

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

"SISTEMAS DE CONTROL DE POZOS EN AGUAS PROFUNDAS"

Tesis presentada por:

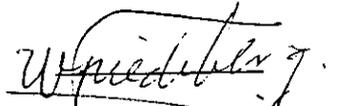
Luis Manuel Pérez Ceja

Dirigida por:

Ing. Juan Antonio Morales Díaz de Vivar

JURADO DEL EXAMEN PROFESIONAL

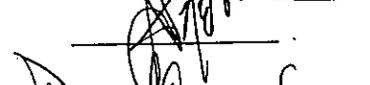
PRESIDENTE: ING. WALTER FRIEDEBERG MERZBACH



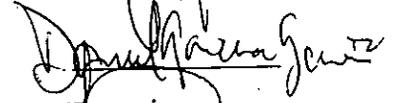
VOCAL: ING. JUAN ANTONIO MORALES DÍAZ DE VIVAR



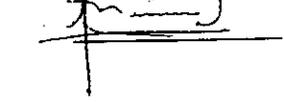
SECRETARIO: ING. JORGE ALBERTO MANCILLA CASTILLO



1ER. SUPLENTE: DR. DANIEL GARCÍA GAVITO



2DO. SUPLENTE: M.I. NÉSTOR MARTÍNEZ ROMERO



AGRADECIMIENTOS:

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por ser mi guía e iluminar mi camino para lograr mis objetivos.

A mis padres Manuel Pérez Martínez y Josefina Ceja Pérez, por estar conmigo en todo momento, alentándome a seguir adelante, brindándome siempre su apoyo, cariño y confianza.

A mis hermanos y familiares, por sus palabras de aliento, cariño y ayuda desinteresada.

A la Sra. Guadalupe Palacios y familia Oscós Palacios por permitirme convivir como parte de la familia y hacer agradable mi estancia durante mi carrera, por su amistad y apoyo incondicional, muchas gracias.

A mis amigos por compartir experiencias, triunfos y siempre tener un momento disponible para escucharme.

Al Ing. Juan Antonio Morales Díaz de Vivar por su amistad y ayuda en la realización de éste trabajo.

Al Instituto Mexicano del Petróleo por el apoyo proporcionado mediante el programa de titulación y al personal de ésta institución por su ayuda, orientación y amistad que contribuyeron a la realización de mi tesis.

A la UNAM y profesores, por sus consejos y por compartir sus conocimientos que son de gran ayuda para mi desempeño profesional.

OBJETIVO

La explotación de campos petroleros en aguas profundas actualmente presenta retos que involucran a todas las áreas de la industria petrolera. Dichas áreas incluyen desde la prospección geofísica y explotación de posibles estructuras geológicas productoras, hasta los más sofisticados sistemas de perforación y producción.

En el caso de la tecnología de perforación, terminación y reparación de pozos en aguas profundas, México requiere del desarrollo de nuevas tecnologías para explotar los campos de difícil acceso, para lo cual se utilizan sistemas de control acordes a los objetivos y estudios programados, de tal modo que los hidrocarburos sean extraídos a la superficie de la manera más eficiente, segura y económica.

Por lo anterior, en base a la información recabada y al estado del arte de la tecnología, el objetivo de este trabajo de tesis es analizar cada uno de los sistemas de control utilizados durante el proceso de perforación, terminación, reparación y producción de pozos y en base a ello, plantear diversas alternativas para la selección y aplicación de acuerdo a las condiciones de operación requeridas, ya sea en tierra o en aguas profundas.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
I ANTECEDENTES	I-1
II CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	II-1
II.1 Sistema Hidráulico Directo	II-4
II.2 Sistema Hidráulico con Válvulas Piloto	II-7
II.3 Sistema Hidráulico Secuencial	II-9
II.4 Sistema Electrohidráulico	II-12
II.5 Sistema Electrohidráulico Multiplexado	II-14
III COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	III-1
III.1 Componentes de un sistema de control Hidráulico	III-2
III.1.1 Equipo Superficial	III-4
III.1.2 Equipo Intermedio o Subsuperficial	III-7
III.1.3 Equipo Submarino	III-8
III.2 Componentes de un Sistema de Control Electrohidráulico	III-9
III.2.1 Equipo Superficial	III-13
III.2.2 Equipo Submarino	III-19
III.3 Componentes Submarinos Críticos	III-29
III.3.1 Conectores Eléctricos	III-29
III.3.2 Sensores	III-32
III.3.3 Mangueras y Paquetes de Mangueras	III-33
III.4 Materiales	III-36
III.5 Fluidos de Control	III-38
III.5.1 Requerimientos de Viscosidad y Temperatura	III-42

IV OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	IV-1
IV.1 Instalación y Arranque del Sistema de Control Hidráulico	IV-2
IV.2 Principio de Operación de un Sistema de Control Electrohidráulico	IV-6
IV.3 Operación de los Pods de Control	IV-7
IV.4 Recomendaciones para el Flujo de Operación	IV-9
IV.5 Confiabilidad de un Sistema de Control	IV-12
IV.5.1 Probabilidad de Falla	IV-12
IV.5.2 Análisis de Confiabilidad	IV-14
V ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	V-1
V.1 Distancia Entre Emisor y Receptor	V-2
V.2 Número de Aplicaciones del Sistema	V-5
V.3 Confiabilidad del Sistema	V-7
V.4 Evaluación Económica	V-9
V.5 Comparación Entre los Componentes de los Sistemas	V-11
VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	VI-1

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCION

Cuando se realiza una perforación en aguas profundas, el éxito, la eficiencia y seguridad deben girar alrededor de los sistemas de control, así como del equipo submarino y por supuesto de los sistemas de seguridad.

El control de pozos en aguas profundas presenta numerosos problemas. Una parte esencial durante un procedimiento de control de un pozo, consiste en mantener la presión de fondo constante mientras varía la presión de bombeo y el tamaño del estrangulador. Por tal razón, el desarrollo de programas de cómputo es de gran utilidad para simular situaciones de control de pozos y así elaborar procedimientos que permitan trabajar adecuadamente y conocer los límites de operación del equipo.

Dentro de los retos que enfrenta el ingeniero petrolero para lograr el control de un pozo en aguas profundas se encuentran:

- Bajos gradientes de fractura
- Flujos someros con gas y/o agua
- Inestabilidad mecánica y fisicoquímica del pozo
- Nuevos diseños de TR's
- Nuevas técnicas de control de pozos
- Rápida detección de brotes
- Procedimientos especiales para matar el pozo
- Gas acumulado en el riser
- Bolsas de gas entrampadas en los preventores
- Hidratación de la formación, entre otros.

De ahí la importancia de seleccionar un sistema de control adecuado a las necesidades de seguridad y operación del equipo utilizado al realizar cualquier trabajo en aguas profundas.

Por lo tanto, la función principal de un sistema de control es monitorear y manejar las variadas operaciones de los componentes del sistema. Estos componentes son operados hidráulica ó eléctricamente a través de una señal enviada desde la superficie hasta el equipo a controlar.

Los sistemas de control de pozos submarinos son considerados la parte más crítica de una instalación submarina. Los costos representan entre el 3 y 10 % del total de un sistema de explotación. Sin embargo, el número de componentes que constituye un sistema de control para instalaciones complejas, excede en su mayoría al total del resto de los componentes submarinos.

La localización de los dispositivos de control en el templete submarino, es extremadamente importante. Realizando consideraciones cuidadosas pueden resultar en una disminución de longitud de tubería y cables, así como del número de conexiones para realizar la unión y recuperación del equipo. No obstante, un sistema de control es frecuentemente catalogado como un elemento adicional, es decir, en un segundo plano al resto del equipo.

En instalaciones recientes se ha demostrado que el sistema de control puede ser altamente sofisticado, tener alta confiabilidad y suministrar control al equipo submarino a distancias considerables de una manera sencilla y confiable.

Un sistema de control submarino puede ser tan simple como un sistema hidráulico o tan complicado como lo es un sistema electrohidráulico multiplexado. Pero en ambos casos, un sistema de control se define simplemente como un sistema que activa componentes del sistema.

Las aplicaciones para los sistemas de control submarinos pueden ser en cabezales, conjuntos de preventores, múltiples de válvulas, árboles, actuadores submarinos, etc. Además, facilita la operación desde la superficie de válvulas, estranguladores y equipos para terminaciones, templetos, múltiples de flujo y líneas de flujo submarinas, así como en la recuperación de información. Por otra parte, se pueden incluir aditamentos de seguridad que automáticamente prevengan situaciones peligrosas o que puedan provocar contaminación al medio ambiente.

Estos sistemas también pueden asistir a la ingeniería de yacimientos en el monitoreo del estado de la producción mediante indicadores de temperatura, presión, detección de arena, etc. La producción también puede ser optimizada mediante el control de inyección de agua a través del cierre y apertura de válvulas de estrangulación operadas remotamente.

Debido a los nuevos retos que se tienen al realizar perforaciones de pozos petroleros con tirantes de agua cada vez mayores, se tiene la necesidad de utilizar sistemas que sean apropiados para realizar el control del pozo según la operación que se esté realizando, por tal razón, el presente trabajo de tesis plantea una adecuada y clara investigación en lo referente a dichos sistemas, contemplando seis temas principales.

En el Capítulo I se presenta en una breve explicación, los antecedentes acerca de la utilidad e importancia que tienen los sistemas de control, en la explotación de campos petroleros en aguas profundas, así como también se hace una reseña histórica de los mismos.

En el Capítulo II se clasifican los sistemas de control, mencionándose las características principales y aspectos importantes de cada sistema.

En el Capítulo III se describen los componentes principales de los sistemas de control, incluyendo materiales, fluidos de control, requerimientos de viscosidad y temperatura.

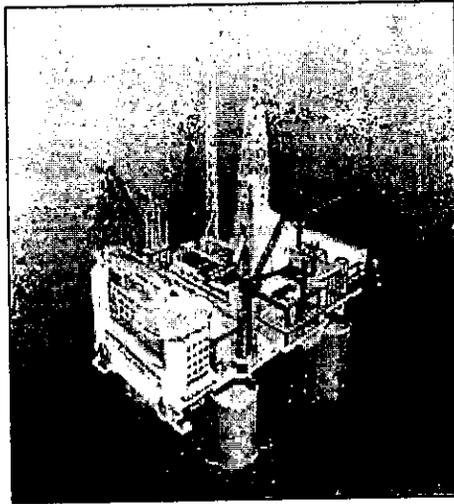
En el Capítulo IV se plantean los procedimientos de operación de los sistemas de control hidráulicos y electrohidráulicos. Asimismo, se presenta la operación del pod de control, las recomendaciones para el fluido de control y la confiabilidad del sistema.

En el Capítulo V se realiza una comparación entre los sistemas de control tomándose en consideración aspectos tales como distancia del panel de control al actuador, número de unidades a controlar, componentes de los sistemas, confiabilidad del sistema y economía.

Finalmente, en el Capítulo VI se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES



La industria de la perforación avanza cada vez más hacia las llamadas aguas profundas, lo que trae la necesidad de utilizar nuevas herramientas y técnicas que permitan lograr un mejor control del pozo.

Referirse al término de aguas profundas involucra profundidades que van más allá de 500 metros. Este valor es el límite para programas de desarrollo convencional. La búsqueda de aceite y gas actualmente ha llevado a profundidades cada vez mayores. Las áreas de aguas ultraprofundas, junto con las regiones árticas, son quizá la última frontera a la que no ha llegado la perforación. Se estima que por cada barril de aceite que se descubra en tierra en el futuro, dos serán encontrados en el mar y uno de estos vendrá de aguas profundas.

El aumento a nivel mundial de la exploración en aguas profundas es muy marcado; ya que de 1974 a 1984 el número de pozos perforados en tirantes de agua mayores a 500 metros se incrementó de 3 a 34 por año alrededor del mundo y en total fueron perforados 183 pozos en aguas profundas en dicho periodo. Durante 1989, en un total de 200 pozos en aguas profundas se tuvo un rango de 365 metros perforados en el Golfo de México. Ésta situación condujo al desarrollo y uso de nuevos sistemas con la finalidad de proporcionar mayor control a los equipos de seguridad que se utilizan al perforar un pozo a profundidades cada vez mayores.

Los sistemas de control han tomado gran importancia debido al desarrollo que se tiene en la actualidad en las zonas marinas. Por tal motivo, los nuevos equipos de control han ido desplazando a los utilizados en décadas pasadas, ya que éstos

contienen componentes con tecnología de punta que hacen que el equipo brinde mayor seguridad al realizar una operación.

Por tanto, es de suma importancia realizar un estudio minucioso para seleccionar el tipo de sistema a implementar, de acuerdo a las condiciones de trabajo requeridas durante la operación de un pozo.

Los Sistemas de Control Electrohidráulicos y Multiplexados fueron introducidos a principios de 1970 con la finalidad de disminuir el excesivo tiempo de respuesta que la señal hidráulica experimentaba en todos los sistemas convencionales de control hidráulico en aguas profundas.

El primer sistema de cableado con varias instalaciones que ayudaron a establecer técnicas garantizadas para gobernar la configuración y desempeño funcional de todos los sistemas electrohidráulicos tuvo poco éxito. Sin embargo, la introducción de microprocesadores dentro de las siguientes dos generaciones, proporcionaron ventajas específicas sin comprometer las técnicas previamente establecidas.

La arquitectura utilizada en la primera generación de sistemas de control electrohidráulicos fue empleada en varias instalaciones a fines de 1970 y principios de 1980, con el objetivo de establecer en forma general los nuevos arreglos realizados a los equipos que formaron parte del sistema. Durante 1980, la tecnología desarrollada en microprocesadores disponible fue suficientemente amplia, así como su uso tanto para equipos operados en tierra, como en equipos operados costa afuera, dando origen a la nueva arquitectura de la segunda y tercera generación de los sistemas electrohidráulicos multiplexados.

En 1983, la compañía NL Shaffer instaló el primer sistema de control de pozos submarinos, basado en microprocesadores e instalado en una plataforma de perforación semisumergible.

La siguiente Tabla ilustra la historia de los sistemas de control multiplexados, haciendo referencia a la fecha aproximada de la introducción de las nuevas generaciones del equipo. La diferencia entre dos tipos de sistemas de una misma generación involucra cambios en los componentes; que permiten una reducción en el tiempo de respuesta de los elementos sobre los que opera, sin modificar de manera sustancial el sistema, de tal forma que exista un cambio de generación.

**TABLA I.1 HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL
ELECTROHIDRÁULICOS MULTIPLEXADOS.**

FECHA	TIPO DE SISTEMA
1970 - 1982	1a Generación
1982 - 1986	2da Generación
1986 - a la fecha	3a Generación

Los nuevos equipos de control utilizados son físicamente más pequeños debido a la reducción de componentes electrónicos en los sistemas basados en microprocesadores. Además, el uso de este moderno componente ha permitido la

reducción del consumo de energía global, así como también la detección con mayor facilidad, de los problemas operativos que se presentan, en comparación con los primeros sistemas hidráulicos que se utilizaron.

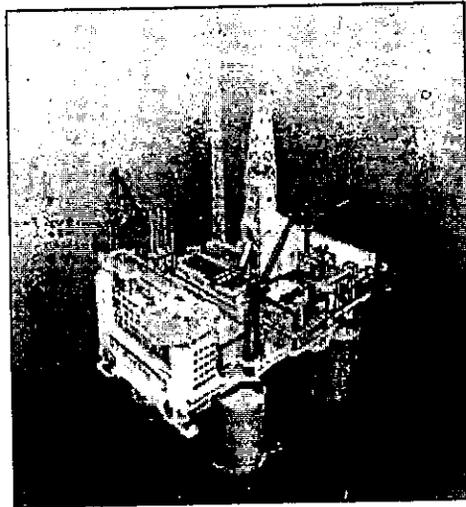
En la actualidad existen 5 tipos de sistemas de control disponibles para la operación de los sistemas de producción submarinos. Recientemente, se han comenzado a desarrollar nuevos tipos de sistemas de control, utilizando tecnología de fibra óptica. Sin embargo, esta tecnología aún se encuentra en etapa experimental.

Tres de estos tipos de sistemas de control (hidráulico directo, hidráulico con válvulas piloto e hidráulico secuencial) cuentan únicamente con el movimiento de fluido hidráulico para operar los componentes. Los dos restantes (electrohidráulico y electrohidráulico multiplexado) utilizan además fluido eléctrico.

Cada sistema desarrollado actualmente, proporciona una capacidad de control que no tienen los sistemas anteriores. La selección de un sistema en particular requiere de una especificación clara de las funciones operacionales requeridas en campo, tomadas como un punto base de partida, tanto de capacidad, como de confiabilidad y costo. Por lo tanto, la siguiente generación de sistemas de control submarino, será más confiable.

CAPÍTULO II

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL



Durante la perforación de pozos desde instalaciones flotantes como plataformas semisumergibles, barcos de perforación o plataformas de patas tensionadas, se requiere el empleo de sistemas de control submarino para el cierre y apertura de los dispositivos. A pesar de que la mecánica del proceso de control no difiere, con respecto a un pozo en tierra o en aguas someras (con equipo superficial), la metodología a seguir puede tener significativas diferencias debido principalmente a las características de los equipos (en especial los submarinos) utilizados cuando se perfora.

Por tal razón, es importante conocer los diferentes sistemas de control que pueden ser utilizados en la industria petrolera para seleccionar y utilizar el equipo de control aplicable a las características y necesidades del pozo y así garantizar la seguridad del personal, del medio ambiente y del equipo de perforación utilizado.

Existen cinco tipos de sistemas de control utilizados para la operación de los sistemas submarinos, los cuales son:

- ✓ Hidráulico Directo
- ✓ Hidráulico con Válvulas Piloto
- ✓ Hidráulico Secuencial
- ✓ Electrohidráulico
- ✓ Electrohidráulico Multiplexado

La Figura II.1 muestra un diagrama esquemático de los sistemas de control de pozos submarinos listados.

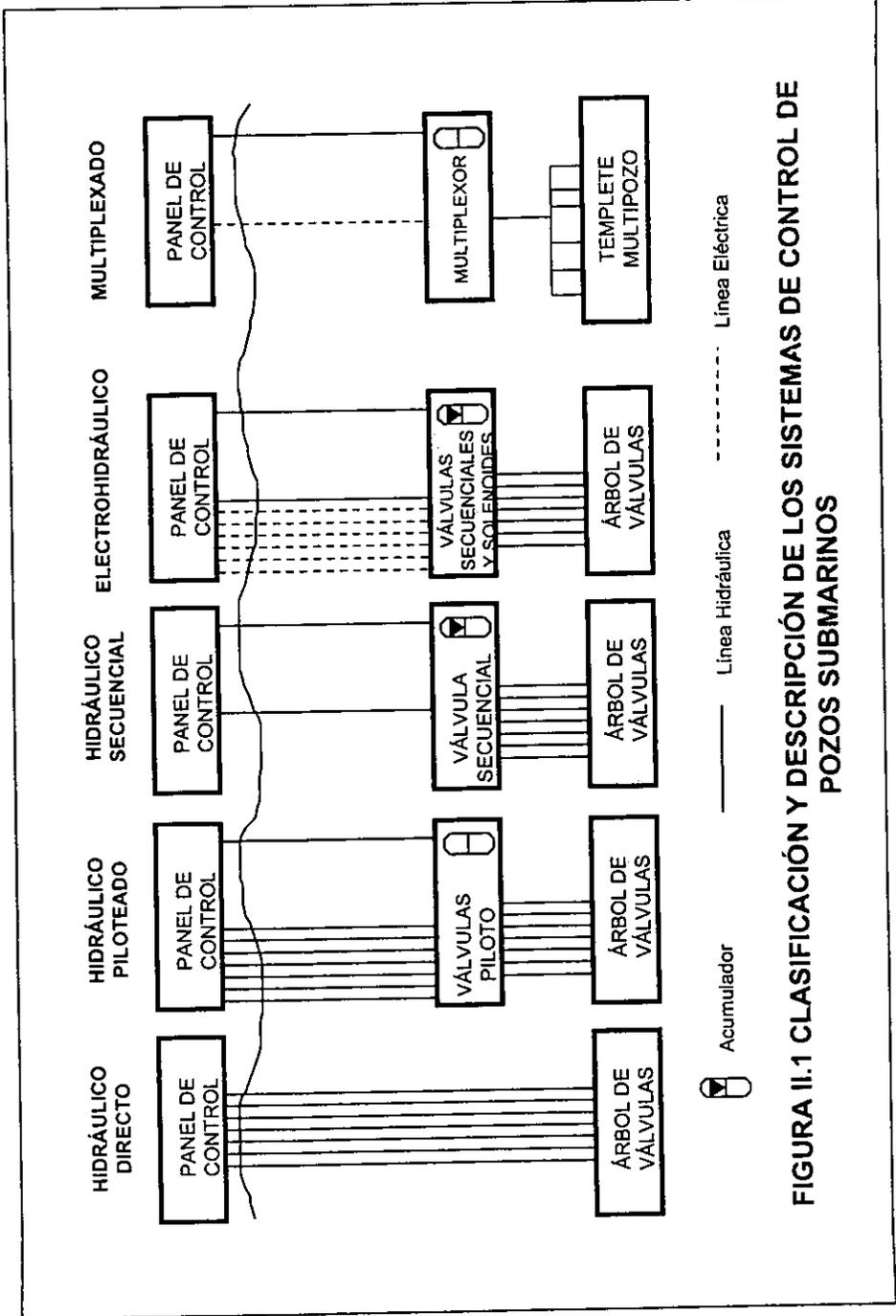


FIGURA II.1 CLASIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE POZOS SUBMARINOS

II.1 Sistema Hidráulico Directo

Los sistemas de control hidráulico son los más simples y más confiables en comparación con los otros. Aunque utilizan menos componentes para realizar cada una de las funciones submarinas, estas requieren de una línea de flujo hidráulico bombeado desde la superficie en forma directa a cada uno de los componentes en el árbol. Por lo que el accionamiento de un dispositivo en el panel superficial generará la presurización de un fluido que transmitirá la presión a través de líneas de flujo, accionando el componente hidráulico submarino.

Este sistema, Figura II.2, se utiliza en aplicaciones donde las distancias para el control son relativamente cortas, usualmente menos de 3,000 m, entre el árbol y las instalaciones de producción donde se requiere un número limitado de funciones para el control submarino.

Cuando la distancia es grande, el tiempo de respuesta se incrementa drásticamente. Por ejemplo, el accionamiento para abrir un preventor submarino a una distancia de 1,000 m puede tomar hasta 45 minutos.

Cuando el número de funciones de control requeridas se incrementa, la complejidad y el costo de las líneas umbilicales también aumentan.

Consecuentemente, el tamaño de las líneas umbilicales y su costo crecen rápidamente hasta ser predominante en el costo completo del sistema, llegando a ser en algunos casos entre el 50% y 60% del costo total del sistema.

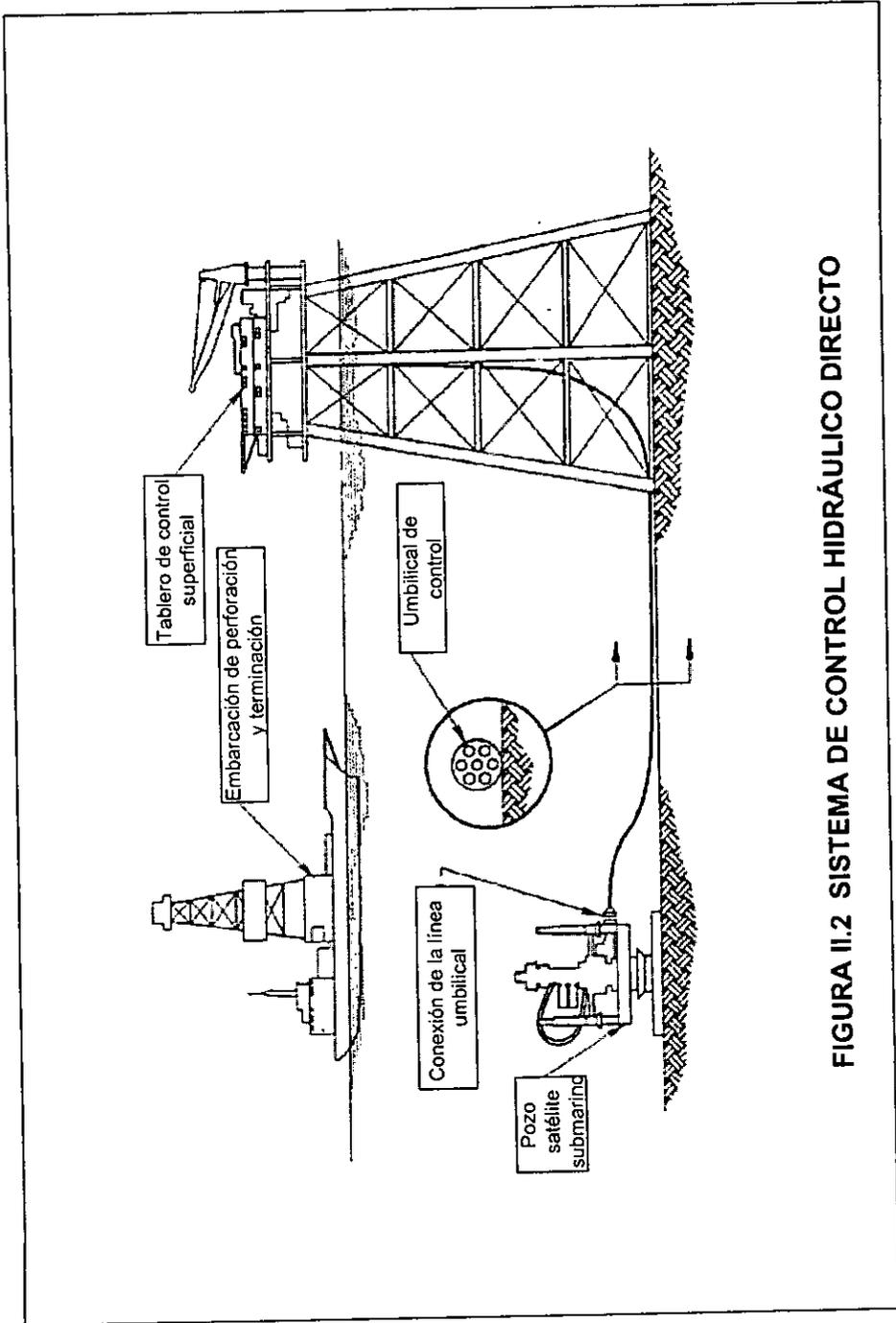


FIGURA II.2 SISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO DIRECTO

Este sistema de control puede accionar más de un equipo submarino, si es que se está explotando un yacimiento y el sistema seleccionado proporciona la energía hidráulica para diferentes equipos. Con esto se incrementa el número de líneas umbilicales y la complejidad del sistema, haciendo más difícil su operación.

Este sistema necesita espacio para la instalación de los equipos que lo integran (unidad de potencia, paneles de control, etc.) con el correspondiente peso de éstos. Debido a lo anterior, el diseño e instalación están diseñados para un solo sistema sin capacidad de crecimiento. A medida que se requiera controlar más funciones, se necesitará mayor volumen y peso del equipo, aumentando el número de líneas umbilicales y longitudes.

Esto ocasiona que el tiempo de respuesta sea más lento al accionar el cierre o apertura de algún dispositivo de producción. En pozos productores, el tiempo de respuesta puede no ser tan crítico, como en el caso de la operación del conjunto de preventores durante la perforación en un proceso de control de brotes.

El único equipo montado en el árbol para un sistema hidráulico directo es la línea umbilical de terminación. Esto puede ser una placa de unión instalada con o sin asistencia de buzos. Usualmente la línea umbilical exterior, está terminada en un eslabón que puede ser atado al armazón del árbol, lo que proporciona alguna protección a las mangueras.

II.2 Sistema Hidráulico con Válvulas Piloto

Este sistema es conveniente para utilizarse en distancias de alrededor de 4,500 m, Figura II.3, donde el fluido de control se bombea desde la superficie, a través de la línea umbilical a un pod de control en el árbol.

Las líneas umbilicales son ligeramente más pequeñas que las utilizadas por un sistema hidráulico directo, ya que cada válvula submarina requiere una línea piloto (o de señal) en las líneas umbilicales. Además de esas líneas, los umbilicales también llevan una línea de presión primaria. En este sistema, los componentes son activados enviando una señal hidráulica a la válvula piloto, la cual abre y permite que el fluido viaje desde la línea de suministro y de los acumuladores, para la selección del componente. La señal piloto se inicia desde el panel de control de producción, operando las válvulas piloto submarinas desde la superficie y a través de las líneas individuales en los umbilicales.

El sistema hidráulico con válvulas piloto mejora el tiempo de respuesta de un sistema hidráulico directo, mediante el almacenamiento de energía y de presión hidráulica en el lugar de trabajo con válvulas piloto que accionan los componentes.

Las características distintivas de un sistema hidráulico con válvulas piloto, con respecto a un sistema hidráulico directo son:

- Menor tiempo de respuesta.
- Menor número de líneas umbilicales.

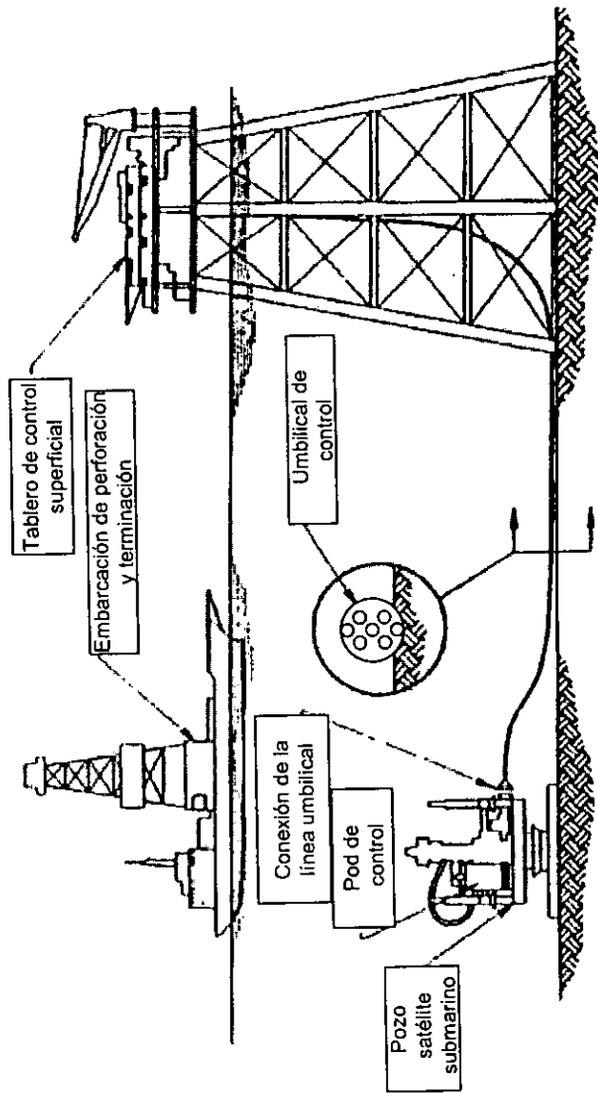


FIGURA II.3 SISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO CON VÁLVULAS PILOTO

- Flexibilidad de adecuación para el desarrollo de campos.
- Capacidad de monitoreo.
- Mayor complejidad
- Menor confiabilidad.

En este sistema al ir incrementándose el número de funciones, al igual que en el sistema hidráulico directo, resulta más complejo y conforme aumenta la longitud y número de los cables umbilicales, el tiempo de respuesta es cada vez mayor haciéndolo en estos casos poco confiable.

III.3 Sistema Hidráulico Secuencial

Al igual que el sistema con válvulas piloto, el sistema de control hidráulico secuencial tiene acumuladores y válvulas submarinas, pero el tamaño del umbilical se reduce significativamente, con respecto al sistema hidráulico directo. El paquete umbilical está formado por una línea de suministro, una segunda línea y en algunos casos una tercera línea de referencia. Sin embargo, algunas veces la línea de referencia se elimina, desviando la presión suministrada de referencia a la línea de suministro.

El control submarino se logra enviando una señal de presión a una válvula secuencial que es preajustada para operar a una presión específica. A esta presión, el fluido hidráulico es enviado para energizar los componentes seleccionados. Posteriormente, la señal de presión se incrementa, en una serie

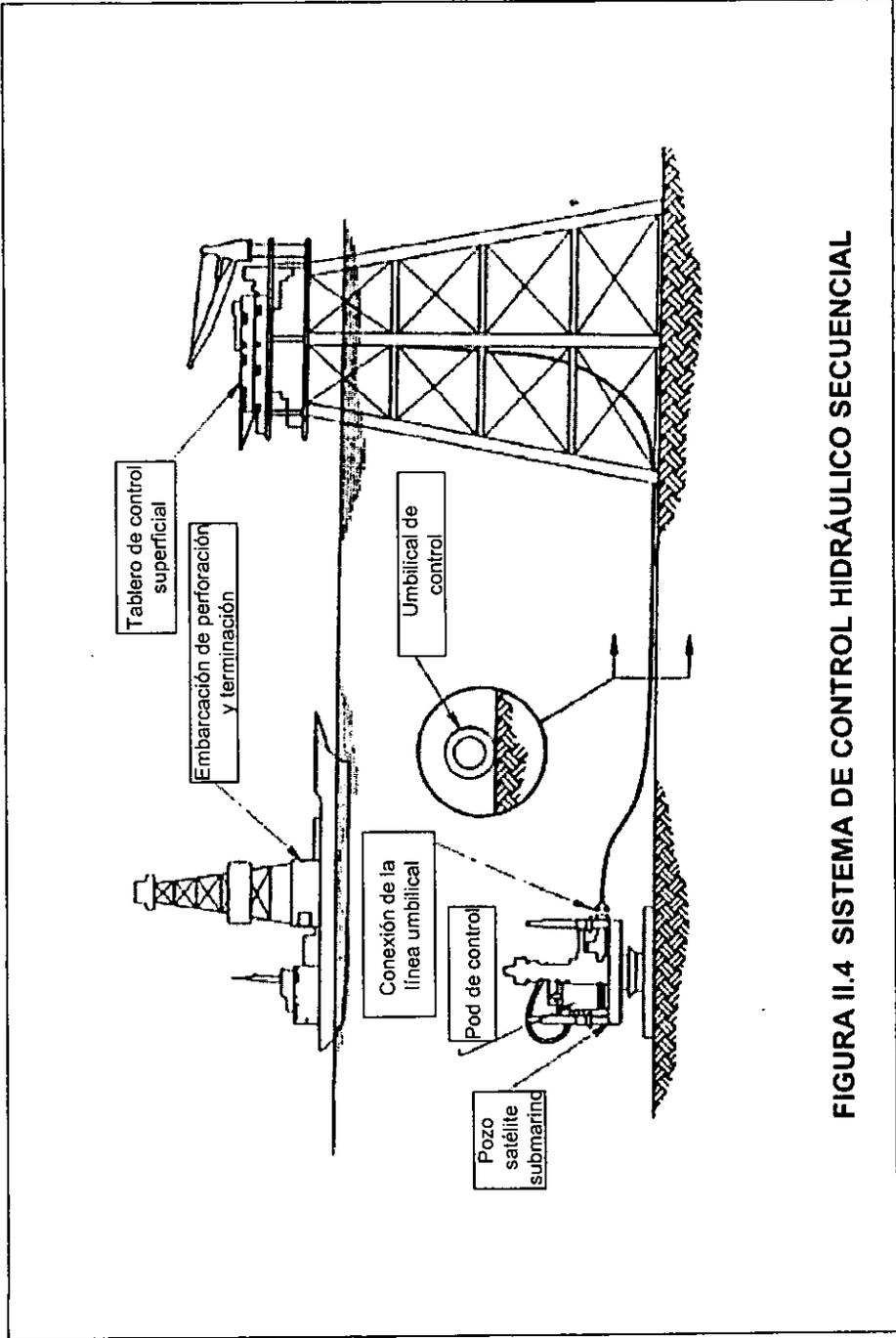


FIGURA II.4 SISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO SECUENCIAL

de pasos resultando un preajuste adicional de las funciones efectuadas en cada paso.

El principal inconveniente del sistema hidráulico secuencial es que una vez implementado el diseño del equipo, este es fijo y no se pueden realizar cambios en el programa de operación. Esto es, una vez que es establecida la secuencia de operación de las válvulas, no es posible hacer cambios.

Este es un problema serio, especialmente cuando se utilizan en sistemas grandes de producción submarina.

El sistema también está limitado por el número de combinaciones de válvulas que pueden ser operadas, ya que el número de pasos para incrementar la presión está limitado por la máxima presión hidráulica de seguridad y el tamaño de incremento de presión requerido para diferenciar entre un paso y el siguiente. Más adelante está limitado por su incapacidad para monitorear las presiones submarinas y las posiciones del estrangulador.

A medida que los sistemas de producción han llegado a ser más grandes y más sofisticados, toma auge el desarrollo en aguas profundas, se requiere nueva tecnología de equipos para estas condiciones y los desarrollos han tenido lugar en aguas más profundas, ha surgido la necesidad de introducir mejoras en la tecnología de los sistemas de control.

Esto resultó en la creación de los sistemas de control electrohidráulico y electrohidráulico multiplexado.

III.4 Sistema Electrohidráulico

El sistema de control electrohidráulico es similar al sistema de control hidráulico, excepto que en éste sistema, una señal eléctrica es enviada desde la superficie a la válvula solenoide en el fondo marino, la cual suministra presión al piloto hidráulico para las demás válvulas de control submarinas.

Una de las principales ventajas que tiene el sistema electrohidráulico es que la señal tarda menos tiempo o casi es instantánea a cualquier profundidad.

Por otro lado, los costos del sistema de control electrohidráulico son más elevados comparados con todos los sistemas hidráulicos, cuando se utiliza a profundidades someras, pero a profundidades entre 450 m y 600, resulta ser más conveniente su aplicación.

Existen dos tipos de sistemas de control electrohidráulico propuestos por la mayoría de los fabricantes de sistemas de control. El electrohidráulico multicableado y el electrohidráulico multiplexado. El término multicableado significa que tiene por lo menos uno, o quizás dos, cables por solenoide. El sistema de control multiplexado utiliza por lo menos de seis a veinte cables para todos los solenoides. Esto significa que la señal que se envía a cada solenoide debe ser una señal codificada. El sistema de control electrohidráulico multicableado utiliza más cables pero tiene menos componentes electrónicos, mientras que el sistema de control multiplexado utiliza más componentes electrónicos en la superficie y en el fondo, pero tiene menos cables en la línea principal.

Por tal razón, uno de los mayores problemas que se tuvo con el sistema electrohidráulico fue el cable, el resto del sistema fue altamente seguro. Los mayores problemas en los cables fueron en los extremos y el limitado radio de curvatura del cable, aunque no por esto el sistema deja de ser seguro.

El sistema electrohidráulico es un control que tiene el mismo principio que el sistema hidráulico con válvulas piloto, ya que el sistema de control electrohidráulico también requiere un pod y un conjunto de acumuladores. La diferencia entre el sistema hidráulico con válvulas piloto y el sistema electrohidráulico, es que la acción de la señal piloto es sustituida por una señal eléctrica. Cada componente submarino requiere de un conductor de señal desde la superficie, de la misma manera que un sistema hidráulico piloteado requiere de una línea de señales.

Otra de sus diferencias es que las conexiones eléctricas se requieren en el árbol, donde se utilizan dos tipos de conexiones: la conductiva y la inductiva. Con esto aumenta la complejidad de las líneas umbilicales y las interfaces submarinas. Por este motivo, el sistema electrohidráulico es utilizado en situaciones donde en el diseño, el número de dispositivos y componentes es limitado.

III.5 Sistema Electrohidráulico Multiplexado

Este sistema es el más usado de los controles electrohidráulicos y es una versión mejorada del sistema electrohidráulico. Este sistema es capaz de controlar un gran número de componentes. Utiliza conductores comunes o dedicados a suministrar señales de control y energía para la operación de todas las funciones submarinas, codificaciones y descodificaciones electrónicas- lógicas son requeridas en la superficie y en el fondo marino. Esta aproximación reduce el cable eléctrico y la complejidad de la conexión eléctrica submarina y permite por si mismo el uso de los coples inductivos debajo del agua haciendo y rompiendo circuitos. Los sistemas de control multiplexados son fabricados para trabajar con señales eléctricas, donde la corriente es enviada a la parte inferior del conjunto de preventores mediante un conductor, conectado a cada pod de control.

Este sistema de control, es capaz de controlar un gran número de componentes rápidamente, utilizando solamente una pequeña línea umbilical. Para realizar esto, se utiliza una línea de suministro de energía eléctrica junto con una línea de señales acopladas a un multiplexor para manipular una gran cantidad de válvulas solenoide piloto, Figura II.5. La presión del fluido hidráulico se obtiene a través de una línea de suministro en la línea umbilical.

Cuando una señal digital es enviada al multiplexor, este acciona la válvula solenoidal seleccionada, dirigiendo el fluido hidráulico desde la línea umbilical de suministro hacia el componente asociado. La presencia de un multiplexor introduce la capacidad de monitorear presiones, temperaturas y posiciones de

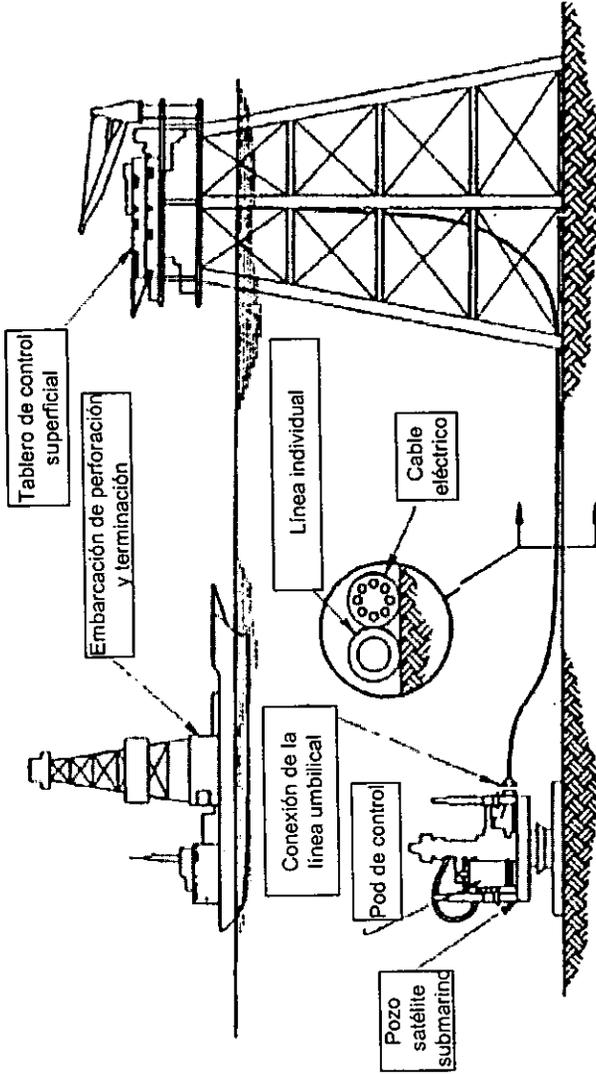


FIGURA II.5 SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO MULTIPLEXADO

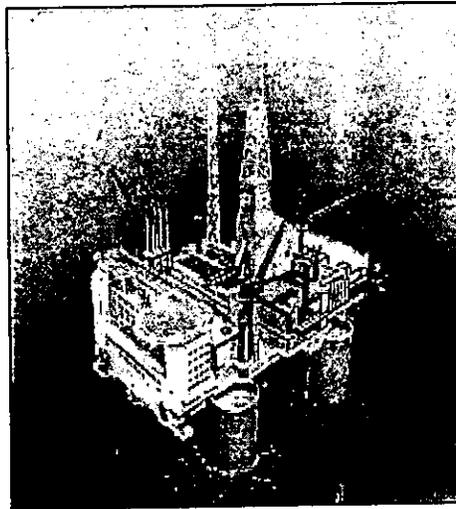
válvulas por medio de señales eléctricas, sin complicar las conexiones eléctricas en la línea umbilical.

Operacionalmente, el sistema electrohidráulico multiplexado reduce los requerimientos de espacio en la plataforma o barco, con respecto a los otros sistemas y suministra la capacidad de monitoreo necesaria, la cual no está disponible en ningún otro sistema hidráulico. Estas razones son la base para la recomendación de un sistema electrohidráulico multiplexado.

Con este sistema de control se tiene un acceso completo y preciso sobre los sistemas submarinos de reparación e intervención involucrados en instalaciones de aguas profundas. El control y los datos que se recaban, se generan por computadora, teniendo comunicación mediante un simple par de líneas. En la superficie, la información se despliega en un monitor de color. Todo esto incluye alarmas, datos de tendencia y condiciones del equipo submarino.

CAPÍTULO III

COMPONENTES DE LOS SISTEMAS DE CONTROL



El describir los componentes de un sistema de control es de gran importancia, ya que es fundamental conocer el equipo a emplear cuando se realiza una operación costa afuera.

Para poder determinar el sistema de control de pozos submarinos a emplear en aguas profundas se ha considerado necesario plantear las diferentes alternativas de decisión, para lo cual se requiere de la información y del monitoreo de compañías.

III.1 Componentes de un Sistema de Control Hidráulico

Los sistemas de control hidráulico (directo, piloteado y secuencial) se pueden dividir en tres partes, las cuales comprenden:

1. Equipo superficial localizado en la plataforma.
2. Equipo intermedio o subsuperficial compuesto por un paquete de mangueras, las cuales conectan al equipo superficial con el equipo submarino.
3. Los componentes submarinos formados por el pod de control, válvulas, reguladores de presión, actuadores y el conjunto de preventores, en su caso.

La Figura III.1 muestra la distribución del equipo superficial, intermedio y los componentes submarinos que integran un sistema de control hidráulico, para el caso en el que el sistema de control se aplica durante la perforación.

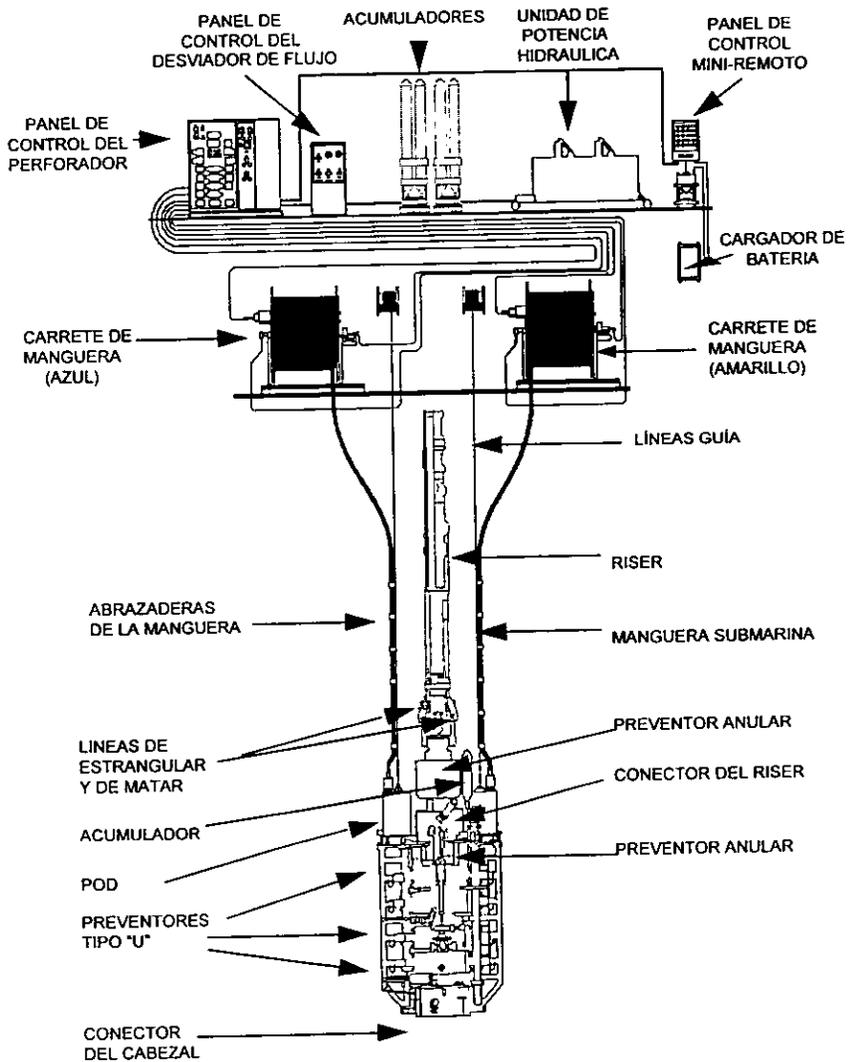


FIGURA III.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO DURANTE LA PERFORACIÓN

III.1.1 Equipo Superficial

Los componentes que forman el equipo superficial son los siguientes:

- ✓ Unidad de Potencia Hidráulica
- ✓ Tablero de Control
- ✓ Banco de Baterías
- ✓ Acumuladores
- ✓ Carretes de Mangueras

Unidad de Potencia Hidráulica

La unidad de potencia hidráulica es la encargada de suministrar fluido hidráulico a alta presión para los componentes del sistema, esto es, para las válvulas, actuadores, arietes, etc. La unidad de potencia requiere de agua, aire comprimido y energía eléctrica para operar. Generalmente cuenta con dos tanques de diferente tamaño y un sistema de bombas. El tanque mayor contiene fluido hidráulico, formado por una mezcla de agua, lubricantes para agua y glicol de etileno. El tanque menor contiene fluidos lubricantes usados durante la mezcla del fluido hidráulico.

Las bombas toman el fluido de los tanques para almacenarlo a alta presión en los acumuladores y posteriormente usarlo en el sistema de control.

El sistema de bombas consta de un conjunto de bombas eléctricas triplex y un conjunto de bombas neumáticas.

En operación normal, las bombas triplex abastecen a los acumuladores. Sin embargo, cuando no pueden operar o no tienen la capacidad de abastecimiento al ritmo necesario. Las bombas operadas por aire entran en acción como ayuda para las bombas eléctricas.

Tablero de Control

El tablero controla directamente los componentes del sistema. Está compuesto por controles manuales para regular el paso del fluido y dispone de palancas que al operarlas indican la función que se llevará a cabo en los componentes del sistema. Tiene varios equipos de medición, tales como manómetros, medidores de flujo, etc.

Todos los controles, sistemas de medición y luces de señalización tienen letreros que los identifican e indican la función o medición que realizan. Por otra parte, se cuenta con luces para indicar el estado actual de los componentes del sistema, las cuales siguen un código similar al de los semáforos, es decir:

- Luz verde para indicar que están abiertos
- Luz roja significa la posición de cierre
- Luz amarilla equivale a la posición de purga

Banco de Baterías

El banco de baterías suministra corriente eléctrica de emergencia para el minitablero de control remoto y para el tablero de control del perforador cuando el

suministro de corriente eléctrica falla. El banco de baterías se localiza en un compartimiento ventilado, mismo que se localiza cerca del cargador de baterías.

Acumuladores

Los acumuladores son una serie de cilindros que almacenan fluido hidráulico a alta presión. El sistema de control usa fluido para realizar todas las operaciones de los componentes del sistema. Después de que el sistema utiliza el fluido almacenado, las bombas triplex en la unidad de potencia hidráulica vuelven a llenar los acumuladores. Los acumuladores se encuentran por lo general cerca de la unidad de potencia hidráulica.

Carretes de Mangueras

Los carretes de mangueras guardan las mangueras cuando éstas no se encuentran en uso, además sirven para permitir el movimiento de las mangueras durante la recuperación e instalación.

III.1.2 Equipo Intermedio o Subsuperficial

El equipo intermedio o subsuperficial está formado por:

- ✓ Conjunto de Mangueras Submarinas
- ✓ Grapas de Fijación

Conjunto de Mangueras Submarinas

El conjunto de mangueras submarinas de control se compone de una manguera principal, generalmente de 1 pg de diámetro, rodeada por otras secundarias, de 3/16 pg de diámetro aproximadamente y recubiertas todas para formar la estructura umbilical.

Por el conducto principal se maneja el fluido a alta presión y por los secundarios se manejan señales hidráulicas que controlan las válvulas que dirigen el flujo al lugar correcto en los componentes del sistema.

Grapas de Fijación

Las grapas de fijación son herramientas que fijan al conjunto de mangueras con el cable guía, mismo que parte de la superficie y termina en los componentes submarinos.

III.1.3 Equipo Submarino

- ✓ Pod de Control
- ✓ Acumuladores Submarinos

Pod de Control

Es la unión entre las líneas de control las cuales suministran energía hidráulica y/o eléctrica y señales desde las instalaciones superficiales y las instalaciones submarinas que serán controladas, es decir, distribuye la energía a cada componente para su operación.

El pod de control contiene el sistema que distribuye el flujo de fluido hidráulico a los diversos componentes del sistema de control. El pod tiene reguladores de presión y válvulas de paso de tres salidas.

Acumuladores Submarinos

Los acumuladores submarinos almacenan fluido hidráulico bajo presión. Están montados en la parte inferior del riser. Suministran gastos elevados a alta presión para acelerar la operación de los componentes.

III.2 Componentes de un Sistema de Control Electrohidráulico

El diseño de un sistema de control electrohidráulico debe satisfacer los requerimientos de un sistema de producción así como flexibilidad a las necesidades de desarrollo del campo y ser lo más confiable posible.

Las Figuras III.2 y III.3, son una representación esquemática de sistemas típicos y nos muestran una descripción práctica de los componentes.

El sistema debe ser diseñado para trabajar en forma segura, sin riesgos de contaminación y con un tiempo mínimo de pérdida de producción. El sistema debe ser capaz de funcionar bajo cualquier circunstancia, por ejemplo, si un elemento (del pozo) esta fuera de línea porque está en reparación, el resto del equipo debe continuar completamente funcionando sin que se requiera ninguna modificación del equipo de control superficial o submarino. Los controles están diseñados para hacer que el sistema sea seguro, que no existan fugas y que permitan el cierre bajo cualquier circunstancia de peligro.

El equipo instalado en superficie incluye:

- Estación de control del hardware
- Unidades de suministro hidráulicas y eléctricas para recuperar instalaciones
- Carretes de líneas umbilicales

Los umbilicales abastecen desde la superficie al fondo marino la energía eléctrica y el fluido hidráulico.

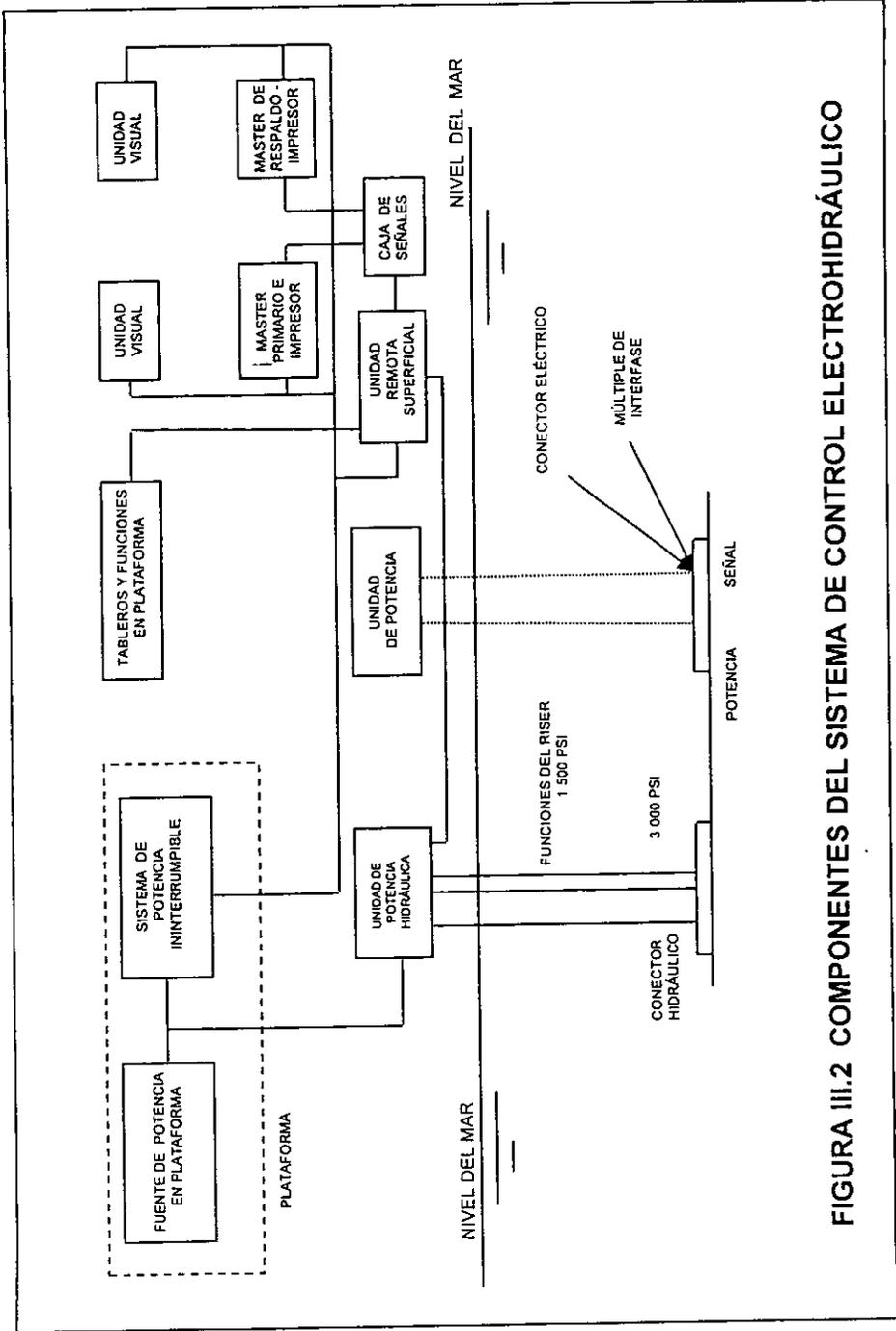


FIGURA III.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO

Por otra parte, se debe suministrar un umbilical para lograr la conexión y comunicación con los módulos de control submarinos. Todos los umbilicales pueden empaquetarse para formar un solo umbilical, dependiendo del equipo empleado.

Los componentes submarinos que requieren módulos de control individuales son:

- Templetes de árboles
- Árboles satélites
- Templetes de múltiples de válvulas
- Válvulas especiales
- Sistema submarino de limpieza o diablos

Cada componente del sistema puede tener un módulo de control exclusivo para manipular las válvulas del árbol, monitorear las presiones de flujo y la posición del estrangulador. En ciertos casos, un módulo puede compartir sus funciones de control con otros componentes para economizar. Por lo tanto, para minimizar el número de módulos, las funciones pueden ser combinadas de acuerdo con el diseño del sistema de producción submarino. Además, para la operación desde la superficie al fondo marino, se requieren conexiones umbilicales desde la caja de empalme del templete hasta los módulos de control individuales y desde el templete hacia varios árboles satélites o múltiples de válvulas.

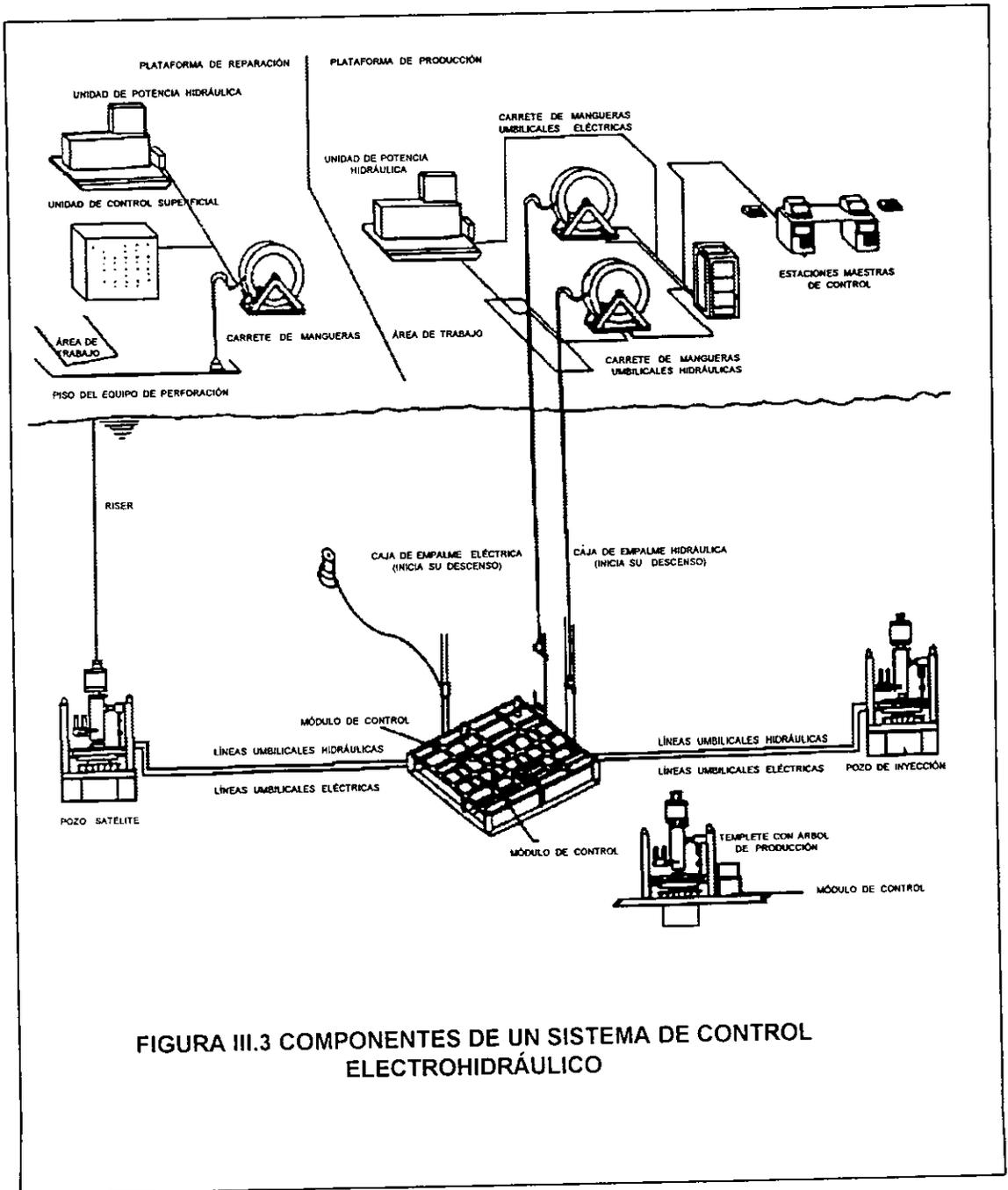


FIGURA III.3 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO

III.2.1 Equipo Superficial

El equipo superficial consta de los siguientes componentes:

- ✓ Unidad de Potencia Hidráulica
- ✓ Carretes de Líneas Umbilicales
- ✓ Unidad de Potencia Eléctrica
- ✓ Líneas Umbilicales

Unidad de Potencia Hidráulica

Como su núcleo, el sistema de control submarino requiere de la unidad de potencia hidráulica, la cual suministra la baja o alta potencia hidráulica, según sea requerida. Generalmente, la unidad es diseñada para proporcionar energía mediante el uso de un conjunto de cilindros acumuladores.

La unidad hidráulica se acciona mediante un par de suministros, ya sea por medio de aire o electricidad.

Todos los arreglos proporcionan dos servicios:

1. Como medio de respaldo si el suministro principal aire o eléctrico es cortado.
2. Como medio de incremento del nivel de presión para el cabezal de la válvula de seguridad submarina.

Carretes de Líneas Umbilicales

Las líneas umbilicales electrohidráulicas son montadas en carretes superficiales, los cuales son manejados en forma neumática o hidráulica. Generalmente, la unidad esta montada en un patín con el carrete sostenido por chumaceras de pedestal y equipada con candados tipo trinquete y freno de fricción.

El carrete está localizado cerca del área de trabajo de la plataforma y puede ser manipulado utilizando el panel principal de control o por medio de los controles dedicados exclusivamente para esta función. Asociados con esta unidad se encuentran las poleas de las líneas umbilicales, tensores y malacates auxiliares de las líneas guía, de la caja de empalme.

Unidad de Potencia Eléctrica

La energía suministrada al sistema submarino es normalmente de alto voltaje, para controlar las pérdidas y para mejorar la eficiencia. Cuando la unidad recibe energía, esta entra a la unidad de potencia eléctrica y es transformada.

Dentro del sistema submarino, la turbo maquinaria empleada, requiere de altos voltajes o alta energía hidráulica mientras que el sistema de control necesita solo baja energía. Además, la unidad de potencia eléctrica contiene transformadores y motores eléctricos, los cuales suministran corriente directa o la convierten en energía hidráulica.

Líneas Umbilicales

Se requiere una línea umbilical desde la superficie hasta el fondo marino para suministrar la energía eléctrica e hidráulica junto con las señales necesarias para el enlace de comunicación entre la computadora submarina y el templete, así como el equipo montado en el campo.

Estas líneas umbilicales pueden ser blindadas o no, dependiendo del método de tendido y de las necesidades de protección mecánica.

Si el tendido se realiza utilizando el diseño convencional tensionado, los requerimientos de blindaje son de naturaleza estricta. Sin embargo, la tendencia es hacia el tendido de líneas umbilicales en modo no tensionado. En este caso, se debe tener mucho cuidado para asegurar que el blindaje sea capaz de resistir la fatiga impuesta por el movimiento y forma de las líneas umbilicales.

Cuarto de Control

El cuarto de control debe diseñarse para hacer que el sistema sea tan simple y conveniente para operar, manteniendo un alto grado de disponibilidad. Todos los elementos deberán contar con sustitutos para evitar interrupciones en el servicio. Además, se deben tomar las medidas necesarias para guardar un registro permanente de las actividades del sistema para permitir un análisis posterior a su desempeño y suministrar información para la solución de posibles problemas.

El diseño es de suma importancia para asegurar que todo el equipo contenido en el cuarto de control esté dentro de las normas ambientales fijadas.

Estación Maestra

La estación maestra se utiliza para manejar el sistema de control submarino e incluye una unidad de despliegue que consta de un monitor y un teclado. Esta es la interfase primaria con el operador y el software de trabajo, la estación está diseñada de acuerdo a la conveniencia del operador.

Los monitores son idénticos y cada uno puede ser conectado a otra computadora. La Figura III.4 muestra una estación maestra de control submarino, la cual está distribuida en una plataforma y utiliza un bus de datos principal.

Los formatos de pantalla se utilizan para permitir al operador ver todos los puntos del sistema, valores analógicos y control de salidas.

La lectura de datos leídos desde el templete se realiza mediante el despliegue gráfico, el cual muestra el diagrama de tuberías, válvulas y transductores. Todas las condiciones de alarma o funciones desactivadas deben ser claramente indicadas de tal manera que estos puntos sean desplegados.

La Figura III.5 muestra un diagrama esquemático del control de un campo, utilizando un sistema de control electrohidráulico.

Por conveniencia del operador, el sistema puede dividirse en pequeñas unidades para su despliegue. La división más lógica es un formato para un pozo, otro para las funciones de la plataforma y otro para las funciones comunes del templete.

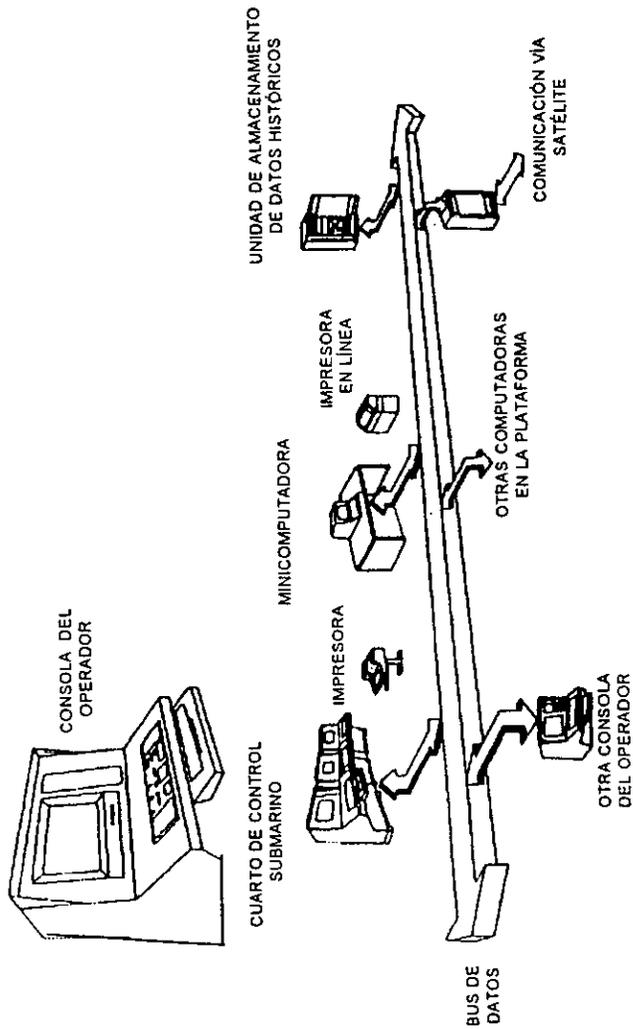


FIGURA III.4 CUARTO DE CONTROL SUBMARINO Y SISTEMA DE PROCESAMIENTO DISTRIBUIDO

Otros formatos pueden incluir comunicaciones, errores estadísticos y un resumen de las funciones en estado de alarma.

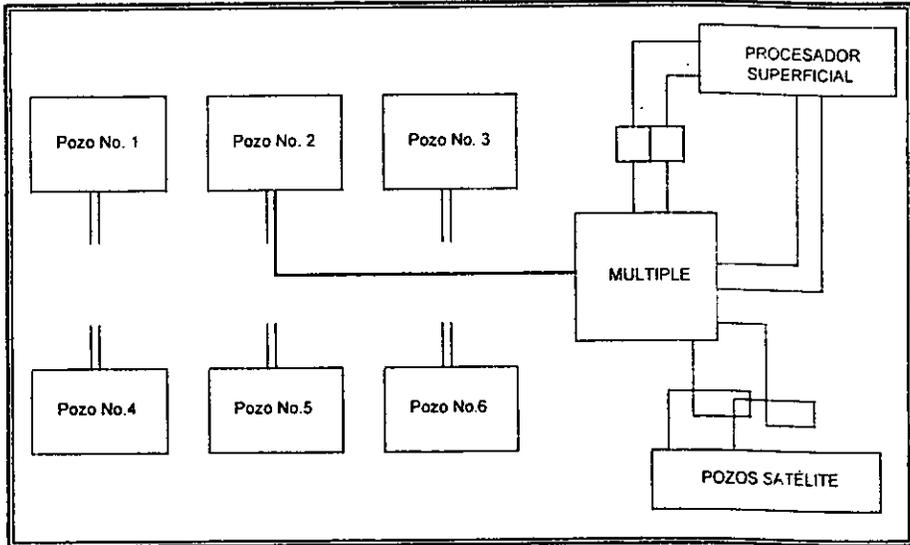


FIGURA III.5 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CONTROL DE UN CAMPO UTILIZANDO UN SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO.

La estación maestra incluye una impresora para el registro de operación del sistema. En la práctica se pueden utilizar dos impresoras idénticas una a otra, capaces de poderse conectar a la computadora (una a la vez). Las impresoras suministran una copia de los comandos del operador, eventos de alarmas y otra información en particular.

III.2.2 Equipo Submarino

Computadora Submarina

El equipo de redundancia debe proporcionar y permitir el cambio automático (en caso de desconexión) entre la computadora en línea y el equipo de relevo; la computadora de relevo del equipo permanecerá activa y conectada a la computadora en línea a través de un módem.

El módem toma una serie de valores analógicos generados por la computadora y los convierte en una señal digital para la transmisión a grandes distancias. El módem cuenta con circuitos para recibir señales digitales desde los módulos submarinos y convertirlas en una secuencia analógica para ser utilizada por la computadora.

Todas las comunicaciones entre la computadora y las unidades remotas son a través de un solo par de cables denominado el bus de datos.

El tráfico de datos en este bus es controlado por la computadora, dado que ninguna unidad remota transmitiría a menos que la computadora lo decida.

Sin embargo, el pod submarino puede generar una señal de interrupción enviándola al controlador en la superficie, en caso de detectar una válvula fuera del rango.

Normalmente, si una válvula esta fuera de rango, el pod submarino comprueba mediante el sensor y verifica que no sea un error o impulso momentáneo y así reportar adecuadamente. Esta función es opcional.

Periódicamente, la computadora verifica en forma secuencial los módulos submarinos para recoger datos de manera automática. Sin embargo, si el operador introduce un comando, el proceso de verificación automático es interrumpido para enviar el comando al módulo submarino adecuado tan pronto como sea posible. La computadora es responsable de la sincronización de los comandos, de tal manera que proporciona una adecuada secuencia de trabajo y cuida que los límites de consumo de energía no sean excedidos.

La Figura III.6 muestra un formato típico de mensaje entre la estación maestra y el módulo de control.

La señal de comunicación contiene un mecanismo de comprobación de error generado a propósito para verificar la integridad del reporte.

Suministro de Energía

Debido a la naturaleza de los componentes electrónicos, la plataforma debe contar con una fuente de suministro de energía.

Por tal razón y para permitir un adecuado sistema de cierre, la fuente de energía es compensada continuamente. La electricidad se toma desde un suministro y se regula con una batería de respaldo para proporcionar la energía necesaria en el caso de que exista alguna falla del suministro normal de energía en la plataforma.

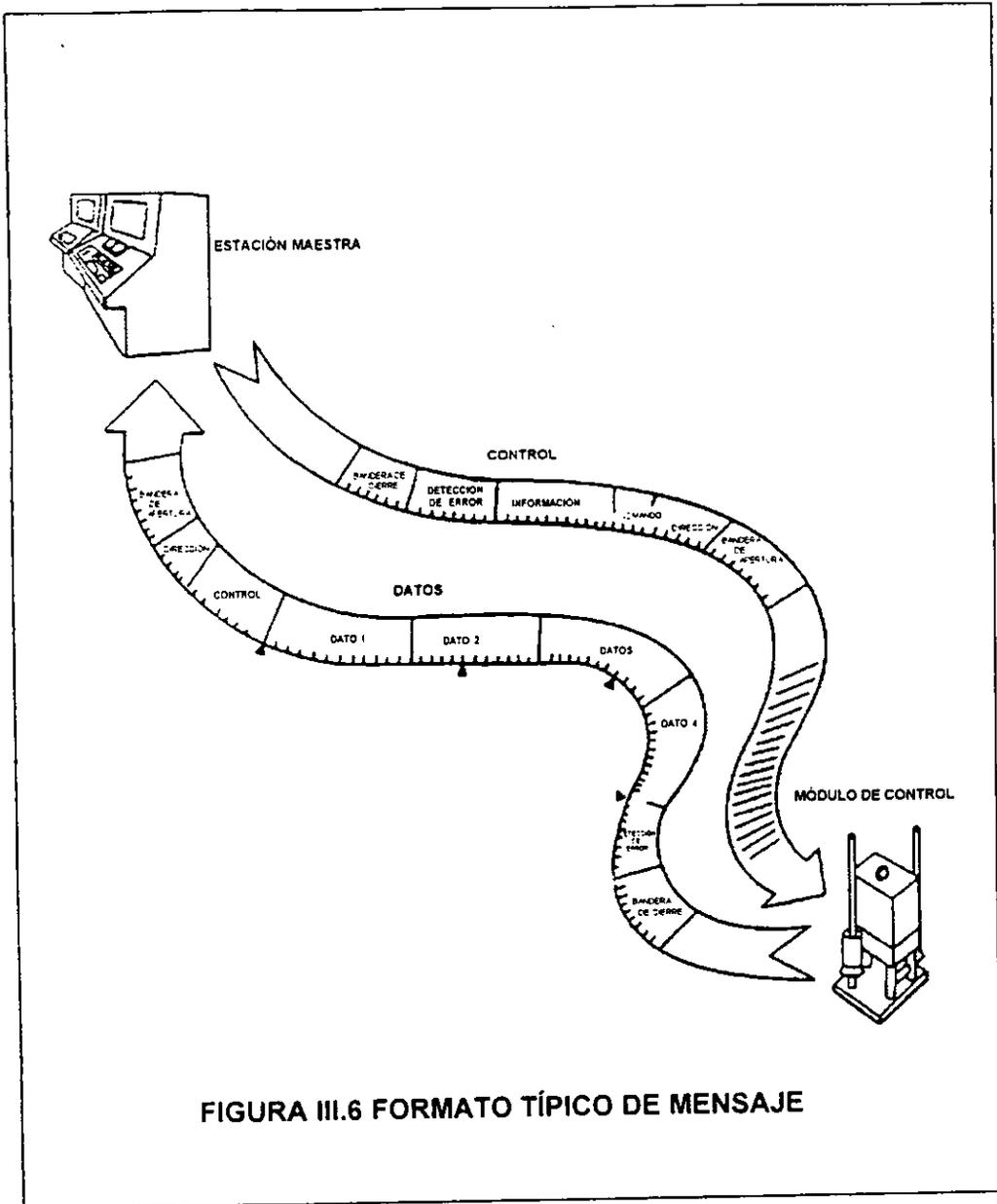


FIGURA III.6 FORMATO TÍPICO DE MENSAJE

Caja de Empalme Submarina

La caja de empalme submarina puede utilizarse montada sobre el templete para la distribución de la energía eléctrica y señales enviadas a los módulos de control submarinos. Esta caja de empalme esta conectada al final de las líneas umbilicales.

Dentro de la caja de empalme, un bus distribuye la energía de entrada y las señales, hacia los cables de salida. El bus y todas las conexiones están perfectamente acomodadas dentro de la caja de empalme llena con aceite. La caja de empalme contiene dos compartimientos, los cuales aíslan las conexiones de las líneas umbilicales y las del bus, de las guarniciones de las conexiones del cable.

Estos compartimientos están presurizados e interconectados. La caja de empalme además de estar llena con aceite, está a presión balanceada a través de un diafragma hacia el ambiente externo.

La Figura III.7 muestra un posible diseño para una caja de empalme eléctrica y la Figura III.8 representa un esquema de la vía hidráulica de la caja de empalme.

Comúnmente, las líneas umbilicales hidráulicas son conectadas directamente a un templete de tuberías de distribución y no son conectadas vía la caja de empalme.

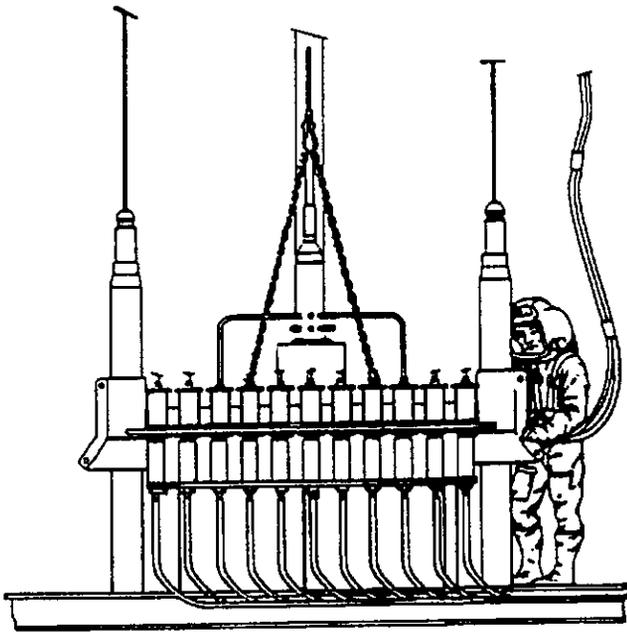
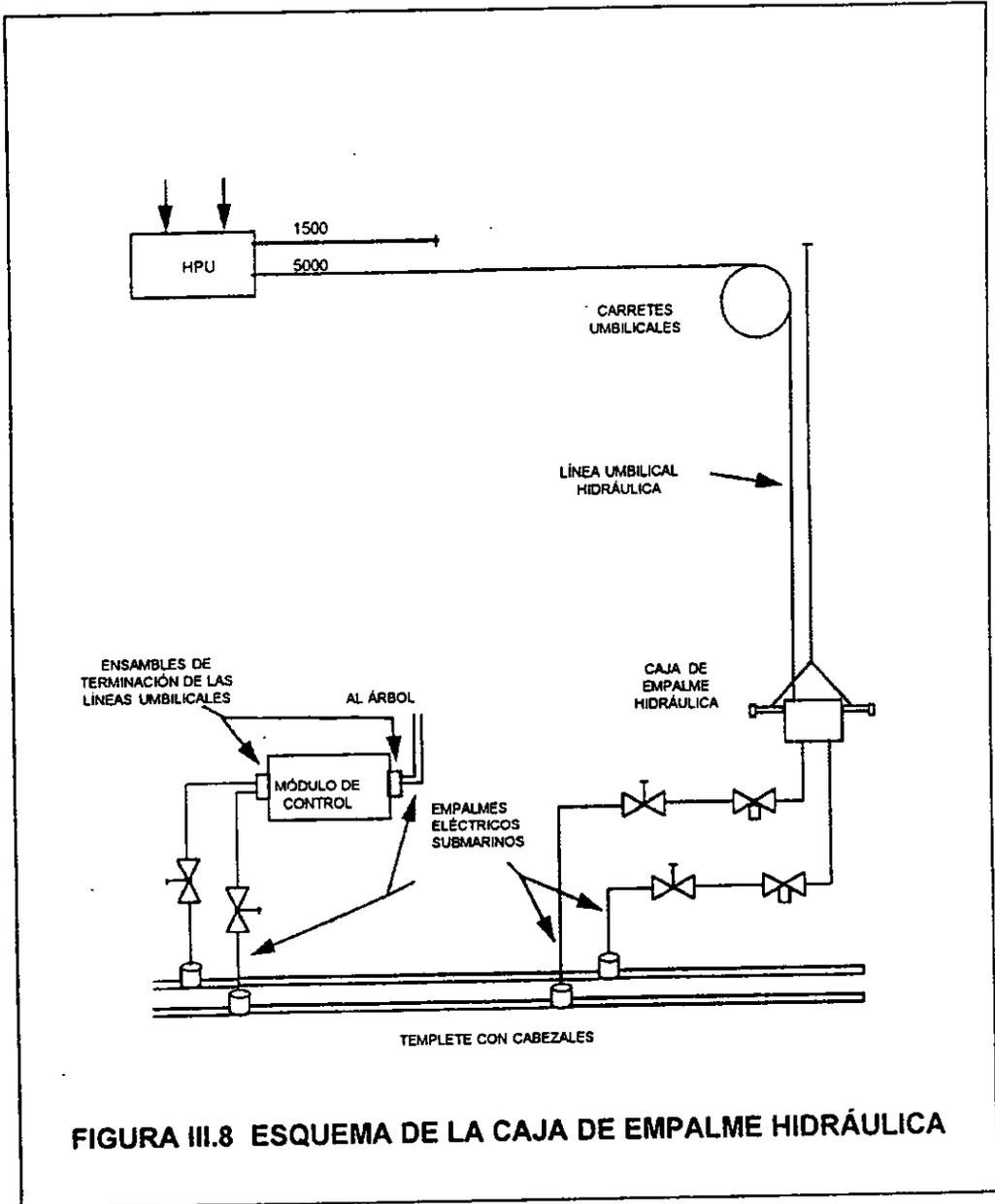


FIGURA III.7 CAJA DE EMPALME ELÉCTRICA DE LAS
LÍNEAS UMBILICALES



Este tipo de diseño minimiza el riesgo de invasión de agua de mar hacia la caja y así se pueden evitar cortos en el sistema. Esto también ayudará a prevenir fallas en las guarniciones del cable o en las uniones inductivas de posibles cortos en el sistema del bus que podrían dañarlo o también a las conexiones umbilicales.

Módulos de Control Submarino

El control individual a los árboles o múltiples de válvulas se realiza por medio de módulos submarinos. Estos módulos contienen a las válvulas y las partes eléctricas y electrónicas requeridas para dirigir el fluido hidráulico hacia varios impulsores de válvulas y estranguladores.

Además, todo el monitoreo del estado del sistema submarino es realizado mediante estos módulos. Un módulo universal (módulos que tienen idéntica configuración) puede ser considerado para permitir intercambio en los módulos y para reducir el costo del sistema.

En operación normal, los módulos submarinos deberán estar inmóviles excepto cuando se envía un comando desde la superficie; solo el circuito de recepción y un mínimo de la energía de suministro pueden trabajar continuamente. Cuando una señal se envía a través de la línea de comunicación desde el control superficial, el módulo de control submarino automáticamente se enciende. Si la señal es direccionada a otro módulo o si la señal es removida, el módulo se apaga. En algunos sistemas, se requiere una segunda señal para verificar que el comando correcto ha sido enviado antes de que la función se ejecute; es decir, la función se comprueba antes de ejecutarse.

Si se recibe una señal correcta, se analiza y se ejecuta. La unidad superficial será programada para que automáticamente lea la presión adecuada en el árbol o el múltiple de válvulas. Esto incita al controlador para tomar una decisión o enviar una bandera si el comando no funciona o el operador ha accionado un comando equivocado. A menos que esté específicamente programado, lo cual no es usual. El controlador superficial solo despliega la última función accionada y a menos que exista una lectura de la posición de la válvula (no común), el operador asume que esto es correcto.

Algunos pods submarinos monitorean ciertas presiones (líneas de flujo o suministro hidráulico) y si estas presiones se salen de rango, se envía una bandera y/o el pod cierra el árbol automáticamente.

En operación normal, cuando se pierde la comunicación eléctrica, todas las válvulas piloto fallan. Entonces el sistema puede ser mantenido en producción utilizando las líneas de suministro hidráulicas.

Algunos sistemas utilizan una válvula de seguridad que se cierra eléctricamente y aísla hidráulicamente las otras líneas hacia varias válvulas. Así, si hay una falla de energía, el pod falla y el árbol se cierra. Se pueden diseñar algunas funciones, además de la válvula de seguridad por si está falla.

Todos los impulsores de las válvulas de producción son a prueba de fallas cuando la presión hidráulica es interrumpida. Así, si la comunicación eléctrica se pierde en uno o más módulos, la producción puede ser mantenida como si se continuara con el suministro de presión hidráulica al templete submarino. Si se

interrumpe el suministro de presión, se pueden cerrar las válvulas del árbol y el múltiple, además de las válvulas de seguridad en el equipo.

Para un sistema de respaldo, donde se adopta un pod de tipo universal, solo se puede mantener un módulo sobre la instalación de producción.

La unidad electrónica es capaz de recibir señales, analizarlas para su apropiado direccionamiento, seleccionando una adecuada función y activando una válvula piloto o transductor para transmitir los datos a la superficie.

La Figura III.9 muestra un esquema típico de la incorporación de sensores y de todas las funciones necesarias para controlar un árbol de válvulas.

Los receptores, transmisores y suministros de energía en cada módulo deben ser capaces de trabajar con altos niveles de ruido y con un amplio rango de niveles de señales y voltajes (se puede esperar variación de + 20 %).

Es necesario hacer que el sistema sea tolerante al uso de las uniones inductivas. La cámara electrónica puede estar llena con nitrógeno y el resto del pod lleno con aceite o puede ser utilizado a una presión de una atmósfera.

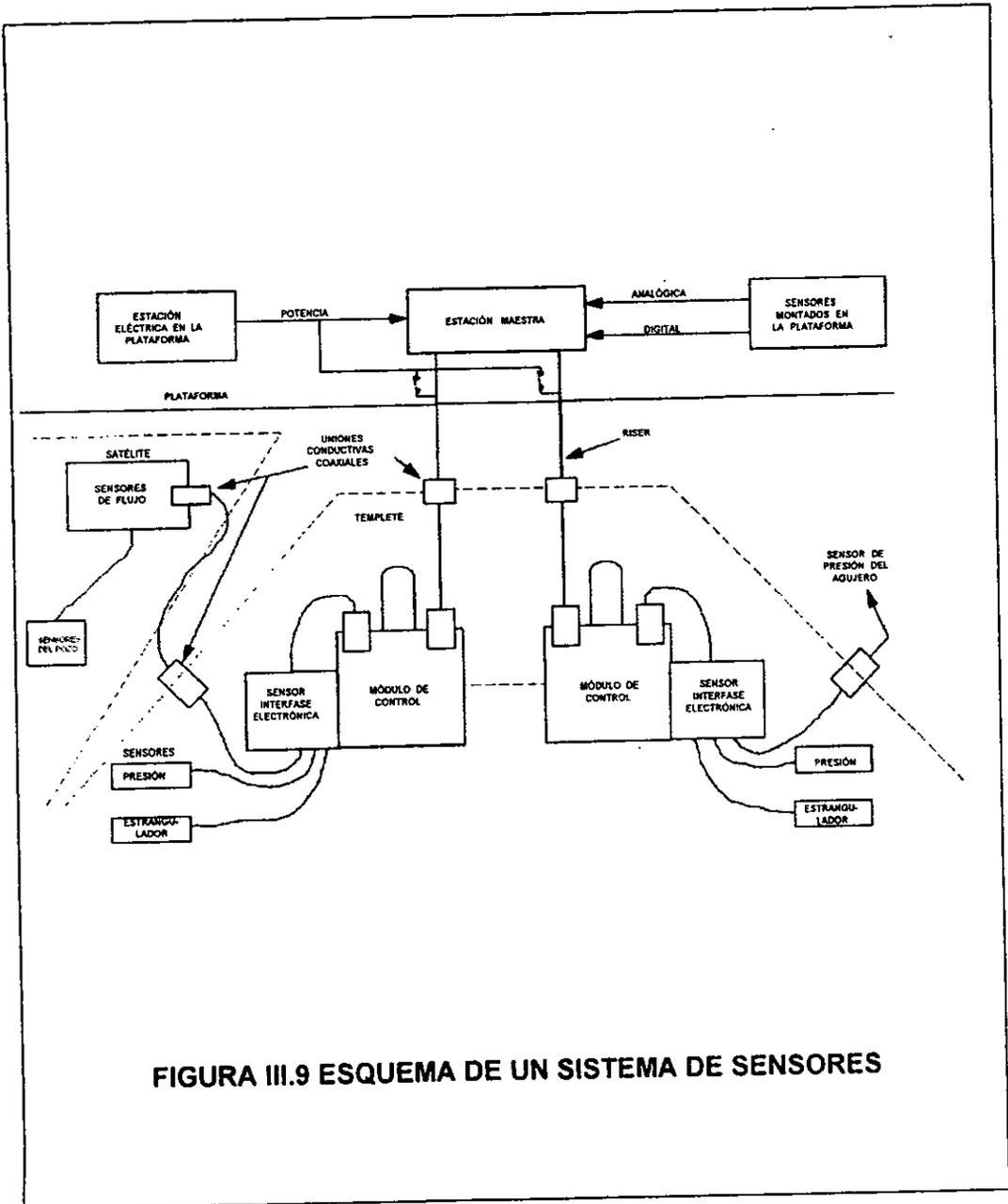


FIGURA III.9 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE SENSORES

III.8 Componentes Submarinos Críticos

Los componentes submarinos críticos son los siguientes:

- ✓ Conectores Eléctricos
- ✓ Sensores
- ✓ Mangueras y Paquetes de Mangueras

Conectores Eléctricos

Los conectores eléctricos son considerados los componentes más críticos de un sistema de control. La desconfianza de que exista humedad y ruptura de las conexiones, en el pasado, retrasó el desarrollo y la aceptación de los sistemas electrohidráulicos.

Existen dos alternativas para solucionar este problema: el uso de uniones conductivas y el de uniones inductivas.

1). Uniones Conductivas

Una unión conductiva es en realidad un enchufe eléctrico. Se han realizado diseños para fabricar un conector satisfactorio (contacto metal-metal). Aunque la mayoría de los diseños parecen ser razonables, tienen un pobre registro de confiabilidad a largo plazo. Existen varios diseños adecuados para aplicaciones en distancias cortas y para niveles de voltaje relativamente bajos. Sin embargo,

un diseño que pueda ser instalado y utilizado por largos períodos de tiempo con confiabilidad total, aún no existe.

2). Uniones Inductivas

Las uniones inductivas utilizan el efecto transformador en lugar de un enchufe eléctrico y han reemplazado a las uniones conductivas en varias de las aplicaciones de control submarino.

Las uniones inductivas son ideales para utilizarse en instalaciones bajo el agua, dado que la transmisión de la energía esta basada en un campo electromagnético.

Un campo magnético no se afecta por agua y el metal de conducción nunca puede humedecerse. Los principios eléctricos involucrados son simples y entendibles, pero el comportamiento de una unión inductiva bajo el agua, solo puede ser definida con la experiencia obtenida a largo plazo.

El diseño y aplicación de uniones inductivas debe considerarse cuidadosamente. Es también esencial que su fabricación se realice con alto control de calidad. El método de montaje y la tolerancia en las dimensiones del intervalo entre las dos uniones son parámetros de diseño, los cuales se establecieron por experiencia y se sabe que son demasiado críticos. La historia de las uniones inductivas es uno de los éxitos de calidad. TRW Ferranti, por ejemplo, produjo más de 500 uniones para instalaciones submarinas. Sólo se recuerda una falla (en 1978) durante más

de trece millones de horas de servicio. Esta falla fue debido a una incompatibilidad del material, la cual ya ha sido corregida.

La siguiente Tabla III.1 muestra el poder de transmisión de algunas uniones inductivas.

TABLA III.1 PODER DE TRANSMISIÓN DE ALGUNAS UNIONES INDUCTIVAS

Tamaño (pulgadas)	Poder de Transmisión (Volts-Amperes)
4	200
5	500
7 ½	1,000
10 ¾	5,000
21 ¾	9,000

Una característica de la unión inductiva es su capacidad para trabajar como un transformador de aislamiento, el cual puede utilizarse para eliminar el uso de dispositivos de aislamiento de fallas en un circuito y como un dispositivo de limitación de corriente. Existen varios tipos de uniones para señal, los cuales pueden ser utilizados para transmitir energía y señales a diferentes niveles de frecuencia.

Para aplicaciones que requieren mayores niveles de potencia, las uniones inductivas tienen todavía limitaciones considerables, ya que no pueden trabajar con corriente directa.

Sensores

Una de las principales ventajas de un sistema electrohidráulico, es que permite el monitoreo de datos submarinos, aunque es importante establecer qué tipo de datos requieren medirse. Cualquier aumento en el número de sensores afecta la confiabilidad del sistema de control y así que como regla general, deberán utilizarse en forma racional.

Actualmente se cuenta con los siguientes tipos de sensores submarinos, entre otros.

- Sensor de presión
- Detector de hidrocarburos
- Sensor de temperatura
- Sistema de medición de la inclinación de los cabezales
- Detector de tránsito TFL
- Indicador de posición de las válvulas

Se utiliza la palabra sensor y no transductor, ya que en muchos casos el transductor representa solo un componente del sensor.

Si los sensores se localizan en los módulos de control principal, estos se deben conectar en dichos módulos. Los sensores desarrollados para utilizarse en aplicaciones submarinas, incluyen:

- Medidor de Fracción de agua
- Detectores de arena
- Medidores de flujo

Para eliminar el cable e instalar los sensores, en forma más fácil, se requiere del uso de un vehículo operado remotamente.

Cuando la distancia es mínima, es factible el uso de comunicaciones de control de rango corto desde el tablero central hasta un grupo adyacente de instrumentos submarinos o sistema de control del árbol (en un templete por ejemplo) y por lo tanto la integridad de la señal es adecuada.

Mangueras y Paquetes de Mangueras

Esta área es una de las más críticas en cualquier sistema de control. Los costos de fabricación e instalación, el riesgo de daño externo y las fallas en el servicio son todos los problemas que requieren ser resueltos. También, el número y tamaño de las mangueras deberá ser minimizado para reducir costos e incrementar la confiabilidad. La duplicidad es muy importante, ya que se evitan pérdidas de producción en el caso de que una manguera se dañe.

El costo para la construcción de líneas umbilicales es importante, sin embargo, rara vez se considera. El costo de instalación de líneas umbilicales excede por mucho al costo real de las líneas umbilicales. Similarmente, el precio de las líneas umbilicales constituye un porcentaje limitado del precio total del sistema de control.

Cuando se especifica un paquete de mangueras de control se aplica el siguiente criterio:

- Reducir el número de mangueras
- Incluir repuestos
- Reducir el diámetro del paquete
- Reducir el número de empalmes o juntas
- Proteger el paquete
- Especificar un factor de seguridad
- Control de calidad a las mangueras
- Prueba a las mangueras

Un problema técnico, el cuál existe principalmente para los sistemas hidráulicos, es el tiempo de respuesta.

El retraso en la señal de respuesta, debido a la expansión volumétrica de la manguera, se puede reducir especificando correctamente el tipo de manguera a utilizar y realizando un diseño previo a la fabricación. Sin embargo, el efecto puede tomar poca importancia cuando se utilizan sistemas electrohidráulicos con acumuladores submarinos.

El tiempo de respuesta sigue una curva como la mostrada en la Figura III.10, donde se consideró una distancia de 6 kilómetros de longitud y fluido base agua.

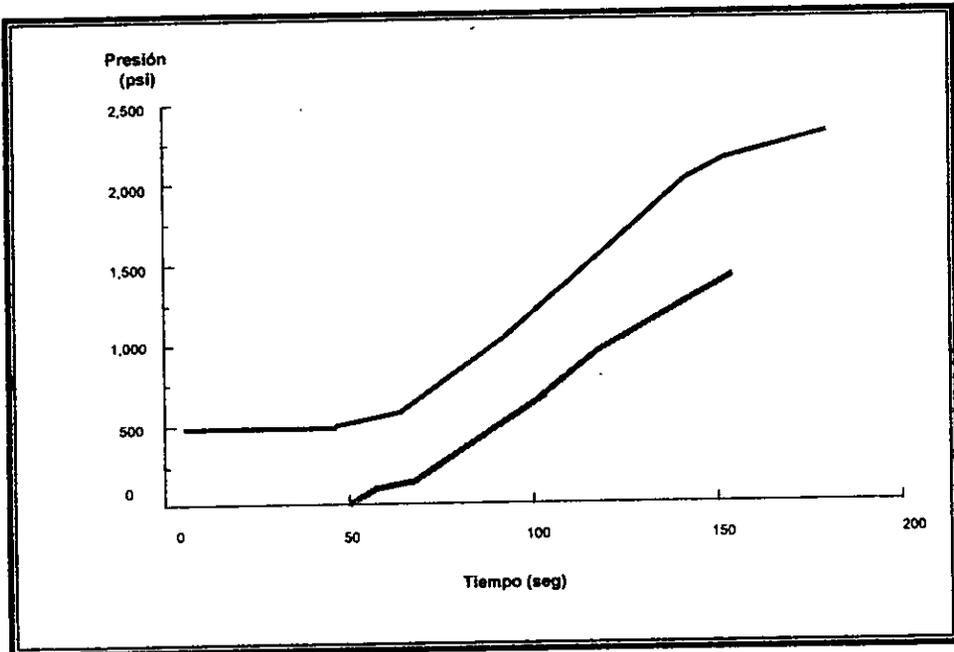


FIGURA III.10 TIEMPOS TÍPICOS DE RESPUESTA PARA DOS MANGUERAS EN UN SISTEMA DE CONTROL ELECTROHIDRÁULICO.

Como una alternativa al uso de mangueras, se pueden utilizar líneas umbilicales con núcleo de metal. Sin embargo, la operación de éstas líneas requiere extremo cuidado en su manejo y sobre todo se debe evitar exponerlas a gran tensión, lo que ocasiona un costo adicional durante la instalación.

III.9 Materiales

El costo de materiales utilizados en los módulos de control submarinos es mínimo e irrelevante cuando se compara con las consecuencias de falla por corrosión.

El uso de acero inoxidable de baja corrosión se ha incrementado en los equipos submarinos. Comúnmente se utiliza acero monel, especialmente para conexiones hidráulicas y de tuberías, aunque también se ha utilizado el Ferriumis, el cual es un material que tiene propiedades excepcionales de resistencia a la corrosión.

La corrosión superficial es solo uno de los aspectos del problema. Los agrietamientos y picaduras por corrosión pueden afectar los metales más comúnmente utilizados.

La Tabla III.2 muestra que algunos materiales tienen en general buena resistencia a la corrosión superficial, pero pueden tener baja resistencia a los agrietamientos y picaduras por corrosión.

Cuando se selecciona material para ser utilizado en instalaciones submarinas, se debe considerar la corrosión electrolítica, ya que ésta afecta a los diferentes metales cuando están en contacto con el agua o cercanos a ella.

TABLA III.2 INDICACIÓN DE CORROSIÓN DE METALES EN AGUA SALADA

Metal	Corrosión General	Picaduras	Agrietamiento
Acero Inoxidable	VHR	VLR	VLR
Aleación Cromo-Níquel	VHR	HR	LR
Aleación Cobre-Níquel 400	HR	HR	HR
Aleación Cobre-Níquel -Hierro	HR	VLR	VHR
Acero al Carbón	VLR	HR	HR

VHR - Muy Alta Resistencia a la Corrosión
 HR - Alta Resistencia a la Corrosión
 LR - Baja Resistencia a la Corrosión
 VLR - Muy Baja Resistencia a la Corrosión

El empleo de materiales no metálicos, como fibra de vidrio reforzada, placas de plástico adecuadamente balanceadas (llenas de aceite), etc., han logrado un buen desempeño en las diferentes aplicaciones utilizadas.

III.10 Fluidos de Control

La selección de un fluido de control depende de la configuración del sistema de control, donde el fluido seleccionado puede ser base aceite o base agua.

Una de las ventajas que presenta el utilizar un fluido base agua, es su baja viscosidad, la cual mejora los tiempos de respuesta. Además, debido a que son base agua y biodegradables, pueden ser descargados en el mar, eliminando así la necesidad de utilizar una línea de retorno.

Por otro lado, las razones para seleccionar un fluido base aceite son:

- Estabilidad a largo plazo
- Capacidad de absorber arriba del 5 % de agua sin degradación
- Características de lubricación
- Inhibición del crecimiento biológico

Por otra parte, cuando se utiliza un sistema base aceite se requieren cambios mínimos en el fluido, mientras que cuando se utiliza un fluido base agua continuamente tienen que ser reemplazados.

Existen diferentes tipos y mezclas de fluidos de control base agua, como los fluidos con aditivos de glicol que son los más aceptados para los sistemas de control. Estos pueden contener arriba del 50 % de glicol y 5 % de aditivos. El balance se realiza con agua ionizada.

El paquete de aditivos normalmente contiene inhibidores de corrosión, lubricantes, reductores de espuma e inhibidores del crecimiento microbiológico.

Los aditivos deben estar balanceados para asegurar que la mezcla resultante es compatible con el agua de mar y tener propiedades físicas como las mostradas en la Tabla III.3. Las gráficas de estabilidad están dadas para el mismo fluido (ver figura III.11 y III.12).

**TABLA III.3 PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS DE UN FLUIDO DE CONTROL
BASE AGUA CON 40 % DE GLICOL**

Viscosidad (cS)	a	-20 °C	10.5
	a	0 °C	7.2
	a	20 °C	5.2
	a	40 °C	4.2
Punto de Fluidez (°C)			-25
Gravedad Específica (a 20 °C)			1.055
pH			9.3
Punto de Inflamación			Ninguno
Punto de Ignición			Ninguno
Nivel de Limpieza			NAS1638
Módulo Volumétrico (N/m ²)			2.3X10 ⁹

Los fluidos acuosos pueden aplicarse con viscosidades muy bajas (aproximadamente 1 centistoke a 4 °C) y tienen una compresibilidad de menos de la mitad, con respecto a la de un aceite. Cuando se realiza una mezcla de aditivos correctamente, los fluidos utilizados son mucho más tolerantes a la adición de agua de mar.

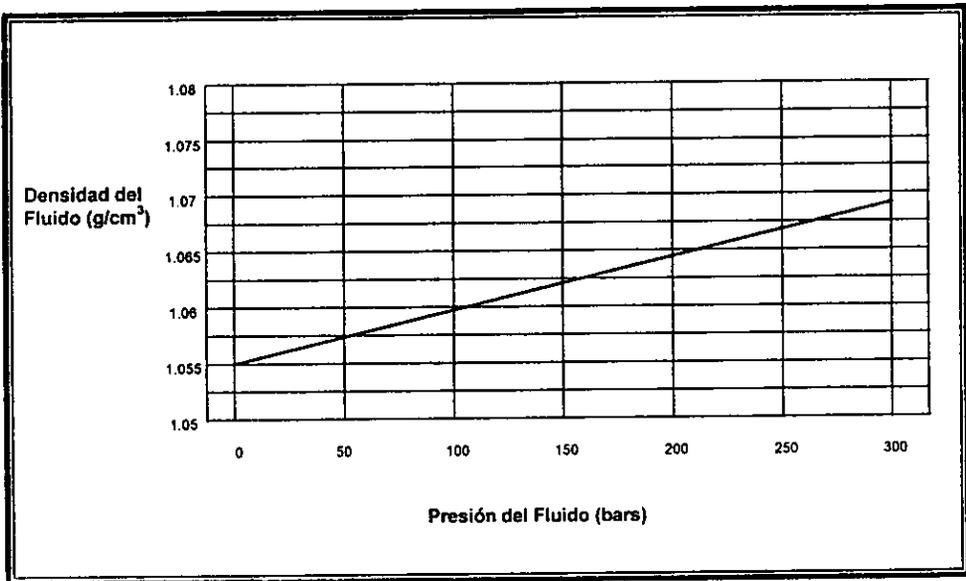


FIGURA III.11 RELACIÓN DENSIDAD - PRESIÓN PARA UN FLUIDO DE CONTROL CON 40% DE GLICOL

Los fluidos acuosos se han utilizado por muchos años como el medio para manejar el sistema de preventores. La principal desventaja en el uso de éstos fluidos diluidos, es mantener un adecuado proceso de control y proporcionar estabilidad de la mezcla final de fluido.

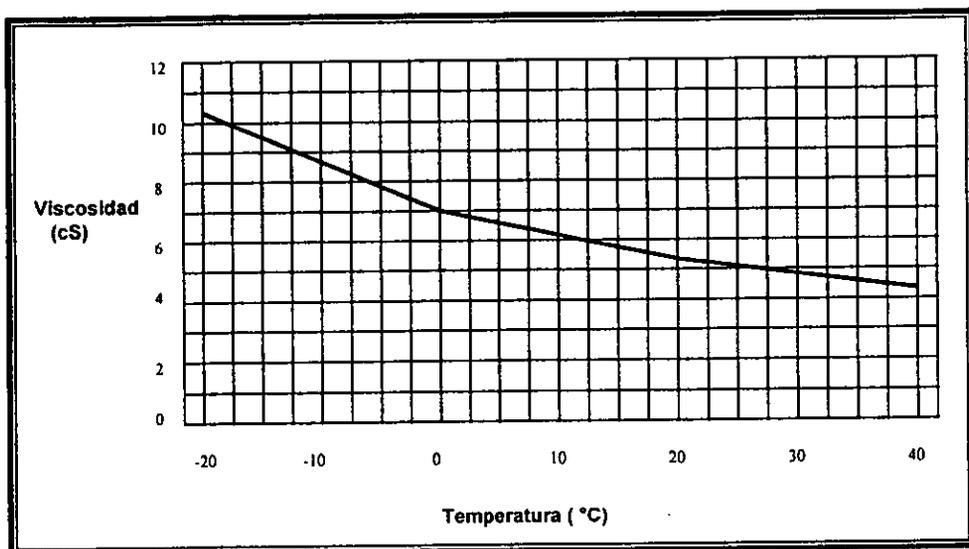


FIGURA III.12 RELACIÓN VISCOSIDAD - TEMPERATURA PARA UN FLUIDO DE CONTROL CON 40 % DE GLICOL

III.11 Requerimientos de Viscosidad y Temperatura

El factor más importante para determinar la velocidad de respuesta en grandes longitudes de un sistema de control hidráulico remoto es la viscosidad del fluido de operación. Para muchos casos, la viscosidad deberá ser tan baja como sea posible.

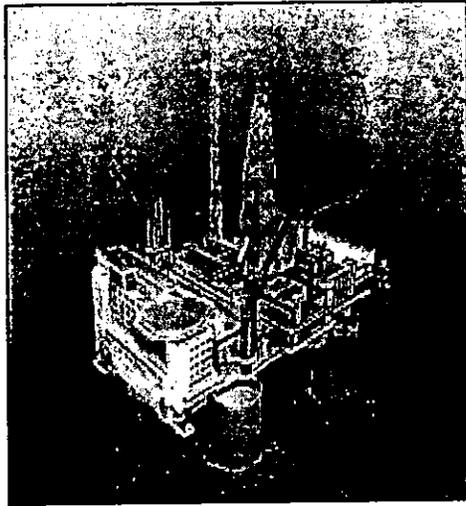
Virtualmente todos los fluidos de control submarino se componen de aditivos en solución acuosa, junto con glicol etileno para prevenir el congelamiento del fluido en aquellas partes del sistema expuestas a temperaturas bajo cero. Las áreas del sistema submarino a una profundidad de 100 m aproximadamente, pueden considerarse que están a una temperatura estable de 4 °C (39 °F).

Donde existen ambientes que nunca bajan de cero, no se requiere glicol y el fluido de operación tendrá una viscosidad de aproximadamente 1 centistoke. Sin embargo, para ambientes de baja temperatura, el porcentaje de glicol que se adiciona al fluido se incrementa.

Por lo tanto, como el glicol es de mayor viscosidad que el agua, la viscosidad total del fluido se incrementa hasta un máximo de 10 centistokes para un punto de congelamiento de menos de 60 °C. Por esto, es importante conocer con exactitud las condiciones de operación para optimizar el tiempo de respuesta mientras se evita el congelamiento.

CAPÍTULO IV

OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL



En el presente Capítulo se plantean los procedimientos de operación de los sistemas de control hidráulicos y electrohidráulicos tratados en este trabajo. Dichos procedimientos operativos consisten de la descripción, instalación y el arranque de los mismos.

Asimismo, se presentan desde un punto de vista práctico, de tal manera que, a partir de un ejemplo para el caso del proceso de perforación, se puede generalizar al resto de las aplicaciones. Es decir, la aplicación para operaciones de terminación, reparación y mantenimiento de pozos, así como para aquellas operaciones de producción en los que se involucran la apertura o cierre de los diversos componentes de los sistemas de control.

Sin embargo, la particularidad de la ejemplificación no quita generalidad de la aplicación a todos los demás sistemas. Esto quiere decir que, esquemáticamente se da la idea de la operación de los sistemas de control, en el ámbito de su uso en la explotación de hidrocarburos.

Posteriormente, se considera la operación de los pods de control, la recomendación para el uso del fluido de control y la importancia que tiene la confiabilidad de un sistema.

IV.1 Instalación y Arranque del Sistema de Control Hidráulico

El siguiente procedimiento resume en términos generales cuál es la forma de instalar un sistema de control hidráulico y no contempla los detalles mínimos entre paso y paso.

La instalación y arranque del sistema de control, son procedimientos operacionales que requieren realizarse con extremo cuidado, ya que de éstas operaciones depende el éxito o fracaso que tendrá el funcionamiento del sistema de control durante el proceso de perforación.

Procedimiento de instalación

1. Colocar el equipo de control en el lugar deseado ya sea en la plataforma, barco de perforación o producción.
2. Conectar el suministro de aire, agua y de energía eléctrica en el equipo de control.
3. Conectar las mangueras hidráulicas de control al carrete de mangueras. Para el caso de la perforación, conectar las mangueras del sistema azul al carrete de mangueras azul y las mangueras del sistema amarillo al carrete de mangueras amarillo.
4. Conectar la caja de empalme al pod de control al final del paquete de mangueras. Conectar las mangueras del carrete con el pod de control.
5. Llenar el depósito de aceite soluble con agua lubricante. Utilizar el lubricante apropiado.
6. Llenar el depósito de fluido de operación con fluido hidráulico.
7. Purgar las líneas.

Procedimiento de Arranque

1.- Aislar los acumuladores.

2.- Operar los siguientes controles en el panel de control del perforador.

- a).- Colocar la presión piloto del conjunto de preventores a cero presión atmosférica, moviendo la perilla del regulador piloto de aire al contrario de las manecillas del reloj. Observe la presión en el medidor de presión del preventor.
- b).- Colocar la presión piloto del preventor anular a cero, moviendo la perilla del regulador piloto de aire al contrario de las manecillas del reloj. Observe la presión en el medidor de presión del preventor anular.
- c).- Colocar la presión del panel a cero, moviendo la perilla del regulador piloto de aire al contrario de las manecillas del reloj. Observe la presión en el medidor de presión del panel.
- d).- Mover la manija de la válvula del panel para el pod azul del conector hidráulico del riser a la posición RETRACT.
- e).- Mover la manija de la válvula del panel para el pod amarillo del conector hidráulico del riser a la posición RETRACT.
- f).- Mover la manija de la válvula del panel para el pod azul del conector hidráulico del conjunto de preventores a la posición RETRACT.

g).- Mover la manija de la válvula del panel para el pod amarillo del conector hidráulico del conjunto de preventores a la posición de RETRACT.

h).- Mover las manijas de las demás válvulas a la posición central.

3.- Abrir las válvulas de compuerta en las líneas de succión de las bombas triplex.

4.- Abrir las válvulas en las líneas de descarga de las bombas.

5.- Arrancar las bombas triplex moviendo el interruptor de control de encendido a la posición AUTO.

Nota: Las bombas pueden necesitar ponerse en condiciones abriendo la válvula principal de drene hasta que las bombas operen adecuadamente.

6.- Incrementar la presión del acumulador a 3,000 psi (211 Kg/cm²). Observe la presión en el medidor de presión del acumulador en el panel de control del perforador.

7.- Operar los siguientes controles en el panel de control del perforador.

a). Colocar la presión piloto del conjunto de preventores a 500 psi (35 Kg/cm²).

b). Colocar la presión piloto del preventor anular a 500 psi (35 Kg/cm²).

c). Colocar la presión del panel a 500 psi (35 kg/cm²).

8.- Purgar todas las líneas piloto del pod de control.

IV.2 Principio de Operación de un Sistema de Control Electrohidráulico

Funciones de Control

1. La operación inicia presionando los botones en el panel del perforador. Este envía una señal eléctrica a la unidad central de control.
2. El multiplexor superficial examina las funciones de control para cerrar los interruptores y envía una señal al carrete de cable multiplexado.
3. En el carrete, la señal pasa a través de conductores y del cable multiplexado submarino hacia el multiplexor submarino.
4. El multiplexor submarino almacena la señal y la regresa a través del cable multiplexado a la unidad central de control.
5. En la unidad central de control el multiplexor superficial compara la señal.
6. Si la señal es idéntica, el multiplexor envía otra señal.
7. La señal viaja al multiplexor submarino y después al pod electrohidráulico.
8. Se energiza un solenoide en la caja de empalme electrohidráulica, enviando una señal hidráulica a una válvula piloto.

9. La válvula piloto se acciona, enviando fluido de control al preventor.

Funciones Analógicas (Medidas de Presión)

- a).- Las señales de presión, inician en un transductor de presión diferencial montado en el pod electrohidráulico. Los transductores convierten la presión hidráulica del fluido en señales eléctricas y las envían a la unidad multiplexada submarina.
- b).- La unidad multiplexada submarina convierte la señal y la envía a través del cable multiplexado submarino a la unidad multiplexada superficial.
- c).- Finalmente, la unidad multiplexada superficial convierte la señal y la envía a los paneles para ser leída por los medidores eléctricos.

IV.3 Operación de los pods de control

El reemplazo del pod de control usando una herramienta instaladora el paquete de trabajo requiere dos viajes, uno para remover el equipo dañado y otro para instalar el equipo que lo reemplazará. El reemplazo del pod de control toma únicamente de 30 minutos a una hora, más el viaje al lugar de trabajo y el tiempo que se tarda en la cubierta para examinar el pod viejo antes de instalar el pod nuevo. Una operación de reemplazo típica es a grandes rasgos la siguiente.

1. El ROV (vehículo operado remotamente) transporta la herramienta instaladora al sitio de trabajo y lo conecta en los postes guía.

2. La herramienta cierra el pod.
3. La herramienta afloja la abrazadera del pod, lo levanta y libera los pesos de cambio.
4. El ROV desconecta y retorna a la superficie el pod dañado.
5. El ROV se desacopla de la herramienta instaladora y se realiza una inspección y limpieza. (Operación Opcional).
6. El pod nuevo se arma con la herramienta instaladora.
7. El ROV se acopla a la herramienta instaladora y se realizan las pruebas de funcionamiento final. El ROV se baja a la profundidad de interés y se conecta
8. La herramienta instaladora instala al nuevo pod. Los sellos conectores hidráulicos son probados remotamente desde las instalaciones de operación en superficie.
9. Los pesos de cambio se recuperan, restaurando el peso y el asiento.
10. El ROV se desconecta y retorna a la superficie.

El sistema de herramientas de reemplazo del pod de control consiste de 4 componentes principales:

1. El pod de control y la línea submarina.
2. La herramienta instaladora de reemplazo del pod.

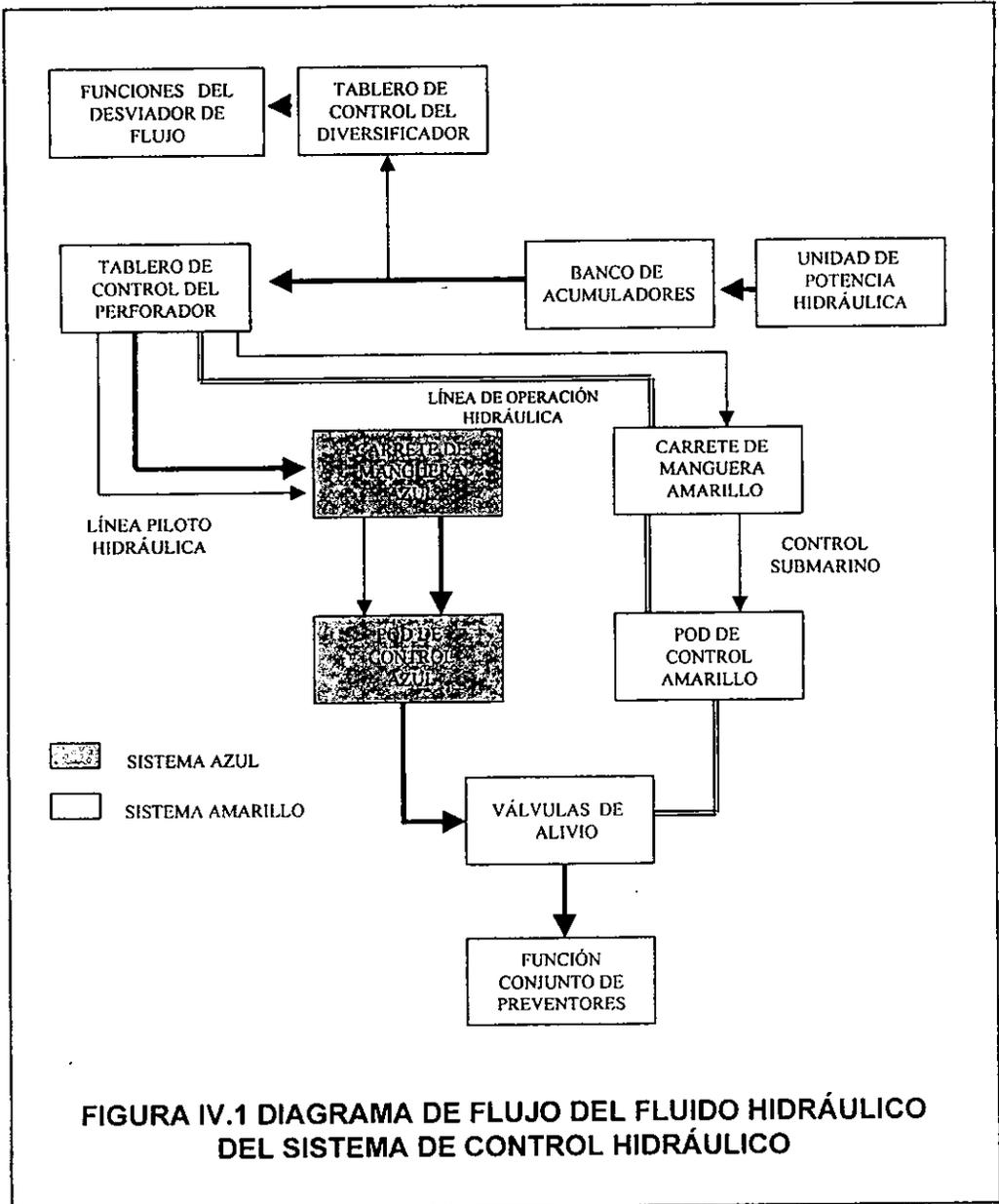
3. La interfase con patín.
4. Un vehículo operado remotamente.

IV.4 Recomendaciones para el Fluido de Operación

El sistema de control utiliza una mezcla de agua dulce y lubricante. Se puede utilizar el lubricante mezclado con agua dulce y anticongelante para formar el fluido de operación hidráulico.

La operación de los sistemas hidráulicos depende del flujo del fluido hidráulico de control. La Figura IV.1 nos muestra el circuito del fluido hidráulico a través del sistema de control. El fluido hidráulico pasa de la unidad de potencia hidráulica al banco de acumuladores. De ahí sigue por el tablero del desviador y por el tablero del perforador.

Dentro del tablero de control del perforador el flujo del fluido hidráulico se divide en dos corrientes. Una fluye hacia un circuito de señales hidráulicas piloto y otra hacia el circuito de operación. El circuito de señales hidráulicas piloto dirige las instrucciones a través del tablero y de las válvulas hacia un múltiple, éste a su vez dirige las señales hidráulicas piloto hacia la manguera azul o amarilla en dos carretes a través de líneas por lo general de $\frac{3}{16}$ pg. En el circuito de operación el fluido hidráulico se convierte en fluido de control y también se manda hacia los carretes y de estos se encausa por la línea de 1 pg. Sin embargo, el fluido hidráulico de operación fluye solamente por una manguera del carrete a la vez.



En el tablero de selección, se elige el controlador azul o amarillo para entrar en operación. Si se selecciona en el tablero del controlador el de color azul, el fluido hidráulico de operación sigue el camino de la manguera de color azul en el carrete y si en el tablero de selección se elige el controlador de color amarillo, el fluido hidráulico de operación fluye hacia la manguera de ese color en el carrete.

El paquete de mangueras de control conecta la manguera azul con el controlador azul y la manguera amarilla con su controlador amarillo. Dentro de cada paquete de mangueras se encuentra una línea piloto de $\frac{3}{16}$ pg de diámetro que transporta las señales hidráulicas hacia el regulador de válvulas y los conectores hidráulicos en el controlador.

También cada paquete de mangueras posee una línea a través de la cual fluye el fluido hidráulico de operación. El fluido de operación fluye solamente a través del paquete de mangueras unido al controlador elegido para operar, aunque las señales hidráulicas piloto pueden fluir por ambos pods de control.

Dentro de los pods, las señales hidráulicas piloto operan las válvulas que controlan el flujo del fluido hidráulico de control y lo envían hacia las diferentes partes del conjunto de componentes.

El fluido hidráulico de control fluye del controlador a través de los conectores de la válvula de alivio y de ahí se dirige a los diferentes componentes del sistema o a la parte inferior del riser, sin permitir el paso del fluido al otro controlador.

IV.5 Confiabilidad de un sistema de control

En base al desarrollo de nueva tecnología y al estado del arte, el sistema de control puede ser utilizado en forma segura y confiable durante la vida del sistema que se considera entre 10 y 30 años, dependiendo del tipo de sistema que se utilice. Sin embargo, para lograr la completa confiabilidad del sistema, no solo se requiere conocer cuales son los componentes que están más expuestos a probables fallas, sino que se requiere que constantemente se desarrollen nuevos equipos que proporcionen mayor seguridad al sistema.

IV.5.1 Probabilidad de Falla

Cuando se diseña un sistema de control, es común cuantificar los valores de seguridad y confiabilidad. Estos valores determinan cual será la probabilidad en la cual el sistema se desempeña sin falla para un período por lo general de 5 años, reportando los resultados en porcentaje de falla. Para realizar el cálculo de la confiabilidad, se puede utilizar una curva similar a la que se presenta en la Figura IV.2, la cual incluye dos periodos de vida útil y el porcentaje de falla.

El primer período representa la etapa inicial del sistema. Las fallas ocurren durante este período debido a componentes defectuosos, inadecuado ensamble de los componentes del sistema, problemas de control de calidad, etc. (es normal probar los componentes y el sistema por un cierto período de tiempo antes de la instalación). Lo difícil es evaluar la duración de este período, ya que se requiere tiempo para evaluar cada componente, tomando como ejemplo el caso de

uniones inductivas, se ha encontrado que 48 horas son suficientes para determinar fallas en la etapa inicial.

La mayoría de los componentes electrónicos tienen un promedio constante de fallas después del primer período, pero difiere de un componente a otro, como en el caso de los componentes mecánicos utilizados los cuales presentan mayor probabilidad de falla, tales como las válvulas de control.

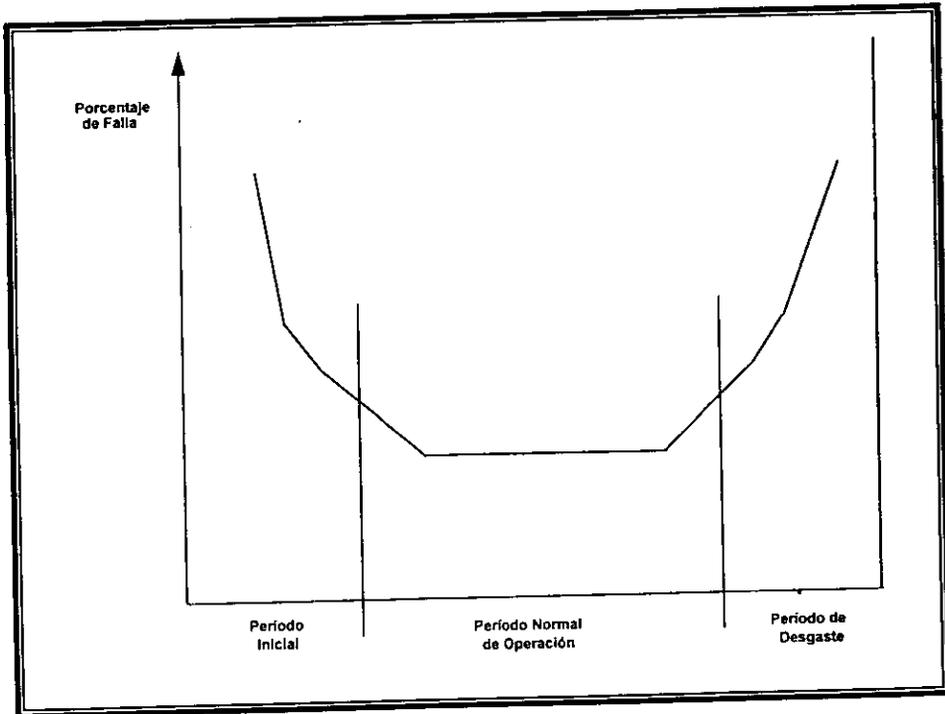


FIGURA IV.2 CURVA DE PORCENTAJE DE FALLA

La probabilidad de falla es dependiente del número de operaciones, involucra el factor de oleaje y otros aspectos tales como corrosión, sobretensión, etc.

Para los componentes críticos, es normal calificarlos de manera independiente de acuerdo a las pruebas que se les realizan, donde se utilizan condiciones que simulen el servicio u operación real. Por ejemplo, se ha encontrado que la vida de una válvula de control es extremadamente dependiente del tipo de fluido utilizado. En algunos casos, la vida de la válvula se ha incrementado 10 veces al utilizar aceite mineral en vez de utilizar fluidos base agua.

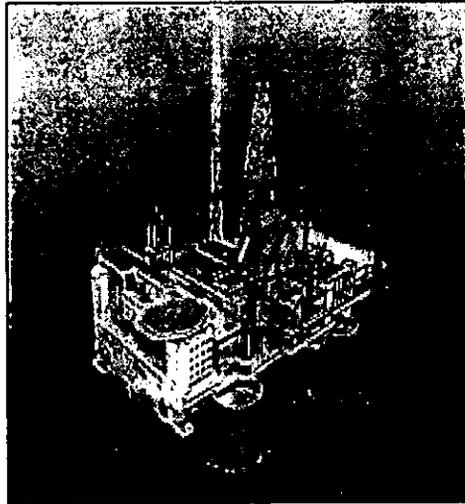
IV.5.2 Análisis de Confiabilidad

Para que el análisis de confiabilidad del sistema de control sea efectivo, se deberá incluir a las líneas de control. Cualquier análisis de confiabilidad inicia con la recolección de datos estadísticos de todo tipo de fallas. Sin embargo, estos datos son particularmente difíciles de obtener en cables submarinos, debido a la variedad de tipos que han sido utilizados y en general a la falta de información de la industria.

Muchos reportes de fallas en el cable pueden ser atribuidos a causas irrelevantes y no tienen significado en un análisis de confiabilidad. Las evaluaciones de confiabilidad deben ser utilizadas como un camino relativo para evaluar una opción con respecto a otra e identificar los puntos débiles en el diseño.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL



En este capítulo se realiza una comparación entre los sistemas de control, dependiendo de sus características y aplicaciones.

Los parámetros a evaluar serán:

- ✓ Distancia del panel de control al actuador
- ✓ Número de unidades a controlar
- ✓ Confiabilidad del sistema
- ✓ Economía
- ✓ Componentes principales de los sistemas

V.1 DISTANCIA ENTRE EMISOR Y RECEPTOR

Aunque es costumbre clasificar a los sistemas empleados en la explotación de yacimientos en aguas profundas, en función de la longitud del tirante de agua, en los sistemas de control esta no será la única distancia a considerar, ya que no sólo la distancia vertical estará involucrada en la buena o mala respuesta del sistema de control, sino también se debe considerar el desplazamiento horizontal.

Por ejemplo, si tenemos en perforación un pozo en un tirante de 200 m de agua, con su conjunto de preventores en el fondo marino, pero a su vez, con el mismo sistema de control de pozos se está manejando el árbol de válvulas de un pozo en producción colocado a una distancia de 700 m, la longitud de diseño será de 900 m, y en función de esta última se hará la selección.

Para poder realizar la comparación de los sistemas de control de pozos, se ha considerado evaluar el tiempo de respuesta de una sola aplicación, y si esta es en menos de cinco minutos se considera aceptable, mayor tiempo ya no será aplicable.

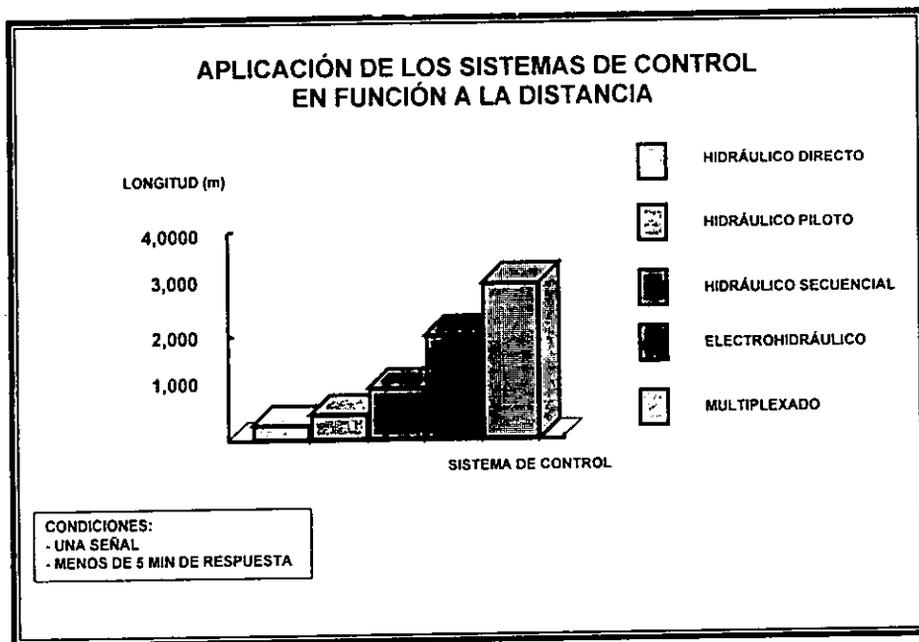
El sistema hidráulico directo, tendrá un tiempo de respuesta de cinco minutos o menos en aplicaciones de hasta 300 m. En estos sistemas el tiempo de respuesta se incrementa en forma exponencial conforme se incrementa la longitud.

Para ampliar el rango de aplicación, se han incluido válvulas piloto accionadas por un acumulador instalados en el equipo submarino. De esta forma, se incrementa la velocidad de respuesta y se amplía el rango de aplicación, lo que hace al sistema hidráulico con válvulas piloto aceptable hasta una distancia de 600 m.

El empleo de válvulas secuenciales, también accionadas con acumuladores submarinos, permiten incrementar la velocidad de operación. El sistema hidráulico secuencial tiene un rango de aplicación de hasta 1,000 m, en donde se obtendrá respuesta en menos de cinco minutos para operar el dispositivo accionado.

Los sistemas electrohidráulicos, los cuales incluyen comunicación eléctrica para accionar los dispositivos a control remoto, incrementan notablemente la velocidad de respuesta de los dispositivos. El rango de aplicación de estos sistemas es de hasta 2,000 m.

Finalmente, los sistemas de control electrohidráulicos multiplexados son los más complejos y a su vez los de mayor alcance, teniéndose reportes de su aplicación de hasta 3,000 m, con lo que se consideró éste su alcance de acción. En realidad, la aplicación de este sistema de control es en distancias aún mayores.



**FIGURA V.1 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE
POZOS EN FUNCIÓN A LA DISTANCIA**

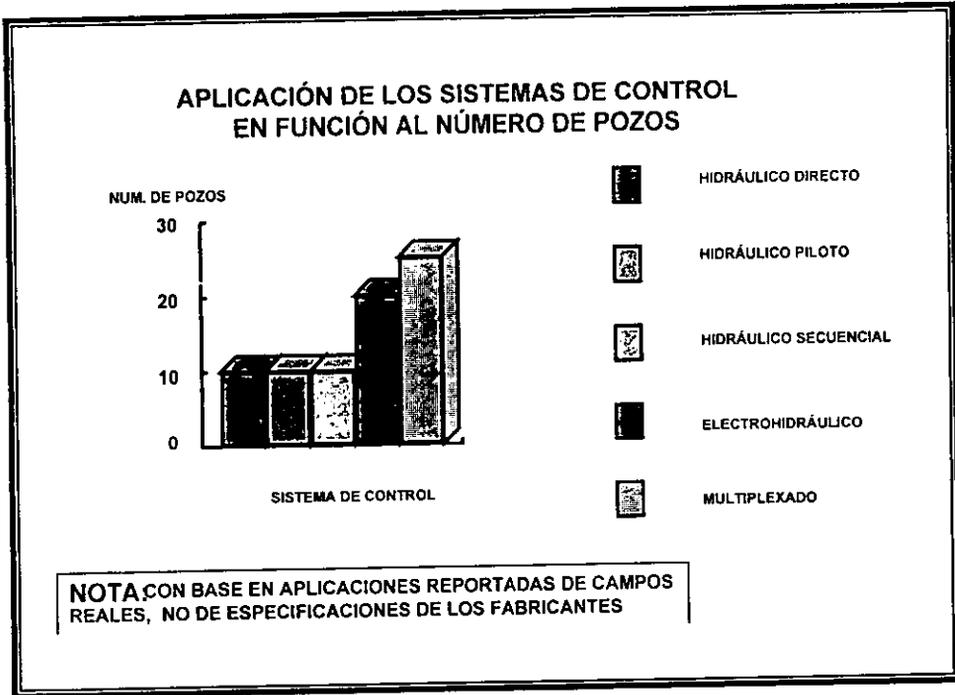
V.2 NÚMERO DE APLICACIONES DEL SISTEMA

Un aspecto fundamental en la selección del sistema de control de pozos es el número de aplicaciones en los que se va usar. Esto determinará la efectividad del sistema.

Con el fin de poder establecer una comparación más representativa, considérese un número de diez componentes a operar (preventores, válvulas, controladores de presión, estranguladores, pod de control, etc.).

Debido a que los fabricantes y proveedores de equipo, han planteado el número de aplicaciones en forma optimista y siendo que en realidad los resultados se muestran de un 80 al 90 % menos efectivos, se han tomado los como estándar los reportes de publicaciones y artículos técnicos de compañías y empresas que han utilizado estos sistemas.

Se encontró que en los sistemas hidráulicos (directo, piloto y secuencial) el número de pozos máximo confiable es diez. Los sistemas electrohidráulicos presentan una confiabilidad aceptable hasta veinticinco pozos. El sistema multiplexado ha sido aplicado en forma óptima y exitosa en conjuntos de alrededor de treinta pozos, Figura V.2.



**FIGURA V.2 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL EN
FUNCIÓN AL NÚMERO DE POZOS**

V.3 CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

El empleo de un sistema de control depende en gran medida de qué tanta confianza de operación tendrá. En el Capítulo IV se presentaron algunas nociones confiabilidad de un sistema de control.

En general se puede decir que cuando el sistema es seleccionado en forma adecuada en función a la distancia o tirante de agua, al tiempo de respuesta esperado y al menor costo, la confiabilidad del sistema depende únicamente del número de aplicaciones en que se utilice (o número de pozos).

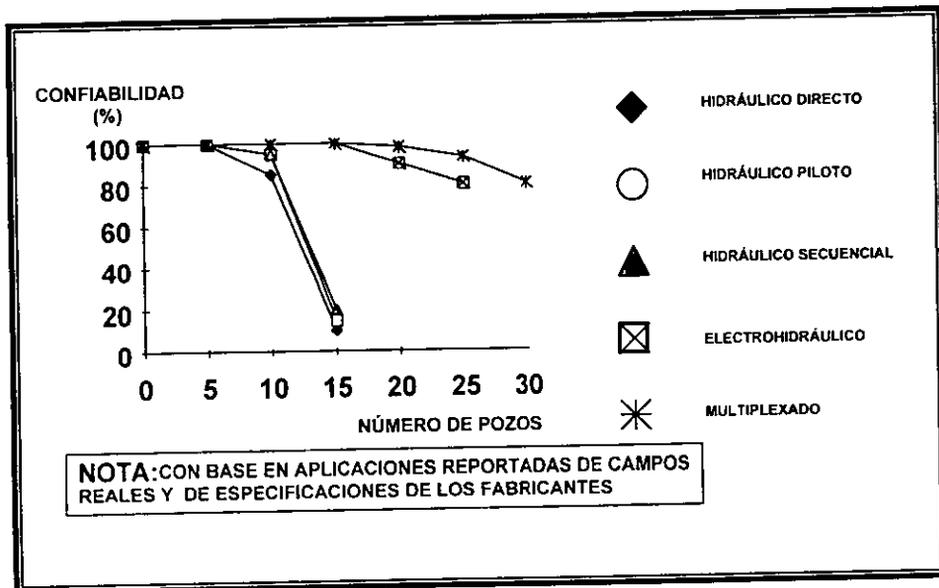


FIGURA V.3 GRADO DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE POZOS

Como se puede observar en la Figura V.3, los sistemas hidráulicos presentan una confianza de operación arriba del 80%, cuando se utilizan de cinco a diez pozos. La confiabilidad para menos de cinco pozos es de casi del 100 %.

La información presentada está basada en aplicaciones reportadas de campos reales en explotación y de especificaciones de los mismos fabricantes.

Para el caso del sistema electrohidráulico, se puede decir que cuando se aplica a esquemas de hasta veinticinco pozos, la confiabilidad se mantiene en un 85 %, aproximadamente.

Finalmente, para el sistema electrohidráulico multiplexado, la confiabilidad se encuentra en el orden del 85 %, en aplicaciones de hasta treinta pozos.

V.4 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Desafortunadamente no existe un reporte de costos de los sistemas de control en publicaciones o bases de información, como los hay para otro tipo de servicios. Esto es debido a que los sistemas de control de pozos se diseñan específicamente para cada situación en particular.

Se ha localizado el precio de sistemas utilizados en ciertas aplicaciones. Sin embargo, estos precios se reportan en forma muy particular, los cuales para ser utilizados en otros casos, por muy similares que sean, requieren estandarizarse en forma independiente.

Por esta razón no existe una clasificación o un promedio del precio de sistemas de control. Es por esto que se ha intentado realizar un análisis cualitativo del costo de estos sistemas como medida comparativa.

Generalmente, el precio del sistema de control aumenta en función de la complejidad del mismo. En base a una aplicación de hasta cinco pozos, lo que asegura la confiabilidad de sistema de menor grado (en este caso el hidráulico directo), y asignando un precio unitario se tiene el siguiente comportamiento:

TABLA V.1 COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Sistema:	Unidades de precio
Hidráulico Directo	1 X
Hidráulico Piloto	1.5 X
Hidráulico Secuencial	1.8 X
Electrohidráulico	3 X
Multiplexado	10 X

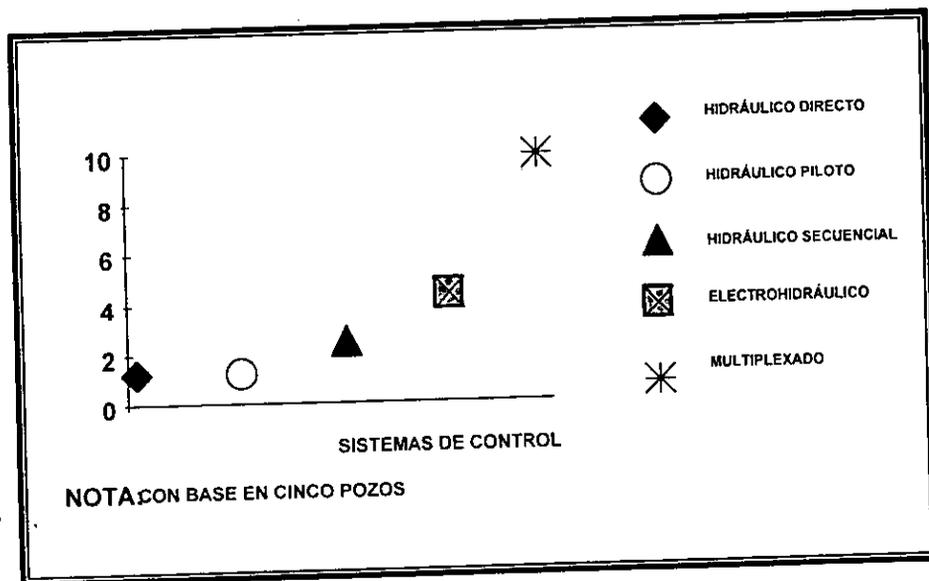


FIGURA V.4 EVALUACIÓN CUALITATIVA DE COSTOS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE POZOS

2.5 COMPARACIÓN ENTRE LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS

A continuación se realiza una comparación entre los componentes de los sistemas de control, donde se ilustran las principales diferencias entre los sistemas de control hidráulico (directo, piloteado y secuencial) y los sistemas de control electrohidráulico (electrohidráulico y multiplexado).

1. Unidad de bombeo hidráulico. La unidad de bombeo y el acumulador de alta presión asociado, proporciona energía hidráulica de 3,000 a 5,000 psi, para la operación de los preventores, válvulas, desviadores y funciones del riser marino. Los sistemas hidráulicos convencionales emplean una válvula de control múltiple montada en la unidad de bombeo hidráulico, donde todas las funciones (excepto para el desviador de flujo, en algunas aplicaciones) pueden ser controladas manualmente desde la localización de la unidad de bombeo por medio de válvulas de palanca actuadora. Las señales hidráulicas piloto de la válvula de control múltiple son transmitidas directamente a través de una manguera piloto umbilical submarina.

Las válvulas de control de palanca actuadora en un sistema hidráulico convencional comúnmente se controlan en forma remota desde el tablero y el panel de control del perforador.

Estos paneles remotos envían señales a los actuadores, los cuales están conectados a la palanca de mano de la válvula de control múltiple de la unidad

de bombeo. Los actuadores y los paneles remotos pueden ser hidráulicos o neumáticos.

Los paneles remotos eléctricos han sido también configurados para los sistemas de control hidráulico convencional. El principio de operación del panel remoto eléctrico es por medio de una señal eléctrica desde cada función del panel donde actúa una válvula solenoidal que impulsa al actuador que pone en operación la válvula de control múltiple.

La unidad de bombeo hidráulico usada en un sistema electrohidráulico y multiplexado es diferente, ya que este no requiere de una válvula de control múltiple, debido a que las señales eléctricas son usadas para controlar las funciones submarinas en lugar de las señales hidráulicas piloto. Esta diferencia de operación trae como consecuencia que existan otras diferencias en el equipo instalado en superficie.

Los paneles de control remoto de un sistema electrohidráulico son exclusivamente eléctricos y no interfieren con la unidad de bombeo hidráulico, para el control y respuesta de todas las funciones submarinas. La capacidad de control manual directo de la válvula de control múltiple de la unidad de bombeo desaparece en un sistema electrohidráulico multiplexado. El efecto de control manual debe ser simulado eléctricamente en un sistema electrohidráulico multiplexado. La segunda y tercera generación de los sistemas deben prescindir completamente de un control manual.

2. **El umbilical y carrete.** Los sistemas de control hidráulico convencionales emplean un umbilical submarino de mangueras múltiples para transmitir las señales hidráulicas piloto enviadas desde la superficie al pod de control hidráulico submarino.

Los dos umbilicales se despliegan desde los carretes de almacenamiento separados, para servicio del equipo de control submarino redundante. Los carretes de almacenamiento de los umbilicales no están equipados con conexiones giratorias hidráulicas para cada una de las mangueras piloto y el control de las funciones submarinas normalmente no es posible con los carretes en movimiento.

Para el caso de los sistemas electrohidráulicos multiplexados se puede decir que estos emplean umbilicales eléctricos en lugar de los umbilicales hidráulicos piloto como resultado de que las estaciones de los carretes pueden ser más pequeñas para una capacidad similar de profundidad de agua.

Adicionalmente los carretes están equipados con anillos eléctricos los cuales permiten controlar las funciones submarinas mientras los carretes están en movimiento durante un descontrol.

3. **Unidad Central de Control.** Esta unidad es única para el sistema electrohidráulico multiplexado y no se requiere en el sistema hidráulico convencional. Además la apariencia física y el funcionamiento de esta unidad es muy diferente entre las tres generaciones de los sistemas electrohidráulicos multiplexados.

La unidad funciona como el centro de control operacional primario para los sistemas de control. La Unidad Central de Control es el nervio central electrónico de la primera generación de los sistemas y virtualmente todos los elementos electrónicos en superficie están localizados dentro de esta unidad.

4. **Caja de Unión Multiplexada.** La caja de unión multiplexada submarina de la primera generación de los sistemas electrohidráulicos multiplexados contenía la electrónica digital para recibir y decodificar comandos desde la superficie, así como también, la electrónica para la transmisión de datos multiplexados a la superficie sobre los umbilicales eléctricos. Además de la electrónica, la caja de unión multiplexada funciona como un accesorio para la terminación del umbilical eléctrico de la superficie. Esta caja contiene un transformador lleno de aceite, el cual reduce el alto voltaje de energía del umbilical a voltajes de operación más bajos para la electrónica submarina y para los equipos eléctricos asociados. La caja de unión multiplexada estaba montada en el riser marino de fondo y empleaban varios cables eléctricos para sujetarse a un modulo adyacente llamado el pod de control electrohidráulico.

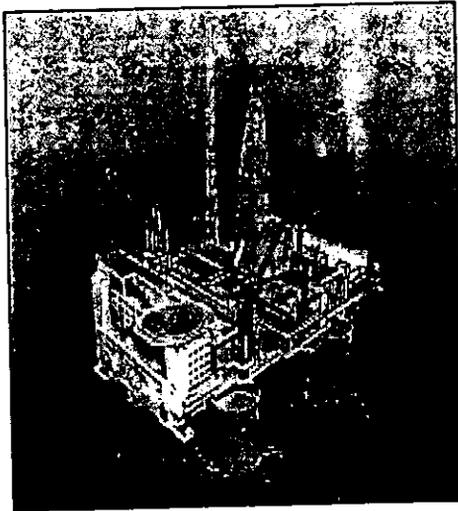
5. **El pod de control electrohidráulico.** El pod de control electrohidráulico de la primera generación estaba montado sobre el riser marino inferior y contenía válvulas piloto solenoidales y transductores de lecturas de presión hacia atrás para el sistema. Un nuevo tipo de válvulas solenoidales de sello de corte se desarrollo para los sistemas electrohidráulicos multiplexados las cuales también han sido usadas en cada una de las generaciones subsecuentes de los sistemas de control debido a sus excelentes características de desempeño.

La válvula sello es tolerante al fluido contaminante y la asociación con la válvula solenoide submarina es altamente eficiente. El solenoide desarrolla aproximadamente 60 libras de fuerza lineal actuando para una energía de consumo de alrededor de 60 watts.

- 6. Conexiones Hidráulicas Multilínea.** Las conexiones hidráulicas multilíneas fueron usada para conectar las señales hidráulicas del pod de control electrohidráulico montado en la parte inferior del riser del fondo con las funciones del conjunto de preventores debajo del riser.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

Los sistemas de control de pozos submarinos son considerados la parte más crítica de una instalación submarina. Los costos representan entre el 3 y 10 % del total de un sistema de explotación. Sin embargo, el número de componentes que constituye un sistema de control para instalaciones complejas, excede en su mayoría al total del resto de los componentes submarinos.

Es importante conocer los diferentes sistemas de control que pueden ser utilizados en la industria petrolera para seleccionar y utilizar el equipo de control aplicable a las características y necesidades del pozo y así garantizar la seguridad del personal, del medio ambiente y del equipo de perforación utilizado. Existen cinco tipos de sistemas de control utilizados para la operación de los sistemas submarinos, los cuales son:

- ✓ Hidráulico Directo
- ✓ Hidráulico con Válvulas Piloto
- ✓ Hidráulico Secuencial
- ✓ Electrohidráulico
- ✓ Electrohidráulico Multiplexado

La selección de un sistema de control adecuado, necesita de una especificación clara de cada uno de los requerimientos operacionales del campo.

Las aplicaciones para los sistemas de control submarinos pueden ser en cabezales, conjuntos de preventores, múltiples de válvulas, árboles, actuadores submarinos, etc. Además, facilita la operación desde la superficie de válvulas, estranguladores y equipos para terminaciones, templetos, múltiples de flujo y líneas de flujo submarinas, así como en la recuperación de información.

Los requerimientos operacionales del campo para seleccionar un sistema de control son:

- La distancia máxima entre emisor y receptor.
- El tirante de agua.
- La temperatura y su distribución.
- Condiciones ambientales (corrientes, oleaje, vientos).
- Presencia de ambientes corrosivos.
- Número de componentes y/o pozos a operar.

Una vez realizada la investigación sobre los costos, número de funciones, rangos operacionales, formas de operación, etc. Uno de los parámetros más importantes que deben tomarse en cuenta es el de tiempo de respuesta.

El tiempo de respuesta, es el tiempo que tarda la señal en llegar del emisor al receptor, y así poder realizar la función para la que fue enviada la señal. Por otra parte, es importante mencionar que si se requiere un tiempo de respuesta menor, el costo aumentará, ya que:

- a).- Si la capacidad de velocidad de respuesta, se requiere que sea mayor, el sistema de control a utilizar será más complejo.

- b).- Mientras mayor sea el número de funciones a controlar, mayor será el número de líneas umbilicales requeridas, en consecuencia también se incrementa el costo.

Por otra parte, para la selección y metodología, puede apoyarse en el orden de los siguientes puntos.

- 1).- Calcular la longitud de diseño y en base a esta, seleccionar el sistema de control adecuado para una velocidad de respuesta eficiente.

- 2).- Ver cual es número de variables que desea controlar (5 pozos, 10 pozos, etc.) para seleccionar el sistema de control confiable para este caso.

- 3).- Hacer un análisis de rentabilidad muy detallado de cada uno de los sistemas de control que hayan cumplido con los puntos anteriores, para así determinar en cuanto a costos el sistema de control más óptimo para cumplir con lo cometido.

Los sistemas de control no son opcionales. Son los únicos que ofrecen seguridad al realizar cualquier operación en aguas profundas, lo cual para la industria es irrevocablemente un compromiso.

RECOMENDACIONES

En las etapas de planeación, diseño y selección de un sistema de control debe optarse en lo posible por los sistemas que reúnan las características de sencillez, economía y factibilidad. Es decir, el mejor sistema debe ser lo más sencillo posible. La sofisticación no siempre garantiza seguridad y mucho menos economía.

Por otro lado, la economía debe ser un compromiso determinante entre el sistema técnicamente más eficiente y seguro, al menor costo posible. Pero no deben sacrificarse ni eficiencia, ni seguridad a fin de obtener una reducción por sustancial que ésta sea. El costo de un equipo se justifica con los beneficios de la producción y con la diferencial del costo entre un equipo y otro.

La factibilidad cierra el círculo entre calidad y excelencia técnico-económica; es decir, completa las características adecuadas de selección de un equipo. No podría seleccionarse un equipo económico y simple si este no fuera factible.

De acuerdo al resultado de los análisis realizados a la información técnica de los sistemas de control y considerando el estado del arte de la tecnología de terminación de pozos submarinos, así como también en base a las conclusiones anteriores, se pueden hacer las siguientes recomendaciones:

- Antes de implantar un sistema de control, se deben conocer las características y necesidades del pozo, para garantizar la seguridad del

personal, del medio ambiente y del equipo de control utilizado, así como la funcionalidad y eficiencia.

- Para brindar mayor confiabilidad, se deben probar los componentes y el sistema de control a utilizar por un período de tiempo de por lo menos 48 horas antes de su instalación, con esto se reduce significativamente el período de falla inicial.
- En el caso del uso de componentes críticos, realizar pruebas a condiciones que simulen el servicio y operación real.
- Como un concepto de redundancia, aplicar la duplicidad de umbilicales, ya que se evitan pérdidas debido a la suspensión de la producción, en el caso de que un umbilical se dañe.
- Utilizar fluido de control base agua, ya que su baja viscosidad, mejora los tiempos de respuesta. Además, el fluido es biodegradable y puede ser descargado en el mar, eliminando así la necesidad de utilizar una línea de retorno.
- Utilizar aditivos compatibles con el fluido de control para evitar emulsiones que provoquen aumento en el tiempo de respuesta.
- Utilizar material con alta resistencia a la corrosión en conexiones hidráulicas y de tuberías, preferentemente acero monel.

- Para una selección adecuada del sistema de control a utilizar, se debe considerar el tiempo de respuesta (menos de 5 minutos) para una sola aplicación y la longitud de diseño. En base a éstos parámetros y a la confiabilidad del sistema, se recomienda:
 - Utilizar un sistema hidráulico directo para aplicaciones de control de hasta 300 m.
 - Para un sistema con válvulas piloto es aceptable hasta una distancia de 600 m.
 - El sistema hidráulico secuencial se puede utilizar para un rango de aplicación hasta 1,000 m.
 - Utilizar un sistema electrohidráulico para un rango de aplicación hasta 2,000 m.
 - Para el caso de los sistemas hidráulicos multiplexados se pueden utilizar hasta 3,000 m.
- Si se considera para la selección del sistema el tiempo de respuesta (óptimo de 5 a 10 minutos) y la longitud de diseño. En base a éstos parámetros, para la operación, se recomienda:
 - Utilizar un sistema hidráulico directo para aplicaciones de control relativamente cortas o menores a 3,000 m.

- Para distancias alrededor de 3,500 m, es conveniente utilizar un sistema de control con válvulas piloto.
- El sistema de control hidráulico secuencial se puede utilizar en distancias de aplicación del orden de 4,500 m.
- Para distancias arriba de 4,500 m, se recomienda utilizar un sistema de control electrohidráulico o electrohidráulico multiplexado. Además, éstos sistemas reducen los requerimientos de espacio en plataforma.
- Finalmente, una recomendación importante al presente trabajo consiste en que este debe difundirse hacia las áreas operativas de perforación, terminación y reparación de pozos, ya que contiene aspectos técnicos de gran interés que pueden utilizarse como un análisis preliminar en la selección de equipo y servicios, durante la etapa de planeación y diseño de un sistema de control de pozos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **CRITICAL POINTS FOR THE PROJECT OF VERY DEEP SUBSEA COMPLETIONS**
J.M. Formigli Filho O.J.S Ribeiro Petrobrás.
OCT 5809
 2. **A NEW APPROACH TO SUBSEA INTERVENTION**
K. Höglund, AAB-Atom Advanced Systems y E. Nesse, Statoil A/S.
OCT 5728
 3. **THE UNDERWATER PRODUCTION SYSTEM (UPS).**
E.J.O' Brien III, Mobil R&D Corp. y T. Hetland, Statoil A/S
OCT 5883
 4. **SUBSEA SYSTEMS - SUBSEA BOP STACKS.**
Manual Cameron 695
 5. **DRILLING CONTROL SYSTEMS**
Subsea BOP Hydraulic Control System.
Manual Cameron 701
 6. **SUBSEA PRODUCTION COMPONENTS**
Hydraulic Tubing Hanger.
Subsea Completion Riser.
Manual Cameron 744 - 750
 7. **SUBSEA COMPLETION COMPONENTS**
Subsea Completion Riser.
Manual Cameron 752.
 8. **CONTROL SYSTEMS FOR SUBSEA COMPLETIONS**
Installation/Workover Control System.
Manual Cameron 754
 9. **OFFSHORE DRILLING SYSTEMS**
SG Subsea Wellhead System.
Vetco Gray 3642 - 3647
 10. **SUBSEA PRODUCTION SYSTEMS**
Vetco Gray 3648 - 3652-1
 11. **DEEPWATER DRILLING**
19.Chita y A.L. Cordeiro, Petrobrás S.A.
OTC 5808
-

-
12. **SUBSEA AND SURFACE WELL CONTROL SYSTEMS AND PROCEDURES ON THE "ZANE BARNES"**
G.L. Marsh, Shell Offshore Inc. y J.A. Altermann, Reading & Bates Drilling Co.
OTC 5627
 13. **THE SUBSEA SYSTEMS OF THE ARGYLL AREA FIELDS**
D.S. Hamilton Brothers Oil & Gas Ltd. Burnett, Cofflexip (U.K) Ltd.
OTC 5689
 14. **SUBSEA WORK WITH ROBOTS IN HYPERBARIC ENVIRONMENTS**
E.R. Aust KH Bohm, domann, and G.F. Schultheiss, GKSS
Forschungszentrum Geeesthacht.
OTC 6089
 15. **DETAIL DESIGN OF A GUIDELINELESS SUBSEA SATELLITE COMPLETION**
H.B Skeels, FMC Petroleum Equipment Group.
OTC 5885
 16. **INTERVENTION AND SUPPORT OF SUBSEA EQUIPMENT BY REMOTELY**
M. Browning, Comex Houlder Ltd. y D.S. Chtistine, Vetco Gray, U.K. Ltd.
OCT 6043
 17. **SUBSEA PROCESSING AND CONTROL SYSTEM IN THE GASP PROJECT: TESTING OF THE PROTOTYPE SYSTEM**
H.S. Nordvik, statoil A/S y M.M. Sarshal y Mike Taylor, Goodfellow Assocs. Ltd.38
 18. **INPROVED SUBSEA DRILLING SYSTEM FOR DEEP DEVELOPMENT WELLS IN DEEP WATER: AUGER PROSPECT**
R. Gonzalez, G.L. Marsh, P.B. Ritter y P.E. Mendel, Shell Offshore Inc.
SPE 22541
 19. **DEVELOPMENT OF A DIVERLESS SUBSEA PRODUCTION SYSTEM**
C. Villanueva, B.P. Exploration, y P. Metcalf, Fuel Subsea Engineering Ltd.
OCT 5884
 20. **A MULTIPLEXED INFORMATION AND CONTROL SYSTEM FOR AN MSV: CONFIGURATION, INSTALLATION, AND OPERATION**
John E. Sirutis, Honeywell Inc. Wayne D. Martin, Industrial Systems, Inc.
OTC 3756
 21. **DIVERLESS INSTALLATION AND MANTEINANCE OF SUBSEA PRODUCTION SYSTEMS 300 M TEST PROJECT**
Hallvard Ringnes, Det Veritas and Armando Favi, Norsk AGIP A/S
OTC 4579
-

-
22. **AN OVERVIEW OF MULTIPLEXED E/H SUBSEA CONTROL SYSTEMS**
M. Fabbri, Ferranti Subsea Systems Ltd.
OTC 5668
 23. **DEEPWATER SUBSEA COMPLETION: STATE OF ART AND FUTURE TRENDS**
D.J.S. Ribeiro and L.A.G. Costa, Petrobrás S.A.
OTC 7240
 24. **STANDARIZATION OF SUBSEA PRODUCTION SYSTEMS: PRACTICAL EXPERIENCE FROM DRAUGEN, STATFJORD SATELLITE, AND HEIDRUN PROJECTS**
Tore Halvorsen, Kongsberg Offshore A.S.
OTC 7241
 25. **ZINC PROJECT: SUBSEA MAINTENANCE AND REMEDIAL ACTION APPROACH FOR THE SUBSEA CONTROL SYSTEM**
M.A. Stair, Exxon Co. USA
OTC 7293
 26. **THE DRILLING OF A HIGH-PRESSURE, HIGH-TEMPERATURE WELL IN THE NORTH SEA USING 20,000 PSI WELL CONTROL EQUIPMENT**
K.P. Seymour, Ranger Oil (U.K.) Ltd.
OTC 7337
 27. **A SYSTEM APPROACH TO ANNULAR CONTROL FOR TOTAL WELL SAFETY**
Dwayne Leismer, Camco Products & Services.
OTC 7349
 28. **SINGLE - TRIP SUBSEA COMPLETIONS**
K.J. Johnson, Halliburton Energy Services
R.A. Lorenzatto and J.H. Rittershausen, Petrobrás S.A.
J.L. Barreto and Everaldo Lima Filho, Halliburton Energy Services
 29. **ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES EN LA TERMINACIÓN DE POZOS PARA AGUAS PROFUNDAS**
Proyecto CEA-0150, Informe Final
IMP
 30. **ASIMILACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE PERFORACIÓN, TERMINACIÓN Y REPARACIÓN DE POZOS EN AGUAS PROFUNDAS**
Proyecto CDC-0406, Informe Final
IMP
-