

300617



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

21  
2EJ

**MODELO PARA LA REPARACION Y  
MANTENIMIENTO DE TUBERIA  
SUBMARINA**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A :**

**LUIS MANUEL GAYTAN BORGOÑON**

**ASESOR DE TESIS,**

**ING. JORGE SALCEDO GONZALEZ**

México, D.F.  
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN.**

1994



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

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

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

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



Al Pasante Señor:

Luis Manuel Gaytan Borgoñon

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Ud. a continuación, el tema que aprobado por esta Dirección, propuso como Asesor de Tesis el Ing. Jorge Salcedo González, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista con Área principal en Ingeniería Mecánica.

**"MODELO PARA LA REPARACION Y MANTENIMIENTO DE TUBERIA SUBMARINA"**

con el siguiente índice:

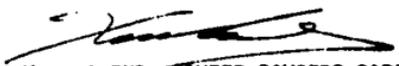
	<b>INTRODUCCION</b>
<b>CAPITULO I</b>	<b>TECNICAS DE INSPECCION SUBMARINA</b>
<b>CAPITULO II</b>	<b>RECONDICIONAMIENTO EN TUBERIA SUBMARINAS</b>
<b>CAPITULO III</b>	<b>TRABAJOS PARA LA INSTALACION DE OFFSET Y RISER</b>
<b>CAPITULO IV</b>	<b>CORROSION</b>
<b>CAPITULO V</b>	<b>PERSONAL Y EQUIPO NECESARIO PARA LOS TRABAJOS DE INSPECCION, REHABILITACION Y MANTENIMIENTO</b>
<b>CAPITULO VI</b>	<b>ANALISIS ECONOMICO</b>
	<b>CONCLUSIONES</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>

Ruego a Ud., tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

**A T E N T A M E N T E**

**"INDIVISA MANENT"**  
**ESCUELA DE INGENIERIA**  
México, D.F., a 17 de Mayo de 1993

  
**ING. JORGE SALCEDO GONZALEZ**  
**ASESOR DE TESIS**

  
**M. en A. ING. JAVIER SAUCEDO GARZA**  
**DIRECTOR**

**UNIVERSIDAD LA SALLE**

BENJAMIN FRANKLIN 47. TEL. 516-99-60 MEXICO 061400F

**A mis padres**

Que supieron guiarme  
con cariño,  
dándome siempre su apoyo  
incondicional.

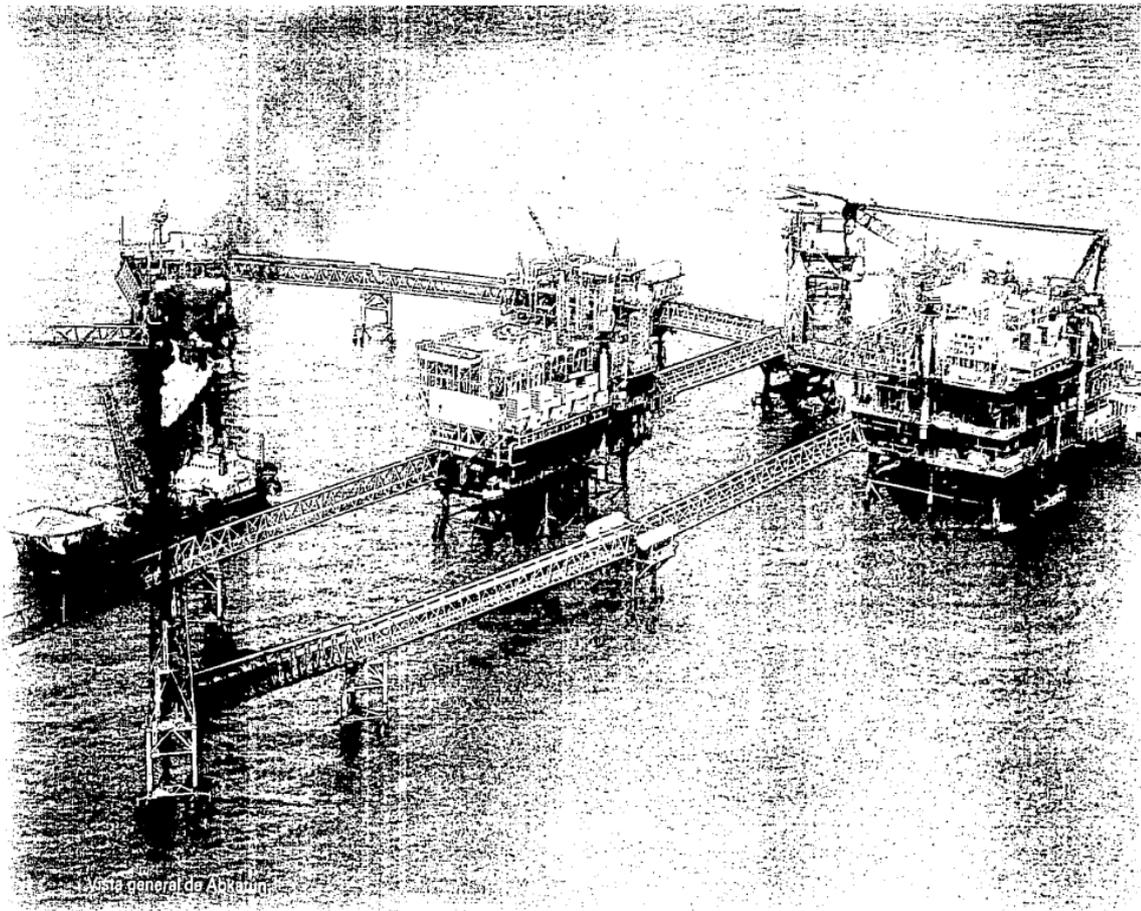
**A Marcela**

Por tu amor  
y la ayuda que me diste  
para concluir este trabajo.

**A Luis Manuel**

Con quien quiero compartir  
este momento de gran satisfacción.

**A mis hermanos y amigos**



Vista general de Abkatin

**MODELO PARA LA REPARACION Y MANTENIMIENTO DE TUBERIA  
SUBMARINA.**

<b>.- INTRODUCCION</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO I.- TECNICAS DE INSPECCION SUBMARINA.</b>	<b>7</b>
Generalidades.	7
a) Inspección ultrasónica.	12
b) Limpieza preparatoria.	16
c) Pruebas no destructivas de soldadura con partículas magnéticas.	19
<b>CAPITULO II.- REACONDICIONAMIENTO EN TUBERIAS SUBMARINAS</b>	<b>24</b>
a) Fallas en tuberías submarinas.	24
b) Instalación de conectores.	26
c) Instalación de hidrocuplas.	28
d) Uso de soldadura hiperbárica.	30
<b>CAPITULO III.- TRABAJOS PARA LA INSTALACION DE OFFSET Y RISER.</b>	<b>75</b>
Generalidades.	75
a) Tubería ascendente "RISER".	77
- fallas posibles en Riser.	77
- sustitución completa de tubería ascen- dente.	79
- sustitución de tramos de tubería as- cendente.	83
- inspección de la soldadura.	88

b) Curva de expansión "OFFSET".	90
- fallas posibles en Offset.	90
- cambios de curvas de expansión.	91
- análisis de Riser y Offset.	94
<b>CAPITULO IV.- CORROSION.</b>	96
a) Pruebas para la determinación de corrosión.	99
b) Técnicas para la prevención de corrosión.	108
<b>CAPITULO V.- PERSONAL Y EQUIPO NECESARIO PARA LOS TRABAJOS DE INSPECCION, REHABILITACION Y MANTENIMIENTO.</b>	128
a) Personal y equipo de buceo.	128
b) Equipo y herramientas.	130
c) Personal especializado para la preparación de tubería.	139
d) Barco grúa de apoyo para los trabajos de instalación.	139
e) Barco de apoyo para la inspección submarina.	141
<b>CAPITULO VI.- ANALISIS ECONOMICO.</b>	146
a) Costo del barco grúa, barcos de apoyo y equipo.	148
b) Materiales de consumo.	150
<b>.- CONCLUSIONES.</b>	152
<b>.- BIBLIOGRAFIA.</b>	155

## **INTRODUCCION.**

Para efectuar la explotación de hidrocarburos en la plataforma Continental del Golfo de México, concretamente en la Sonda de Campeche, se han instalado plataformas metálicas de estructuras tubulares cuyos usos específicos son: perforación de pozos de desarrollo; separación de gas y aceite; bombeo y rebombeo de crudo; compresión de gas; enlace de los diferentes ductos; instalaciones habitacionales; tratamiento y bombeo de agua de inyección y uso específico de comunicaciones y control de navegación.

Así mismo, se han construido los oleoductos y gaseoductos requeridos para la recolección, distribución entre plataformas y transporte hacia Cd. Pemex, Dos Bocas y Cayo de Arcas.

Continuamente se incrementa la producción de crudo y gas, requiriéndose nuevas instalaciones, además de mantener en un ritmo constante la operación de las que ya están en servicio, razón por la cual se requiere conservar en condiciones de seguridad, continuidad de operación y eficiencia de todas estas instalaciones mar adentro.

El presente estudio se concreta a describir, analizar y dar las normas generales para inspección, rehabilitación y mantenimiento general de los ductos submarinos; haciendo referencia específica a las operaciones efectuadas en la Sonda de Campeche.

Las partes en las que con mayor frecuencia se interviene son: tuberías ascendentes "RISERS"; curvas de expansión "OFFSET" y tuberías submarinas, y los aspectos más notables son sus interconexiones, modificaciones y maniobras, tanto en condiciones normales y programadas, así como en urgencia y/o emergencias.

Los tópicos analizados se refieren al personal especializado que interviene en las operaciones; el equipo, maquinaria, herramientas y materiales requeridos para este tipo de trabajo.

Se insiste también en la necesidad de efectuar programas de mantenimiento preventivo y de inspección, para evitar en la medida de lo posible el tener que tratar de resolver los problemas como emergencias.

Gran parte de las recomendaciones que se expresan en este trabajo, son el producto de la observación con un punto de vista práctico, en las operaciones de inspección, mantenimiento y rehabilitación de líneas submarinas en la Sonda de Campeche.

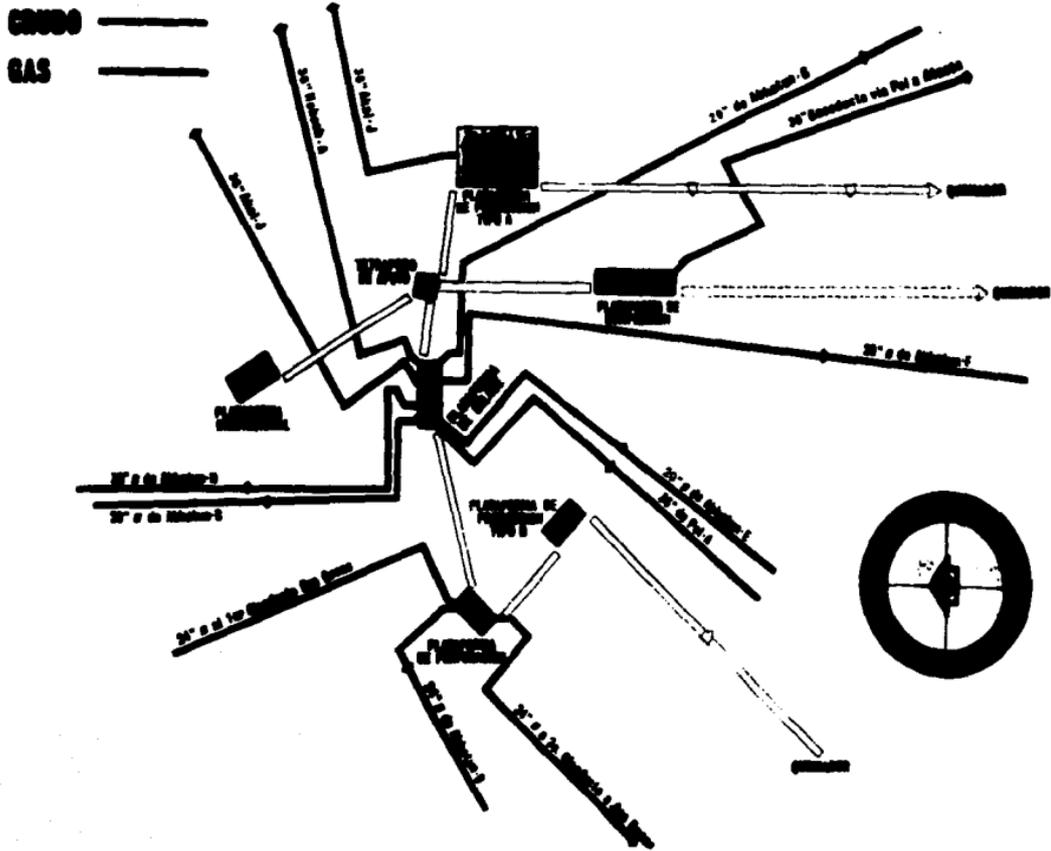
## **CONTENIDO.**

- Capítulo I:** Técnicas de inspección submarina, donde se explica cada una de las técnicas que comúnmente se utilizan en la inspección dentro de los trabajos de mantenimiento y rehabilitación.
- Capítulo II:** Reacondicionamiento en tuberías submarinas, donde se tratan los problemas que se pueden presentar en líneas en operación, así como la forma de resolverlos.
- Capítulo III:** Trabajos para la instalación de Riser y Offset; en este capítulo se trata de los trabajos para reparar y rehabilitar dos de las partes más comúnmente dañadas dentro del sistema de ductos submarinos en la Sonda de Campeche.
- Capítulo IV:** Corrosión; una de las causas principales de daños en las líneas submarinas es la concentración de corrosión. Se estudiará un poco lo que es el fenómeno de la corrosión, como determinar el nivel de la misma y como combatirlo.

**Capítulo V:** Personal y equipo necesario para los trabajos de inspección, mantenimiento y rehabilitación; se expone una vez analizado todos los trabajos que se pueden llevar a cabo en este renglón, los requerimientos de personal y equipo necesarios para su buen fin.

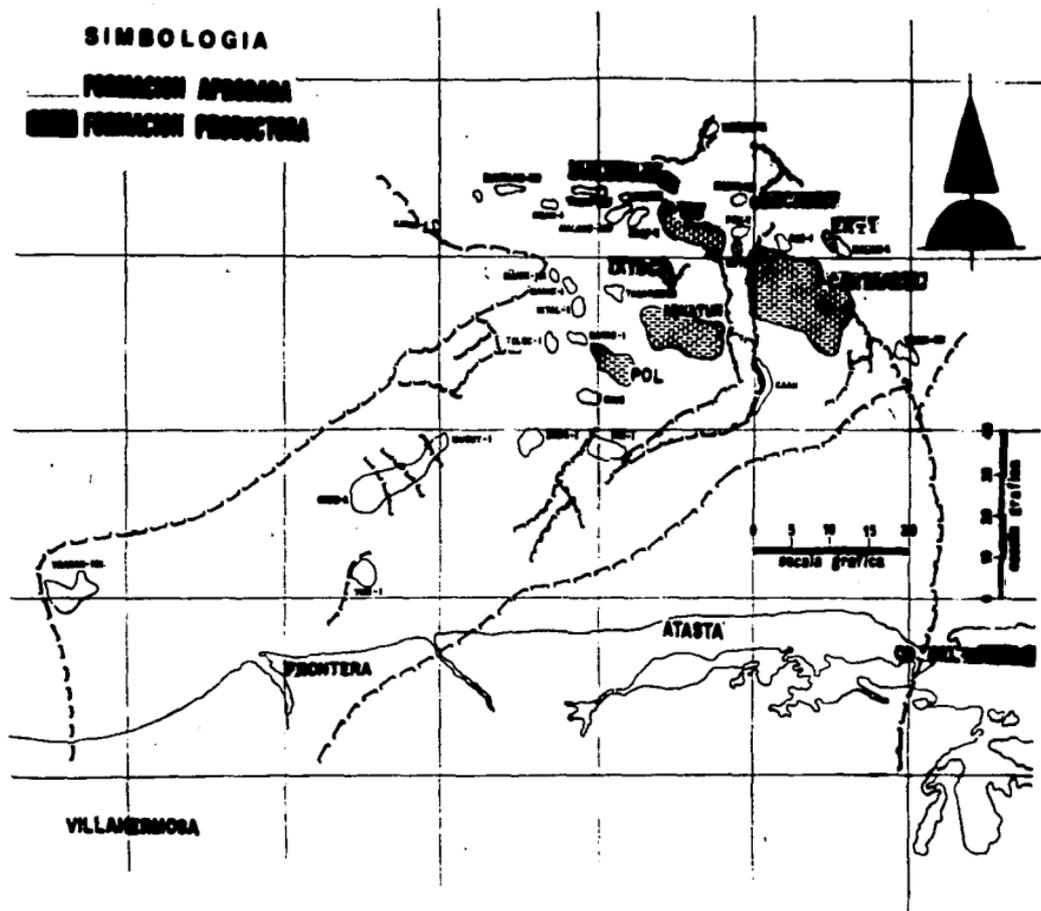
**Capítulo VI:** Análisis económico; aunque difícil por el tipo de trabajo y las características de las situaciones en las que se deben realizar, se hace un análisis del costo que tiene, mantener en condiciones óptimas de operación las líneas submarinas.

# LOCALIZACION DE PLATAFORMAS Y LINEAS SUBMARINAS EN ABKATUN

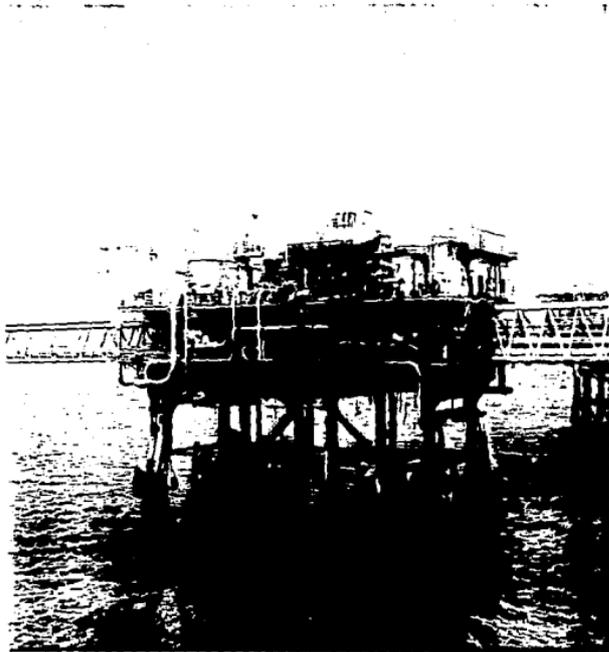


# SIMBOLOGIA

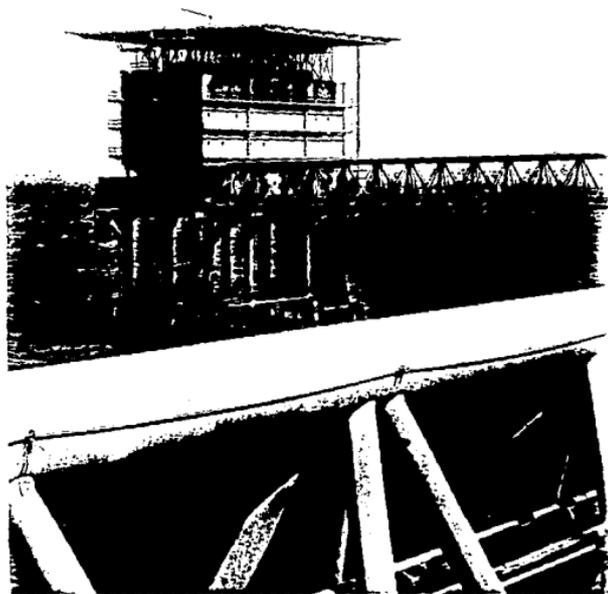
FORMACION APROBADA  
FORMACION PRODUCTORA



Formaciones Geológicas de Hidrocarburos en la Sonda de Campeche.



Plataforma de Enlace.



Plataforma Habitacional.

## **CAPITULO I.**

### **TECNICAS DE INSPECCION SUBMARINA.**

#### **Generalidades.-**

Las reglas y recomendaciones relativas a la inspección y mantenimiento de ductos submarinos son todavía empíricas, es decir basadas principalmente en la experiencia.

La mayor experiencia hasta la fecha, se ha acumulado en los campos petroleros del Mar del Norte y han resultado en una serie de recomendaciones por parte de Organismos Gubernamentales como "Department of Energy" de Gran Bretaña y por parte de Compañías de certificación como el "DET NORSKE VERITAS" (DNV).

Los métodos de trabajo propuestos a continuación, se inspiran en gran parte en estas recomendaciones.

Es indispensable tener, además de contar con un programa concreto tanto de la inspección como del mantenimiento y reparación de los ductos submarinos, contar con una adecuada organización y con todos los apoyos respectivos.

El tipo de inspección se puede clasificar en cuatro:

-Inspección inicial.- Se realiza generalmente 6 meses o un año después de la instalación de los ductos y estructuras

marinas.

**-Inspección mensual, trimestral o semestral.-** Este tipo de inspección se realiza por recomendaciones del constructor o por una inspección precedente.

**-Inspección anual.-** Se lleva a cabo en el conjunto de la instalación y constituye el elemento más importante de la inspección sistemática.

**-Evaluación de las condiciones cada 4 años.-** Es un resumen de los resultados de las inspecciones durante este periodo. Permite hacer previsiones de seguridad de las instalaciones durante el periodo que sigue y definir un nuevo programa de inspección.

La comunicación, la computación y la conservación de las informaciones obtenidas durante la inspección, son de suma importancia, y deben cristalizar en reportes sistemáticos de la información.

La comunicación de la información en ciertas ocasiones debe apoyarse sobre el trabajo del buzo; en este caso, la limpieza de las zonas de inspección es determinante en la exactitud de la lectura transmitida a la superficie.

La computación de los resultados consiste en elaborar un reporte inmediato en el campo de trabajo para verificar la calidad de los trabajos y la fiabilidad de los resultados. El informe final de inspección, servirá para

preparar el programa de inspección siguiente, según la evaluación de las diferentes medidas.

Existen varios tipos de inspección submarina, los cuales van desde una simple inspección visual general, realizada sin una limpieza previa, que nos permite tener una idea cualitativa del estado de los ductos y permite:

- Evaluar la flora marina.
- Localizar los daños importantes y evidentes, tales como choques, roturas o deformaciones.
- Localizar los escombros y objetos diversos que obstruyan los alrededores inmediatos.
- Evaluar las socavaciones al pie de los oleogaseoductos.
- Verificar el estado general de los ánodos de protección catódica.

Se recomienda este tipo de inspección una vez al año. Los medios más comúnmente utilizados para este tipo de inspección son:

- Submarinos tripulados para la inspección de oleogaseoductos.
- Aparatos no tripulados a control remoto, para la inspección de estructuras y líneas ascendentes y de expansión.
- Buzos de superficie o de saturación.

Otro tipo de inspección recomendada, que sigue siendo cualitativa, pero más precisa, es la inspección visual detallada, la cual requiere de una limpieza previa de la zona que se desea inspeccionar para detectar daños ocultos, por ejemplo:

- Grietas por fatiga del metal.
- Corrosión del acero.
- Desgaste de los ánodos.
- Contacto de los ánodos con el acero de las estructuras.

Es recomendable utilizar este tipo de inspección en los casos siguientes:

- a) En los lugares en los que se sabe que existe una concentración de esfuerzos o una anomalía de construcción o una reparación.
- b) En las zonas que se hayan juzgado dudosas a raíz de la inspección general.

El buceo constituye el medio casi exclusivo de este tipo de inspección.

El tipo de inspección que nos dará una idea más cuantitativa y más cercana a la realidad será la inspección detallada con pruebas. Esta inspección, nos permitirá detectar daños ocultos como son grietas internas y desgastes por corrosión.

Las técnicas más comúnmente utilizadas en este tipo de inspección son:

- Partículas magnéticas.
- Ultrasonido.
- Medidas de potencial eléctrico.
- Medidas de densidad de corriente.
- Radio-fotografía.
- Fotografías calibradas para evaluación de dimensiones.

Esta inspección se lleva a cabo generalmente por medio de buzos especializados con experiencia en el manejo de los aparatos de inspección y medición.

La frecuencia de este tipo de inspección se recomienda que sea anual según un programa establecido.

En lo relacionado con la inspección a Risers (línea ascendente) es muy importante que se realice de forma programada y mediante pruebas no destructivas, puesto que están sujetos a esfuerzos importantes como son la presión interna elevada, las variaciones de temperatura, las sollicitaciones hidrodinámicas y los movimientos relativos de la estructura y de los oleogaseoductos. Los fluidos transportados aceleran la corrosión interna del ducto.

Medidas de espesor por ultrasonido, serán necesarias así como las fotos a color calibradas para la forma y dimensión de la corrosión.

Es de vital importancia, que las abrazaderas que sujetan al Riser con la estructura, estén correctamente fijadas y que no exista principio de corrosión en su contacto con la estructura.

**a) INSPECCION ULTRASONICA.**

**Medición de grosor de pared.-**

La aplicación ultrasónica principal bajo el agua, se usa en el control de grosor de pared de miembros de plataformas, gaseoductos, oleoductos, Riser, Offset, etc. Este trabajo se ejecuta por lo general, empleando medidores de grosor de pared digitales ultrasónicos o detectores ultrasónicos de defectos más complejos con una pantalla de tubos catódicos.

A continuación se resumen las ventajas y desventajas de cada uno.

**- Medidores digitales de grosor de pared:**

**Aplicación.** -Sólo verificaciones de laminación y grosor de pared.

**Ventajas.-** -Relativamente baratos y fáciles de encapsular.

-Calibración y operación rápidas.

-Amplificación automática.

-Representación digital.

-Se requiere menos destreza del operador.

**Desventajas.** -La indicación digital representa sólo la profundidad del punto de reflejo más fuerte.

-No tiene potencial para definir el tamaño del defecto.

**- Detector de defectos:**

**Ventajas.-** -Representación visual simultánea de muchas indicaciones de reflexión.

-Determinación precisa de la profundidad de los defectos.

-Aplicación variable indispensable para la medición del defecto.

-Precisión de medición ajustable, pero sujeta al grosor de la línea en la pantalla de tubo de rayos catódicos y probador de uso.

**Desventajas.** -El costo es elevado y es difícil de encapsular.

-Calibración y operación lenta.

-En un ambiente de luz fuerte, la representación visual (pantalla) es difícil de leer.

-Se requiere una mayor habilidad del operador.

-Los sistemas de corriente son voluminosos para usarse bajo el agua.

-Se requiere una capacidad del operador para la detección de los defectos, raramente a disposición para aplicación submarina.

**Equipo de medición ultrasónica del grosor de las paredes:**

Se proponen medidores ultrasónicos de grosor de pared, debidamente encapsulados para uso submarino en profundidad de 200 mts.

**Especificaciones técnicas:**

Tipo.-	-Medidor KRAUTKRAMER DW-1 ultrasónico digital para el grosor de pared.
Ambiental.-	-cubierta aquamatic de aluminio duro anodizado, del tipo de resistente al agua.
Rango de medición.-	-1.2 mm a 300 mm (el valor máximo) depende de la atenuación del sonido en el objeto que se va a medir.
Precisión de medición.-	- $\pm 1$ mm en el rango completo de medición.
Indicador.-	-selector de números, iluminado de tres posiciones con indicación intermitente cuando excede el valor 99.99
Frecuencia de conteo.-	-determinada por cristales de cuarzo intercambiables, 29.45, 29.65, 29.85, 31.18, 31.50, 31.83 Hz.
Método de medición.-	-medición del tiempo digital eco pulsante ultrasónico.

**Calibración.-** -1. bloque de calibración integrada de 5 mm.  
2. bloque de calibración de cuña de 5 mm - 25 mm.

**Fuente de energía.-** -5 baterías NiCd.

**Capacidad de profundidad.-** -200 metros.

**Equipo ultrasónico de detección de defectos:**

**Especificaciones técnicas.-**

**Descripción.-** -detector KRAUTKRAMER USM2- ultrasónico, para fallas.

**Encapsulado.-** -cubierta de aluminio resistente a la presión, revestida de Nylon.

**Rango de frecuencia.-** -0.5 a 12 MHz por amplificador de ancho de banda.

**Rango de prueba.-** -continuamente variable de 10 mm a 5 mm.

**Expansión de escala.-** -rango de corte opcional que va de 10 mm a un máximo de 500 mm de expansión en toda la escala.

**Monitor.-** -opcional. La unidad USM-2 incluye el monitor con controles de ancho de entrada y arranque de entrada. El ajuste de entrada es visible en la pantalla. La señalización acústica mediante un audifono integrado o indicador; la señal óptica proviene de un anillo de señal.

**Sensibilidad de umbral  
del monitor.-**

-altura de la pantalla: 1/5 CRT (la  
altura es ajustable de 15% a 100%)

**Precisión del umbral  
del monitor.-**

-± 0.5 d.B.

**CRT.-**

-pantalla luminosa de 70 mm x 55  
mm reticular interna. La lectura  
clara sin paralelaje y distorsión.

#### **b) LIMPIEZA PREPARATORIA.**

La limpieza de la zona en la cual se va a inspeccionar,  
es un prerrequisito que no se puede pasar por alto.

Este tipo de trabajo incluye:

1.- Remoción de todos los objetos de crecimiento marino  
primario, por ejemplo, los mejillones, balanos, alga marina,  
esponjas, etc., que incrementan la fuerza de arrastre de las  
olas y el peso de la estructura, inhiben la inspección visual,  
facilitan la corrosión y bloquean las tomas de agua de las  
plataformas.

2.- Remoción de revestimiento de protección, por ejemplo,  
epoxias, pintura bitumen en metal descubierto que  
impide la aplicación de las técnicas de pruebas no  
destructivas y la inspección visual detallada de la soldadura.

Las técnicas principales de la limpieza, empleadas en  
este trabajo incluyen las herramientas de limpieza de

máquina neumática y las de chorro de agua de alta presión (incluyendo la inyección abrasiva), por ejemplo las pistolas descamadoras de aguja, los cincelos. Aunque relativamente baratos y efectivos, los últimos se consideran inoperables bajo 50 mts.

#### **Equipo de chorro de agua de alta presión.**

El sistema de chorro de agua HP HYDROJET que incorpora un sistema de arena sumergible Wons Atumat, se propone para la remoción de vegetación marina y recubrimientos protectores de las áreas de las plataformas designadas para lograr una inspección de prueba visual muy detallada o inspección de pruebas no destructivas. La unidad de chorro incorpora pistolas de chorro de reacción negativa, sus boquillas son intercambiables para que se puedan usar diferentes configuraciones de chorro, es decir, ventiladores, para concordar con el tipo y la superficie de la vegetación marina.

Las pistolas de chorro también incorporan un dispositivo de protección para fallas en la presión que activa automáticamente el liberador de disparo. Se emplean por lo general, presiones de trabajo de hasta 10,000 PSI para la remoción de vegetación marina y recubrimientos protectores si así se requiere, para obtener condiciones de "metal desnudo" lo que facilita la inspección visual detallada o las pruebas no destructivas.

El sistema de arena sumergible se usa normalmente cuando se requiere la remoción extensa de recubrimientos

protectores.

El sistema comprende una esfera de arena, llena de arena de silicio graduada, una retropistola completa con boquilla de corte de inyección de arena endurecida especialmente y manguera conveniente. La clasificación promedio de limpieza es de 11 M2/M.

**Especificaciones técnicas:**

<b>Modelo.-</b>	-Unidad instalada en el larguero Hydrojet D150s.
<b>Tipo.-</b>	-Bomba de desplazamiento de ariete hidráulico, positivo accionada con un clutch o embrague y un acoplamiento de amortiguación de impulsos, mediante un motor diesel volvo.
<b>Energía.-</b>	-Modelo diesel Volvo TB 70B (instalado con un para chispas).
<b>Bomba.-</b>	-Long/Quinn 150 equipada con una cabeza de acero inoxidable para ser usada en el mar, que incorpora émbolos de cerámica de P 35 mm.
<b>Capacidad.-</b>	-32 gpm a 6000 PSI.
<b>Suministro de agua.-</b>	-Recipiente integral de 200 galones con alimentación de entrada de agua filtrada a través de una válvula de control con un dispositivo de cierre de nivel bajo de agua.

<b>Instrumentación.-</b>	-Calibradores de combustible, dispositivo de corte en caso de presión baja de aceite o temperatura alta del agua.
<b>Pistola a chorro.-</b>	-Pistolas a chorro de reacción negativa de acero inoxidable F.A. Hughes.
<b>Características de seguridad.-</b>	-Receptor de seguridad, dispositivo de cierre automático de seguridad en caso de fallas, liberador de disparo.
<b>Presión de trabajo.-</b>	-Separación de la vegetación marina, 4500 PSI, limpieza preparatoria de los nódulos. * con agua hasta 10000 PSI * con agua/abrasivos, 4000 PSI
<b>Dimensiones físicas.-</b>	-14' x 14' x 6'
<b>Peso.-</b>	-5 toneladas métricas.

**c) Pruebas no destructivas de soldadura con partículas magnéticas.-**

Las técnicas de inspección submarina de partículas magnéticas, se limitan a la detección de defectos en la superficie, o cerca de la misma, en los materiales ferromagnéticos. Todas las técnicas de inspección de partícula magnética, establecen las líneas de fuerza que se derivan de

un cuerpo saturado magnéticamente, cuando hay defectos, por ejemplo, grietas en o cerca de la superficie.

Todo el trabajo de inspección de partícula magnética se ejecuta de acuerdo con el código ASME, sección VIII. La técnica básica de inspección de partícula magnética submarina, consiste en un campo magnético que se induce a 90° en la línea de soldadura (o en la línea donde se espera encontrar el defecto), ya sea mediante imanes permanentes en forma de barra de 50 lbs y en forma de "C" de 180 lbs, de perforación o mediante unidades de bobina o puntas metálicas electromagnéticas. Los indicadores Burmah Castrol, proporcionan la garantía de que el campo magnético así inducido, mediante imanes permanentes, es superior a 50e, en forma similar, los medidores de valor/flujo de corriente, proporcionan esta garantía en relación con la unidad electromagnética de bobina o puntas. Entonces se aplican al área magnetizada que se está probando, las partículas ferromagnéticas Magnaglo No. 14A, con un recubrimiento de pintura fluorescente y suspendidas en una solución agua/detergente, mediante una luz negra (que hace que los materiales fluorescentes emitan una luz visible) de 3650 unidades anstromg. Cuando es necesario, los defectos sospechosos se liman o esmerilan ligeramente a una profundidad máxima de 4 a 5 mm en la forma de una depresión en forma de "U", para probar y establecer la profundidad del defecto. Durante el proceso de esmerilado, se ejecuta una detallada inspección visual, hasta que la base del defecto es visible o hasta que se produce una superficie adecuada a partir de la inspección de partícula magnética.

Los extremos de todas las grietas de inspección de partícula se marcan con un punzón, proporcionando así, puntos de datos precisos a partir de los cuales se supervisa o controla la propagación posterior. Antes y después del esmerilado se toman fotografías ("close-up") de detalle.

El procedimiento de magnetización adoptado bajo el agua depende de los requerimientos relevantes en un programa de inspección particular y en relación con el tipo de equipo disponible. Típicamente, en la inspección de partícula magnética submarina, los campos magnéticos se inducen ya sea mediante imanes permanentes o mediante unidades de punta metálica de C.A.

-Imanes permanentes: estos normalmente tienen configuraciones en forma de "U" o de "C", capaces de ejercer una atracción de 150/180 lbs, o en donde la geometría de la soldadura de la unión del nudo es pronunciada, inhibiendo el acceso, éstas son en forma de barras, capaces de ejercer una atracción de 50 lbs. Siempre y cuando la resistencia del campo adecuada se garantice (por ejemplo vía de los indicadores Castrol Burmah o el Penetrómetro Berthold), los imanes permanentes ofrecen la ventaja de un campo magnético uniforme distribuido, a través del componente, entre los polos. Su principal ventaja en la inspección de partícula magnética submarina es su portabilidad de peso ligero.

-Las unidades electromagnéticas: Proporcionan, bajo condiciones óptimas, una sensibilidad mayor a los defectos, que los imanes permanentes; esto se debe al efecto superficial

o pelicular de la corriente CA empleada. También proporcionan una garantía superior de flujo magnético, que normalmente se controla desde la superficie, para asegurar evidencia del flujo y valor de corriente. Sin embargo, éstos son sistemas negativos, flotantes, algo estorbosos, para usarlos bajo el agua.

**Equipo de inspección de Partícula Magnética:**

El sistema propuesto de inspección de partícula magnética, comprende una unidad de bobina/punta de metal electromagnética, sumergible, que incorpora un sistema único de suministro de tinta fluorescente autodescargador. Un recipiente integral de presión compensada de 10 galones contiene un concentrado de tinta constantemente agitado, que la suministra, con una presión ambiente superior a +40 PSI en una cámara de mezclado donde se añade una cantidad determinada de agua marina filtrada.

Las unidades de puntas metálicas manuales de 8"-10" de espaciamiento, pueden suministrar 1200 amperes de corriente CA o CD constante. Una salida gradual proporciona una corriente alta, media o baja en un voltaje de circuito abierto de 5V.

La unidad de la bobina comprende un tramo de 55' de circuito cerrado continuo que proporciona 100 amperes de corriente continua CA o CD en un ciclo de operación continua durante 5 minutos, que se enciende y se apaga. El dispositivo articulado de horquilla electromagnética desarrolla más de 5 kilos de tracción CA y 20 kilos CD.

Una unidad de control de superficie, con una dimensión aproximada de 44 x 50 x 300 mm incorpora:

- medidores de corriente de entrada/salida.
- indicadores de falla del circuito a tierra.
- unidad magnetizadora de control remoto.
- indicadores de flujo de corriente.
- reajuste de dispersión a tierra.

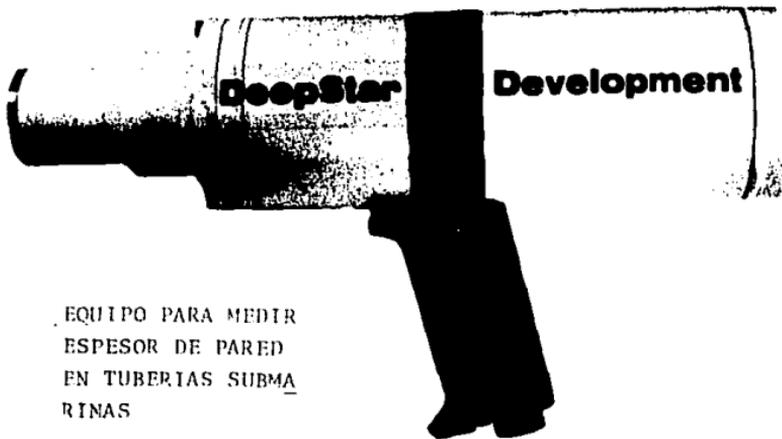
Recientemente se ha desarrollado una técnica para la fotografía de defectos inspeccionados con partícula magnética. Esto se logra usando un revestimiento diferente en el material ferromagnético, que son los constituyentes primarios del polvo Magnaglo No. 14A, para que en vez de obtener un verde fluorescente cuando se ilumina con luz ultra-violeta, parece de color rojo cuando lo ilumina el flash de una cámara submarina. La iluminación del flash también proporciona la luz para fotografiar la soldadura y otras marcas requeridas, es decir, escalas, identificación, etc. El defecto aparece como una luz roja en una fotografía que de otra forma, sería la fotografía de color perfectamente normal de una soldadura.

**CUADRO RECAPITULATIVO DEL PROGRAMA DE INSPECCION**

<b>ELEMENTOS A INSPECCIONAR</b>	<b>TIPO DE AMPLITUD DE LA INSPECCION</b>	<b>PERIODICIDAD</b>	<b>TECNICA DE INSPECCION</b>	<b>MEIOS DE INSPECCION</b>
	<b>A. PLATAFORMAS</b>			
<b>Estructura</b>	Inspección visual general de la plataforma a 100%	Anual	Video, fotografías	RCV o submarino o buceo de superficie
	Inspección visual detallada en lugares predeterminados (10 por plataforma)	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	Buceo: - de superficie 30 Mts. - en saturación 30 Mts.
	Inspección detallada con pruebas en lugares predeterminados (6 por plataforma)	Anual	Pruebas no destructivas. Partículas magnéticas. Ultrasonidos, video y fotografías	Buceo: - de superficie 30 Mts. - de saturación 30 Mts.
<b>Flora Marina</b>	Inspección visual general. Estudio de muestras y descripción detallada en los lugares donde abunda	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	RCV o buceo o submarino
<b>Risers y abrazaderas</b>	Inspección visual general de todos los risers al 100%	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	RCV o submarino o buceo de superficie

<b>ELEMENTOS A INSPECCIONAR</b>	<b>TIPO DE AMPLITUD DE LA INSPECCION</b>	<b>PERIODICIDAD</b>	<b>TECNICA DE INSPECCION</b>	<b>MEDIOS DE INSPECCION</b>
	Inspección visual detallada en 2 lugares por riser	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	Buceo: - de superficie 30 Mts. - en saturación 30 Mts.
	Inspección detallada con pruebas en el lugar por riser	Anual	Ultrasonidos para el espesor. Partículas magnéticas para la fijación de las abrazaderas.	Buceo: - de superficie 30 Mts.
Conexiones	Inspección visual general	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	RCV o submarino o buceo de superficie
Escombros	Inspección visual general	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	RCV o submarino o buceo de superficie
Socavaciones y corrientes	Inspección visual general. Medida de las dimensiones.	Semestral	Video, fotografías Descripción por el buzo. Metrología sonar de ultrasonidos	Submarino o buceo en saturación 30 Mts.
	Instalación de corrientímetros	Una vez	Corrientímetros	Buceo: - de superficie 30 Mts. - en saturación 30 Mts.

<b>ELEMENTOS A INSPECCIONAR</b>	<b>TIPO DE AMPLITUD DE LA INSPECCION</b>	<b>PERIODICIDAD</b>	<b>TECNICA DE INSPECCION</b>	<b>MEIOS DE INSPECCION</b>
Protección catódica	Inspección de ánodos y medidas de potenciales eléctricos en unos 50 puntos por plataformas	Anual o Semestral	Video, fotografías Descripción por el buzo. Medidas de dimensiones. Baticorrómetro	Buceo: - de superficie 30 Nts. - en saturación 30 Nts.
Cables y líneas de control	Inspección visual general	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	RCV o Buceo de superficie
	Inspección visual detallada de ciertos puntos de amarre a la estructura (2 por cable o líneas)	Anual	Video, fotografías Descripción por el buzo	Buceo de superficie
	<b>B. OLEOGASODUCTOS</b>			
Oleogasoductos enterrados o no Topografía longitudinal y transversal, Lastrado cruces Protección catódica. Daños diversos	Todas las observaciones y medidas pueden realizarse simultáneamente	Anual	Video, fotografías Localizador de oleogasoducto Perfilador en continuo Perfilador de zanja Densidad de corriente eléctrica Detector de fugas Sistema de navegación Sistema de adquisición y computación de datos	Submarino



EQUIPO PARA MEDIR  
ESPESOR DE PARED  
EN TUBERIAS SUBMA  
RINAS



EQUIPO PARA  
PRUEBAS CON  
PARTICULA MAGNETICA



EQUIPO DE VIDEOCAMARA  
PARA INSPECCION SUBMARINA  
CON COMUNICACION DIRECTA AL  
BARCO

**EXPLORER V<sup>tm</sup>**



## **CAPITULO SEGUNDO.**

### **REACONDICIONAMIENTO EN TUBERIAS SUBMARINAS.**

#### **a) FALLAS EN TUBERIAS SUBMARINAS.-**

Las fallas en las tuberías y/o en sus conexiones, casi invariablemente ocasionan la fuga y pérdida parcial del producto que transportan, con la consecuente contaminación del ambiente, tratándose del medio marino las consecuencias son más graves.

En los casos de rupturas de tuberías, en el medio marino, los daños y perjuicios son mayores, ya que debe de suspenderse la operación durante el tiempo que dure la reparación del daño; estos casos deberán ser considerados como emergencia.

Cuando se presenta una emergencia de este tipo los pasos a seguir son los siguientes:

- a) Trasládarse al sitio donde ocurrió la falla.
- b) Contener en la superficie del agua el producto derramado hasta donde sea posible, colocando equipos y cercos adecuados para la retención.
- c) Efectuar las inspecciones submarinas al tramo dañado, haciendo un reporte gráfico con croquis y fotografías de la magnitud del problema.
- d) Planear y programar el procedimiento de rehabilitación más adecuado para resolver el problema en

el tiempo mínimo.

- e) Una vez eliminada la falla, realizar pruebas hidrostáticas para corroborar el estado de la línea.

Las fallas que a continuación se exponen, pueden ser ocasionadas por detalles imprevistos en el diseño o de construcción o por agentes externos (golpes, fallas de operación, etc.).

- 1.- Deformación por expansión térmica en conexiones bridadas consistente en aflojamiento de tuercas y espárragos, roturas de empaques, etc.
- 2.- Deformación permanente y/o fisura por expansión térmica en conexiones bridadas y/o soldadas en el cuerpo de la tubería.
- 3.- Rotura o agrietamiento del recubrimiento de concreto (lastre) por golpe.
- 4.- Pozos por concentraciones fuertes de corrosión en juntas soldadas y/o en el cuerpo de la tubería.
- 5.- Deformación y/o rotura (colapso) de la tubería, por golpe y/o acarreo de ancla.
- 6.- Rotura de la tubería por una presión inadecuada de operación.

Cuando se presente cualquiera de las fallas anteriores, algunas de las alternativas más viables a tomar para resolver el problema son:

- Colocación de parches de resinas epóxicas en sitios en

- donde el revestimiento de concreto se encuentre dañado.
- Apriete de las juntas bridadas, con llaves de golpe, llave neumática o hidráulica.
  - Colocación de grapas para la eliminación de fugas.
  - Sustitución de tramos de tubería por medio de conectores mecánicos o hidráulicos, por medio de soldadura hiperbárica o por medio de los métodos anteriores combinados.

#### b) INSTALACION DE CONECTORES.-

En la mayoría de los casos en los que se requiere la reparación de una línea submarina, se hace mediante la colocación de grapas o conectores. La instalación de grapas se utiliza cuando la falla en la línea no es de grandes dimensiones. Es necesario preparar la tubería con limpieza, con chorro de agua para desprender el recubrimiento y el crecimiento marino en una extensión igual a la longitud de la grapa, una vez que está limpia la tubería y el fondo ha sido preparado para facilitar la colocación de la grapa, se procede a ello. Mediante la ayuda de la grúa se baja al fondo la grapa, donde el buzo está listo para hacer la instalación. Las grapas tienen en su parte interior un sello de neopreno que permite que las paredes se acomoden de la mejor manera a la tubería.

A continuación se expone un procedimiento para la instalación de una hidrocupla o conector, en la reparación de un oleoducto de 36"  $\phi$ .

- Hacer arreglos para realizar una inspección de manera de evaluar exacta y completamente las condiciones del fondo, ubicación y extensión de la zona dañada. Obténganse medidas para determinar la extensión del daño.
- Es necesario realizar una desviación y/o elevación del petróleo por inyección de aire, para permitir el acceso adecuado a la tubería, para las reparaciones de limpieza e instalación provisional de la hidrocupla. Despeje un área de la tubería mayor a la longitud y el radio máximo de las hidrocuplas.
- Colocar sacos de arena debajo del oleoducto a cada extremo del área sometida a desviación.
- Remover el revestimiento de peso y/o el revestimiento de protección catódica usando una máquina de chorro a alta presión, sierra hidráulica de concreto, cinceladora hidráulica, martillo y formón, cuchillo de tracción o una combinación de todas estas herramientas. 14.5' en cada dirección.

**NOTA:** Deben tomarse todas las precauciones para evitar las marcas en la tubería ya que podrían afectar adversamente al sellado de las hidrocuplas.

- Pulir la tubería con un cepillo hidráulico de puntas de alambre para remover todo el revestimiento, oxidación o incrustaciones restantes. Pula el diámetro exterior de la tubería hasta el metal blanco desnudo.
- Obtener las mediciones necesarias y asegure la exactitud inspeccionando nuevamente antes de cortar y remover la sección dañada.

Usar un cortador hidráulico de tuberías y asegúrese de que el buso esté familiarizado con su funcionamiento. Efectuar un corte de prueba en la cubierta para asegurar el funcionamiento del cortador. Corte y renueva la sección dañada.

**NOTA:** Siempre esmerile los extremos interior y exterior de la tubería para evitar los bordes afilados.

- Esmerilar al ras con la tubería todas las soldaduras longitudinales y radiales en las secciones de tubería limpiada.
- Calibrar la tubería con un calibrador anular para asegurar que esté dentro de la tolerancia requerida de redondez.

**c) INSTALACION DE HIDROCUPLAS.-**

- El oleoducto deberá moverse a un costado del área desviada por chorro de lodo para permitir la instalación provisional de las hidrocuplas. Sólo una línea tiene que moverse.
- Instalar en forma provisional la hidrocupla en la sección limpia del oleoducto, hasta que el extremo cortado de la tubería esté al ras con la brida de la cubierta. Repetir esta operación en ambos extremos del área dañada.
- Volver a alinear el oleoducto para acercar la bola de uno de los conectores y la cubierta del otro conector.
- Dar instrucciones al buso para que mida la distancia desde la superficie de la bola a la superficie de la

brida en las posiciones de las 12-6-3-9 horas. Estas mediciones informan acerca de la desviación entre la bola y la cubierta de la hidrocupla.

- Deslizar la hidrocupla hacia adelante hasta que la bola esté dentro de la cubierta.
- Instalar todos los pernos y tuercas. Apretarlos en forma manual seleccionando las tuercas en posición de las 12-6-3-9 horas, apretar e instalar el anillo de retención detrás de la superficie de la bola.

NOTA: Asegúrese de mantener una condición paralela entre las caras de las bridas.

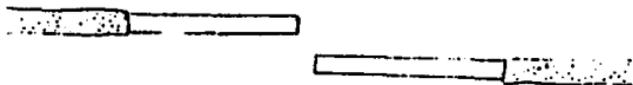
- Una vez que se han apretado las cuatro tuercas, en posición de las 12-6-3-9 horas, instalar las tuercas restantes utilizando una llave hidráulica por percusión en forma cruzada.
- La torsión debe realizarse en tres etapas 1000, 2000 y 3500 libras-pies. Todas las tuercas de los pernos deben torsionarse en cada nivel antes de proceder con la etapa siguiente. La torsión final debe efectuarse por lo menos en dos pasadas. Una vez que la bola se ha apretado y torsionado, someter a prueba la bola de la brida de desviación a 2175 Psig, y mantener en este valor durante cinco minutos.

UNIDAD DE REPARACION DE UN OBJETO

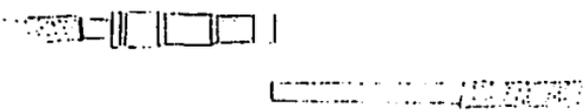
①



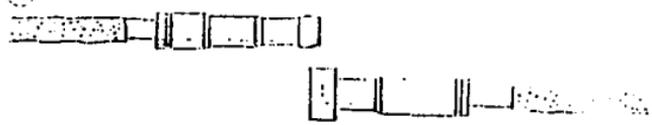
②



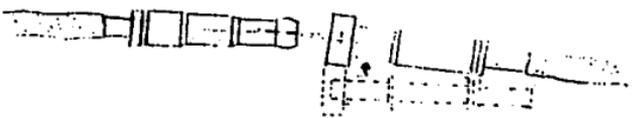
③



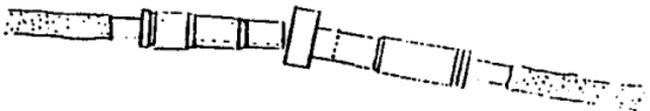
④



⑤



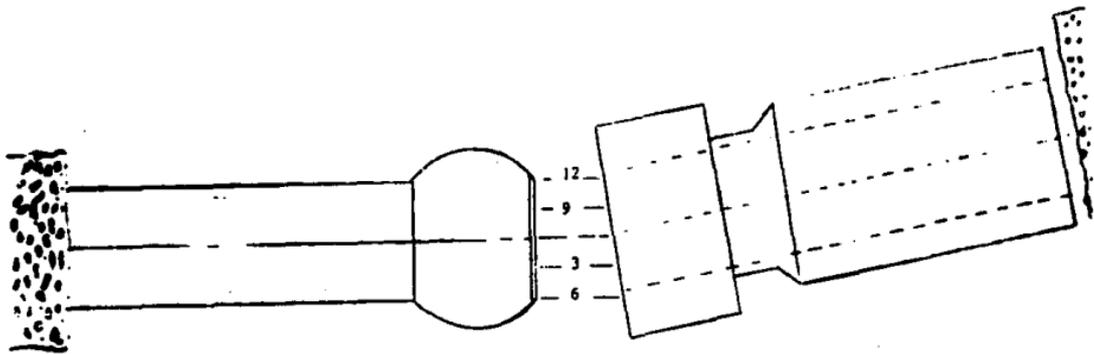
⑥

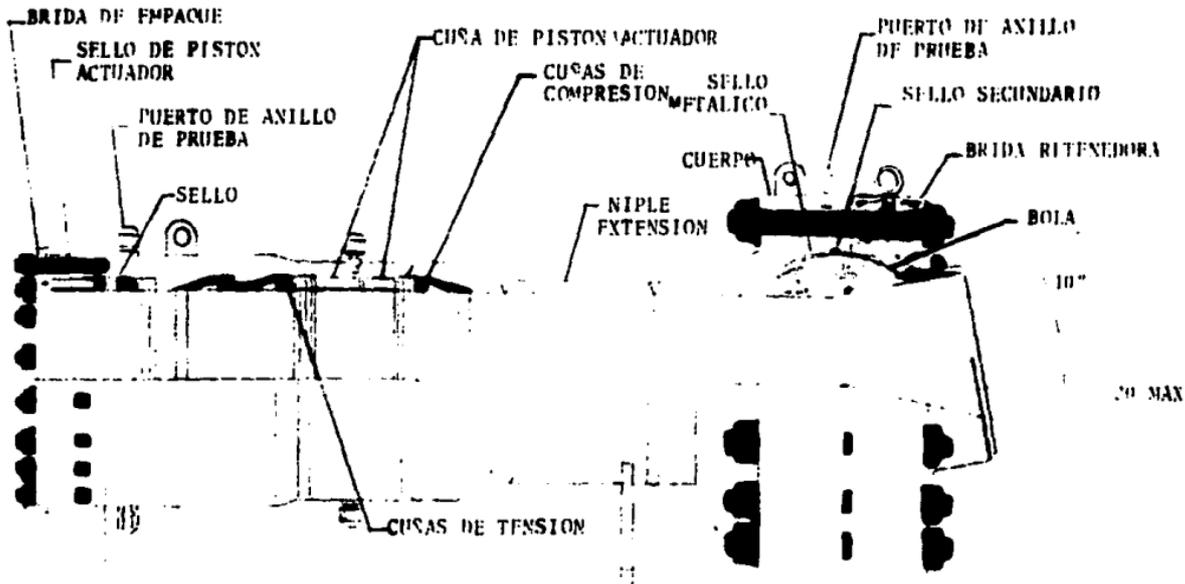


⑦

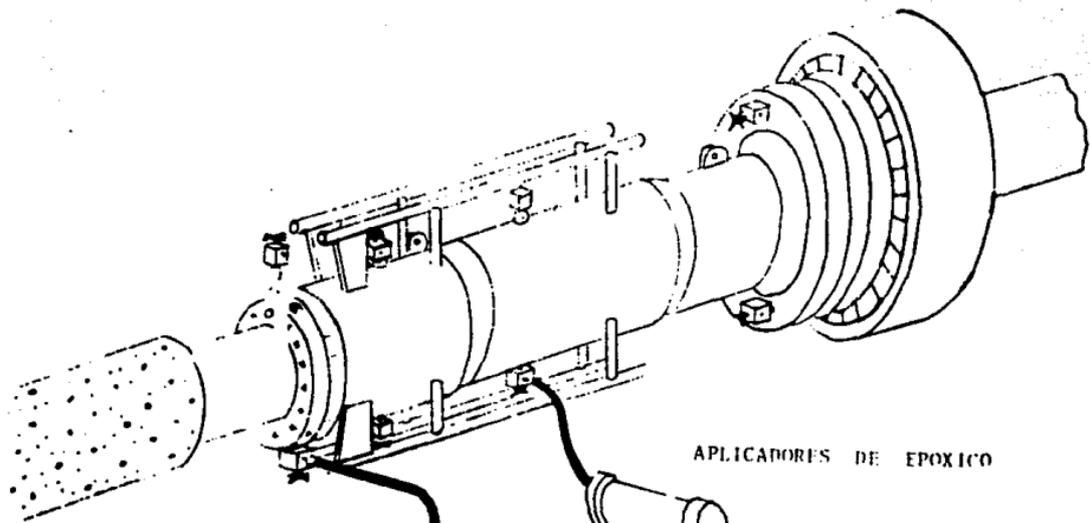


DETALLE DE LA INSTALACION DE UNA BIRROCURVA





MARK IV HIDROCUPLA



APLICADORES DE EPOXICO

MANGUERAS DE SUPERFICIE

#### **Uso de soldadura hiperbárica:**

En ocasiones es necesario utilizar la soldadura hiperbárica en la reparación de defectos en las líneas submarinas. Cuando se ha realizado la inspección del defecto o la falla, y ésta nos indica que lo más apropiado es el método de reparación de soldadura hiperbárica en lugar de utilizar las grapas o los conectores, se procede a colocar el barco de apoyo o la barcaza de construcción, en la posición adecuada para realizar estos trabajos. El equipo requerido para realizar la soldadura hiperbárica se irá exponiendo conforme se expliquen las técnicas recomendadas.

Este tipo de soldadura se efectúa en una cámara de fondo abierto, dentro de la cual se encierra el área que se va a soldar. El agua dentro de la cámara se desplaza con una apropiada mezcla de gases, permitiendo así ejecutar la soldadura en un ambiente seco.

Los buzos soldadores entran en la cámara a través de un túnel que se mantiene a presión para evitar la entrada del agua, por este mismo túnel se le envían los electrodos a los buzos para evitar que se mojen y se deteriore el revestimiento.

Este tipo de trabajo debe ser ejecutado por personal especializado. En el capítulo de Personal y Equipos necesarios se exponen algunas de las responsabilidades que tiene este personal.

A continuación se exponen algunas de las técnicas que

pueden llevarse a cabo en la reparación de fallas en líneas submarinas en la Sonda de Campeche, tomando en cuenta la disponibilidad de equipo y personal en nuestro país.

#### **Impermeabilización:**

El revestimiento original de los electrodos se deteriora cuando se humedece, por tal motivo estos se deben proteger con soluciones adecuadas. El proceso se debe repetir dos veces para evitar que el agua penetre en los poros del revestimiento, si no se toma esta precaución al iniciar la soldadura, el electrodo se calienta y el agua contenida se evapora, ésta, al salir ocasiona la ruptura del revestimiento original. La primera aplicación del impermeable debe estar completamente seca antes de aplicarse la segunda capa.

La parte desnuda al final del electrodo se debe dejar completamente limpia para asegurar el buen contacto, es aconsejable enviar al buzo pocos electrodos a la vez, para evitar el deterioro del revestimiento.

Antes de aplicar la protección impermeable, los electrodos se deben calentar a una temperatura de más o menos 180° F, durante dos horas, o 240° F durante una hora; esto se hace para mover la humedad en el revestimiento.

La protección impermeable debe ser aplicada uniformemente sin dejar burbujas o superficies irregulares, además ésta no debe aumentar el peso del electrodo en más de un 3%, es importante que dicha protección no se deteriore al contacto



Los cálculos para los asperajes han sido establecidos utilizando 150 pies de cable de 50' de profundidad. Esta tabla varía de acuerdo a la longitud del cable y a la profundidad del trabajo.

Debido al rápido enfriamiento causado por el agua, la corriente usada es más alta que la que se usa en superficie, por consiguiente el buso debe de tener especial cuidado para no recibir un choque eléctrico.

**Capacidad de las Soldaduras de Relleno Aplicadas Bajo el Agua.**

Diámetro del electrodo	Número de pases	Factor de seguridad	Resistencia por pulgada lineal calculada en libras.
5/32	3	12,000	2,000 1,400 para cáucamos u para
	6 o r e j a s levantar.	6	p a r a
3/16	1	10,000	1.600 Lb 1.000 para cáucamos u orejas
		6	

**Nota:**

No es recomendable un sólo pase por varilla de 5/32. La resistencia de la soldadura es más baja cuando se suelda sobre cabeza.

**Soldadura mojada.**

**Técnicas**

**Condiciones adversas.**

Antes de iniciar una operación de corte o de soldadura se debe inspeccionar el sitio de trabajo.

Es importante tener en cuenta las siguientes condiciones de trabajo.

No se puede soldar bien cuando:

- 1.- La superficie no ha sido limpiada apropiadamente y se encuentra con óxido, pintura y conchas marinas.
- 2.- La visibilidad es muy pobre y no se puede seguir una guía. Cuando la visibilidad es muy escasa, el soldador debe tener una guía o un canal para guiarse.
- 3.- La plancha o tubo, está muy doblado o aplastado.
- 4.- El ajuste de los dos metales tiene abertura o grieta de más de 1/16. Sin embargo, más adelante examinaremos un sistema de relleno que se puede aplicar en ciertos

**casos.**

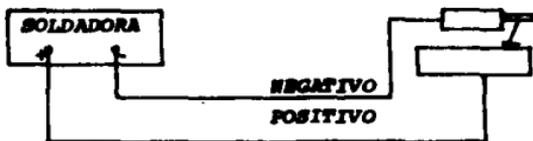
- 5.- Finalmente, no se puede hacer una soldadura cuando el bñso no tiene plataforma fija.

Estas plataformas deben ser atadas al objeto que se va a soldar.

**POSICION CORRECTA PARA CONTAR Y PARA SOLDAR.**



**POLARIDAD INVERTIDA**



**POLARIDAD DIRECTA**

**Generador y polaridad.**

La mayor parte de los electrodos utilizados en las soldaduras bajo el agua, están diseñados para polaridad invertida, con excepción de unos pocos.

### **Determinación de polaridad.**

Cuando las marcas de una soldadura no son legibles, o como medida de precaución, el buzo debe estar seguro de que va a trabajar con la polaridad correcta, ésta se determina siguiendo estos pasos:

- 1.- Con el generador apagado conecte los dos cables a las terminales.
- 2.- Conecte un electrodo revestido a la masa y otro al porta electrodo.
- 3.- Sumerja las puntas de los electrodos en agua salada.
- 4.- Asegúrese de que todo está propiamente aislado.
- 5.- Sostenga las puntas de los electrodos a 2 pulgadas de distancia. Conecte el interruptor. Las burbujas saldrán del polo negativo y ninguna saldrá del polo positivo.

Si la polaridad está correcta, las burbujas saldrán del electrodo en el porta-electrodo, si sucede lo contrario, habrá de invertir los cables.

Los generadores para soldar o cortar, deben ser de 300 o más amperios. En casos de emergencia, se pueden usar generadores de 200 amperios, con precaución. También se pueden utilizar dos generadores uniendo los cables, sin embargo hay que tener especial cuidado con la insulación y hacer la conexión propiamente aislada.

#### **Cables:**

El cable debe ser del número 2/0 y debe cortarse en

tramos de 50' con conexiones macho y hembra a cada extremo. Esto con el fin de hacer minima la resistencia y caída del voltaje.

#### **Porta electrodo:**

Estos son especialmente diseñados para soldar bajo el agua. Los porta electrodos usados para soldar en la superficie, no se deben y no se pueden usar bajo el agua.

El portaelectrodo debe estar conectado a un cable delgado (1/0) de aproximadamente 3 metros de largo, esto es para facilitar su manejo.

#### **Equipo adicional:**

- 1.- Una placa para sujetar un lente oscuro No. 4-6-8, de acuerdo a la visibilidad, esta debe llevar sistema de bisagra y debe estar sujeta a la máscara del buzo.
- 2.- Una prensa en forma de C. para sujetar la masa. Esta debe ser de cobre o bronce o por lo menos tener el tornillo de ajuste de bronce.
- 3.- Un cepillo de acero con un peso adicional para evitar que flote.
- 4.- Una piqueta para remover escoria, limpiar soldadura, óxido y pintura, algunas veces hay necesidad de usar martillo y cincel.

#### **Selección del diámetro de los electrodos:**

Hasta el momento no hay electrodos con aleaciones

diseñadas especialmente para soldaduras bajo agua. Sin embargo, algunas marcas comerciales de electrodos diseñados para superficie, han dado resultados satisfactorios en soldadura húmeda.

Estos electrodos son usados con polaridad y corriente directa para impedir la corrosión del porta electrodo. Cuando se usa polaridad invertida con corriente directa, se produce una acción electrolítica, esto causa que las partes metálicas del porta electrodo sean consumidas por la corrosión en poco tiempo. Para la mayoría de las soldaduras hechas bajo agua, se recomienda el uso de electrodos 3/16".

Sólo en caso de que el metal a ser soldado sea muy delgado, se utilizan electrodos 1/8". Las ventajas del electrodo grueso son: menos tiempo de trabajo, cuando de un sólo pase no hay que limpiar, es más fácil seguir la grieta y hacer un solo pase, que soldar sobre previos cordones, debido a que no hay una guía positiva.

#### **Limpieza:**

Debemos hacer énfasis en la limpieza del material a soldarse y de los cordones de base. Es muy importante limpiar cada pase antes de aplicar el próximo. Los parches o materiales de adición se deben limpiar en la superficie con piedra esmeril o con soplete, antes de bajarlos al buso.

El buso puede limpiar la soldadura o las piezas a ser

**soldadas con disco abrasivo conectado éste a un motor hidráulico o neumático.**

**NOTA:**

**Limpiar bajo el agua con disco abrasivo, puede causar magnetismo en el metal, lo cual hará muy difícil el soldar.**

**Posición y ajuste:**

**Es muy importante que las piezas que se van a soldar se ajusten correctamente; este trabajo se debe hacer con mucho cuidado y atención porque no es fácil rellenar grietas muy grandes bajo el agua.**

**Técnica de la soldadura submarina.**

**La técnica preferida para aplicación de una soldadura es la del "autoconsumo". Contrario al trabajo en la superficie, el electrodo se deja consumir su propio paso ejerciendo un poco de presión contra la plancha. El tamaño del cordón de soldadura será del mismo diámetro del electrodo utilizado, una sola pasada con el electrodo de 3/16" tendrá un espesor de 3/16".**

**Posición horizontal:**

**Se recomienda el siguiente procedimiento:**

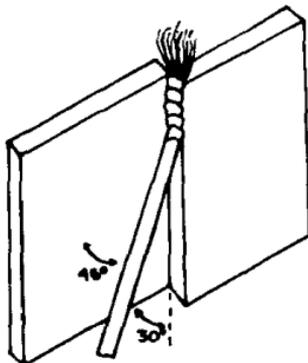
- 1.- Cerciorarse de que el interruptor está abierto (cerrado) o desconectado.**

- 2.- Limpiar escrupulosamente la superficie por soldar.
- 3.- Graduar la corriente del generador (para esto el buso debe tener una plancha extra para soldar y graduar la corriente sin perturbar el sitio donde se aplicará la soldadura). Cuando la corriente se gradua en la superficie se debe elevar un 30% aproximadamente, para el mismo electrodo, debido al rápido enfriamiento producido por el agua.

**Técnicas de autoconsumo para posición horizontal:**

- 1.- Posición del electrodo a un ángulo de aproximadamente 30° hacia la línea de soldadura con el electrodo en contacto con la obra.
- 2.- Dé la señal para cerrar el interruptor, separe el electrodo momentáneamente si es necesario para iniciar el arco.
- 3.- Aplique suficiente presión en la dirección de la flecha para permitir que el electrodo se autoconsuma.
- 4.- Coloque la punta del electrodo contra la obra, de modo que el electrodo tenga un ángulo de más o menos 30° aproximadamente, con relación a la línea de soldadura. Este ángulo puede variar a medida que se avanza con el cordón y también de acuerdo al tipo de electrodo.
- 5.- Hacer la señal de corriente puesta (hot), el arco se encenderá cuando el ayudante cierre el conmutador, si éste no se enciende, el electrodo se golpeará o frotará ligeramente contra la obra. Una vez encendido, se hará la suficiente presión para que el electrodo sea consumido. No se harán movimientos de vaivén.

- 6.- Una vez que el electrodo se haya consumido, se dará la señal para cortar la corriente (cold). Sólo entonces se hará el cambio de electrodo. Mantenga el electrodo alejado del cuerpo hasta recibir confirmación de que el conmutador está abierto (cold).
- 7.- Antes de depositar un electrodo, se limpiará el extremo del depósito previo. Si fuese preciso agregar una segunda pasada, la soldadura depositada previamente debe limpiarse rigurosamente.
- 8.- Cuando se tiene el nuevo electrodo en posición de soldar, se dará la señal de corriente puesta (hot). Es mejor soldar hacia adentro que hacia afuera, con respecto al buzo.



**Posición vertical:**

Se aplicará la misma técnica empleada en la posición horizontal y se suelda de arriba hacia abajo para evitar que las burbujas entorpezcan la visibilidad del buzo.

### **Posición alta sobre cabeza:**

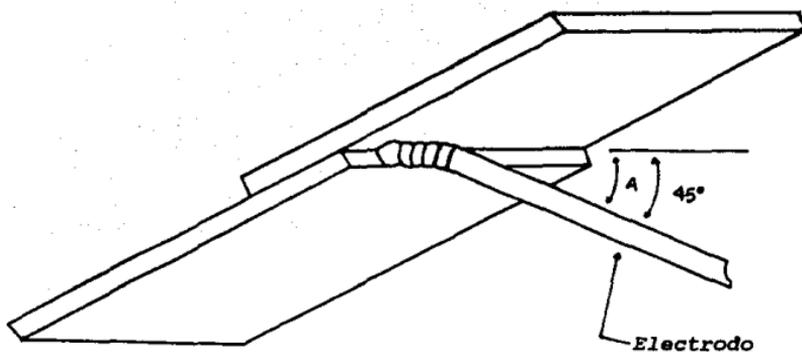
Se puede aplicar el auto consumo en esta posición, sin embargo, la corriente debe ser ajustada cuidadosamente pues el margen de tolerancia es muy reducido. La convexidad y el rebajo son difíciles de evitar en esta técnica. La técnica alterna para evitar esta irregularidad requiere mayor pericia, ésta involucra un ángulo de 30° a 50° con un pequeño movimiento de atrás y adelante y un régimen de proceso lento y constante. Cuando la soldadura queda abultada y en forma de gotas, es indicio de que la corriente está muy alta o que el operario no aplicó suficiente presión o ambos factores.

### **Técnicas de ajustes deficientes.**

Donde el ajuste sea deficiente y se encuentra una abertura del tamaño o un poco más del diámetro del electrodo, la técnica del auto consumo se complementará con el sistema de alimentación interna y el de cordones sucesivos.

Alimentación interna quiere decir, que el electrodo es alimentado o empujado hacia la junta con mayor rapidez que el método común, lo que formará depósitos de 6" en lugar de 8" por cada 10" de electrodo. El metal soldante adicional llenará la brecha cuando se emplea este procedimiento.

Se pueden llenar grietas de 5/32 usando electrodos de 3/16 usando este procedimiento, esto está relacionado también con el estado y grueso del material.



Angulo            15° a 45°    Técnica para auto

A =  $\frac{\quad}{\quad}$   
                  35° a 55°    para 35° - 55°

**Técnica para soldadura alta**

**Método:**

Supongamos que existe una abertura de 1/4", la cual vamos a rellenar usando electrodo de 3/16, aplicamos un cordón a un lado de la abertura, de manera que éste alcance a cubrir una tercera parte de la abertura, luego se hace el mismo procedimiento en el lado opuesto de la abertura, dejando aproximadamente 1/8" de espacio, el cual ya es más fácil de rellenar.

Si es necesario se pueden aplicar más pases sobre los cordones previos antes de intentar el relleno de la abertura.

**Es indispensable llenar escrupulosamente cada pase antes de aplicar el próximo y corregir cualquier irregularidad en cada uno de los cordones con el uso de un disco abrasivo.**

**La operación de relleno se hace con un amperaje un poco más bajo que el de la soldadura común. Este método requiere gran pericia por parte del operador.**

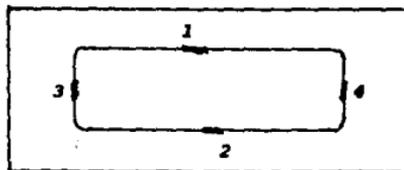
#### **Procedimiento para grietas pequeñas:**

**Si se trata de rellenar grietas pequeñas con el metal soldante es probable que ésta se vuelva a abrir debajo de la soldadura, por lo tanto es mejor aplicar el siguiente procedimiento:**

- 1.- Se ubican los extremos de la grieta.**
- 2.- Se taladran o se queman agujeros a cada extremo de la grieta para evitar que esta se propague.**
- 3.- Se corta una plancha al tamaño adecuado para cubrir el área de la rajadura y se adaptará a la configuración de la plancha que sirve de base.**
- 4.- Se coloca la plancha sobre la grieta y se sueldan suficientes puntos alrededor de ésta para evitar que se pierda el ajuste con la contracción de la soldadura. Estos puntos deben colocarse a los lados opuestos.**

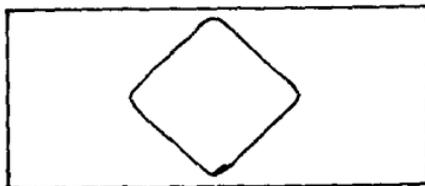
**Soldaduras hechas sin el ajuste propio, tienen la tendencia de rajarse, por esta razón debe hacerse con mucha precaución.**

### METODO DE FORTEAR



Seguir el orden de los números.

### PLANCHIA PARA REPARACION VERTICAL



Es conveniente evitar la soldadura alta (sobre cabeza) cuando las condiciones lo permitan.

De acuerdo a las condiciones de la obra, pueden usarse otras configuraciones de las planchas.

- 1.- Es importante recordar que las partes a soldar deben ajustarse tan bien o mejor que la superficie.
- 2.- El diseño estructural submarino debe ser en fuerza y resistencia igual o mayor que los diseñados en la superficie.

- 3.- El factor adicional de seguridad de las soldaduras bajo agua es necesario para comprender la capacidad limitada de soldadura bajo agua.

#### Proceso de soldadura subacuática

##### Proceso:

- Se usa polaridad directa y corriente directa.
- En la soldadura de posición y pases múltiples, se puede usar un poco de vaivén.
- El buso tiene que estar en una buena posición fija, escaleras pequeñas o plataformas son usadas de acuerdo a las condiciones de trabajo.
- La tierra (masa) debe ser colocada a la misma altura de la obra.
- Después de que el soldador inicie el arco, este se debe conservar bien cerca del metal.
- Permita que el electrodo se consuma por sí solo.
- Viajar muy rápido causará huecos y fusión incompleta.
- El ángulo del electrodo varía de acuerdo al trabajo y al individuo.
- Cuando se inicia el arco se viaja un poquito más rápido.
- Todas las soldaduras verticales serán hacia abajo.
- Cuando se suelda verticalmente se cambia de posición si es posible.
- Cuando son soldaduras altas hay que evitar que el equipo del buso interfiera con su trabajo.
- Al espezar el trabajo cada día, todos los cables deben ser revisados por cortes en la insulación.

**Preparación:**

- Toda el área a soldar debe limpiarse con presión de agua (water blaster).
- Use una piqueta y cepillo para limpiar crecimientos marinos y corrosión, hasta que el metal esté brillante.
- Cuando se repara una soldadura corroída, la nueva soldadura debe ser del espesor de la previa.
- Cuando se aplican varios pases, los pases previos deben ser limpiados y cualquier hueco debe estar limpio de escoria.
- No se puede soldar arriba de escoria, óxido, corrosión o crecimientos marinos. No se debe intentar quemarlos, esto resultará en soldaduras mal hechas.
- Mucho disco abrasivo puede causar magnetismo. Cuando la soldadura está terminada, se puede usar el disco con motor hidráulico o neumático.

**Parches.**

**Reparación de miembros:**

- Precortar en la superficie de el mismo diámetro del miembro.
- Este debe estar limpio, antes de bajar al buso.
- Todas las esquinas deben ser redondeadas.

**Aplicación de puntos:**

- Limpiar el área escrupulosamente.
- Primer punto a la altura de las 12 1/2 se golpea para que ajuste a las 6 en punto - punto a las 9.
- Limpiar los puntos.

- **Espezar a las 12 1/2, continuar bajando hasta e incluyendo las 6.**
- **Retornar arriba y espezar desde las 9 hasta las 6 dejando abierto de las 9 a las 12.**
- **Reparar cualquier irregularidad, huecos, escoria, etc.**
- **Regresar a las 12 y terminar.**

**Reemplazo de miembros enteros  
(Risers y Offsets)**

**En el evento de que todo el miembro debe ser reemplazado, todas las medidas y cortes de ajuste deben ser revizados antes de soldar.**

- **Fabricar la pieza usando planos y las dimensiones que dá el buzo. Se puntea y se refuerza pero no se suelda.**
- **Bajar el miembro a su posición y revisar el ajuste de todas las superficies a soldar. Si es posible, haga cambios para mejor ajuste. Cuando el ajuste esté correcto, se puntea refuerzos para aguantar todas las dimensiones.**
- **Regrese el miembro a la superficie, complete los cambios hechos bajo el agua. Repuntear refuerzos.**
- **Soldar con electrodos de bajo hidrógeno.**
- **Regresar el miembro a su posición bajo agua, ajuste lo más cerca posible y proceda a soldar.**
- **La soldadura alta se hace primero para evitar magnetismo.**
- **Los electrodos que se envían al buzo deben ir en un contenedor con la presión inyectado, igual a la presión de la profundidad del buzo.**

- La soldadura de la superficie debe ser con electrodo tipo 7018

#### **Lista de equipos de trabajo en el mar**

- 2 Generadores de 300 amperios cada uno  
Revise agua, aceite, combustible.
- 3 Interruptores de cuchilla de 200 amperios, 250 voltios mínimo.
- 3 Juegos de cables de tierra de 100' más largo de la profundidad de trabajo.
- 4 Porta electrodos con 10' de cable delgado 1/0  
Un cable de 100' que va del generador al interruptor.  
Un cable que va del interruptor al porta electrodo, cuyo largo es determinado por la profundidad del trabajo.
- 2 Tubos de grasa para los porta electrodos.
- 1 Equipo de oxiacetileno para cortar en superficie.
- 4 Lámparas a prueba de agua. Baterías y bombillas.
- 12 Vidrios oscuros de 4, 6 y 8.
- 1 Careta de soldadura para superficie.
- 3 Cintas para medir.

#### **Herramientas de mano**

- 2 Escuadras de 24"
- 6 Cepillos de mano
- 1 Martillo neumático con manguera que alcancen la profundidad del trabajo.
- 12 Pares de guantes de hule
- 6 Bolsas de cuero para cargar electrodos.

- 3 Piquetas para limpiar soldadura
- 2 Seguetas, limas, llaves, martillos, cinta, cinta eléctrica y cinta plateada.
- 2 Diferenciales de alambre y dos de cadena
- 2 Air tuggers (malacates de aire) grilletes, cabos, discos abrasivos, y sus motores.

#### **Precauciones para soldar y cortar bajo el agua**

Durante operaciones subacuáticas de corte y soldadura, el buzo está expuesto a riesgos adicionales de los del buceo regular, esto principalmente porque se está trabajando con corriente eléctrica y equipo adicional como son los lentes oscuros, discos abrasivos, etc. Hay ciertas recomendaciones que el buzo debe tener en cuenta para su propia seguridad.

- 1 Nunca coloque su cuerpo entre la prensa de la tierra o masa y el porta electrodo. Ya sea que esté soldando o cortando, en otras palabras "nunca trabaje de espaldas a la masa", siempre debe colocarse adelante o a un lado de la obra.
- 2 Sólo un buzo calificado y asistido por personal de superficie con experiencia, debe usar el equipo de cortar o soldar.
- 3 El buzo debe practicar soldadura o corte en la superficie antes de trabajar bajo el agua.
- 4 Las instrucciones que se encuentren en los equipos, deben

**seguirse cuidadosamente.**

- 5 El regulador de oxígeno debe ser adecuado para el requerido volumen sin congelarse. Esté seguro de que los reguladores de oxígeno, mangueras, conexiones y el porta electrodo están libres de grasa y aceite. Nunca use aceite, grasa o ningún otro lubricante que sea combustible en equipo que use oxígeno.**
- 6 Ningún trabajo de ninguna clase, debe ser permitido en la superficie sobre el área que trabaja el buso. El radio de esta área debe ser igual a la profundidad del trabajo.**
- 7 Siempre conecte una línea o piola atada al equipo de cortar cuando se esté cortando desde adentro, esto para evitar que la manguera caiga sobre el buso, en caso de que esta se corte.**
- 8 El equipo de buceo debe permanecer en buenas condiciones y debe estar equipado con comunicación de dos vías.**
- 9 El buso siempre debe de usar guantes de hule secos, cuando se suelda o se corta.**
- 10 Antes de empezar a cortar o quemar, asegúrese de que no hay combustibles o materiales explosivos líquidos, gaseosos o sólidos cerca del lugar de trabajo.**
- 11 Debido a la pobre visibilidad que generalmente prevalece bajo el agua, el buso debe manejar los materiales de**

cortar o soldar con cuidado. Tratar de no enredarse con los cables y no dejar que estos sean demasiado largos, conserve todas las líneas y mangueras lejos del área de soldadura o corte, el buso debe tener cuidado principalmente al cortar que nada le caiga encima.

- 12 El buso no debe permitir que parte alguna de su cuerpo se convierta en circuito eléctrico.
- 13 Use corriente directa (DC) para cortar y soldar.
- 14 El buso siempre debe de estar seguro de que la corriente esté apagada antes de cambiar los electrodos. Conserve la corriente desconectada, excepto cuando suelde o corte. Esté seguro de bajar el lente obscuro, antes de soldar o cortar. Siempre quite el electrodo cuando se traslade de un lugar a otro.
- 15 El buso debe inspeccionar las partes metálicas de su equipo y buscar señales de deterioro por electrólisis. La conexión de la tierra debe estar conectada de manera que la electrólisis se reduzca al mínimo.
- 16 Después de cada operación el equipo debe ser lavado con agua dulce y luego secarlos, para mantenerlos en condiciones propias de trabajo.

**NOTA:** Antes de dar la señal de cortar la corriente, el buso separa el electrodo de la obra y luego dará la señal de cortar la corriente.

## **Corte submarino por el método de arco metálico**

### **EQUIPO:**

- **Generadores de soldar**
- **Cables de soldadura**
- **Interruptores de seguridad**
- **Porta electrodos**
- **Electrodos**
- **Impermeabilización a electrodos**

### **Información General:**

El procedimiento del corte con arco metálico, es simplemente un método mediante el cual se aplica el calor del arco eléctrico para fundir y desalojar el metal a lo largo de una línea de corte requerida. Este método puede usarse en situaciones donde no hay oxígeno disponible, se utilizan electrodos ordinarios recubiertos. Facilitando un medio para cortar metales ferrosos y no ferrosos, este procedimiento es superior para cortar planchas de hierro, donde el espesor no excede de un cuarto de pulgada, es excelente para cortar materiales no ferrosos como el bronce, cobre, níquel, etc., hasta espesores gruesos.

La soldadura bajo el agua, se puede usar para limpiar y desalojar soldaduras irregulares reemplazando el uso de discos abrasivos, los cuales pueden producir magnetismo.

### **Generadores de soldadura**

Se recomienda emplear como fuente de energía para esta clase de corte, un generador de por lo menos 400 amperios. Esta se debe conectar con polaridad directa. También se puede lograr un buen corte con generador de 300 amperios, sin embargo el corte con éste sería limitado.

También pueden acoplarse dos generadores paralelamente cuando se necesite más potencia. Es recomendable usar generadores de corriente directa para mayor seguridad y facilidad de trabajo.

Con los generadores de corriente alterna el arco es muy inestable, no producen suficiente calor para esta clase de operaciones, además la corriente alterna ofrece mayores riesgos a la seguridad del buzo. Por lo tanto, estos no son recomendables, excepto en casos de emergencia; al usar estos generadores se debe agregar un 10% en la cantidad de corriente.

### **Cables:**

Los cables para esta clase de corte submarino, son de la misma medida y longitud de los cables usados para soldar bajo el agua, también se debe atender a las mismas recomendaciones dadas en el método de soldadura submarina.

### **Interruptores de seguridad:**

En todas las operaciones de soldadura y corte subacuático, es de suprema importancia el utilizar un interruptor apropiado, así el buzo obtendrá protección completa si la corriente sólo se conecta cuando se está cortando o soldando.

### **Porta electrodos:**

Debido al riesgo de un choque eléctrico, es esencial que el porta electrodo esté aislado efectivamente y en su totalidad, no se deben usar porta electrodos que no estén diseñados para trabajos submarinos, salvo en caso de emergencia y en este caso se aísla el electrodo común lo mejor que se pueda; es también muy sencillo construir un porta electrodo para trabajos submarinos.

### **Electrodos:**

Usualmente se pueden usar electrodos del tipo del 6010 y 6013 completamente impermeabilizados o los electrodos para soldadura acuática.

### **Impermeabilización:**

Se usa el mismo sistema de impermeabilización de los electrodos para soldar bajo el agua.

### PROMEDIO DE MATERIAL DE ACUERDO A LA OBRA

Diámetro del electrodo	Unidad caja de 50 lbs.	No.de electrodos aprox.	Amperaje	Espesor de plancha de acero, pies de corte por caja
				1/4, 1/2, 3/4
3/16		410	300	185 102
3/16		410	400	307 135 58
1/4		220	400	176 77 44

### Técnica de corte por arco metálico

Cuando se usan electrodos de 3/16 con 300 amperios de corriente y 40 voltios, se pueden cortar planchas de 1/4 de pulgada mediante el sencillo procedimiento de arrastrar el electrodo a lo largo de la línea de corte requerida, aumentando el amperaje para láminas un poco más gruesas (3/8). Para planchas más gruesas, hay que imprimirle al electrodo un movimiento de sierra corto y lento para desalojar el metal fundido que se deposita al extremo más alejado del corte.

La aplicación hábil de esta técnica de aserrar, hace de éste, un método más práctico para cortar muchas clases de metales y variados espesores.

En otras palabras el método se basa en remover el metal fundido con el movimiento del electrodo hacia atrás y hacia adelante, al mismo tiempo excavando y desalojando metal.

**Precauciones de seguridad.**

Es muy importante observar las reglas de seguridad enumeradas al final del método de soldar, explicados en las páginas previas, sin embargo no está por demás recalcar algunas para destacar su importancia.

- a) El buzo deberá estar completamente vestido con el aparejo y los guantes del buzo, con la finalidad de quedar totalmente aislado en todas partes del circuito eléctrico, inclusive de la obra en tierra.
- b) Todas las partes sumergidas en cables y sujetadores de electrodos deben estar perfectamente aislados.
- c) En el circuito de soldadura habrá un interruptor desconectador aprobado, de funcionamiento positivo, y se mantendrá cortada la corriente en todo momento, salvo cuando el buzo esté cortando efectivamente o mantenga el electrodo levantado en posición de cortar, en cuyo caso el interruptor permanecerá abierto hasta que el buzo esté listo y en posición de cortar, en cuyo caso hará la señal convenida para "corriente puesta", el ayudante procederá entonces a cerrar el interruptor, confirmando esta maniobra de inmediato al buzo, mediante la señal de "corriente puesta".

Quando el buso haya terminado de cortar o esté listo para cambiar los electrodos, mantendrá el soplete levantado en posición de corte, después de haber hecho la señal de "cortar corriente" y hasta que haya recibido la confirmación del ayudante, una vez que éste haya abierto el conmutador.

d) Como en otra operación con arco, se tomarán precauciones para asegurarse contra los explosivos de gases retenidos facilitando los medios adecuados para la purga de dichos gases.

a) El electrodo se sostiene con la obra y se dá la señal para conectar la corriente

b) El electrodo se retira momentáneamente y luego se avanza lentamente a través del borde de la plancha

c) El metal derretido se empuja a través del borde de la plancha

d) El metal derretido se empuja hacia afuera de la obra y se retorna inmediatamente al borde opuesto para iniciar otro pase.

### **Método de corte submarino por arco oxígeno**

El principio denominado arco oxígeno para cortar metales, se basa en el mismo principio empleado para el corte oxiacetileno, en ambos sistemas se calienta el metal hasta el punto de fusión, y una vez logrado esto, un chorro de oxígeno a alta presión desplaza el metal fundido.

El oxígeno cumple la función de oxidar o quemar el núcleo de porción precalentada.

En el corte de oxiarco, el precalentamiento es instantáneo, por lo tanto se dá admisión al oxígeno antes o al mismo tiempo de iniciar el arco, el fenómeno de precalentamiento del metal fundido, continúa en sucesión ininterrumpida al deslizar el electrodo sobre la obra.

#### **Soldadura:**

El generador de corriente debe ser una máquina de soldar de un mínimo de 300 amperios conectados para polaridad en línea recta, corriente directa si por alguna razón hay que usar corriente alterna (CA) se advierte observar cuidadosamente las precauciones de seguridad porque en este caso el riesgo es mayor.

#### **Interruptores:**

Es de extrema importancia hacer uso de un interruptor de corriente de 200 amperios y 250 volts.

Este se utiliza para interrumpir la corriente que va hacia el maneral de cortar, este debe estar situado en tal forma que el tender pueda operarlo lo más rápido posible a la orden del buzo. El interruptor debe estar siempre abierto, excepto cuando el buzo esté soldando o cortando.

El operador del interruptor debe cuidar de no mirar el arco que éste produce al cerrar o abrir para evitar las quemaduras en los ojos. El mango del interruptor debe estar completamente aislado, hay que tomar en cuenta que el tender tendrá en una mano una manguera mojada y está operando el interruptor con la otra. Los choques eléctricos afectan directamente los rellenos de los dientes.

#### Manómetro de oxígeno:

El corte de oxiarco requiere más presión de O<sub>2</sub>, que el corte de superficie, por lo tanto los reguladores de O<sub>2</sub> de superficie no pueden ser ajustados para dar la presión suficiente a moderadas profundidades. El regulador debe tener una capacidad para dar presión de por lo menos 100 libras sobre la presión del agua donde se ejecuta el trabajo. El promedio de la presión necesaria es aproximadamente así: 75 lbs. sobre el ambiente para el espesor de media hasta una pulgada, y 125 lbs. para metales de una y media pulgada y más, esto parece ser mucha presión y por lo tanto muy costoso, pero esto garantiza un corte rápido, lo que puede ser ventajoso especialmente en aguas profundas, donde el tiempo es muy valioso.

### **Electrodos tubulares para cortes**

Siempre se debe utilizar electrodos aprobados para corte submarino, sólo en casos de emergencia se utilizarán electrodos y equipos no aprobados, en cuyo caso se pondrá especial cuidado a las medidas de seguridad.

### **Materiales para corte subacuático**

<b>Electrodos</b>	<b>Tubular de Hierro</b>	<b>Marca Arcair</b>
	<b>Ultratérmico</b>	<b>Broco</b>
<b>Oxígeno</b>		
<b>Materiales alternativos</b>		
<b>Para impermeabilización</b>	<b>Cinta de papel</b> <b>(Masking Tape)</b> <b>Papel periódico (4 envolturas)</b> <b>Papel de envolver (3 envolturas)</b> <b>Papel de escribir (3 envolturas)</b> <b>Goma o cola</b>	

### **Tipos de electrodos:**

Electrodos tubulares de hierro y electrodos ultratérmicos. Los electrodos de hierro son de uso más común que los ultratérmicos, para ambos electrodos se usan generadores de corriente alterna, pero el peligro de un golpe interno se incrementa.

**TABLA PARA REGULARIZACION DE O<sub>2</sub>, DE ACUERDO A LA MARINA  
NORTeamERICANA**

<b>GRUESO DE LA PLANCHA</b>		<b>PRESION SOBRE EL AMBIENTE</b>		
		<b>ELECTRODO TUBULAR DE ACERO</b>	<b>ELECTRODO ULTRATERMICO</b>	
<b>PULGADAS</b>		<b>PSI</b>	<b>PSI</b>	
1/4	(6.4 mm)	35-40	(2.41-2.74 kpa)	75 (5.17 kpa)
3/8	(9.5 mm)	40-45	(2.74-3.10 kpa)	80 (5.52 kpa)
1/2	(12.7 mm)	45-50	(3.10-3.45 kpa)	80 (5.52 kpa)
3/4	(19.0 mm)	50-55	(3.45-3.79 kpa)	85 (5.86 kpa)
1	(25.4 mm)	55-60	(3.79-4.14 kpa)	90 (6.20 kpa)
1 1/4	(31.8 mm)	65-70	(4.48-4.82 kpa)	95 (6.55 kpa)
1 1/2	(38.1 mm)	75-80	(5.17-5.52 kpa)	95 (6.55 kpa)
1 3/4	(44.4 mm)	95-100	(6.55-6.89 kpa)	100(6.89 kpa)
2	(50.8 mm)	95-100	(6.55-6.89 kpa)	105(7.24 kpa)

- Notas:**
- a) **PSI** significa, pounds per square inch, lo que traduce por libras por pulgada cuadrada.
  - b) **KPA** = kilogramos por atmósfera
  - c) La presión de la línea de O<sub>2</sub> debe ser ajustada a 1/2 **PSI** (3.5 kpa) por cada 30 cms. de profundidad de agua.
  - d) Por cada 100 pies (30.48 m) de manguera, agregue 35 a 70 kpa (5 a 10 **PSI**).

### **Electrodos tubulares de hierro:**

Estos son simplemente un tubo de hierro de 5/16 (7.94 mm) de diámetro exterior, 14 pulgadas de largo (35.56 cm) y tienen un orificio de 7/64 (3.18 mm), se han usado tubos de hierro fundido y de bronce porque estos materiales no se oxidan fácilmente, sin embargo se prefiere usar el hierro por su alto punto de fusión.

### **Revestimiento de electrodos**

Los componentes de los electrodos, son muy similares a los componentes de los electrodos para soldar en la superficie usando polaridad directa y corriente directa o alterna.

La misión del recubrimiento de los electrodos tubulares es la siguiente:

- Ayuda a iniciar y a mantener el arco.
- Forma y mantiene una manga de guía y protección alrededor del arco, para hacer esto el revestimiento se consume más lento que el hierro, este revestimiento debe ser aplicado en forma concéntrica para que se consuma uniformemente y así facilitar el restablecimiento del arco, si es necesario, no debe formar escoria sobre el material que va a ser cortado porque ésta al ser depositada en la ranura impide la oxidación del metal, lo cual dificultaría el corte.
- Suelta burbujas dentro de las cuales se mantiene el arco.
- Sirve como aislador contra la corriente eléctrica aún

cuando esté mojada.

- Este revestimiento también impide que haya arco a los lados del electrodo, por lo cual se deben reparar los electrodos que tengan el revestimiento averiado.

Durante la manufactura de estos electrodos, se impermeabilizan, sumergiéndolos en una laca termoplástica.

#### Ventajas.

- La técnica de cortar con estos electrodos es sencilla, y se puede aprender fácilmente.
- Se puede cortar metal hasta de dos pulgadas de espesor.
- El corte es hecho rápidamente.
- Se pueden producir cortes limpios.
- Se trabaja en menos de 400 amperios.

El tiempo de combustión del electrodo es de aproximadamente un minuto. El rápido consumo de los electrodos tubulares es una desventaja en algunos casos, por ejemplo, donde hay poca visibilidad, el buso debe usar su tacto para localizar el corte, después de cambiar los electrodos, la estrecha ranura producida al cortar con los electrodos tubulares, hace difícil localizar e inspeccionar el corte.

**PROMEDIO DE RENDIMIENTO DE LOS ELECTRODOS TUBULARES DE HIERRO.**

CANTIDAD DE ELECTRODOS	PLANCHA DE HIERRO			GRUESO
	1/4	1/2	3/4	1"
	6.35 mm	12.7 mm	19.05 mm	25.4 mm
CAJA DE 50 LBS (22.65 kg.)	167'	240'	170'	160'
TANQUES DE O <sub>2</sub> 200 PIES CUBICOS 5.6 m <sup>3</sup> POR CAJA				
DE ELECTRODOS	2.7	2.0	2.0	2.0

**PROMEDIO DE RENDIMIENTO EN LOS ELECTRODOS ULTRATERMICOS**

	PLANCHA DE HIERRO POR CAJA DE ELECTRODOS		
LARGO DEL ELECTRODO	1/2" (12.7 mm)	1" (25.4 mm)	1.1/2" (38mm)
LARGO DEL CORTE	19-20" (48-51cm)	14" (35.5cm)	12" (30 cm)
TIEMPO DE DURACION DEL ELECTRODO	36 seg	45.5 seg	47 seg

**Electrodos ultratérnicos**

El electrodo ultratérnico para cortar, consta de siete varillas de aproximadamente 3/32 de grueso, dentro de un

tubo de hierro, una de las siete varillas es de una aleación especial, que tiene la propiedad de quemarse independientemente una vez que se inicia el arco y el O<sub>2</sub> continúa fluyendo; el tubo y las otras seis varillas son hechas de hierro; el electrodo está aislado con cinta aislante eléctrica, mide 18" de largo (46 cm) y se fabrica en dos diámetros: 3/8 y 1/4 de pulgada (9.32 mm) y (6.35 mm), estos electrodos se ajustan a los manerales bronco o cualquiera de los Craftsweld, usando las adaptaciones apropiadas, las cuales son, la pifa y empaque o arandelas perforadas al diámetro correcto para no restringir el flujo de O<sub>2</sub>.

La rejilla que está dentro del maneral de cortar, debe ser removida y se debe usar una manguera de O<sub>2</sub> de 3/8 (9.52 mm).

El flujo del O<sub>2</sub> no se debe restringir o por lo menos, reducir los obstáculos de éste al mínimo, con el fin de hacer un buen corte, por consiguiente, el volumen del O<sub>2</sub> debe ser suficiente y llevar una presión de 140 a 160 libras por pulgada cuadrada (PSI) o de 980 a 1120 kpa sobre el ambiente, y aplicar 150 amperios al electrodo.

Las ventajas de este electrodo son:

- La técnica del corte es simple y se aprende rápido.
- Estos permiten que la corriente se desconecte.
- Estos electrodos se pueden usar con materiales ferrosos y no ferrosos.
- El generador requerido está dentro de 400 amperios.

### **Electrodos de emergencia:**

En las situaciones donde haya necesidad de improvisar o construir electrodos para cortar satisfactoriamente, se pueden fabricar estos electrodos con materiales que por regla general se encuentran a bordo de las embarcaciones de trabajo.

Estos electrodos pueden ser fabricados de tubo delgado de 5/16" (7.94 mm), tubo de hierro con orificio de 1/8" (3.18 mm) cortados a una longitud de 14" (36 cm) y recubiertos con cinta de papel pegante, cinta aislante o simplemente papel, hasta conseguir un recubrimiento de 5 mm.

### **Revestimiento**

La parte del contacto con el maneral de cortar, debe dejarse descubierta. Aproximadamente se debe revestir así:

- Cinta de papel pegante, tres envolturas.
- Papel periódico, cuatro envolturas.
- Tres envolturas de papel para envolver.
- Tres envolturas de papel de escribir.

La envoltura se hace en forma espiral o en la misma forma en que se envuelve un cigarro.

La cinta pegante conocida como Masking o cualquier producto equivalente, se recomienda para trabajos de urgencia, porque debido a su propiedad impermeabilizante se pueden usar inmediatamente después del proceso.

Cuando se usa papel ordinario para esta protección, se debe aplicar cemento o goma a prueba de agua para asegurar un recubrimiento nitido y asegurar el papel mientras se sumergen en la solución para impermeabilizar.

El material para impermeabilizar puede ser laca transparente con base de epóxica, celuloide y acetona, mezclando media libra por cada galón de acetona (0.227 kg celuloide más 3.78 lt. acetona).

También se puede impermeabilizar con barniz, pintura, parafina o cera.

Otros tipos de electrodos improvisados:

Estos también pueden ser fabricados con materiales a bordo del barco, similares al popular electrodo Swafford, el cual consiste de un tubo de bronce de 3/8 (9.52 mm) de diámetro, dentro del cual se introduce una varilla cuadrada de las que se usa para soldar hierro colado, también conocido como hierro fundido. Otro tipo de electrodos improvisados, pueden hacerse de un tubo de acero o de bronce con varillas de metal, introducidas dentro del orificio cuidando de dejar espacio para el flujo de O<sub>2</sub>. Se puede también improvisar un electrodo de corte con un tubo de 3/8, estos se sueldan con bronce a un extremo del tubo, para facilitar el flujo de O<sub>2</sub> se deja la varilla en el centro sin soldar, o sea que se deja más corta que las demás, después de haber soldado, se saca el electrodo y se perfora un orificio de 1/8 en el centro de la parte rellena con el bronce. Las pifas y las partes del

maneral de cortar deben ser adaptadas especialmente para los electrodos improvisados.

Los electrodos improvisados ya descritos, cortan un poco más lento y por consiguiente gastan más oxígeno.

Para las operaciones de corte de O<sub>2</sub>, debe tener un 99% de pureza o más, si no se mantiene este grado de pureza, la eficiencia del corte disminuye, el 1% de impureza en el O<sub>2</sub> resultará en una reducción de un 25% en la eficiencia; también se podrá observar que la escoria se adhiere tercamente al metal.

Si la impureza del O<sub>2</sub> es menos de 95%, la operación se convierte en derretir y desalojar metal en lugar de cortar. El oxígeno que se consigue comercialmente tiene una pureza del 99.9%

#### **Técnica de corte submarino**

La técnica del corte depende del grueso del material que se va a cortar y la clase de electrodo.

**Corte para plancha de más de 1/4 de pulgada.**

Para iniciar el corte, el electrodo debe de estar perpendicular a la obra, se abre un poco la válvula de O<sub>2</sub> y se dá la señal para recibir corriente (caliente), si es necesario se retira un poco el electrodo para poder iniciar el arco, una vez iniciado el arco, se abre todo el paso de O<sub>2</sub>

y se sostiene abierta mientras se corta.

Una vez que se ha cortado, a través del material, se procede a arrastrar el electrodo siguiendo la línea del corte, sosteniéndolo perpendicular a la plancha que se está cortando. Es necesario ejercer presión en dos formas: contra la plancha o hacia adentro de esta y al mismo tiempo hacia adelante para avanzar el corte.

Un corte incompleto se evidencia por el rebote de la combustión, en este caso se para el avance y se regresa inmediatamente a completar el corte.

#### Precaución.

Con cualquiera que sea la marca o clase de electrodo, se debe tener la precaución de no retirar el electrodo de la obra cuando la corriente está puesta. Mantenga el maneral en posición de cortar hasta que se reciba la confirmación de que la corriente ha sido interrumpida (frío).

Corte para plancha de menos de 1/4 de pulgada.

La técnica para cortar planchas de 1/4 de grueso o menos con los electrodos tubulares de hierro, es un poco diferente al sistema que se usa para cortar plancha más gruesa; la presión que se ejerce contra la plancha es mucho más elevada y se viaja más rápido.

Cuando la visibilidad es muy poca, se procede a cortar

en la misma forma que se hace con la plancha más gruesa, con la diferencia de que el electrodo se inclina hacia la plancha con un ángulo de 45 grados, en esta forma se incrementa el espesor que se corta, por lo tanto se aplica la misma presión.

#### **Electrodos ultratérmicos:**

Básicamente el corte ultratérmico calienta el material al punto de fusión, permitiendo que el O<sub>2</sub> desaloje el metal derretido a través del corte u orificio. El tiempo de duración de este electrodo es de 45 seg. aproximadamente.

La técnica para cortar con este electrodo es similar al corte con electrodo tubular. La diferencia está en que al iniciar el corte este electrodo debe estar a 45-30 grados de inclinación, con relación a la línea de corte, el O<sub>2</sub> debe estar fluyendo antes de dar la señal para recibir corriente (caliente), una vez que se empieza a cortar, se penetra el electrodo, se empuja para que penetre todo el espesor del material a cortar, luego se mueve sobre la línea de corte tan rápido como se pueda, hay que cuidar de no retirarlo y de conservar la punta del electrodo en el charco de fusión.

Los electrodos ultratérmicos continúan en combustión aún cuando la corriente ha sido cortada, pero el O<sub>2</sub> continúa fluyendo.

La corriente debe estar a 150 amperios con polaridad recta, si se aumenta la corriente el electrodo se consumirá más rápido.

Quando se quiera cambiar el electrodo e instalar uno nuevo, se debe tener la precaución de cerrar completamente la válvula de O<sub>2</sub>.

El ajuste del electrodo en el maneral, debe de estar bien para evitar una combustión en reversa y quemar el maneral.

El electrodo se debe cambiar cuando queden aproximadamente tres pulgadas, para evitar daños al material y por consiguiente combustión del O<sub>2</sub> dentro del maneral.

#### **Técnica para cortar materiales no ferrosos y no conductivos**

Hay que recordar que este electrodo continúa cortando, aún cuando se corta la corriente y el O<sub>2</sub> continúa fluyendo.

Quando se va a cortar metales no ferrosos, el proceso es simplemente de derretir y desalojar el metal fundido mediante un chorro fuerte de O<sub>2</sub>, en este caso se recomienda usar aire comprimido en lugar del O<sub>2</sub> cuando se usan electrodos tubulares de hierro, sin embargo, el mejor método para cortar bronce, cobre, hierro maleable, etc., es el método de corte con arco eléctrico. Una vez que una manguera ha sido usada para aire, jamás debe usarse para el O<sub>2</sub>.

Por razón que este corte depende mayormente en la acción de derretir y no de cortar, se requiere usar la mayor cantidad de corriente posible, hasta un máximo de 500 amperios; el electrodo se debe manipular hacia adentro y hacia afuera, porque la acción de derretir sucede en el área inmediata al

arco.

Para láminas delgadas, se usa la técnica de arrastre liviano del electrodo.

**Materiales no conductivos:**

Para cortar concreto, piedras corales, etc., se necesita llevar una pequeña plancha para iniciar el arco, 150 amperios y 150 a 160 lbs. de presión sobre el ambiente, la plancha quedará conectada al cable de tierra y se coloca anexa al objeto a cortar, se inicia el arco en la plancha, se deja abierto el flujo del O<sub>2</sub>, esto causará que el electrodo ultratérmico continúe su combustión, luego se moverá hacia el objeto y se procede a cortar o a derretir. Si la llama se apaga, simplemente se regresa a la plancha y se repite la operación.

### **PRESION SOBRE PROFUNDIDAD**

<b>ESPEJOR</b>	<b>ELECTRODOS TUBULARES</b>	<b>ULTRATERMICOS</b>
1/4 (6.4 mm)	35-60 (241-74 kpa)	75 (517 kpa)
3/8 (9.5 mm)	40-45 (274-310 kpa)	80 (552 kpa)
1/2 (12.7 mm)	45-50 (310-342 kpa)	80 (552 kpa)
3/4 (19 mm)	50-55 (345-379 kpa)	85 (586 kpa)
1 (25.4 mm)	55-60 (379-414 kpa)	90 (620 kpa)
1.1/4 (38.1 mm)	65-70 (448-482 kpa)	95 (655 kpa)
1.1/2 (38.1 mm)	75-80 (517-552 kpa)	95 (655 kpa)
1.3/4 (44.4 mm)	85-90 (586-620 kpa)	100 (124 kpa)

### **TABLA PARA REGULAR O2**

**NOTA:** La presión debe ser ajustada a 1/2 PSI (3.5 kpa) para cada pie (30 cm) de profundidad.

Por cada 100 pies de manguera (30.48 mts) agregue de 5 a 10 PSI (35-70 kpa).

### **CAPITULO III.**

#### **TRABAJOS PARA LA INSTALACION DE OFFSET Y RISER.**

##### **Generalidades.-**

##### **Trabajos de mantenimiento:**

Simultáneamente con la inspección o según los resultados de la misma, se podrán realizar los trabajos de mantenimiento de las instalaciones requeridas.

En la mayoría de los casos, estos trabajos se llevarán a cabo por medio de buzos.

Los trabajos de mantenimiento pueden clasificarse en dos grupos principales:

- mantenimiento de rutina.
- mantenimiento excepcional.

##### **Mantenimiento de rutina:**

Es un mantenimiento preventivo que se realiza de manera sistemática, a intervalos regulares, según las recomendaciones de los organismos de certificación de los constructores de equipo.

##### **Algunos ejemplos:**

- Abrir y cerrar válvulas submarinas.

- Verificar el apriete de los tornillos.
- Pintar ciertos elementos o ciertas partes de la estructura.
- Recoger los escombros.

**Mantenimiento excepcional:**

Es un mantenimiento preventivo que se realiza a consecuencia de los resultados de una inspección y según los daños o defectos detectados.

**Algunos ejemplos:**

- Cambio de abrazaderas de risers.
- Protección de los gaseoductos en partes donde el lastrado es defectuoso.
- Substitución o agregación de ánodos.
- Soldadura de electrodos de ánodos a la estructura.
- Instalación de colchones anti-socavación.
- Calzado de oleogaseoductos en partes socavadas.
- Anclaje de oleogaseoductos.

Estos trabajos de mantenimiento pueden ser realizados con el personal y con el equipo que normalmente se encuentran a bordo del barco encargado de la inspección.

**Trabajos de reparación:**

Los daños o defectos importantes detectados por una inspección y cuya existencia puede poner en peligro la seguridad de la instalación o disminuir la producción, será

aconsejable reparar los daños o corregir los defectos, substituyendo o reconstruyendo las partes dañadas o defectuosas.

Las reparaciones más corrientes son:

- Fuga: reparación por parchado, por soldadura hiperbárica, por conector mecánico, substituyendo, si es necesario, el tramo de tubería dañado.
- Deformación o aplastamiento: substitución del tramo dañado, con soldadura hiperbárica o conectores mecánicos.
- Conexión: Substitución de la conexión de tipo brida, conector mecánico o soldadura hiperbárica.
- Riser: Substitución de partes o totalidad del riser dañado o atacado por la corrosión.

La mayoría de las reparaciones, incluyendo aquellas que implican soldadura hiperbárica de tipo ligero, pueden realizarse con el personal y con el equipo que se recomienda tener a bordo del barco encargado de la inspección.

Sólo en caso de trabajos pesados o de un tramo largo de oleogaseoducto, será necesaria la intervención de una barcasa de construcción.

#### a) TUBERÍA ASCENDENTE "RISER".

Fallas posibles en riser (tuberías ascendentes).

Las tuberías ascendentes, están sujetas a varios

esfuerzos, particularmente en la zona sometida al oleaje, y pueden llegar a sufrir golpes por los barcos de servicio, cuando las defensas no se encuentran en buen estado o éstas han sido destruidas por los mismos barcos. También las tuberías ascendentes sufren las consecuencias de la corrosión externa debido al deterioro del revestimiento anticorrosivo, por la acción de las olas, las vibraciones, las dilataciones térmicas, etc.

Las fallas que se presentan más comúnmente en las tuberías ascendentes, son similares a las encontradas en las líneas submarinas, (ver fotografías al final del capítulo). Algunas de las cuales son:

- Rotura por presión de operación inadecuada.
- Deformación o rotura por golpes.
- Concentraciones fuertes de corrosión en juntas soldadas y/o en el cuerpo de la tubería.
- Rotura o agrietamiento del lastre.
- Deformación permanente y/o fisura por exposición térmica en condiciones bridas y/o soldadas.
- Aflojamiento de tuercas y espárragos en la junta con el offset.

Cuando se presenta cualquiera de las fallas anteriores, es necesario que se tomen medidas para la resolución del problema, puesto que, al igual que en las líneas submarinas, representa una suspensión de las operaciones y una gran pérdida del producto, provocando la contaminación del medio marino. Sin tomar en cuenta la pérdida de divisas al salir de operación una línea de producción.

Frecuentemente, el tramo de tubería vertical "riser" comprendido entre 0 y 15 m de profundidad, tiene que ser sustituido de acuerdo con las prácticas comunes, que serán expuestas más adelante. Tres métodos pueden ser utilizados usualmente:

- a) Sustitución de la tubería ascendente "riser" desde la brida de conexión offset.
- b) Sustitución del tramo dañado de tubería ascendente utilizando conectores.
- c) Sustitución del tramo dañado de tubería ascendente mediante soldadura hiperbárica, la cual será llevada a cabo por el barco equipado para este fin.

Cuando se ha llevado a cabo la reparación de la tubería, es necesario aplicar pruebas hidrostáticas a la línea, para poder checar que no existan fugas y que las conexiones ya sean soldadas o bridadas se encuentren en condiciones aceptables de operación, de acuerdo con las normas establecidas por los organismos reconocidos.

#### **Sustitución completa de tubería ascendente (risers).**

Antes de iniciar cualquier cambio en la tubería, se debe de tener la seguridad de que los trabajos se podrán realizar con seguridad, esto es, que la línea se encuentre limpia de flujo, que la presión haya sido liberada, etc.

El término de sustitución completa nos indica que el cambio se llevará a cabo desde la brida de unión del riser y

el offset. (Fig. 3a)

Cuando la inspección ha sido realizada y nos indica la necesidad de cambiar la tubería ascendente "RISERS", se procede a extraer la tubería para su reparación en la barcasa, en caso de que la reparación sea posible, o en su defecto, cambiar por una sección nueva.

Cuando se hace la sustitución completa de la tubería ascendente "RISERS" (Figs. 3b y 3c), es necesario tomar en cuenta lo siguiente:

- 1° Los Risers vienen con una pieza adicional de tubo, la cual tiene dos "orejas" soldadas para los propósitos de levantamiento. En esta pieza adicional se puede colocar un tapón, el cual tendrá una válvula de aproximadamente 5000 lb/pulg<sup>2</sup> y un manómetro de igual rango, los cuales serán utilizados cuando se lleven a cabo las pruebas hidrostáticas en la tubería.
- 2° Para propósitos de levantamiento se debe de usar un estrobo de 1 3/4"φ mínimo x 60 ft de largo, en doble punto de apoyo. Debemos de tener en cuenta que el Riser es de 36"φ y pesa 29 toneladas.
- 3° Usar un grillete de 1 x 35 mt en la forma que se observa en los diagramas de isaje.

Es necesario que antes de que se proceda a la instalación del Riser, se tomen las medidas de campo necesarias

**para evitar problemas, que nos ocasionaría pérdidas de tiempo.**

**Las siguientes comprobaciones son la responsabilidad del ingeniero de campo a bordo, y deben ser llevadas a cabo antes de empezar a improvisar.**

- 1. Identificar los Risers y offsets.**
- 2. Identificar la pierna de la estructura donde será instalado.**
- 3. Tomar la medida correcta de offsets y Riser para verificar que coincidan con los dibujos del diseño.**
- 4. Comprobar que los pernos de las abrazaderas a las piernas, estén bien apretados.**
- 5. Checar las bridas del offset y Riser, por cualquier posible defecto.**
- 6. Medir los diámetros de las abrazaderas, antes de bajar el Riser. Verificar que estas coincidan con el diámetro exterior del Riser.**
- 7. Por medio de buceo comprobar los niveles y localización de las abrazaderas en la pierna, así como el pre-diseño de la colocación de las maderas de protección con las abrazaderas.**

**Una vez cumplido con los requerimientos anteriores, podemos proceder a la instalación de el Riser o el Offset.**

**Instalación de la tubería ascendente "RISER":**

**A continuación se exponen los pasos o el procedimiento a seguir para que la instalación resulte más fácil y en el**

menor tiempo. Todos estos pasos han sido recopilados y modificados de acuerdo con la experiencia obtenida en el campo de trabajo. Esta experiencia permite que se establezca un método o procedimiento que se considera el adecuado para lograr realizar los trabajos de instalación de la manera más eficiente. (Figs. 3d y 3e)

Los pasos a seguir son:

1. Colocar el material a lo largo de la barcasa y preparar el levantamiento tal y como se muestra en el diagrama.
2. Instálece un winche malacate en la plataforma, con una patesca para controlar el Riser en posición vertical.
3. Levante el Riser de la barcasa. Use una grúa de orugas para darle el soporte necesario.
4. Quite el material de la barcasa y reposicione el barco.
5. Que el buzo cheque que todas las abrazaderas estén abiertas y alineadas.
6. Baje cuidadosamente el Riser, dejando las caras de las bridas separadas un pie una de otra. Ajuste con el winche de la plataforma, que fué instalado provisio-nalmente en caso necesario.
7. Una vez hecho el ajuste, deje la brida superior a 4 ó 6 pulgadas de la brida inferior. Inserte una línea guía y dos pernos.
8. Quite la brida ciega e inserte la junta de anillo (empaqué).
9. Baje el Riser y coloque todos los pernos. Apriete las conexiones de las bridas en forma de cruz, para que el apriete resulte uniforme.

10. Cierre todas las abrazaderas y apriete los pernos.
11. Remueva los aislamientos y recoja cables, grilletes, etc. y regrese al buso a la superficie.
12. Quite el winche-malacate y la pasteca de la plataforma.
13. Procédase a realizar la prueba hidrostática a la línea.

#### **Sustitución de tramos de tubería ascendente "RISER".**

Cuando la reparación requerida por la tubería no amerita hacer el cambio completo del Riser, sino únicamente una sección de él, se procede de la misma manera que cuando se trata de colocar una sección nueva, con la diferencia de que la sección a colocar será reparada en la barcasa.

El tipo de reparación a efectuarse será determinada por los resultados de la inspección. Cuando se trata de un desperfecto en el recubrimiento de epóxico o en el lastrado (concreto), se procederá a colocar un parche de resina epóxica o el cambio del recubrimiento.

Si la falla es de mayores consecuencias y amerita cambiar una parte de la tubería, entonces se realizará el corte de la sección con equipo de corte de oxiacetileno por parte de la cuadrilla de tuberos y soldadores que se encuentran en la barcasa. La reparación puede ser realizada bajo el agua, con el consecuente aumento de dificultad y tiempo de operación, por medio de soldadura hiperbárica o la colocación de grapas o conectores. Generalmente lo más recomendable es sacar la tubería de el agua y repararla en cubierta. (Figs. 3f y 3g)

La reparación de la tubería a utilizar en el cambio de sección, debe ser hecha con el mayor cuidado, puesto que de esto depende en gran parte que la aplicación de la soldadura sea buena y resulte más fácil. Los extremos de los tramos de tubería pueden estar terminados a bisel o contrabisel, dependiendo del espesor de pared que tenga la tubería, generalmente para los Risers se utiliza tubería de cédula 120.

Los trabajos de soldadura deberán ser realizados por un experto, pues serán inspeccionados y sometidos a pruebas, debido a que el fluido que transportarán es muy delicado y puede llegar a ser peligroso.

Las soldaduras serán sometidas a exámenes o pruebas de esfuerzo y ductibilidad.

Antes de empezar cualquier soldadura, es necesario que los tramos de tubería estén bien alineados. Este alineamiento consiste en colocar las caras en posición para realizar cordones continuos alrededor de la junta. Una buena soldadura requiere un posicionamiento exacto de los extremos de la tubería. El espacio a través de las caras de los tubos para varios tipos de proceso de soldadura, varía en el rango de 0 a 1/16 pulgadas. En todos los casos el espacio debe ser uniforme en toda la circunferencia.

Cuando el alineamiento está terminado, los extremos son sujetados con grapas, hasta que se tenga suficiente soldadura en las juntas, con suficiente resistencia, para que permita colocar el tubo en blocks y poder girar o mover el tubo para

comenzar la siguiente unión. Después de remover las grapas, se completa la soldadura de la junta.

Después que los extremos de los tubos han sido limpiados y alineados, se procede a realizar los cordones de fondo (el fondeo). Estos cordones son hechos con rapidez mientras que la junta es sujeta rígidamente por medio de grapas alineadoras.

Dos y en ocasiones cuatro soldadores comienzan simultáneamente, ya sea con la mitad o un cuarto de la circunferencia cada uno. Antes de liberar las grapas alineadoras, deberá de estar soldada por lo menos la mitad de la circunferencia. Es necesario hacer lo posible para minimizar movimientos y esfuerzos en el cordón de fondeo y en el alineado, cuando el personal se mueva para comenzar la siguiente junta.

La línea es en ocasiones alineada sobre plataformas rodantes, con lo cual se logra darle vuelta conforme se vaya necesitando en la aplicación de los nuevos cordones. Esto nos dá la ventaja de que la aplicación de la soldadura se hará únicamente en posición plana, evitando la posición horizontal o de costado, o la posición sobre cabeza.

En la actualidad la resistencia que debe tener la tubería y principalmente la junta soldada, es comúnmente usada como un requerimiento importante.

Para lograr esta resistencia, además de el cordón de fondo, es necesario por lo menos aplicar un cordón de relleno

por el método de paso caliente y el cordón superficial o de vista, que a diferencia de el de relleno, éste se aplica calentando por espacio de aproximadamente cuatro minutos. En los casos en que la adición de material caliente es continua, resulta necesario evitar el enfriamiento de las partes de la soldadura de una manera súbita, puesto que esto ocasionaría esfuerzos térmicos que podrían resultar en el agrietamiento del cordón de fondo.

En la aplicación del cordón de fondo es necesario un calentamiento suficiente para lograr fundir el metal a todo lo largo de la superficie interior de la tubería. El chorro de material fundido y la adición de metal, tendrá que ser movido a lo largo de un rango que permita la solidificación y la penetración del metal fundido, en la superficie interior de la tubería. Este trabajo deberá ser realizado por personal especializado, para lograr la buena manipulación del metal fundido en todas las posiciones de soldar, desde la posición plana, hasta la posición vertical y sobre cabeza.

Evitar el contacto del oxígeno en el aire con el metal fundido es esencial para prevenir una rápida oxidación del metal, también es favorable evitar el contacto del oxígeno durante el enfriamiento a menos del rojo vivo, para evitar incrustaciones de óxido en la superficie. Estas condiciones óptimas para los trabajos de soldadura, son logradas mediante un adecuado revestimiento de los electrodos con los que se trabajen.

El revestimiento de los electrodos para arco eléctrico,

está hecho de ciertas sustancias químicas que al fundirse con el calor del arco, sueltan ciertos gases para proteger el metal en fusión, contra elementos en el aire, oxidación etc., aportando al mismo tiempo sustancias químicas al metal.

En general la misión principal de el revestimiento es la de actuar como agente limpiador y desoxidante en el cráter de fusión. El oxígeno y el nitrógeno debilitan la soldadura y pueden causar grietas y porosidad, si se permite que hagan contacto con el metal derretido, por lo tanto el revestimiento debe permanecer completamente seco.

Soldar en la superficie bajo una fuerte brisa, puede causar los mismos problemas, hay también ciertos tipos de soldadura donde esta protección es obtenida al cubrir el charco de fusión, con gas inerte, por ejemplo: ARGON, HELIO, ETC.

El revestimiento de electrodos para soldadura de arco eléctrico, forme una capa de escoria que al enfriarse sirve de protección para el metal, hasta que ésta se enfrie lo suficiente y no pueda ser contaminada por la atmósfera.

Los electrodos para soldadura de arco eléctrico se deben conservar en un horno, que puede ser sencillamente una caja metálica con una o dos bombillas eléctricas. Estas generan suficiente calor para controlar la humedad.

Es necesario que después de la aplicación de un cordón de soldadura, ésta sea limpiada escrupulosamente para evitar

residuos o incrustaciones en la superficie, para poder aplicar el siguiente cordón. Esta limpieza puede hacerse con piqueta, esmeriladora con disco abrasivo, raqueta, etc., una vez que se ha limpiado cuidadosamente, podemos realizar la inspección visual con mayor facilidad y así detectar los defectos posibles del proceso de soldadura.

En ocasiones las condiciones del medio ambiente, como son lluvia, vientos fuertes, heladas, etc., interfieren con las operaciones de soldar; cuando se está trabajando en el campo o sobre cubierta del barco, la protección se dificulta y provoca la suspensión de los trabajos. Cuando las temperaturas son muy bajas, los extremos de los tubos se deberán calentar aproximadamente a 200°F, pero nunca pasando de 600°F.

Las altas temperaturas al soldar provocan un recocido y por consiguiente, pérdida de los beneficios de la manufactura en frío.

#### **Inspección de la soldadura.**

Los métodos son factibles dentro de la inspección de una soldadura. Estos métodos son prueba no destructiva y pruebas destructivas. Las pruebas no destructivas, como su nombre lo indica, son llevadas a cabo a la soldadura sin afectar las propiedades o los futuros aprovechamientos. Este método es aplicable a la producción de soldadura, incluyendo soldaduras de campo.

Las pruebas destructivas incluyen determinación de

esfuerzo de tensión de las soldaduras o metales adyacentes del tubo. Muestras de soldadura se rompen y se examinan los defectos. Las pruebas a los codos consisten en medir su ductibilidad y la determinación de la presencia o ausencia de ciertos defectos. Las pruebas destructivas son requeridas en los procesos de calificación en una soldadura.

El método generalmente utilizado para la inspección de soldadura, en los trabajos de reparación de Riser o líneas submarinas, es el método de radiografiado. Este método consiste en colocar una película en contacto directo con la soldadura, la cual es sensible a los rayos X o rayos gama, estos rayos pasan a través de la soldadura y del metal adyacente. Estos rayos son originados por una máquina de rayos X o por una máquina que produce radioisótopos. Las medidas de control, la dirección de los rayos y el tiempo de exposición se deben de establecer con anticipación. La radiación utilizada para este tipo de prueba, es dañina, por lo cual se deben tomar las medidas necesarias para la protección del personal que labora en el área.

La emisión de los rayos puede ser colocada en el interior de la tubería, cuando esto sea posible, para reducir el número de impresiones para lograr abarcar toda el área soldada. Cuando es necesario colocar la emisión de los rayos en la parte externa, un mínimo de una tercera parte es cubierta, requiriéndose 2 ó 3 exposiciones.

La transmisión de los rayos, se verá afectada por la variación del espesor del metal y por la estructura del mismo,

de tal modo que el alcance de la radiación de la película, corresponde a las variaciones en la soldadura. La película será revelada en el cuarto oscuro, que se encuentra a bordo del barco o plataformas, para tales efectos, y los resultados serán examinados por los radiógrafos especializados. Algunos defectos pueden ser corregidos removiendo la sección de soldadura dañada y resoldando nuevamente. El API standard 1104 nos muestra normas de aceptabilidad en pruebas no destructivas.

**b) EN CURVAS DE EXPANSION (OFFSET)**

**Fallas posibles en Offset.**

Las fallas que se encuentran en los offset, son generalmente las mismas que encontramos en las líneas submarinas y en los riser; por consiguiente, los procedimientos o medidas que se deberán seguir para su reparación serán las mismas.

La finalidad principal de una curva de expansión es permitir una mayor flexibilidad de la tubería y así restar los efectos causados por la expansión térmica y los esfuerzos provocados por el mismo fluido. La flexibilidad en una tubería es un concepto muy importante en el diseño de una línea de conducción, el cual estudiaremos o comentaremos más adelante en análisis de las curvas de expansión (offset).

Cuando se ha detectado una falla grave en una curva de expansión y se decide su reposición total, se recomienda seguir, por experiencia en el campo, el método a continuación descrito.

### Cambios de curvas de expansión "OFFSET".

Para que el método pueda apreciarse mejor, lo referiremos específicamente a la instalación de un offset en la plataforma ABKATUN ALFA.

La tabla siguiente nos da un resumen de los requerimientos para el isaje y colocación del offset. Diagrama del levantamiento de una curva de expansión. (Fig. 3h)

ISAJES	POSICIO- NAMIENTO	DIAM.	No. VUELTAS	ANGULO CON HORIZONTAL	FURREA DE ISAJE	FACTOR SEGU- RIDAD
SL 1	163'-0"	2"	2	53.0°	27.3 T	5.8
SL 2	147'-0"	2"	2	64.8°	30.3 T	5.2
SL 3	141'-6"	2"	2	71.6°	32.1 T	4.9
SL 4	143'-9"	2"	2	68.4°	31.3 T	5.1
SL 5	167'-6"	2"	2	60.8°	28.9 T	5.5

#### NOTAS:

Las consideraciones siguientes son necesarias para el buen fin del trabajo.

1. El peso total del offset es de aproximadamente 131 Ton.
2. Usar madera para proteger los puntos de levantamiento.
3. Envolver los isajes dos veces alrededor del offset en cada punto de levantamiento.

4. Usar un grillete con capacidad de 35 ton. en cada punto de levantamiento.
5. Usar un grillete con capacidad de 500 ton. para unir todos los izajes.
6. Use un estrobo de 3 1/2"φ x 70 ft de largo para el levantamiento general.
7. Arnese el izaje conforme al diagrama que se muestra adelante.

Una vez que se tienen colocados todos los aparejos en el offset y se está listo para su colocación, es recomendable seguir los siguientes puntos:

1. Coloque el barco en posición y ponga el material a lo largo de la barcaza.
2. Baje al buso a supervisar el área donde será colocado el offset, a checar la localización y elevación de las abrazaderas.
3. Las abrazaderas no deberán estar lastimadas, se deberán encontrar alineadas y totalmente abiertas.
4. Instale una línea tirante de la boya indicadora en el punto de amarre y otra al final del offset como guía.
5. Enganche una línea del winche neumático a cada uno de los extremos del offset, para mantener control rotacional sobre el mismo.
6. Levante el offset de 4 a 5 ft. de la barcaza y cheque los niveles de corte. Ajuste los puntos de izaje si es necesario.
7. Levante el offset de la barcaza y remuévala si se encuentra entre el barco y la plataforma.

8. Baje el offset dentro del agua.
9. Envíe al buzo para estar preparados para el posicionamiento final.
10. Baje el offset hasta una distancia de 4 a 5 ft. de la línea de fango.
11. Coloque en posición vertical el empalme del offset dentro de la abrazadera última de la pierna-riser.
12. Baje el offset al lecho marino.
13. El buzo medirá la distancia entre la pierna de la plataforma y el offset, para determinar la posición final del offset.
14. El buzo mide la distancia entre la posición final del offset y las líneas adyacentes, para determinar si es necesario mover el offset hacia algún lado.
15. Una vez que el offset se encuentra colocado a entera satisfacción, se sueltan las líneas del winche neumático.
16. Indique con una boya el lugar donde se encuentra el offset; para esto utilice una boya indicadora con cable de 7/8"  $\phi$ , de suficiente longitud, anclada a un punto de izaje en el lecho marino.
17. Cuando el offset se encuentra en posición, el buzo regresa a la superficie.
18. Lo siguiente es colocar un anillo metálico en la brida riser-offset y proceder a la colocación de los pernos para empalmar la línea ascendente con la curva de expansión. El apriete de los pernos se debe realizar en forma de cruz, para que la presión se ejerza uniformemente.

### **Análisis de RISER Y OFFSET:**

Dentro de los trabajos de reparación de líneas ascendentes y curvas de expansión, es necesario que se realicen algunos análisis en cuanto a los esfuerzos, ya sea por cambio de temperatura en el fluido transportado o por flexibilidad, sobre todo en curvas de expansión. Este análisis debe ser rápido y debe poder ser llevado a cabo en el campo, esto con la finalidad de no retrasar el proceso de reparación, que en la mayoría de los casos es en condiciones de emergencia.

Existen algunos criterios basados en el código para tuberías ANSI B31-1976, en el que se establece que no es necesario un análisis de flexibilidad formal si:

- a) Es un duplicado de otra línea que se encuentra operando satisfactoriamente sin cambio significativo en su sistema, el cual presenta un récord satisfactorio de su servicio.
- b) Cuando una línea se juzgue adecuada al comparar con sistemas anteriormente analizados.
- c) Son de diámetro uniforme o constante y no tienen más de dos puntos de fijación (anclas), sin restricciones intermedias y satisfacen los requerimientos de la siguiente fórmula empírica:

$$\frac{D Y}{(L - U)^2} \leq K$$

Donde:

D = Diámetro exterior de la tubería mm.

Y = Resultante de la deformación total por desplazamiento.

L = Longitud de desarrollo de la tubería entre anclas.

U = Distancia entre anclas en línea recta.

K = 0.03 si se usa el sistema de unidades U.S.

K = 208.3 si se usa el sistema métrico.

Por lo general, cuando se hace el cambio por reparación de una curva de expansión (offset), nos encontramos en algunos de los casos antes mencionados, por lo que el análisis de flexibilidad se puede hacer de una manera rápida, sin necesidad de hacer un análisis formal, los criterios analizados no se pueden utilizar en todos los casos. Es necesario analizar el tipo de configuración que presenta la línea; por ejemplo, en configuraciones tipo "U" de piernas desiguales, donde  $L/U > 2.5$  ó en configuraciones tipo diente de sierra o tuberías que están sujetas a condiciones cíclicas severas. En todos estos casos es necesario realizar un análisis de flexibilidad más profundo, para esto podemos utilizar el método del centro elástico (C.E.), en el cual se examinan las fuerzas horizontales y verticales, conociendo el centro de gravedad del sistema; si toda la tubería es del mismo diámetro y espesor, el centro de gravedad y el centro elástico coinciden.

AREA DE FUGA

3.6 FT.

NIVEL DEL MAR

13 Ft.

51 Ft.

79 Ft.

100 Ft.

108 Ft.

POSICION NORMAL DE PIERNA A-1, RISER  
26" DE DIAMETRO Y LLEGADA AL OFFSET

30 cms.

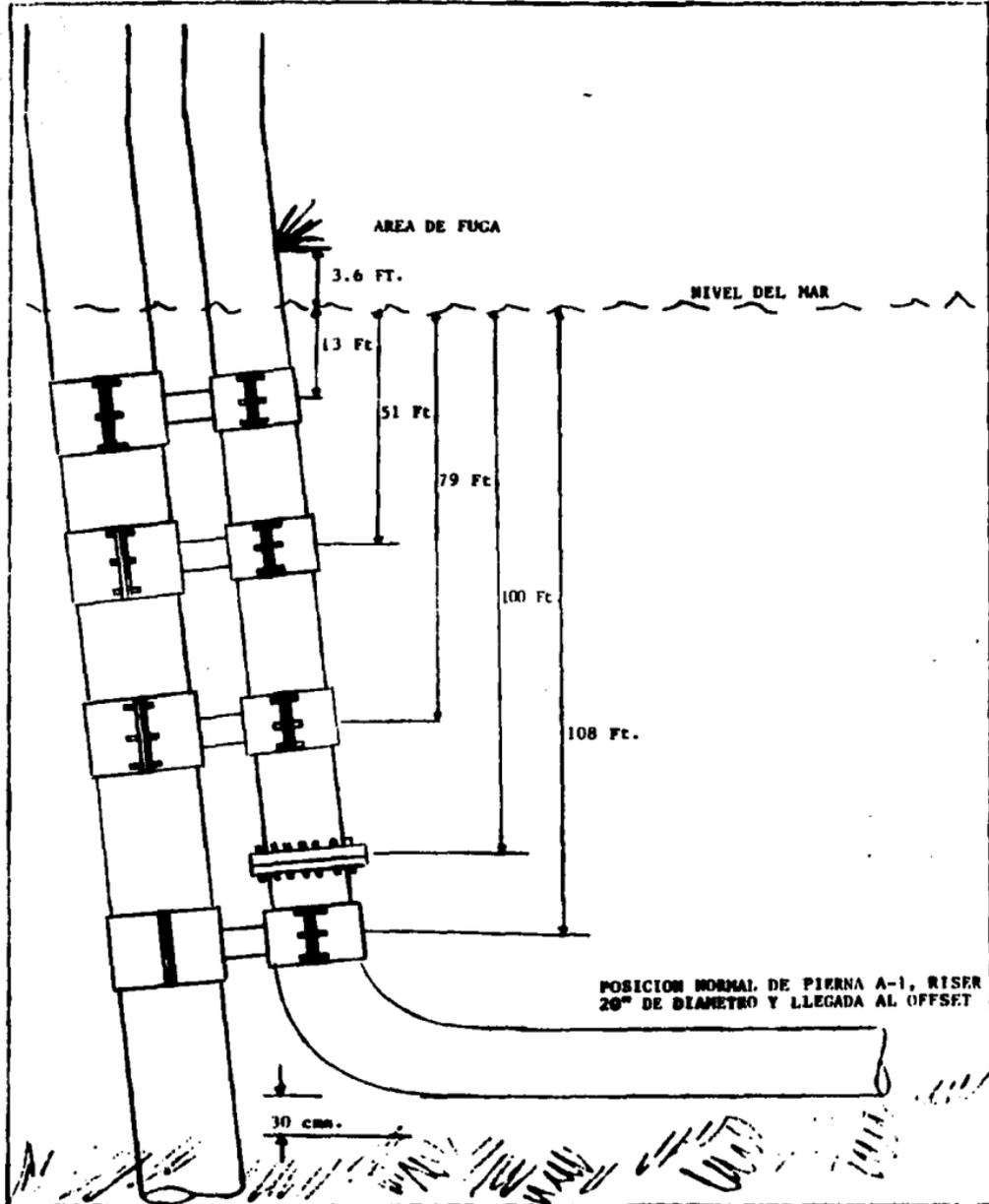
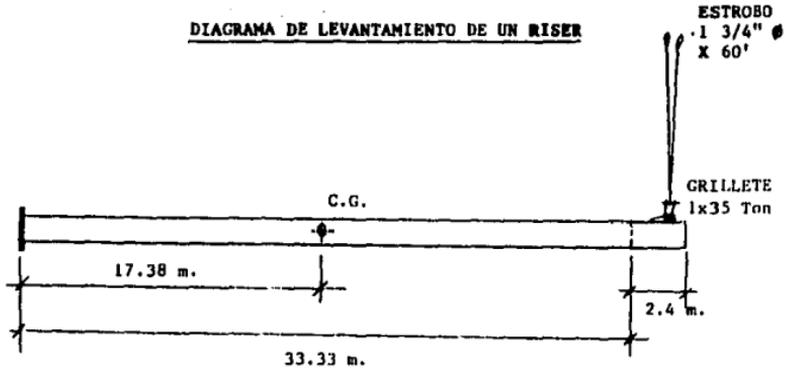
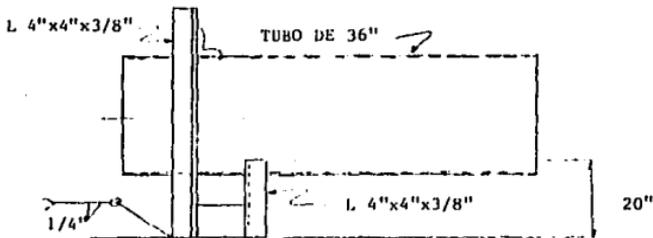


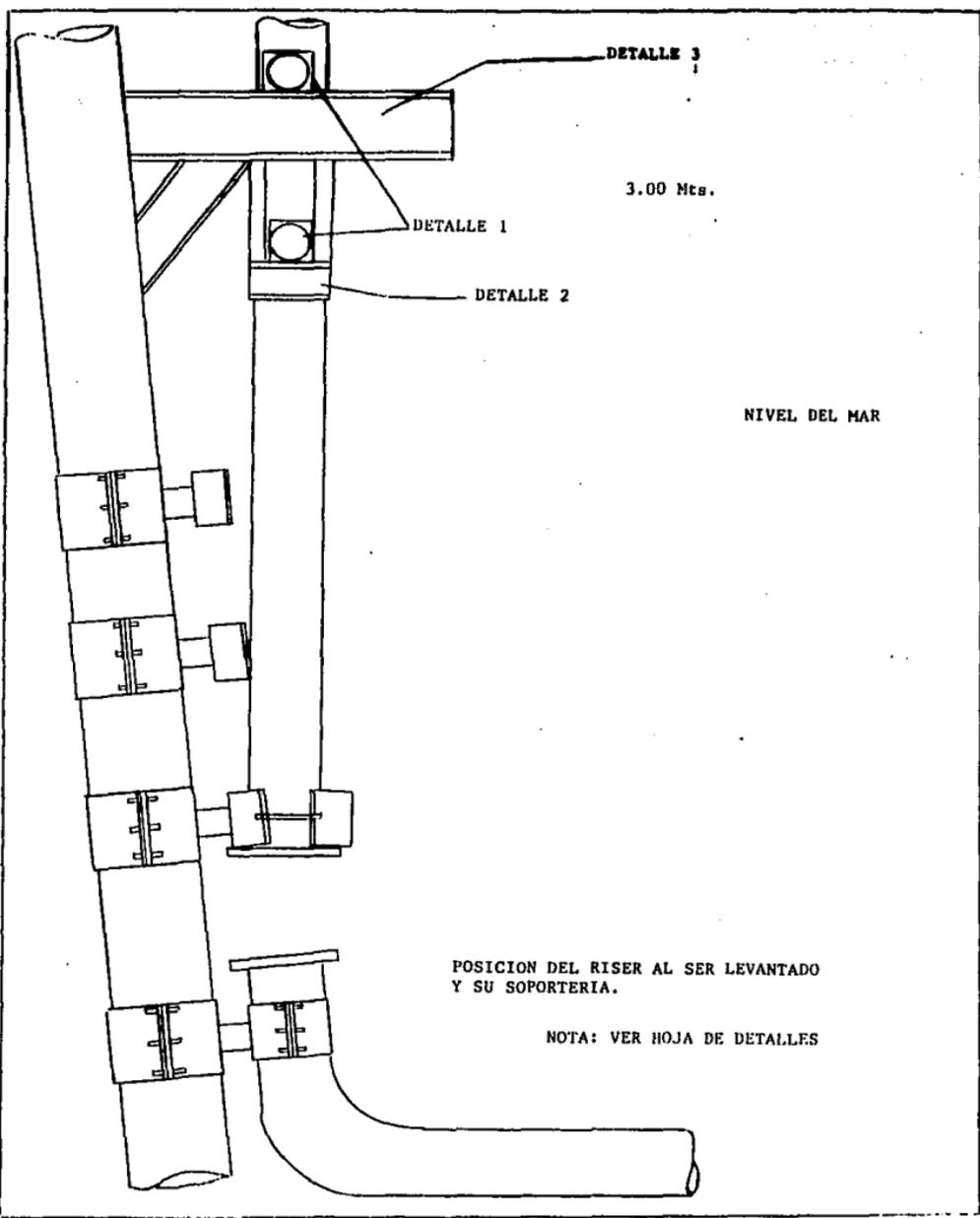
DIAGRAMA DE LEVANTAMIENTO DE UN RISER



SOPORTE PARA RISER







DETALLE 3

3.00 Mts.

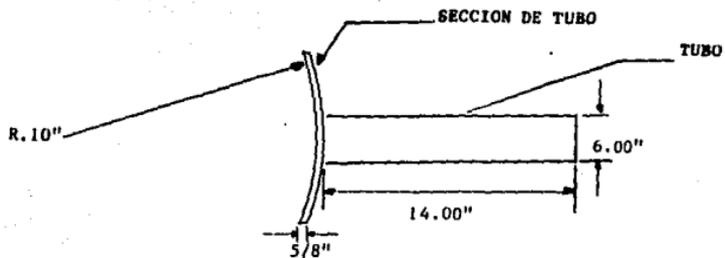
DETALLE 1

DETALLE 2

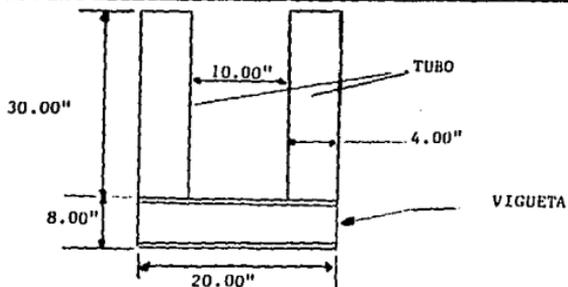
NIVEL DEL MAR

POSICION DEL RISER AL SER LEVANTADO  
Y SU SOPORTERIA.

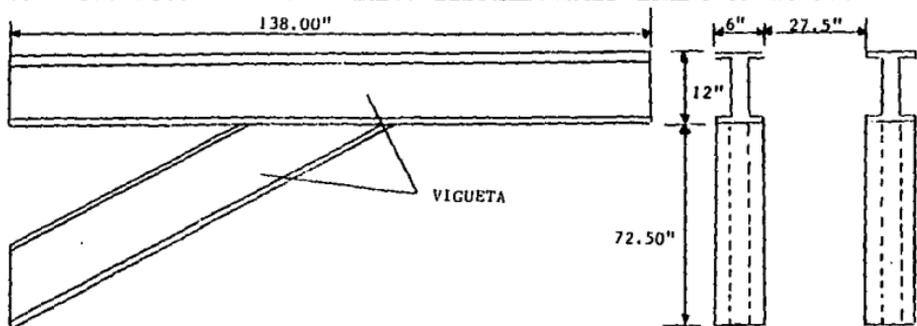
NOTA: VER HOJA DE DETALLES



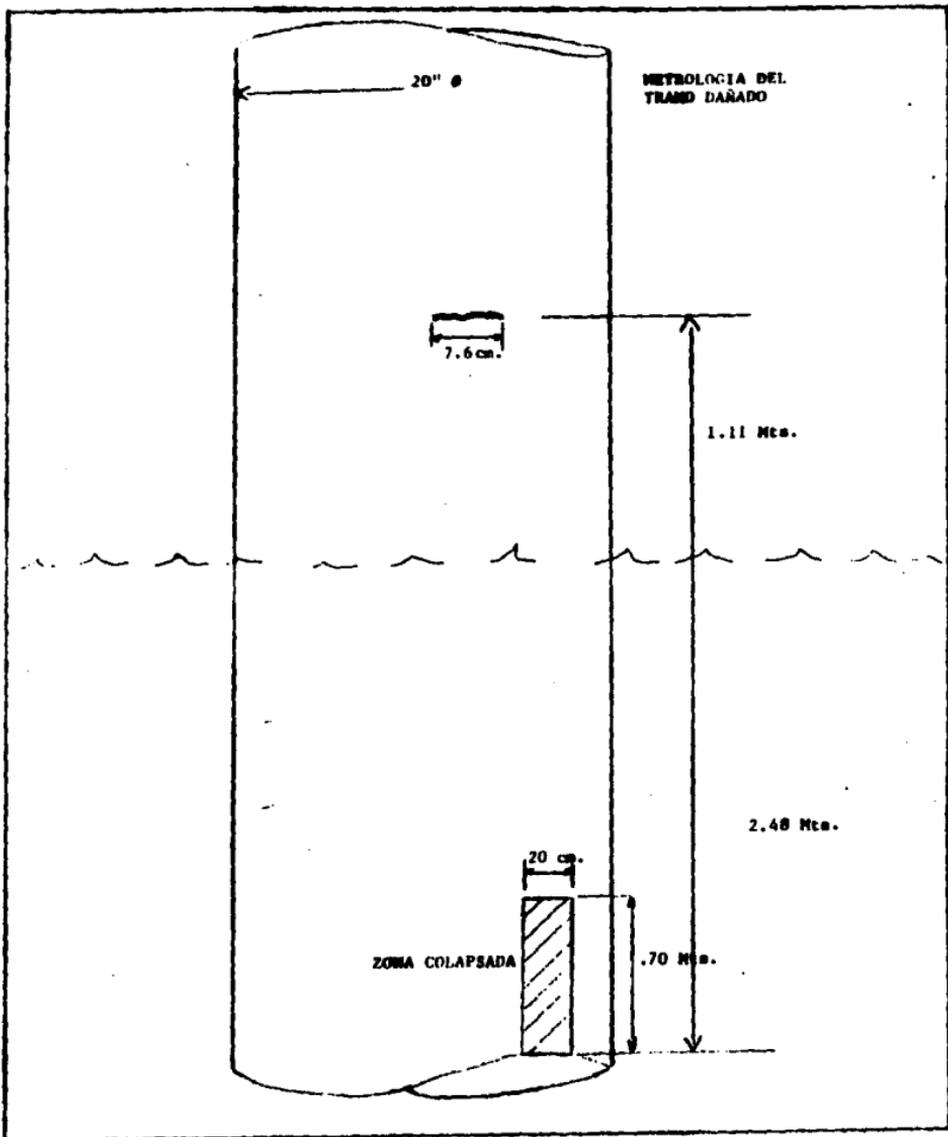
DETALLE 1 MUÑON DE SOPORTE

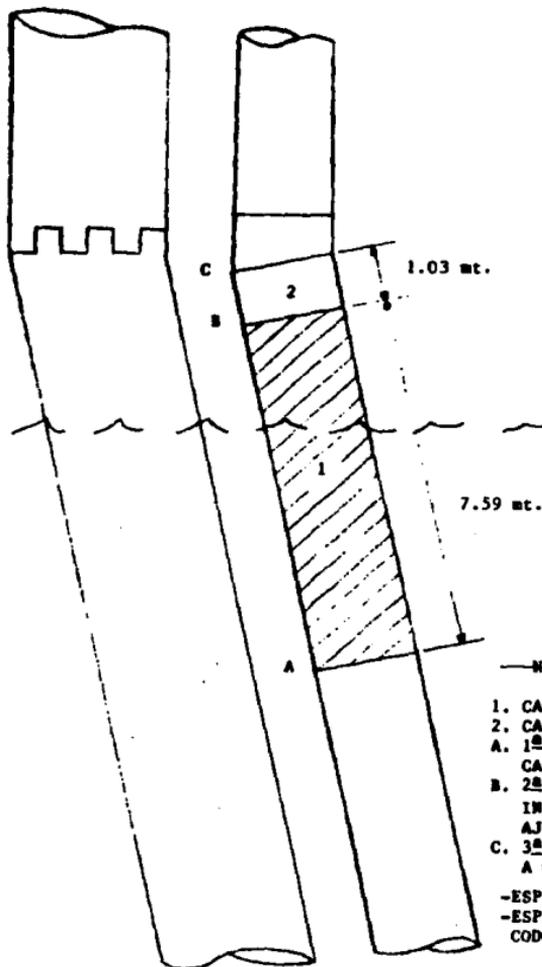


DETALLE No. 2 SOPORTE TIPO "H"



DETALLE No. 3 CANTILIBER





— Nomenclatura —

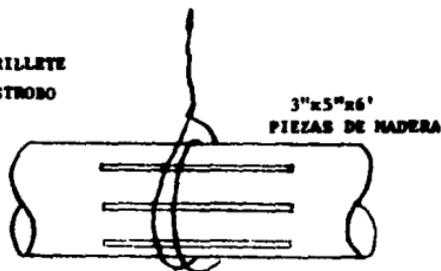
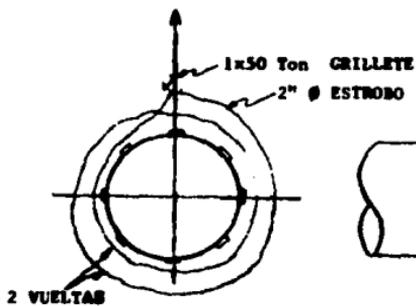
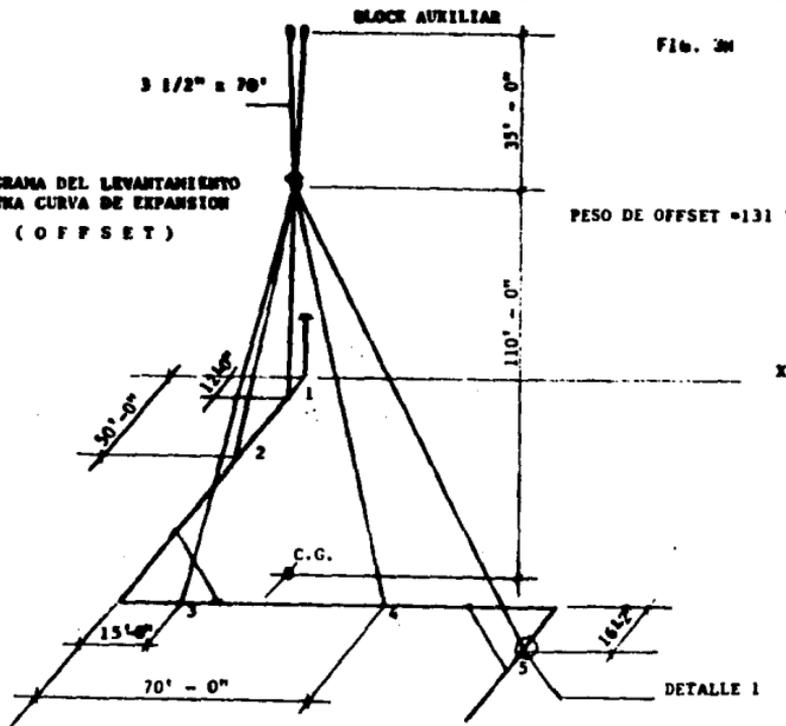
1. CARRETE INSTALADO
2. CARRETE DE AJUSTE
- A. 1<sup>a</sup> SOLDADURA RISER A CARRETE DE AJUSTE
- B. 2<sup>a</sup> SOLDADURA CARRETE INSTALADO A CARRETE DE AJUSTE
- C. 3<sup>a</sup> SOLDADURA CARRETE DE AJUSTE A CODO.

-ESPESOR DE CARRETE INSTALADO 1.00"  
 -ESPESOR DE CARRETE DE AJUSTE Y CODO 0.625"

Fig. 30

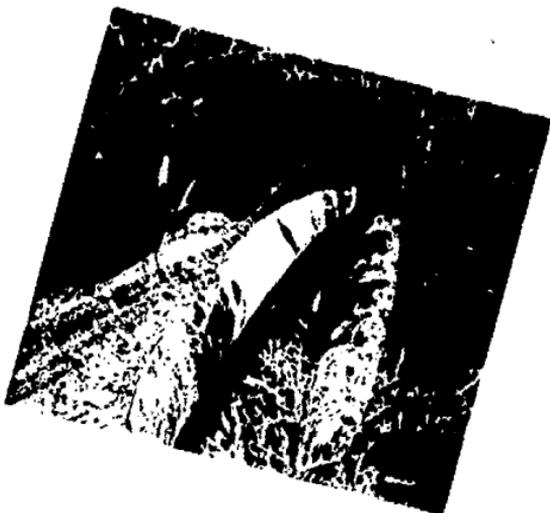
DIAGRAMA DEL LEVANTAMIENTO  
DE UNA CURVA DE EXPANSION  
( OFFSET )

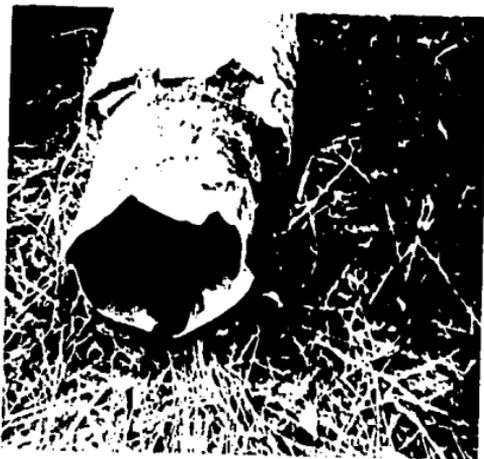
PESO DE OFFSET = 131 TON



DETALLE DE LOS PUNTOS DE LEVANTAMIENTO







## CAPITULO IV.

### CORROSION

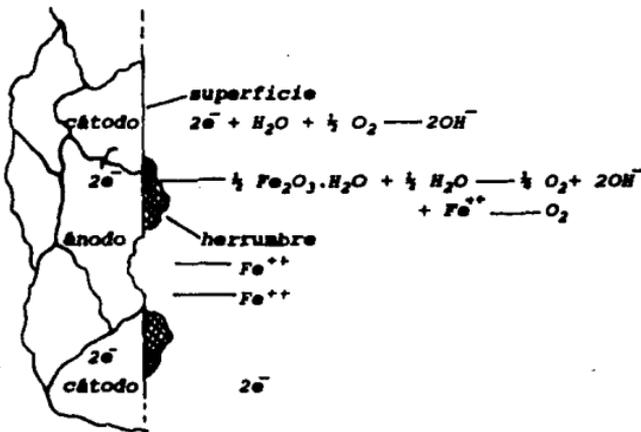
Es un hecho que durante la operación de plantas e instalaciones, tanto marinas como terrestres, se observe la gradual destrucción de los materiales utilizados en la construcción de equipos, tanques, depósitos, transportes, líneas de conducción, etc. Normalmente estos efectos se atribuyen al fenómeno de corrosión. Los costos excesivos que resultan del mantenimiento y/o reposición de los miembros dañados por este fenómeno, sugiere la necesidad de implantar sistemas para atenuar en lo posible las consecuencias de dicho fenómeno.

Con frecuencia la corrosión se confunde con un simple proceso de oxidación, siendo en realidad un proceso más complejo, el cual puede definirse como la gradual destrucción y desintegración de los materiales, debido a un proceso electroquímico, químico o de erosión, debido a la interacción del material con el medio que lo rodea.

En el caso del fierro y del acero, que son los materiales de construcción más comunes, el proceso de corrosión considera la formación de pequeñas pilas galvánicas en toda la superficie expuesta, presentándose un flujo de electrones de las zonas anódicas, donde se disuelve el fierro, hacia las zonas catódicas, donde se desprende hidrógeno o se forman iones oxidrilo; para cerrar el circuito eléctrico, se requiere la presencia de un electrolito proporcionado

por el medio.

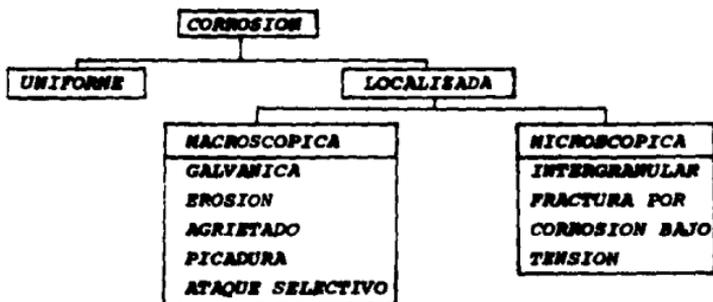
El diagrama siguiente, nos muestra el mecanismo simplificado de corrosión del acero:



Las zonas anódicas y catódicas son ocasionadas por diferencias en la estructura cristalina, restos de escoria y óxido en general, así como por diferencias de composición en la superficie de aceros comerciales. De acuerdo con el diagrama anterior, además de los procesos en el metal, tiene un papel preponderante la cantidad de oxígeno presente y la conductividad eléctrica del medio.

Existen diferentes tipos de corrosión, dependiendo de sus formas características y de las causas que la provocan.

En el cuadro siguiente se exponen estos diferentes tipos:



La corrosión ocurre en muchas y muy variadas formas, pero su clasificación generalmente se basa en uno de los tres siguientes factores.

1. **Naturaleza de la sustancia corrosiva:** la corrosión puede ser clasificada como húmeda o seca. Para la primera se necesita la presencia de un líquido o humedad alta, mientras que la segunda puede ser causada por gases a altas temperaturas.
2. **Mecanismo de corrosión:** este comprende las reacciones químicas.
3. **Apariencia del metal corroído:** la corrosión puede ser uniforme y entonces el metal se corroe a la misma velocidad en toda la superficie; o bien, puede ser localizada, en cuyo caso sólo resultan afectadas áreas pequeñas.

#### **a) PRUEBAS PARA LA DETERMINACION DE LA CORROSION**

Las pruebas para la detección de corrosión, en una línea submarina, que son viables de aplicarse en la Sonda de Campache, son dos principalmente:

Una de ellas es la medición de potencial eléctrico y la otra es la medición de densidad de corriente. La forma más práctica para aplicar estas pruebas en las líneas submarinas, es la de utilizar un submarino, ya sea tripulado o a control remoto; cuando se trata de líneas ascendentes "Risers" o líneas de expansión "Offset" estas pruebas se pueden aplicar utilizando buceo de superficie.

Se considera que toda la medición de potencial eléctrico se llevará a cabo antes de las operaciones preparatorias de limpieza. Todo el equipo eléctrico de medición de potencial se calibrará antes de y después de que se tome cada grupo de lecturas, contra muestras de Fe, Sn y Hg. El valor y el sitio preciso de las mediciones de potencial eléctrico obtenidas, deberán ser registradas en hojas especiales para llevar un buen control. Al final de este capítulo se muestran este tipo de hojas para la recolección de la información.

Las pruebas generalmente son aplicadas a los sistemas de protección catódica, para así poder determinar su efectividad y su vida útil.

Las ventajas de usar un sistema de medición de la protección catódica montado en un submarino son:

- Una lectura directa e impresión inmediata de la severidad del daño, y por lo tanto sus efectos sobre la protección catódica general del tubo.
- Validez de la medición tomada por la referencia anterior a la resistencia entre la sonda y el material. Este sistema permite una medición de resistencia entre las sondas a través del material, y el operador puede por lo tanto alinear la sonda para obtener mediciones de validez equivalente.
- Registro visual de la posición de las mediciones por fotografía o video. Por lo tanto, puede hacerse una comparación entre observación y medición.

**Sistema de lecturas del potencial de protección catódica:**

El sistema de lecturas de potencial de protección catódica, mide el potencial de las estructuras de acero sumergidas en agua marina, con relación al electrodo de cloruro plata/plata. Se considera que una estructura de acero se encuentra protegida contra la corrosión, cuando su potencial medido con respecto a este electrodo es de -800 milivots. Esta medición es indicativa de la inmunización contra la corrosión del metal bajo prueba. En este caso la tubería necesita una conexión directa con la estructura metálica a través de la punta de una sonda o un alambre unido a la estructura para proporcionar mediciones absolutas, pero los métodos alternativos requieren solamente que se tomen referencias de muestras en puntos seleccionados para permitir lecturas casi continuas.

### **Especificaciones.**

#### **Medición de la resistencia:**

**Se aplica solamente cuando se usan los puntos de doble sonda, para hacer contacto directo con la estructura metálica.**

- Alcance: 10 m
- Resolución: 10 m
- Exactitud:  $\pm 57.5\%$
- Frecuencia: 1000 Hz
- Intensidad de la repetición: 3 medidas por segundo
- Puntos de sonda
- Dimensiones: L 350 x A 300 x H 100 mm
- Peso: 6 kg
- Fuerza de aplicación: 80 kg

#### **Mediciones de potencial:**

**Se aplica a todas las configuraciones de medición: celda de referencia/sonda, celda de referencia/alambre, celda de referencia/celda de referencia remota.**

- Alcance: 1 mv - 1000 mv
- Resolución: 1 mv
- Impedancia de entrada: 470 k
- Intensidad de repetición: 3 medidas por segundo

**La selección de la celda de referencia y tierra de referencia se hace por medio de interruptor electrónico.**

- **Dimensiones:**
  - Celda de referencia:     $\phi$  60 x L 100 mm
  - Tablero:                   L 350 x 240 mm
  - Remoto:                    L 240 x 100 mm
  
- **Salidas digitales:**
  - Resistencia:            4 digitos
  - Potencial:              6 digitos
  
- **Peso:**
  - Celda de referencia:    0.5 kg
  - Tablero:                 10 kg
  - Remoto:                 2 kg
  
- **Requisitos de fuerza:**    24 VCD 50 VA

**Aplicaciones:**

El sistema de lecturas potencial ha sido diseñado para operar en una variedad de configuraciones, usando submarinos ya sea tripulados o sin tripulación.

Algunas de las posibles aplicaciones son:

- Lecturas directas de potencial local, a través de las puntas de sonda aplicadas al metal de estructuras de acero o a las áreas metálicas desnudas de las tuberías.
  
- Lecturas directas de potencial continuo, usando un cable conectado a la estructura o tubería y usando o no, un

apoyo de superficie intermedio.

- Lecturas de potencial indirecto en tuberías, usando celda de referencia remota, colocada junto a la tubería o cerca de la superficie, usando lecturas de referencia en los ánodos.

**Sistema de densidad de corriente:**

El equipo de densidad de corriente, mide la densidad de la corriente de protección catódica que fluye a través del agua marina entre los ánodos y la tubería. Básicamente el equipo mide el componente vertical de la densidad de corriente local, es decir, la corriente de protección catódica que fluye del ánodo a la tubería.

**Especificaciones:**

Todos los componentes del sistema al agua marina, son fabricados de material plástico para evitar corrientes de corrosión inducidas localmente, que puedan interferir con las mediciones de corriente de protección catódica.

- Resolución: 0.1 ma/m<sup>2</sup>
- Nivel de ruido: ± 0.3 ma/m<sup>2</sup>
- Intensidad de medición: 1 a 100 ma/m<sup>2</sup>
- Constante de tiempo: 0.3 segundos
- Intensidad de medición: 3 por segundo
- Relación de rechazo de señal externa: 40 db
- Nivel de calibración: 50 ma/m<sup>2</sup>

- Salida de datos: 4 dígitos
- Dimensiones del sensor:  $\phi$  430 mm x 500 mm
- Peso del sensor: en aire 40 kg  
en agua 15 kg
- Profundidad de operación: 20 mts
- Otras dimensiones:
  - Tablero - L 350 x 1120 x H 240 mm
  - Peso - 10 kg
  - Remoto - L 180 x 1100 x H 1.0 mm
  - Peso - 2 kg
- Requisitos de fuerza: 24 V-75 VA

**Aplicaciones:**

El equipo no requiere contacto con el metal de la tubería y puede operar continuamente a lo largo de la tubería con un vehículo, ya sea tripulado o sin tripulación. La salida de datos no analizados es la densidad vertical local que tiene que ser integrada subsecuentemente por computadora sobre la longitud de la tubería/ánodo y corregirse por distancia, para producir la salida de corriente.

El análisis de los datos por computadora, obtenido durante la inspección de la tubería, proporciona la siguiente información:

- El estado del sistema de protección catódica y las condiciones de corrosión a lo largo de la tubería, basado

en: detección de defectos como ruptura de aislamiento de la tubería, falta de ánodos o ánodos defectuosos, corrientes anormales de protección catódica/consumo del ánodo.

- Evolución a largo plazo de la protección catódica ofrecida a la tubería, con base en: estimación de la duración de la vida del ánodo, comparación de secciones adyacentes a la observación, sección por sección, de la evaluación con el tiempo de la demanda de corriente de protección catódica.

Quando las pruebas son practicadas por medio de buceo de superficie, el equipo y las especificaciones son las siguientes:

**Equipo de medición potencial eléctrica de contacto directo.**

Las pistolas submarinas para indicar la corrosión de cloruro de plata/plata ( $Ag/AgCl$ ) con instrumentos de lectura directa operados manualmente, incorporan voltímetros de alta impedancia y se proponen para la medición directa de niveles potenciales interfaciales de agua/acero.

### **Especificaciones técnicas:**

**Lector de corrosión Morgan Berkeley.-**

**Descripción**

Electrodo de referencia de cloruro de plata/plata, integral de contacto local y un voltímetro digital, con una lectura digital de diodos de emisión de luz roja para la medición del potencial eléctrico.

**Electrodo de referencia:** Electrodo de referencia interna

**Ag/AgCl**

**Precisión inicial:**

Volts  $\pm$  1 mv

**Voltímetro digital y**

**precisión de calibración:**Volts  $\pm$  1 mv

**Representación visual:** Diodos emisores de luz roja

Volts 1999

**Lectura máxima:**

**Lectura mínima:**

Volts -1999

**Indicador sobre rango:** Representación visual intermitente

**Duración con la unidad continuamente encendida:** 4 horas

**Rango de tiempo a plena carga:**

12 horas

**Cargador de baterías:**

Selector de clasificación automática del cargador de capacidad alta y normal.

**Suministro de energía:** 100-120 volts/220-240 volts CA, 50-60 Hz.

**Puntas de la sonda o probador:**

Acero inoxidable 410 reemplazables

**Equipo de medición potencial eléctrico del impulso de proximidad:**

Se proponen electrodos de referencia Ag/AgCl Morgan Berkeley para la lectura remota de superficie de los niveles potenciales. El electrodo de referencia Ag/AgCl, fué desarrollado por Morgan Berkeley para la OTAN, con fines militares y proporciona una repetición del mv cuando se mantiene a una distancia constante de la estructura o tubería. La unidad es resistente a choques y está contenida en una caja de plástico de alta absorción a los impactos, de terminación porosa para contacto electroquímico con el agua de mar. El indicador digital de voltios, opera con baterías recargables e incorpora una característica de cristal líquido y un dispositivo para detener las lecturas cuando se presentan.

**Especificaciones técnicas.**

**Electrodo de referencia:** Electrodo de referencia de cloruro de plata/plata, recubierto de plástico, cilíndrico de 35mmx16mm, con terminación porosa para el contacto electroquímico con el agua marina.

**Precisión de las lecturas:**

± 1 milivoltio en agua de mar

**Tipo del cable:**

Cable de cobre múltiple de baja resistencia 4 AWG, recubierto con polietileno.

**Duración de baterías:**

50 horas

**Peso:**

**3 kg**

**b) TÉCNICAS PARA LA PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN.**

A la fecha se cuenta con varios métodos que han resultado ser los más prácticos para controlar la corrosión del acero, cuya selección para cada caso dependerá de las condiciones del medio y de factores técnico-económicos.

Existen cuatro métodos más comunmente utilizados para la prevención de la corrosión, los cuales analizaremos brevemente a continuación:

**Protección catódica.**- El proceso de corrosión del acero, considera un flujo de electrones que abandonan la superficie metálica con la consecuente disolución del acero, en forma de iones  $Fe^{2+}$  durante la protección catódica a través de un circuito eléctrico externo o de ánodos de sacrificio, se imprime corriente a la superficie metálica invirtiendo el sentido del flujo de electrones y evitando así la disolución del hierro. Este método se utiliza preferentemente en tuberías y estructuras enterradas o sumergidas.

**Inhibidores de corrosión.**- Este método considera el uso de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos o inorgánicos, capaces de formar una película o barrera adherente en la superficie del acero, por atracción eléctrica o por una reacción, evitando el acceso de los agentes corrosivos.

Estos compuestos se caracterizan por las altas cargas

eléctricas en los extremos de sus moléculas, capaces de ser atraídas por la superficie a proteger; desafortunadamente esta atracción no es permanente, siendo necesario una dosificación constante en el medio. Este método se utiliza preferentemente en donde existen medios fluidos de circulación.

**Uso de recubrimientos anticorrosivos.-** Este método al igual que el anterior, considera la formación de una barrera que impida, en lo posible, el acceso de los agentes corrosivos a la superficie metálica; no obstante, la barrera es formada a partir de la aplicación de una dispersión líquida de una resina y un pigmento, con eliminación posterior del solvente, obteniéndose una película sólida adherida a la superficie metálica. La durabilidad de esta película está relacionada con la resistencia que presente al medio agresivo. El uso de este método, está muy generalizado en estructuras aéreas o sumergidas.

**Selección de materiales de construcción.-** Cuando las condiciones de presión y temperatura sean muy extremas o bien cuando el medio es excesivamente agresivo, en tal forma que los métodos anteriores no sean utilizables, se puede recurrir a una selección adecuada de los materiales (generalmente caros). La alta resistencia a la corrosión, se basa en la formación inicial de una capa delgada de óxido del metal, muy adherente e impermeable. A este fenómeno se le conoce como Pasivación.

Considerando el aspecto económico de cada uno de estos métodos, así como sus limitaciones, las cuales repercuten

necesariamente en su eficiencia de protección, se concluye que la solución a los problemas de corrosión está enfocada a su control más que a su eliminación.

Los métodos empleados por Petróleos Mexicanos, para la prevención de la corrosión, en líneas submarinas y en estructuras sumergidas, en la Sonda de Campeche, son dos principalmente:

- 1.- Recubrimientos anticorrosivos.
- 2.- Protección catódica.

A continuación se explican las características de cada uno de estos procedimientos y su aplicación en los ductos submarinos.

#### **Recubrimientos anticorrosivos.**

En términos generales, un recubrimiento anticorrosivo se define como una dispersión relativamente estable de un pigmento finamente dividido en una solución de una resina y aditivos. Su composición debe obedecer a una formulación ya probada, tal que al ser aplicada y seca, la película resultante, represente una barrera flexible, adherente y con máxima eficiencia de protección contra la corrosión. Normalmente un recubrimiento considera los siguientes componentes básicos.

	<b>RESINAS</b>
<b>VENICULO</b>	<b>ADITIVOS</b>
	<b>SOLVENTES</b>
<b>RECUBRIMIENTO</b>	
	<b>PIGMENTOS INHIBIDOR</b>
	<b>CARGAS O INERTES</b>
<b>PIGMENTO</b>	<b>PIGMENTO COLORANTE</b>
	<b>O ENTONADORES</b>

Estos componentes pueden definirse en los siguientes términos.

- a) **Resina.**- Son compuestos orgánicos o inorgánicos poliméricos, formadores de película, cuyas funciones principales son las de fijar el pigmento, promover una buena adherencia sobre el sustrato metálico o capa anterior y en general, promover la formación de una barrera flexible, durable e impermeable a los agentes corrosivos del medio ambiente. El grado máximo de polimerización y por lo tanto sus características de comportamiento son alcanzadas durante el proceso de secado y curado, ya sea por interacción con el aire, o bien, por reacción con otra resina denominada comunmente catalizador. En la mayoría de los casos la fase inicial está representada por una evaporación del solvente.

Dentro de un cuadro básico, Petróleos Mexicanos utiliza los siguientes tipos de formadores de película a través de los recubrimientos que aplica en la protección de sus instalaciones.

- 1) Resina alquídica
- 2) Resina epóxica
- 3) Resina poliamídica
- 4) Resina pliamínica
- 5) Resina vinílica
- 6) Resina acrílica
- 7) Resina fenólica
- 8) Resina de cumarond-indeno
- 9) Resina de silicón
- 10) Silicatos de etilo, litio, sodio y potasio
- 11) Aductos y mezclas de algunos de estos productos

Actualmente se estudia la posibilidad de incluir resinas de poliuretano, hule clorado, epóxicas curadas a altas temperaturas.

b) Aditivos.- Son compuestos metálicos u organometálicos que, no obstante que se adicionan en pequeñas cantidades, tienen gran influencia sobre la viscosidad y estabilidad del recubrimiento líquido, así como el poder de nivelación y apariencia de la película ya aplicada. Algunos de estos aditivos, con diferentes aplicaciones, se enlistan enseguida:

- Agentes secantes

- **Agentes antioxidantes**
- **Agentes estabilizadores de flujo y viscosidad**
- **Agentes surfactantes**

c) **Solventes.**- Son líquidos orgánicos de base alifática o aromática cuya función principal es la de disolver las resinas y aditivos, y presentar un medio adecuado para la dispersión del pigmento. Estos compuestos no son formadores de película, ya que se eliminan del recubrimiento a través del proceso de secado. Parte de las propiedades del recubrimiento, tales como viscosidad, facilidad de aplicación, porosidad, dependen de la naturaleza del solvente; por lo que para su selección deberán de tomarse en cuenta propiedades tales como: poder de disolución, temperatura de ebullición, velocidad de evaporación, inflamabilidad, toxicidad, estabilidad química y costo. De estas propiedades, la velocidad de evaporación o volatibilidad tienen gran influencia en la continuidad de la película de recubrimiento: Solventes muy volátiles tienden a producir porosidad, mientras que los solventes poco volátiles, retardan excesivamente el proceso de secado. Generalmente dos sustancias son solubles si el valor de su parámetro es similar. A continuación se presenta una lista de parámetros de solubilidad para las resinas y solventes más comunes.

**RESINAS****PARAMETRO DE SOLUBILIDAD**

Alquidálica	7.0 - 9.5
Vinilica	7.8 - 9.9
Epóxica (Epóxico 500)	8.0 - 13.13
Amiáica	9.5 - 11.0
Acrilica	8.5 - 13.3
Fenólica	7.4 - 9.8
Mule clorado	7.8 - 10.8
Silicón	5.5 - 7.2

**SOLVENTES**

Benceno	9.2
Cellosolve	9.9
Orto-xileno	9.0
Tolueno	8.9
Metil isobutil cetona	8.4
Alcohol isopropilico	11.5
Eter de petróleo	6.9
Dicloreotileno	9.8
Heptano	7.4
Gas nafta	6.5 - 7.8
Agua	23.4

- d) **Pigmentos.**- Son sustancias sólidas orgánicas o inorgánicas, que reducidas a un tamaño de partícula inferior a las 25 micras (1 mil. de pulgadas) y dispersas en el vehículo, imparten a la película seca del recu-

**brimiento, propiedades tales como, protección a la resina de la acción degradante de los rayos ultravioletas del sol, resistencia a la corrosión, resistencia a la corrosión, resistencia mecánica, poder cubriente.**

**Entre las características deseables en un recubrimiento se pueden mencionar las siguientes: No reactividad química con el vehículo, fácil humectación y dispersión, alta resistencia al calor, la luz y agentes químicos, etc.**

**En general se acepta la existencia de tres tipos de pigmentos que pueden caracterizarse de la siguiente forma:**

- **Pigmentos inhibidores.- Inhiben en mayor o menor grado la corrosión, impidiendo el acceso de los agentes corrosivos al sustrato metálico, dado que obstruyen los poros presentes en pequeña proporción en cualquier recubrimiento. Entre ellos se pueden mencionar el aluminio, subóxido de plomo, cromato de zinc, polvo de zinc, óxido de zinc combinado, amarillo de zinc, sulfato básico de plomo, etc.**
  
- **Cargas o inertes.- Frecuentemente la cantidad de pigmento inhibidor necesaria para la protección anticorrosiva y para la protección de resina a los rayos ultravioleta es inferior a la que se requiere en la formulación, por lo que es una práctica común cubrir el excedente con cargas o inertes que resultan más económicas. Como ejemplos encontramos el silicato de magnesio, mica, talco, sílica de diatomáceas,**

baritas, bentonitas, etc.

- Pigmentos entonadores.- Son compuestos solubles o fácilmente dispersables en el vehiculo, que, en menor proporción al pigmento inhibidor, permiten lograr diferentes tonos y colores en el recubrimiento. Azul de ftalocianina, rojo toluidina, naranja de dinitroanilina y naranja molibdato, son algunos ejemplos de estos tipos de pigmentos.

Para efectos de formulación-comportamiento de un recubrimiento, la relación resina-pigmento representa una de las variables más importantes. El pigmento debe de estar en la cantidad suficiente para lograr las propiedades mecánicas y anticorrosivas deseadas, pero sin llegar a exceso tal que la cantidad de resina disponible no alcance a ocluirlo totalmente; esta relación es caracterizada a través del concepto P.V.C. (pigmento vehicle ratio), el cual determina la concentración de pigmento en volumen en la película seca. En general el valor del P.V.C. es inferior al 35% en primarios y al 26% en acabado, no obstante, el valor más adecuado de cada uno de ellos deberá determinarse experimentalmente.

La eficiencia de protección contra la corrosión y el buen comportamiento de un recubrimiento dependen, además de la buena calidad, de factores igualmente importantes, tales como: preparación de la superficie, técnica de aplicación y de una adecuada selección del sistema de recubrimiento en función de la naturaleza del medio corrosivo.

A continuación se dá una lista de los recubrimientos convencionales:

- Recubrimientos alquidáticos
- Recubrimientos vinílicos
- Recubrimientos epóxicos
- Recubrimientos epoxi-alquitrán de hulla
- Recubrimientos vinil-acrílicos
- Recubrimientos fenólicos
- Recubrimientos de silicón
- Recubrimientos antivegetativos

De los recubrimientos convencionales antes mencionados, los que se utilizan en la prevención de la corrosión en líneas submarinas, son los recubrimientos epóxicos y los de epoxi-alquitrán de hulla.

Los recubrimientos epóxicos, en términos generales, el nivel de adherencia, dureza, flexibilidad y resistencia a los medios corrosivos, no han sido superados por ningún tipo de recubrimiento. Puede aplicarse sobre superficies de concreto, metálicas, galvanizadas o inorgánicas de zinc; presenta una excepcional resistencia a los medios alcalinos y buena resistencia a los medios ácidos; soporta salpicaduras, escurrimientos e inmersiones continuas de la mayoría de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, etc.

Presenta una muy baja permeabilidad, permaneciendo inalterable ante la exposición e inmersión en aguas dulces, salada y vapor de agua. Estas características no las adquiere

por si solo, requiere de un agente de polimerización o entrecruzamiento llamado catalizador, el cual usualmente está constituido por una solución de resinas aminicas o poliamidicas.

Su principal limitación considera la formación de una calea superficial sin menoscabo a sus propiedades de película, así como a su alto costo relativo; además, a largo plazo tiende a fragilizarse. A corto plazo alcanza a desarrollar una superficie lisa y muy continua, la cual puede presentar problemas de adherencia durante el repintado o mantenimiento, requiriendo un mordentado.

Los recubrimientos de epoxi-alquitrán de hulla se han desarrollado específicamente para resolver problemas de inmersión continua en agua salada por muy largo tiempo, y en el cual se combina la alta resistencia y características de un recubrimiento epóxico con la alta impermeabilidad del alquitrán de hulla; no obstante, su resistencia a los solventes es afectada, por lo que no se recomienda una inmersión continua a los mismos; además, por influencia del alquitrán de hulla, el recubrimiento tiende a cuartearse y calearse, cuando se expone por largo tiempo a la acción de los rayos del sol.

Para efectos de protección anticorrosiva y debido a la permeabilidad de los recubrimientos, estos deberán aplicarse a un espesor tal que la película seca nunca sea inferior a los 6 mils. de pulgada. La eficiencia en la protección contra la corrosión no depende exclusivamente de la resina y del

pigmento, sino también del espesor. Una serie de factores, incluyendo como parte muy importante aspectos económicos, han dado lugar a la utilización de diferentes formulaciones para cubrir el espesor antes mencionado. Dependiendo de su posición, estas formulaciones se denominan primario, enlace y acabado; al conjunto se conoce como sistema.

**Primario.-** Son recubrimientos cuya formulación está encaminada hacia la obtención de una buena adherencia con el sustrato metálico, así como la de inhibir la corrosión, por lo que normalmente los contenidos de pigmentos inhibidores son elevados (PVC inferior a 35%). Otros requisitos adicionales en un primario consideran el presentar una superficie lo suficientemente áspera y compatible para que las siguientes capas de enlace o acabado logren una buena adherencia.

**Acabado.-** Los acabados representan la capa exterior en contacto con el medio ambiente y se formulan para promover la impermeabilidad del sistema, por lo que normalmente su contenido de pigmento en volumen (PVC) es inferior al 25%. En la elección del tipo de acabado, es de capital importancia para la adherencia, su compatibilidad con el tipo primario utilizado; en términos generales, el uso del mismo tipo de resina en estos dos componentes del sistema, asegura una buena adherencia, aún

cuando hay casos como los epóxicos capaces de lograr una adherencia, si no excelente, cuando menos aceptable sobre otro tipo de recubrimientos.

**Enlace.-**

Para ciertos casos particulares no es posible tener el mismo tipo de resina en el primario y en el acabado, presentándose problemas de incompatibilidad o de adherencia, por lo que se requiere de una capa intermedia denominada enlace, capaz de adherirse tanto al primario como al acabado. Normalmente, los enlaces contienen una mezcla de resinas, parte de las cuales promueve la adherencia con el primario y el resto con el acabado.

---

A C A B A D O

---

E N L A C E

---

P R I M A R I O

---

SUBSTRATO METALICO

---

A continuación se indica la forma de aplicación de los sistemas de recubrimientos mencionados:

**Sistema:** Primario de alquitrán de hulla epóxico catalizado. Se requieren dos manos de este recubrimiento aplicados por aspersión sobre una superficie de acero limpiadas con chorro de arena tipo comercial, a un espesor de película seca de 8.0 mils. de pulg. por mano. Posteriormente, se aplican por aspersión dos manos de antivegetativo a un espesor de 2.0 mils. de pulg. de película seca por mano.

**Sistema:** Recubrimiento para zona de mareas y oleajes. Este recubrimiento se aplica con espátula o extendiéndolo previamente sobre manta de cielo a un espesor de 100.0 mils. de pulgada de película seca sobre superficies de acero preparadas preferentemente con limpieza de chorro de arena tipo comercial.

#### **Protección catódica**

##### **Fundamentos sobre protección catódica:**

La protección catódica se empleó desde antes de que la ciencia de la electroquímica fuese desarrollada. Humphrey Davy, utilizó la protección catódica en barcos británicos en 1824.

Las estructuras metálicas enterradas o sumergidas se corroen por la formación de pilas sobre superficie.

Estas pilas están constituidas por áreas anódicas, donde tiene lugar la disolución del metal y áreas catódicas, donde ocurre la reducción de algún constituyente del electrolito. Las dos reacciones se llevan a cabo en la interfase metal-solución, con la consiguiente transferencia de electrones a través del metal y de iones a través de la solución.

Es fácil comprender entonces, que si toda la superficie del metal se hace el cátodo de una pila electroquímica, la estructura no se corroerá mientras se mantenga esa condición.

Hay dos maneras de proteger catódicamente:

- 1) Mediante una fuente de poder externa o
- 2) Mediante acoplamiento galvánico adecuado.

El primer método conocido como protección catódica por corriente impresa, consiste en conectar una fuente de poder externa de corriente directa, o un rectificador de corriente alterna, a la estructura a proteger; el polo negativo de la fuente de corriente se conecta a la estructura y el polo positivo a un ánodo inerte tal como el grafito.

La protección catódica con ánodos galvánicos se logra mediante la conexión de la estructura a metales más activos; para el caso de hierro su protección se proporciona con la conexión a ánodos de zinc, magnesio o aluminio.

En este tipo de protección catódica el ánodo metálico es el que sufre la corrosión espontáneamente, al proporcionar los electrones requeridos por la protección, por lo que

también se conoce como ánodos de sacrificio.

#### **Protección catódica con ánodos galvánicos:**

Generalmente la protección contra la corrosión utilizada en las líneas submarinas y en las estructuras sumergidas en la Sonda de Campeche, es por medio de ánodos galvánicos o ánodos de sacrificio. El uso de ánodos de sacrificio en protección catódica es una simple aplicación de la celda de corrosión por metales diferentes.

Sabemos que si una línea de acero es conectada eléctricamente a un metal más electronegativo y ambos están en contacto con un electrolito, el metal más activo se corroerá y descargará corriente durante el proceso. Si la cantidad de corriente para dar protección es conocida, se pueden diseñar grupos de ánodos (camas) para proporcionar la corriente deseada durante un periodo de tiempo determinado.

El ánodo de sacrificio puede describirse como un metal con un potencial más electronegativo que la línea o estructura que se pretende proteger. Por tal motivo si se conecta eléctricamente a una línea sumergida, descargará una corriente que fluirá a través del electrolito hasta la estructura en cuestión.

Un buen ánodo de sacrificio deberá tener las siguientes características:

- **Potencial suficientemente electronegativo, para asegurar**

- un flujo de corriente adecuado.
- Corriente de salida elevada, por unidad de peso del material consumido.
- Buen comportamiento de polarización anódica a través del tiempo.
- Bajo costo.

Los ánodos de sacrificio que más se utilizan en protección catódica son: de magnesio, de zinc y de aluminio. A continuación se indican sus propiedades electroquímicas:

Material anódico	Pot. en circuito abierto (ref.Cu/CuSO <sub>4</sub> ) en volts	Drenaje de corriente teórico Amp.Hr/lb	Eficiencia %
Magnesio	- 1.75	1000	50
Zinc	- 1.10	372	90
Aluminio	- 1.10	1350	95

Los ánodos de sacrificio que mayor utilización tienen para la protección catódica de líneas submarinas son los ánodos de aluminio.

Por diseño de un sistema de protección catódica debemos entender dos cosas:

- 1.- Dimensionar equipo y,
- 2.- Elaborar especificaciones de cada instalación.

Si recordamos que protección catódica es protección electroquímica contra corrosión de líneas o estructuras metálicas enterradas o sumergidas, notaremos que las dimensiones del equipo necesario para el proceso electroquímico que pretendemos controlar son:

- a) Cantidad de corriente que requiere la línea o cátodo.
- b) Número de puntos para la distribución más adecuada de la corriente requerida (puntos de drenaje de corriente).
- c) Distribución geométrica de esos puntos de drenaje.
- d) Potencial requerido en cada punto de drenaje.

La determinación del requerimiento de corriente de protección catódica depende de dos factores fundamentales:

- a) La cantidad de área de la línea o estructura que participa en el proceso y,
- b) La actividad del electrolito.

Cuando se trata de estructuras desnudas, es decir, cuando la superficie de acero está directamente en contacto con el electrolito, el primer factor tiene una sola variable y es de orden geométrico: **AREA GEOMETRICAMENTE EN CONTACTO CON EL ELECTROLITO**. La demanda unitaria de corriente de protección catódica, depende en este caso, exclusivamente, de la actividad del electrolito.

Cuando se trata de estructuras o líneas bien preparadas, se cuenta con un revestimiento dieléctrico de muy alta calidad, aplicado sobre todas las áreas que han de estar en

contacto con el electrolito. En estos casos, la demanda de corriente por unidad de área es difícil de establecer teóricamente y por lo general se tiene que recurrir a pruebas eléctricas directas en el campo de requerimiento de corriente para protección catódica.

Conocida la corriente de protección, el problema se reduce a determinar el número de ánodos que suministrarán dicha corriente.

A continuación se dan varias fórmulas que pueden utilizarse para determinar la vida útil esperada de un ánodo de peso conocido, o bien el peso necesario para una vida útil determinada, conociendo la corriente de salida del ánodo.

$$L_N = \frac{57.08 \times W \times 0.75}{I}$$

$$L_Z = \frac{38.24 \times W \times 0.75}{I}$$

$$L_A = \frac{146.6 \times W \times 0.75}{I}$$

**Donde:**

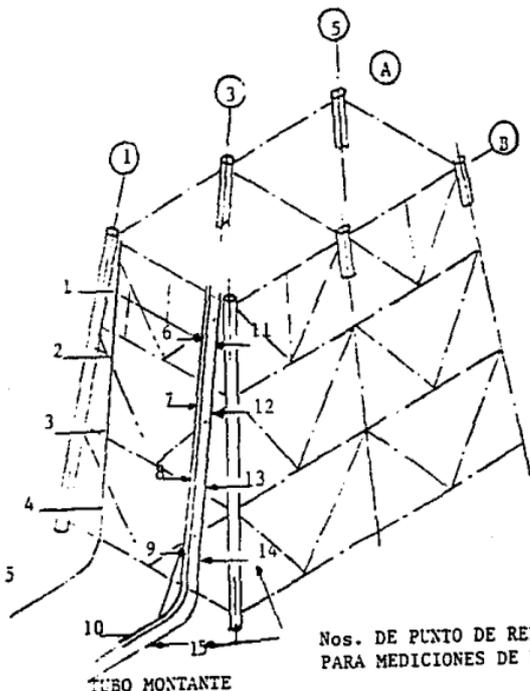
$L_M$  = vida útil del magnesio (años)

$L_Z$  = vida útil del zinc (años)

$L_A$  = vida útil del aluminio (años)

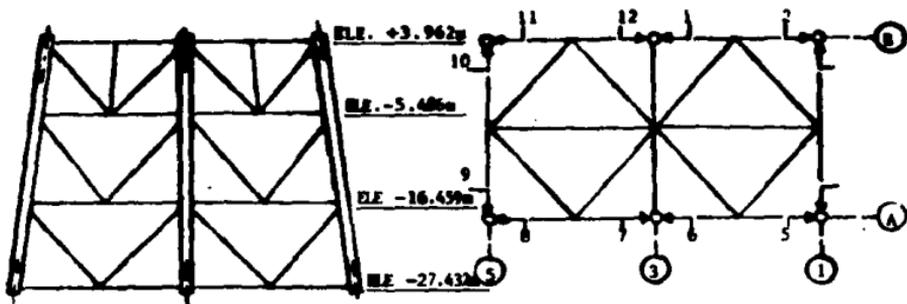
$W$  = peso del ánodo (lbs)

$I$  = corriente de salida del ánodo (ma)



Nos. DE PUNTO DE REFERENCIA  
PARA MEDICIONES DE P.E. (POTENCIAL  
ELECTRICA)

TUBO MONTANTE - CARA NORTE			
PUNTOS DE REF. E.P. <sub>10</sub>	ELEVACION	E.P. VOLTS	COMENTARIOS
1	-1m	.982	SE RENOVIO EL REVESTIMIENTO
2	-8m	.988	" "
3	-16m	.987	" "
4	-24m	.986	" "
5	-28m	.985	" "
TUBO MONTANTE - CARA NORTE			
PUNTOS DE REF. E.P. <sub>10</sub>	ELEVACION	E.P. VOLTS	COMENTARIOS
6	-1m	1.046	SE RENOVIO EL REVESTIMIENTO
7	-8m	1.050	" "
8	-16m	1.053	" "
9	-24m	1.053	" "
10	-28m	1.051	" "
TUBO MONTANTE - CARA NORTE			
PUNTOS DE REF. E.P. <sub>10</sub>	ELEVACION	E.P. VOLTS	COMENTARIOS
11	-1m	.974	SE REMOVIO EL REVESTIMIENTO
12	-8m		CONCRETO
13	-16m		" "
14	-24m		" "
15	-31m		" "



ELEVACION CARAS ESTE Y OESTE

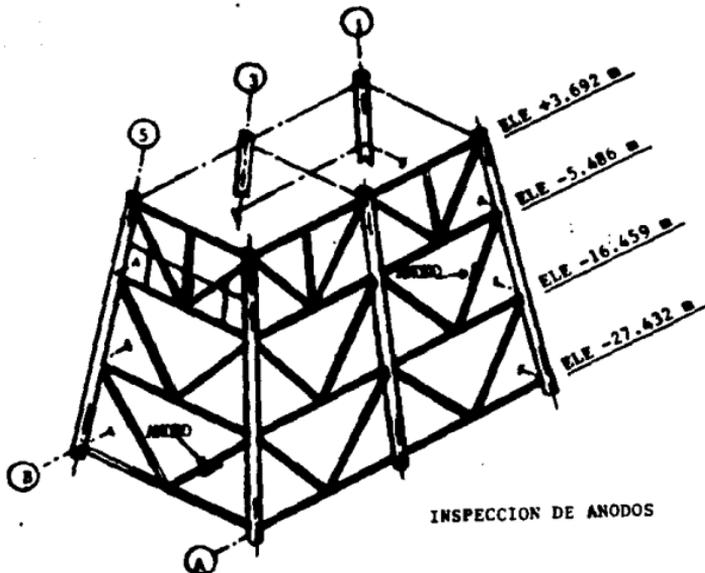
PLAN

-5.486m, -16.459m, -27.432m

MEDICION DE POTENCIAL ELECTRICO (E.P.)

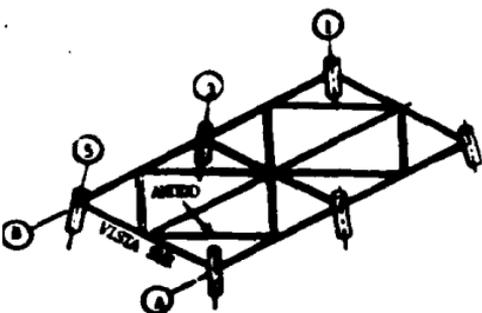
PUNTOS DE REP. N°	ELEVACION	E.P. VOLTS	COMENTARIOS
1	-5.486m	.996	SE REMOVIERON LOS ELEMENTOS DE CRECIMIENTO NUESTRO
2	-5.486m	.988	" " "
3	-5.486m	.984	" " "
4	-5.486m	.977	" " "
5	-5.486m	.978	" " "
6	-5.486m	.988	" " "
7	-5.486m	.988	" " "
8	-5.486m	.981	" " "
9	-5.486m	.979	" " "
10	-5.486m	.983	" " "
11	-5.486m	.984	" " "
12	-5.486m	.984	" " "
1	-16.459m	.993	" " "
2	-16.459m	.988	" " "
3	-16.459m	.987	" " "
4	-16.459m	.981	" " "
5	-16.459m	.981	" " "
6	-16.459m	.986	" " "
7	-16.459m	.986	" " "
8	-16.459m	.981	" " "
9	-16.459m	.981	" " "
10	-16.459m	.988	" " "
11	-16.459m	.988	" " "
12	-16.459m	.984	" " "

DIAGRAMA CLAVE

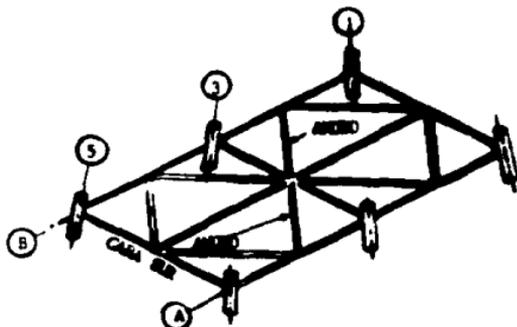


INSPECCION DE ANODOS

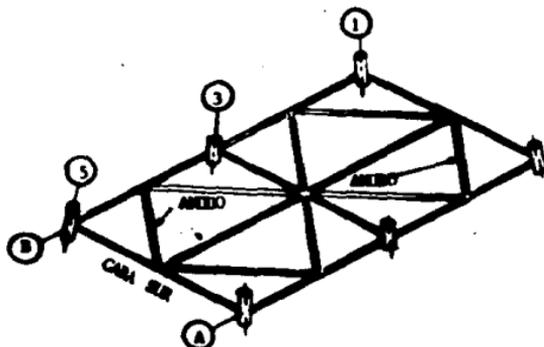
ANODO N°	DIMENSIONES L X B X D ( SEGUN SE INSTALE )	DIMENSIONES L X B X D ( EN INSPEC . )	COMENTARIOS
1	2440x x162	240 x 15 x 15	PICADURA -1.5 cm CORROSION- LIGERA LIMPIEZA - SI
2	2440x x162	230 x 15 x 16	PICADURA -1.5 cm CORROSION- LIGERA LIMPIEZA - SI
3	2440x x162	244 x 15 x 15	PICADURA -2.5 cm CORROSION-MODERADA LIMPIEZA - SI



PLANO A ELEVACION -5.486 m

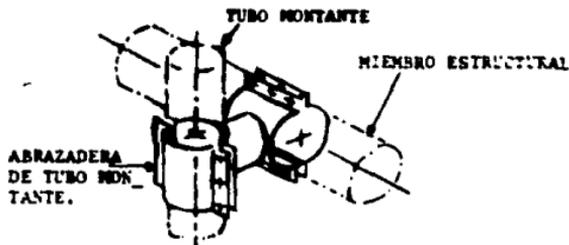


PLANO A ELEVACION  
- 16.459 m



PLANO A ELEVACION -27.432 m

ANUDO N°	DIMENSIONES L x B x D (COMO ESTA INSTALADO)	DIMENSIONES l x B x D (A INST. 10°)	COMENTARIOS
8	2440x x162	240 x 15 x 15	PICADURA - 2.0cm CORROSION-LIGERA LIMPIEZA - NO
9	2440x x162	240 x 15 x 16	PICADURA - 2.5cm CORROSION-LIGERA LIMPIEZA - SI
10	2440x x162	240 x 15 x 15	PICADURA - 2.5cm CORROSION-MODERADA LIMPIEZA - SI
11	2440x x162	202 x 15 x 16	PICADURA - 1.5cm CORROSION-MODERADA LIMPIEZA - SI
12	2440x x162	290 x 14 x 14	PICADURA - 2.8cm CORROSION - FUERTE LIMPIEZA - SI



ABRAZADERA TIPICA

INSPECCION DE ABRAZADERA/TUBO MONTANTE

TUBO MONTANTE MONTANTE - CARA NORTE	
CONDICION TUBO MONTANTE/ABRAZADERA	TRABAJO BENEFICIAL
Se removió la abrazadera Existen atornilladores en ambas mitades Sin daño en el revestimiento fue ligero No se presentó corrosión	Se pusieron nuevas pernos
TUBO MONTANTE - CARA NORTE	
CONDICION TUBO MONTANTE/ABRAZADERA	TRABAJO BENEFICIAL
Se removió la abrazadera Ambos atornilladores en su lugar Revestimiento intacto No se presentó corrosión	Se pusieron nuevas pernos
TUBO MONTANTE - CARA SUR	
CONDICION TUBO MONTANTE/ABRAZADERA	TRABAJO BENEFICIAL
Se removió la abrazadera Existen atornilladores en ambas mitades Sin daño en el revestimiento Sin corrosión	Se pusieron nuevas pernos Se colocó un atornillador en la mitad anterior de la abrazadera.
TUBO MONTANTE - CARA SUR	
CONDICION TUBO MONTANTE/ABRAZADERA	TRABAJO BENEFICIAL
Se removió la abrazadera Ambos atornilladores en su lugar Revestimiento intacto Sin corrosión	Se pusieron nuevas pernos
TUBO MONTANTE - CARA ESTE	
CONDICION TUBO MONTANTE/ABRAZADERA	TRABAJO BENEFICIAL
Se removió la abrazadera Ambos atornilladores en su lugar Sin daño en el revestimiento Sin corrosión	Se pusieron nuevas pernos

## **CAPITULO V.**

### **PERSONAL Y EQUIPO NECESARIO PARA LOS TRABAJOS DE MANTENIMIENTO, ACONDICIONAMIENTO, REHABILITADO E INSPECCION.**

#### **a) PERSONAL Y EQUIPO DE BUCEO:**

El personal y equipo que a continuación se recomienda, deberá estar localizado, ya sea en la barcasa de construcción o en el barco de apoyo a la inspección.

El buceo de saturación requiere una permanencia las 24 horas del día del personal auxiliar de saturación, por lo que resulta más económico trabajar a razón de dos turnos de 12 horas para el personal auxiliar.

La siguiente lista de personal, cumple los requerimientos para un trabajo continuo las 24 horas.

1	Superintendente de buceo
2	Jefes de turno
6	Bucos de saturación continua
3	Técnicos de saturación
4	Bucos de superficie
2	Técnicos de mantenimiento
2	Maniobristas en el puente

---

20      Personas

Cuando los trabajos se realizan por medio de buceo de

**superficie, se nos presentan dos casos:**

- a) **Se considera el buceo de saturación. En este caso los cuatro buzos de superficie aseguran parte del buceo. Se necesitan dos buzos suplementarios, ya que el buceo de saturación se alterna con el buceo de superficie.**
- b) **No se considera buceo de saturación. Si no hay en saturación se necesita el siguiente personal (para 6 horas de buceo efectivo por día en turno de 12 horas)**

1	Superintendente de buceo
7	Buzos
<hr/>	
8	Personas / Turno

**Si es necesario asegurar 12 horas de buceo efectivo por día, se necesitarán:**

2	Superintendentes de buceo
12	Buzos
<hr/>	
14	Personas en total

**Cuando los trabajos se realizan por medio de un submarino tripulado, el personal requerido es el siguiente:**

**Cuadrilla base**

1	Supervisor
1	Piloto

1	Mecánico
1	Electromecánico
1	Electrónico
1	Operador de computador
1	Hidrógrafo
1	Observador
1	Hidráulico
<hr/>	
9	Personas

Si el vehículo utilizado se maneja a control remoto, el personal es el siguiente:

1	Observador
1	Electrónico
1	Mecánico
<hr/>	
3	Personas

En lo referente al equipo, éste dependerá del tipo de trabajo que se realice. El equipo necesario para realizar las pruebas a las líneas submarinas o a las estructuras, está descrito en el capítulo correspondiente a Inspección Submarina.

**b) EQUIPO Y HERRAMIENTAS:**

- 1° Equipo de corte submarino
- 2° Equipo de soldadura submarina (bámba)
- 3° Equipo de corte oxiacetileno y soldadura eléctrica

- 4° Herramientas hidráulicas**
- 4-1 2 Llaves de impacto IW-23 caterpillar o similar**  
**1 Llave de impacto IW-32 caterpillar o similar**  
**Torquímetro o multiplicador de potencia SELECT-A-TORQ**  
**Modelo Slimline N° 20-30 y 40, con capacidades máximas de**  
**11, 700/27, 400/61, 800 Lb-pie**  
**Fuente de poder hidráulica con capacidad suficiente para**  
**suministrar fuerza a cualquiera de las herramientas**  
**antes descritas**
- 5° Flotadores neumáticos (parachutes) para flotar líneas (4)**  
**de 10 toneladas y (4) de 12 toneladas**
- 6° Llaves de golpe**
- 7° Esmeriles y taladros**
- 8° Cortadores de cables de acero**
- 9° Malacates de 15, 10 y 5 ton (cada uno)**
- 10° Lámparas de mano y proyectores**
- 11° Herramientas para operario mecánico especialista**
- 12° Herramientas y materiales de manipulación tales como**  
**malacates, garruchas, cables de acero, cable manila,**  
**grilletes, pernos, etc.**
- 13° Llaves de boca (dados) para las llaves de medidas entre**  
**1/2" y 5 5/8"**
- 14° Biseladoras para tuberías de 4" a 36" φ**
- 15° Cortadores de tubos de 4" a 36" φ (wax machine)**
- 16° Alineadores exteriores para tubería de 4" a 36" φ**
- 17° Dos compresores de aire de 600 pcm c/u**
- 18° Bombas de agua centrifugas con 3 pasos: baja, media y**  
**alta, llegando a una presión de 100 Kg/cm<sup>2</sup> (para efectuar**  
**pruebas hidrostáticas y llenado de líneas)**
- 19° Equipo especial para la inyección de epixico en la**

**instalación de conectores**

- 20° **Equipo estructural, habitat y equipo necesario para soldadura hiperbárica.**

**Equipo de buceo**

El equipo de buceo que a continuación se especifica, es adicional al equipo requerido para realizar la inspección y pruebas no destructivas, especificado en el capítulo de Inspección Submarina.

**Equipo:**

Campana húmeda. El sistema de campana húmeda comprende, una campana de buceo independiente, diseñada para permitir un buceo prolongado a base de aire o gas mezclado, hasta una profundidad de 100 metros. La campana acepta dos busos sentados, con la mitad superior de sus cuerpos en ambiente seco. (Fig. 5a)

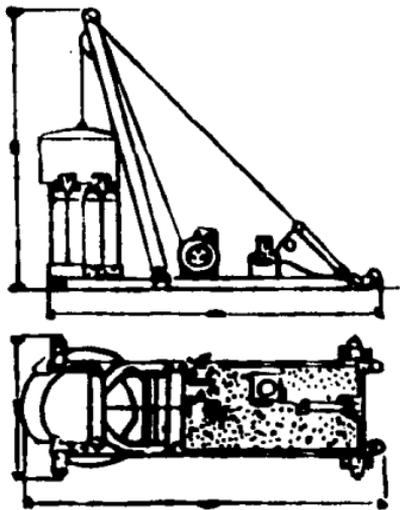
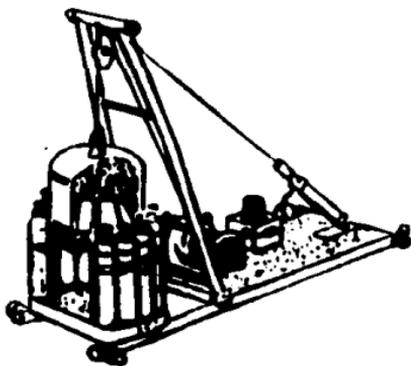
**Especificaciones técnicas:**

**Dimensiones de la campana:**

<b>Diámetro interior</b>	<b>4 ft</b>
<b>Altura</b>	<b>7'8"</b>
<b>Longitud</b>	<b>5'8"</b>
<b>Ancho</b>	<b>3'8"</b>
<b>Peso</b>	<b>4200 Lbs</b>
<b>Longitud total</b>	<b>16'8"</b>
<b>Ancho total</b>	<b>7'</b>
<b>Altura total</b>	<b>14'4"</b>
<b>Peso total</b>	<b>8800 Lbs</b>

**Equipo normal de campana húmeda:**

- 2 cilindros de 10 m<sup>3</sup> de oxígeno
- 6 cilindros de mezcla en el fondo (aire/helio) de 10 m<sup>3</sup>
- 1 colector de O<sub>2</sub> para 3 buzos
- 1 calibrador de profundidad
- 1 equipo de comunicación
- 4 luces externas de 150 v
- 2 asientos plegables
- 2 luces internas



**FIG. 5A**

**SISTEMA DE CAMPANA HÚMEDA**

**Cámara de descompresión: (Fig. 5b)**

**Especificaciones técnicas:**

<b>Diámetro exterior</b>	<b>4'</b>
<b>Ancho total</b>	<b>5'8"</b>
<b>Volumen</b>	<b>130 pies cúbicos</b>
<b>Peso</b>	<b>4400 Lbs</b>
<b>Longitud total</b>	<b>12'9"</b>
<b>Altura total</b>	<b>5'3"</b>
<b>Presión de trabajo</b>	<b>72 PSI</b>

**Equipo normal de descompresión:**

- 1 cámara
- 1 cerradura  
largueros removibles
- 2 puertas de cierre a presión
- 5 ojos de buey (portañolas) (diámetro 5 1/2")
- 1 cierre (seguro) médico
- 1 banco de aire
- 1 asiento  
presurización de aire alta/baja  
colector interno para meclas producto de la respiración
- 1 válvula de seguridad  
tablero de control y supervisión
- 1 intercomunicación  
energía 24 V CA o CD

### **Comunicaciones:**

El sistema de comunicaciones del buzo, se basa en la bien probada unidad Helle Modelo 3212. En la conexión umbilical principal de comunicaciones de la campana, se proporcionan líneas de comunicación independientes al buzo N° 1 y al buzo N° 2. Se proporciona equipo para permitir la operación de la unidad Helle bajo control "local", por el supervisor de buceo con aire, quien tiene un control absoluto y remoto a una distancia de algunos pies al lado del inspector/NDT "senior". (Fig. 5c)

Una grabadora de cinta de carrete a carrete, de baja velocidad, llevará a cabo la función de registro de comunicación.

**Tabla de equipo de buceo con aire  
(Provisional)**

<b>Artículo N°</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
1	1 N°	Sistema de campana húmeda, completo con bastidor de maniobra.
2	1 N°	Cámara de descompresión de plataformas
3	2 N°	Compresor Bauer KA-14 HP, en contenedor de 10' x 8'
4	1 N°	Compresor de aire 600 CFM LP
5	3 N°	Cascos de buceo RNB 10

6	2 N°	Cascos de buceo KMB 16
7	1 N°	Contenedor de procesamiento (impresión) de película y control de inspección/buceo 20' x 10'
8	1 N°	Contenedor de taller 10' x 8'
9	1 N°	Contenedor de almacenes 10' x 8'
10	3 N°	Tanques de gas O2 de 90 metros cúbicos
11	3 N°	Tanques de gas de aire de 90 metros cúbicos
12	1 N°	Tanque de gas 50/50 He O2
13	1 N°	Cilindro DDC de emergencia de 10 m3
14	1 N°	Lancha inflable Zodiac MK (V) con motor fuera de borda de 204 hp
15	2 N°	Tramos de 150 metros de línea de gas con diámetro interior de 3/8", en un tramo continuo sin juntas intermedias, incluyendo cable de comunicación, manguera de aire, línea de seguridad de polipropileno de 10 mm con grilletas de resorte con espalme justo en cada extremo.
16	3 N°	Cilindros "cavallero" con capacidad de 2.4 metros

		cúbicos (por separado)
17	6 N°	Equipos gemelos con la capacidad de 4 metros cúbicos
18	6 N°	Conjuntos de equipo individual de buzo, incluyendo los trajes húmedos, válvulas de demanda Poseidon Cyclon 300', chalecos salvavidas ajustables, etc.
19	4 N°	Reductores de alto flujo Apollo D 600
20	2 N°	Tableros de control de buceo, de superficie, incluyendo: <ul style="list-style-type: none"> <li>* Conjunto de circuitos independientes para 3 buzos</li> <li>* Suministro de aire primario HP con suministro limpio LP como repuesto</li> <li>* 3 controladores de presión en tubos independientes</li> <li>* 3 calibradores neumáticos</li> <li>* Tablero de comunicación para 3 buzos (dos buzos más un suplente) via una caja montada en el tablero de control de gas</li> </ul>
21	2 N°	Unidades de comunicación de buzo de alambre, Nello 3212

- |    |      |   |
|----|------|---|
| 22 | 2 N° | Cajas completas de equipo médico, incluyendo unidades de oxígeno "Respirer"   |
| 23 | 2 N° | Linternas selladas manuales Dacor   |
| 24 | 2 N° | Estuche de repuestos incluyendo altoparlantes KN10B/16, audifonos y válvulas laterales, válvula de sumidero, estuche de reparación, etc.  |
| 25 | 1 N° | Estuche completo de herramientas para mantener el equipo anterior incluyendo, por lo general: <ul style="list-style-type: none"> <li>* Llaves de combinación (9mm a 40mm), llaves ajustables (6", 12", 2", 5") "Steelsons" (8", 15", 24")</li> <li>* Tenazas, martillos, desarmadores, cuchillas y sierra cortametales, 1 pinzas, alicates, arrancapernos, punzones de marcar, barretas, cinzelador.</li> </ul> |

**c) Personal especializado para la preparación de la tubería:**

El personal necesario en los trabajos de reparación y preparación de las tuberías, permanecerá a bordo de la barcaza y dispondrá de todo el equipo y herramientas necesarios para realizar sus actividades.

Este personal laborará turnos de 12 horas y estará a bordo durante 14 días; recibirá alimentación y alojamientos adecuados, (puesto que los trabajos a realizar tienen un riesgo mayor que los realizados en tierra) para que estén en óptimas condiciones.

La cuadrilla de superficie para realizar dos turnos de 12 horas consta de:

2	sobrestantes de maniobristas
22	maniobristas
2	sobrestantes de tuberos
8	tuberos especialistas
4	tuberos de primera
2	sobrestantes de soldadores
12	soldadores especialistas

Este personal debe reunir las cualidades requeridas en las normas para estos trabajos.

**d) Barco grúa de apoyo para los trabajos de instalación:**

El barco o barcaza de construcción deberá cumplir con los

requerimientos establecidos por Petróleos Mexicanos para desarrollar los trabajos en la Sonda de Campeche. Estos requerimientos son establecidos en base a la situación climatológica de la región, a la capacidad de los trabajos y al máximo aprovechamiento de la embarcación para abatir costos; así como también a la capacidad de almacenaje y el Área disponible para trabajar.

A continuación se exponen las características del barco y el equipo requerido:

**Características:**

Eslora	90 m
Manga	27 m
Calado	5 m
Velocidad desplazamiento	9 nudos
Capacidad total de alojamiento	200 personas
Grúa principal	800 ton y 70 m
Sistema de anclaje	6 anclas
Grúa auxiliar móvil	50 ton y 37 m
Helipuerto	Para un Bell 212
Área de cubierta libre	1080 m <sup>2</sup>
Sistema de buceo	Superficial

Equipo de generación de energía eléctrica - 2 de 250 KW

Equipo de compresión de aire - 3 de 125 PSI (1410 RPM)

Taller con taladro, torno, cepillo, prensa, fresadora y equipo menor.

**Equipo de construcción para 16 soldadoras de 400 AMP, completo, alineadores para tubería de 12" a 36"  $\phi$ , biseladoras.**

**El barco grúa servirá como base para todos los trabajos de reparación e instalación de líneas submarinas o líneas ascendentes, sólo en caso de que se presenten emergencias en las plataformas, el personal y equipo será movido a dicha instalación a realizar la reparación.**

**e) Barco de apoyo para la inspección submarina:**

**Cuando los trabajos a realizar requieren ser desarrollados por medio del submarino de inspección, se utilizarán embarcaciones de apoyo. Este tipo de embarcación deberá estar equipado con todo lo necesario para realizar los trabajos de inspección, y para poder llevar a cabo reparaciones menores que no requieran los servicios de una barcasa de construcción, que entre otras cosas tiene un desplazamiento mucho más lento. (Fig. 5d)**

**Las dimensiones, manejo general y las cualidades marinas de cualquier barco elegido, que actúe como una embarcación de apoyo al submarino, debe ser capaz de proporcionar una plataforma estable para el lanzamiento, y recuperación en y hasta incluyendo un estado de la mar de 6.**

**El espacio disponible en cubierta debe ser suficiente para acomodar el submarino, además de, cuando menos tres contenedores para el equipo de apoyo (dos logísticos más una**

computadora).

Además de los servicios normales de apoyo, debe suministrarse lo siguiente:

- Compresor de aire de baja presión/alta presión
- Conjunto de oxígeno
- Bote de hule de tipo Zodiac, más motores como apoyo en superficie
- Sistema de radiocomunicación (puente/cubierta)
- Instalación de un sistema de comunicación bajo el agua (barco/submarino)
- Acomodo para un mínimo de 7 tripulantes

Equipo logístico adicional:

Se necesitan las siguientes instalaciones adicionales y quizá alojadas en contenedores unidos a la cubierta:

Contenedores:

Contenedor 1: Cargas de baterías, bomba de oxígeno, baterías de refacción, mecanismos de maniobra, transpotadores.

Servicios requeridos: alimentación de energía trifásica 380 V 50 Hz, monofásica 220 V 50 Hz

Contenedor 2: Equipado con mesas de trabajo, partes de refacción del submarino, herramientas y otro equipo de apoyo.

**Servicios requeridos:** corriente monofásica 220 V 50 Hz a los puntos de contacto y luz.  
Acondicionamiento de aire.

**Contenedor 3:** Dividido en dos compartimientos, uno para actuar como sala de video, el otro como cuarto oscuro fotográfico. Equipado con mesas de trabajo e instalaciones de almacenamiento.  
**Servicios requeridos:** corriente monofásica 220 V 50 Hz a través de un transformador de aislamiento, alimentación de agua dulce caliente/fría al cuarto oscuro, instalaciones de drenaje.  
Acondicionamiento de aire.

**Contenedor 4:** Instalaciones para procesamiento de computadora.  
**Servicios requeridos:** corriente trifásica 380 V 50 Hz, monofásica 220 V 50 Hz.  
Acondicionamiento de aire.

**Pescante:**

Un pequeño pescante, ligero, operando manualmente o con motor eléctrico, fijado a los rieles de protección del barco, para ser usado para bajar o elevar los transductores de interrogación y también para el sistema de comunicación del submarino al barco.

**Comunicaciones:**

Se instalará sobre el puente un sistema de comunicación submarina.

Debe incluirse un sistema de comunicación de superficie (radio UHF) para ser usado por el capitán/lancha Zodiac/grúa o un operador de la estructura/supervisor y el submarino. Son suficientes los juegos de radioteléfonos emisor-receptor portátil (walkie-talkie).

Por experiencia y considerando que el barco tendrá que trabajar muy cerca de las plataformas, de ambos lados y desplazarse rápidamente de un lugar a otro del campo, evitando dañar con sus anclas los oleogaseoductos y para evitar, para cada plataforma un sistema de anclaje permanente y lograr tener una posibilidad de maniobras y de orientación tal como se describe en el plano adjunto, se propone utilizar un barco con sistema DP (posicionamiento dinámico). Además de que en algunos casos el abastecedor necesitará un remolcador para rolar anclas.

También si se toma en cuenta todas las boyas y las anclas que se necesitarán en el campo, se puede decir que en principio, la única ventaja del abastecedor es su costo relativamente bajo.

Si se consideran todos los costos adicionales tales como:

- Sistema de anclaje y boyas

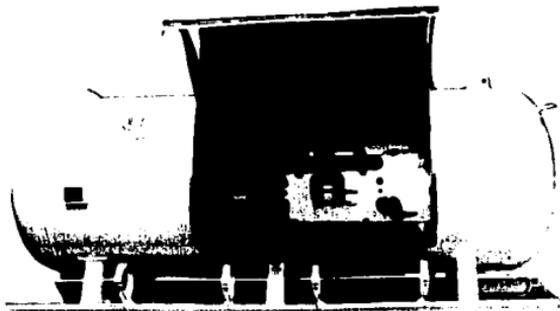
- **Tiempo perdido en anclar el barco**
- **Tiempo de trabajo perdido por el barco, debido a su mala orientación**
- **Posibilidad de dañar las instalaciones**
- **Necesidad en ciertas ocasiones, de un remolcador para ayudar a anclar el barco**

**Esa ventaja es nula y al contrario es para el barco con sistema DP, que no necesita apoyo para trabajar.**

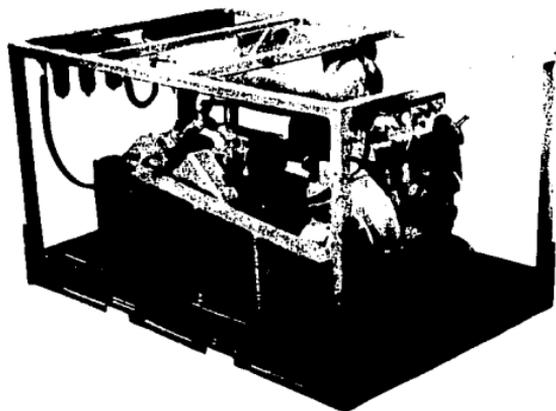
**Se puede decir que un barco del tipo abastecedor trabajará solamente y como máximo el 50% de tiempo, mientras que un barco con posicionamiento dinámico trabajará el 95% sin riesgo para las instalaciones.**

**En conclusión, la diferencia de costo entre las dos embarcaciones se justifica y al final de cuentas, el barco DP es más económico y seguro.**

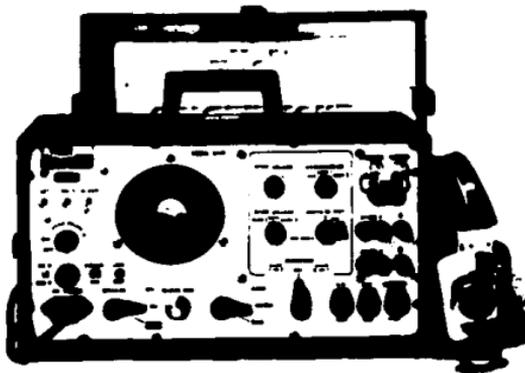
FIG. 5B



CAMARA DE RECOMPRESION  
PARA ACONDICIONAMIENTO DE  
LOS BUZOS DESPUES DE LA  
INMERSION.



COMPRESOR DE AIRE PARA  
PRACTICAS DE BUCEO DE  
PROFUNDIDAD CON EQUIPO  
ESPECIAL.



FUOPO DE RADIO-COMUNICACION  
PARA BUCEO DE PROFUNDIDAD

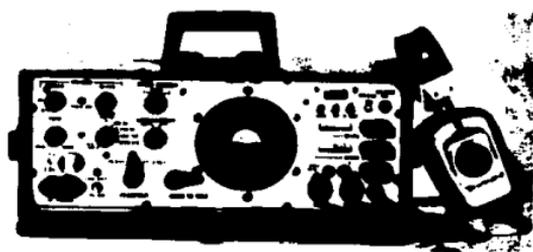
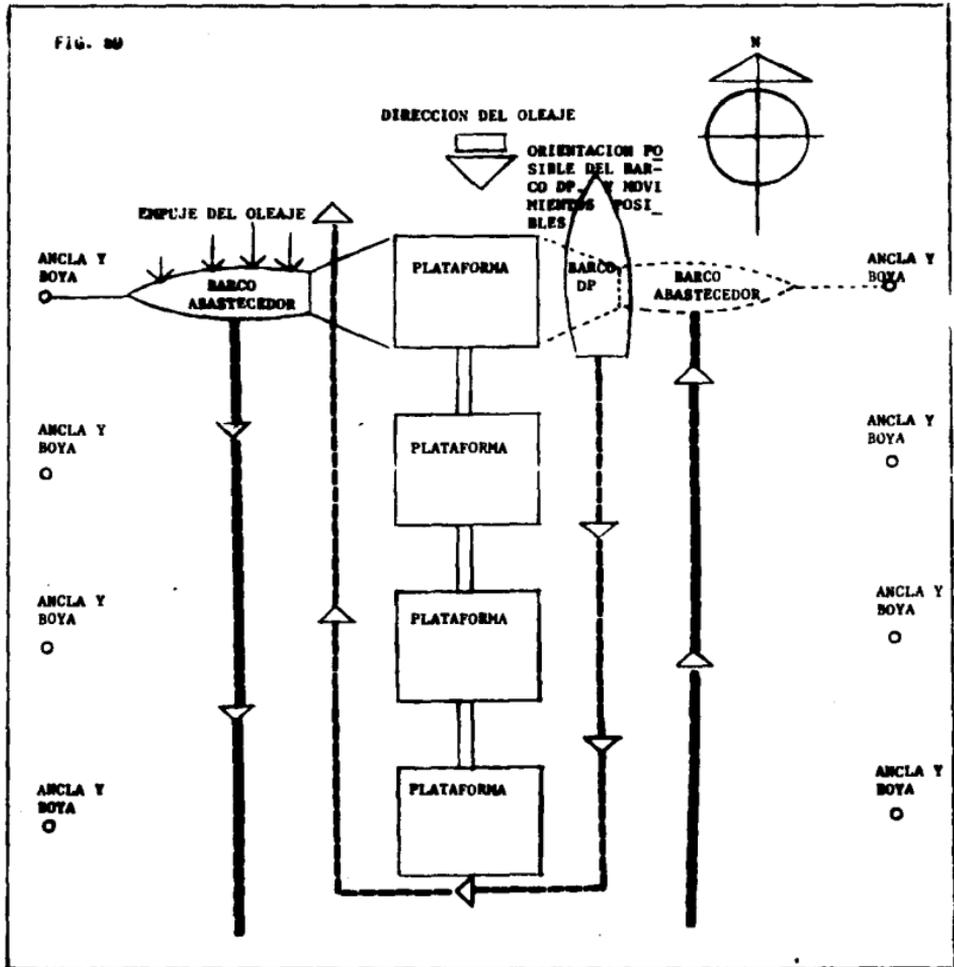


FIG. 80





**HUG935**

**HUG976**



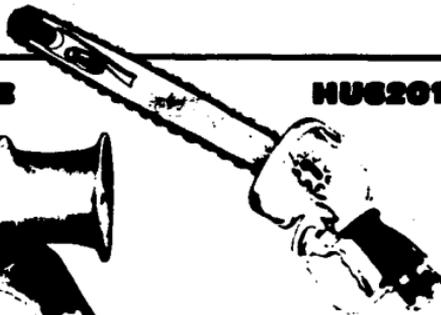
ALGUNAS DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN  
LA INSPECCION Y MANTENIMIENTO DE LINEAS  
SUBMARINAS



**HUG400B**

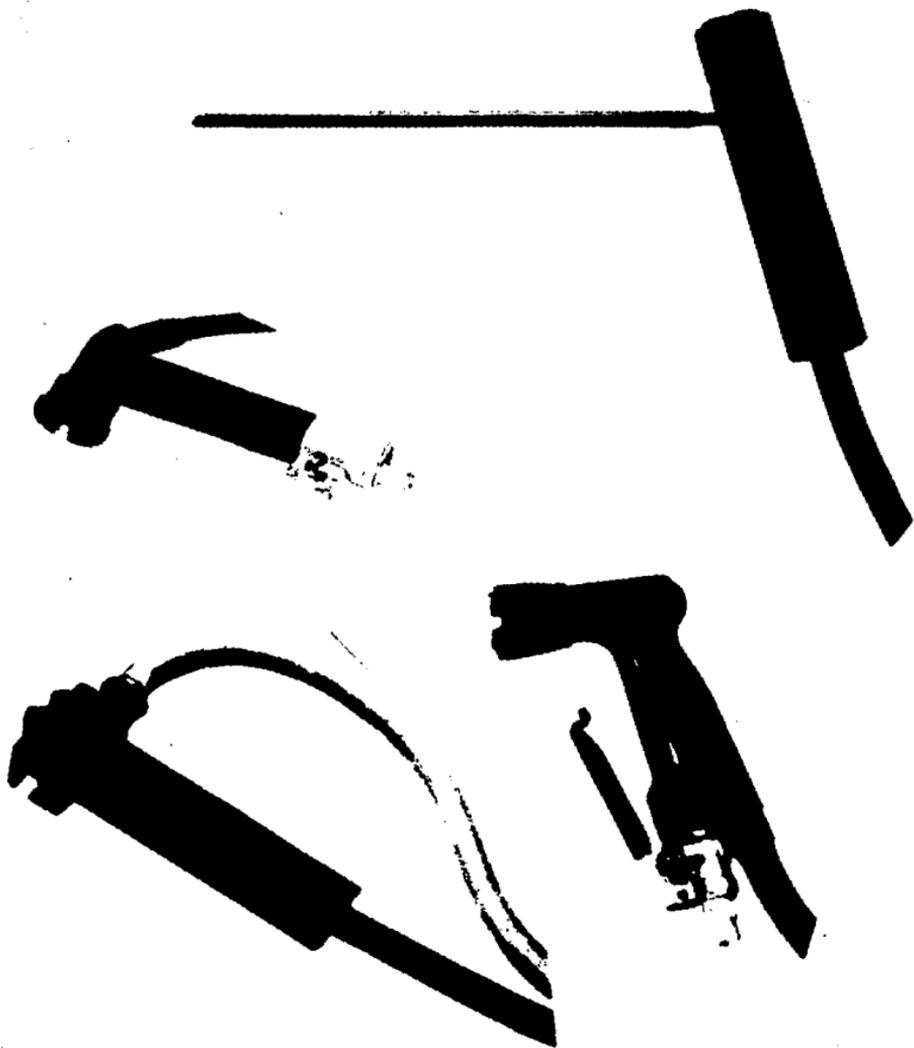


**HUG101**



**HUG201**

PORTA-ELECTRODOS Y MANERAL PARA SOLDADURA  
Y CORTE SUBMARINO CON TECNICAS HIPERBARICAS

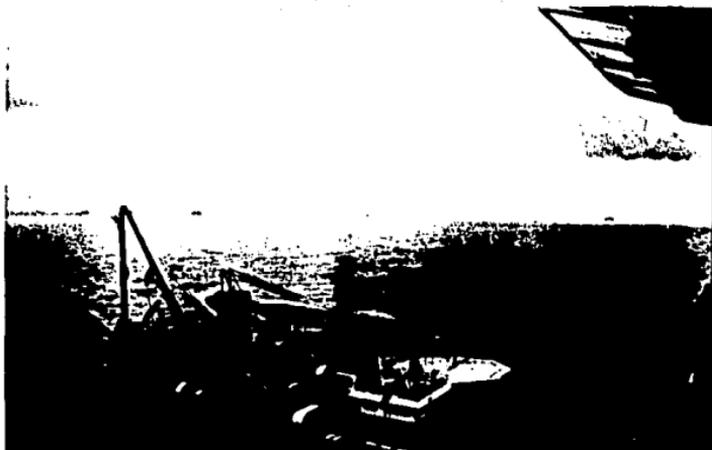




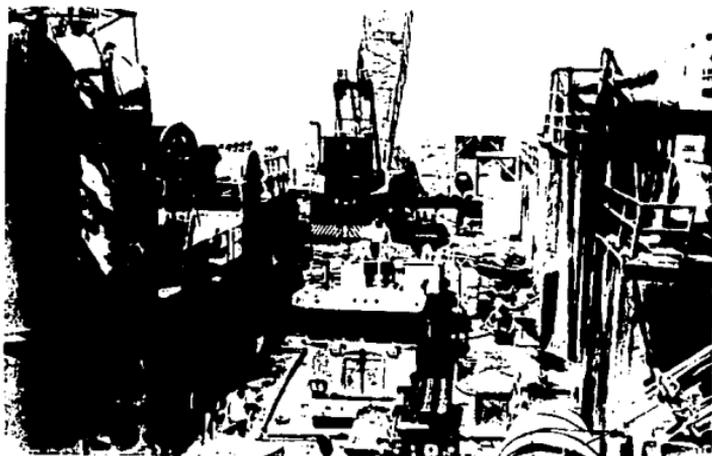
BARCO GRUA  
EN POSICIONAMIENTO FRENTE A  
COMPLEJO DE PLATAFORMAS



BARCO DE INSPECCION RICTO  
EQUIPADO CON EQUIPO PARA SOLDADURA  
DE EMPALME.

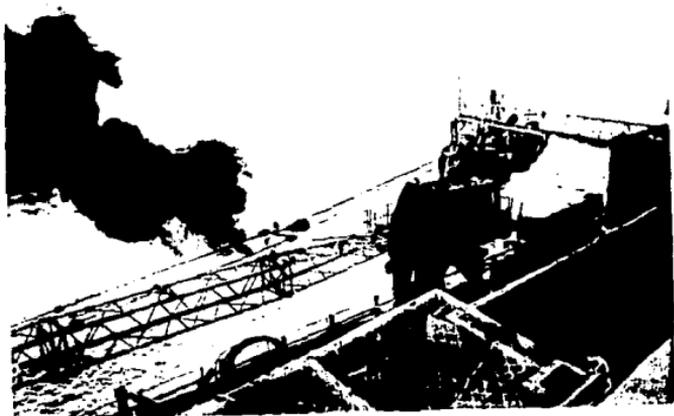


PARCAZA TENEDORA DE TIBERIA

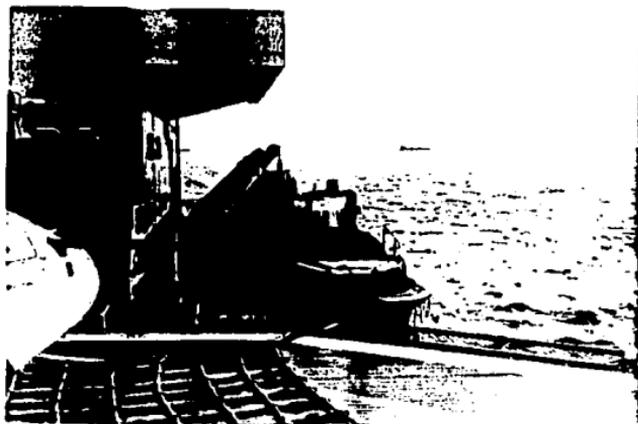


ASPECTO DE BARCO CON EQUIPO  
PARA EL PARACION DE POTOS.

BARCO GRUA  
FLOTANDO PLATAFORMA



GRUADOR Y  
GRUA DE APOYO  
EN PLATAFORMA



LANCHAS SALVAVIDAS  
EQUIPO DE SEGURIDAD  
REFUERZO EN EMBARCA-  
CIONES Y PLATAFORMAS



BARCO ABASTECEDOR  
ACOPRADO A BARCO GRUA

## **CAPITULO VI.**

### **ANALISIS ECONOMICO.**

Los tipos de trabajos que se realizan dentro de la inspección, rehabilitación y el mantenimiento de líneas submarinas, requieren ser tratados de forma especial cuando queremos hacer referencia al costo económico que representan.

Como se trató en capítulos anteriores, muchos de los trabajos resultan de emergencias, las cuales no se tienen contempladas dentro de los programas de mantenimiento e inspección preventivos, por lo que no se puede determinar con anticipación su costo; por lo tanto es conveniente que se manejen conceptos generales para las asignaciones económicas, como son renta de barcos y equipos, personal especializado, materiales, etc.

El costo de un trabajo específico, no siempre es constante, varía dependiendo de las condiciones en las que se realice; por ejemplo, para el cambio de un offset se presentan factores tan diversos como son condiciones ambientales, disponibilidad de suspender operación de la línea, condiciones del fondo marino, etc. Lo cual repercute de forma directa en el tiempo que se lleve para realizar las operaciones y por lo tanto en el costo de la operación.

Sin embargo es importante mantener un control lo más exacto posible de las erogaciones que se tienen por concepto de mantenimiento, dado que será un termómetro muy importante

de la eficacia y la exactitud con la que se está trabajando.

Teniendo en cuenta que el 100 % de las actividades que se realizan en la Sonda de Campeche, competen directamente a Pemex, se harán a continuación algunas consideraciones respecto a costos, las cuales se basan en conceptos ya estipulados en los contratos que realiza la paraestatal con alguna de las compañías de servicio que laboran en el área.

Existen tabuladores, los cuales han sido realizados en base a la experiencia, por personal capacitado de Pemex. En estos tabuladores se encuentra un estimado del costo de los trabajos, tratados en particular cada uno. Para el análisis en especial se toman en cuenta factores tales como: material estimado a utilizarse, personal especializado necesario para realizar el trabajo, renta o depreciación del equipo, etc. A todos estos factores se les aplica un factor de seguridad debido a las condiciones adversas que pudieran presentarse.

En los contratos se especifica el alcance de los trabajos, así como las sanciones a las que se hace acreedor el contratista por incumplimiento y las variaciones de las estimaciones según se encuentra la paridad del peso contra el dólar o si por alguna razón llegase a existir fluctuación de precios.

Existe una manera rápida de calcular, ya sea de forma estimada o real, el costo de una operación. Si se conoce el costo de la renta del barco de apoyo, barco de inspección, equipo, salario del personal especializado que interviene y

se conoce también, como se explicó en capítulos anteriores, el consumo de material para llevar a cabo el trabajo, podremos calcular el costo promedio que tendrá la operación.

A continuación se da una lista de los principales factores que afectan la estimación del costo de operación.

Las tarifas que se aplicarán están divididas en dos porciones: la porción "A" en pesos mexicanos, para cubrir lo correspondiente a consumos, mano de obra, indirectos, gastos de administración y utilidades.

La porción "B" en pesos mexicanos, equivalentes a los dólares americanos, necesarios para cubrir los costos fijos (depreciación, inversión, seguros y mantenimiento), que se utilizarán en la amortización del pasivo que se ha contraído con instituciones extranjeras en el financiamiento, para la adquisición del equipo. (2800 pesos por dólar).

**a) COSTO DEL BARCO GRUA, BARCOS DE APOYO Y EQUIPO.**

<b>RELACION DE CONCEPTOS Y TARIFAS</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>TARIFAS EN M.N.</b>	
		<b>PORCION "A"</b>	<b>PORCION "B"</b>
<b>Novilización y des- novilización del barco de apoyo</b>	<b>día</b>	<b>67'712,000</b>	<b>101'568,000</b>

<b>Barco de apoyo en posición de espera</b>	día	63'296,000	94'944,000
<b>Barco de apoyo en operación</b>	día	73'600,000	110'400,000
<b>Chalán plano (300' x 90') y remolcador de 5600 HP</b>	día	14'458,973	1'505,646
<b>Barco abastecedor 2000 HP</b>	día	4'067,619	763,331
<b>Lancha de personal</b>	día	2'896,353	
<b>Personal de buceo de superficie</b>			
a) en espera	día	5'552,870	
b) en operación	día	5'552,870	
<b>Comida y alojamiento por persona</b>			
a) comida	hombre/día	40,365	
b) alojamiento	hombre/día	11,212	
<b>Precio por equipo y personal especializado.</b>			
a) en espera	día	7'786,400	11'679,591
b) en operación	día	10'381,855	15'572,801

Precio por equipo  
completo y personal  
para soldadura hiper-  
bárica

a) en espera	día	19'618,137	29'427,215
b) en operación	día	26'157,516	39'236,294

**b) MATERIALES DE CONSUMO.**

También se proporciona una lista de precios unitarios de los materiales que más comunmente se utilizan en los trabajos de mantenimiento a los ductos submarinos.

CONCEPTO	PRECIO UNITARIO
Soldadura 7018	\$ 4,544/Kg
Soldadura 6010	\$ 4,444/Kg
Oxígeno	\$ 4,511/Kg
Acetileno	\$16,385/Kg

**Materiales para recubrimiento:**

Vidrioflex 12" ancho x 1000' largo	\$ 69,040/rollo
Vidriomat 12" ancho x 400' largo	\$ 64,060/rollo
Esmalte No. 225	\$ 3,630/Kg
Primario epóxico	\$ 3,753/Lto
Cinta hot-clad 60	\$1'582,138/rollo
Cinta hot-clad 110	\$1'906,632/rollo

**Anodo de sacrificio para protección catódica de aluminio marca GALVALUM tipo III de braselete para tubería de:**

6" $\phi$ a 10" $\phi$	\$ 250,000 c/u
12" $\phi$ a 16" $\phi$	\$ 600,000 c/u
18" $\phi$ a 24" $\phi$	\$ 950,000 c/u
30" $\phi$	\$1'800,000 c/u
36" $\phi$ a 48" $\phi$	\$2'600,000 c/u

**Tubería:**

	x-42	x-52	x-60	x-65
6" $\phi$ - 10" $\phi$	\$2,305/Kg	\$2,386/Kg	\$2,726/Kg	\$2,858/Kg
18" $\phi$ - 30" $\phi$	\$1,816/Kg	\$1,868/Kg	\$2,138/Kg	\$2,240/kg
36" $\phi$	\$2,154/Kg	\$2,218/Kg	\$2,365/Kg	\$2,474/Kg

Considerando todos los costos y las tarifas por concepto de rentas y personal, y calculando el tiempo y el personal requerido para realizar un trabajo en específico, podremos entonces calcular su costo.

Es importante hacer referencia que todos los trabajos que se realicen con carácter de emergencia, repercutirán en una erogación mayor, esto debido a que se tendrán que suspender otras actividades, quedando inconclusas; así como una movilización del barco grúa de apoyo fuera de programa. Lo anterior viene a reafirmar la necesidad de implementar programas de mantenimiento preventivo a todas las instalaciones costa afuera de Pemex, con el propósito de evitar en lo posible los casos de emergencia.

## **CONCLUSIONES:**

El mantenimiento de las instalaciones industriales incluye desde la inspección oportuna, hasta las rehabilitaciones necesarias, esto debe tener jerarquía primordial. Contra lo que se piensa frecuentemente, constituye una inversión altamente rentable; y, el diferirlo con enfoques de falsas economías, seguramente acarrea erogaciones fuera de toda proporción y operaciones bajo condiciones de emergencia.

No solo por los conceptos económicos, sino principalmente por sus repercusiones ecológicas y de riesgo sobre las instalaciones y el personal, el mantenimiento deberá ser objeto de cuidadosa reglamentación y estricta vigilancia del cumplimiento de los programas.

Debe reconocerse que las labores de mantenimiento no son de las más vistosas ni espectaculares, y se requiere una verdadera cultura para hacer estos trabajos con el entusiasmo debido.

Lo dicho anteriormente sobre la necesidad de mantenimiento es de alguna manera específica más imperante cuando se trata de instalaciones costa afuera; pues se están manejando medios y ambientes mucho más agresivos y las fallas tendrán repercusiones de enorme trascendencia, llegando en la mayoría de las veces a constituir verdaderos crímenes ecológicos.

A nivel mundial, la conquista de los recursos naturales

costa afuera es relativamente joven y las tecnologías, en consecuencia, están en etapa de constante y trascendente evolución.

México, con el descubrimiento y desarrollo de los campos en la Sonda de Campeche, ha entrado a estratos de alta tecnología, propia de países del primer mundo.

Los yacimientos y los pozos de esta área son extraordinarios a nivel mundial, por su magnitud y grandes volúmenes de hidrocarburos que producen diariamente, y en consecuencia en esta área frecuentemente se ha tenido que ensayar y desarrollar soluciones de vanguardia.

Es evidente que la ciencia y tecnología no deben tener fronteras geográficas y, en consecuencia, es lógico tolerar la presencia de expertos internacionales en estos trabajos.

Sin embargo, es indispensable que esto constituya una verdadera y oportuna transferencia tecnológica a instituciones nacionales, para tender a una adecuada autosuficiencia tanto en técnicas y equipo, como en el factor humano.

Debe tomarse en cuenta que los desarrollos petroleros de la Sonda de Campeche, coinciden geográficamente con una de las áreas más ricas por cantidad y calidad de especies marinas; por lo tanto deberán extremarse los cuidados y la coordinación, para que se logre no solo una coexistencia no agresiva, sino una ideal simbiosis que signifique el mutuo apoyo entre la industria pesquera y petrolera, ya que ambas

constituyen pilares para el desarrollo del país, por su significación económica y por el importante número de empleos que representan.

Debemos convencernos que la elaboración y sobre todo el cumplimiento de los programas preventivos de mantenimiento deben hacerse con toda oportunidad. En los trabajos correspondientes, deberán cuidarse, además de una acertada economía, la máxima calidad de los mismos, cumpliendo con todos los requisitos establecidos previamente; esto es, hacer bien las cosas a la primera.

Finalmente, se recomienda se establezcan registros estadísticos consistentes, que capturen las experiencias de todas estas operaciones. A estos registros deberán tener acceso todas las instituciones y compañías que laboren en el área, para evitar repetición de errores y lograr una continua superación en eficiencia, eficacia y calidad.

El trabajo que se presenta es el producto de las vivencias personales que se tuvieron en un considerable período dedicado específicamente a operaciones de mantenimiento de instalaciones subacuáticas en la Sonda de Caspeche.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1. Introducción a la Protección Anticorrosiva de Equipo e Instalaciones a Base de Recubrimientos.**  
**Guerrero F. Manuel Felipe**  
**Edit. Instituto Mexicano del Petróleo**  
**México**  
**Agosto, 1983**
- 2. Oil Pipeline Construction and Maintenance.**  
**Petroleum Extension Service**  
**The University of Texas at Austin**  
**Austin, Texas**  
**Abril, 1973**
- 3. Design and Installation of Offshore Production**  
**Plataform. Piping Systems.**  
**American Petroleum Institute**  
**First Edition**  
**Dallas, Texas**  
**Agosto, 1975**

**Normas, Catálogos y Manuales:**

1. **Manual de Recubrimientos Anticorrosivos.**  
**Protexa**  
**México, 1977**
  
2. **Sistemas de Transporte de Petróleos por Tuberías.**  
**Petróleos Mexicanos**  
**Norma 3.374.01**  
**Primera Edición**  
**1975**
  
3. **Wire Ropes and Lifting Equipment.**  
**Martin Black**  
**USA**  
**1981**
  
4. **Commercial Diving Equipment and Supplies.**  
**Jesse L. Dean**  
**Agua Tech**  
**Louisiana, USA**