

***Facultad de Estudios Superiores Aragón
Ingeniería Civil***



Tesis

***“Tipos, Niveles y Equipos para Inspección de
Plataformas Marinas Costa Fuera en la Sonda
de Campeche”***

Asesor.: Ing. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez

Realizo: Ernesto Díaz Álvarez

Junio del 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Índice



Capítulo I
Antecedentes



Capítulo II

Tipos y Niveles de Inspección



Capítulo III

Equipos de Inspección



Capítulo IV
Conclusiones



Referencia Bibliográfica

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora, la Ing. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez, por su apoyo incondicional, su guía y compromiso hacia la revisión de este trabajo de tesis, con la cual culmino el ciclo de mi licenciatura como Ingeniero Civil.

Al Instituto Mexicano del Petróleo, por la formación y los trece años de trabajo ininterrumpidos, los cuales me han servido en la conclusión de varias metas proyectadas.

A todos mis amigos y compañeros, por su comprensión y reconocimiento; en especial:

Ing. Francisco Vargas Rodríguez
Ing. Francisco Elizalde Torres
Ing. Antonio Hernández Villanueva
Ing. Reynaldo Ibáñez Luria
Sra. Beatriz Arzate y Aceves
Sra. Martha Sánchez Roa

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Gracias por su amor, comprensión y por la educación que me han brindado durante toda mi vida, por que de ustedes aprendí el significado de amor y tenacidad, con mucho cariño y respeto.

MARTHA JULIANA

Te AMO, gracias por esos hermosos “caramelos” y por estos cuatro maravillosos años, sin ti nada de esto seria posible, te respeto y admiro, a ti dedico todo mi ser con la esperanza de estar a tu lado por siempre.

SEBASTIAN Y RENATA

Dedico este trabajo a ustedes, ya que son mi fuente de inspiración y de fuerza, son la bendición mas grande que he encontrado en este mundo, les pido perdón por las horas que no hemos pasado juntos y espero que el esfuerzo que realizo sea para su bienestar y que sirva como ejemplo en su desarrollo personal y profesional, los AMO.

A MIS HERMANOS

Por que juntos compartimos alegrías y tristezas, y por que cada uno de ustedes forma parte importante dentro de mí, les dedico esta tesis y espero que estén tan orgullosos de mi, tanto como yo lo estoy de ustedes:

Leticia

Irma

José Alberto

A toda mi familia Abuelos, Tíos, Primos y Sobrinos, así como a mis Suegros y Cuñados, les agradezco su cariño y sus muestras de afecto, es reciproco.



“Tipos, Niveles y Equipos para Inspección de Plataformas Marinas Costa Fuera en la Sonda de Campeche”

I. ANTECEDENTES

1.1 <i>El ambiente marino</i>	4
1.2 <i>Sistemas estructurales para la explotación de hidrocarburos</i>	5
1.2.1 <i>Plataformas fijas</i>	5
1.2.2 <i>Plataformas semisumergibles</i>	5
1.2.3 <i>Plataformas autoelevables</i>	6
1.2.4 <i>Plataformas con piernas tensionadas (TLP)</i>	6
1.2.5 <i>Plataformas tipo torre atirantada (Guyed Tower)</i>	7
1.2.6 <i>Plataformas flexibles</i>	7
1.2.7 <i>Barcos de producción, almacenamiento y descarga (FPSO)</i>	7
1.3 <i>Sistemas de producción submarinos</i>	8
1.4 <i>Plataformas fijas tipo "Jacket"</i>	9
1.4.1 <i>Superestructura</i>	9
1.4.2 <i>Subestructura</i>	11
1.4.3 <i>Cimentación</i>	13
1.4.4 <i>Accesorios</i>	14
1.4.5 <i>Accesorios de la superestructura</i>	15
1.4.6 <i>Accesorios de la subestructura</i>	15
1.5 <i>Clasificación de plataformas fijas tipo Jacket</i>	18
1.5.1 <i>Plataformas de perforación</i>	18
1.5.2 <i>Plataformas de inyección</i>	19
1.5.3 <i>Plataformas de producción</i>	19
1.5.4 <i>Plataformas de enlace</i>	19
1.5.5 <i>Plataformas habitacionales</i>	19
1.5.6 <i>Plataformas de compresión de gas</i>	20
1.5.7 <i>Plataforma de rebombeo</i>	20
1.5.8 <i>Plataformas de telecomunicaciones</i>	20
1.5.9 <i>Plataformas recuperadoras</i>	20
1.5.10 <i>Plataformas para quemador</i>	20
1.5.11 <i>Plataformas de apoyo intermedio</i>	21
1.5.12 <i>Puentes de intercomunicación</i>	21

II. TIPOS Y NIVELES DE INSPECCION

2.1 <i>Tipos de inspección</i>	23
I. <i>Inspección General de la Estructura.</i>	
II. <i>Inspección de Áreas Seleccionadas.</i>	
2.2 <i>Niveles de inspección</i>	24
1.- <i>Inspección Visual General</i>	
2.- <i>Inspección Visual Detallada</i>	
3.- <i>Inspección Empleando Pruebas No Destructivas</i>	



2.3 Pruebas No Destructivas en Acero.....	25
2.3.1 <i>Inspección con partículas magnéticas.....</i>	<i>26</i>
2.3.2 <i>Inspección con Técnica ACFM.....</i>	<i>26</i>
2.3.3 <i>Profundidad de penetración.....</i>	<i>26</i>
2.4 ACFM.....	27
2.4.1 <i>Principios del ACFM.....</i>	<i>28</i>
2.4.2 <i>Interpretación de las Señales del ACFM.....</i>	<i>28</i>
2.5 Inspección con Técnicas de Ultrasonido.....	30
2.5.1 <i>Medición de Espesores.....</i>	<i>30</i>
2.5.2 <i>Detección de Discontinuidades.....</i>	<i>30</i>
2.5.3 <i>Detección de elementos inundados.....</i>	<i>31</i>
2.5.4 <i>Medición de Potencial Catódico.....</i>	<i>31</i>
2.5.5 <i>Inspección con líquidos penetrantes.....</i>	<i>31</i>
2.6 Inspección de Superestructuras.....	32
2.7 Estructuras especiales.....	33

III. EQUIPOS DE INSPECCIÓN

Métodos de Inspección de Plataformas Marinas Fijas.

3.1 Método Tradicional de Inspección.....	34
3.1.1 Buceo.....	34
3.1.1.1 <i>Buceo con equipo autónomo.....</i>	<i>35</i>
3.1.1.2 <i>Buceo dirigido.....</i>	<i>36</i>
3.1.2 Vehículos Operados (ROV'S).....	37
3.1.2.1 ROV Observacionales.....	38
3.1.2.1.a <i>Seaeye 600.....</i>	<i>39</i>
3.1.2.1.b <i>Hawkeye.....</i>	<i>39</i>
3.1.2.1.c <i>Seaeye Boxer.....</i>	<i>40</i>
3.1.2.1.d <i>Seaeye Puma.....</i>	<i>40</i>
3.1.2.1.e <i>Seaeye Tigre.....</i>	<i>41</i>
3.1.2.1.f <i>Scrutineer.....</i>	<i>41</i>
3.1.2.2 ROV Clase de Trabajo (Work Class).....	44
3.1.2.2.a <i>Diablo.....</i>	<i>44</i>
3.1.2.2.b <i>Centurión.....</i>	<i>44</i>
3.1.2.2.c <i>Centurion HD.....</i>	<i>45</i>
3.1.2.3 Sistema Sumergible Tripulado (DeepWorker).....	46
3.1.2.3.1 <i>Capacidades generales.....</i>	<i>46</i>
3.1.2.3.2 <i>Características adicionales.....</i>	<i>48</i>
a) <i>Aplicaciones de video y fotografía fija digitales.....</i>	<i>48</i>
b) <i>Equipo de muestreo.....</i>	<i>49</i>
c) <i>Aplicaciones del módem de telemetría acústica.....</i>	<i>49</i>
d) <i>Aplicaciones del sonar y del eco sonda.....</i>	<i>49</i>



3.1.2.4 <i>Equipo (Mini-ROV)</i>	50
3.1.2.4.1 <i>Utilidad y valor de los sistemas VideoRay (ROV)</i>	51
a) <i>Portabilidad</i>	51
b) <i>Utilidad</i>	51
c) <i>Alcance</i>	51
d) <i>Durabilidad</i>	51
e) <i>Materiales y construcción</i>	51
f) <i>Garantía</i>	51
g) <i>Calidad de las Cámaras</i>	51
h) <i>Sensores</i>	52
i) <i>Profundidad</i>	52
j) <i>Peso</i>	52
3.2 <i>Compañías Inspectoras</i>	55
3.2.1 <i>Procedimiento de Selección y Calificación del Personal Técnico para Inspección de Instalaciones Costafuera</i>	55
3.2.1.1 <i>Personal</i>	55
3.2.2 <i>Calificación del Personal Técnico para Inspección de Instalaciones Costafuera</i>	55
3.2.2.1 <i>Ingeniero de Campo</i>	55
3.2.2.2 <i>Ingeniero Evaluador</i>	56
3.2.2.3 <i>Técnico Inspector Nivel III, II y I</i>	56
3.2.2.4 <i>Técnico en Dibujo Industrial</i>	56
3.2.2.5 <i>Supervisor de Buceo</i>	56
3.2.3 <i>Selección del Personal Técnico para Inspección de Instalaciones Costafuera</i>	56
3.2.3.1 <i>Ingeniero de Campo</i>	56
3.2.3.2 <i>Ingeniero Evaluador</i>	57
3.2.3.3 <i>Técnico Inspector Nivel III</i>	57
3.2.3.4 <i>Técnico Inspector Nivel II</i>	57
3.2.3.5 <i>Técnico Inspector Nivel I</i>	57
3.2.3.6 <i>Técnico en Dibujo Industrial</i>	58
3.2.3.7 <i>Supervisor de Buceo</i>	58
3.2.3.8 <i>Buzo Especialista</i>	58
3.2.3.9 <i>Maniobrista</i>	58
3.2.4. <i>Equipo</i>	58
3.2.5. <i>Formatos para los datos de inspección</i>	58

IV. CONCLUSIONES

4.1 <i>Relaciones Causa-Efecto entre eventos y condiciones, para la planeación de las inspecciones</i>	61
4.2 <i>Características generales</i>	61
4.3 <i>Causantes de daño (exposiciones)</i>	62
4.4 <i>Causantes de daño (exposiciones)</i>	63
4.4.1 <i>Nivel I - Inspección Visual General</i>	63



4.4.2 Nivel II - Inspección visual detallada.....	63
4.4.3 Nivel III - Inspección empleando pruebas no destructivas.....	64
4.5 Tipos de daño y/o conceptos de inspección.....	64
4.5.1 Corrosión.....	64
4.5.1.1 Corrosión Ambiental (atmosférica o submarina, CA).....	64
4.5.1.2 Corrosión Galvánica (CG).....	64
4.5.2 Grietas por fatiga (GF).....	65
4.5.3 Socavación (SO).....	65
4.5.4 Asentamientos e inclinaciones (AI).....	65
4.5.5 Daños mecánicos.....	65
4.5.5.1 Abolladuras (AB).....	65
4.5.5.2 Pandeo (PA).....	65
4.5.5.3 Grietas (GR).....	65
4.5.6 Deformaciones locales en cubierta (DL).....	66
4.5.7 Pérdida de elementos (PE).....	66
4.5.8 Daño en pintura y recubrimiento (DR).....	66
4.5.9 Incremento del área de exposición de elementos (Crecimiento marino, IA).....	66
4.5.10 Escombros metálicos (EM).....	66
4.5.11 Daños calientes (DC).....	67
4.5.12 Discontinuidades en conexiones (CX).....	67
4.5.13 Elementos inundados (EI).....	67
4.5.14 Crecimiento marino.....	67
4.6 Relaciones causa-efecto para cada tipo de daño.....	68
4.7 Registro y Actualización de la Condición de la Estructura.....	69
4.8 Retroalimentación de Información.....	69
4.9 Optimización de Costos Globales.....	71
4.10 Comparativa de Equipos y Conclusiones (Rov's).....	73
4.10.1 Características Físicas.....	73
4.10.2 Sistema de Lanzamiento y Recuperación del Vehículo.....	73
4.10.3 Modo de Operación.....	74
4.10.4 Sistema de Propulsión.....	74
4.10.5 Velocidad.....	74
4.10.6 Sistema de Posicionamiento.....	75
4.10.7 Tiempo de Operación.....	75
4.10.8 Sistema de Navegación y Control.....	76
4.10.9 Sistema de Alimentación de Energía.....	76
4.10.10 Sistema de Iluminación.....	76
4.10.11 Video y Fotografía.....	77
4.10.12 Equipo de Apoyo en Maniobras.....	77
4.10.13 Equipo Opcional para Inspección de Subestructura.....	77
4.11 Numero de Vehículos Considerados para la Inspección.....	78
4.12 Requerimiento de Personal.....	78
4.13 Niveles de Inspección.....	79
4.14 Tiempo Estimado para Inspección de 1 Octápodo.....	80
4.14.1 Embarcación de Apoyo.....	80



4.15 Conclusiones.....	81
4.15.1 Ventajas.....	81
4.15.1 Desventajas.....	82
4.16 Compañías de Inspección en Estudio (Buceo).....	83
4.16.1 Características de embarcación de apoyo.....	83
4.16.2 Buceo con Aire.....	83
4.16.3 Personal de Buceo.....	83
4.16.4 Personal para inspección de superestructura.....	84
4.16.5 Personal de supervisión, control y reportes.....	84
4.16.6 Equipos.....	84
4.16.6.a Subestructura (todos los niveles).....	84
4.16.6.b Superestructura (todos los niveles).....	84
4.16.6.c Tiempo estimado para la inspección de un octápodo (VGE) hasta 50 m	85
4.16.6.c Tiempo estimado para la inspección de un octápodo (VGE) más de 50 m. y hasta 79 m	85
4.16.7 Conclusiones.....	85
4.16.7.a Ventajas.....	85
4.16.7.b Desventajas.....	85
4.17 Tendencia de Vehículos de Operación Remota a Nivel Mundial.....	86
4.17.1 Rov´s Observacionales.....	87
4.17.1.a Argus Remote Systems.....	87
4.17.1.b Nova Ray.....	87
4.17.2 Rov´s Clase de Trabajo.....	88
4.17.3 Conclusiones.....	90
 Referencia Bibliográfica.....	 92



1. ANTECEDENTES

Con el descubrimiento de yacimientos y la creciente demanda en la producción de hidrocarburos en el país, fue necesario incursionar en la explotación costa fuera por medio de pozos petroleros haciendo necesaria la utilización de tecnología más avanzada para efectuar las actividades requeridas en las distintas etapas de su desarrollo, que van desde los estudios geológicos y geofísicos durante la exploración, hasta la construcción y operación de instalaciones industriales en enormes estructuras de acero conocidas comúnmente como “Plataformas Marinas”.

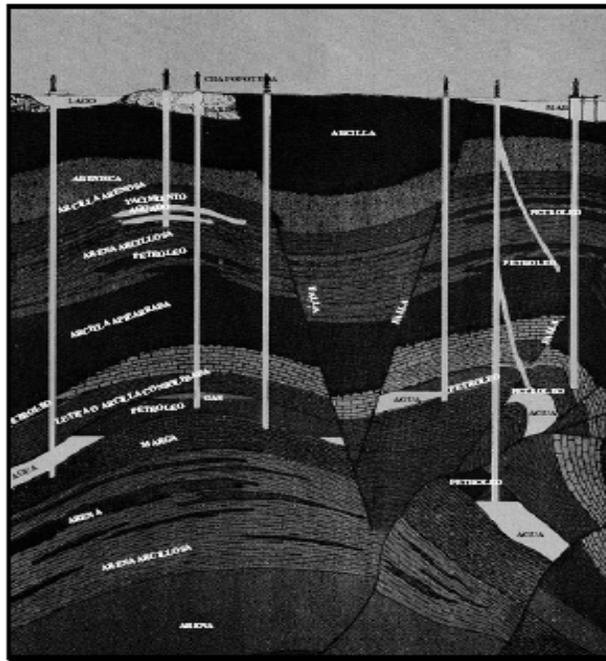


Fig.1 Corte geológico.

En México se inició la explotación de yacimientos de hidrocarburos costa fuera en 1958, en aguas del Golfo de México, con la instalación de plataformas fijas frente a la Barra de Santa Ana, en el estado de Tabasco. La industria petrolera representa la actividad exportadora más importante a nivel nacional. Los yacimientos más grandes se localizan en las zonas costeras y dentro de los mares territoriales. La Faja de Oro, la cual se localiza en las costas del Golfo de México abarca todo el litoral del estado de Tamaulipas hasta mediados del estado de Veracruz, y la que se interna asimismo en la plataforma continental marítima después de recorrer 160 kilómetros de largo por cerca de 65 kilómetros de ancho.



La Sonda de Campeche en la República Mexicana abarca a los estados de Veracruz, Tabasco, Campeche, Chiapas y Quintana Roo. Tanto los pozos marítimos como los terrestres no son de alta profundidad: alrededor de un promedio de dos mil metros bajo tierra. Abarca por lo menos a treinta campos gigantes de petróleo en aceite y gas. Los más importantes son: Ixtoc, Akal, Batab, Abkatum, Nohoch, Pool, Caan, Ku, Taratunich.

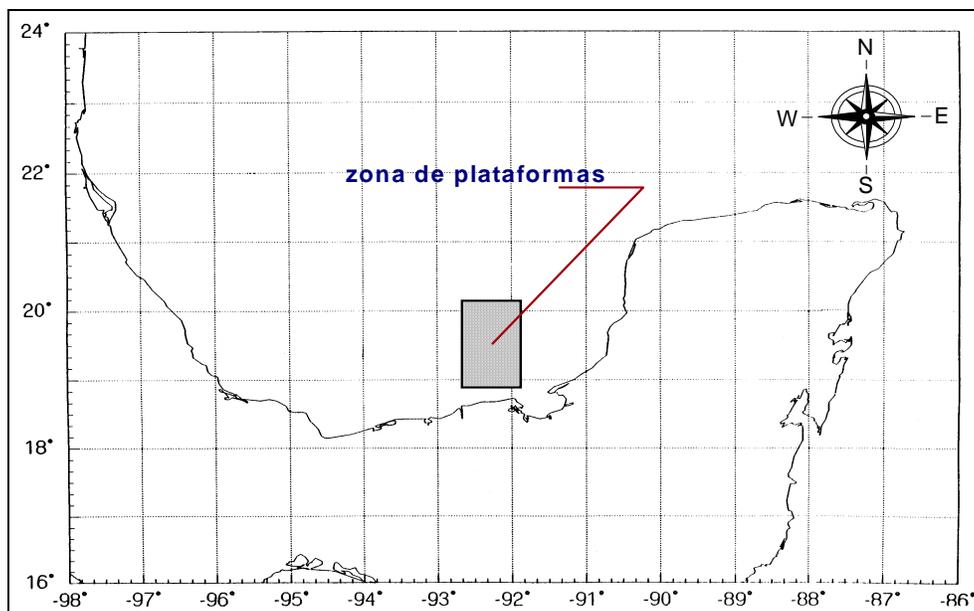


Fig.2 Ámbito de Aplicación.

El primer paso que dio la empresa gubernamental Petróleos Mexicanos consistió en una labor inusitada de exploración para conocer la existencia e importancia de los yacimientos. Esta labor se realizó de manera sistemática en una superficie de 8 mil Km², donde se encuentra precisamente la Sonda de Campeche. De esta área sólo están en plena explotación 700 Km², lo cual permite suponer reservas potencialmente mayores.

A finales de los años sesenta se llevaron a cabo los siguientes proyectos:

- a) Se perforó desde una plataforma fija en la localización de Tiburón, al norte de la Barra de Tuxpan, Veracruz.
- b) Se instalaron 7 plataformas frente a la Barra del Río Cazones para perforar los pozos que se denominarían como Atún, Bagre, Morsa y Escualo.
- c) Frente a la desembocadura del Río Pánuco, en Tampico, desde 4 plataformas se perforaron adicionalmente los pozos denominados Arenque y Marsopa.

En todos los casos mencionados las plataformas fueron diseñadas en el extranjero e instaladas en tirantes no mayores a 50 metros. Estas plataformas se utilizaron únicamente para la perforación y explotación de los pozos. La mezcla de aceite y gas era enviada a través de tuberías de conducción hasta las instalaciones construidas expreso para ello en tierra firme, en donde se separaban en aceite, gas y agua.



En el año de 1961, el pescador Rudecindo Cantarell, quien trabajaba con frecuencia en el golfo de Campeche, en una ocasión vio una mancha de aceite en el mar sin darle importancia. Días después, la mancha de aceite se seguía observando, esta vez era de mayores dimensiones. Sin embargo, guardó silencio durante siete años, pues no estaba muy convencido de que fuera algo importante, hasta que un día decidió notificar a PEMEX de su descubrimiento. Tres años después de la notificación, personal de PEMEX decidió visitar la zona y tomar muestras.

Durante el año de 1975 se llevó a cabo la perforación del primer pozo exploratorio denominado Chac - 1, 80 Km al norte de la Isla del Carmen, Campeche, terminándose al año siguiente. Al resultar productor este pozo abrió la expectativa de lo que posteriormente se confirmó: la existencia de varios campos productores de aceite y gas en la Sonda de Campeche.

Para el año de 1977 se descubrieron 2 campos más con la perforación de los pozos Akal - 1 y Bacab - 1. Para este año, las reservas probadas de hidrocarburos eran de 6,375 millones de barriles.

En el año de 1978 se inició la fabricación en México de estructuras para los equipos de perforación, tarea valiosísima que incrementó notablemente el saber tecnológico de los especialistas mexicanos.

Actualmente, el país fabrica sus propias plataformas marinas en las márgenes de los ríos Pánuco, en Tamaulipas y Pantepec, en Veracruz.

El desarrollo de la Sonda de Campeche representa un verdadero logro para la ingeniería mexicana, gracias a que desde el principio se tuvo la capacidad y visión para establecer los programas de desarrollo, con los cuales se han alcanzado los niveles de producción actuales. Se ha logrado capitalizar la infraestructura tecnológica que sirve de base en la actualidad para aceptar el nuevo reto que representa la explotación de hidrocarburos en aguas profundas.



1.1 El ambiente marino

Cuando la producción de hidrocarburos generada de la explotación en tierra no fue suficiente para satisfacer las demandas del país, nació la necesidad de incursionar en la explotación costafuera. Esto trajo como consecuencia tener que aprender a trabajar en este ambiente tan especial.

El primer reto era vencer los tirantes de agua en que se construiría y las distancias a la costa. Los materiales empleados en las primeras plataformas no eran los adecuados ya que se seguían los mismos métodos que los utilizados para instalaciones en tierra.

Estas actividades iniciaron apoyando al equipo y la torre de perforación sobre muelles de madera. Posteriormente se logró construir la primera cubierta alejada de la costa casi un Km, apoyada sobre pilotes de madera. Tiempo después se incursionaría en el uso de acero para estas estructuras.

Hoy en día, algunas de las consideraciones que se deben tener presentes con respecto al medio ambiente en que operan las plataformas marinas para su diseño son:

- La acción de viento, oleaje y corriente sobre la estructura y equipo.
- La altura que la ola puede alcanzar durante condiciones ambientales severas.
- La acción corrosiva sobre la estructura, tanto de las áreas expuestas al agua como al aire.
- Características del suelo marino.
- La fatiga de juntas y elementos debido a la acción del oleaje sobre ellos.
- La incrustación de flora y fauna marina sobre los elementos sumergidos.
- Efectos de flotación por elementos sumergidos.



Fig.3 Plataformas marinas en condiciones ambientales extremas.



Sin embargo, también debe tenerse presente la disponibilidad de recursos humanos y materiales, así como de la tecnología existente para el desarrollo de los trabajos en este medio.

1.2 Sistemas estructurales para la explotación de hidrocarburos

Los sistemas estructurales utilizados actualmente para la explotación del petróleo pueden clasificarse en:

- Plataformas fijas.
- Plataformas semisumergibles.
- Plataformas autoelevables.
- Plataformas con piernas tensionadas (TLP).
- Plataformas tipo torre atirantada.
- Plataformas flexibles.
- Barcos de producción, almacenamiento y descarga (FPSO).
- Sistemas de producción submarinos.

1.2.1 Plataformas fijas

Estos sistemas se caracterizan por encontrarse asentados sobre el suelo marino, y consisten en estructuras metálicas y/o de concreto, que se extienden desde el lecho marino hasta la superficie. Estas estructuras son estables con relación al fondo marino.

En los últimos años, las plataformas fijas han representado la solución estructural más común para conjuntos de producción y perforación. Sin embargo, la experiencia en trabajos de perforación en profundidades marinas de más de 300 m, indica que las plataformas semifijas o flotantes pudieran ser una mejor alternativa.

Los principales sistemas fijos hasta ahora desarrollados en el ámbito mundial son los siguientes:

- Plataforma convencional de acero o tipo *Jacket*.
- Plataforma de concreto por gravedad.

1.2.2 Plataformas semisumergibles

Estas plataformas realizan actividades relacionadas con la exploración y perforación de pozos, así como para el apoyo de operaciones de mantenimiento de instalaciones existentes. A pesar de la gran variedad de diseños de semisumergibles, pueden ser clasificadas en 2 grupos principales: 1) con columnas conectadas a zapatas o pontones separadas, y 2) con pontones gemelos. Estas columnas soportan a una sola cubierta la cual aloja el equipo e instalaciones necesarios para realizar su función.



Estas plataformas cuentan con sistemas de propulsión propios ubicados en los pontones, en otras palabras, son autopropulsables.

Los miembros principales (pontones) se encuentran sumergidos, lo cual permite incrementar el periodo fundamental en sustentación de la estructura, evitando la resonancia con el oleaje. También reduce las cargas laterales generadas por dicho oleaje. Esta reducción en la carga, se debe a que los miembros principales del casco se localizan a una elevación en la que la energía del oleaje es menor.

Una semisumergible posicionada dinámicamente puede operar en aguas profundas de hasta 500 m, pero el yacimiento tendría que ser muy productivo para justificar los gastos de combustible.

1.2.3 Plataformas autoelevables

Este es un tipo de plataforma especial usada para perforación y reparación de pozos y que tiene la capacidad de poder moverse por medio de autopropulsión o por medio de remolcadores, de una localización a otra, una vez que la perforación de un pozo logra su objetivo. Así, la perforación es su función principal, ya sea de pozos exploratorios o de desarrollo.

Una vez que se encuentra en la posición deseada, las piernas son bajadas hasta alcanzar el fondo marino. Cuando las columnas o piernas se encuentran asentadas en el lecho marino, la cubierta es elevada más allá del nivel de agua hasta tener una plataforma de perforación estable.

Cuenta con una cubierta que tiene la capacidad de posicionarse a la elevación que se requiera, la cual soporta sobre sí todo el equipo necesario para lograr su objetivo, así como un módulo habitacional y un helipuerto. Esta cubierta se encuentra soportada comúnmente por tres columnas de sección triangular o circular que tienen en su extremo inferior un sistema de “zapatillas aisladas” o “losa de cimentación” para apoyarse en el lecho marino.

Otra de sus características importantes es la torre de perforación ubicada en un *cantiliver* móvil, lo cual permite el acercamiento de la misma a los pozos de las plataformas fijas.

1.2.4 Plataformas con piernas tensionadas (TLP)

La TLP (*Tension Leg Platform*) o plataforma de piernas tensionadas es un sistema semejante a la semisumergible, solo que esta se encuentra anclada al fondo por medio de elementos verticales, los cuales se mantienen en tensión debido al exceso de flotación en la plataforma.

Los elementos verticales o tensores se anclan al fondo marino por medio de una estructura fabricada a partir de acero estructural y cimentada mediante pilotes. Una parte



esencial de la TLP son las juntas flexibles. Estas juntas (llamadas *Flex-Joints*), fabricadas con acero y material elastomérico, permiten a la estructura desplazarse horizontalmente sin provocar flexión en los tensores.

La aplicación de las TLP's se está extendiendo paulatinamente y a la fecha ha sido considerada para el desarrollo de campos en el Mar Mediterráneo y costas de Brasil para aguas muy profundas. El mayor tirante en el que se ha instalado una TLP es de 536 m.

1.2.5 Plataformas tipo torre atirantada (*Guyed Tower*)

Estas estructuras están constituidas por armaduras de piernas rectas (y no con pendientes como las plataformas tipo *jacket*) y un sistema de cables o tirantes en la parte superior de la torre que se anclan en el fondo marino. Son una alternativa a las plataformas tipo *jacket* convencionales que pueden resistir las fuerzas del oleaje con mucho menos peso estructural.

Los cables disminuyen el período fundamental de la estructura, lo que reduce su respuesta dinámica con el oleaje. La estructura de acero de la torre atirantada, presenta problemas semejantes a las plataformas de acero convencionales aunque de menor magnitud. Estos son principalmente fatiga en juntas y problemas de transporte y lanzamiento. Los tensores también son susceptibles al daño por fatiga, por lo que periódicamente se deben inspeccionar.

1.2.6 Plataformas flexibles

Este sistema tiene la característica de resistir las fuerzas de oleaje utilizando menor peso estructural que un sistema rígido. La cubierta se apoya en una torre armada con miembros tubulares.

La flotación se logra mediante tanques sumergidos localizados en la parte superior de la torre. Esta flotación es contrarrestada con lastre que se localiza en la parte inferior de la torre.

La variación de las cargas verticales se absorbe a través de un conjunto de pilotes centrales. Las cargas horizontales y de torsión en la base, se transmiten al suelo por medio de pilotes perimetrales.

1.2.7 Barcos de producción, almacenamiento y descarga (FPSO)

Este sistema es un elemento más de la familia de sistemas flotantes, y difiere del resto en una importante característica, tiene la capacidad de almacenar y exportar crudo además de producirlo, todo en una sola unidad. Los barcos de producción, almacenamiento y descarga no tienen la capacidad para efectuar operaciones de perforación ni de reparación de pozos.



Debido a su gran área de contacto con la superficie del agua, se obtiene una elevada capacidad de carga de cubierta. Para mantenerlos en posición se usan sistemas de anclaje del tipo SALS (Sistema de anclaje y almacenamiento por medio de monoboya), SALM (Sistema de anclaje por medio de monoboya), CALM (Sistema de anclaje por medio de monoboya en catenaria), TURRET (Sistema de anclaje por medio de torreta), etc.

La profundidad promedio a la que se ha instalado el mayor número de FPSO's es 200 m; sin embargo, existen sistemas operando en aguas con profundidades mayores a los 300 m, y muy pocos en tirantes menores a los 30 m.

1.3 Sistemas de producción submarinos

Estos sistemas consisten básicamente de un grupo de pozos terminados en el fondo del mar, conectados por tuberías a un múltiple colector que a su vez está sobre una plantilla; la producción se envía a través de un arreglo de tubería ascendente, a alguna plataforma de procesamiento en la superficie. Los sistemas de producción submarina se emplean en los siguientes casos:

- En la explotación de yacimientos alejados de campos donde existe infraestructura.
- Para el aprovechamiento de la producción temprana con el apoyo de otros sistemas (como pueden ser los flotantes).
- En sistemas de inyección de agua y gas.

La fase operacional más importante en el desarrollo de sistemas submarinos es el mantenimiento, asistido, ya sea por buzos, por vehículos submarinos o por ambos. El uso de éstos, dependerá del tirante de agua en que se vaya a trabajar y del tipo de trabajo que se vaya a realizar.



Fig.4 Sistemas estructurales para la explotación de hidrocarburos.



Cabe hacer mención que los avances tecnológicos en la explotación de hidrocarburos costafuera han permitido el desarrollo de nuevas alternativas en sistemas de explotación, ya sea una variante o una combinación de los existentes. Por tal razón, sólo se han mencionado los sistemas más comunes.

1.4 Plataformas fijas tipo "*Jacket*"

Debido a que las piernas en su interior alojan a los pilotes formando un sistema de camisa se denomina a estas estructuras como tipo "*Jacket*".

Una plataforma marina tipo "*Jacket*" se subdivide en 3 componentes estructurales principales:

- Superestructura.
- Subestructura.
- Cimentación.

Cabe hacer mención que, aunque no son parte estructural de una plataforma, los accesorios son parte primordial de estas estructuras.

1.4.1 Superestructura

La superestructura comprende las cubiertas o niveles donde se apoyará el equipo, elementos diagonales o de arrojamiento y columnas de apoyo. Una plataforma puede contar con una o más cubiertas, dependiendo del servicio para el cual se requiera esta estructura.

Las cubiertas incluyen usualmente volados perimetrales para incrementar el área útil. Están estructuradas a partir de vigas principales transversales y longitudinales que coinciden con los ejes de la plataforma, intermedias o secundarias transversales y/o longitudinales que se apoyan en las vigas principales y trabes perimetrales o de cierre.

Las vigas principales son generalmente de sección prismática, fabricadas con 3 placas soldadas y las vigas secundarias son generalmente de sección prismática a partir de perfiles de acero laminado. Los elementos diagonales o de arrojamiento comúnmente son de sección tubular.



Fig.5 Superestructura en patio de fabricación.

El número de columnas de apoyo también depende del uso que la plataforma vaya a tener. La separación entre ellas, tanto en el sentido transversal como en el longitudinal, es variable y depende de la función que ésta vaya a desempeñar.

Las columnas están constituidas por elementos de sección tubular y van desde el punto de trabajo hasta la última cubierta.

Se le conoce como punto de trabajo al lugar donde se tiene la conexión entre la columna de la superestructura y el pilote.

Sus sistemas de piso están integrados por largueros longitudinales de perfiles rolados (IR, CE, LI, LD, etc.), por rejilla electrosoldada, polines de madera y en algunos casos con placa lisa y/o antiderrapante. Además de proporcionar una superficie para acceso de personal y para la colocación de equipos y herramientas, con el sistema de piso se distribuyen las diferentes cargas a las traves principales.



Fig.6 Sistema de piso. Traves principales y secundarias.



Cuando los claros o las cargas sobre la cubierta resultan excesivas, puede recurrirse a la instalación de apoyos intermedios en las travesas por medio de puntales tubulares, o bien, utilizar armaduras bajo las travesas prismáticas.



Fig.7 Armaduras de refuerzo en travesas principales.

Parte importante de una superestructura, lo constituyen también: helipuerto, pedestal de grúa, apoyo para puente de intercomunicación, áreas en voladizo para incrementar el área de cubiertas, escaleras de acceso hacia la cubierta, etc.

1.4.2 Subestructura

Este componente de la plataforma se extiende desde la conexión pierna de subestructura-pilote (cerca del punto de trabajo) hasta el lecho marino. Es de forma piramidal truncada y está constituida por armaduras transversales y longitudinales dispuestas ortogonalmente entre sí y arriostradas por marcos horizontales en diferentes elevaciones.

La principal función de la subestructura es proporcionar apoyo lateral a los pilotes colocados concéntricamente en el interior de cada una de sus patas, pero además, transmitir a éstos las fuerzas laterales inducidas por viento, oleaje y corriente; y en la etapa de instalación, servir de plantilla y guía para el hincado de dichos pilotes. También constituye el soporte de ciertos accesorios necesarios para la operación de la plataforma, tales como: ductos ascendentes, conductores (en plataformas de perforación), camisas para bombas y drenajes, embarcaderos, defensas, pasillos de acceso, vigas de deslizamiento y otros.



Las patas de una subestructura no son verticales sino ligeramente inclinadas, produciéndose así su forma piramidal típica.

La finalidad de estas inclinaciones o pendientes es proveer a la subestructura con una mayor base en el lecho marino para resistir con mayor facilidad los momentos de volteo producidos por fuerzas de viento, oleaje y corriente, e incrementar la capacidad individual de los pilotes para absorber cargas laterales.



Fig.8 Subestructura con accesorios durante posicionamiento vertical.

Los valores de las pendientes utilizadas son, para patas de esquina, de $\sqrt{2}:8$ (real); y para las patas interiores de $1:8$, formando inclinaciones reales de 10.0 y 7.1 grados respectivamente. Por otra parte, la dimensión de las piernas de la subestructura depende del diámetro del pilote, el cual deberá pasar libremente por el interior de la pierna.



Las subestructuras se fabrican con elementos tubulares en su totalidad debido a que, por su forma, presentan poca resistencia al flujo del agua y, por consiguiente, las cargas laterales son menores que si se utilizara otro tipo de sección. Así mismo, por el volumen desplazado y su hermeticidad, generan flotación positiva la cual se aprovecha durante su instalación.

Los sistemas de arriostramiento están constituidos, tanto en marcos como en plantas por elementos diagonales; en la intersección de estos elementos se generan conexiones, a las cuales se les llama comúnmente juntas tubulares.

En la mayoría de los casos, y principalmente en las juntas entre los niveles de arriostramiento y diagonales con las piernas, se utilizan secciones de mayores espesores que en el resto de la pierna, además de ser acero especial con mayor esfuerzo de fluencia. A estas secciones de mayor espesor y/o acero especial se les conoce como canutos.

El número de plantas de arriostramiento en una subestructura depende básicamente del tirante de agua en el que ésta se vaya a desplantar, tratando de manejar relaciones de esbeltez menores a 120 para los elementos de arriostramiento.

1.4.3 Cimentación

La cimentación, a partir de pilotes de acero de sección tubular y punta abierta, se colocan concéntricamente en el interior de las piernas, y se extienden desde sus extremos superiores en el punto de trabajo hasta profundidades del orden de 60 a 120 m. bajo el lecho marino, dependiendo de las descargas y de las condiciones geotécnicas locales.

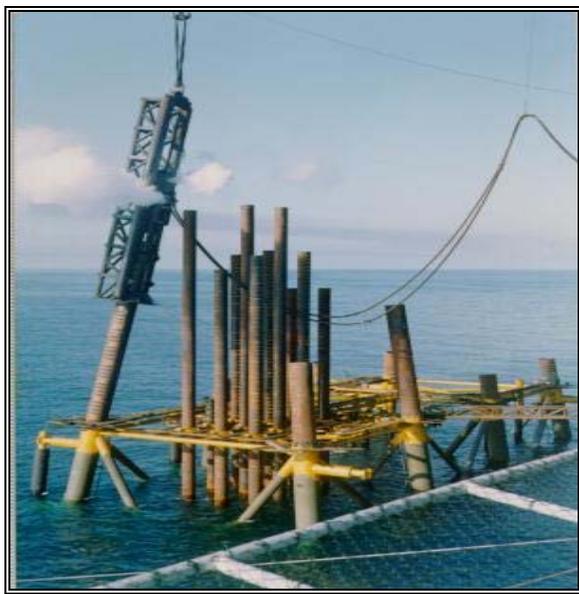


Fig.9 Instalación de pilotes y conductores.



La conexión soldada columna de superestructura-pilote (punto de trabajo) se efectúa a unos 50 cm arriba de la parte superior de las piernas; y la conexión pierna de subestructura-pilote, se efectúa a unos 80 cm arriba del primer nivel de arriostramiento horizontal, el cual se encuentra comúnmente en la elevación +6.096 m (sobre el nivel medio del mar).

Es importante enfatizar que aquí, en el punto de trabajo, es el único punto de conexión entre la subestructura y el pilote, resultando así, que la subestructura esté en realidad colgada de los pilotes.

Existen otros puntos a lo largo de las piernas donde los pilotes hacen contacto con ellas o viceversa, para efectos de apoyo lateral y transmisión de cargas laterales. Estos puntos corresponden a las intersecciones de las piernas con las diferentes plantas de arriostramiento horizontal.

Esta interacción entre pilote y pierna se logra mediante la colocación de placas de acero (generalmente 8 placas) en el interior de la pierna, quedando una pequeña holgura entre ellos. Estas placas también actúan como guías y centradores del pilote durante su hincado.

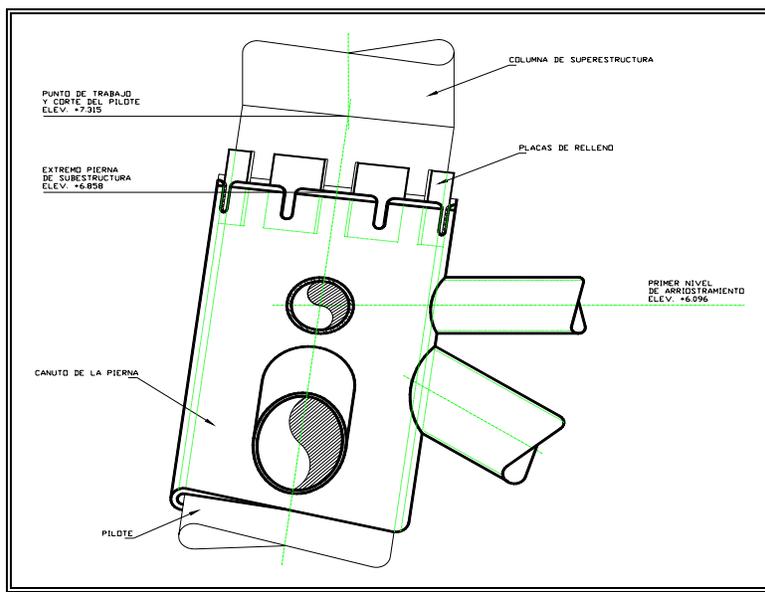


Fig.10 Conexión Subestructura-pilote-superestructura.

1.4.4 Accesorios

Los accesorios, si bien forman parte integral de una plataforma, no contribuyen necesariamente a su rigidez estructural; por el contrario, en algunos casos representan cargas adicionales importantes que son transmitidas a la estructura. Estos accesorios



aportan entre 3 y 8% del peso total de la subestructura (datos tomados de 5 Plataformas de Perforación. Considerando flotación), mientras que alrededor de un 25% corresponde al peso de conductores en plataformas de perforación (considerando 12 conductores). Por otra parte, las fuerzas laterales que se generan sobre estos conductores son del orden del 25% de la fuerza actuante total. Entre los accesorios que más contribuyen a las cargas, destacan los conductores (en plataformas de perforación), los atracaderos y los ductos ascendentes.

1.4.5 Accesorios de la superestructura

Casi todos los accesorios de una superestructura, son conectados a ella, desde el patio de fabricación. Estos accesorios son:

Orejas de izaje.- Al igual que las orejas de izaje de una subestructura, éstas se encuentran soldadas a las columnas, generalmente a las 4 interiores. Son requeridas durante la instalación de la superestructura, para izarla desde el chalán, posicionarla y conectarla a los pilotes.

Camisas para bombas de succión de agua.- Estos elementos sirven como protección a los conductos de las bombas de contra-incendio que forman parte del equipo de perforación. Estos elementos, generalmente van de la cubierta inferior hasta una profundidad de 13 m bajo el NMM y se conectan a la superestructura al sistema de piso y de los elementos de arriostamiento de la subestructura.

Camisas para drenaje.- La única función de estos elementos es la de desalojar las aguas servidas, es decir, aquellas que han cumplido con su objetivo. Previo al desalojo de estas aguas, reciben un tratamiento. Al igual que las camisas para succión de agua, se encuentran ranuradas en su parte inferior para facilitar el flujo de dicha agua.

1.4.6 Accesorios de la subestructura

También llamados elementos no estructurales, si bien no realizan ninguna función estructural, si aportan carga a la estructura.

Algunos de estos accesorios son requeridos sólo para alguna de las etapas de la vida de la plataforma, pero la mayoría quedan permanentemente en ella.

Estos accesorios se describen a continuación:

Correderas de deslizamiento.- También llamadas cuna de deslizamiento, tienen las siguientes funciones: soportar a la subestructura durante la etapa de construcción, proporcionar elementos de deslizamiento durante el traslado de la subestructura del patio de fabricación a la barcaza y de ésta última hacia el mar en la etapa de lanzamiento. Están constituidas por placa de acero soldadas a las piernas y polines de madera conectados a las placas de acero



por medio de pernos. Estas correderas están ubicadas a casi todo lo largo de las piernas de los ejes 2 y 3, ya sea en el eje A o B.

Defensas para piernas.- Como el nombre lo sugiere, estos elementos protegen a la estructura de posibles impactos de embarcaciones que se le aproximen. Están formadas por un elemento vertical cubierto con neopreno y en otras ocasiones con llantas. Este elemento está soportado por 2 elementos horizontales conectados a la pierna y que en ocasiones cuentan con un sistema de amortiguamiento en su interior. Se instalan 6 de ellas en el patio de fabricación y las 2 restantes, que son las correspondientes a los ejes en los que se ubica la cuna de deslizamiento, se conectan cuando se ha terminado la instalación de la subestructura costa afuera.

Atracaderos.- Estas estructuras tienen como función permitir el embarco y desembarco de personal que accedan a estas instalaciones vía marítima. Están constituidos por una serie de elementos tubulares verticales y horizontales conectados a las piernas de la subestructura; cuenta con 1 nivel con rejilla y una escalera que va de los pasillos a dicho atracadero. Una plataforma cuenta generalmente con 2 atracaderos, de los cuales 1 es instalado desde el patio de fabricación y el otro es instalado después de que la subestructura se encuentra instalada.

Pasillos de acceso.- El primer nivel de arriostramiento de la subestructura ubicado a una elevación de +6.096 m cuenta con un sistema de pasillos que permiten el acceso del personal desde los atracaderos a la plataforma. Están formados por elementos tubulares sobre los cuales se coloca la rejilla y los barandales. Estos pasillos se instalan desde el patio de fabricación.

Anodos de sacrificio.- Estos elementos son los que le dan la protección catódica a toda la estructura. El número y la ubicación se determinan basándose en el área expuesta de acero que haya que proteger. Se conectan a los elementos de arriostramiento de la subestructura por medio de soldadura. Estos ánodos se instalan desde el patio de fabricación.

Mesa de estrobos.- En ella se encuentran los estrobos o cables que servirán para el posicionamiento vertical de la subestructura, además de proporcionar un área para las maniobras requeridas para la sujeción de dichos estrobos. Está formada por un marco a partir de tubos y rejilla, el cual se sujeta a la subestructura desde que se encuentra en el patio de fabricación. Está ubicada en el marco longitudinal contrario al que lleva la cuna de deslizamiento entre el eje 2 y 3, abajo del nivel de pasillos, en donde se encuentra soldada. En la parte inferior, la que está apoyada sobre las diagonales, va sujeta con abrazaderas.

Soportes para arrastre.- Como ya se mencionó, tanto durante el traslado de la subestructura del patio de fabricación a la barcaza como de la barcaza hacia el mar, ésta es arrastrada por medio de malacates que tiran de los estrobos o cables, conectados precisamente a estos soportes. Se encuentran ubicados



sobre los mismos ejes en que se ubican las correderas. Están constituidos únicamente por placa con un arreglo en capas para soportar las fuerzas cortantes que se producen durante esta etapa. Es común que a estos elementos se les llame orejas de arrastre.

Orejas de izaje vertical.- La posición final de la subestructura posterior a su lanzamiento en el mar es horizontal. Para posicionarla verticalmente y ubicarla en el sitio que se ha determinado para su posición final, es izada por medio de los estrobos o cables de una grúa, los cuales están sujetos por medio de grilletes a las orejas que se encuentran en las 4 columnas de los 2 ejes interiores. Están ubicadas en la misma elevación de la primera planta de arriostramiento.

Tapas de sello de piernas.- Estas tapas se colocan en ambos extremos de cada una de las piernas para impedir que cuando la estructura se lance al agua, éstas se inunden, y así, logre flotar. En general, se fabrican de placa, aunque existen también de neopreno. Estas últimas son poco usadas ya que son muy caras con respecto a las otras.

Sistema de inundación.- Es un sistema de válvulas ubicado en cada una de las piernas para permitir la inundación controlada de las mismas durante la etapa de posicionamiento vertical. Son operadas estratégicamente para que mediante las fuerzas de flotación, la subestructura se vaya enderezando. Una vez que la estructura se encuentra en la posición deseada, se abren completamente para que la estructura asiente en el lecho marino.

Tanques de flotación.- Estos son elementos tubulares sellados con placa en sus extremos, y que se conectan a la subestructura en el extremo superior de las piernas, cuando el análisis indica que la estructura requiere flotación adicional a la que le proporcionan los elementos estructurales para adoptar la posición adecuada para iniciar las maniobras posteriores.

Placa base.- Tiene como función soportar a la subestructura en el lecho marino mientras se instalan los pilotes. Se localiza en la última planta de arriostramiento de la subestructura. Generalmente son placas de forma triangular rigidizadas por elementos de sección abierta que se ubican en cada intersección de ejes. Cuando los requerimientos son mayores estas placas toman una forma rectangular que va a todo lo largo de los ejes longitudinales.

Seguros marinos.- Son elementos tubulares que se encargan de sujetar a la estructura en la barcaza durante su transportación. Inmediatamente después de que la estructura se encuentra sobre la barcaza, se sueldan en ambos extremos procurando que formen un ángulo de 45° con respecto a los 3 ejes de referencia de la estructura. Una vez que la barcaza se encuentra en el lugar de emplazamiento, estos elementos son cortados para liberar a la estructura e iniciar la etapa de lanzamiento.

Conductores.- Los conductores son elementos comúnmente de 30 pulgadas de diámetro que sirven como ademe durante la perforación del pozo, además de que protegen del oleaje tanto a la tubería de perforación como a la tubería de



producción. Se extienden desde la cubierta inferior hasta una penetración aproximada de 60 m bajo el lecho marino. Reciben apoyo lateral en todas o casi todas las plantas de arriostamiento horizontal de la subestructura por medio de los tazones. Esto, aunado al hecho de que los conductores están prácticamente empotrados en el suelo, hace que la subestructura y los conductores interactúen de manera importante entre sí. Algunas veces el cortante de oleaje absorbido por los conductores permite reducir el cortante sobre los pilotes.

Ductos ascendentes.- Estos ductos constituyen el modo de transporte de crudo, gas o agua entre plataformas o entre una plataforma y tierra. Se denominan ascendentes porque suben a las cubiertas, paralelamente a través de las piernas y columnas. Sus diámetros varían entre 8 y 36 pulgadas y su número en una plataforma puede alcanzar hasta 12 en toda la plataforma, llegando a tener hasta tres ductos en una sola pierna. Los ductos se fijan a las piernas o columnas mediante abrazaderas atornillables. La magnitud de las fuerzas de oleaje generadas por los ductos sobre la subestructura puede resultar decisiva en el diseño de una plataforma.

Defensas de ductos ascendentes.- Estos elementos al igual que las defensas de pierna, cumplen con la función de proteger de impactos de embarcaciones, pero en este caso a los ductos ascendentes que se encuentran conectados a las piernas. Tienen un arreglo diferente a las defensas de piernas. Están formadas por armaduras verticales que soportan un arreglo radial de elementos horizontales y verticales, los cuales reciben los impactos directamente. Estos últimos, los elementos verticales, comúnmente son rellenos con concreto.

1.5 Clasificación de plataformas fijas tipo *Jacket*

De acuerdo a su función, las plataformas fijas (tipo *Jacket*) las podemos clasificar en:

1.5.1 Plataformas de perforación

Cuentan con dos cubiertas lo suficiente amplias para alojar, en su cubierta superior, la totalidad de la paquetería de perforación y su torre, grúas para maniobras de descarga, módulo habitacional, un helipuerto y una zona para almacenaje de insumos en cantidad suficiente para mantener por varios días las operaciones de perforación, en caso de interrumpirse el abastecimiento regular por mal tiempo u otra causa; y en su cubierta inferior, la instalación de equipo de producción así como los tableros para control de pozos y lanzadores o recibidores de diablos.

Las 2 cubiertas están localizadas a 16 y 21 m sobre el nivel medio del mar y están soportadas por 8 columnas. Estas plataformas, normalmente, tienen capacidad para perforar hasta 12 pozos, aunque no siempre operan todos.



1.5.2 Plataformas de inyección

La misión de estas plataformas es la de perforar pozos para inyectar agua presurizada a los estratos productores de crudo cuya producción ha sido mermada y así incrementar el rendimiento de otros pozos.

Estas plataformas tienen cubiertas y capacidades de perforación prácticamente idénticas a las de las plataformas de perforación.

1.5.3 Plataformas de producción

Las plataformas de producción contienen equipo e instalaciones para separar la mezcla de petróleo, gas, agua y sedimentos que constituye al crudo recién extraído, darle un tratamiento preliminar para después poder transportarlo (petróleo, gas), quemarlo (gas) o reinyectarlo al suelo (agua, sedimentos).

Dependiendo de la capacidad de manejo y separación de crudo, estas plataformas se subdividen en productoras temporales y productoras permanentes. Su clasificación influye en el espacio requerido de cubiertas: las temporales constan regularmente de 2 cubiertas situadas a 16 y 21 m sobre el nivel medio del mar y están soportadas por 8 columnas. Por su parte, las productoras permanentes instaladas a la fecha, tienen 3 cubiertas localizadas a 16, 25 y 37 m sobre el nivel medio del mar. Estas cubiertas están apoyadas sobre 12 columnas.

1.5.4 Plataformas de enlace

Como su nombre lo indica, estas plataformas sirven de enlace entre las diferentes plataformas perforadoras y productoras. Su función es recibir el crudo vía ductos y enviarlo por el mismo medio a las plataformas de producción para la separación y transporte subsecuente a terminales en tierra o en mar.

Estas plataformas generalmente cuentan con una sola cubierta localizada a 16 m que se apoya sobre 8 columnas.

1.5.5 Plataformas habitacionales

Las plataformas habitacionales soportan módulos de vivienda únicamente. Algunas con capacidades hasta de 127 personas y están instaladas dentro de los complejos productores. Cuentan con 2 cubiertas a 16 y 22 m sobre el nivel del mar y están apoyadas sobre 8 columnas, aunque también existen algunas apoyadas sobre 4 columnas.



1.5.6 Plataformas de compresión de gas

Estas plataformas soportan equipo de compresión para presurizar al gas proveniente de las plataformas productoras y enviarlo a las terminales en tierra a través de los gasoductos submarinos. Estas plataformas cuentan con 2 cubiertas situadas a 16 y 23 m y están apoyadas sobre 8 columnas.

1.5.7 Plataforma de rebombeo

Esta estructura soporta turbobombas para impulsar el crudo a través de los oleogasoductos submarinos y hacerlo llegar a las terminales de destino. Constan de 2 cubiertas en elevaciones de 18 y 27 m, soportadas por 8 columnas.

1.5.8 Plataformas de telecomunicaciones

Estas tienen como objetivo el soportar la torre de telecomunicaciones, el módulo de telecomunicaciones, módulo de radares, y en algunos casos, módulo habitacional y helipuerto. Estas estructuras comúnmente soportan una sola cubierta a 16 m sobre el nivel del mar, en 3 piernas, aunque existen también casos con 4 piernas.

1.5.9 Plataformas recuperadoras

Estas estructuras también llamadas protectoras de pozos, tienen como función la de proteger a un pozo que se ha perforado con fines exploratorios. En caso de resultar productivo dicho pozo, se procede a la instalación de esta plataforma así como la tubería ascendente y la línea submarina para el envío de los hidrocarburos y, en algunas ocasiones se adicionan más pozos. Cuando el pozo no es productivo, este se tapona y se deja abandonado.

Cuentan con una sola cubierta a 16 m y un helipuerto a 23 m sobre el nivel del mar, soportadas éstas por 3 piernas. Aunque menos comunes, también las hay con 4 piernas.

1.5.10 Plataformas para quemador

Estas plataformas sólo soportan: un puente de comunicación que lleva una línea hacia el quemador, una torre para quemador y el quemador del gas excedente que no puede ser aprovechado, producto de la separación de éste con el crudo. Están constituidas por una cubierta a 16 m soportada por 3 columnas. No cuentan con ningún tipo de equipo.



1.5.11 Plataformas de apoyo intermedio

Cuando los claros a librar con puentes son muy grandes, resulta necesario contar con un apoyo intermedio a dicho claro. Así, esta es la única función de estas plataformas y sólo cuentan con una cubierta a una elevación que depende de la que tengan los puntos a unir. Esta cubierta está apoyada en la mayoría de los casos en 3 columnas. En otros de los casos, muy pocos, constan de 4 columnas.

1.5.12 Puentes de intercomunicación

Los puentes que unen plataformas contiguas son utilizados para el tránsito peatonal y para el soporte de tuberías que transportan agua, gas y/o crudo entre plataformas. Los claros de estos puentes oscilan entre 25 y 110 m. Según la separación prescrita entre las diferentes plataformas y las líneas que soportan, su sección transversal puede ser triangular o rectangular.

Actualmente el número de plataformas marinas instaladas asciende a 243, 232 de ellas instaladas en la Sonda de Campeche.

Estas plataformas han sido diseñadas para tirantes de agua comprendidos entre los 14 y 79 m, siendo el menor tirante en el que se ha instalado una plataforma en aguas mexicanas de 14.00 m (May - 1) y el mayor de 79.00 m (Zaap - C).



2. TIPOS Y NIVELES DE INSPECCION

La inspección será definida como la examinación de una estructura en forma global o local para la búsqueda de daños, defectos y otras alteraciones que puedan afectar la integridad la plataforma en servicio.

Los métodos de inspección son descripciones genéricas de los diferentes caminos por los cuales se puede efectuar la examinación de estructuras. Existen varios métodos para efectuar una inspección pero sólo algunos son aplicables a la inspección bajo el agua.

La seguridad y confiabilidad de las instalaciones, serán obtenidas mediante la planeación, ejecución y evaluación de los programas de inspección, mantenimiento y reparación específicos para cada instalación. Dentro de los programas de inspección se consideran dos tipos y tres niveles de inspección:

Tipos de inspección.

- I. Inspección general de la estructura.**
- II. Inspección de áreas seleccionadas.**

Niveles de inspección:

- 1. Inspección Visual General.**
- 2. Inspección Visual Detallada.**
- 3. Inspección empleando pruebas no destructivas.**



2.1 Tipos de inspección

I. Inspección General de la Estructura.

El objetivo de la inspección general de la estructura es identificar daños evidentes que se hayan producido durante su instalación o que no hayan sido previamente registrados o evaluados. La inspección se realizará en forma visual, nivel 1 de Inspección, con personal que tenga conocimientos en el comportamiento estructural y operación de la plataforma; lo anterior debido a que en muchos aspectos se requiere cierto criterio del personal de la compañía de inspección durante los trabajos realizados, tanto para interpretar resultados como para decidir si se requiere otro tipo de inspección en una área determinada.

En caso de encontrar daños, se procederá a realizar los niveles de inspección 2 y/o 3 según se requiera.

II. Inspección de Áreas Seleccionadas.

El objetivo de la inspección de áreas seleccionadas, es identificar cualquier daño que pudiera ocurrir en el periodo no inspeccionado en aquellas zonas de la estructura que en caso de falla pueden poner en riesgo la integridad estructural, o bien, aquellas áreas con alta ocurrencia de daño. Para la inspección de áreas seleccionadas se podrá ignorar la inspección tipo 1 (si se considera pertinente) y se procederá directamente con la inspección visual detallada (nivel 2). Ante la presencia o sospecha de daños, el inspector deberá realizar o pedir que se efectúe una inspección con pruebas no destructivas (nivel 3), o bien algún tipo de medición especial.



2.2 Niveles de inspección

1.- Inspección Visual General

Esta inspección se realiza en forma visual por medio de personal calificado, para descubrir cambios estructurales, daños obvios o cualquier anomalía que afecte la integridad de la plataforma, en este caso no se requiere de limpieza previa ni mediciones especiales.

El objeto de la inspección general de la estructura es identificar daños evidentes que no hayan sido registrados o evaluados previamente, o bien, se hayan producido durante su instalación. La inspección se realiza en forma visual con personal que tenga conocimientos en el comportamiento estructural y operación de las plataformas marinas. Lo anterior, debido a que durante el desarrollo de las actividades de inspección se presentan diferentes situaciones en las cuales se requiere de ciertos criterios por parte del personal de la compañía de inspección tanto para la interpretación de resultados como para decidir la aplicación de otro nivel de inspección y el área correspondiente sujeta a dicha inspección.

La inspección visual general, normalmente se efectúa para detectar:

- Extensión del crecimiento marino en la estructura.
- Integridad de los sistemas de recubrimiento anticorrosivo y protección catódica.
- Daños mecánicos evidentes.
- Socavación y/o acumulamiento.
- Corrosión.
- Cambio en el arreglo estructural.
- Falta de accesorios o daño en los mismos.

2.- Inspección Visual Detallada

Es la inspección visual que se realiza en forma detallada para comprobar la existencia de daños, determinar dimensiones y/o realizar levantamientos de secciones, requiere de limpieza intensa (a metal gris) en el área o elemento a ser inspeccionado.

Las áreas específicas que son objeto de una inspección visual detallada son seleccionadas por diversas razones entre las cuales destacan:

- Por su alta concentración de esfuerzos y/o su baja vida por fatiga. Ejemplo de alguna de estas áreas son: elementos principales, nodos, conexiones de accesorios a pierna, etc.
- Por su alta probabilidad a sufrir daños por su ubicación dentro de la estructura, principalmente abolladuras y pandeos provocados por el impacto de embarcaciones y/o caída de objetos pesados desde la superestructura, así como



también corrosión de acuerdo a la zona en la que se encuentre, sobre todo en zona de mareas y zona atmosférica.

Otros conceptos de inspección aplicables en este proceso son:

- Medición de crecimiento marino
- Medición de socavación
- Inspección de Ánodos Seleccionados

3.- Inspección Empleando Pruebas No Destructivas

Esta inspección se realiza para detectar daños que no son visibles o bien que se requieren cuantificar. En este nivel se requiere el empleo de un método de pruebas no destructivas, cuya aplicación hace necesario realizar limpieza a metal blanco del área o sección a ser inspeccionada.

Es obvio que deben de existir limitaciones en el dimensionamiento de algunos de los defectos detectados por los niveles de inspección visual Nivel I y II, para estos casos es importante la aplicación de la inspección Nivel III.

Los defectos o daños que pueden ser detectados con el Nivel III de inspección, básicamente son:

- Grietas (en nodos y elementos)
- Pérdidas de espesor por corrosión (elementos)
- Defectos en soldaduras (nodos)
- Pérdida de potencial en la estructura (control de la corrosión en elementos ubicados en la zona sumergida)

En otras palabras, los Ensayos No Destructivos (END) son técnicas de inspección que se utilizan para verificar la sanidad interna y externa de los materiales, sin deteriorarlos ni alterar o afectar de forma permanente sus propiedades, sean éstas físicas, químicas o mecánicas.

2.3 Pruebas No Destructivas en Acero

Varios métodos son utilizados como pruebas no destructivas en acero en diversas situaciones, instalaciones y profundidades, algunos de éstos no están limitadas por la profundidad, otros presentan problemas que son inherentes al instrumento y otros, dependen de la estructura a inspeccionar.

Algunos de los métodos utilizados convencionalmente en la inspección nivel III son:



2.3.1 Inspección con partículas magnéticas.

Este es uno de los métodos más utilizados en pruebas no destructivas bajo el agua, su aplicación principal es en la inspección de soldaduras. Es utilizado para la detección y dimensionamiento longitudinal de grietas, sean o no perceptibles a simple vista.

El equipo consiste en probetas electromagnéticas o imanes permanentes, una pistola con tinta magnética fluorescente y una lámpara ultravioleta, todo esto se encuentra integrado en una unidad de mano.

Cuando un material bajo prueba es magnetizado, las discontinuidades que estén ubicadas en una dirección transversal a la dirección del campo magnético, causarán un campo disperso que se forma dentro y sobre la superficie de la pieza. La presencia de este campo disperso, y por lo tanto la presencia de una discontinuidad, es detectada por el uso de partículas ferromagnéticas finamente divididas aplicadas sobre la superficie, algunas de las cuales serán acumuladas y retenidas por este campo disperso. Estas partículas retenidas magnéticamente forman un perfil de la discontinuidad y generalmente nos indica su localización, forma y extensión.

2.3.2 Inspección con Técnica ACFM

Mediante la aplicación de la técnica conocida como *ACFM* (Alternate Current Field Measurement) es posible detectar grietas que afloran en la superficie del elemento sujeto a inspección, básicamente las generadas por fatiga del material. Con esta técnica es posible obtener información referente a la localización y dimensiones (longitud y profundidad) de grietas. El equipo utilizado puede ser aplicado en inspección submarina y atmosférica y por su facilidad de utilización puede ser implementado en vehículos operados a control remoto. También presenta la posibilidad de aplicarlo en componentes sujetos a altas temperaturas debido a que el ACFM no requiere contacto con la superficie, por lo que presenta avances significativos sobre técnicas tales como la de partículas magnéticas a los basados en las corrientes de Eddy los cuales requieren de contacto directo y limpieza a metal blanco.

El ACFM solo requiere que el palpador o sensor recorra la superficie a inspeccionar en 5mm de distancia sobre de ella, por esto no es necesario remover capas de óxido o de pintura, generando como consecuencia considerables ahorros en limpieza. El ACFM está basado en la medición de los campos magnéticos cercanos a la superficie y no en la medición de campos eléctricos superficiales, por tanto no requiere contacto directo.

2.3.3 Profundidad de penetración

Todos los métodos que utilizan corriente alterna están limitados por la profundidad de penetración en las superficies inspeccionadas. La profundidad de penetración depende de la conductividad, permeabilidad magnética y frecuencia de operación del material inspeccionado (la profundidad de penetración también depende del tamaño del palpador o probeta):



- El acero es altamente permeable, pero con baja conductividad.
- El aluminio tiene alta conductividad pero baja permeabilidad.
- El acero inoxidable tiene baja conductividad y baja permeabilidad.

2.4 ACFM

La técnica ACFM se deriva de la técnica ACPD en donde se miden las cantidades absolutas de campos magnéticos superficiales producidos a partir de un campo magnético inducido paralelo a la grieta. La relación entre el campo magnético y la corriente eléctrica está dada en las figuras:

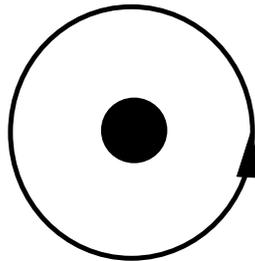


Fig.11 Campo magnético alrededor de una corriente eléctrica

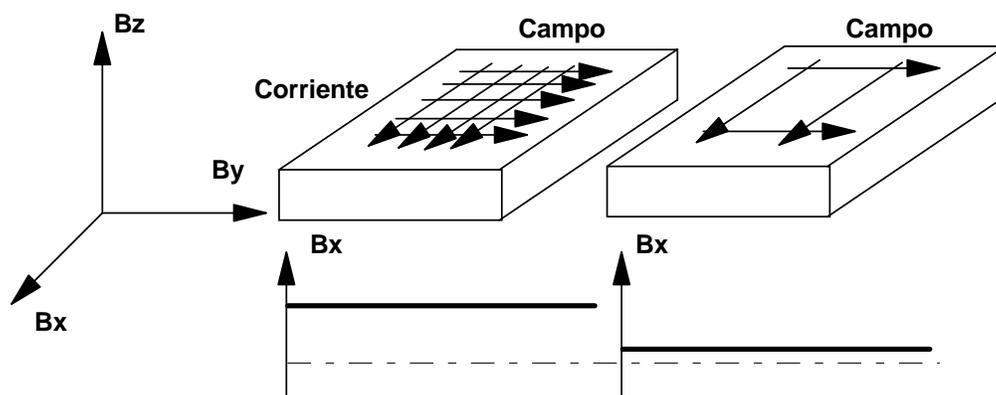


Fig.12 Campo y corriente uniformes sobre una superficie

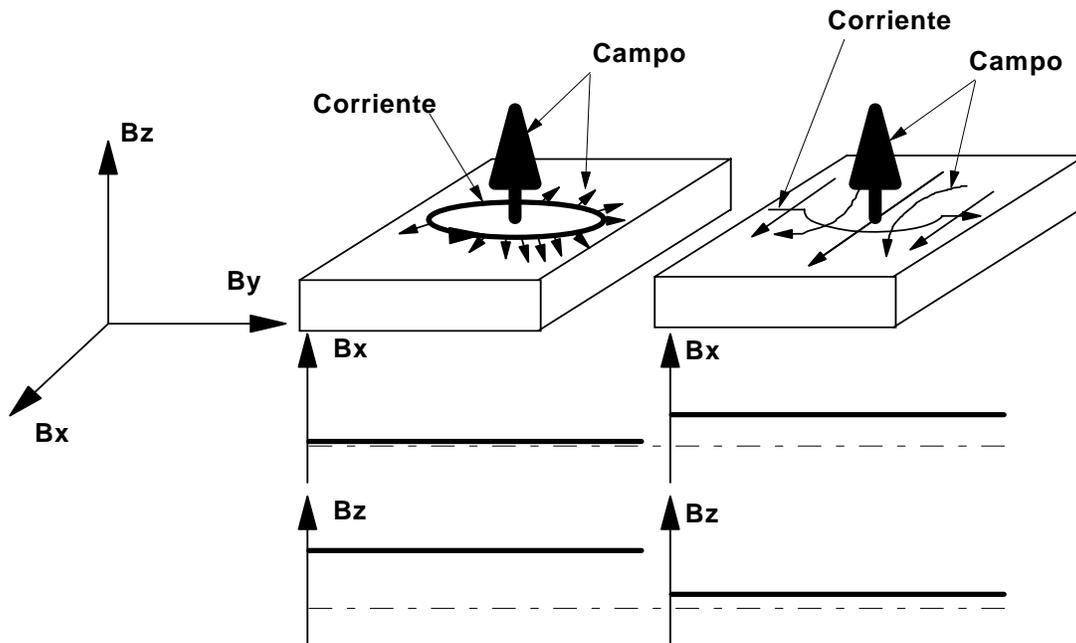


Fig.13 Campos alrededor de una corriente en un arco circular

2.4.1 Principios del ACFM

La técnica del ACFM (Alternate Current Field Measurement) ha sido desarrollada a partir de la técnica ACPD (Alternate Current Potential Drop), la cual ha sido utilizada para el dimensionamiento y monitoreo del crecimiento de grietas. El ACPD requiere que el contacto eléctrico se mantenga entre el palpador y el área a inspeccionar. La técnica ACFM no requiere del contacto directo, pues depende de la medida de los campos magnéticos cercanos a la superficie o área inspeccionada, provocados por el flujo de corriente eléctrica en la misma y no en la medición de los campos eléctricos superficiales, por tanto no requiere de contacto eléctrico.

2.4.2 Interpretación de las Señales del ACFM

En general, un defecto producirá una señal característica en las señales B_z y B_x , la combinación de ambas nos dará como resultado una tercera señal denominada "Mariposa". La regla adoptada es que la señal representa un defecto cuando:

- 1) En B_z se encuentra un pico y un valle, y
- 2) En B_x existe un valle.



En la mayoría de los casos, para una grieta aislada y relativamente corta, la mariposa se moverá de izquierda a derecha o viceversa (de acuerdo con la dirección de la probeta), y cerrará su circunferencia.

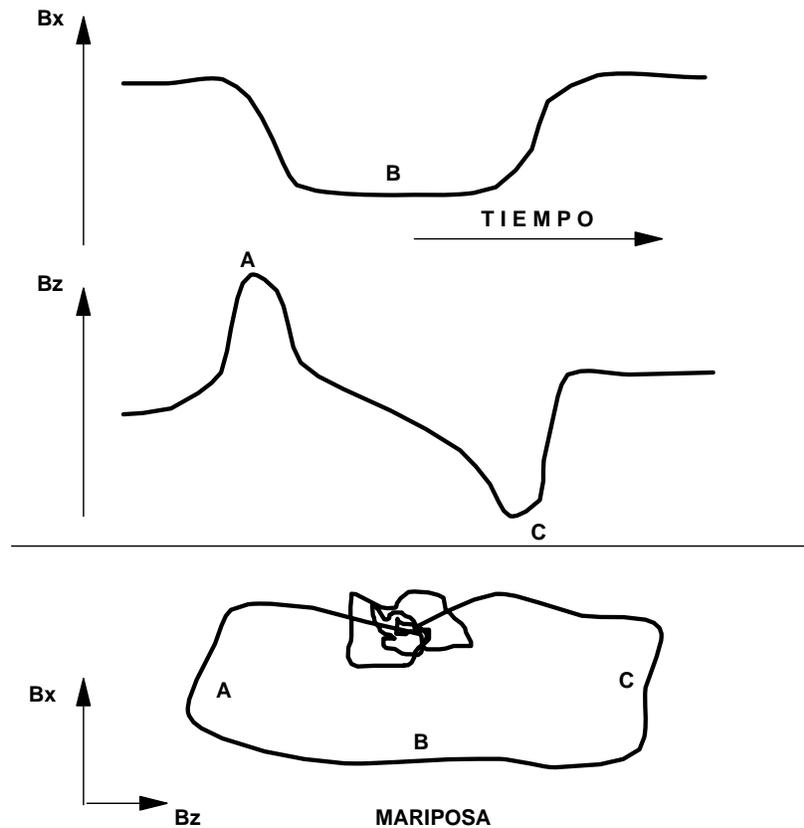


Fig.14 Relación de las señales de la técnica ACFM

La técnica ACFM complementada con una PC y software desarrollado expofeso, se convierte en un sistema que aporta un gran avance a las técnicas de evaluación no destructiva, ya que es capaz de detectar y dimensionar grietas que afloran a la superficie de una manera muy rápida, precisa y económica.



2.5 Inspección con Técnicas de Ultrasonido

Se define como un procedimiento de pruebas no destructivas de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.

El ultrasonido es la transmisión de pulsos eléctricos y la recepción en vibración mecánica en el material a inspeccionar con un rango mayor al audible por el oído humano, a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido en *Hertz* con la ayuda de un aparato creado para ese fin.

- Aplicaciones de la Inspección Ultrasónica
 - Medición de espesores
 - Detección de discontinuidades
 - Detección de elementos inundados

2.5.1 Medición de Espesores

Actualmente la verificación de espesores se lleva a cabo mediante equipos de pulso-eco cuyas lecturas vienen dadas por un indicador de aguja con escala graduada en el TRC o mediante un sistema digital y se pueden emplear ondas compresivas o cortantes, dependiendo del tipo de equipo empleado y el espesor a medir.

La inspección efectuada en operaciones de mantenimiento, tiene como finalidad primordial detectar las reducciones de espesor en superficies ocultas o inaccesibles que son producidas por corrosión o deterioro, debido a la acción de agentes ambientales.

2.5.2 Detección de Discontinuidades

Las discontinuidades son defectos del material que interrumpen la homogeneidad del material, estas pueden ser grietas, laminaciones, inclusiones, etc. Y estas pueden ser detectados por el ultrasonido, como ya se mencionó, es necesario definir el tipo de material que se está inspeccionando, para así poder llevar a cabo una inspección correcta para detectar y determinar en un momento dado la presencia de discontinuidades en el área inspeccionada.

Una aplicación ampliamente utilizada en las plataformas costanera es la inspección de uniones soldadas. Aunque sean el resultado del ensamble de formas simples, resultan complejas desde el punto de vista de las técnicas de inspección requeridas para su examen por ultrasonido.



2.5.3 Detección de elementos inundados

Últimamente se ha venido practicando este tipo de inspección en elementos estructurales bajo el agua en plataformas marinas, para detectar aquellos elementos que presente inundación, y así en un momento dado determinar aquellos nodos que presenten posibles grietas por diversas causas.

2.5.4 Medición de Potencial Catódico

Las estructuras enterradas o sumergidas se corroen por la formación de “pilas voltaicas” sobre su superficie. Estas pilas están constituidas por áreas anódicas donde ocurre la reducción de algún constituyente del electrolito (acero-agua). La reacción se realiza en la interfase metal-solución con la consiguiente transferencia de electrones 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 esta condición. El principio de este sistema de protección catódica es asegurarse que la estructura en su totalidad se convierta en un cátodo en cualquier reacción de corrosión y como consecuencia inmune a la misma. Lo anterior se logra introduciendo corriente a la estructura ya sea mediante la colocación de ánodos de sacrificio o corriente impresa. Por lo antes expuesto, es importante la medición de potencial catódico para asegurar que la corriente introducida a la estructura se encuentre dentro de los niveles establecidos.

Midiendo el potencial entre la estructura y el mar, es posible determinar si se encuentra actuando la protección contra la corrosión. Existen dos sistemas utilizados: el primero es un dispositivo de mano conteniendo el electrodo de referencia y el voltímetro. Con el segundo el electrodo de referencia es permanente y adherido a la estructura conectado a la superficie por cable, el voltímetro se encuentra en la superficie. El segundo sistema es de utilidad para verificar toda la protección catódica del sistema pero no para áreas locales del mismo. Los electrodos de referencia son utilizados para verificar que los ánodos se encuentren funcionando correctamente.

2.5.5 Inspección con líquidos penetrantes

La inspección por Líquidos Penetrantes es uno de los métodos más antiguos de Pruebas No Destructivas. Se basa en el proceso del "Aceite y Blanqueador" empleado antiguamente para probar partes de acero, particularmente en la industria ferroviaria. Este método consistía en preparar la superficie al remover de ella en lo posible la tierra, grasa, óxido, escamas, etc.; después la pieza era remojada en petróleo (el cual actuaba como penetrante) el tiempo suficiente para que entrara a cualquier discontinuidad abierta a la superficie; la pieza era extraída del petróleo y se limpiaban los residuos sobre la superficie (el único penetrante que quedaba en la pieza era el de las discontinuidades) y se cubría con una lechada de cal (que actuaba como revelador); posteriormente se hacía vibrar la



pieza, de tal forma que el penetrante saliera de las discontinuidades donde se había alojado. De este modo se obtenía una mancha oscura sobre un fondo blanco.

La inspección por líquidos penetrantes se define como un procedimiento de inspección no destructivo, de tipo físico químico, diseñado para detectar y exponer discontinuidades presentes en la superficie de los materiales. El método puede detectar discontinuidades superficiales, siempre y cuando se tenga una parte abierta a la superficie en la cual el líquido penetrante ha sido aplicado. El objeto del método es detectar grietas, porosidades, traslapes, costuras y otras discontinuidades superficiales rápida y económicamente con un alto grado de confiabilidad. Este método puede aplicarse en materiales metálicos y no metálicos; además de piezas de formas complicadas que no pueden ser inspeccionadas con otro método o cuando las piezas a inspeccionar se localizan en lugares donde no existe energía eléctrica.

2.6 Inspección de Superestructuras

La inspección en la zona atmosférica es mucho más sencilla y menos costosa que la inspección bajo el agua. No obstante, poca información se ha registrado de forma sistemática del estado de las superestructuras, del historial de siniestros, de daños, de cambios en la estructuración y de la localización de los equipos a bordo de cada plataforma marina.

Por esta razón es importante la aplicación de programas de inspección y mantenimiento de las superestructuras de plataformas, para tener seguridad y funcionalidad de las estructuras.

La inspección de las superestructuras se realizará básicamente mediante la aplicación de inspección **visual general** (nivel 1), y la inspección de áreas seleccionadas quedará restringida a la aplicación de inspección **visual detallada** (nivel 2), sin remover el recubrimiento anticorrosivo, a menos que sea necesario.

La aplicación de pruebas no destructivas (nivel 3) está restringida debido a que es necesario remover el recubrimiento anticorrosivo para su aplicación, el cual si no es reemplazado oportunamente ocasionará el inicio de corrosión, además del costo de su restitución. Una buena alternativa para inspección y detección de grietas en conexiones es por medio de la técnica ACFM.

No obstante, la aplicación de PND estará limitada a la inspección de áreas en las que se sospeche la existencia de daños, dados los resultados de alguna inspección visual previa, o después de algún evento extraordinario, como huracán, explosión, incendio, u otro incidente mayor. Considerando lo antes mencionado.



2.7 Estructuras especiales.

Dada la complejidad de algunas estructuras tales como puentes de interconexión entre plataformas, helipuertos, torres de telecomunicaciones, y algunos módulos, es conveniente realizar un plan de inspección especial para cada una.

Por otro lado, es recomendable implementar en un futuro la medición periódica de vibraciones, ya sean de alta o baja frecuencia, que se producen en las plataformas por efecto del oleaje, equipos o líneas de transporte, las cuales podrían tener alguna repercusión en la operabilidad de la plataforma, generar algunos daños en elementos estructurales de soporte (grietas), o provocar incomodidad al personal a bordo de las instalaciones.



3. EQUIPOS DE INSPECCION

Métodos de Inspección de Plataformas Marinas Fijas.

3.1 Método Tradicional de Inspección.

3.1.1 Buceo.

El buceo es una actividad humana ancestral que consiste en desplazarse dentro del agua. Existen indicios de que en la antigua Grecia ya había buceadores. En Roma, fue utilizado en las guerras, y en civilizaciones ribereñas con fines pesqueros o de recolección.

Por otro lado sin duda la curiosidad humana ha sido factor importante en la evolución del buceo. En la actualidad hay distinción entre “buceo libre” y “buceo con aparatos”. El primero sólo requiere aletas, visor y tubo respirador, mientras que, el segundo tipo, es más complejo en sus instrumentos y, más aún, en sus técnicas de aplicación y aprendizaje. El buceo con aparatos ha tenido una evolución vertiginosa a partir de la segunda mitad del siglo XX. Actualmente tiene un auge extraordinario. El escafandrismo es el antecedente inmediato, consistió en usar un traje muy pesado con un enorme casco de cobre, con pequeñas claraboyas enrejadas, y una manguera que, desde el exterior, suministraba el aire al buceador, el cual caminaba sobre el lecho marino.

En 1866 Rouquayrol-Denayrouse patenta el primer regulador para equipos abiertos, pero fracasa debido a limitaciones tecnológicas. En 1937 los alemanes Klingert y Siebe patentan la primera escafandra verdaderamente funcional, a la cual se le suministraba aire desde la superficie a través de un largo tubo que simulaba un cordón umbilical.

Terminada la Segunda Guerra Mundial e incluso durante la misma, esforzados precursores fueron apareciendo en las diversas costas de Europa: el doctor Piroux en Antibes; Kramarenko en Niza; Broussard y el doctor Chenevée en Cannes; Frédéric Dumas en Sanary; los comandantes Tailliez y Jacques-Yves Cousteau, que no tardaron en unirse a Dumas, para formar el equipo inolvidable de *El Mundo del Silencio*.

En 1936 se empezaron a fabricar en Francia las gafas binoculares Fernez, destinadas a proteger del largo contacto con el agua salada a los ojos de los buceadores, que terminaban casi siempre muy irritados. Estas gafas representaban el inconveniente de incrustarse en las órbitas de los ojos, lo que hacía muy doloroso su uso. Alec Kramarenko construyó una máscara de un solo vidrio, pero que no cubría la nariz. Para evitar que la presión aplastara la máscara contra la cara, Kramarenko le insuflaba aire con una pera de goma conectada a la misma, manteniendo su nariz obturada por unas pinzas. Luego surgieron las máscaras con dos bolas de goma, una a cada lado, que equilibraban la presión automáticamente.



Pero la verdadera solución consistía en una máscara que encerrase ojos y nariz: insuflando aire por esta, la presión se equilibraba perfectamente. Philippe Tailliez se construyó una *lunette* de estas características. Otra gran innovación introducida por Tailliez fueron las aletas natatorias. Las primeras aletas de caucho, patentadas por Louis de Corlieu en 1933 aparecieron en el mercado francés en 1935. A su vez, el norteamericano Owen Churchill las introdujo en California, y se pasó ocho meses estudiándolas y mejorando su diseño. En realidad la primera idea sobre las aletas fue concebida por el propio Churchill hallándose en Tahiti, donde vio unos pescadores submarinos indígenas que nadaban con aletas de palma.

Recién en 1944 el ingeniero Emile Gagnan y Jacques-Yves Cousteau desarrollan el primer regulador de demanda eficiente y seguro, que permite al hombre moverse en las profundidades con absoluta libertad, La gran influencia que tuvo el equipo autónomo diseñado por Cousteau y Gagnan (aqualung) provocó la desaparición de la escafandra. El nuevo diseño permitió una mayor movilidad. El buceador realiza su inmersión con un tanque lleno de aire, el cual lo aspira a través de un regulador de presión. Sin dependencia del exterior, el buceador nada dentro del agua.

Posteriormente, en la década de los 50, los experimentos precontinentes de Cousteau y Sealab de G. Bond demuestran que el hombre puede vivir meses bajo la superficie en estado de saturación.

Con el progreso tecnológico, el equipo autónomo se ha perfeccionado, elevando la seguridad y disminuyendo el riesgo. Los instrumentos y materiales se han desarrollado. De igual manera, la cibernética ha llegado al buceo; hay aparatos que calculan la profundidad, velocidad de ascenso, nitrógeno residual en el cuerpo, etc. También se han desarrollado nuevos modelos de oxigenación subacuática. Las mezclas de aire han revolucionado el buceo. Existen tres principales: Nitrox, Heliox y Trimix. A pesar de todo lo anterior, el buceo sigue siendo una actividad riesgosa. Por lo tanto, debe existir conciencia, medida y seguridad en el perfil del buzo.

Pero es durante la década de los 60 cuando se logran avances impresionantes en la fisiología y la técnica que permiten al hombre respirar mezclas gaseosas y le dan la oportunidad de alcanzar límites, hasta el momento insospechados, de 400 metros de profundidad.

3.1.1.1 Buceo con equipo autónomo: este puede clasificarse en buceo de no descompresión que involucra inmersiones a poca profundidad y por un tiempo breve, de tal forma que el ascenso puede hacerse directamente a la superficie a una velocidad de 9 m/min. sin necesidad de hacer paradas de descompresión. Así como el tipo de buceo en el que el suministro de aire de respiración es portado por el buzo. En dicho equipo, el aire inspirado es suministrado mediante un regulador de demanda, y exhalado hacia el agua circundante (circuito abierto).



3.1.1.2 Buceo dirigido: es el que se realiza con suministro de aire o mezcla de gases de respiración desde la superficie. Se puede clasificar de la siguiente forma:

- **Buceo de rebote:** Son los procedimientos que permiten a los buzos llegar a profundidades que rebasan los límites del buceo con suministro de aire, por realizarse con mezcla de gases sin llegar al buceo de saturación. Los buceos pueden ser con suministro de mezcla de gas desde la superficie o con sistema de campana, en ambos casos se requiere de una Cámara de Descompresión de Cubierta, habilitada para descompresiones prolongadas.
- **Buceo de saturación:** Técnica del trabajo de buceo, en la cual los procedimientos operacionales permiten a los buzos permanecer por tiempo ilimitado bajo cierta presión y en donde el tiempo total de descompresión es constante, requiriendo para ello un sistema de buceo de saturación.



3.1.2 Vehículos Operados (ROV'S)

El primer paso en cualquier tipo de tecnología es entender porque existe. En el caso de la tecnología del vehículo de operación remota (ROV) la respuesta es absolutamente simple. No hay otra forma práctica, segura y económicamente factible para realizar tareas de intervención submarina a gran profundidad.

Los vehículos de operación remota, son creaciones modernas que juegan un papel importante en la exploración submarina. Son robots acuáticos no tripulados controlados desde la superficie por un piloto. Pueden llevar cámaras y lámparas para aumentar la visibilidad, propulsores para navegar y posicionarse y pueden tener algunos otros sensores para aumentar el tiempo de navegación y localización de objetos. También pueden ser complementados con un brazo manipulador y llevar herramientas para realizar tareas profundas.

El ROV, esta conectado a su piloto por medio de un umbilical que es básicamente un cable eléctrico protegido por medio del cual se trasmite la energía a los propulsores y otros sistemas, así como las señales del piloto al vehículo submarino. El cable corre de un generador en la superficie hacia la consola del piloto y hacia el ROV.

Para vehículos más pequeños (Mini-Rov), el sistema umbilical actúa como un cable de izaje para bajar y elevar la unidad fuera del agua. El piloto controla el vehículo desde una consola que tiene monitores de TV y palancas de control de los propulsores, de profundidad y una pantalla de visualización del vehículo. El sistema umbilical es la ventaja principal del ROV porque puede llevar energía ilimitada para mayor capacidad de operación pero al mismo tiempo es el más grande obstáculo del mismo, porque el cable limita el rango y la velocidad con que el vehículo puede viajar y resulta un peligro significativo ya que si el umbilical se enredara en algún elemento a gran profundidad o llegara a cortarse, entonces el costoso vehículo no alcanzaría la superficie nuevamente.

Las partes fundamentales que componen un ROV incluyen:

- Propulsores: Son componentes controlados desde la superficie que proporcionan movilidad al vehículo para viajar, girar sobre su propio eje y posicionarse para realizar inspecciones.
- Cámaras de video, fotográficas y/o Hidrófonos (micrófonos subacuáticos): Estos equipos colocados en el vehículo podrán transmitir imágenes en tiempo real y grabar información para su exportación a PC para realizar análisis posteriores. En algunos casos se podrá oír lo que está ocurriendo en la zona de inspección a través de los hidrófonos.
- Sensores: Estos son los dispositivos que detectan o sensan manifestaciones de energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc. Pueden ser de indicación directa (termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores sensados puedan ser leídos por un humano.



- Los ROV se pueden equipar de diversos sensores dependiendo de las aplicaciones, tales como: sensores de temperatura, de profundidad y sonar.

Los sistemas ROV pueden variar de tamaño desde los vehículos pequeños con una cámara de video, que se utilizan para simple observación, hasta los complejos sistemas de trabajo (Work class); que pueden tener varias cámaras de vídeo, operadores de gran habilidad, herramientas mecánicas y otros equipos.

La información recopilada de los siguientes equipos y sus características fue proporcionada por las siguientes compañías de inspección, las referencias de estas compañías se encuentran descritas mas adelante:

- Subsea 7 Compañía 1
- Anfibis Compañía 2
- Madosa Compañía 3

3.1.2.1 ROV Observacionales

Una de las características principales de esta clase de vehículos es que son de dimensiones y pesos mínimos, comparados con los denominados "Work Class". Este tipo de sistemas realizan tareas específicamente en las áreas donde los vehículos de tipo Work Class no pueden intervenir debido a su gran tamaño. En muchos casos esta clase de ROV se puede desplegar y controlar por un par de personas, lo que puede hacer que los trabajos lleguen a ser más fáciles y menos costosos.

Este tipo de ROV, están equipados con sensores y cámaras sofisticadas y pueden ser utilizados para fines de investigación y/o estudios especializados. Combinan una potencia considerable que permite trabajar en condiciones adversas, una gran capacidad de carga y un sistema de control avanzado que permite integrar herramientas y sensores diversos.

La capacidad que posee esta clase de ROV está basada en la gama de equipos existentes: el Seaeye 600, el seaeye Boxer, el SeaeyeTiger, el Surveyor y el Puma. Además han diseñado y fabricado el Eagle eye para trabajar a una profundidad de 2000 m. y han producido un número de ROV Hawkeye como una versión sofisticada del conocido Seaeye 600.

A continuación se mencionan las características de algunos de los vehículos de operación remota de la gama de equipos observacionales que operan, estos datos fueron proporcionados por la compañía Subsea 7 (Compañía 1):

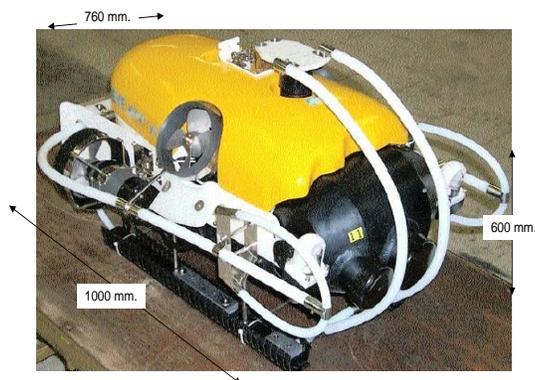


3.1.2.1.a Seaeye 600.

- Este sistema es un equipo rentable y probado costa afuera capaz de llevar varios sensores para conducir una inspección submarina en tareas de intervención en profundidades de hasta 200 m.
- En comparación con ROV de tamaño similar, el Seaeye tiene características superiores de propulsión. Esto se debe a la incorporación de propulsores de corriente directa que permite realizar tareas submarinas aún bajo las condiciones adversas de gran corriente y marea.

3.1.2.1.b Seaeye Hawkeye.

- La Compañía 1, ha desarrollado este tipo de ROV a partir del famoso vehículo de clase observacional Seaeye 600. Este vehículo complementa la confiabilidad del Seaeye 600 con capacidad superior de propulsión y tecnología que proporciona imágenes de video de mayor calidad.
- El ROV puede ser operado libremente o por medio de un umbilical (TMS, Tether Management System). Puede ser lanzado libremente usando un pescante fijo. El despliegue con el TMS aumenta la capacidad de operación del sistema en condiciones adversas.

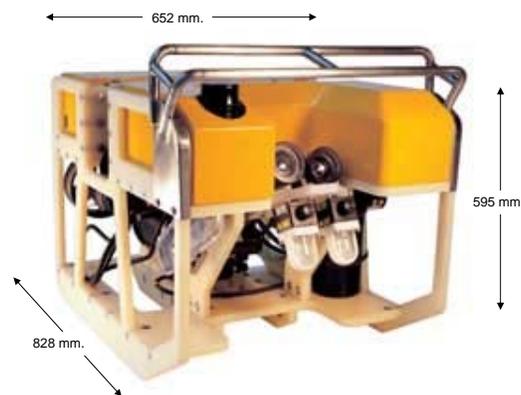


Seaeye Hawkeye



3.1.2.1.c Seaeye Boxer.

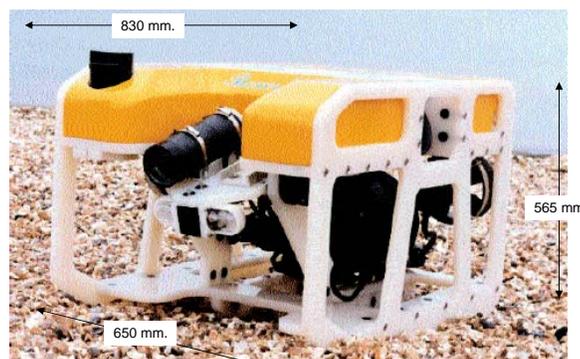
- El Seaeeye Boxer es un sistema diseñado específicamente para trabajar libremente o por medio de un umbilical, capaz de funcionar desde una plataforma fija o una embarcación. Este sistema proporciona una capacidad de rendimiento único para un sistema de clase observacional. El Seaeeye Boxer es un descendiente directo del modelo Seaeeye 600.
- El diseño único del Seaeeye Boxer brinda al operador un funcionamiento asociado con vehículos mucho más grandes y es ideal para realizar inspección en plataformas tipo jacket y otras estructuras submarinas. Su tamaño, maniobrabilidad y capacidad de inspección lo hacen una herramienta muy rentable para este propósito.
- El chasis es fabricado de polipropileno que hace lo durable y resistente a la corrosión. La flotación se la brinda una celda cerrada de PVC.



Seaeeye Boxer

3.1.2.1.d Seaeeye Puma.

- El Seaeeye Puma es un sistema diseñado específicamente para trabajar por medio de un cable umbilical (TMS), capaz de funcionar desde una plataforma fija o una embarcación. El puma es un sistema probado y se utiliza en todo el Mar del Norte. Se acepta como sistema de ROV 'pequeño', poderoso, versátil y confiable.

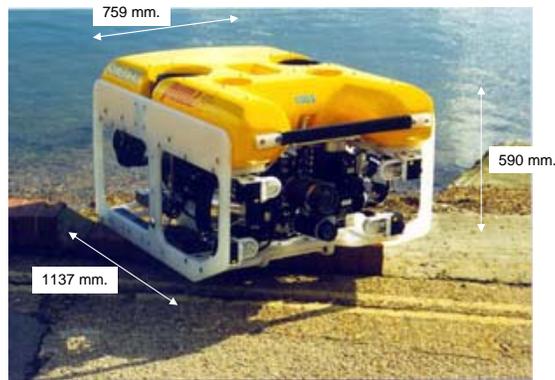


Seaeeye Puma



3.1.2.1.e Seaeeye Tiger.

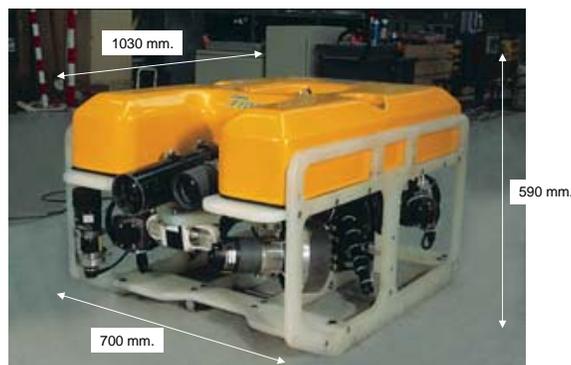
- El Seaeeye Tiger es un sistema diseñado específicamente para trabajar por medio de un cable Umbilical (TMS), con la ventaja de ser operado desde una plataforma fija o de una embarcación. El Seaeeye Tiger es un sistema de vehículo probado y utilizado en el Mar del Norte. Se acepta como sistema de ROV 'pequeño', poderoso, versátil y confiable.
- El tigre tiene un chasis tipo modular fabricado en polipropileno que lo hace resistente a la corrosión. Se puede interconectar equipo adicional directamente a los miembros del chasis.



Seaeeye Tiger

3.1.2.1.f Scrutineer.

- Este tipo de ROV es un descendiente directo del Seaeeye 600. El vehículo complementa la confiabilidad comprobada del Seaeeye 600 con capacidad superior de la carga útil y aumentó en su capacidad de operación a mayor profundidad permitiendo que el vehículo opere a 1000msw, proporciona imágenes video de más alta calidad.
- Este sistema puede funcionar en nado libre o por medio de un cable umbilical (TMS). Puede ser lanzado libremente usando un pescante fijo. El despliegue con el TMS aumenta la capacidad del sistema en condiciones adversas.



Scrutineer



ESPECIFICACIONES TECNICAS							
ROV	LONGITUD (mm)	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	PESO (EN AIRE) (kg)	CARGA UTIL (kg)	PROFUNDIDAD MAX. (m)	UMBILICAL (m)
SEAEYE 600	1000	600	760	78.0	10	200	300
HAWKEYE	828	595	652	111.0	10	500	300
SEAEYE BOXER	830	565	650	95.0	18	600	
SEAEYE PUMA	1137	590	759	195.0	35	1000 msw	
SEAEYE TIGER	1030	590	700	150.0	32	600 Y 1000 msw	
SCRUTINNER	950	565	650	102.0	18	1000 msw	125

Tabla.1 Especificaciones Técnicas (Rov's Observacionales)

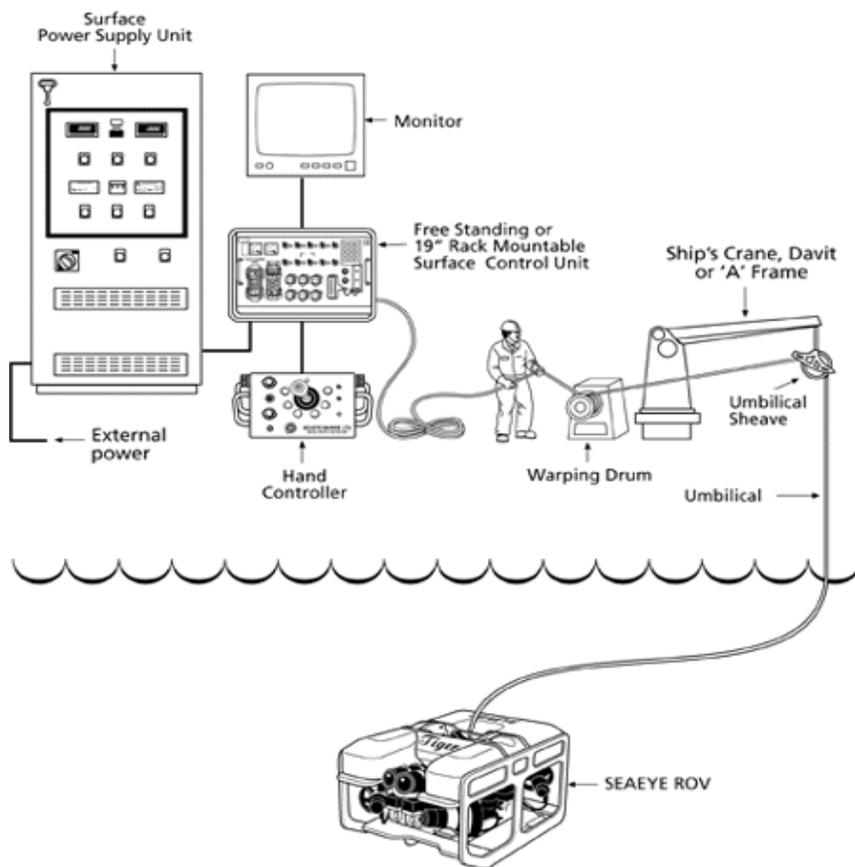


Fig.15 Sistema de despliegue y recuperación del vehículo denominado "Free Swimming" o nadado libre.

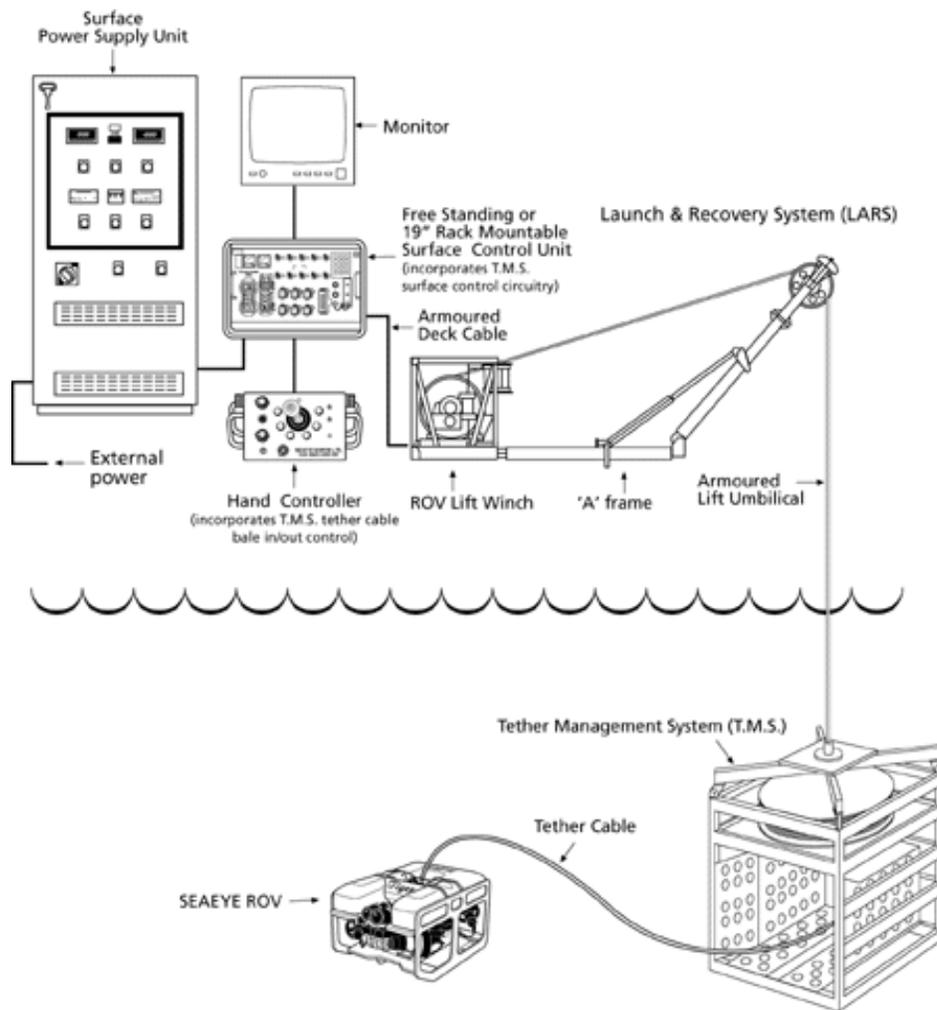


Fig.16 Sistema de despliegue y recuperación del vehículo denominado "TMS, Tether Management System" o Sistema de manejo de cable umbilical.



3.1.2.2 ROV Clase de Trabajo (Work Class)

Esta clase de ROV Work Class, son generalmente muy grandes de tamaño y son operados por un equipo de personas, se utiliza para realizar tareas en aguas profundas, tendido de cable, trabajos de la reparación y recuperación de objetos grandes. Este sistema es operado dentro y fuera del agua por grúas. El Work Class es una herramienta esencial en el mundo, haciendo que los trabajos submarinos no sean un desafío.

Estos vehículos abarcan la clase más utilizada, que se desarrolló a partir "de los sistemas de observación" empleados como apoyo en el trabajo de buceo o para realizar inspecciones rutinarias.

Casi más de las dos terceras partes de la flota de vehículos de operación remota de La Compañía 1 son de este tipo. Además operan un gran número de ROV comprados y tienen la capacidad técnica para modificar los vehículos para proyectos específicos.

A continuación se mencionan las características de algunos de los vehículos de operación remota de la gama de equipos Work class que opera La Compañía 1.

3.1.2.2.a Diablo

Es un sistema versátil de los ROV work class, que beneficia considerablemente por la reducción en peso y tamaño físico con la colocación eficiente de los sistemas de control básico, alcanzando un alto poder energía en relación al peso. Esto respalda al sistema para aplicaciones donde el espacio y/o cargas pueden ser limitados.

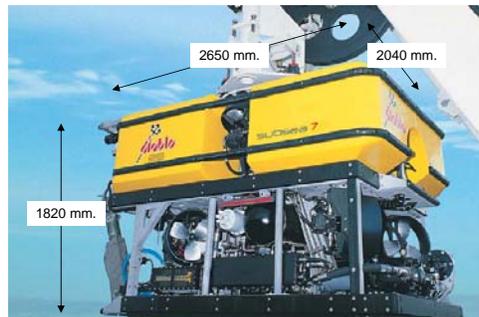
El vehículo es accionado por un sistema hidráulico de 100hp y alcanza 1,000msw. Junto con cuatro propulsores orientables y dos verticales, el vehículo es altamente competitivo al funcionar en la mayoría de las condiciones actuales y puede funcionar libremente o por medio de un umbilical (TMS).

Formulado con los mismos componentes del Demon, este vehículo ha sido construido para realizar una gran cantidad de tareas subacuáticas, y con capacidad de su armadura de izaje de 3,000kg @ 3g. Se pueden interconectar herramientas adicionales al vehículo según lo requerido.

3.1.2.2.b Centurión

Con la evolución y modificaciones continuas, este sistema se ha desarrollado con la adición de paquetes de energía superiores, de propulsores del alto rendimiento y de un segundo propulsor lateral y vertical. La adición de un umbilical opcional aumenta la capacidad del Centurión.

Tiene un sistema hidráulico de 100hp o 120hp que puede realizar casi cualquier tarea, incluyendo la inspección de tubería y apoyo en obras de construcción y perforación.

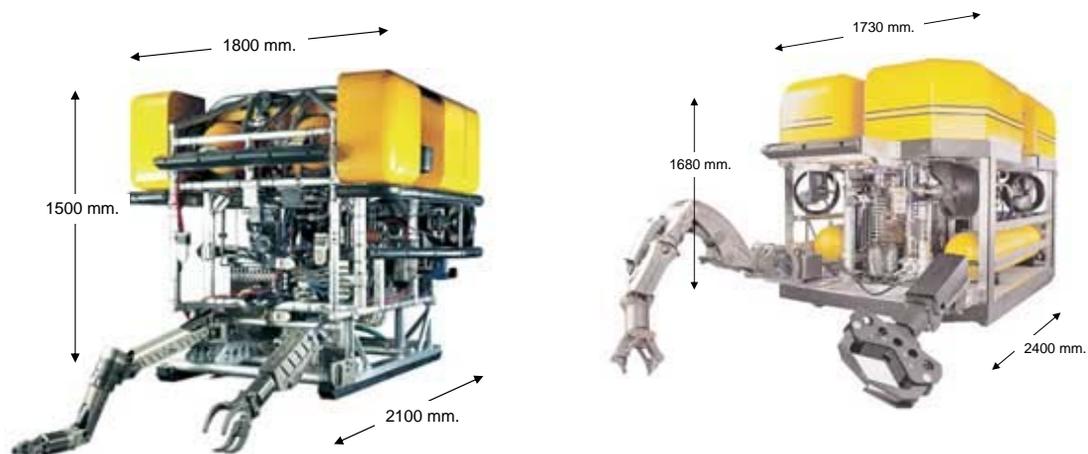


Centurión

3.1.2.2.c Centurion HD

Este sistema es el resultado de la evolución del conocido ROV Centurión incorporando características probadas en campo y tecnología altamente exitosa empleada por La Compañía 1 en la serie de vehículos Hércules.

El Centurion HD se ha construido para realizar una gran cantidad de tareas submarinas, su armadura de izaje permite interconectar herramienta adicional al equipo según sea requerido. La inclusión de un sistema de diagnóstico generado por computadora aumenta la confiabilidad de este tipo de vehículos reduciendo el número de fallas y en caso de que estas ocurran el sistema también ayuda a la rectificación del defecto reduciendo tiempos de reparación.



Centurion HD



ESPECIFICACIONES TECNICAS							
ROV	LONGITUD (mm)	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	PESO (EN AIRE) (kg)	CARGA UTIL (kg)	PROFUNDIDAD MAX. (msw)	ARMADURA IZAJE (kg)
DIABLO	2650	1820	2040	2800	250	2500	3000
CENTURION	2100	1500	1800	* 1550	100	** 1000	
CENTURION HD	2400	1680	1730	2500	200	1000 Y 1500	2000

* Peso en aire (opcional): 1700 kg.
 ** Prof. Máx. (opcional): 1500 msw.

Tabla.2 Especificaciones Técnicas (Rov's Clase de Trabajo)

3.1.2.3 Sistema Sumergible Tripulado (DeepWorker)

Este sistema es una unidad que no está controlada por un umbilical; la cual tiene capacidad de albergar a un operador que puede realizar la inspección de los componentes de la plataforma (incluyendo ductos) por observación directa, abarcando marcos, ejes y camas superando por mucho las profundidades requeridas en las instalaciones localizadas en la Sonda de Campeche.

Las inspecciones de las plataformas mejoran sustancialmente por la habilidad de éste sumergible para viajar alrededor y a través de las estructuras submarinas sin el riesgo de enredar o cortar sus umbilicales. Los sumergibles con umbilicales con frecuencia requieren que los barcos que los apoyan, se reposicionen para alcanzar los diferentes elementos de la plataforma. El sumergible por su parte elimina esta necesidad.

Los requisitos de movilización son mínimos para este sistema optimizando costo y tiempo en inspecciones que por la profundidad requieran el uso de buceos de rebote o sistemas de saturación.

A continuación se mencionan las características de este equipo, estos datos fueron proporcionados por la compañía Anfibis (Compañía 2)

3.1.2.3.1 Capacidades generales

El sumergible es un vehículo sin umbilical para una persona, capaz de trabajar en profundidades de hasta 2,000 pies en agua de mar.

Los pilotos de los sumergibles en el pasado se han limitado solamente a pilotear el vehículo y a monitorear sus sistemas, las cuales son tareas críticas. Los operadores del sumergible pueden ser aliviados de varias de estas tareas debido a la tecnología, modernización y al diseño ergonómico inherente de este vehículo en particular. En este diseño, el piloto esta sentado de manera recta, el puerto de visión es un domo esférico de 25" para una vista sin precedentes, es controlado por medio de pedales que deja al operador con las manos libres para otras tareas. Los sistemas de sustentación de vida y de abastecimiento de energía son monitoreados primariamente por el operador, pero



también son monitoreados estrictamente por el control de buceo a bordo del barco de apoyo a través de los módems acústicos. Las consideraciones primarias son la seguridad, el confort y la habilidad para multitareas.

CARACTERÍSTICAS	
Manga	8.25 ft
Eslora	5.3 ft
Altura	5.6 ft
Peso en el aire	4,700 lbs
Profundidad de operación	2,000 fsw
Carga útil	300 lbs/ variable
Sustentación de vida	72 horas hombre
Máxima velocidad	2.5 nudos
Tripulación	1 piloto
Sonar	Imagenix de 675 KHz
Módem acústico	Datasonic ATM-870
Sistema Hidráulico	Hydro-Lek de 2,200 psi
Manipulador	HLK-CRA6 de 6 funciones
Certificación	Lloyd's Register

El sumergible cumple con todos los estándares de seguridad requeridos, incluyendo comunicaciones submarinas, sistemas de monitores de sustentación de vida, compás fluxgate para navegación, lastre variable, lastres que se sueltan en emergencias y eyección de casco. Aunque los sistemas a bordo del sumergible emplean automatización, son redundantes con sistemas manuales que hacen a un lado los sistemas automáticos. El sumergible también tiene capacidades y cualidades únicas que lo ponen aparte del resto de la comunidad de sumergibles. El cerebro del sumergible es un Controlador Lógico Programable PLC (Programmable Logic Controller), que controla varias funciones y proporciona al piloto información crítica acerca de su vehículo durante toda la inmersión.

Una de las funciones primarias del PLC es ayudar en la maniobrabilidad del sumergible. El piloto puede introducir la profundidad y dirección deseadas en el PLC y mantener ese curso, con profundidad y dirección. El PLC continuará llevando a cabo esa función hasta que el piloto las cancele. La versatilidad del PLC junto con la computadora auxiliar también permite otras capacidades tales como comunicación electrónica acústica de información operacional crítica con el barco en superficie.

El sumergible está equipado con un manipulador de seis funciones, que está impulsado y dirigido por un sistema hidráulico de 2,200 psi con dos funciones de reserva para equipo auxiliar. Se le puede adaptar rápidamente un cortador hidráulico de 3" capaz de cortar material de acero de 3" u otros materiales. Se integran fácilmente herramientas hidráulicas adicionales. Si es necesario, se puede instalar otro manipulador adicional para requerimientos de precisión.

El sumergible, es una excelente plataforma para varios tipos de equipo electrónico, debido a que se puede variar fácilmente su carga de trabajo. La configuración estándar de los vehículos incluye grabación en video a 550 TVL (Líneas de TV) con anotaciones de hora y



fecha, dimensiones de daños por medio de láser, sonar de largo y de corto alcance, medidores de potencial catódico, lo cuál esta sincronizado con los registros de video y los módems de telemetría acústica, los cuáles se usan para transferir información entre el sumergible y el barco en superficie. Se puede integrar fácilmente equipo electrónico tales como sondas, magnetómetros y muchos otros. Todos los equipos a bordo están integrados en la computadora, la cuál también es controlada por el piloto, independientemente del PLC del sumergible. Todos estos componentes se pueden controlar desde el barco de superficie a través del módem de telemetría acústica.

3.1.2.3.2 Características adicionales

La inspección esta documentada en video digital y en fotografías con imágenes fijas para su fácil transferencia electrónica al cliente.

Este sistema puede proporcionar potenciales catódicos de acuerdo con los estándares de inspección requeridos.

a) Aplicaciones de video y fotografía fija digitales

El video digital lo proporcionan las cámaras de la serie Orion. Estas cámaras tienen ingeniería para escenarios de luz baja y están adaptados en puertos con domos óptimamente corregidos, con lentes ópticos con acercamiento de 18X, con ángulos seleccionables para visión en agua desde 84 a 104 grados, con enfoque manual o automático, con salida de video de mas de 480 TVL (Líneas de TV) en señal Y/C (luminiscencia, cromaticidad) (esto es lo mismo que el sistema S-Video o Separate video, video Separado) para óptima claridad. La grabación se hace usando una grabadora Sony GV-D300 mini DV. Esta grabación en cubierta a 500 TVL por medio de la señal de entrada Y/C, con grabación de audio de 16 bits que viene de la comunicación a través del agua del sumergible le da una grabación bilateral de audio también. Las cámaras de video están posicionadas en la proa para capturar lo que ve el piloto, así como cualquier toma de potencial realizada. Se puede posicionar una segunda cámara en el manipulador, esto mejora el ángulo de visión de las cámaras hasta 264 grados laterales y 344 verticales. Este sistema de video de alta definición esta aumentado con un sistema de gradación por medio de láser y un sistema de reglas que proporciona una medición precisa del blanco deseado. Todas las grabaciones están en índice cronológico para propósitos de post procesamiento.

La implementación de acotar con hora y fecha tanto la información grabada en video como la información de CTD le proporciona al inspector una capacidad inmediata de referencia cruzada. Esto le da a la información visualmente registrada una información estadística grabada.

Las imágenes fijas se proporcionan usando una cámara digital de alta resolución montada externamente, a la que está acoplada una lente de 28 mm. y flash independiente. Para enfocar la imagen deseada previa a la exposición fija se usa una mini cámara de video láser.



b) Equipo de muestreo

El sumergible esta equipado con un manipulador hidráulico de 6 funciones. Este manipulador utiliza mordazas intercambiables para versatilidad. También esta disponible un cortador rotatorio en el inventario hidráulico que es capaz de cortar material de acero de hasta 3" y esta bien adaptado para varias aplicaciones de corte. El sistema hidráulico a bordo tiene entradas de repuesto con un amplio rango de expansibilidad.

Se puede adaptar una canasta de recolección a la proa del sumergible y le dará cabida a muestras de hasta 60" de longitud. La carga de trabajo del sumergible permitirá muestras con pesos de hasta 100 lb.

c) Aplicaciones del módem de telemetría acústica

El sumergible está configurado con módems de telemetría acústica digitales Datasonic, lo cual le proporciona una habilidad única de transferir información del sumergible a la superficie con tecnología acústica digital inalámbrica. Esto mejora prácticamente cada aspecto de las operaciones del sumergible. Una de las características más importantes es que esta tecnología le da a la operación una medida de seguridad adicional, en cuanto a que la comunicación directa se puede realizar tanto desde el sumergible como desde el barco de superficie a través de mensajes de texto en caso de una falla en las comunicaciones submarinas. La otra característica de seguridad clave es el uso de módems para controlar remotamente las funciones del sumergible. El sistema cuenta con la habilidad de tomar control remotamente del sumergible desde el barco de apoyo, a través de configuraciones de software y de hardware. Desde el barco de apoyo, el Controlador de Buceo puede poner en funcionamiento propulsores para navegación y/o recuperación. También se capta información crítica del sumergible y de su operador proporcionando respaldo en tiempo real al operador cuando se le necesite.

Además de los aspectos de seguridad, los módems sirven para varios propósitos adicionales que van más allá de las operaciones típicas del sumergible. Mediante esta tecnología, tenemos la habilidad de enviar información de navegación y de rastreo a cada sumergible. En este escenario, el piloto puede navegar independientemente y tiene la habilidad de seguir rutas en una pantalla de computadora que está programada y conectada al sistema. Toda esta información esta referenciada por sistemas de diferenciales redundantes GPS.

d) Aplicaciones del sonar y del eco sonda

Se pueden integrar completamente un sonar, un perfilador de sub-fondo y un eco sonda en las computadoras a bordo para la caracterización del fondo con imágenes detalladas de alta resolución. Estos instrumentos también se usan para navegación y localización de áreas en ambiente de poca visibilidad. El DeepWorker también esta configurado con un eco sonda a bordo para detección del fondo.



DeepWorker

3.1.2.4 Equipo (Mini-ROV)

El sistema Mini-Rov es un pequeño vehículo operado a control remoto que incorpora una cámara óptica y permite la exploración subacuática, presentando en tiempo real la imagen a color en un monitor, pudiendo ser registrada en video para su posterior análisis y estudio.

Por su reducido peso y tamaño le da la ventaja de fácil transporte que unido a su gran maniobrabilidad mediante controles de dirección (arriba/abajo, adelante/atrás, babor/estribor), le permite la exploración hasta 305 m. de profundidad sin importar la oscuridad ya que dispone de dos lámparas de halógeno que proporcionan una intensidad de luz regulable de hasta 5 lux.

- La línea de estos sistemas de operación remota, combina los materiales, electrónica, óptica, e hidrodinámica avanzados para producir la más alta calidad de video en una unidad muy pequeña, ligera y fácilmente desplegable. Esta ingeniería fue lograda por algunos de los más destacados ingenieros subacuáticos y científicos del mundo.

A continuación se mencionan sus utilidades y características de algunos de los mini rovs que operan, estos datos fueron proporcionados por la compañía Madosa (Compañía 3)



3.1.2.4.1 Utilidad y valor de los sistemas VideoRay (ROV).

- **a) Portabilidad.** Una sola persona puede transportar el pequeño equipo de 8 lb, caja de control y cable de sistema de despliegue. El sistema pesa menos de 70 lb. y esta cuidadosamente almacenado en un contenedor Pelican. El resto de los sistemas vienen en dos cajas que se pueden transportar en la cajuela de un automóvil, o como equipaje en líneas aéreas.
- **b) Utilidad.** Operar los sistemas VideoRay es similar a manipular un juego de video. No es necesario un piloto especialmente entrenado en vehículos ROV. Los controles adicionales en modelos avanzados incluyen cámara fotográfica con enfoque giratorio, selección de cámara posterior y control automático de profundidad.
- **c) Alcance.** Las longitudes del cable del sistema de despliegue varían según el modelo, pero se puede agregar sistema de despliegue neutral, negativo y positivo para prolongar el alcance total del VideoRay hasta 1,100 ft. Los cables del sistema de despliegue están disponibles en una amplia gama de longitudes para cubrir las necesidades específicas según las condiciones de los proyectos.
- **d) Durabilidad.** El diseño de VideoRay se ha perfeccionado a través de los años de extensa experiencia en campo. Los sistemas VideoRay se han desplegado en todo el mundo desde las calidas aguas, claras y tranquilas del Caribe hasta los ambientes hostiles en el ártico. Estos sistemas se han utilizado en aguas contaminadas y en muchos lugares confinados y peligrosos para las intervenciones de buzos.
- **e) Materiales y construcción.** Los materiales resistentes, bóvedas de acrílico, aluminio anodizado, acero inoxidable, y Kevlar, empleados en los sistemas VideoRay aseguran un soporte en uso repetido y prolongado. La cuidadosa fabricación, control de calidad, y pruebas de presión en las plantas de fabricación aseguran que cada unidad proporcionará el servicio durante años.
- **f) Garantía.** Cada sistema VideoRay cuenta con un año de garantía. Esto cubre cualquier falla debido a los defectos en materiales y operación del sistema, siempre y cuando se realice el mantenimiento descrito en el manual. El VideoRay también ofrece un programa de ayuda que resuelve las necesidades de los clientes que necesiten un plan para contar con el mínimo de tiempo muerto, costo por reparaciones y mantenimiento, y el aseguramiento de tecnología más reciente en forma continua.
- **g) Calidad de las Cámaras.** Todos los sistemas VideoRay están equipados con una cámara de color y de una pantalla de color LCD de 5 pulg. El Scout utiliza 420 líneas, cámara de color de 0,3 lux, acompañada por dos lámparas de halógeno ajustables de 20-watts. El Scout, el PRO III y el Deep Blue son de alta resolución de 570 líneas, cámaras de color de 0,1 lux, que se pueden inclinar 160 grados. El PRO III y el Deep Blue también incluyen un revestimiento posterior y cámaras



(blanco y negro) con 430 líneas, 0,1 lux y una gama de LED de alta potencia para iluminación.

- **h) Sensores.** Todos los modelos, excepto el Scout, incluyen compás y sensor de profundidad. El PRO III y el Deep Blue pueden ser complementados con un amplio surtido de accesorios, incluyendo abrazaderas, sistemas de posicionamiento, sonar de exploración y otros sensores. El Deep Blue incluye el sonar de exploración (SeaSprite). El control y la instrumentación de la computadora están disponibles, junto con muchas adaptaciones para resolver las necesidades específicas y tareas subacuáticas diversas.
- **i) Profundidad.** El Scout y el Explorador alcanzan una profundidad de hasta 91 m (300 ft). El PRO III hasta 152 m (500 ft), y el Deep Blue hasta 305 m (1000 ft).
- **j) Peso.** Todas las unidades pesan menos de 4 Kg. (9 lb.) fuera del agua, y cada uno se puede desplegar fácilmente por una sola persona colgándola simplemente de su cable de despliegue y bajándola al agua. El peso total del sistema va desde 32 Kg. (70 lb.) para el Scout hasta 75 Kg. (165 lb.) para el Deep Blue.

	Especificaciones Técnicas					
	LONGITUD (mm)	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	PESO (kg)	PROFUNDIDAD (m)	VEL. DELANTERA (nudos)
SCOUT	355	215	228	3.5	90	0 – 2
EXPLORER	355	215	228	4.0	Arriba de 90	0 – 2
PRO III	355	215	228	4.0	Arriba de 150	0 – 2
DEEP BLUE	355	215	228	4.0	Arriba de 300	0 – 2

Tabla.3 Especificaciones Técnicas (Mini Rov's)



VideoRay Scout



VideoRay Explorer



VideoRay PRO III



VideoRay Deep Blue





3.2 Compañías Inspectoras

Para el cumplimiento del objetivo del presente estudio, fueron seleccionadas 3 compañías de inspección:

- Compañía 1
- Compañía 2
- Compañía 3

A continuación se describen los requerimientos mínimos que debe cubrir cada una de estas compañías pasando por el procedimiento de calificación y selección de personal, así como sus diferentes aspectos como los son: tipo de compañía, campo de aplicación donde se desarrollan, técnicas utilizadas de inspección, equipo utilizado, etc.

3.2.1 Procedimiento de Selección y Calificación del Personal Técnico para Inspección de Instalaciones Costafuera.

3.2.1.1 Personal

Los conocimientos del personal involucrado en los trabajos de inspección, son de importancia fundamental para la realización y confiabilidad de los resultados que de dichos trabajos se obtengan. Por esta razón el personal empleado deberá contar con el entrenamiento adecuado y la experiencia necesaria para el buen desempeño de las tareas que se le asignen.

El personal que interviene en todas y cada una de las actividades de inspección está determinado en todos los procedimientos de inspección correspondientes, así como sus responsabilidades y alcances de los trabajos a realizar.

3.2.2 Calificación del Personal Técnico para Inspección de Instalaciones Costafuera.

Revisar y analizar el organigrama de la compañía contratista.

Verificar que el personal cumpla con los requerimientos mínimos de acreditación de cursos de capacitación correspondientes, comprobando su autenticidad y vigencia.

3.2.2.1 Ingeniero de Campo:

- Estudios de Especialidad en el área de estructuras.
- Cursos de actualización en la evaluación estructural de plataformas marinas tales como análisis de resistencia última (RU) y fatiga.
- Cursos de actualización en técnicas de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Curso de actualización en el manejo de personal.
- Curso de actualización en la coordinación y programación de actividades.
- Curso de actualización en técnicas de reparación de estructuras bajo el agua.



3.2.2.2 Ingeniero Evaluador:

- Cursos de actualización en la evaluación estructural de plataformas marinas tales como análisis de resistencia última (RU) y fatiga.
- Cursos de actualización en técnicas de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Curso de actualización en técnicas de reparación de estructuras bajo el agua.
- Curso de evaluación de reportes de inspección de plataformas marinas fijas.

3.2.2.3 Técnico Inspector Nivel III, II y I:

- Cursos de actualización en técnicas de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Constancia de horas laboradas, aplicando técnicas de inspección de acuerdo a la especialidad avalada, describiendo fecha y lugar de trabajo.

3.2.2.4 Técnico en Dibujo Industrial:

- Cursos de actualización de dibujo industrial.
- Cursos de actualización del software utilizado para el dibujo en general, principalmente AutoCad.
- Cursos de actualización en levantamientos estructurales, accesorios y de equipos de plataformas marinas fijas.

3.2.2.5 Supervisor de Buceo:

- Cursos de actualización en técnicas de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Cursos de actualización en técnicas de buceo y tratamientos hiperbáricos.
- Cursos de actualización en la elaboración de reportes de inspección de instalaciones costafuera
- Curso de actualización en el manejo de personal.

3.2.3. Selección del Personal Técnico para Inspección de Instalaciones Costafuera.

Verificar que el personal calificado cuente con los documentos y/o requisitos descritos a continuación, comprobando su autenticidad y vigencia.

3.2.3.1 Ingeniero de Campo:

- Título de Ingeniero Civil y cedula profesional.
- Constancia de experiencia en la evaluación estructural de plataformas.
- Constancia de aprobación de cursos de capacitación en técnicas de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Constancia de aprobación de cursos de capacitación en técnicas de reparación de estructuras bajo el agua.
- Certificado de capacitación en buceo expedido por:
NAUI: Asociación Nacional de Instructores de buceo (E.U.A.)



PADI: Asociación Profesional de Instructores de buceo (E.U.A)
CMAS: Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (Francia)

3.2.3.2 Ingeniero Evaluador:

- Titulo de Ingeniero Civil y cedula profesional.
- Constancia de experiencia en la evaluación estructural de plataformas.
- Constancia de aprobación de cursos de capacitación en técnicas de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Constancia de aprobación de cursos de capacitación en técnicas de reparación de estructuras bajo el agua.
- Constancia de experiencia en la evaluación a reportes de inspección.

3.2.3.3 Técnico Inspector Nivel III:

- Certificado vigente avalado por la ASNT sección TNC-1^a y que lo acredite como inspector nivel III para cada una de las técnicas de inspección que pretende realizar.
- Constancia de experiencia en la elaboración de reportes de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Conocimiento de los diferentes tipos de plataformas marinas existentes, así como sus componentes.
- Certificado de capacitación en buceo expedido por:
NAUI: Asociación Nacional de Instructores de buceo (E.U.A.)
PADI: Asociación Profesional de Instructores de buceo (E.U.A.)
CMAS: Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (Francia)

3.2.3.4 Técnico Inspector Nivel II:

- Certificado vigente avalado por la ASNT y que lo acredite como inspector nivel II para cada una de las técnicas de inspección que pretende realizar.
- Certificado vigente como inspector en Pruebas No Destructivas.
- Constancia de experiencia en la elaboración de reportes de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Certificado de capacitación en buceo expedido por:
NAUI: Asociación Nacional de Instructores de buceo (E.U.A.)
PADI: Asociación Profesional de Instructores de buceo (E.U.A.)
CMAS: Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (Francia)

3.2.3.5 Técnico Inspector Nivel I:

- Certificado vigente avalado por la ASNT y que lo acredite como inspector nivel I para cada una de las técnicas de inspección que pretende realizar.
- Certificado vigente como inspector en Pruebas No Destructivas.
- Constancia de experiencia en la elaboración de reportes de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Certificado de capacitación en buceo expedido por:
NAUI: Asociación Nacional de Instructores de buceo (E.U.A.)
PADI: Asociación Profesional de Instructores de buceo (E.U.A.)
CMAS: Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (Francia)



3.2.3.6 Técnico en Dibujo Industrial:

- Título de Técnico en dibujo industrial.
- Constancia que acredite la aprobación del curso del software utilizado para el dibujo en general, principalmente AutoCad.
- Constancia que acredite la aprobación del curso sobre la elaboración de levantamientos estructurales, accesorios y de equipos de plataformas marinas fijas.

3.2.3.7 Supervisor de Buceo:

- Certificado de capacitación en Pruebas No Destructivas (PND), en las técnicas de ultrasonido y partículas magnéticas.
- Constancia de experiencia en la elaboración de reportes de inspección con Pruebas No Destructivas (PND).
- Experiencia en el manejo de personal.
- Certificado de capacitación en buceo expedido por:
NAUI: Asociación Nacional de Instructores de buceo (E.U.A.)
PADI: Asociación Profesional de Instructores de buceo (E.U.A.)
CMAS: Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (Francia)

3.2.3.8 Buzo Especialista:

- Certificado de capacitación en buceo expedido por:
NAUI: Asociación Nacional de Instructores de buceo (E.U.A.)
PADI: Asociación Profesional de Instructores de buceo (E.U.A.)
CMAS: Confederación Mundial de Actividades Subacuáticas (Francia)

3.2.3.9 Maniobrista:

Constancia que acredite el desarrollo de actividades de construcción y/o mantenimiento a bordo de plataformas marinas.

3.2.4 Equipo

La ejecución de los trabajos de inspección requiere además de los recursos humanos el equipo propio para la inspección, como cámara fotográfica, de video, equipo para pruebas no destructivas, etc., así como del equipo auxiliar (barcos, equipo de buceo, etc.). Los requerimientos, así como el tipo de equipo a utilizar en cada técnica de inspección, están determinados en los procedimientos de inspección correspondientes.

3.2.5 Formatos para los datos de inspección

Los formatos para registrar los resultados de inspección serán diseñados para que los detalles de todos los hallazgos de inspección sean fácilmente localizados. Hay que tener en cuenta que los datos serán procesados, analizados y utilizados por personal que no estuvo presente durante la ejecución de los trabajos de inspección costafuera.

Los datos incluyen todos los aspectos sobre la técnica de inspección utilizada de inspección, además de registrar:



- Número de formato
- Nombre de la Instalación
- Fecha de Inspección
- Nombre de la embarcación de apoyo y/o cuadrilla
- Dibujos de inspección o referencias
- Elementos o área a inspeccionada
- Actividades realizadas
- Equipo utilizado
- Datos de calibración de equipo
- Referencias fotográficas y de video
- Hallazgos de inspección
- Nombre del Ingeniero de campo y representante de PEP

Los formatos serán sujetos a una continua revisión y actualización, pero siempre dentro de los requerimientos de los conceptos originales de la filosofía de inspección vigente, esto para evitar que los formatos queden por detrás del desarrollo de los requerimientos de inspección.



4. CONCLUSIONES

Con el descubrimiento de yacimientos y la creciente demanda en la producción de hidrocarburos en el país, fue necesario incursionar en la explotación costa fuera por medio de pozos petroleros haciendo necesaria la utilización de tecnología más avanzada para efectuar las actividades requeridas en las distintas etapas de su desarrollo, que van desde los estudios geológicos y geofísicos durante la exploración, hasta la construcción y operación de instalaciones industriales en enormes estructuras de acero conocidas comúnmente como “Plataformas Marinas”.

Hoy día, los diversos proyectos y actividades enfocados a la explotación del petróleo mediante las plataformas marinas contempla además de la fabricación de nuevas estructuras, carga a la barcaza, transportación, instalación, operación y análisis tanto de fatiga como sísmológico, la adaptación de conductores adicionales a las plataformas ya existentes y el desarrollo de ingeniería correspondiente al refuerzo de diversos tipos de elementos, tanto en la zona aérea como en la submarina.

Es importante mencionar que debido a que las condiciones impuestas por el ambiente y operación de las plataformas marinas obligan a garantizar que éstas operen dentro del nivel de riesgo aceptado por las normas y especificaciones vigentes, se trabaja también en el desarrollo y/o actualización de la filosofía de inspección, en la generación de manuales de inspección, así como en la incorporación de nuevas técnicas de inspección y reparación.

Con la finalidad de garantizar un adecuado comportamiento de la estructura, y evitar así consecuencias indeseables tales como la pérdida de vidas humanas, contaminación ambiental, daños estructurales, colapso de la estructura, etc. Es por estos motivos que el cumplimiento y ejecución de los programas de inspección y mantenimiento, garantizará que durante la vida útil de las plataformas éstas se mantengan operando dentro del nivel de seguridad aceptable y con niveles de riesgo bajo.

Debido a esto, se tomo la iniciativa de realizar un estudio de mercadeo, comparando los equipos de inspección disponibles a nivel nacional e internacional, generando así un estudio de costo-beneficio, el cual tiene como intención, obtener el método, la técnica y el equipo más rentable y con mejores resultados en la aplicación de dichas inspecciones.



Como hemos visto en capítulos anteriores en los que se explicó y detallaron los tipos, niveles y técnicas de inspección existentes, se propone la siguiente relación causa-efecto, con la intención de optimizar la planeación de inspecciones, así como de en forma práctica indicar los tipos de daño, sus causas y niveles de inspección a aplicar en cada uno de ellos.

4.1 Relaciones Causa-Efecto entre eventos y condiciones, para la planeación de las inspecciones.

La inspección se define como el examen de una estructura en forma global o local para la búsqueda de daños, defectos y otras alteraciones que puedan afectar la integridad de la misma. Sin embargo toda inspección bien planeada permite detectar aquellos daños con cierta probabilidad de aparecer durante la vida de la estructura, así como también permite localizar daños no esperados.

Así mismo con los resultados de estas inspecciones es posible evaluar la integridad mecánica de la estructura, establecer en caso necesario medidas correctivas oportunas para mantener la seguridad estructural en niveles aceptables, y continuar con las operaciones planeadas de manera satisfactoria.

Para la planeación de dichas inspecciones es necesario identificar las variables relevantes y las relaciones causa-efecto entre ellas. Estas variables se pueden clasificar en:

1. Indicadores o características generales
2. Causas de daño/exposiciones
3. Tipos de daño y/o conceptos de inspección.

Es necesario además establecer la influencia que cada tipo de daño tiene en la resistencia del elemento y, a su vez, la importancia de dicho elemento en la confiabilidad global de la instalación.

4.2 Características generales

Para la planeación detallada de los programas de inspección, deben establecerse prioridades que dependen de ciertas características generales de las estructuras. Los parámetros generales de una plataforma, relevantes en la planeación de inspecciones, son los siguientes:

- Categoría de exposición
- Localización
- Tirante
- Vida de diseño
- Edad o antigüedad
- Vida remanente
- Información de inspecciones: fechas y hallazgos
- Evaluaciones estructurales
- Reparaciones o mantenimientos estructurales



Además de la información general de la estructura es necesario clasificar los elementos y juntas, siendo ésta una actividad básica para la planeación de inspecciones. Todos los elementos y juntas estructurales estarán clasificados a partir del nivel de funcionalidad e importancia estructural que proporcionen a la plataforma, los cuales se complementan con la información correspondiente a la localización y orientación de los elementos en la estructura.

Los elementos estructurales se consideran *primarios*, *secundarios* o *terciarios* de acuerdo a su función dentro de la plataforma. Los elementos primarios incluyen piernas, pilotes, y elementos diagonales de los marcos (ya sean transversales o longitudinales). Los elementos secundarios corresponden a los arriostramientos horizontales en planta. Los elementos requeridos para la instalación de la plataforma, tales como correderas de lanzamiento; elementos de apoyo para accesorios como soportes de camisas de succión, de pasillos, etc., deberán ser clasificados como terciarios. Se considera que las piernas son los elementos de mayor importancia de la plataforma en comparación con los elementos diagonales sobre los marcos longitudinales o transversales, sin embargo ambos tipos de elementos pueden pertenecer a una clasificación de elementos primarios.

4.3 Causantes de daño (exposiciones).

Las causas de daño identificadas en plataformas marinas son:

I. Naturales o por la operación misma de la estructura:

1. Cargas ambientales extremas (viento, oleaje, corriente y sismos).
2. Cargas ambientales de operación (oleaje y corriente).
3. Crecimiento marino (es un agente que puede ocasionar daños en combinación con otros; además se considera como un concepto de inspección).
4. (a) Interacción entre el metal de la estructura y el medio ambiente, e
(b) Interacción entre distintos tipos de metales de la estructura.
5. Vibración de equipo.
6. Exceso de equipo en cubierta.

II. Por errores humanos/accidentes:

1. (a) Errores de diseño.
(b) Deficiente control de calidad en la fabricación e instalación.
2. Impacto de embarcaciones.
3. Caída de objetos.
4. Incendios y explosiones.
5. Fugas de gas.
6. Derrames/manchas (crudo, lodo).
7. Errores en reparaciones y mantenimiento.



4.4 Niveles de inspección.

Como vimos existen tres niveles de inspección, utilizados internacionalmente por empresas petroleras, mediante los cuales se efectúa el examen de una estructura en forma global o local para la búsqueda de daños, defectos y otras alteraciones que puedan afectar su integridad. En los programas de inspección de las Plataformas Marinas en la Sonda de Campeche se aplican también tres niveles de inspección.

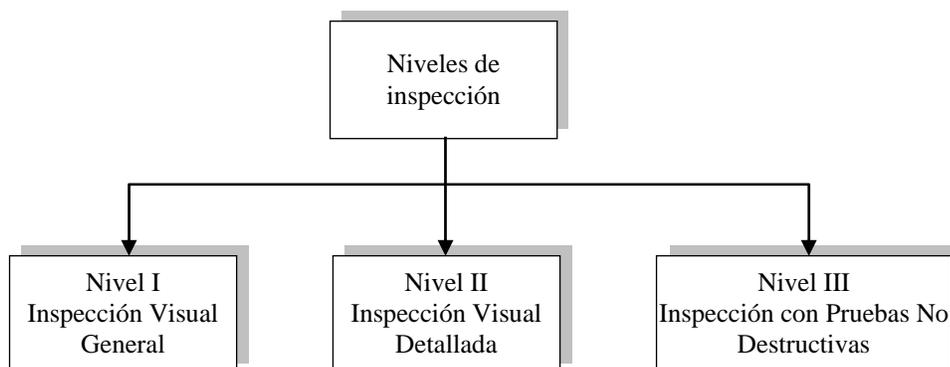


Fig.17 Niveles de inspección.

4.4.1 Nivel I - Inspección Visual General.

Como su nombre lo indica, es una inspección visual de la Subestructura y Superestructura, que no requiere de limpieza previa ni mediciones especiales en las áreas inspeccionadas.

El objetivo de la inspección visual general o nivel I es detectar diferencias estructurales y de accesorios con el diseño y daños evidentes así como confirmar la existencia de hallazgos detectados anteriormente (donde sea posible) y los cambios evidentes en los mismos. Si el crecimiento marino no permite tal confirmación, esto quedará asentado en el reporte. Estas diferencias estructurales y/o daños pueden haberse presentado durante la fabricación, transportación, instalación y/o la operación de la plataforma.

El alcance incluye todo lo señalado en el manual de inspección correspondiente a este nivel de inspección. Se realiza mediante la observación directa, del (de los) piloto(s) del (de los) vehículo(s) submarino(s), o buzos inspectores y personal técnico de inspección.

4.4.2 Nivel II - Inspección visual detallada.

Como su nombre lo indica, también es una inspección visual de la Subestructura y Superestructura, en la cual se realiza limpieza en el área o elemento inspeccionado, además se efectúan mediciones especiales en el caso de que se detecten daños.



El objetivo de la inspección visual detallada o nivel II es detectar daños evidentes que no hayan sido ubicados en inspecciones anteriores; proporcionar el seguimiento para aquellos daños ya evaluados y dimensionar daños detectados, así como detectar y medir, la verticalidad de las cubiertas y columnas, con respecto al plano horizontal y vertical. El alcance incluye todo lo señalado en el manual de inspección correspondiente a este nivel de inspección.

4.4.3 Nivel III - Inspección empleando pruebas no destructivas.

El objetivo de la inspección empleando pruebas no destructivas se aplica para cuantificar y/o dimensionar aquellos daños previamente identificados mediante los niveles I y/o II de inspección, además de aquellos que no fueron detectados en estos niveles. Las pruebas no destructivas se efectúan mediante el empleo de equipos especializados, previa limpieza a metal blanco del área o sección por inspeccionar (de requerirse).

El alcance incluye la inspección de soldaduras de juntas programadas, utilizando pruebas no destructivas. La localización y tipo de prueba aplicable de cada nodo programado para inspección se indica en los manuales de inspección correspondientes.

4.5 Tipos de daño y/o conceptos de inspección.

4.5.1 Corrosión.

Se reconocen dos tipos de corrosión:

4.5.1.1 Corrosión Ambiental (atmosférica o submarina, CA)

Es la provocada por el contacto entre el metal y el medio ambiente y se intensifica en un ambiente marino. En este tipo de corrosión, se vislumbran tres áreas importantes a proteger dentro de las plataformas: Zona Atmosférica, Zona de Mareas, Zona Sumergida.

4.5.1.2 Corrosión Galvánica (CG)

Ocurre cuando metales de propiedades diferentes entran en contacto directo y/o a través de un electrolito. Este problema básicamente se localiza en áreas donde existen diferentes tipos de conexiones: abrazaderas, espárragos, soldaduras, entre otros.

En combinación con los agentes ambientales, este tipo de daño puede presentarse por errores de diseño o deficiente control de calidad en la fabricación, además de errores en reparaciones y mantenimiento. En el caso de trípodes de quemador es posible tener corrosión por derrames o manchas de crudo o lodo, aunado a esto por los efectos que pudiera tener la temperatura a la cual trabajan estas estructuras. La corrosión puede presentarse en los elementos estructurales, así como en accesorios.



4.5.2 Grietas por fatiga (GF).

Es la ruptura o pérdida de continuidad del metal estructural, se manifiestan por la acumulación de daño por efecto de cargas cíclicas en zonas con una alta concentración de esfuerzos. Las grietas por fatiga pueden aparecer en juntas producto de cargas ambientales de operación de oleaje y corriente y también por la vibración de equipo en cubiertas (en este último caso los daños se presentan por lo general en los soportes del equipo).

4.5.3 Socavación (SO).

Consiste en la remoción del fondo marino alrededor de la estructura, provocada por cargas extremas de oleaje y corrientes de operación entre el lecho marino y las piernas de la estructura. Asimismo se puede presentar socavación por fugas de gas desde el lecho marino.

4.5.4 Asentamientos e inclinaciones (AI).

Consisten en falta de horizontalidad o verticalidad de la estructura en su conjunto producto de errores de diseño, fabricación e instalación, adicionalmente la socavación en la base de la estructura puede provocar asentamientos diferenciales que provoquen inclinaciones horizontales y verticales en forma global.

4.5.5 Daños mecánicos.

Este tipo de daños pueden aparecer en cualquier parte de la estructura y se pueden clasificar en:

4.5.5.1 Abolladuras (AB) Son deformaciones permanentes de la sección transversal del elemento.

4.5.5.2 Pandeo (PA) Son deformaciones permanentes del eje principal del elemento.

4.5.5.3 Grietas (GR) Es la ruptura o falta de continuidad de material.

Los daños mecánicos pueden presentarse por caída de objetos desde las cubiertas superiores y por impacto de embarcaciones. Estos pueden ser ocasionados durante el proceso de fabricación, transportación y/o instalación de la plataforma.

Dependiendo de la intensidad del impacto, la geometría del elemento y de las características del material, los elementos tubulares pueden absorber la energía del impacto desarrollando deformaciones de las siguientes maneras:

- Abolladura local de la pared del tubo, sin flexión del elemento: esta forma de daño toma lugar principalmente en elementos cortos o de pared delgada. Esto también ocurre cerca de los extremos de los elementos (cercano a los nodos).
- Flexión general sin abolladura de la pared del elemento: esto ocurre comúnmente en elementos largos que tengan una relación diámetro-espesor grande (mayor a



96) en donde las cargas de impacto son aplicadas lentamente y cerca de la mitad de su longitud.

- Combinación de flexión general y abolladuras: esta forma de daño es la más común que puede ocurrir en elementos tubulares sujetos a fuerzas de impacto lateral.
- Grietas: en caso de impactos extremos, adicionalmente a los daños antes mencionados, la severidad del impacto puede repercutir en los extremos del elemento, a través de grietas.

4.5.6 Deformaciones locales en cubierta (DL).

Son las diferencias de nivel existentes en las cubiertas o columnas con respecto a un plano (horizontal y vertical, respectivamente); pueden ser positivas o negativas. Estas deformaciones locales son provocadas principalmente por exceso de equipo en cubierta y errores de diseño.

4.5.7 Pérdida de elementos (PE).

Consiste en la ausencia física de un elemento estructural o bien, en un nivel de daño del mismo que haga imposible que soporte o transmita cargas. Se pueden perder elementos por cargas extremas (en combinación con crecimiento marino), por impacto de embarcaciones, caída de objetos, así como por incendios y explosiones.

4.5.8 Daño en pintura y recubrimiento (DR).

La pintura o recubrimiento destinados a la protección contra la corrosión, puede ser causado por errores de fabricación e instalación y también por caída de objetos e impacto de embarcaciones.

4.5.9 Incremento del área de exposición de elementos (Crecimiento marino, IA).

Se debe principalmente a la adherencia del crecimiento marino sobre los elementos estructurales de la subestructura, este crecimiento marino puede ser duro o blando, el duro es más denso que el agua, y está firmemente unido a la subestructura. Lo anterior ocasiona el aumento del diámetro efectivo de los elementos y por consiguiente una mayor área expuesta a las fuerzas de oleaje y corriente, lo que genera mayores cargas hidrodinámicas aplicadas a las instalaciones, esto puede ser considerado como una de las formas potenciales de daño más importantes que afectan a las plataformas marinas, siempre y cuando el espesor del crecimiento marino duro para el cual fue diseñada la estructura sea rebasado.

4.5.10 Escombros metálicos (EM).

Son objetos caídos desde la superestructura que quedan atascados entre elementos. Se pueden encontrar en la subestructura, principalmente en la última planta estructural.



4.5.11 Daños calientes (DC).

Son disminuciones de espesor en una sección a causa del contacto accidental de los electrodos sobre los elementos durante labores de reparaciones y mantenimiento.

4.5.12 Discontinuidades en conexiones (CX).

La inspección para la detección de discontinuidades en soldaduras se aplica principalmente a la conexión subestructura-pilote-superestructura, las cuales pueden ser provocadas por la falta de penetración del material de aporte de los electrodos, porosidades, laminaciones, inclusiones de escorias, entre otros, al momento de la instalación de la superestructura sobre los pilotes.

El equipo utilizado se basa en la emisión de una vibración mecánica en el área a inspeccionar a través de un palpador o sensor con propiedades piezoeléctricas, cuya señal es retransmitida a un módulo para su conversión eléctrica y posterior despliegue en una pantalla. La limpieza del área a inspeccionar es a metal blanco.

4.5.13 Elementos inundados (EI).

Es la introducción de agua en elementos estructurales como consecuencia de discontinuidades en soldaduras, perforaciones, grietas (por fatiga e impacto) y desprendimiento de ánodos en la subestructura.

4.5.14 Crecimiento marino.

El espesor de crecimiento marino es un dato que influye en la planeación de inspecciones de elementos de la estructura. El crecimiento ocasiona el aumento del diámetro efectivo de los elementos y por consiguiente una mayor área expuesta a las fuerzas de oleaje y corriente, lo que genera mayores cargas hidrodinámicas aplicadas a las instalaciones, esto puede ser considerado como una de las formas potenciales de daño más importantes que afectan a las plataformas marinas, siempre y cuando el espesor del crecimiento marino duro para el cual fue diseñada la estructura sea rebasado.



4.6 Relaciones causa-efecto para cada tipo de daño

De acuerdo a lo descrito en las secciones anteriores, las relaciones entre los distintos tipos de daños, sus causas, los niveles de inspección y la localización, pueden resumirse en la siguiente tabla:

Tipo de daño /Conceptos de inspección		Causas	Nivel de inspección	Localización
Corrosión	Ambiental (CA)	I.4.a, II.1a, II.1b, II.6 (trípodes), II.7	VDE	elementos y accesorios (barandales, rejillas, atracaderos, entre otros.), ánodos de sacrificio
	Galvánica (CG)	I.4.b, II.1a, II.1b, II.7	VDE	juntas, conexiones de accesorios
Grietas por fatiga (GF)		I.2, I.5	PND (ACFM)	juntas (subestructura y superestructura), accesorios (rejillas, soportes de equipos) y puentes
Socavación (SO)		I.1, I.2, II.5	VDE	lecho marino
Asentamientos e inclinaciones (AI)		II.1a, II.1b, SO	VDE	Estructura en su conjunto
Daños mecánicos	Abolladuras (AB)	II.1b, II.2, II.3	VDE	todos los elementos y accesorios (subestructura y superestructura)
	Pandeo (PA)	I.1(+I.3), II.1a, II.2, II.3	VDE	todos los elementos y accesorios (subestructura y superestructura)
	Grietas (GR)	I.1(+I.3), II.1a, II.2, II.3	VDE, PND	todas las juntas y conexiones de accesorios (subestructura y superestructura)
Deformaciones locales en cubierta (DL)		I.6	VDE	cubiertas, superestructura
Pérdida de elementos (PE)		I.1(+I.3), II.2, II.3, II.4	VGE	toda la estructura
Daño en pintura y recubrimiento (DR)		II.1b, II.2, II.3	VGE	toda la estructura
Incremento de dimensiones de elementos (crecimiento marino) (IA)		I.3	VDE	elementos submarinos
Escombros metálicos (EM)		II.3	VGE	subestructura, especialmente en el último nivel de arriostamiento)
Daños calientes (DC)		II.7	VGE, VDE	toda la estructura
Discontinuidades en conexiones (CX)		II.1b, II.7	PND (ULT)	conexiones subestructura-pilote-superestructura
Elementos inundados (EI)		II.1b, II.7, CA, CG, GF	PND (ULT)	elementos submarinos

(1) I: Naturales o por la operación misma de la estructura
 II: Por errores humanos y/o accidentes

Tabla 4. Relaciones causa-efecto para distintos tipos de daño y/o conceptos de inspección



4.7 Registro y Actualización de la Condición de la Estructura.

El registro de la condición de la estructura deberá contener todos los datos que reflejen la condición estructural de cada instalación, como son por ejemplo: cambios de diseño que afecten el comportamiento estructural de la instalación, cambios en el nivel de producción manejado que modifique la categoría de exposición y por ende el nivel de inspección, hallazgos relevantes de la inspección y de inspecciones especiales, así como la evaluación de los mismos, necesidades de reparación, efectos de cargas extraordinarias que hayan ocurrido durante la vida de la estructura, reparaciones o modificaciones efectuadas al diseño original.

Los datos se organizarán y actualizarán de tal modo que la seguridad de la estructura pueda ser evaluada periódicamente. Este registro constituye la parte más importante de los programas de inspección y mantenimiento, ya que contiene los datos relevantes sobre la integridad de la estructura.

Las formas de registro de condición de la estructura deberán incluir los siguientes conceptos:

- Datos de identificación de la estructura
- Niveles de inspección
- Resultados de mantenimientos ejecutados
- Comentarios y recomendaciones (después de cada inspección)
- Reparaciones y/o reforzamientos
- Modificaciones realizadas a la estructura (cargas y/o estructuración)
- Registro de inspecciones especiales.
- Resultados de la última evaluación numérica realizada a la plataforma.

4.8 Retroalimentación de Información

El proceso de retroalimentación consiste en el flujo de información (diseño, fabricación, instalación, operación, inspección, mantenimiento) a través de las diferentes etapas que conforman estas actividades, dicho flujo de información complementa y direcciona las acciones a seguir en las etapas de inspección y mantenimiento, determina actividades específicas a realizar y/o recomienda las acciones necesarias para efectuar mejoras en diferentes áreas del proceso como: Diseño, fabricación e instalación de estructuras nuevas; operación, inspección, mantenimiento y reparación de estructuras existentes.

De aquí se deriva la necesidad de desarrollar un sistema capaz de registrar la historia completa del comportamiento estructural de cualquier instalación marina, para que la experiencia obtenida durante las actividades de inspección pueda aprovecharse mediante una retroalimentación de la información y obtener de esta manera un mejoramiento de los parámetros involucrados en las fases de diseño, fabricación e instalación de nuevas plataformas.



A continuación se presenta un diagrama de flujo (ver figura 18) de lo que podría ser la aplicación del sistema de retroalimentación, sin embargo el grupo de retroalimentación podrá adaptar dicho diagrama según sus requerimientos o proponer las modificaciones que considere pertinentes, siempre y cuando se respeten los objetivos y la filosofía del sistema de retroalimentación.

En dicho diagrama se muestra la interrelación entre los grupos de inspección y mantenimiento, evaluación, diseño, fabricación, instalación y operación, con el grupo de retroalimentación y las actividades que este último grupo deberá desarrollar para llegar a la formación de normas, códigos o especificaciones.

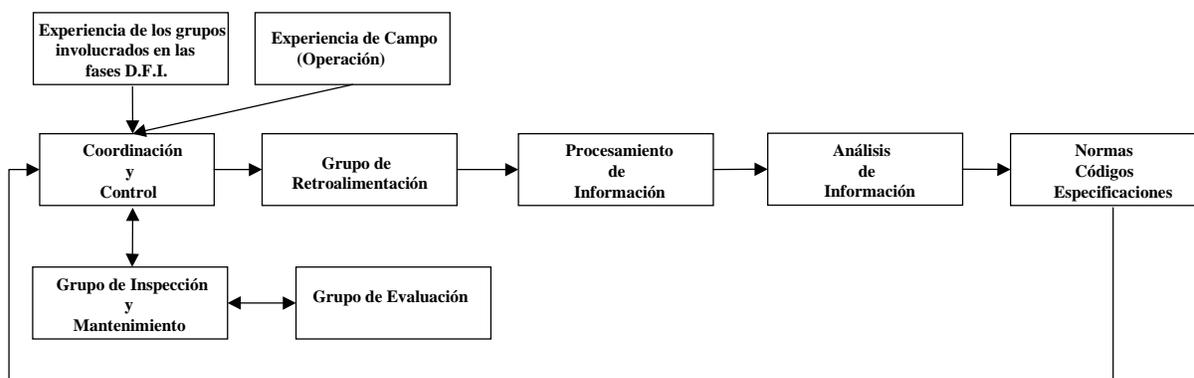


Fig. 18 Interacción entre los grupos durante el proceso de retroalimentación



A la secuencia de actividades antes mencionadas, definida por este sistema se le denomina "*Círculo de Retroalimentación*", indicado conceptualmente en la siguiente figura.

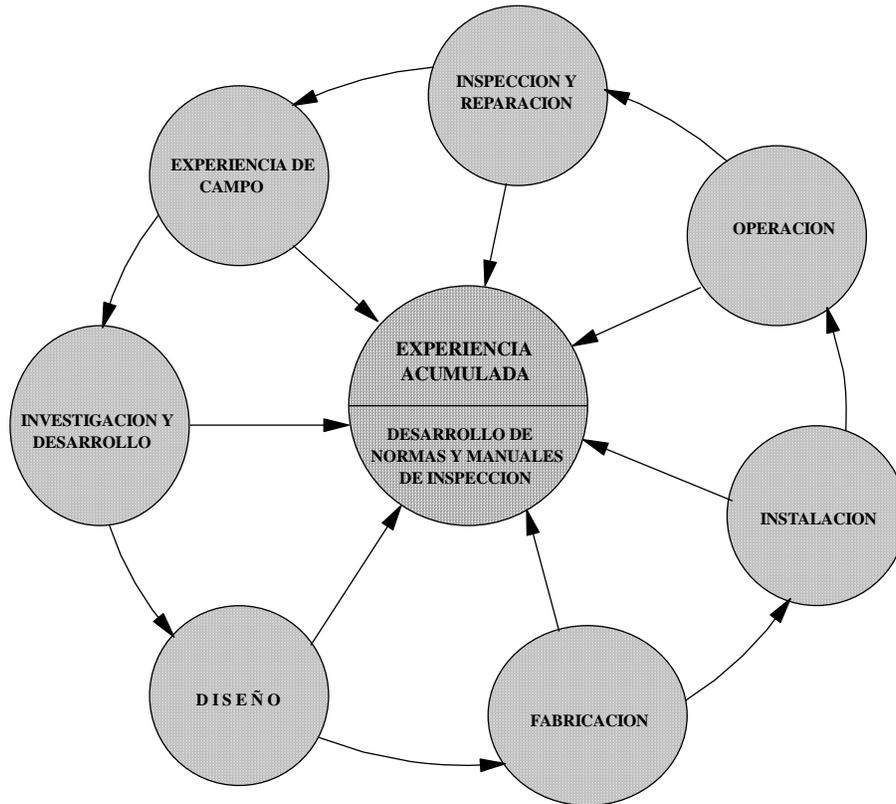


Fig.19 Círculo de Retroalimentación



4.9 Optimización de Costos Globales.

El mantener las instalaciones con el más alto nivel de seguridad a lo largo de su vida útil, es el primordial objetivo de los programas sistemáticos de inspección y mantenimiento. Sin embargo, el mejor programa de inspección y mantenimiento es aquel que logra el balance óptimo entre el nivel seguridad deseado y los costos involucrados. La estructura mejor diseñada es aquella que requiera los costos totales mínimos, que involucran los costos iniciales (diseño, fabricación, instalación, acero) y los costos futuros (mantenimiento, inspección, reparación, pérdida de producción, remoción), de acuerdo a lo escrito en la figura 20 (Bea, 1998).

Por lo tanto, el programa de inspección y mantenimiento para cada plataforma deberá ser diseñado de tal forma que se identifiquen plenamente las áreas más adecuadas y la frecuencia óptima para inspeccionar así como la técnica a emplear, en función del riesgo que representan para la seguridad de la plataforma. El riesgo será una medida de la probabilidad de ocurrencia de algún daño y las implicaciones económicas que tendría si ocurriera la falla. Es decir, tendrán mayor prioridad de ser inspeccionadas las áreas que representen los riesgos más altos.

Adicionalmente, no debe dejarse de lado la planeación logística de los trabajos de inspección y mantenimiento a efectuar en campo, que puede representar también ahorros sustanciales de tiempo y recursos, y ayudar a evitar problemas que en un momento dado pueden incidir en la suspensión parcial o total de las actividades, dando como consecuencia costos excesivos.

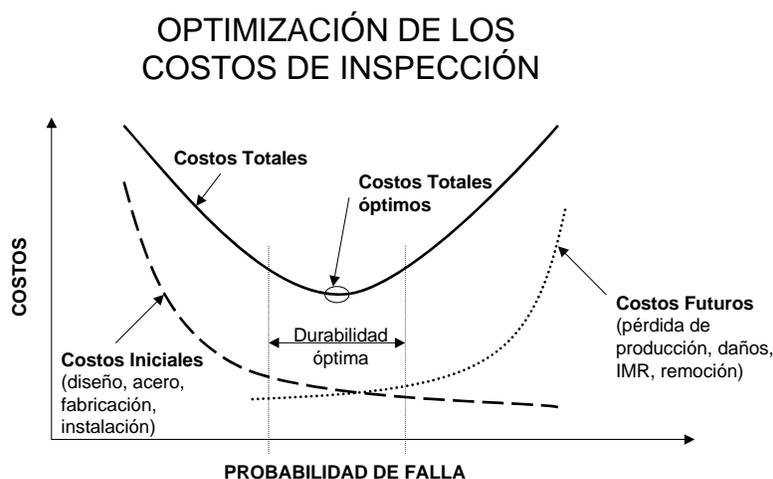


Fig.20 Costos totales (costos iniciales más costos futuros) que intervienen durante la vida útil de las plataformas

Aunado a lo anterior, se deben considerar la optimización de recursos (tiempos y costos), que ofrece el uso de equipos de apoyo en la inspección, como se refleja en las siguientes conclusiones.



COMPAÑÍAS DE INSPECCIÓN EN ESTUDIO (ROV'S)

4.10 Comparativa de Equipos y Conclusiones

A continuación se muestra la comparación de los equipos de las tres compañías de inspección en estudio (Compañía 1), (Compañía 2), y (Compañía 3). Es importante mencionar, que los equipos descritos son los indicados específicamente por dichas compañías como los que aplicarían en la inspección de estructuras marinas tipo jacket en la Sonda de Campeche.

Cabe señalar, que toda la gama de equipos mostrados en este documento son también proporcionados por las compañías y obtenidos vía Internet en sus páginas respectivas.

Los 3 equipos en estudio y su tipo con su respectiva compañía son los siguientes:

- Seaeeye Tiger (ROV, no tripulado).- (Compañía 1)
- DeepWorker (Sumergible Tripulado).- (Compañía 2)
- Deep Blue (Mini-Rov, no tripulado).- (Compañía 3)

4.10.1 CARACTERISTICAS FISICAS:

VEHICULO	LONGITUD (mm)	ALTURA (mm)	ANCHO (mm)	PESO (EN AIRE) (kg)	CARGA UTIL (kg)	PROFUNDIDAD MAX. (m)
DEEPWORKER	2500	1700	1600	2130	136	610
SEAEYE TIGER	1030	590	700	150	32	600 Y 1000
DEEP BLUE	350	210	228	3.6	-	305

4.10.2 SISTEMA DE LANZAMIENTO Y RECUPERACION DEL VEHICULO

Seaeeye Tiger

El sistema de lanzamiento que se utiliza para el Seaeeye Tiger depende de muchos factores, tales como si será lanzado desde una embarcación, el rolado de la misma, una plataforma fija, etc Se puede adecuar a muchas posibilidades. Básicamente existen dos:

- a) Grúa con un ROV de nado libre
- b) "A" Frame, utilizando un ROV con TMS.

La opción mas utilizada sería la "b", pero incluso puede utilizarse un ROV de nado libre con un "A" frame.

DeepWorker

Este sistema puede ser lanzado por medio de un "A-Frame", "Grúas Articuladas o Desarticuladas", cabe señalar que el sistema utilizado dependerá de las características de la embarcación de apoyo.



Deep Blue

Este sistema puede ser lanzado desde una plataforma fija o una embarcación por su propio cable umbilical que sirve para izar el vehículo dentro y fuera del agua.

4.10.3 MODO DE OPERACIÓN

Seaeye Tiger

Este sistema puede operar en “Nado Libre” ó por medio de un “Sistema de Manejo de Cable Umbilical (TMS, Tether Management System)”. Ver figuras 1 y 2 (5.1.3.1 ROV Observacionales) y puede ser operado desde una plataforma fija o una embarcación.

DeepWorker

Este vehículo es operado directamente por el piloto, es dirigido por pedales controlados por los pies, permitiendo que el piloto tenga las manos libres. No utiliza cable umbilical y se puede mover independientemente del barco de apoyo que está en la superficie.

Deep Blue

Este sistema opera por medio de un cable umbilical que sirve para izar el vehículo dentro y fuera del agua, y puede incrementar su longitud en 30 m. como accesorio adicional.

4.10.4 SISTEMA DE PROPULSIÓN

Seaeye Tiger

El vehículo es impulsado por 4 propulsores para desplazamiento horizontal (orientables) y 1 vertical que proporcionan control total tridimensional.

Propulsión Delantera:	62 kilos por pie
Propulsión Lateral:	43 kilos por pie
Propulsión Vertical:	22 kilos por pie

DeepWorker

Impulsado por 6 propulsores eléctricos.

Propulsión Delantera:	62 kilos por pie
Propulsión Lateral:	43 kilos por pie
Propulsión Vertical:	22 kilos por pie

Deep Blue

Esta equipado con 3 propulsores. 1 propulsor vertical colocado en la parte central del vehículo y 2 propulsores horizontales colocados a los lados (izquierdo y derecho).

4.10.5 VELOCIDAD

Seaeye Tiger

3 nudos (5.55 km/h)



DeepWorker

2.5 a 3 nudos (4.63 A 5.55 km/h)

Deep Blue

2.57 nudos (4.75 km/h)

4.10.6 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO**Seaeye Tiger**

El sistema cuenta con piloto automático de rumbo y profundidad, alto (stop) y compás de giro. Las funciones para el control tridimensional del vehículo son realizadas desde el centro de control en la superficie.

DeepWorker

El sistema cuenta con rumbo, velocidad y profundidad manual y automático.

Deep Blue

Este sistema cuenta con compás y sensor de profundidad (control manual y automático). Puede ser complementado con diversos accesorios, como sonar de exploración y otros sensores. Incluye el sonar de exploración (SeaSprite).

4.10.7 TIEMPO DE OPERACIÓN**Seaeye Tiger**

Este sistema puede realizar operaciones por largo tiempo, siempre y cuando no se suspenda la energía, la cuál es proporcionada por un generador de corriente a través de cables que van hacia la consola de control en la superficie y hacia el ROV por medio del cable umbilical.

DeepWorker

Permite una sustentación de vida de hasta 72 horas para el piloto, por su sistema de baterías recargables, lo cuál permite realizar una inspección completa en una sola operación. La compañía Anfibus cuenta con dos lotes de baterías recargables, de tal forma que la sustentación puede ser continua, salvo cuando estas deben de ser cambiadas, así como cuando se releva al piloto.

Deep Blue

Este sistema puede realizar tareas de inspección por largo tiempo, siempre y cuando no se suspenda la energía que se trasmite a través del cable umbilical desde la superficie de la embarcación de apoyo al vehículo.



4.10.8 SISTEMA DE NAVEGACIÓN Y CONTROL

Seaeye Tiger

Sistema de rastreo submarino (underwater tracking). Sistema digital de 16 bits que proporciona fácil interconexión de equipo auxiliar por el operador.

DeepWorker

Sistema de tracking por sonar acústico, compás magnético flux-gate y sensores de profundidad. Tiene un sistema de seguimiento para determinar en forma continua la ubicación del sumergible desde el barco en la superficie.

Deep Blue

El sistema es de fácil manejo mediante controles de dirección (arriba/abajo, adelante/atrás, babor/estribor).

4.10.9 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA

Seaeye Tiger

La alimentación de energía para este sistema es transmitida de un generador colocado en la superficie de la embarcación de apoyo o plataforma a través del cable umbilical que le suministra de 380-480 VAC trifásico 60 Hz.

DeepWorker

En este sistema la energía es suministrada por medio de 2 cilindros de 18" de diámetro ubicados en la parte baja del vehículo, donde se alojan 10 baterías de 55 amps. en cada cilindro (La compañía informó que cuenta con un equipo adicional en recarga mientras el vehículo se encuentra operando).

Deep Blue

La alimentación de energía para este sistema es transmitida de un generador colocado en la superficie de la embarcación de apoyo a través del cable umbilical que le suministra de 100-240 VAC 50-60 Hz 300 W.

4.10.10 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Seaeye Tiger

Cuenta con 2 lámparas individuales de 150W de intensidad variable controladas desde la superficie. Colocadas en la cámara giratoria para obtener imágenes de mayor calidad.

DeepWorker

Cuenta con un sistema Newt line 200/600 watts

Deep Blue

Cuenta con 2 lámparas de halógeno de alta eficiencia de 20 watts, controladas desde la superficie. También incluye una gama de LED de alta potencia para iluminación.



4.10.11 VIDEO Y FOTOGRAFÍA

Seaeye Tiger

Cámaras a color y en blanco y negro y cámara fotográfica digital

DeepWorker

Cámaras de video: 2

Cámaras fotográficas: 2

Deep Blue

El sistema cuenta con una cámara de color que le permite la exploración subacuática, presentando en tiempo real la imagen a color en un monitor, pudiendo ser registrada en video para su posterior análisis y estudio, pantalla de color LCD de 5 pulg. Son de alta resolución de 570 líneas, cámaras de color de 0,1 lux, que se pueden inclinar 160 grados. También incluye cámara posterior (blanco y negro) con 430 líneas, 0,1 lux y una gama de LED de alta potencia para iluminación.

4.10.12 EQUIPO DE APOYO EN MANIOBRAS

Seaeye Tiger

Brazos de apoyo a maniobras o actividades: Manipulador de una función con opción para manipulador de 4 funciones.

DeepWorker

Brazo de apoyo HLK-CRA6 de 6 funciones, con sistema hidráulico Hydro-Lek de 2,200 psi.

Deep Blue

Información no proporcionada por la compañía

4.10.13 EQUIPO OPCIONAL PARA INSPECCIÓN DE SUBESTRUCTURA

Seaeye Tiger

Limpieza:

Cepillo de alambre, bomba de baja presión Subjet, cortador, protección catódica.

Inspección

2 cámaras de video y cámara fotográfica con capacidad para tomar fotografías digitales. Títulos en el video (Video overlay)

Cortador/equipo de protección catódica. Equipo de inspección de miembros inundados (GFMD), bomba de baja presión Subjet



DeepWorker

Limpieza:

Water Blaster con accesorios para adaptar al vehículo

Cepillo hidráulico con accesorios para adaptar al vehículo

Equipo de chorro de arena con accesorios para adaptar al vehículo

Inspección:

Lote de equipo de inspección

Equipo para verificar potenciales adaptado al vehículo.

Deep Blue

Información no proporcionada por la compañía

4.11 NUMERO DE VEHÍCULOS CONSIDERADOS PARA LA INSPECCIÓN:

Seaeye Tiger

La compañía recomienda el empleo de 2 unidades para la inspección de 1 plataforma (subestructura)

DeepWorker

La compañía recomienda el empleo de 1 unidad para la inspección de 1 plataforma (subestructura)

Deep Blue

Información no proporcionada por la compañía

4.12 REQUERIMIENTO DE PERSONAL

Seaeye Tiger

Inspector Coordinador	2
Supervisor de ROV	4
Técnicos de ROV	4
Grabadores de datos	4
Surveyor	1
Ingeniero de miembros inundados	1
Ingeniero de protección catódica	2
Gerente Costa Afuera	1

DeepWorker

Personal para inspección de subestructura:

Supervisor de pilotos	1
Pilotos (inspector NII)	4
Auxiliar de pilotos	1
Electromecánico	4



Cabo de maniobras	1
Maniobrista	2

Personal de supervisión, control y reportes:

Reptte de compañía	1
Suptte de operaciones	1
Capturista	2
Capturista sist. Informático SIST. SCIIM	1
Ingeniero evaluador	1
Seguridad industrial	1
Medico	1

Equipo de inspección, video y fotografía

Detector de falla por ultrasonido
Medidor de espesores
Equipo de inspección MPI
Equipo de medición manual
Equipo de verificación de nivelación
Equipo de fotografía
Equipo de cómputo

Deep Blue

Información no proporcionada por la compañía

4.13 NIVELES DE INSPECCIÓN

Seaeye Tiger

Inspección Visual General y potencial catódico (I y II)

DeepWorker

Este vehículo puede ser equipado de manera opcional para inspección mediante pruebas no destructivas: medidor de potenciales catódicos y detector de grietas por fatiga (ACFM).
Equipo de chorro de arena, cepillo hidráulico.

Deep Blue

Inspección Visual General y potencial catódico (I y II)

Por las características anteriores, puede considerarse que los equipos descritos cubren los requisitos para los 3 niveles de inspección, sin embargo, no se mostró evidencia de que cumplan satisfactoriamente los niveles II y III.

Estrictamente, la compañía Subsea7 (Compañía 1), cuenta con equipos para el manejo del nivel III de inspección. Sin embargo, indicaron específicamente que ellos no trabajarían en este nivel de inspección.



4.14 TIEMPO ESTIMADO PARA INSPECCIÓN DE 1 OCTÁPODO:

Seaeye Tiger

0.75 días aproximadamente (La compañía considera que 1 ROV realiza la inspección de un octápodo en 36.2 hrs. y recomienda el uso de 2 ROV operados en la misma embarcación para reducir el tiempo de inspección).

DeepWorker

0.9 días aproximadamente.

Deep Blue

Información no proporcionada por la compañía

El tiempo indicado, esta en base a la inspección de 30 plataformas (octápodos).

4.14.1 EMBARCACIÓN DE APOYO

Seaeye Tiger

Tipo:	DP2
Eslora:	68 m
Manga:	11.5 m
Puntal:	N/A
Calado:	4 m
Tripulación:	Depende de la embarcación
Capacidad de alojamiento:	20 + tripulación +personal PEP +personal de limpieza
Año de construcción	N/A
Lugar de origen	EUA Golfo de México

DeepWorker

Tipo:	abastecedor convencional
Eslora:	147 ft
Manga:	29 ft
Puntal:	14 ft
Calado:	9 ft
Lugar de origen:	EUA Golfo de México

Deep Blue

Opcional (Puede ser operado desde una plataforma fija o una embarcación).



4.15 CONCLUSIONES:

Derivado de la información anterior se observa que de los 3 modelos analizados (Seaeye Tiger, DeepWorker, y Deep Blue), el **DeepWorker** es el que reúne mayores ventajas sobre los otros 2 modelos, mismas que se enlistan a continuación.

4.15.1 Ventajas:

- No requiere del uso de cable umbilical. Por lo que puede moverse libremente y de forma independiente a la embarcación de apoyo. Ya que el uso de umbilical además de estar expuesto a enredarse o cortarse, limita el alcance del área de inspección y requiere de una mayor logística para cubrir esta área, lo cual implica un mayor tiempo en la ejecución de los trabajos y por ende mayores tiempos muertos.
- En caso de realizar una recuperación urgente del vehículo, está será más rápida y menos problemática, que aquellos que tienen cable umbilical.
- No requiere que la embarcación de apoyo tenga que reposicionarse o realizar maniobras durante la inspección de los diferentes elementos; inclusive la embarcación puede estar o no presente durante el desarrollo de la inspección.
- No requiere abastecerse de energía desde la superficie. Lleva consigo un sistema de baterías.
- Tiene un tiempo de operación de 72 horas (Suficiente para realizar toda la inspección en una sola inmersión, según información proporcionada por la compañía).
- Puede operar libremente hasta 610 m. de profundidad. (Superando por mucho las profundidades requeridas en las instalaciones localizadas en la Sonda de Campeche).
- Puede soportar una carga útil de 136 kg. Mucho mayor que la que soportan los otros 2 modelos.
- Tiene mayor número de propulsores con respecto a los otros 2 modelos.
- Alcanza una velocidad de 3 nudos (5.55 km/h) junto con el Seaeye Tiger.
- El vehículo es dirigido por pedales controlados por los pies, permitiendo que el piloto tenga las manos libres. Lo que permite que el piloto pueda realizar en forma directa su reporte.
- La inspección se documenta en video digital y en fotografías con imágenes fijas para su fácil transferencia electrónica al cliente.
- Está configurado con módems de telemetría acústica digitales Datasonic, lo cual le proporciona la habilidad de transferir información del vehículo a la superficie con tecnología acústica digital inalámbrica.
- Además de su configuración estándar que incluye dimensionamiento de daños por medio de láser y sonar de largo y corto alcance, puede ser equipado de manera opcional para inspección mediante pruebas no destructivas: medidor de potenciales catódicos y detector de grietas por fatiga (ACFM). Por lo que puede considerarse que cubre los requisitos para los 3 niveles de inspección. (según información proporcionada por la compañía).
- No requiere tratamientos de descompresión como en el caso de buceo.



- Alivia al buzo del uso de equipo (cascos y máscara que limita el rango de visión), de tratamientos de descompresión en su ascenso y de limitaciones físicas, gracias a su moderna tecnología, diseño ergonómico inherente y su puerto de visión (domo esférico de 25”), le proporcionan al piloto una vista sin precedentes en un ambiente de confort, lo que amplía el alcance en la inspección comparada con la que se realizaría con la técnica convencional de buceo.

4.15.2 Desventajas:

- Tiene tamaño y peso considerables lo que limita las inspecciones en áreas reducidas y/o en zonas donde inciden varios elementos.
Longitud: 2500 mm
Altura: 1700 mm
Ancho: 1600 mm
Peso (en el aire): 2130 kg
- Requiere embarcación de apoyo, a diferencia del mini rov Seaeye Tiger.
- Requiere de más personal de apoyo en la superficie que el modelo Deep Blue, pero menos que el Seaeye Tiger.
- El piloto es el único que puede ver la información en tiempo real.
- Su tiempo de operación es limitado por su sistema de alimentación de energía, ya que si se requiere de más tiempo del que soportan las baterías, tendría que extraerse el vehículo del agua y sustituir los cilindros, lo que implica tiempos muertos para esta operación, así como para realizar el relevo del piloto.
- Existe el riesgo de la vida humana, ya que se continúa con la presencia de un piloto dentro del UOV, por lo que se tiene que considerar un plan emergente en caso de asistir al piloto en una contingencia; sin embargo, la compañía comentó que los pilotos y personal operativo adicional, son generalmente buzos y gente que cuenta con la experiencia y a la cual se le puede emplear en situaciones de ese tipo.



4.16 COMPAÑÍAS DE INSPECCIÓN EN ESTUDIO (BUCEO).

Compañía: (Compañía 2)

Esta compañía (comparada con Subsea7 (Compañía 1) y Madosa (Compañía 2), es la única que ofrece también los servicios de inspección de subestructuras de plataformas marinas, con la técnica tradicional de buceo.

A continuación se presenta la información proporcionada por la compañía para esta técnica de inspección.

4.16.1 Características de embarcación de apoyo

Embarcación de apoyo: *RENTADA*

Tipo:	Abastecedor con cuatro puntos de anclaje
Eslora:	50 m (164 ft)
Manga:	11 m (36 ft)
Puntal:	4.9 m(16 ft)
Calado:	4 m (13 ft)
Tripulación:	8 tripulantes
Capacidad de alojamiento:	36 Anfibus (Compañía 1) + 8 Tripulación + 1 Pemex
Año de construcción:	1995
Lugar de origen :	Estados Unidos

4.16.2 Buceo con aire

Cascos para buceo (con sistema de TV circuito cerrado)	2
Cascos para buceo	3
Mascaras para buceo	3
Umbilicales para suministro de aire	7
Control de buceo	2
Cámaras de descompresión	3
Compresores de baja presión	3
Compresores de alta presión	1
Sistemas de filtros para aire	2
Sistema de comunicación submarina	2
Tanque autónomo para salida de emergencia	8
Rack de alta	2
Equipo de buceo autónomo	3
Equipo de buceo básico (Trajes de neopreno, Aletas, etc.)	12

4.16.3 Personal de buceo

Mecánico de cubierta	1
Supervisor de buceo	2
Buzos Inspectores certificados en PND N-II	4
Buzos Inspectores certificados en PND N-I	8
Buzos para actividades de apoyo	4
Cabo de maniobras	1
Maniobrista	2



4.16.4 Personal para inspección de superestructura

Ingeniero de campo	1
Técnico Inspector N-II	1
Técnico Inspector N-I	2
Maniobrista	3

4.16.5 Personal de supervisión, control y reportes

Rppte. de compañía	1
Suptte de buceo	1
Capturista	4
Capturista sistema informativo SIST. SCIIM	1
Ingeniero evaluador	1
Seguridad Industrial	1
Medico	1

Total de personas 39

4.16.6 Equipos

4.16.6.a Subestructura (todos los niveles):

Limpieza:

Water Blaster	1
Cepillo hidráulico	1
Equipo de chorro de arena	1
Equipo de limpieza manual mecánica	1

Inspección:

ACFM	1
Equipo de inspección MPI submarino	2
Medidor de espesores submarino	2
Equipo de video y fotografía submarino	2
Equipo para verificar potenciales	2

4.16.6.b Superestructura (todos los niveles):

Limpieza:

Equipo de limpieza manual mecánica	1
Equipo de limpieza con chorro de arena	1

Inspección, video y fotografía:

Detector de falla por ultrasonido	2
Medidor de espesores	2
Equipo de inspección MPI	2
Equipo de medición manual	2
Equipo de verificación de nivelación	1
Equipo de fotografía	1
Equipo de cómputo	1



Equipo de maniobras:

Andamios	1
Lote de equipo de maniobras	1

4.16.6.c Tiempo estimado para la inspección de un octápodo (VGE) hasta 50 m.

1.9 Días

4.16.6.d Tiempo estimado para la inspección de un octápodo (VGE) más de 50 m. y hasta 79 m.

2.8 Días

4.16.7 CONCLUSIONES (BUCEO):

4.16.7.a Ventajas:

- Puede satisfacer los requisitos para los niveles I, II y III de inspección.

4.16.7.b Desventajas:

- Requiere embarcación de apoyo.
- Requiere de gran cantidad de equipo y personal.
- Su tiempo de operación es limitado por tratamientos de descompresión.
- El tiempo de inspección, aumenta con respecto al uso de ROV (Nivel I comparado)



4.17 TENDENCIA DE VEHICULOS DE OPERACIÓN REMOTA A NIVEL MUNDIAL

Existen estructuras de acero muy grandes en el Mar del Norte y en aguas del golfo de los E.E.U.U., muchos de las cuales han estado en funcionamiento por años. Para mantener la rentabilidad de estos activos, sus operadores están buscando nuevas formas de mantenimiento e inspección a estas plataformas.

Esto requiere que la integridad de las estructuras en términos de corrosión y de fatiga esté determinada y garantizada, probablemente más allá de la vida útil del diseño, y esto requerirá de una inspección extensa. La inspección detallada de muchos centenares de los nodos estructurales, la mayoría de los cuales requerirán primero de limpieza y esta es una tarea masiva, y solo es realmente rentable si puede hacerse en forma automatizada, y esta será probablemente una de las aplicaciones principales de los ROV's a futuro.

La tecnología del vehículo no tendrá que mejorar grandemente puesto que continuarán probablemente siendo lanzados cerca del sitio con un umbilical para la energía, pero la automatización de los usos continuará avanzando. Los sistemas están ya en la etapa de desarrollo, por lo que el vehículo volará a una localización general, identificando al nodo que esta buscando, se aprenderá la geometría, limpiará y examinará. Esto requerirá de brazos robóticos sofisticados, sistemas de medición que emplean sonar o tecnología láser, y paquetes que modelan la geometría sólida.

Los ROV's también realizarán tareas programadas: es decir, no habrá piloto en los controles continuamente; el ROV realizará el trabajo solamente supervisando el control.

Una limitación importante respecto al desarrollo de los ROV's se relaciona actualmente con la energía a bordo. La investigación y el desarrollo se han lanzado en busca de tecnología conveniente de baterías de combustible.

Sin embargo, no hay actualmente medios de proveer las demandas de la alta energía requerida de la clase ROV de trabajo (para los propulsores - para superar grandes fuerzas hidrodinámicas, para las herramientas, los manipulantes, etc.) a un costo efectivo, y en paquetes autónomos lo suficientemente pequeños para llevarlos a bordo. Por lo tanto, es necesario que la energía se proporcione vía un cable umbilical; y puesto que los cables tienen que ser utilizados para la energía, también se utilizan para el control y la adquisición de video y de datos.



4.17.1 ROV'S OBSERVACIONALES

En la actualidad, existen varias compañías que se dedican a la fabricación de vehículos de operación remota ROV's (por sus siglas en inglés). Cada compañía trata de estar a la vanguardia en tecnología y de mejorar y perfeccionar sus productos. En cuestión de tecnología de inspección de plataformas costa afuera por medio de ROV's, los que soporten una mayor carga útil, los que alcancen una mayor profundidad de operación, los que estén mejor equipados con herramienta de trabajo para inspección, alcancen una mayor velocidad, sean de materiales ligeros; pero a la vez resistentes entre otros aspectos son los que favorecen a obtener mejores resultados y satisfacción en el trabajo.

Algunas compañías que manejan ROV's observacionales y Mini-Rov se mencionan a continuación, estas presentan ventajas de sus productos como por ejemplo; mayor profundidad, mayor velocidad, mayor cantidad de propulsión, mayor capacidad de carga útil etc.

4.17.1.a Argus Remote Systems

Cuenta con el ROV "ROVER MKII" que puede alcanzar una profundidad de operación de hasta 4000 m (13000 ft), una de las mayores alcanzadas en la actualidad por un ROV. Pesa 250 kg, capacidad de carga útil de 80 kg cuenta con 6 propulsores, puede operar en nado libre o con sistema TMS, se le pueden adaptar brazos de apoyo a maniobras

ROV: Argus - Rover MKII

Website ▶	www.argus-rs.no
Depth Rating ▶	up to 4000 meters / 13000 ft.
Payload ▶	80 kg
Weight ▶	250 kg / 550 lbs
Length ▶	1400 mm / 55 inches
Width ▶	900 mm / 35 inches
Height ▶	900 mm / 35 inches

4.17.1.b Nova Ray

Esta compañía cuenta con varios modelos, que alcanzan una profundidad de 300 m con pesos que van de 25 a 37 Kg. y cuenta con umbilical de longitud de 91.4 m (300 ft) su principal ventaja es que manejan velocidades de 6 hasta 9 nudos. Tal vez la mayor



Website ▶	www.novaray.com
Depth Rating ▶	up to 300 meters / 1000 feet
Speed (forward) ▶	up to 6 knots - thruster power and/or towed
Length ▶	1022 mm / 40 inches
Width ▶	997 mm / 39 inches
Height ▶	229 mm / 9 inches (body), 356 mm / 14 inches (rudder)
Weight ▶	81 pounds / 37 kg

Otra de las compañías que manejan este tipo de ROV y además opera en América es la compañía "Subsea7", que además de fabricar sus propios vehículos, también ha adquirido ROV's de la compañía "Sea Eye" como es el caso del ROV Seaye Tiger.

La compañía "VideoRay" ha incluido en su sistema de ROV "VideoRay 2002" lo último en tecnología, con este sistema se puede incorporar una prueba de inspección ultrasónica para obtener datos del espesor de pared de estructuras submarinas, tiene un sistema de sonar "Scanning Sonar System" y varios sensores.

4.17.2 ROV'S CLASE DE TRABAJO

Los ROV de trabajo son capaces de llevar consigo equipo para pruebas no destructivas (NDT) esta herramienta puede ser adaptar al ROV. Para esto se deben considerar la potencia del equipo, el tamaño, el sistema de telemetría y el acceso a las áreas de trabajo.

Los ROV han mostrado en numerosas ocasiones que puede realizar tareas de inspección igual o mejor que los buzos. Estos no tienen tiempo límite para permanecer en el fondo del mar y el ingeniero a cargo de la prueba en superficie puede guiar al ROV y los sensores de la manera que el prefiera. El ingeniero en pruebas no destructivas, el supervisor de buceo y los buzos en tareas de pruebas no destructivas incluyen al factor humano (buzos) y son perjudiciales sustancialmente en Radiación, esta es una tarea que puede ser llevada a cabo en forma segura con el uso de ROV.

Estos sistemas pueden ser muy potentes tanto en capacidad como en velocidad. Hoy en día lo habitual es que un ROV de este tipo tenga una potencia superior a 100 hp y un peso de aproximadamente 3 toneladas, una carga útil de más de 200 kg y una profundidad de trabajo de más de 2000 m. La mayoría de los ROV de este tipo utilizan corriente suministrada por el umbilical para propulsar un grupo hidráulico que a su vez suministra potencia a los propulsores, manipuladores, etc.

Estos ROV están normalmente dotados de dos manipuladores y varias salidas hidráulicas para herramientas. Permiten telemetría de varios sensores de forma simultánea y los ROV más grandes se utilizan normalmente con sistema TMS.



Hasta marzo del 2004 se tenía un estimado de 435 ROV de trabajo activos a nivel mundial. Las 7 principales compañías que operan la mayoría de estos sistemas con un total de 435 son:

ROV DE TRABAJO EN OPERACIÓN A NIVEL MUNDIAL	
Oceaneering International, Inc.	152
Subsea 7 (Halliburton/Subsea)	78
Stolt (Stolt/Comex/Seaway)	35
Sonsub (Saipem)	59
Fugro (ex Racal/Thales)	36
Canyon (Cal Dive)	23
Technip-Coflexip	22
Sistemas operados por pequeñas compañías	30
Total	435

En Norteamérica las principales compañías que operan con ROV son:

- American Pacific Marine
- Antex Services Inc.
- Caldive International
- Canyon offshore Inc.
- Deep Sea International
- Diving & Hydrography
- Dominion Diving Ltd.
- Global Industries Ltd.
- Harbor Branch Oceanographic Institution Inc.
- Oceaneering International
- Sonsub International Inc.
- Subsea7
- Submersible Systems Inc.
- Underwater Resources Inc.

En brasil:

- Hydratec Tecnologia Submarina LTDA
- DSND Consub S.A.



4.17.3 Conclusiones

Una de las compañías con mayor presencia en América del Norte es “Oceaneering Internacional” que gracias al mejoramiento de las funciones de sus Vehículos Operados Remotamente (ROV), a sus productos marinos y de inspección, ha reportado en el primer trimestre del 2005 ingresos mayores en un 35% respecto del mismo periodo del 2004, y recientemente incrementó su flota de vehículos a 180 aproximadamente de los cuales, el 81 por ciento se encuentran activos. Respecto a operaciones de inspección, esta compañía ha obtenido mayores ingresos en este aspecto en la primera mitad del 2005 que en todo el año 2004.

Recientemente, la compañía “**(Compañía 1)**” en combinación con los expertos en láser de Smart Light Device Ltd. han desarrollado un sistema de detección de fugas basado en un láser el cual ofrece un cambio gradual en la capacidad de detección sobre el equipo convencional. Este equipo flexible, innovador y probado en campo es una herramienta de búsqueda y localización que activamente rastrea las indicaciones del trazador de tinta, la fluorescencia se utiliza comúnmente como un identificador de fugas en tubos ascendentes y en sistemas de inyección de agua. La aplicación de esta tecnología ha demostrado resultados impresionantes en campo, localizando ya sea un área de menor daño hasta un revestimiento externo de la tubería ascendente permitiendo la reparación de la abrazadera subsecuente y así asegurar la integridad continua del ducto ascendente.

La detección efectiva de averías usando tecnología láser, basado en el sistema de detección por fluorescencia ha permitido acercamientos más convencionales y ha abierto desafíos para otras aplicaciones. El uso del láser en el ambiente marino traerá beneficios tecnológicos y de aplicación más rápida.



Una de las cualidades que se tienen los ROV de trabajo es que pueden alcanzar grandes profundidades, como es el caso de el ROV de la foto superior “KAIKO” que fue remodelado para alcanzar profundidades de 7000 m. este ROV esta dividido en 2 partes: lanzador y vehículo.



Visualización en tercera dimensión

La informática utilizada para la visualización en tiempo real ha llegado a ser recientemente viable y comercial para el uso submarino. Esta capacidad combinada con los avances recientes en sonar, tecnología de instrumentación y de posicionamiento ha permitido el uso de los sistemas de visualización en tiempo real en el ambiente costa afuera. Esta tecnología proporciona ya un ahorro de costo operacional costa afuera. Una vez que se ha hecho una prueba patrón para esta tecnología, el uso de la visualización 3D se puede ahora poner en ejecución en otras áreas de operaciones submarinas. La capacidad de visualización en tiempo real permite que por primera vez, se obtenga una visión en tiempo real y detallada de actividades submarinas. Este es un paso del cómo obtener una visión en tercera dimensión de planos del suelo marino y el impacto significativo que tendrá en operaciones futuras. Esto puede ser utilizado en el tendido de líneas submarinas y de inspección de líneas y de estructuras que resultan peligrosas y costosas para la inspección por el ser humano.

Respecto a los vehículos tripulados, existen muy pocas compañías que manejan este sistema, uno de los vehículos tripulados más populares es el DEEPWORKER, que es uno de los sistemas más actuales y modernos que existen a nivel mundial y además es uno de los de menores dimensiones y por tanto más ligeros.

Otros modelos existentes son:

- Cyana – Francia - que puede alcanzar una profundidad de hasta 3000 m
- Nautilo – Francia – puede sumergirse hasta 6000 m
- Jago – Alemania - 500 m de profundidad
- Sever – Ucrania – para 2000 m.

Los anteriores tienen el inconveniente de ser de muy grandes dimensiones (el menor de los anteriores tiene mínimo 3 m de altura), por lo que no son convenientes para inspección de todo tipo de elementos. Además de ser muy costosos.

Se concluye finalmente que la tendencia del desarrollo tecnológico para realizar inspecciones en plataformas costa afuera, está enfocada a los vehículos de operación remota (ROV), cuyo objetivo es mejorar y perfeccionar sus componentes de tal forma que soporten una mayor carga útil, que alcancen una mayor profundidad de operación, que estén mejor equipados con herramienta de trabajo para inspección en todos los niveles (I, II y III), que alcancen una mayor velocidad, que sean de materiales ligeros; pero a la vez resistentes entre otros aspectos para favorecer la obtención de mejores resultados y satisfacción en el trabajo y principalmente, sin poner en riesgo la vida de seres humanos en ambientes hostiles; todo esto en tiempo real.



Referencia Bibliográfica.

1. API RP2A-LRFD - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Load and Resistance Factor Design. Mayo 2003. American Petroleum Institute.
2. . API-RP-2A WSD - Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms. Diciembre 2002. American Petroleum Institute.
3. Bea R. G., 1997, *Risk based Oceanographic Criteria for Design and Requalification of Platforms in the Bay of Campeche*, Marine Technology & Management Group, University of California at Berkeley, CA USA.
4. Entregable A-V-F.32059-1815-31-B.1. Rev. 0 - Establecimiento de las relaciones entre eventos y condiciones para la planeación de las inspecciones mediante redes bayesianas. Noviembre del 2004. Instituto Mexicano del Petróleo.
5. Entregable A-V-F.32059-1815-31-E.1. Rev. 0 - Fundamentos teóricos que soportan el funcionamiento del programa π -RED. Enero 2005. Instituto Mexicano del Petróleo.
6. Entregable A-F.32101-1815-31-A.1. Rev 0. - Procedimiento de Implantación de la Filosofía de Inspección Revisión 3, 2004. Agosto del 2005. Instituto Mexicano del Petróleo.
7. Entregable A-F.32101-1815-31-C-RI Rev 0. - Análisis Costo - Beneficio para la optimización de los recursos empleados en la inspección de plataformas marinas (Buceo-ROV). Agosto del 2005. Instituto Mexicano del Petróleo.
8. Filosofía de inspección y mantenimiento de plataformas marinas fijas localizadas en la Sonda de Campeche Rev. 3, Diciembre del 2004. Instituto Mexicano del Petróleo
9. Pemex Exploración y Producción Especificación Técnica para inspección de plataformas marinas P.6.0131.01 “Inspección de Plataformas Marinas Fijas de Acero” Segunda Edición Marzo 2006.
10. Pemex Exploración y Producción / Instituto Mexicano del Petróleo, 2000, *Norma de Referencia NRF-003-PEMEX-2000 para Diseño y la Evaluación de Plataformas Marinas Fijas en la Sonda de Campeche*.