



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE QUÍMICA

### TESIS



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA

297904

## Bases de la Ingeniería de Seguridad Preventiva en el Complejo Akal-L

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A:

*Roberto Paul Pérez Caltempa*



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.

---

## JURADO ASIGNADO:

|               |  |
|---------------|--|
| Presidente    | Prof. José Antonio Ortiz Ramírez       |
| Vocal         | Prof. José Agustín Texta Mena          |
| Secretario    | Prof. Alejandro Villalobos Hiriart     |
| 1er. Suplente | Prof. Ramón Edgar Domínguez Betancourt |
| 2º. Suplente  | Prof. Gerardo Aramburo Pérez           |

SITIO EN DONDE SE REALIZÓ EL TEMA:

## INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO

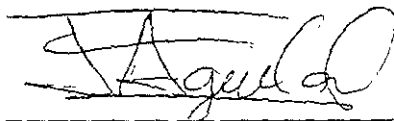
ASESOR DEL TEMA:



---

ING. ALEJANDRO VILLALOBOS HIRIART

SUPERVISOR TÉCNICO



---

ING. FRANCISCO GUTIERREZ AGUILAR

SUSTENTANTE



---

ROBERTO PAUL PÉREZ CALTEMPA

---

*A mis papitos:*

*Roberto Pérez Millán*

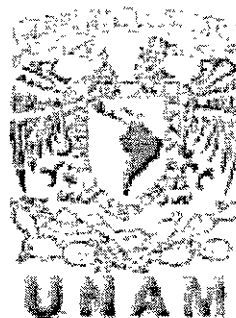
*Esthela St. Callemja Sánchez*

*a quienes adoro y les debo  
todo lo que soy y seré.*

*A mi querido hermano  
Jonathan.*

*A la fortaleza y guarra de mi papá,  
quien es el gran ejemplo a seguir  
en mi vida.*

*A mi querida escuela y alma mater*



*A todas las grandes amistades que se dieron a raíz de la elaboración de este trabajo en el Instituto Mexicano del Petróleo*

*Un muy especial agradecimiento a mi asesor y admirable maestro, quien siempre me apoyó en cualquier circunstancia*  
*Ing. Alejandro Villalobos Hirriart*

*A*  
Q.K.L.G.M

*Al Instituto Mexicano del Petróleo  
por las facilidades otorgadas  
para la realización de este trabajo*



*Hemos tenido la suerte*

*Solo por esos recuerdos que nos hacen disfrutar el ayer,  
que nos tienen día a día sin saber que habrá  
otra cosa que no sea el de volcernos a ver  
tal como lo planeé.*



*Solo por esos momentos existentes en la memoria de un día,  
que nos hacen recordar un día de un día,  
que nos tienen de un día y recobramos  
de felicidad.*

*CKL*

# Í N D I C E

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b><u>INTRODUCCIÓN</u></b> ..... | 1 |
|----------------------------------|---|

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| <b>1 <u>GENERALIDADES</u></b> ..... | 4 |
|-------------------------------------|---|

|   |   |
|---|---|
| <b>1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PLATAFORMAS MARINAS POR SU ESTRUCTURACIÓN</b> ..... | 8 |
|---|---|

|                              |   |
|------------------------------|---|
| 1.1.1 PLATAFORMAS FIJAS..... | 9 |
|------------------------------|---|

|  |   |
|--|---|
| 1.1.1.1 Plataforma "Jacket" o convencional de acero..... | 9 |
|--|---|

|  |    |
|--|----|
| 1.1.1.2 Plataforma de concreto por gravedad..... | 12 |
|--|----|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1.1.1.3 Trípode de acero..... | 13 |
|-------------------------------|----|

|  |    |
|--|----|
| 1.1.2 PLATAFORMAS SEMIFIJAS O FLEXIBLES..... | 13 |
|--|----|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1.1.2.1 Torre atirantada..... | 14 |
|-------------------------------|----|

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1.1.2.2 Articulada..... | 14 |
|-------------------------|----|

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1.1.3 FLOTANTES O MÓVILES..... | 14 |
|--------------------------------|----|

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 1.1.3.1 Sumergible..... | 15 |
|-------------------------|----|

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1.1.3.2 Semisumergible..... | 15 |
|-----------------------------|----|

|  |    |
|--|----|
| 1.1.3.3 Piernas tensionadas (TLP)..... | 16 |
|--|----|

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 1.1.3.4 Autoelevables..... | 16 |
|----------------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| 1.1.3.5 Barcos de producción, almacenamiento y descarga (FPSO)..... | 17 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>1.2 PLATAFORMAS QUE INTEGRAN UN COMPLEJO EN LA SONDA DE CAMPECHE</b> ..... | 18 |
|---|----|

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1.2.1 PLATAFORMA DE PERFORACIÓN..... | 18 |
|--------------------------------------|----|

|  |    |
|--|----|
| 1.2.2 PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN (TEMPORAL)..... | 18 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| 1.2.3 PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN (PERMANENTE)..... | 19 |
|--|----|

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1.2.4 PLATAFORMA DE ENLACE..... | 19 |
|---------------------------------|----|

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 1.2.5 PLATAFORMA DE COMPRESIÓN..... | 19 |
|-------------------------------------|----|

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1.2.6 PLATAFORMA HABITACIONAL..... | 20 |
|------------------------------------|----|

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1.2.7 PLATAFORMA DE REBOMBEO..... | 20 |
|-----------------------------------|----|

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 1.2.8 PLATAFORMA DE INYECCIÓN..... | 20 |
|------------------------------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1.2.9 QUEMADOR..... | 21 |
|---------------------|----|

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 1.2.10 PUENTES DE COMUNICACIÓN..... | 22 |
|-------------------------------------|----|

|            |   |    |
|------------|---|----|
| <b>1.3</b> | <b>HISTORIA DE LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN PETROLERA EN MÉXICO</b> .....       | 23 |
| <b>2</b>   | <b><u>JUSTIFICACIÓN</u></b> .....   | 28 |
| <b>2.1</b> | <b>ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS</b> .....   | 28 |
| <b>2.2</b> | <b>INFORMACIÓN DE CANTARELL</b> .....   | 31 |
| <b>2.3</b> | <b>PROYECTO CANTARELL</b> .....   | 40 |
| 2.3.1      | OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO DE CANTARELL.....                              | 41 |
| 2.3.2      | RAZONES PARA EFECTUAR EL PROYECTO DE CANTARELL Y LAS EMPRESAS INVOLUCRADAS..... | 46 |
| <b>2.4</b> | <b>CASO DEL FUTURO COMPLEJO DE AKAL "L"</b> .....                               | 50 |
| <b>3</b>   | <b><u>TEORÍA DE LA SEGURIDAD</u></b> .....                                      | 53 |
| <b>3.1</b> | <b>LA SEGURIDAD INDUSTRIAL</b> .....  | 53 |
| 3.1.1      | FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OCURRENCIA DE ACCIDENTES.....                       | 54 |
| 3.1.2      | CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES QUE PERTURBAN AL PERSONAL.....                     | 56 |
| 3.1.3      | RIESGOS DE TRABAJO.....   | 60 |
| <b>3.2</b> | <b>TEORÍA DEL FUEGO</b> .....   | 64 |
| 3.2.1      | MODELOS REPRESENTATIVOS DEL FUEGO.....  | 64 |
| 3.2.2      | ASPECTOS QUÍMICOS Y FÍSICOS DEL FUEGO.....                                      | 65 |
| <b>3.3</b> | <b>TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES</b> .....                          | 66 |
| 3.3.1      | COMBUSTIBLES SÓLIDOS.....   | 66 |
| 3.3.2      | COMBUSTIBLES LÍQUIDOS.....  | 67 |
| 3.3.3      | COMBUSTIBLES GASEOSOS.....  | 70 |
| <b>3.4</b> | <b>EL OXÍGENO Y LAS FUENTES DE IGNICIÓN</b> .....                               | 72 |
| 3.4.1      | EL OXÍGENO.....   | 72 |
| 3.4.2      | FUENTES DE ENERGÍA O DE IGNICIÓN.....   | 72 |



|  |     |
|--|-----|
| <b>3.5 FACTORES QUE COADYUVAN A LA EXPANSIÓN DE UN INCENDIO</b> .....      | 74  |
| 3.5.1 EFECTOS DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN.....                       | 76  |
| <b>4 SISTEMAS DE DETECCIÓN DE GAS Y FUEGO EN PLATAFORMAS MARINAS</b> ..... | 78  |
| <b>4.1 DETECTORES DE FUEGO</b> .....                                       | 82  |
| 4.1.1 DETECTORES DE FLAMA.....   | 82  |
| 4.1.1.1 Detector de flama infrarrojo.....                                  | 83  |
| 4.1.1.2 Detector de flama fotoeléctrica.....                               | 83  |
| 4.1.1.3 Detector de oscilación de flama.....                               | 84  |
| 4.1.1.4 Detector de flama tipo ultravioleta (UV).....                      | 84  |
| 4.1.1.5 Detectores de flama tipo ultravioleta-infrarrojo (UV-IR).....      | 85  |
| 4.1.1.6 Detectores de flama tipo infrarrojo-infrarrojo (IR-IR).....        | 85  |
| 4.1.2 DETECTORES DE HUMO.....  | 87  |
| 4.1.2.1 Detectores de humo ópticos o fotoeléctricos.....                   | 88  |
| 4.1.2.2 Detectores de humo de puente de resistencia.....                   | 89  |
| 4.1.2.3 Detectores de humo de análisis de muestra.....                     | 89  |
| 4.1.2.4 Detector de humo de ionización.....                                | 89  |
| 4.1.3 DETECTORES DE TEMPERATURA.....                                       | 91  |
| 4.1.3.1 Detectores termoestáticos.....                                     | 92  |
| 4.1.3.2 Detectores termovelocimétricos.....                                | 94  |
| 4.1.3.3 Detector combinado de temperatura fija y de tasa de aumento.....   | 94  |
| 4.1.3.4 Detector térmico compensado.....                                   | 95  |
| <b>4.2 DETECTORES DE GAS</b> .....   | 95  |
| 4.2.1 DETECTOR DE GAS COMBUSTIBLE.....                                     | 95  |
| 4.2.1.1 Detector de tecnología óptica (infrarrojo puntual).....            | 96  |
| 4.2.1.2 Detector de cañón de haz de luz infrarroja.....                    | 97  |
| 4.2.1.3 Detección de gas combustible tipo catalítico.....                  | 97  |
| <b>4.3 CRITERIOS GENERALES PARA LA UBICACIÓN DE DETECTORES</b> .....       | 99  |
| <b>4.4 SISTEMA DIGITAL DE GAS Y FUEGO (SDGF)</b> .....                     | 102 |
| <b>4.5 UNIDAD DE PROCESAMIENTO REMOTO (UPR)</b> .....                      | 103 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| <b>5</b> | <b><u>APLICACIÓN DE LAS BASES DE LA SEGURIDAD EN EL COMPLEJO AKAL-L</u></b> ..... | 105 |
|          | <b>5.1 SISTEMAS DE SEGURIDAD</b> .....  | 106 |
|          | 5.1.1 SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIO.....  | 106 |
|          | 5.1.2 LETREROS DE SEÑALIZACIÓN.....   | 107 |
|          | 5.1.3 SISTEMA DE SUPRESIÓN DE FUEGO A BASE DE AGENTE LIMPIO.....                  | 107 |
|          | 5.1.4 SISTEMA DIGITAL DE GAS Y FUEGO.....   | 108 |
|          | 5.1.5 SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA.....  | 111 |
|          | <b><u>CONCLUSIONES</u></b> .....  | 119 |
|          | <b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....  | 123 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Fig. # 1  | Localización de la Sonda de Campeche.....                             | 5  |
| Fig. # 2  | Activos y campos de la Sonda de Campeche.....                         | 6  |
| Fig. # 3  | Complejo Akal "C".....  | 7  |
| Fig. # 4  | Tipos de plataformas marinas de acuerdo a su estructuración.....      | 8  |
| Fig. # 5  | Plataforma "Jacket" o convencional de acero.....                      | 11 |
| Fig. # 6  | Plataforma de Perforación.....  | 19 |
| Fig. # 7  | Plataforma de Producción de Akal "J".....                             | 19 |
| Fig. # 8  | Plataforma de Compresión de Abkatún "A".....                          | 20 |
| Fig. # 9  | Plataforma Habitacional Abkatún "A".....                              | 20 |
| Fig. # 10 | Puente de Comunicación.....   | 21 |
| Fig. # 11 | Vista de Quemadores con su Puente de Comunicación Respectivo.....     | 21 |
| Fig. # 12 | Abkatún "A" en el Huracán Roxanne.....                                | 22 |
| Fig. # 13 | Reservas del campo Cantarell.....                                     | 33 |
| Fig. # 14 | Producción y capacidad de producción de petróleo en Cantarell.....    | 33 |
| Fig. # 15 | Producción y capacidad de producción de gas natural en Cantarell..... | 33 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Fig. # 16 | Reservas de hidrocarburos al 1° de enero del 2000.....                                     | 34 |
| Fig. # 17 | Reservas totales de hidrocarburos de la Región Marina Noreste al 1° de enero del 2000..... | 35 |
| Fig. # 18 | Reservas totales de hidrocarburos al 1° de enero de 1999.....                              | 36 |
| Fig. # 19 | Reservas probadas de hidrocarburos al 1° de enero de 1999.....                             | 37 |
| Fig. # 20 | Reservas probables de hidrocarburos al 1° de enero de 1999.....                            | 38 |
| Fig. # 21 | Reservas posibles de hidrocarburos al 1° de enero de 1999.....                             | 39 |
| Fig. # 22 | Producción acumulada de hidrocarburos al 1° de enero de 1999.....                          | 40 |
| Fig. # 23 | Ta'Kuntah-Floating Storage Offloading (FSO).....   | 42 |
| Fig. # 24 | Plataformas y adecuación de las instalaciones para la infraestructura futura.....          | 44 |
| Fig. # 25 | Infraestructura futura.....  | 45 |
| Fig. # 26 | Triángulo del fuego.....   | 64 |
| Fig. # 27 | Tetraedro del fuego.....   | 65 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|           |  |     |
|-----------|--|-----|
| Tabla # 1 | Primeras plataformas instaladas costafuera en México .....   | 25  |
| Tabla # 2 | Reservas de petróleo crudo equivalente y de gas natural de México .....  | 28  |
| Tabla # 3 | Reservas de petróleo crudo equivalente y de gas natural por regiones .....   | 30  |
| Tabla # 4 | Reservas de solamente aceite crudo por regiones .....  | 31  |
| Tabla # 5 | Contratos de ingeniería, procura, construcción, interconexión y puesta en marcha licitados del proyecto Cantarell .....                | 49  |
| Tabla # 6 | Clasificación de líquidos combustibles .....   | 69  |
| Tabla # 7 | Clasificación de líquidos inflamables (Clase I) .....  | 69  |
| Tabla # 8 | Clasificación de los fuegos .....  | 70  |
| Tabla # 9 | Límites explosivos inferiores y superiores de algunas sustancias .....   | 72  |
| Tabla #10 | Principales sistemas de detección de gas y fuego .....   | 81  |
| Tabla #11 | Relaciones de intensidades de radiación IR de diferentes fuentes .....   | 86  |
| Tabla #12 | Señales para el tablero local de control del sistema de agente limpio en el cuarto de control de Akal-L perforación .....              | 108 |
| Tabla #13 | Señales para tablero local de control del sistema de agente limpio en el cuarto de control de bombas de Akal-L enlace 1er. nivel ..... | 108 |

|           |   |     |
|-----------|---|-----|
| Tabla #14 | Señales para tablero local de control del sistema de agente limpio en el cuarto de control de bombas de Akal-L enlace 2º nivel..... | 108 |
| Tabla #15 | Resumen de entradas / salidas en la plataforma de enlace de Akal-L.....   | 110 |
| Tabla #16 | Resumen de entradas / salidas en la plataforma de perforación de Akal-L.....  | 111 |

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

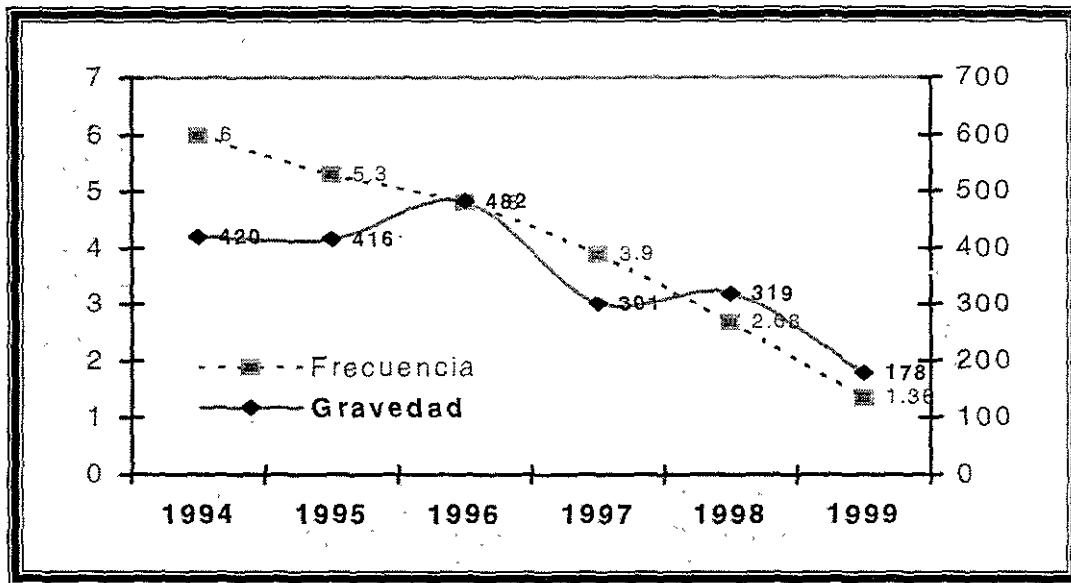
En 1998, Petróleos Mexicanos dio a conocer su política de seguridad y protección ambiental, la que considera importantes esfuerzos en la materia y con la que aspira a convertirse en punto de referencia como empresa modelo en la preservación del medio ambiente y de la seguridad para sus trabajadores, para sus propias instalaciones y para la población en la que se encuentran éstas; además de mantener un desarrollo sustentable en el mediano y largo plazo. Como instrumento de aplicación de esta política, en ese mismo año se inició la implantación del Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA), que considera al factor humano, los sistemas de trabajo y las instalaciones.

Los resultados de las medidas instrumentadas para elevar la seguridad del personal de Petróleos Mexicanos han mejorado significativamente en los últimos años. En la gráfica de la página siguiente se observa que el índice de frecuencia de accidentes incapacitantes en la Institución ha caído de seis en 1994 a 1.36 en 1999, en tanto que el de gravedad se redujo de 420 a 178 en el mismo periodo. En el último año el índice de frecuencia se redujo 49.3 por ciento, y el de gravedad en 44.2 por ciento. Esta reducción significativa es indicativa de mejores condiciones y prácticas de seguridad, y pone de manifiesto la gran colaboración lograda entre los trabajadores y funcionarios en la exitosa implantación del SIASPA en las diferentes subsidiarias y en el Corporativo.

Los procesos de extracción, separación, transporte y manejo de hidrocarburos son por naturaleza peligrosos, como lo muestra la frecuente ocurrencia de siniestros mayores en instalaciones petroleras de todo el mundo, a pesar de los grandes avances tecnológicos.

Los principales riesgos son los de explosión y fuego; las principales consecuencias pueden ser desde un breve paro en la producción, hasta la destrucción completa de las instalaciones, con la consiguiente pérdida de vidas y daños materiales que pueden sumar miles de millones de pesos; esto sin tomar en cuenta el tiempo requerido para la reconstrucción de las instalaciones, la contaminación ambiental que se provoca, y el desperdicio de valiosos recursos naturales no renovables.





**Índices de frecuencia y gravedad de accidentes**

En una plataforma marina, las áreas de riesgo no pueden localizarse a distancias seguras unas de otras, de manera que un fuego en cualquier área puede tener un efecto de “domino” sobre las áreas adyacentes, poniendo en peligro a todo el complejo. A diferencia de las instalaciones en tierra firme, el auxilio externo puede ser nulo o tardío.

En una emergencia, la seguridad del personal, los equipos y la estructura dependen del correcto diseño de los sistemas de detección y contraincendio, así como de la reacción del personal y su entrenamiento.

Estadísticamente la gran mayoría de los siniestros tienen su origen como pequeños fuegos, de tal manera que la clave para evitarlos radica en la temprana detección de los causantes que lo provocan, como es la presencia de hidrocarburos en el aire, para así prevenir dicha conflagración.

La productividad entendida como la medida de la utilización integral de los recursos de la organización empleados para la obtención de los objetivos, sólo es posible si como parte del desarrollo habitual de las labores se observan los preceptos de seguridad e higiene, ya que no es posible calificar una actividad como eficaz y eficientemente realizada, si durante su ejecución

ocurren pérdidas humanas, recursos materiales o financieros como consecuencia de riesgos de trabajo o de accidentes industriales.

En este trabajo se describen los sistemas y dispositivos para la prevención de conflagraciones, así como, los puntos de partida para empezar el desarrollo de la ingeniería de seguridad en las instalaciones costafuera.

En el primer capítulo se definen aspectos relacionados con las funciones y tipos de plataformas que conforman los complejos, así como, información actual e histórica de la Sonda de Campeche.

En el segundo capítulo se analiza la importancia del mega-proyecto que está en ejecución en la Sonda de Campeche llamado "Cantarell", del cual, uno de sus subproyectos, el del Complejo de akal "L", es el que se tratará en esta tesis.

En el tercer capítulo se definen conceptos relacionados con la teoría de los sistemas de seguridad, los cuales, son las bases para el desarrollo de la ingeniería de seguridad en las instalaciones industriales.

En el cuarto capítulo se describen los dispositivos y componentes que integran los sistemas de detección de gas y fuego para prevenir una conflagración en una plataforma marina.

En el quinto capítulo se aplican los criterios de los sistemas de seguridad en el futuro complejo de akal "L", a manera de ilustrar lo visto en los capítulos anteriores en un ejemplo real.

Por lo tanto, el objetivo de dichos sistemas es el de proporcionar la protección adecuada al personal operativo de las plataformas de akal "L" de perforación y enlace, prevenir lesiones humanas y pérdidas de vida, evitar daños a los equipos, al ambiente, y a las áreas circunvecinas de la instalación, permitiendo así, la detección oportuna de riesgos inherentes a la separación de gas, mediante sistemas que permitan tomar decisiones oportunas de forma segura y confiable.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

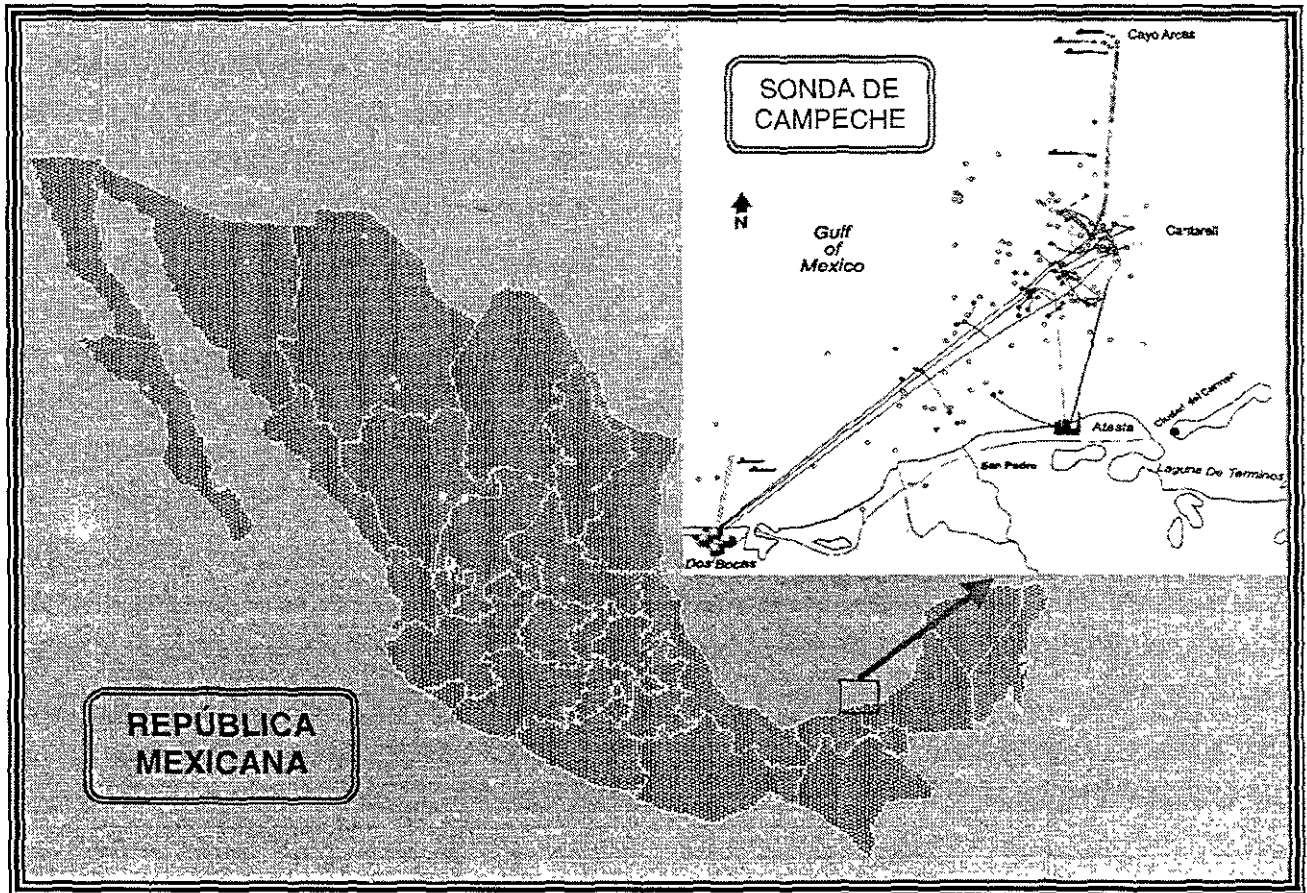
## GENERALIDADES

En el ámbito petrolero, el Golfo de México es un área de gran trascendencia por ser una de las cuencas de hidrocarburos más grandes del mundo y PEMEX, como pilar del desarrollo nacional, no puede mantenerse al margen de una renovación, por lo que se ha dado a la tarea de intensificar la productividad y la seguridad de sus instalaciones, mejorar la calidad de sus productos, así como abatir sus costos de operación y mantenimiento; sin descuidar en ningún momento las inversiones en la exploración y explotación de nuevos campos petroleros y de gas natural. A este rubro pertenecen las inversiones hechas, por ejemplo, en el desarrollo de proyectos como el de la Sonda de Campeche donde, a partir de la década de los 70's con el descubrimiento del yacimiento Cantarell (hasta ahora el más importante del país), se han dado a la tarea de instalar una serie de plataformas, sistemas de tuberías submarinas de interconexión dentro y entre los mismos campos de explotación de la Sonda de Campeche, así como instalaciones en tierra para su procesamiento y aprovechamiento final. (ver fig. # 1)

PEMEX es la empresa más grande de México y una de las diez más grandes del mundo, tanto en términos de activos como de ingresos. Con base en el nivel de reservas y su capacidad de extracción y refinación, se encuentra entre las cinco compañías petroleras más importantes a escala mundial<sup>1</sup>, lo que la compromete cada vez más a mejorar sus procesos de extracción, producción, refinación del crudo y tratamiento del gas natural, tarea que resulta no ser nada fácil tomando en cuenta la magnitud y la importancia estratégica que para nuestro país esto implica. Para cumplir con esta trascendental tarea, Petróleos Mexicanos apoyado por el Instituto Mexicano del Petróleo busca satisfacer la demanda de hidrocarburos prevaleciente en el mercado, a través de la constante evaluación de las instalaciones con que cuenta, anticipándose a los incrementos en la producción y explotación de los campos petroleros y de gas natural que pudieran darse, que sin lugar a dudas, es la fuente principal de ingresos para nuestro país.

Para la explotación de estos campos petroleros, hoy en día se cuenta con tecnología propia, lo que ha permitido obtener mayores beneficios para el país. Para dicha explotación, se han construido plataformas de diferentes tipos, dependiendo esto de las características del campo que se quiera explotar.

<sup>1</sup> Página de Internet: <http://www.iaque.com.mx>

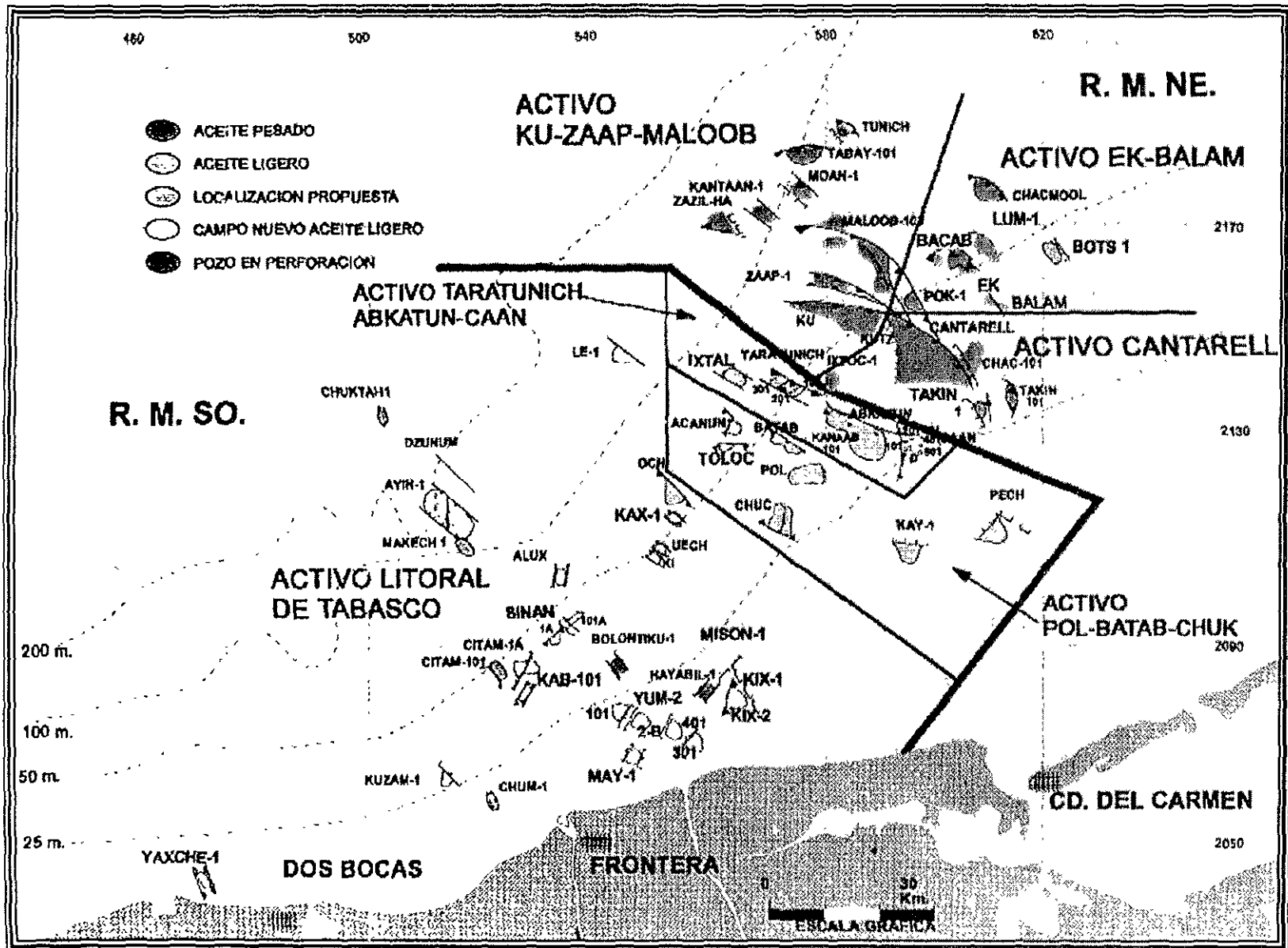


(Fig. # 1) Localización de la Sonda de Campeche

Se debe entender por campo, al lugar geográfico donde se extrae el petróleo crudo y el gas.

La Sonda de Campeche se divide en la Región Marina Sudoeste y la Región Marina Noreste del Golfo de México. La Sudoeste está conformada por los activos: Taratunich-Abkatún-Caan, Litoral Tabasco y Pol-Batab-Chuk. La Noreste está conformada por los activos: Ku-Maloob-Zaap, Ek-Balam y Cantarell. El activo de Cantarell está a su vez constituido por los campos: Akal, Nohoch, Chac, Takin, Kutz e Ixtoc. (ver fig. # 2)

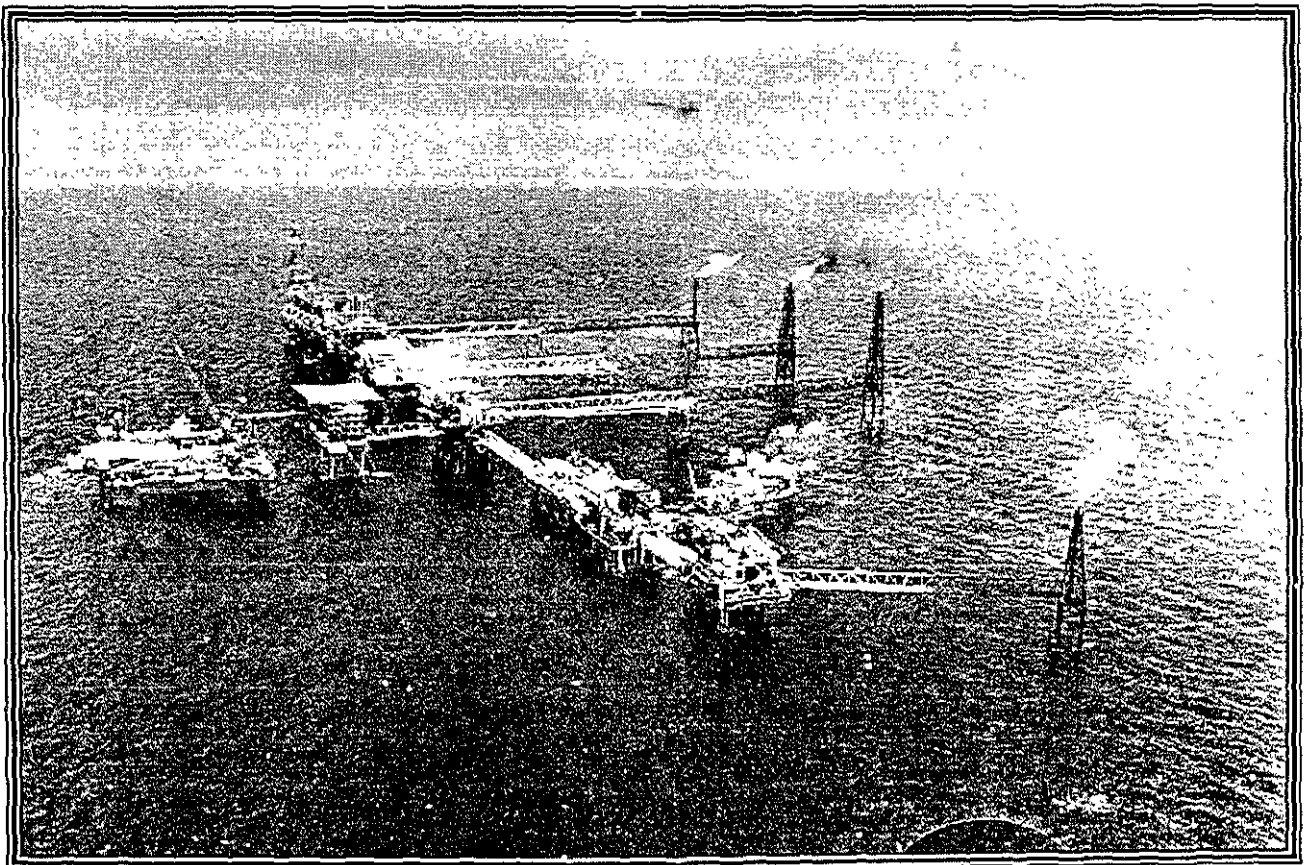
Los principales y más ricos yacimientos de petróleo en México, no solamente se localizan en tierra firme, ya que también se encuentran ubicados mar adentro, es decir, fuera de la costa (costafuera) al igual que en otros lugares del mundo, como ocurre en Venezuela y en el Mar del Norte. Esto ha propiciado el desarrollo y construcción de instalaciones fuera de la



(Fig. # 2) Activos y campos de la Sonda de Campeche

costa denominadas *plataformas petroleras marinas*; las cuales son impresionantes estructuras de acero que soportan instalaciones industriales, identificadas de acuerdo a la función que desempeñan; entendiéndose por complejo de producción al conjunto de plataformas interconectadas por puentes que permiten la explotación, procesamiento y distribución de los hidrocarburos desde el lugar donde se encuentra el yacimiento. (ver fig. # 3)

Un campo que es capaz de proporcionar una gran cantidad de crudo y de gas, es un campo cuya producción es continua y por lo mismo es viable instalar plataformas con diversas funciones, ya que al contar con estas instalaciones se puede hacer la explotación plena del yacimiento para obtener una buena producción. Actualmente en el activo Cantarell existen los complejos Akal "C", Akal "J" y Nohoch "A" y en un futuro lo serán Akal "B", Akal "N" y Akal "L".



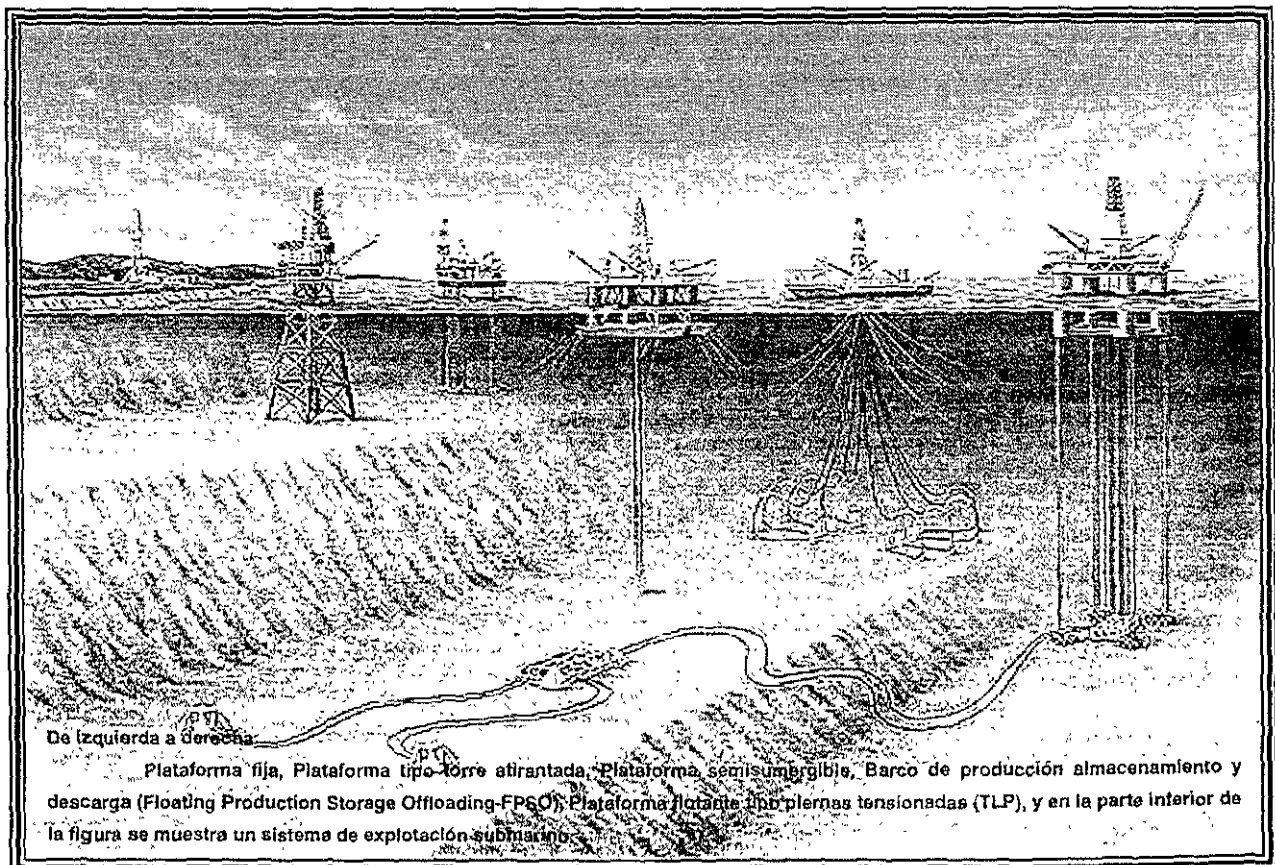
(Fig. # 3) Complejo akal "C"

## 1.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PLATAFORMAS MARINAS POR SU ESTRUCTURACIÓN

Las plataformas marinas se clasifican de acuerdo a la estructuración para su construcción, lo cual se verá en este punto, y también a la función que desarrollan dentro del complejo de producción, lo cual se verá en el punto 1.2. (ver fig. # 4)

Las plataformas por su estructura se subdividen en:

- Fijas
- Semifijas
- Flotantes



(Fig. # 4) Tipos de plataformas marinas de acuerdo a su estructuración



### 1.1.1 PLATAFORMAS FIJAS

Son aquellas que operan en un solo lugar durante el transcurso de su vida útil. Estos sistemas se caracterizan por encontrarse asentados sobre el suelo o lecho marino, y consisten en estructuras metálicas y/o de concreto, que se extienden desde el lecho marino hasta la superficie. Son las más indicadas cuando los volúmenes de explotación son importantes y la profundidad del agua, también llamado tirante, no es demasiado grande. (ver fig. # 4)

Las plataformas fijas se subdividen en:

- Plataforma "Jacket" o convencional de acero
- Plataforma de concreto por gravedad
- Trípode de acero

#### 1.1.1.1 Plataforma "Jacket" o convencional de acero

La plataforma de acero tipo "Jacket" es la más empleada en la Sonda de Campeche. En estas estructuras las columnas principales son fabricadas con tubos de acero huecos con la finalidad de que en su interior alojen a los pilotes, los cuales, a través de las piernas penetran al subsuelo para asegurar la estabilidad de la plataforma. (ver fig. # 5)

Los principales constituyentes de esta plataforma son los siguientes:

- Cimentación
- Subestructura (jacket)
- Superestructura (deck)

#### *Cimentación*

La cimentación se realiza utilizando pilotes tubulares, los cuales se unen a la superestructura en el llamado "punto de trabajo", y se alojan dentro de las piernas de la subestructura, continuando en el subsuelo marino hasta llegar a la profundidad del hincado entre 60 y 120 m bajo el lecho marino. (ver fig. # 5)

Los pilotes son introducidos en las patas de la subestructura y penetran longitudes variables, dependiendo esto de las características del subsuelo, ya que su capacidad de carga suele darse principalmente por la fricción y adherencia con los estratos penetrados, más que por el efecto de punta.

Para efectuar el hincado de los pilotes se utilizan martillos neumáticos o de vapor, sostenidos por un barco grúa, añadiéndose secciones soldadas y continuando el hincado hasta que se alcance la profundidad proyectada, o se presente el "rechazo" del pilote. Finalmente se corta el extremo superior del mismo para soldarse al borde superior de la pata.

El proceso de hincado de una plataforma convencional de 8 patas dura aproximadamente de 2 a 3 semanas.

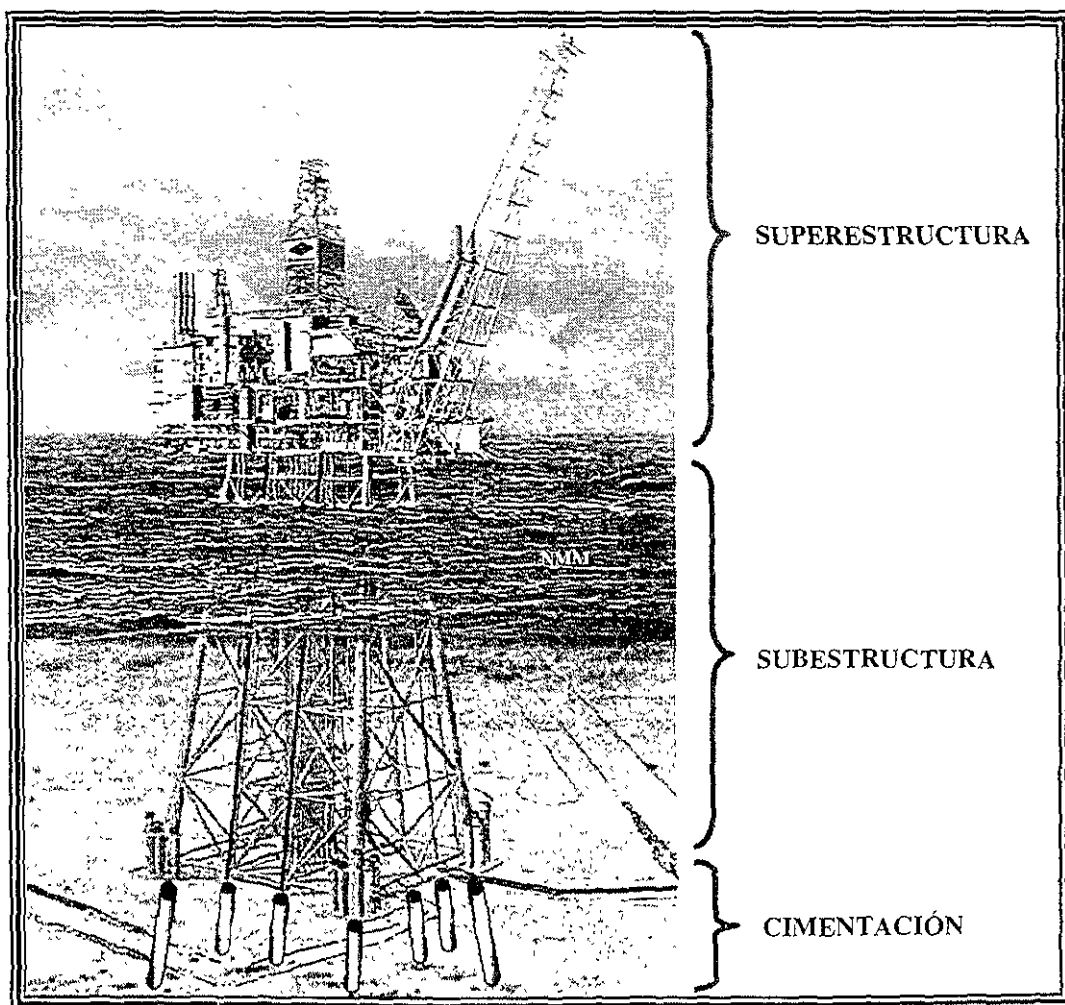
#### *Subestructura (jacket)*

La subestructura tiene como función principal el proporcionar a los pilotes soporte lateral en varios puntos de toda su longitud. La configuración de la subestructura es la de una torre piramidal, donde las piernas están unidas con miembros tubulares colocados horizontal y diagonalmente entre las patas, arreglados en forma triangular con la finalidad de obtener un mejor comportamiento estructural. La función que desempeña es la de soportar y transmitir las cargas producidas sobre la superestructura por carga muerta, carga viva, viento, oleaje o sismo al subsuelo marino. Lo anterior indica que la subestructura guía y soporta lateralmente a los pilotes evitando el pandeo de éstos, además de hacerlos más rígidos en toda su longitud entre su extremo superior y el fondo marino; de allí que se le denomine a este tipo de plataforma como "Jacket" (camisa o chaqueta). (ver fig. # 5)

#### *Superestructura (deck)*

Es la parte superior de la plataforma marina y tiene la finalidad de soportar directamente las diversas instalaciones y equipos requeridos para la extracción y procesamiento de los hidrocarburos. Debido a esto la superestructura está configurada generalmente por dos o tres niveles, formada por un conjunto de traveses que sostienen un sistema de piso (traveses secundarios, rejilla o placas de acero). Dichas traveses se apoyan en piernas tubulares cuyo

número coincide con el de la subestructura. Estas piernas se conectan a la subestructura y a los pilotes en el punto de trabajo. La superestructura se iza mediante un barco grúa, colocándose sobre la subestructura. Cada columna de la superestructura lleva en su extremo inferior un cono que le sirve de guía y lo centra sobre el extremo superior del pilote, con el que se suelda a tope, de manera que la subestructura no carga a la superestructura, sino directamente lo hacen los pilotes. Las plataformas de este tipo comúnmente suelen ser octápodos, es decir, que tienen ocho patas, ya que presentan una buena relación entre el área útil y el costo de fabricación. Las patas se alinean en dos filas de cuatro, denominándoseles a las filas ejes A y B. (ver fig. # 5)



(Fig. # 5) Plataforma "Jacket" o convencional de acero

La industria petrolera prefiere las plataformas de acero porque presentan las siguientes ventajas respecto a otros sistemas:

- La tecnología empleada es conocida y ha sido probada muchas ocasiones.
- Presentan movimientos insignificantes en la cubierta, lo que permite condiciones cómodas para su operación.
- Relativamente, no tiene restricciones en cuanto al equipo que deben soportar.
- Permite el cambio de su función a otro tipo de servicio.
- También son recuperables y pueden reubicarse.
- Debido a las secciones tubulares de la subestructura, ofrece menor resistencia al flujo o corriente de agua.

#### 1.1.1.2 Plataforma de concreto por gravedad

La base de estas plataformas suele construirse de hasta 100 celdas cilíndricas o rectangulares, con un área de apoyo que por lo general abarca unos 10,000 m<sup>2</sup>, teniendo una forma circular o poligonal. La altura de la sección de fondo es de 40 a 60 m. Sobre esta base se levantan como prolongación de las celdas de dos a cuatro columnas cuya sección se reduce hacia la punta con alturas de 100 a 140 m, sobre las cuales descansa la cubierta, que por lo regular es del tipo integrada, con un peso del orden de 40,000 toneladas. Las plataformas tipo integrada contienen el equivalente de hasta cinco plataformas típicas de las que se encuentran en la Sonda de Campeche, ya que cuentan con todos los equipos para perforación, separación, bombeo, compresión y reinyección, así como, el alojamiento para aproximadamente 200 tripulantes. Actualmente estas plataformas son las más grandes de todo el mundo y se encuentran localizadas en el Mar del Norte, ya que este lugar tiene ventajas para su construcción en instalación. Lo anterior se debe a que los profundos fiordos noruegos resultaron ideales para construir las enormes estructuras de concreto, así como la facilidad de poderlas llevar flotando hasta el sitio de la instalación.

Las plataformas de concreto presentan los siguientes inconvenientes:

- Se desconoce el comportamiento del concreto bajo altas presiones, en especial cuando se refiriere a la filtración del agua.
- Para que el concreto trabaje siempre a compresión, se requiere de la utilización de una gran cantidad de cables de preesfuerzo.
- El tiempo de fabricación inicial es mayor que el de una plataforma convencional.

### 1.1.1.3 Trípode de acero

Corresponde a una evolución de las plataformas convencionales, que busca optimizar la cantidad de acero empleado. Sin embargo, presenta los siguientes problemas:

- Fatiga en las juntas debido a las altas concentraciones de esfuerzos a los que está sujeta y el gran número de ciclos de oleaje a los que se somete.
- La falla de algún miembro de la estructura, podría traer consecuencias catastróficas.

### 1.1.2 PLATAFORMAS SEMIFIJAS O FLEXIBLES

Son estructuras esbeltas en las cuales la estabilidad se debe a unos cables anclados en el fondo marino, o mediante tanques de flotación en la parte superior. Dichas plataformas tienen la capacidad de ceder momentáneamente al empuje de las olas, con el objetivo de reducir los esfuerzos y alejar la frecuencia natural de oscilación de la estructura de la de frecuencia de oleaje, para disminuir el efecto acumulativo de fatiga.

Las plataformas semifijas o flexibles se subdividen en:

- Torre atirantada y
- Articulada

### 1.1.2.1 Torre atirantada

Estas plataformas están formadas por una estructura de acero de piernas rectas y un sistema de cables o tirantes en la parte superior de la torre, que se ancla en el fondo marino. La estructura de acero soporta las cargas verticales, y los tirantes resisten las horizontales. Su mayor ventaja es el poder soportar cargas similares a las del tipo convencional. Este tipo de plataforma fue proyectada originalmente para usarse a profundidades de agua entre 305 y 584 m, ya que la cantidad de acero requerida si se utilizara una plataforma tipo convencional, afectaría gravemente la rentabilidad económica. (ver fig. # 4)

Las desventajas de estas plataformas son las siguientes:

- Su instalación es difícil, ya que impone muchas operaciones marinas y submarinas.
- Los tirantes imponen restricciones muy grandes a la navegación.
- Los tirantes deben proporcionar una gran rigidez en movimientos leves, como condiciones de tormenta.

### 1.1.2.2 Articulada

Deben su nombre a una articulación que tienen en su base. La estructura se mantiene en posición vertical por tanques de flotación en la parte superior. Su mayor problema es de que si falla la articulación, la estructura sufrirá grandes daños.

## 1.1.3 FLOTANTES O MÓVILES

Las plataformas flotantes o móviles se subdividen en:

- Sumergible
- Semisumergible
- Piernas tensionadas
- Autoelevables y
- Barcos de producción, almacenamiento y descarga (FPSO)

Estas plataformas son instalaciones que no se fijan permanentemente al lecho marino, sino que solamente se sitúan temporalmente mediante diversos sistemas en el lugar en el que se van a realizar los trabajos, y son las más indicadas cuando existe premura para iniciar los trabajos o cuando se estima que los volúmenes de explotación serán pequeños.

Este tipo de plataformas se pueden transportar ya sea por medios propios, o por ayuda externa (remolcadores, barcos, cargueros) hasta el lugar donde operarán, y una vez finalizada su operación, se pueden llevar a otro sitio para utilizarse de nuevo.

#### 1.1.3.1 Sumergible

Son estructuras construidas sobre grandes flotadores, generalmente dos, que cuando están en la zona de operación se hunden hasta tocar el fondo. Se utilizan para operaciones de perforación de poca profundidad (15 m).

#### 1.1.3.2 Semisumergible

Son estructuras similares a las anteriores, sólo que se hunden hasta cierto límite y posteriormente se anclan en el fondo marino cuando están en operación. El diseño para su construcción partió de estudios realizados sobre la respuesta al oleaje de cuerpos parcialmente sumergidos desarrollados por la Armada de los Estados Unidos, la Universidad de California y la Shell Oil Co. Este diseño consiste en el uso de tubería tensionada y un sistema de anclaje sobre en fondo marino. Los resultados fueron tan satisfactorios que hicieron posible soportar las peores condiciones de oleaje, de manera que posteriormente se emplearon no solamente para labores de perforación, sino que también como plataformas de producción en el Mar del Norte. (ver fig. # 4)

En la Sonda de Campeche se han rentado algunas semisumergibles para el apoyo logístico; como hotel flotante, helipuerto y taller.

### 1.1.3.3 Piernas tensionadas (TLP)

Son estructuras flotantes ancladas al fondo marino por cables sujetos a tensión debido al exceso de flotación. Consta de dos elementos estructurales principales: un casco flotante semisumergido y una arreglo de tendones verticales altamente tensionados en cada esquina. Los tendones son tubos de acero de alta resistencia, y jalan al casco hacia abajo lo necesario para localizar el centro de flotación a una profundidad suficiente para evitar el movimiento provocado por el oleaje superficial, y también para evitar que se aflojen aún cuando la depresión más profunda de la ola de diseño pase por el casco, eliminando de esta forma casi por completo el desplazamiento vertical. Una gran ventaja reside en su costo, ya que este es prácticamente independiente de la profundidad. 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. En el año de 1994 se alcanzó una profundidad de 872 m con la TLP Auger operada por Shell. Este diseño y otros similares se proyectan tentativamente para campos con profundidades que están entre 584 y 914 m. (ver fig. # 4)

### 1.1.3.4 Autoelevables

Su función principal es la perforación de pozos en desarrollo. Ya una vez ubicada en el sitio de interés, se bajan las piernas hasta el fondo marino y se eleva la cubierta al nivel deseado. Cuenta con una cubierta que tiene la capacidad de colocarse a la elevación que se requiera, la cual soporta 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 que tiene en su extremo inferior un sistema de zapatas aisladas para apoyarse en el lecho marino. La mayoría de las unidades actualmente en uso pueden alcanzar profundidades de alrededor de 91 m. Sin embargo, las clases más recientes son capaces de llegar a los 120 y hasta un máximo de 144 m.

En la Sonda de Campeche PEMEX cuenta con una autoelevable propia, la Holkan, además de otras rentadas.



### 1.1.3.5 Barcos de producción, almacenamiento y descarga (FPSO)

Este sistema difiere del resto en una importante característica, ya que tiene la capacidad de almacenar, transportar y producir crudo, en una sola unidad.

Debido a su gran área de contacto con la superficie del agua, se obtiene una elevada capacidad de carga de la cubierta. Para mantenerse fijo en una sola posición utilizan un sistema de anclaje. Se emplean sobre todo cuando no se tiene planeado un desarrollo permanente.

Últimamente se han utilizado buquetanques adaptados para el almacenamiento temporal y para el procesamiento del crudo, denominados genéricamente como FPSO (Floating-Production-Storage-Offloading). Dichos buques se enlazan a diversos tipos de anclajes e interconexiones para la carga, descarga y transvase hacia y desde ductos submarinos y/o buquetanques. (ver fig. # 4)

También cabe mencionar que además de los diseños previamente descritos, también hay sistemas de explotación submarinos, los cuales, consisten básicamente en 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 es enviada a través de un arreglo de tubería ascendente hacia alguna plataforma de procesamiento en la superficie. (ver fig. # 4)

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 por ejemplo pueden ser las plataformas flotantes.
- En sistemas de inyección de agua y gas nitrógeno.

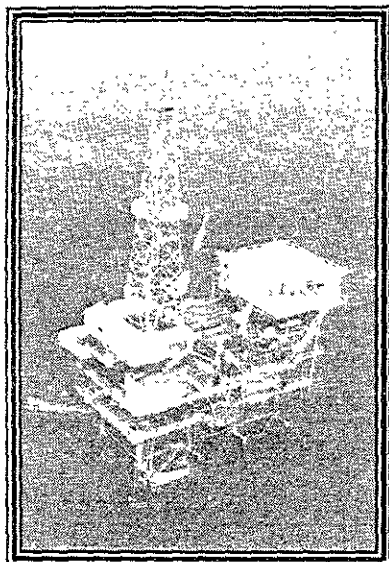
## **1.2 PLATAFORMAS QUE INTEGRAN UN COMPLEJO EN LA SONDA DE CAMPECHE**

Un complejo tipo de los más completos en la Sonda de Campeche tiene instaladas las siguientes plataformas: una plataforma de perforación, una plataforma de producción temporal, una plataforma de producción permanente, una plataforma de enlace, una plataforma de compresión y una plataforma habitacional. También existen como complejos independientes el de rebombear y el de inyección de agua de Abkatún. Cada una de estas plataformas, tiene una función específica y en un complejo podrán haber dos del mismo tipo o bien no existir alguna o algunas de ellas. Enseguida se describe, brevemente, la función que desempeña cada una de las plataformas que componen un complejo en la Sonda de Campeche, así como también la función de dos estructuras importantes.

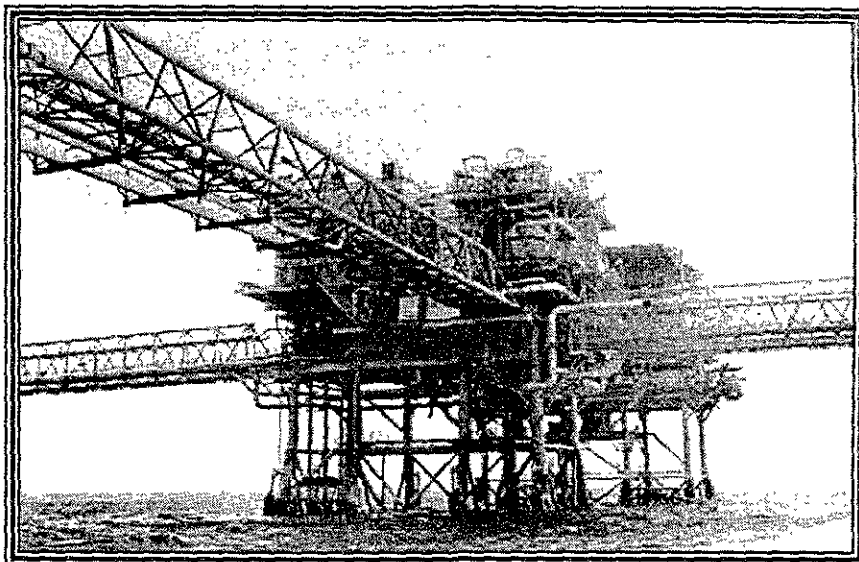
**1.2.1 PLATAFORMA DE PERFORACIÓN.-** La función principal de esta plataforma, es la de perforar pozos y distribuir el crudo por medio de líneas submarinas o por el puente de comunicación mediante tuberías a la plataforma de producción temporal o a la de enlace. Tienen regularmente un solo nivel, en donde se encuentra el módulo de perforación, el cual cuenta a su vez con dos niveles lo suficientemente amplios para alojar, en su nivel superior, la totalidad de la paquetería de perforación y su torre, grúas para maniobras de descarga, módulo habitacional, un helipuerto y una zona para el 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. En su nivel inferior aloja la instalación del equipo de producción así como los tableros para el control de los pozos y lanzadores o recibidores de diablos. Tienen capacidad para perforar hasta 12 pozos, aunque no siempre operan todos. (ver fig. # 6)

**1.2.2 PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN (temporal o producción temprana).-** En esta plataforma se efectúa el proceso de separación de crudo y gas, enviando el crudo a tierra, por medio de líneas submarinas, o bien, a la plataforma de enlace si ya existe ésta, a través del puente de comunicación mediante tuberías; de otra forma, lo llevará a la plataforma de producción permanente. El gas se enviará a la plataforma de enlace o la plataforma de compresión de gas; en caso de que la producción de gas sea baja, se canalizará a la plataforma de producción permanente para su posterior proceso. Estas plataformas constan regularmente de tres niveles. (ver fig. # 7)

**1.2.3 PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN (permanente).**- Esta plataforma recibe la producción de la plataforma de producción temporal o de la plataforma de enlace y tiene procesos de separación de crudo y gas, enviando el crudo a tierra a través de la plataforma de enlace.



(Fig. # 6) Plataforma de Perforación



(Fig. # 7) Plataforma de Producción de akal "J"

Al gas se le efectúa un tratamiento de separación de condensados y compresión para que posteriormente sea enviado a otro complejo para completar su proceso de endulzamiento, a través de la plataforma de enlace. El gas sobrante que no es posible o costoso procesar, es enviado por el puente de comunicación mediante tuberías al quemador. Estas plataformas tienen regularmente tres niveles. (ver fig. # 7)

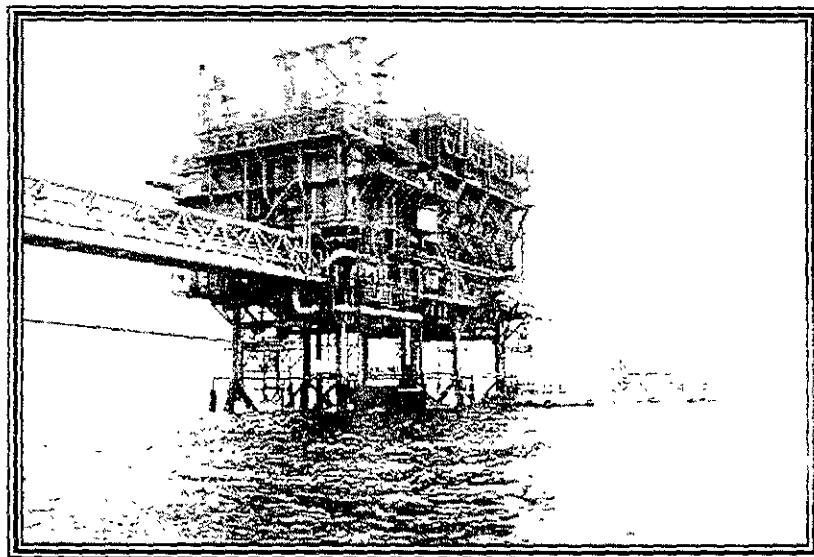
**1.2.4 PLATAFORMA DE ENLACE.**- Tiene como función principal, enlazar la producción de las plataformas de un mismo complejo, de un complejo con otro complejo y de un complejo con tierra. Este tipo de plataformas generalmente cuenta con un solo nivel.

**1.2.5 PLATAFORMA DE COMPRESIÓN.**- Esta plataforma tiene como proceso principal la compresión del gas generado en el complejo, el cual es endulzado y deshidratado, para su envío a tierra a través de los gasoductos submarinos; los condensados obtenidos son

bombeados a la plataforma de producción permanente. Este tipo de plataformas cuenta regularmente con tres niveles. (ver fig. # 8)

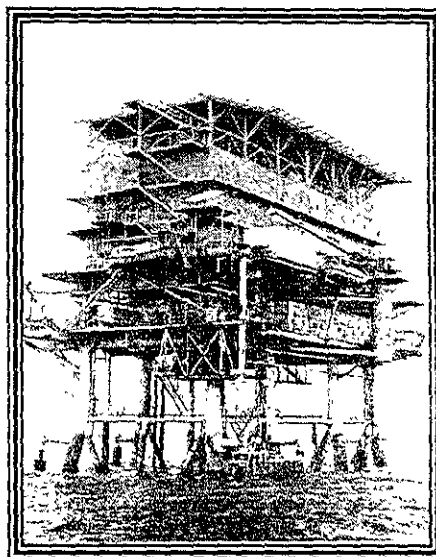
**1.2.6 PLATAFORMA HABITACIONAL.-** En esta plataforma se hospeda el personal que trabaja en el complejo, incluye oficinas, cuarto de comunicaciones, servicio médico, helipuerto, cocina, comedor, sala de juegos, gimnasio y sala de proyección. Este tipo de plataformas cuenta regularmente con tres niveles. (ver fig. # 9)

**1.2.7 PLATAFORMA DE REBOMBEO.-** Su función es la de restablecer la presión necesaria al fluido, para que éste mantenga la velocidad y presión adecuadas. Estas plataformas constan regularmente con dos niveles. Generalmente se anexa una plataforma de almacenamiento, cuya función es la de contener el volumen tan grande de combustible diesel requerido para la alimentación de los motores de combustión interna utilizados para el bombeo de la producción a tierra.



(Fig. # 8)

Plataforma de Compresión de Abkatún "A"



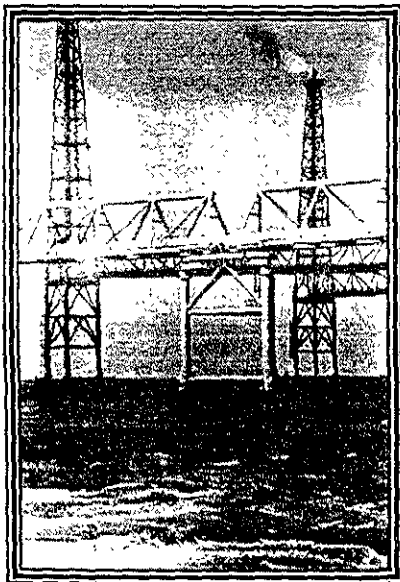
(Fig. # 9) Plataforma

Habitacional Abkatún "A"

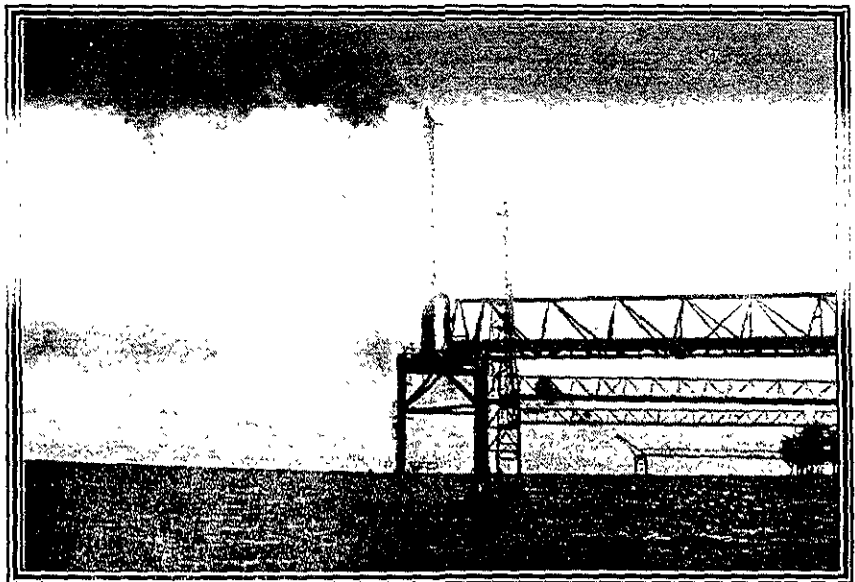
**1.2.8 PLATAFORMA DE INYECCIÓN.-** El objetivo del complejo de Abkatún de inyección de agua es el de perforar pozos para inyectar agua presurizada a los estratos productores de crudo cuya producción ha sido mermada, esto se hace con el fin de que el crudo salga a la superficie con una mayor presión. Este complejo tiene las siguientes

plataformas: una plataforma de perforación-inyección (Abkatún N), una plataforma de control y servicios que consta de tres niveles, dos plataformas de tratamiento y bombeo que constan de tres niveles, y una plataforma habitacional.<sup>2</sup>

**1.2.9 QUEMADOR.-** La estructura donde se encuentra el quemador está soportada por un trípode. Su función es la de quemar el gas excedente que no puede ser aprovechado, producto de la separación de éste con el crudo, proveniente de la última etapa de separación o de pozos cuya producción sea escasa. Esto se hace cuando los volúmenes de gas natural no son lo suficientemente grandes para hacer una inversión en la infraestructura. Otra función que desempeña es la de aliviar al sistema en caso de sobrepresión (emergencia); en dicho caso por aquí se puede quemar temporalmente la producción de gas que no puede ser procesada a causa de algún problema operativo que se presente en alguna o algunas instalaciones del complejo. Estas estructuras sólo soportan un puente de comunicación que lleva una línea hacia el quemador, una torre para el quemador y el quemador mismo. La altura en donde empieza la estructura que soporta a la torre y al quemador, esta a la misma elevación de un primer nivel. Estos quemadores están adjuntos a las plataformas de perforación, de enlace, de producción permanente, de producción temporal y de compresión. No cuentan con ningún otro equipo. (ver fig. # 10 y 11)



(Fig. # 10) Puente de comunicación



(Fig. # 11) Vista de Quemadores con su Puente de Comunicación Respectivo

**1.2.10 PUENTES DE COMUNICACIÓN.**- Estas estructuras tienen como función enlazar a las plataformas contiguas para el tránsito peatonal y para el soporte de tuberías. (ver fig. # 10 y 11)

La altura de los niveles en las plataformas ya instaladas es:

1<sup>er</sup> nivel a 15.850 m sobre el nivel medio del mar.

2<sup>o</sup> nivel a 21.660 m sobre el nivel medio del mar.

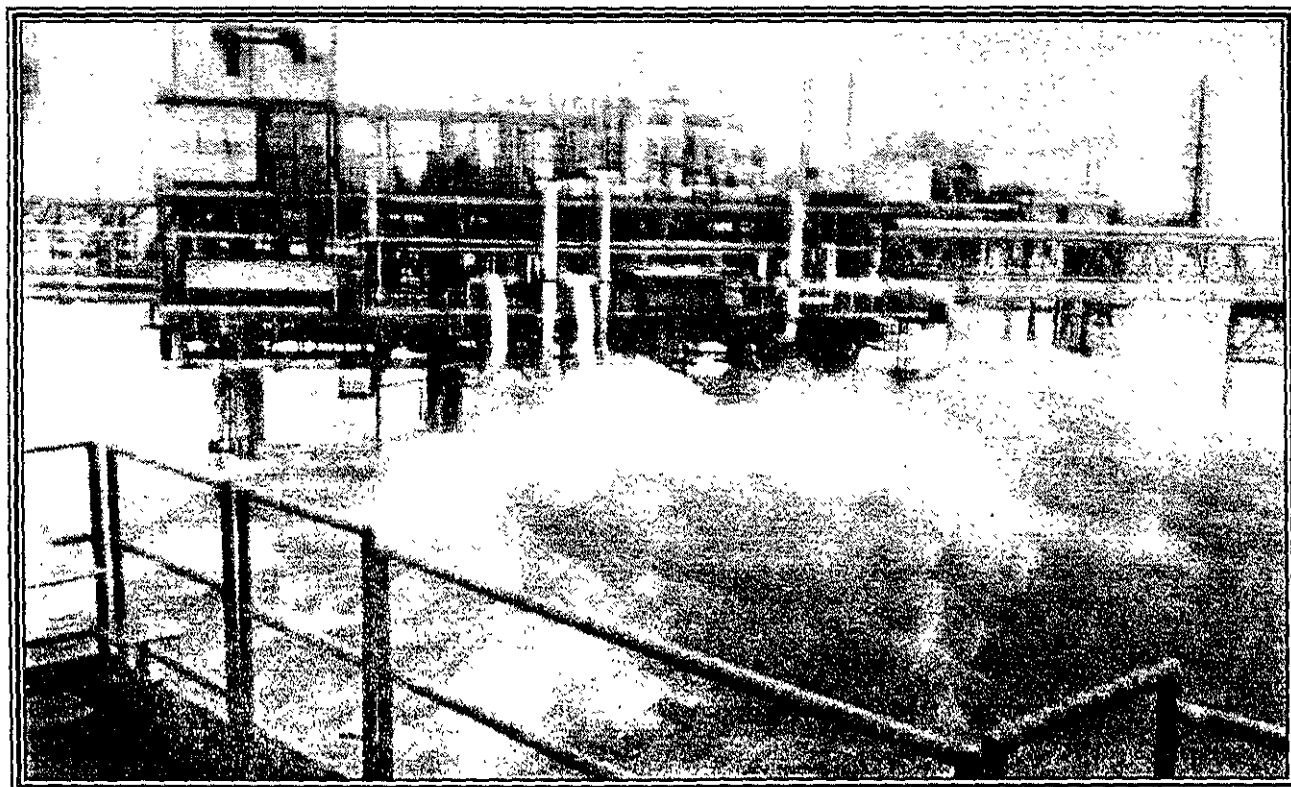
3<sup>er</sup> nivel a 27.470 m sobre el nivel medio del mar.

La altura de los niveles de las próximas plataformas a instalar es:

1<sup>er</sup> nivel a 19.100 m sobre el nivel medio del mar.

2<sup>o</sup> nivel a 27.600 m sobre el nivel medio del mar.

3<sup>er</sup> nivel a 36.100 m sobre el nivel medio del mar.



(Fig. # 12) Abkatún "A" en el Huracán Roxanne

Esta modificación en el criterio de diseño se debe a que durante el paso de los huracanes Opal (del 30 de septiembre al 1° de Octubre de 1995)<sup>3</sup> y Roxanne (del 10 al 14 de octubre de 1995)<sup>4</sup> sobre el golfo de México y por consiguiente en la Sonda de Campeche, las olas alcanzaron las cubiertas del primer nivel. (ver fig. # 12)

En todos estos casos se trata de que las plataformas cuenten con servicios auxiliares propios, dependiendo esto de las necesidades del proceso que desarrollen, tales como:

- Agua de servicios y agua contra incendio
- Gas combustible o diesel
- Aire de planta e instrumentos
- Energía eléctrica

Estas plataformas se diseñan para operar 365 días al año durante 24 horas del día.

### 1.3 HISTORIA DE LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN PETROLERA EN MÉXICO

Para México la explotación petrolera es la actividad económica más importante con la que cuenta. Actualmente los yacimientos más importantes para el aprovechamiento de este recurso se encuentran en la llamada Sonda de Campeche y según estudios recientes también en el Litoral de Tabasco, lo que convierte a la zona del golfo en la fuente principal de extracción de este importante recurso

La historia de la exploración de yacimientos de crudo y gas, en territorio mexicano costafuera, empezó cuando se hizo la perforación de alrededor de veinticinco pozos en el Golfo de México entre los años 1937-1942.

En México se inició la explotación de yacimientos de hidrocarburos afuera de la costa en 1958, en aguas del Golfo de México, con la instalación de la primera plataforma petrolera fija frente a la Barra de Santa Ana, en el estado de Tabasco.

Santa Ana A fue la primer plataforma instalada en nuestro país. Se localiza frente a la barra de Santa Ana, en la costa de Tabasco, en un tirante de 14 metros. Es una estructura a base de 25 patas de acero y cubierta de madera. Posteriormente le siguieron las plataformas B y C de 16 patas cada una y del mismo tipo, instaladas en 1961.<sup>5</sup>

<sup>3</sup> Página de Internet <http://www.ohc.0003.gov/1995opal.html>

<sup>4</sup> Página de Internet <http://www.ohc.0003.gov/1995roxanne.html>

Alfredo Marquez Claussen "Propuesta de mejoras al diseño para nuevas plataformas de compresión en la Sonda de Campeche"

En 1962 se continuó explorando con los trípodes Santa Ana 277, 279, 281 y 321 en tirantes de 21, 23, 23 y 25 metros respectivamente. El campo resultó de baja producción, la cual declinó a finales de 1962. Estas tres plataformas aún existen, ya que la corrosión en la zona de mareas y oleaje obligó a repararlas, por lo que se les pusieron por dentro de las patas cables de acero, además de la inyección de concreto, lo que hace difícil y costosa su remoción.<sup>5</sup>

En el año de 1961, el pescador Rudecindo Cantarell Jiménez, quien trabajaba con frecuencia en el golfo de Campeche, en una ocasión vio una mancha de aceite en el mar, a la cual no le dio mayor importancia. Días después, la mancha se seguía observando, esta vez era de mayores dimensiones. Sin embargo, guardó silencio durante siete años, pues no estaba convencido de que se tratara de algo muy importante, hasta que un día decidió notificar a las autoridades de su hallazgo. Tres años después de la notificación, personal de PEMEX decidió visitar la zona donde se tomaron y analizaron muestras.

El primer paso que dio la empresa gubernamental de 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 8000 km.<sup>2</sup>, donde se encuentra precisamente la Sonda de Campeche. De esta área sólo están en plena explotación 700 km.<sup>2</sup>, lo cual permite suponer reservas potencialmente mayores.<sup>6</sup>

A finales de la década de los sesenta y principios de la década de los setenta, a consecuencia de unos estudios que se realizaron, se determinó que existía una continuación de la famosa *Faja de Oro*, por lo cual, se comenzó a perforar con éxito frente a las costas de Tuxpan y Tampico, llevándose a cabo los siguientes proyectos:

- La perforación desde una plataforma fija en la localización de Tiburón, al norte de la Barra de Tuxpan, Veracruz.
- La instalación de siete plataformas frente a la Barra del Río Cazones para perforar los pozos que se denominarían como Atún, Bagre, Morsa y Escualo.
- Frente a la desembocadura del Río Pánuco, en Tampico, desde cuatro plataformas se perforaron adicionalmente los pozos denominados Arenque y Marsopa.

(Ver tabla # 1)

<sup>5</sup> Alfredo Marquez Clausen "Propuesta de mejoras al diseño para nuevas plataformas de compresión en la Sonda de Campeche"

<sup>6</sup> Enriquez Valentino Alejandro "Modificaciones estructurales para incrementar la producción en plataformas marinas de perforación existentes"



En todos los casos mencionados con anterioridad, las plataformas fueron diseñadas en el extranjero e instaladas en tirantes alrededor de los 50 metros. Estas plataformas se utilizaron únicamente para la perforación y explotación de los pozos.<sup>6,7</sup>

La producción anual de dichas plataformas es mínima, a pesar de los esfuerzos de recuperación secundaria (algunas de estas plataformas se usan como inyectoras de agua).

| NOMBRE    | TIRANTE | TIPO DE PLATAFORMA          |
|-----------|---------|-----------------------------|
| Atún      | 47.5 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Atún-A    | 45.9 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Atún-B    | 47.3 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Escualo-A | 42.3 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Marsopa-A | 50.0 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Arenque-A | 54.7 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Arenque-B | 58.4 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Arenque-C | 57.2 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Bagre-A   | 46.7 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Bagre-B   | 47.5 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Morsa-A   | 43.4 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |
| Tiburón-A | 48.2 m  | Jacket (octápodo 25-40-25)* |

\* Distancia en pies existente entre cada pata de los ejes A y B

### **(Tabla # 1) Primeras plataformas instaladas costafuera en México**

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.<sup>6,7</sup>

<sup>6</sup> Enriquez Valentino Alejandro "Modificaciones estructurales para incrementar la producción en plataformas marinas de perforación existentes"

<sup>7</sup> Moratines Estivil José Luis "Plataformas marinas"

# CAPÍTULO II

## JUSTIFICACIÓN

**JUSTIFICACIÓN****2.1 ESTIMACIÓN DE LAS RESERVAS**

Desde 1995, Pemex intensificó los esfuerzos para ampliar su conocimiento de los principales yacimientos de hidrocarburos del país, mediante el desarrollo de modelos numéricos más sofisticados y la adquisición de información sísmica y petrofísica nueva y más completa, con el objetivo económico preciso de maximizar el valor de los yacimientos a lo largo de su ciclo de explotación. En un esfuerzo de transparencia similar al de otras empresas petroleras, Pemex audité las nuevas estimaciones por medio de empresas especializadas de reconocimiento internacional.

De acuerdo con la revisión de las definiciones, criterios y lineamientos para calcular las reservas, las cuales fueron hechas por dos agrupaciones técnicas de máxima relevancia internacional, la Sociedad de Ingenieros Petroleros (SPE) y Los Congresos Mundiales del Petróleo (WPC), las reservas de hidrocarburos de México, al 1° de enero de 1999 y 2000 fueron respectivamente:

|                       | Reservas Probadas | Reservas Probables | Reservas Posibles | Reservas 3P(1+2+3) |
|-----------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| <b>Petróleo Crudo</b> |                   |                    |                   |                    |
| <b>Equivalente</b>    | 34.1795           | 12.1045            | 11.4572           | 57.7412            |
| <b>(MMMBPCE)*</b>     | 34.1038           | 12.1408            | 11.9596           | 58.2042            |
| <b>Gas Natural</b>    | 45.0628           | 15.6467            | 20.3290           | 81.0385            |
| <b>(MMMMPC)**</b>     | 43.1677           | 14.8850            | 20.2338           | 78.2865            |

\*(MMMBPCE) Miles de millones de petróleo crudo equivalente que incluye: aceite crudo, gas natural, condensados, líquidos de planta, gas seco, y gas seco equivalente a líquido.

\*\* (MMMMPC).- Millones de millones de pies cúbicos.

**(Tabla # 2) Reservas de petróleo crudo equivalente y de gas natural de México**

Las reservas de hidrocarburos son acumulaciones de las que se tiene evidencia física mediante pruebas de producción. La que no tiene evidencia física se le denomina recurso no descubierto, cuya parte recuperable se le llama recurso.

La parte recuperable de los recursos no descubiertos se clasifican de acuerdo con su conocimiento geológico en probables, posibles y potenciales.

El riesgo económico generado por la incertidumbre de la información e interpretación de datos geológicos, geofísicos, petrofísicos y la aplicación de prácticas de ingeniería permiten clasificar a las reservas como probadas y no probadas. Las primeras incluyen a las desarrolladas y a las no desarrolladas, y las segundas a las probables y a las posibles.

Las *reservas probadas* son los volúmenes de hidrocarburos y sustancias asociadas, evaluadas a condiciones atmosféricas, las cuales por análisis de datos geológicos y de ingeniería, se estiman con una mayor certidumbre. Estos volúmenes, serán comercialmente recuperables a partir de una fecha dada, provenientes de yacimientos conocidos y bajo condiciones actuales económicas, métodos operacionales y regulaciones gubernamentales. Cuando se utilizan métodos probabilísticos el término "probada" implica que se tiene una probabilidad de al menos el 90% de que las cantidades actualmente recuperadas sean mayores o iguales a las reservas estimadas.

Las *reservas probables* son aquellas reservas no probadas en donde el análisis de la información geológica y de ingeniería de estos yacimientos sugiere que son más factibles de ser comercialmente recuperables que de no serlo. Si para su evaluación son usados métodos probabilísticos, habrá una probabilidad de al menos el 50% de que las cantidades actualmente recuperables, serán iguales o mayores a la suma de las reservas estimadas más probables.

Las *reservas posibles* son aquellos volúmenes de hidrocarburos cuya información geológica y de ingeniería sugiere que son menos probables de ser comercialmente recuperables que las reservas probables. De acuerdo con esta definición, cuando son utilizados métodos probabilísticos, la suma de las reservas probadas, probables, más posibles, tendrá al menos una probabilidad del 10% de que las cantidades actualmente recuperables serán iguales o mayores que la suma de las reservas estimadas probadas, más probables, más posibles.

|                          | Reservas Probadas | Reservas Probables | Reservas Posibles | Reservas 3P(1+2+3) |
|--------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Región Marina Noreste*** | 13.2776           | 4.8236             | 1.5855            | 19.6867            |
| (MMMMBPCE)               | 13.2631           | 5.0647             | 2.1974            | 20.5252            |
| Región Marina Noreste    | 6.3033            | 1.4516             | 0.5570            | 8.3118             |
| (MMMMMPC)                | 6.3370            | 1.6397             | 0.9212            | 8.8979             |
| Región Marina Sudoeste   | 1.8341            | 1.0395             | 1.6089            | 4.4825             |
| (MMMMBPCE)               | 2.1328            | 1.0977             | 2.1108            | 5.3413             |
| Región Marina Sudoeste   | 2.5499            | 1.2235             | 1.9930            | 5.7664             |
| (MMMMMPC)                | 2.6057            | 1.4016             | 2.9077            | 6.9149             |
| Región Sur               | 7.7263            | 1.3884             | 1.5973            | 10.7121            |
| (MMMMBPCE)               | 7.5491            | 1.2870             | 1.1984            | 10.0345            |
| Región Sur               | 13.9271           | 2.8644             | 2.8363            | 19.6277            |
| (MMMMMPC)                | 13.3619           | 2.4641             | 2.4732            | 18.2991            |
| Región Norte             | 11.3415           | 4.8529             | 6.6655            | 22.8599            |
| (MMMMBPCE)               | 11.1588           | 4.6914             | 6.4530            | 22.3032            |
| Región Norte             | 22.2826           | 10.1073            | 14.9427           | 47.3326            |
| (MMMMMPC)                | 20.8631           | 9.3796             | 13.9317           | 44.1744            |

\*\*\*99% de las reservas probadas proviene de los complejos Cantarell y Ku-Maloob-Zaap.

**(Tabla # 3) Reservas de petróleo crudo equivalente y de gas natural por regiones**

Considerando únicamente el aceite crudo, las reservas expresadas en miles de millones de barriles (MMMMB) fueron como sigue:

|                        | Reservas Probadas | Reservas Probables | Reservas Posibles | Reservas 3P(1+2+3) |
|------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Pemex                  | 24.7001           | 8.8851             | 7.4787            | 41.0640            |
|                        | 24.6313           | 9.0350             | 7.8290            | 41.4954            |
| Región Marina Noreste  | 11.9361           | 4.5146             | 1.4669            | 17.9176            |
|                        | 11.7217           | 4.6508             | 1.9743            | 18.3468            |
| Región Marina Sudoeste | 1.3661            | 0.8044             | 1.2036            | 3.3741             |
|                        | 1.5638            | 0.7852             | 1.4621            | 3.8111             |
| Región Sur             | 4.4140            | 0.7039             | 0.9298            | 6.0477             |
|                        | 4.3174            | 0.7483             | 0.5874            | 5.6531             |
| Región Norte           | 6.9840            | 2.8621             | 3.8785            | 13.7246            |
|                        | 7.0284            | 2.8507             | 3.8052            | 13.6844            |

**(Tabla # 4) Reservas de solamente aceite crudo por regiones**

## 2.2 INFORMACIÓN DE CANTARELL

La Sonda de Campeche, está situada al oeste de la Península de Yucatán, es en este lugar donde se encuentra la provincia petrolífera de aguas someras más gigantesca que se haya descubierto en México y una de las más singulares del mundo por sus múltiples yacimientos, los cuales son productores de gran variedad de crudos: de extrapesados a volátiles.<sup>10</sup>

La importancia de la Sonda de Campeche se ve reflejada en la producción nacional anual. En el año de 1998 del total de más de 3,000,000 b/d que obtuvo la producción mexicana, los campos marinos de la Sonda de Campeche rindieron más de dos tercios.<sup>10</sup>

El activo de Cantarell, el cual está ubicado en la Sonda de Campeche, se encuentra situado a 80 Km al oeste de la Península de Yucatán o a 75 Km al noreste de la Ciudad del Carmen, en un tirante de agua de 30 m, con una superficie aproximada de 156 Km<sup>2</sup>.

**Datos de producción:**

- Producto: aceite negro del tipo Maya (crudo pesado)
- Producción: 1,228,000 b/d; 484 millones pcd de gas natural (1999).  
42.25% de la producción anual de petróleo crudo de 1999.  
10.10% de la producción anual de gas natural de 1999.
- Actividades: separación de gas, bombeo del crudo e instalaciones para la estabilización de aceite.
- Costo de producción: 2.5 dólares por barril.
- Oleoductos de producción: 75% de la producción se transporta a la estación flotante Ta'kuntah FSO (Floating Storage Offloading) y 25% hacia Cayo Arcas.

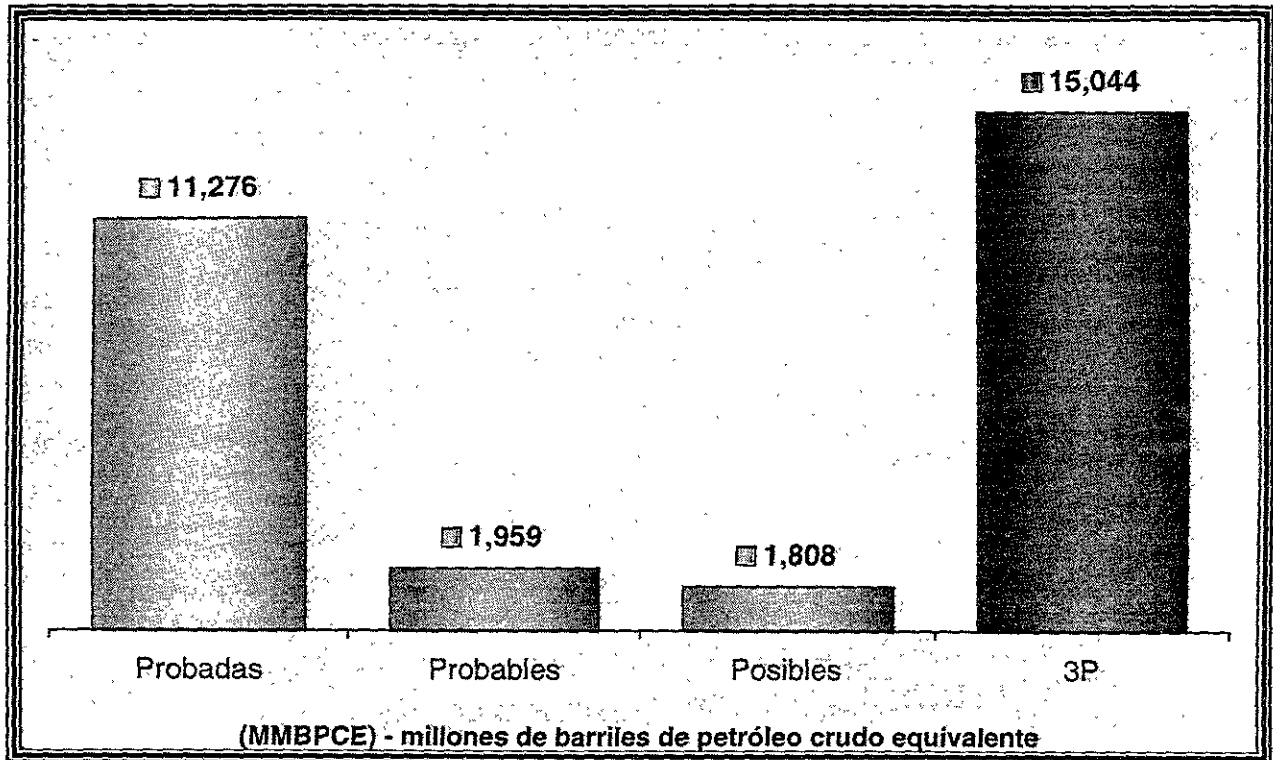
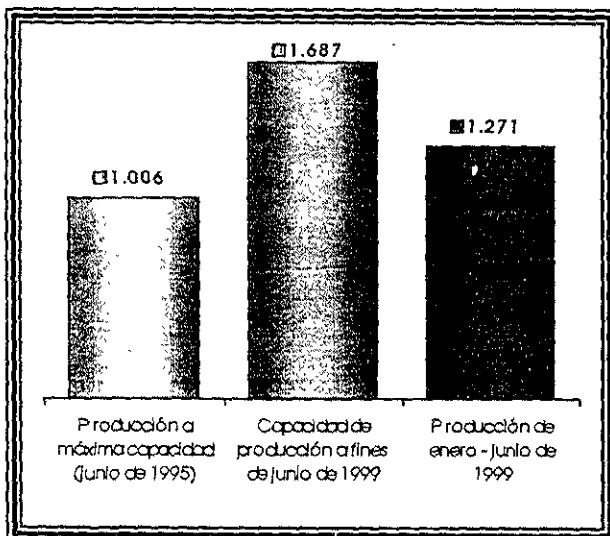
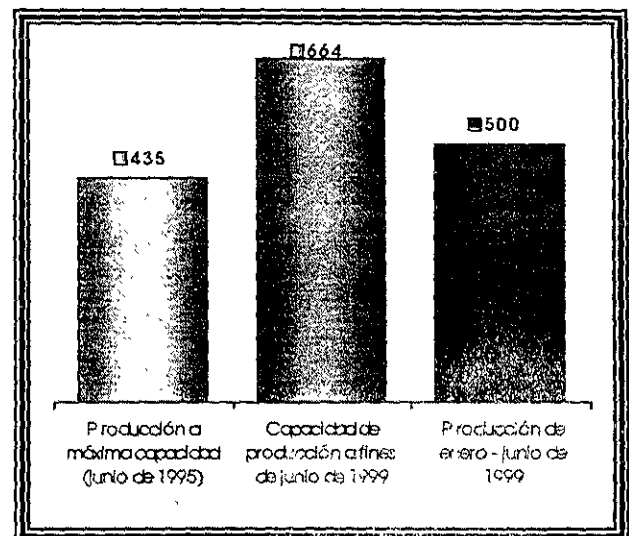
Este activo está conformado por los campos petroleros: Akal, Nohoch, Chac, Takin, Kutz e Ixtoc, los cuales son productores de crudo pesado. Actualmente, este campo ocupa el 6° lugar entre los diez yacimientos supergigantes del mundo.

Cantarell inició su producción en 1979 y al cabo de dos años fluían de sus pozos 1.15 MBPD de crudo Maya. El campo ha dado una producción de aproximadamente un millón de barriles diarios durante casi 20 años de explotación, convirtiéndolo así en el campo más rendidor de México. Históricamente ha brindado alrededor de siete mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente (MBPCE)<sup>10</sup>, lo que supone más o menos un tercio del petróleo original en sitio. Cantarell tiene alrededor de 13,000 millones de barriles de petróleo crudo equivalente en reservas probadas y probables. (ver fig. # 13, 14 y 15)

**Datos de su capacidad:**

- 25.8% de las reservas totales petroleras de México.
- 33.1% de las reservas probadas de México.
- 14.8% de las reservas probables de México.
- 15.1% de las reservas posibles de México.
- 27.9% de la producción acumulada al 1° de enero de 2000.
- 153 pozos con tirantes de 40 y 60 metros.

Nota: Para el cálculo de los datos de capacidad ver fig. # 16, 17, 18, 19, 20, 21 y 22.

(Fig. # 13) Reservas del campo Cantarell(Fig. # 14) Producción y capacidad de producción de petróleo en Cantarell(Fig. # 15) Producción y capacidad de producción de gas natural en Cantarell



|                       | Volumen original |                  | Reserva remanente de hidrocarburos |                 |                |                      | Reserva remanente de gas |                 |                 |
|-----------------------|------------------|------------------|------------------------------------|-----------------|----------------|----------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|
|                       | Crudo            | Gas natural      | Total                              | Crudo           | Condensado     | Líquidos de plantas* | Gas seco**               | Gas natural     | Gas seco        |
|                       | MMb              | MMMpc            | MMbpce                             | MMb             | MMb            | MMb                  | MMbpce                   | MMMpc           | MMMpc           |
| <b>Total</b>          | <b>278 851.4</b> | <b>229 727.7</b> | <b>58 204.1</b>                    | <b>41 495.3</b> | <b>1 198.7</b> | <b>4 837.6</b>       | <b>10 672.5</b>          | <b>78 286.4</b> | <b>55 507.2</b> |
| <b>Marina Noreste</b> | <b>54 312.6</b>  | <b>24 985.0</b>  | <b>20 525.2</b>                    | <b>18 346.8</b> | <b>697.7</b>   | <b>574.2</b>         | <b>906.5</b>             | <b>8 897.9</b>  | <b>4 714.7</b>  |
| Marina Suroeste       | 17 069.0         | 19 719.1         | 5 341.3                            | 3 811.1         | 308.2          | 474.0                | 748.2                    | 6 914.9         | 3 891.1         |
| Sur                   | 39 477.3         | 74 554.1         | 10 034.5                           | 5 653.1         | 158.6          | 1 804.1              | 2 418.7                  | 18 299.1        | 12 579.6        |
| Norte                 | 167 992.5        | 110 469.5        | 22 303.2                           | 13 684.4        | 34.3           | 1 985.4              | 6 599.1                  | 44 174.4        | 34 321.7        |
| <b>Probadas</b>       | <b>203 914.1</b> | <b>188 102.1</b> | <b>34 103.8</b>                    | <b>24 631.3</b> | <b>752.4</b>   | <b>2 876.2</b>       | <b>5 843.8</b>           | <b>43 167.7</b> | <b>30 393.5</b> |
| Marina Noreste        | 51 182.8         | 23 436.3         | 13 263.1                           | 11 721.7        | 502.5          | 402.9                | 636.0                    | 6 337.0         | 3 308.0         |
| Marina Suroeste       | 14 639.0         | 15 571.4         | 2 132.8                            | 1 563.8         | 114.6          | 176.3                | 278.2                    | 2 605.7         | 1 446.9         |
| Sur                   | 37 203.5         | 70 171.7         | 7 549.1                            | 4 317.4         | 122.6          | 1 333.1              | 1 776.0                  | 13 361.9        | 9 236.7         |
| Norte                 | 100 888.8        | 78 922.6         | 11 158.8                           | 7 028.4         | 12.7           | 964.0                | 3 153.6                  | 20 863.1        | 16 401.9        |
| <b>Probables</b>      | <b>32 115.5</b>  | <b>16 590.6</b>  | <b>12 140.8</b>                    | <b>9 035.0</b>  | <b>206.8</b>   | <b>866.4</b>         | <b>2 032.7</b>           | <b>14 884.9</b> | <b>10 572.1</b> |
| Marina Noreste        | 642.7            | 532.2            | 5 064.7                            | 4 650.8         | 121.9          | 113.2                | 178.8                    | 1 639.7         | 929.8           |
| Marina Suroeste       | 1 204.8          | 1 341.9          | 1 097.7                            | 785.2           | 63.0           | 96.7                 | 152.9                    | 1 401.6         | 795.0           |
| Sur                   | 1 174.7          | 2 173.5          | 1 287.0                            | 748.3           | 17.2           | 218.0                | 303.5                    | 2 464.1         | 1 578.6         |
| Norte                 | 29 093.3         | 12 542.9         | 4 691.4                            | 2 850.7         | 4.8            | 438.4                | 1 397.6                  | 9 379.6         | 7 268.7         |
| <b>Posibles</b>       | <b>42 821.7</b>  | <b>25 035.1</b>  | <b>11 959.5</b>                    | <b>7 829.1</b>  | <b>239.5</b>   | <b>1 095.0</b>       | <b>2 795.9</b>           | <b>20 233.8</b> | <b>14 541.6</b> |
| Marina Noreste        | 2 487.1          | 1 016.5          | 2 197.4                            | 1 974.3         | 73.3           | 58.0                 | 91.7                     | 921.2           | 476.9           |
| Marina Suroeste       | 1 225.2          | 2 805.7          | 2 110.8                            | 1 462.1         | 130.6          | 200.9                | 317.1                    | 2 907.7         | 1 649.2         |
| Sur                   | 1 099.1          | 2 208.9          | 1 198.4                            | 587.4           | 18.8           | 253.0                | 339.2                    | 2 473.2         | 1 764.4         |
| Norte                 | 38 010.4         | 19 003.9         | 6 453.0                            | 3 805.2         | 16.8           | 583.0                | 2 047.9                  | 13 931.7        | 10 651.2        |

\* Líquidos del gas obtenidos en plantas de proceso.

\*\* El líquido obtenido supone un poder calorífico equivalente al crudo Maya y una mezcla promedio de gas seco obtenida en Cactus, Cd. Pemex y Nuevo Pemex.

Nota: Todas las unidades están expresadas a condiciones atmosféricas, y suponen 15.6 °C y 14.7 libras de presión por pulgada cuadrada.

(Fig. # 16) Reservas de hidrocarburos al 1° de enero del 2000

|                  | Volumen original |                 |                 | Reserva remanente de hidrocarburos |              |                      |              | Reserva remanente de gas |                |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------|--------------|----------------------|--------------|--------------------------|----------------|
|                  | Crudo            | Gas natural     | Total           | Crudo                              | Condensado   | Líquidos de plantas* | Gas seco**   | Gas natural              | Gas seco       |
|                  | MMb              | MMMpc           | MMbpce          | MMb                                | MMb          | MMb                  | MMbpce       | MMMpc                    | MMMpc          |
| <b>Total</b>     | <b>54 312.6</b>  | <b>24 985.0</b> | <b>20 525.2</b> | <b>18 346.8</b>                    | <b>697.7</b> | <b>574.2</b>         | <b>906.5</b> | <b>8 897.9</b>           | <b>4 714.7</b> |
| <b>Cantarell</b> | <b>37 609.6</b>  | <b>18 880.1</b> | <b>15 043.9</b> | <b>13 428.8</b>                    | <b>548.7</b> | <b>413.6</b>         | <b>652.9</b> | <b>6 740.4</b>           | <b>3 395.5</b> |
| Ek-Balam         | 3 398.0          | 786.2           | 523.2           | 495.7                              | 6.3          | 8.2                  | 13.0         | 110.3                    | 67.8           |
| Ku-Maloob-Zaap   | 13 305.0         | 5 318.8         | 4 958.1         | 4 422.3                            | 142.7        | 152.4                | 240.6        | 2 047.2                  | 1 251.4        |
| <b>Probadas</b>  | <b>51 182.8</b>  | <b>23 436.3</b> | <b>13 263.1</b> | <b>11 721.7</b>                    | <b>502.5</b> | <b>402.9</b>         | <b>636.0</b> | <b>6 337.0</b>           | <b>3 308.0</b> |
| Cantarell        | 36 159.3         | 17 699.8        | 11 276.4        | 10 017.0                           | 427.7        | 322.6                | 509.2        | 5 256.1                  | 2 648.4        |
| Ek-Balam         | 2 174.9          | 587.0           | 196.4           | 185.4                              | 2.4          | 3.4                  | 5.3          | 43.9                     | 27.6           |
| Ku-Maloob-Zaap   | 12 848.7         | 5 149.5         | 1 790.3         | 1 519.3                            | 72.4         | 77.0                 | 121.5        | 1 037.0                  | 632.0          |
| <b>Probables</b> | <b>642.7</b>     | <b>532.2</b>    | <b>5 064.7</b>  | <b>4 650.8</b>                     | <b>121.9</b> | <b>113.2</b>         | <b>178.8</b> | <b>1 639.7</b>           | <b>929.8</b>   |
| Cantarell        | 474.5            | 501.0           | 1 959.4         | 1 792.7                            | 56.6         | 42.7                 | 67.4         | 695.7                    | 350.6          |
| Ek-Balam         | 100.3            | 13.2            | 123.9           | 116.5                              | 1.6          | 2.3                  | 3.6          | 29.4                     | 18.5           |
| Ku-Maloob-Zaap   | 67.9             | 18.0            | 2 981.3         | 2 741.6                            | 63.6         | 68.3                 | 107.8        | 914.5                    | 560.7          |
| <b>Posibles</b>  | <b>2 487.1</b>   | <b>1 016.5</b>  | <b>2 197.4</b>  | <b>1 974.3</b>                     | <b>73.3</b>  | <b>58.0</b>          | <b>91.7</b>  | <b>921.2</b>             | <b>476.9</b>   |
| Cantarell        | 975.8            | 679.3           | 1 808.1         | 1 619.1                            | 64.4         | 48.3                 | 76.3         | 788.6                    | 393.6          |
| Ek-Balam         | 1 122.9          | 186.0           | 202.8           | 193.8                              | 2.3          | 2.6                  | 4.2          | 36.9                     | 21.7           |
| Ku-Maloob-Zaap   | 388.4            | 151.3           | 186.5           | 161.4                              | 6.6          | 7.1                  | 11.3         | 95.7                     | 58.6           |

\* Líquidos del gas obtenidos en plantas de proceso.

\*\* El líquido obtenido supone un poder calorífico equivalente al crudo Maya y una mezcla promedio de gas seco obtenida en Cactus, Cd. Pemex y Nuevo Pemex.

Nota: Todas las unidades están expresadas a condiciones atmosféricas, y suponen 15.6 °C y 14.7 libras de presión por pulgada cuadrada.

(Fig. # 17) Reservas totales de hidrocarburos de la Región Marina Noreste al 1° de enero del 2000

|                        | Volumen original |             | Reserva remanente de hidrocarburos |          |            |                       |          | Reserva remanente de gas |          |
|------------------------|------------------|-------------|------------------------------------|----------|------------|-----------------------|----------|--------------------------|----------|
|                        | Acete            | Gas natural | Petroleo crudo equivalente         | Acete    | Condensado | Liquidos de plantas * | Gas seco | Gas natural              | Gas seco |
|                        | mmb              | mmpo        | mmbpce                             | mmb      | mmb        | mmb                   | mmbpce   | mmpo                     | mmpo     |
| <b>Total</b>           | 276 877.1        | 232 503.0   | 57 741.2                           | 41 064.0 | 1 230.1    | 4 644.6               | 10 802.5 | 81 038.5                 | 56 183.1 |
| Marina Noreste         | 52 114.9         | 23 130.9    | 19 886.7                           | 17 917.6 | 756.4      | 357.4                 | 655.2    | 8 311.8                  | 3 407.8  |
| <b>Cantarell</b>       | 35 357.9         | 17 013.5    | 14 200.6                           | 12 904.9 | 554.0      | 261.8                 | 479.9    | 6 087.9                  | 2 496.0  |
| Ek-Balam               | 3 451.9          | 798.6       | 513.9                              | 487.7    | 11.2       | 6.3                   | 9.7      | 123.3                    | 50.5     |
| Ku-Maloob-Zaap         | 13 305.0         | 5 318.8     | 4 972.2                            | 4 525.1  | 191.2      | 90.3                  | 165.6    | 2 100.7                  | 861.3    |
| Marina Suroeste        | 16 812.0         | 19 172.6    | 4 482.5                            | 3 374.1  | 351.9      | 128.4                 | 628.1    | 5 766.4                  | 3 266.7  |
| Abkatun                | 8 687.7          | 8 401.2     | 1 569.4                            | 1 240.5  | 112.4      | 33.7                  | 182.8    | 1 863.6                  | 950.8    |
| Litoral de Tabasco     | 3 632.5          | 5 416.2     | 1 999.4                            | 1 430.1  | 169.0      | 72.5                  | 327.7    | 2 664.4                  | 1 704.5  |
| Pol-Chuc               | 4 511.7          | 5 355.2     | 913.7                              | 703.4    | 70.4       | 22.2                  | 117.6    | 1 238.4                  | 611.5    |
| Norte                  | 168 374.4        | 112 498.8   | 22 859.9                           | 13 724.6 | 35.5       | 1 857.5               | 7 242.3  | 47 392.6                 | 37 666.5 |
| Atamira                | 75 334.9         | 51 084.1    | 8 341.6                            | 5 668.6  | 7.1        | 610.4                 | 2 055.5  | 13 939.9                 | 10 690.8 |
| Burgos                 | 239.7            | 18 885.9    | 1 497.3                            | 16.5     | 27.2       | 97.8                  | 1 355.6  | 7 352.5                  | 7 051.1  |
| Poza Rica              | 92 308.4         | 39 826.5    | 12 772.7                           | 8 028.7  | 0.0        | 1 120.8               | 3 623.2  | 24 916.9                 | 18 844.1 |
| Veracruz               | 491.4            | 2 702.3     | 248.2                              | 10.7     | 1.2        | 28.5                  | 207.8    | 1 123.4                  | 1 080.6  |
| Sur                    | 39 575.9         | 77 700.8    | 10 712.1                           | 6 047.7  | 86.3       | 2 301.2               | 2 276.8  | 19 627.7                 | 11 841.8 |
| Bellota-Chinchorro     | 5 577.7          | 6 949.2     | 1 266.5                            | 779.5    | 7.4        | 257.4                 | 212.3    | 1 893.9                  | 1 104.0  |
| Chilapilla-José Colomo | 176.7            | 8 507.1     | 458.7                              | 61.8     | 10.9       | 57.6                  | 328.4    | 1 814.1                  | 1 707.9  |
| Cinco Presidentes      | 7 068.7          | 7 169.0     | 723.6                              | 618.5    | 0.0        | 2.0                   | 102.9    | 658.3                    | 535.4    |
| Jujo-Tecominoacán      | 6 330.9          | 9 484.0     | 2 156.4                            | 1 217.8  | 35.7       | 495.2                 | 407.7    | 3 642.1                  | 2 120.2  |
| Luna                   | 2 123.4          | 7 111.2     | 1 169.5                            | 624.7    | 9.6        | 292.9                 | 242.3    | 2 140.3                  | 1 260.4  |
| Mispac                 | 2 696.8          | 15 338.7    | 1 449.7                            | 332.7    | 13.4       | 605.5                 | 498.1    | 4 813.6                  | 2 590.7  |
| Samaria-Sitio Grande   | 15 601.6         | 23 131.5    | 3 407.7                            | 2 412.6  | 9.2        | 590.6                 | 485.2    | 4 665.4                  | 2 523.4  |

(Fig. # 18) Reservas totales de hidrocarburos al 1° de enero de 1999

|                           | Volumen original |                      | Reserva remanente de hidrocarburos         |               |                   |                                    |                    | Reserva remanente de gas |                   |
|---------------------------|------------------|----------------------|--|---------------|-------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|
|                           | Aceite<br>mmb    | Gas natural<br>mmmpc | Petróleo<br>crudo<br>equivalente<br>mmbpce | Aceite<br>mmb | Condensado<br>mmb | Líquidos<br>de<br>plantas *<br>mmb | Gas seco<br>mmbpce | Gas natural<br>mmmpc     | Gas seco<br>mmmpc |
|                           |                  |                      |  |               |                   |                                    |                    |                          |                   |
| Total                     | 202 920.8        | 190 272.7            | 34 179.5                                   | 24 700.1      | 796.5             | 2 902.4                            | 5 780.5            | 45 062.8                 | 30 064.0          |
| Marina Noreste            | 50 346.5         | 22 747.5             | 13 277.6                                   | 11 936.1      | 573.6             | 271.0                              | 496.9              | 6 303.3                  | 2 584.4           |
| Cantarell                 | 35 323.0         | 17 010.9             | 11 276.9                                   | 10 176.7      | 470.4             | 222.3                              | 407.5              | 5 169.3                  | 2 119.4           |
| Ek-Balam                  | 2 174.9          | 587.0                | 146.5                                      | 137.3         | 4.0               | 1.9                                | 3.4                | 43.5                     | 17.9              |
| Ku-Maloob-Zaap            | 12 848.7         | 5 149.5              | 1 854.2                                    | 1 622.1       | 99.2              | 46.8                               | 86.0               | 1 090.5                  | 447.1             |
| Marina Suroeste           | 14 465.0         | 15 633.4             | 1 834.1                                    | 1 366.1       | 150.9             | 52.6                               | 264.6              | 2 549.9                  | 1 376.1           |
| Abkatún                   | 8 094.0          | 7 752.3              | 739.3                                      | 578.0         | 55.2              | 18.4                               | 89.7               | 914.9                    | 466.6             |
| Litoral de Tabasco        | 1 908.4          | 2 553.4              | 621.1                                      | 442.7         | 53.0              | 22.5                               | 102.9              | 867.7                    | 535.4             |
| Pol-Chuc                  | 4 462.6          | 5 327.7              | 473.7                                      | 345.4         | 42.6              | 13.7                               | 71.9               | 767.3                    | 374.1             |
| Norte                     | 101 156.9        | 79 655.8             | 11 341.5                                   | 6 984.0       | 10.3              | 910.6                              | 3 436.6            | 22 282.6                 | 17 873.1          |
| Altamira                  | 52 481.7         | 42 635.9             | 5 025.5                                    | 3 422.4       | 0.0               | 371.8                              | 1 231.3            | 8 336.1                  | 6 404.2           |
| Burgos                    | 239.7            | 12 406.8             | 597.7                                      | 16.3          | 9.4               | 33.5                               | 538.5              | 2 919.0                  | 2 800.4           |
| Poza Rica                 | 47 988.5         | 22 390.9             | 5 591.0                                    | 3 539.7       | 0.0               | 484.6                              | 1 566.6            | 10 477.9                 | 8 148.1           |
| Veracruz                  | 447.0            | 2 222.2              | 127.2                                      | 5.5           | 0.9               | 20.7                               | 100.1              | 549.6                    | 520.4             |
| Sur                       | 36 952.4         | 72 236.0             | 7 726.3                                    | 4 414.0       | 61.7              | 1 668.2                            | 1 582.5            | 13 927.1                 | 8 230.5           |
| Bellota-Chinchomo         | 4 800.3          | 5 898.4              | 787.7                                      | 458.0         | 5.6               | 166.8                              | 137.3              | 1 223.8                  | 714.1             |
| Chilapilla-José<br>Colomo | 94.7             | 7 881.8              | 236.3                                      | 10.9          | 7.4               | 29.5                               | 188.5              | 1 063.5                  | 980.4             |
| Cinco Presidentes         | 6 907.7          | 7 029.0              | 302.6                                      | 255.9         | 0.0               | 0.9                                | 45.8               | 292.0                    | 238.3             |
| Jujo-Tecominoacán         | 5 460.7          | 8 318.7              | 1 858.3                                    | 1 087.9       | 28.0              | 407.2                              | 335.2              | 3 001.4                  | 1 743.3           |
| Luna                      | 1 488.7          | 5 046.5              | 507.7                                      | 264.6         | 4.3               | 130.4                              | 108.4              | 956.3                    | 563.9             |
| Mispac                    | 2 618.7          | 14 930.1             | 922.6                                      | 172.5         | 9.3               | 406.4                              | 334.3              | 3 221.5                  | 1 738.7           |
| Samaría-Sitio<br>Grande   | 15 601.6         | 23 131.5             | 3 131.2                                    | 2 164.2       | 7.1               | 527.0                              | 433.0              | 4 168.6                  | 2 251.9           |

(Fig. # 19) Reservas probadas de hidrocarburos al 1° de enero de 1999

|                        | Volumen original |             | Reserva remanente de hidrocarburos |         |            |                      | Reserva remanente de gas |             |          |
|------------------------|------------------|-------------|------------------------------------|---------|------------|----------------------|--------------------------|-------------|----------|
|                        | Aceite           | Gas natural | Petróleo crudo equivalente         | Aceite  | Condensado | Líquidos de plantas* | Gas seco                 | Gas natural | Gas seco |
|                        | mmb              | mmmpc       | mmbpce                             | mmb     | mmb        | mmb                  | mmbpce                   | mmmpc       | mmmpc    |
| Total                  | 32 131.5         | 18 053.3    | 12 104.5                           | 8 885.1 | 231.0      | 824.7                | 2 163.7                  | 15 646.7    | 11 253.2 |
| Marina Noreste         | 168.2            | 31.2        | 4 823.6                            | 4 514.8 | 132.1      | 62.4                 | 114.4                    | 1 451.6     | 595.1    |
| Cantarell              | 0.0              | 0.0         | 1 703.1                            | 1 598.0 | 45.0       | 21.2                 | 38.9                     | 494.0       | 202.5    |
| Ek-Balam               | 100.3            | 13.2        | 184.3                              | 175.1   | 3.9        | 1.9                  | 3.4                      | 43.1        | 17.7     |
| Ku-Maloob-Zaap         | 67.9             | 18.0        | 2 936.2                            | 2 741.6 | 83.2       | 39.3                 | 72.1                     | 914.5       | 374.9    |
| Marina Suroeste        | 1 500.9          | 1 688.4     | 1 039.5                            | 804.4   | 75.7       | 27.4                 | 132.0                    | 1 223.5     | 686.6    |
| Abkatún                | 309.8            | 389.3       | 364.8                              | 288.2   | 26.1       | 7.8                  | 42.8                     | 436.1       | 222.4    |
| Litoral de Tabasco     | 1 144.3          | 1 284.9     | 515.1                              | 386.8   | 39.4       | 16.4                 | 72.5                     | 613.3       | 376.9    |
| Pol-Chuc               | 46.7             | 14.2        | 159.6                              | 129.4   | 10.2       | 3.1                  | 16.8                     | 174.1       | 87.4     |
| Norte                  | 29 093.3         | 13 524.5    | 4 852.9                            | 2 862.1 | 10.7       | 408.1                | 1 572.0                  | 10 107.3    | 8 175.8  |
| Atamira                | 10 091.1         | 3 480.0     | 1 446.6                            | 971.3   | 3.2        | 107.3                | 363.8                    | 2 450.0     | 1 892.0  |
| Burgos                 | 0.0              | 2 352.7     | 327.6                              | 0.2     | 7.4        | 27.2                 | 292.7                    | 1 585.9     | 1 522.3  |
| Poza Rica              | 19 002.1         | 7 510.9     | 3 038.5                            | 1 890.6 | 0.0        | 271.4                | 877.4                    | 5 869.9     | 4 563.5  |
| Veracruz               | 0.1              | 170.8       | 40.3                               | 0.0     | 0.1        | 2.1                  | 38.1                     | 201.4       | 197.9    |
| Sur                    | 1 369.1          | 2 809.2     | 1 388.4                            | 703.9   | 12.5       | 326.8                | 345.2                    | 2 864.4     | 1 795.6  |
| Bellota-Chinchorro     | 311.8            | 358.0       | 266.8                              | 167.6   | 1.0        | 53.7                 | 44.5                     | 395.8       | 231.4    |
| Chilapilla-José Colomo | 64.7             | 329.1       | 130.7                              | 37.9    | 2.5        | 15.4                 | 74.9                     | 402.1       | 389.8    |
| Cinco Presidentes      | 80.3             | 69.6        | 98.3                               | 84.1    | 0.0        | 0.3                  | 13.9                     | 68.9        | 72.1     |
| Jujo-Tecominoacán      | 558.6            | 787.4       | 194.0                              | 94.5    | 4.5        | 52.1                 | 42.9                     | 379.1       | 223.0    |
| Luna                   | 275.7            | 856.4       | 267.9                              | 138.2   | 2.3        | 69.8                 | 57.6                     | 509.1       | 299.4    |
| Mispac                 | 78.1             | 408.7       | 274.9                              | 75.1    | 1.8        | 108.6                | 89.4                     | 876.4       | 464.9    |
| Samaria-Sitio Grande   | 0.0              | 0.0         | 155.9                              | 106.6   | 0.3        | 26.9                 | 22.1                     | 213.0       | 115.0    |

(Fig. # 20) Reservas probables de hidrocarburos al 1° de enero de 1999

|                           | Volumen original |             | Reserva remanente de hidrocarburos |         |            |                         | Reserva remanente de gas |             |          |
|---------------------------|------------------|-------------|------------------------------------|---------|------------|-------------------------|--------------------------|-------------|----------|
|                           | Aceite           | Gas natural | Petróleo<br>crudo<br>equivalente   | Aceite  | Condensado | Líquidos de<br>plantas* | Gas seco                 | Gas natural | Gas seco |
|                           | mmb              | mmmpc       | mmbpce                             | mmb     | mmb        | mmb                     | mmbpce                   | mmmpc       | mmmpc    |
|                           | 41 824.8         | 24 177.0    | 11 457.2                           | 7 478.7 | 202.7      | 917.5                   | 2 858.3                  | 20 329.0    | 14 865.9 |
| Marina Noreste            | 1 600.1          | 352.2       | 1 585.5                            | 1 466.9 | 50.7       | 24.0                    | 43.9                     | 557.0       | 228.4    |
| Cantarell                 | 35.0             | 2.6         | 1 220.5                            | 1 130.2 | 38.6       | 18.3                    | 33.5                     | 424.6       | 174.1    |
| Ek-Balam                  | 1 176.8          | 198.4       | 183.1                              | 175.3   | 3.3        | 1.6                     | 2.9                      | 36.7        | 15.0     |
| Ku-Maloob-Zaap            | 388.4            | 151.3       | 181.8                              | 161.4   | 8.7        | 4.1                     | 7.5                      | 95.7        | 39.2     |
| Marina Suroeste           | 846.1            | 1 850.8     | 1 608.9                            | 1 203.6 | 125.3      | 48.4                    | 231.5                    | 1 993.0     | 1 204.1  |
| Abkatún                   | 263.9            | 259.5       | 465.2                              | 374.3   | 31.1       | 9.5                     | 50.3                     | 512.6       | 261.8    |
| Litoral de Tabasco        | 579.8            | 1 577.9     | 863.3                              | 600.7   | 76.7       | 33.6                    | 152.3                    | 1 183.4     | 792.2    |
| Pol-Chuc                  | 2.4              | 13.4        | 280.4                              | 228.6   | 17.6       | 5.4                     | 28.8                     | 296.9       | 150.0    |
| Norte                     | 39 124.2         | 19 318.4    | 6 665.5                            | 3 878.5 | 14.5       | 538.8                   | 2 233.8                  | 14 942.7    | 11 617.7 |
| Altamira                  | 12 762.1         | 4 958.1     | 1 870.5                            | 1 274.9 | 3.9        | 131.3                   | 460.4                    | 3 153.8     | 2 394.6  |
| Burgos                    | 0.0              | 4 126.4     | 572.0                              | 0.0     | 10.4       | 37.1                    | 524.6                    | 2 847.5     | 2 728.4  |
| Poza Rica                 | 25 317.7         | 9 924.6     | 4 142.2                            | 2 598.4 | 0.0        | 364.8                   | 1 179.1                  | 8 569.1     | 6 132.5  |
| Veracruz                  | 44.3             | 309.3       | 80.7                               | 5.2     | 0.2        | 5.7                     | 69.6                     | 372.3       | 362.2    |
| Sur                       | 1 254.3          | 2 655.6     | 1 597.3                            | 929.8   | 12.2       | 306.3                   | 349.1                    | 2 836.3     | 1 815.7  |
| Bellota-Chinohomo         | 465.6            | 692.7       | 222.0                              | 154.0   | 0.7        | 36.9                    | 30.5                     | 274.3       | 158.5    |
| Chilapilla-José<br>Colomo | 17.2             | 296.3       | 91.8                               | 13.1    | 1.1        | 12.7                    | 64.9                     | 348.5       | 337.7    |
| Cinco Presidentes         | 80.8             | 70.5        | 322.7                              | 278.6   | 0.0        | 0.9                     | 43.3                     | 277.4       | 225.0    |
| Jujo-Tecominoacán         | 311.6            | 367.8       | 104.1                              | 35.3    | 3.2        | 35.9                    | 29.6                     | 261.6       | 153.9    |
| Luna                      | 379.1            | 1 208.3     | 394.0                              | 221.9   | 3.0        | 92.7                    | 76.3                     | 675.0       | 397.0    |
| Mispac                    | 0.0              | 0.0         | 252.2                              | 85.1    | 2.9        | 90.4                    | 74.4                     | 715.7       | 387.1    |
| Samaria-Sitio<br>Grande   | 0.0              | 0.0         | 210.6                              | 141.9   | 1.8        | 36.7                    | 30.1                     | 283.8       | 156.5    |

(Fig. # 21) Reservas posibles de hidrocarburos al 1° de enero de 1999

|                        | Crudo<br>MMb    | Gas natural<br>MMMpc |
|------------------------|-----------------|----------------------|
| <b>Total</b>           | <b>26 463.7</b> | <b>45 035.4</b>      |
| <b>Marina Noreste</b>  | <b>8 944.1</b>  | <b>3 936.8</b>       |
| <b>Cantarell</b>       | <b>7 382.5</b>  | <b>3 131.3</b>       |
| Ek-Balam               | 155.3           | 71.9                 |
| Ku-Maloob-Zaap         | 1 406.3         | 733.6                |
| <b>Marina Suroeste</b> | <b>4 084.4</b>  | <b>4 191.4</b>       |
| Abkatún                | 2 614.9         | 2 598.0              |
| Litoral de Tabasco     | 106.8           | 234.7                |
| Pol-Chuc               | 1 362.7         | 1 358.7              |
| <b>Sur</b>             | <b>8 029.7</b>  | <b>22 271.6</b>      |
| Bellota-Chinchorro     | 991.5           | 1 523.5              |
| Chilapilla-José Colomo | 10.2            | 5 067.5              |
| Cinco Presidentes      | 1 609.6         | 1 917.9              |
| Jujo-Tecominoacán      | 1 257.5         | 2 168.5              |
| Luna                   | 309.8           | 1 111.0              |
| Muspac                 | 656.6           | 5 923.4              |
| Samarja-Sitio Grande   | 3 194.4         | 4 559.7              |
| <b>Norte</b>           | <b>5 405.4</b>  | <b>14 635.6</b>      |
| Altamira               | 2 784.9         | 4 057.1              |
| Burgos                 | 33.3            | 6 574.7              |
| Poza Rica              | 2 514.3         | 3 135.7              |
| Veracruz               | 72.9            | 868.0                |

Nota: Todas las unidades están expresadas a condiciones atmosféricas, y suponen 15.6 °C y 14.7 libras de presión por pulgada cuadrada.

(Fig. # 22) Producción acumulada de hidrocarburos al 1° de enero del 2000

### 2.3 PROYECTO CANTARELL

Pemex Exploración y Producción (PEP), con la finalidad de prolongar la etapa de productividad del campo Cantarell, en 1996 inició un estudio conjuntamente con las empresas Petroleum Managers y Bechtel, el cual permitirá modernizar y optimizar la infraestructura productiva del Activo Cantarell, en la Sonda de Campeche.

El estudio hizo el diseño conceptual para el desarrollo del Campo Cantarell. Este identificó un número de proyectos para eliminar a corto plazo los cuellos de botella de producción y a largo plazo aumentar la producción del campo. El diseño, fabricación y la

instalación de la infraestructura para realizar estos objetivos fue denominado inicialmente como el Proyecto de Desarrollo del Campo Cantarell. Por lo tanto, dicho proyecto implementará un vasto programa de optimizaciones y adición de nuevas instalaciones.

### 2.3.1 OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROYECTO DE CANTARELL

El proyecto Cantarell tiene el objetivo de elevar la producción en el único yacimiento supergigante de México, desde 1,030,000 b/d que se obtuvo en 1996 y 1,400,000 b/d en los primeros meses de 1999 hasta un nivel de 1,700,000 b/d para fines de 1999 hasta llegar a obtener 2,400,000 b/d. Esto implica incrementar en un 50% la producción diaria de Cantarell. La implementación de la primera fase, de simple optimización, logró alcanzar la meta deseada, al aumentar el rendimiento a 1,400,000 b/d; lo que representó un 25% más de la producción diaria.<sup>10</sup>

Pemex proyecta que la producción de gas natural aumentará de 753 MMPCD en 1997 a 1,500 MMPCD en los primeros años del siglo XXI.<sup>10</sup>

La empresa Bechtel, gerente del proyecto total actualmente en ejecución, informa que el programa consta de dos fases o etapas.

- Fase I – Incrementar la capacidad de producción en aproximadamente 25 por ciento con respecto a los niveles de enero de 1996 por la eliminación de cuellos de botella.
- Fase II – Expandir la capacidad de producción en un 50% por la adición de nuevas instalaciones.<sup>10</sup>

En los cuales se pretende:

- Aumentar la confiabilidad/disponibilidad de las instalaciones de producción existentes; así como dar mayor flexibilidad operativa.
- Eliminar la quema de gas.
- Desarrollar un programa de mantenimiento de presión en los yacimientos, inyectándoles nitrógeno.<sup>12</sup>

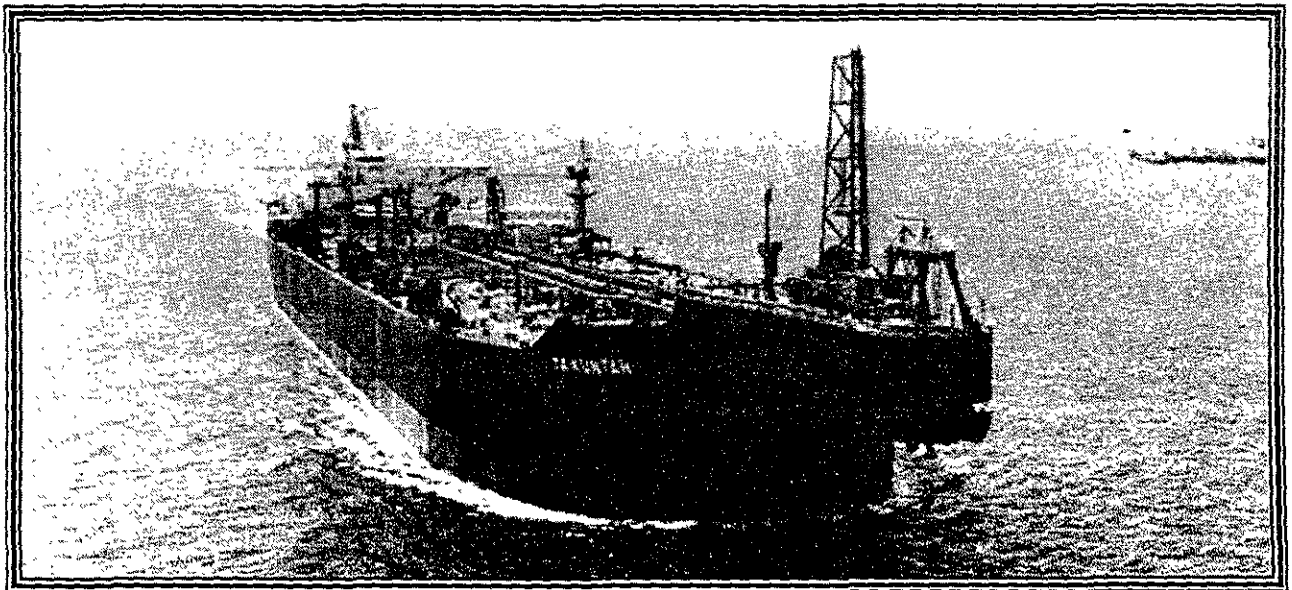
<sup>10</sup>Revista "Petróleo Internacional"

<sup>12</sup>Bases de diseño del proyecto "Manejo de la Producción de Akal-L para 1999-2000"



El avance, así como el alcance de cada una de las fases del proyecto Cantarell son las siguientes:

La 1<sup>ra</sup> fase también llamada como el proyecto a corto plazo para eliminar los cuellos de botella, incluye modificaciones a plataformas existentes en los complejos Akal-C, Akal-J, Nohoch-A y Akal-N con sus correspondientes plataformas satélites; la adición de dos nuevas plataformas en el complejo Akal-C, una para proceso y la segunda para servicios de compresión, así como una embarcación para almacenamiento y carga de crudo (Floating Storage Offloading-FSO) con las interconexiones de tuberías requeridas.<sup>13</sup>



**(Fig. # 23) Ta'Kuntah- Floating Storage Offloading (FSO)**

A partir de 1996, se hizo la perforación de 69 pozos adicionales, la instalación de nuevos separadores, bombas y compresoras en las plataformas existentes, la interconexión de oleoductos submarinos y el uso de una estación flotante, el barco Ta'Kuntah de 350,000 toneladas de peso muerto, con capacidad para almacenar 800,000 barriles. de crudo y trasegarlo a los tanqueros que lo llevan, principalmente, a los mercados de exportación. El Ta'Kuntah, un buque tanque convertido para ese fin, entró en operación a fines de 1998. (ver fig. # 23)

La 2ª fase también llamada como el plan a largo plazo consiste de un total de 23 plataformas nuevas y 4 módulos habitacionales nuevos, con sus correspondientes puentes de comunicación, trípodes para apoyo de los mismos y trípodes para apoyo de quemadores, un gasoducto de 36" de diámetro y 85 Km de longitud de Atasta a Nohoch-A, 26 ductos submarinos con sus líneas de interconexión.<sup>13</sup> Esto implica que a finales del año 2002, se hará la instalación de nuevas plataformas de perforación, producción, enlace y de inyección, además de puentes, quemadores e interconexiones adicionales de oleoductos.

La modernización de las instalaciones, así como, la eliminación de los cuellos de botella en la infraestructura de producción, recolección y transporte, permitirán incrementar la capacidad de estos sistemas y mejorar su eficiencia operativa.<sup>12</sup>

Una manera de lograr el objetivo de este proyecto, es la de aprovechar la infraestructura ya existente adecuándola de tal forma que permita el incremento en su capacidad de producción. Para poder llegar a esta finalidad se requiere hacer una reingeniería a las instalaciones.<sup>12</sup> (ver fig. # 24)

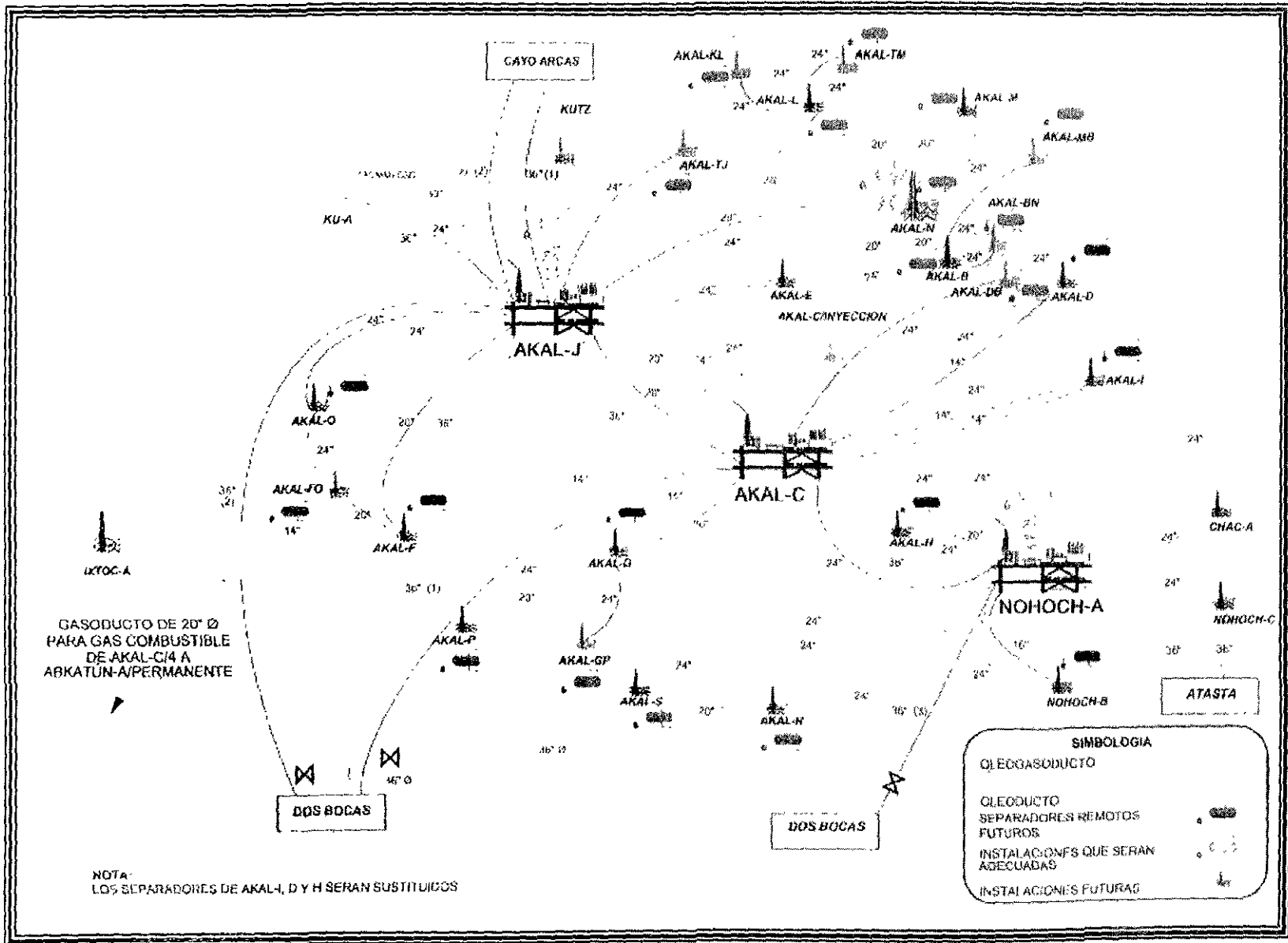
Pemex trabaja para eliminar la quema de gas natural en sus operaciones costafuera al agregar capacidad de procesamiento, aunque prevé que esa capacidad estará lista hasta fines, del 2000 o en el 2001. Actualmente, la empresa quema a la atmósfera unos 600 MMPCD de gas.<sup>10</sup>

El alcance de este proyecto incluye la construcción de gasoductos y oleoductos marinos; plataformas de perforación, producción, compresión, de inyección de gas nitrógeno, habitacional y de enlace; la adquisición de equipos de compresión, bombeo y control automatizado y la perforación de pozos, así como comenzar el proyecto de recuperación secundaria mediante la inyección de nitrógeno con el fin de mantener la presión del yacimiento.<sup>12</sup> (ver fig. # 25)

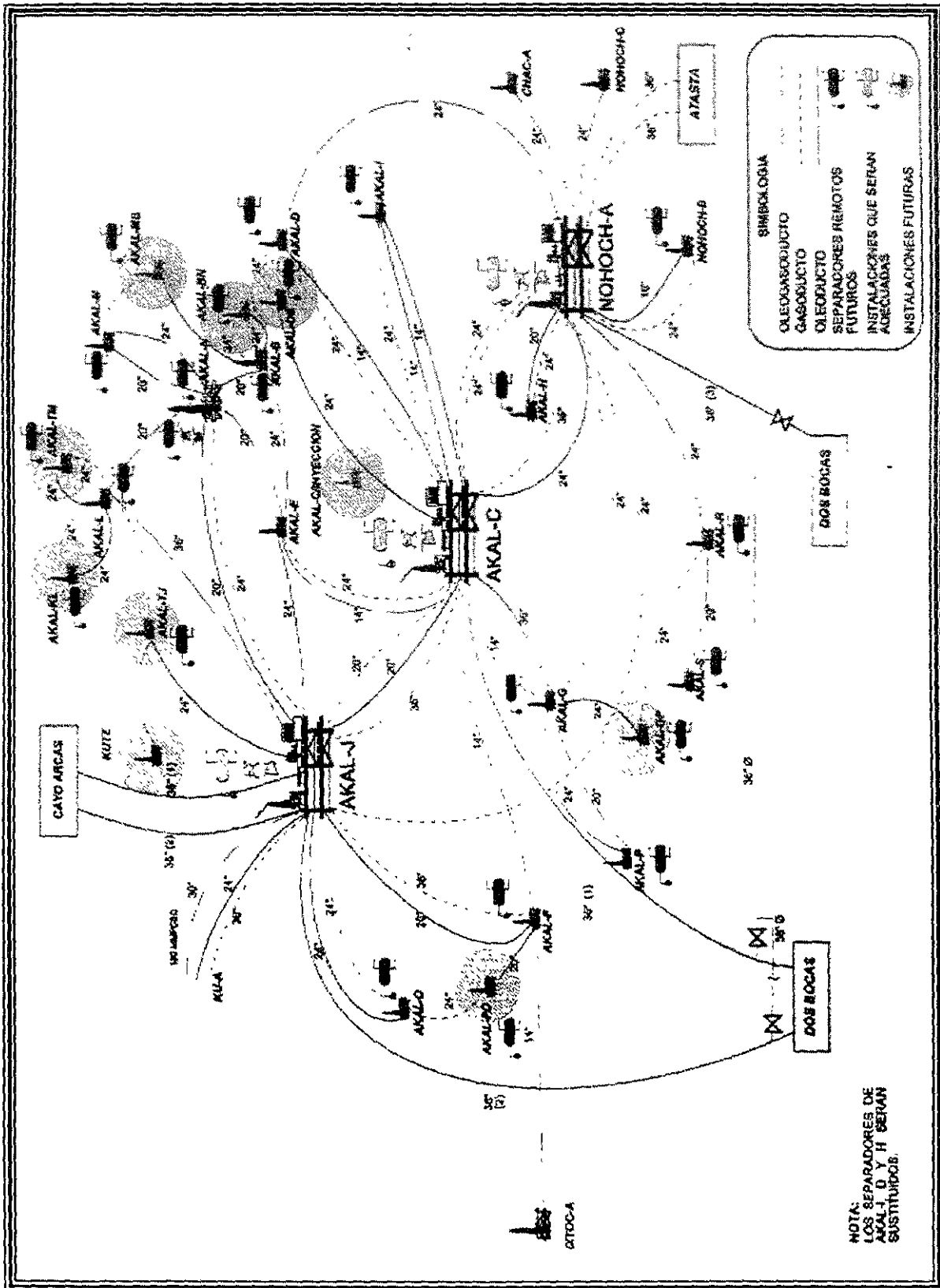
<sup>10</sup>Revista "Petróleo Internacional"

<sup>11</sup>Bases de diseño del proyecto "Manejo de la Producción de Akal-L para 1999-2000"

<sup>12</sup>Gaceta "IMP"



(Fig. # 24) Plataformas y adecuación de las instalaciones para la infraestructura futura



(Fig. # 25) Infraestructura futura

### 2.3.2 RAZONES PARA EFECTUAR EL PROYECTO DE CANTARELL Y LAS EMPRESAS INVOLUCRADAS

A pesar de que 20 años después de haberse iniciado su explotación Cantarell rinde el grueso de la producción costafuera mexicana, la baja de presión de los horizontes productores ha traído consigo la paulatina declinación del rendimiento total del campo. Es decir, que a medida que disminuye la intensidad del empuje hidráulico, que es el principal mecanismo de producción, merma el rendimiento de los pozos individuales. Al iniciarse la producción del campo, en 1979, la presión del yacimiento era de 3,840 lbs/pg<sup>2</sup> y la tasa de producción por pozo era de 30,000 b/d.<sup>10</sup> La presión del yacimiento ha bajado aproximadamente un 60% durante los años de explotación.

Actualmente Cantarell produce 1,228 millones b/d con un potencial de producción de 1,687 b/d. La producción de gas natural este año ha sido de más o menos 500 millones de pies cúbicos diarios (PCD).

Para represarizar el yacimiento y así aumentar la cantidad de petróleo y gas recuperables, Pemex ha optado por la inyección de nitrógeno. Aunque el campo produce gas asociado (aproximadamente 750 MMPCD), la empresa estatal eligió el nitrógeno, ya que la actual escasez de gas en el mercado local indicó que sería más rentable venderlo. Esta decisión se tomó en 1996, después de que PEMEX, Project Managers (Netherlands Sewell) y Bechtel estudiaron otras opciones, incluso recuperación térmica a vapor e inyección de agua. A causa de la compleja configuración geológica de Cantarell, ninguna de esas opciones demostró ser técnica ni económicamente viable, por lo que el trío de empresas recomendó el nitrógeno.<sup>10</sup>

La planta de nitrógeno, que construye en tierra un consorcio internacional de seis empresas privadas cerca de la población de Atasta, tendrá una capacidad de 1200 MMPCD, o sea diez veces más grande que cualquier otra existentes en el mundo. Las empresas integrantes del consorcio son: BOC Holdings (de la Gran Bretaña, 30%), Marubeni (del Japón, 30%), Linde (de Alemania, 10%), Westcoast Energy (del Canadá, 20%), Fluor Daniel / ICA (de Estados Unidos y México respectivamente, 10%).<sup>10</sup>

<sup>10</sup>Revista "Petróleo Internacional"

El complejo, que se localizará en un predio de 300 hectáreas (has) a un costo de más de US\$1000 millones, constará de cuatro módulos, produciendo cada uno 300 MMPCD. El primero deberá iniciar sus operaciones en el mes de abril de 2000. Esto se hará comprimiendo el gas nitrógeno a 1500 lb/pg<sup>2</sup>, llevándolo por dos líneas submarinas de 90 Km de longitud con un diámetro externo de 36 pulgadas hacia las plataformas de inyección.<sup>10</sup> Pemex espera terminar el grueso de estas obras hacia el año 2002.

No obstante de que el área de Cantarell se ha desarrollado intensamente, la exploración vertical, en busca de horizontes productores más profundos, sigue dando sorpresas, ya que en marzo de 1999 Pemex anunció un nuevo y aparente substancial descubrimiento.

PEP por medio del que fuera director de Pemex, Adrián Lajous, anunció el hallazgo de un nuevo campo petrolero en el activo Cantarell. Informó que se encuentra en una estructura geológica hidrocarburífera que yace bajo las formaciones actualmente productoras del Complejo Cantarell.<sup>10</sup> En julio de ese mismo año, el secretario de Energía, Luis Téllez, confirmó el descubrimiento, diciendo que el pozo exploratorio de Pemex fluyó en prueba a razón de 5,200 b/d de crudo Maya, así como 1,850 MMPCPD de gas natural. También dijo que el campo, situado directamente debajo del principal yacimiento productor de Cantarell, se cree que encierra por lo menos 824 MMBPCE en reservas probadas y 1,412 MMBPCE en reservas probables y probadas. Si se confirma esta última cifra, el campo podría agregar un 10.87% a las reservas estimadas de Cantarell al 1° de enero de 1999.

El pozo que encontró el yacimiento fue el Cantarell 418-D, el cual confirmó la presencia de hidrocarburos de características similares a los que ya están en explotación. Este pozo se empezó a perforar en julio de 1998 y alcanzó su objetivo después de penetrar a más de 3600 m bajo el nivel del mar. La profundidad máxima de los pozos productores de Cantarell es de 2500 m.<sup>10</sup>

PEP informó que la prueba de producción se realizó desde la embarcación Cora, que fue especialmente diseñada para este tipo de operaciones. La producción obtenida fue de casi 5,000 b/d de crudo y más de 1 MMPCD de gas asociado a presión de 325 Kg/cm<sup>2</sup>, similar a la de los primeros pozos perforados en el bloque Chac del complejo Cantarell en 1976. PEMEX dijo que el yacimiento es de considerable tamaño y que para su posterior explotación se

aprovecharán íntegramente las instalaciones existentes. Esto indica que el descubrimiento del yacimiento nombrado Sihil, mejora en gran medida las perspectivas del Proyecto Cantarell, ya que así, la infraestructura a crear, servirá también para la explotación de dicho yacimiento.

Lo descrito con anterioridad, indica que el Proyecto Cantarell no solamente está siendo considerado como un proyecto aislado para elevar la producción, sino que también el gobierno actual lo visualiza como la clave de la estrategia energética general nacional para los años venideros.

Actualmente se encuentra en pleno desarrollo la elaboración de la ingeniería de detalle requerida para los distintos IPC's, que integran el proyecto Cantarell, bajo la responsabilidad de firmas de ingeniería tales como Bufete Industrial, Industria del Hierro, CMM, CIGSA, sólo por mencionar algunas, las cuales se asociaron con firmas de ingeniería y construcción tales como Brown & Root, McDermott, Kvaerner, CBS Engineering, Odebrecht.<sup>14</sup> (ver tabla # 5)

Pemex prevé el desembolso de (US)\$10,540 millones entre 1997 y 2012 en el proyecto Cantarell y espera que el resultante incremento de la producción pague los costos del proyecto y rinda además amplios beneficios, como por ejemplo, lo que se espera del plan de desarrollo a largo plazo, que es la recuperación en los próximos 15 años de 8,400 millones barriles de petróleo, volumen 2.2 veces mayor al que se obtendría durante este lapso si se dejara al campo declinar en forma natural.

<sup>14</sup>Exposición "Participación del IMP en el Proyecto Cantarell"

| IPC  | OBJETO   | MONTO ESTIMADO (MILLONES DE DÓLARES) | EMPRESA              |
|--|--|--------------------------------------|----------------------|
| <b>I. PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO</b>                             |  |                                      |                      |
| 15   | Plataformas de perforación Akal BN y Akal BD                                       | 47.0                                 | Industria del Hierro |
| 16   | Plataformas de compresión Akal CA-AC-4 y plataforma de perforación Akal GP         | 50.8                                 | Biconsá              |
| 17   | Plataformas de perforación Akal LKL y Akal TM                                      | 39.4                                 | Celasa               |
| 18   | Plataforma de perforación Akal TJ  | 18.2                                 | Cigsa                |
| 19   | Plataforma de perforación Kutz TA  | 11.9                                 | Cassa                |
| 21   | Plataformas de enlace Akal B y Akal L  | 35.9                                 | Commissa             |
| 44   | Plataforma de perforación Akal FO  | 23.0                                 | CCC                  |
| <b>II. MANEJO DE LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL</b> |  |                                      |                      |
| 1  | Plataforma de compresión y de proceso en Akal C                                    | 695.0                                | Commissa             |
| 2  | Adecuación y modernización de los complejos Akal J, Akal N y plataformas satélites | 90.3                                 | CMM                  |
| 3  | Adecuación y modernización del complejo Akal C y plataformas satélites             | 91.6                                 | CMM                  |
| 4  | Adecuación y modernización del complejo Nohoch A y plataformas satélites           | 110.9                                | Demar                |
| 5  | Automatización de complejos de producción y plataformas periféricas                | 36.3                                 | Honeywell & Giasa    |
| 22   | Plataformas de compresión y de producción en Akal B                                | 521.6                                | Commissa             |
| 23   | Plataforma de producción y compresión en Akal L                                    | 187.4                                | Biconsá              |
| <b>III. DUCTOS</b>   |  |                                      |                      |
| 27   | 30 ductos marinos y 2 interconexiones  | 190.4                                | Bimsa                |
| 28   | 12 ductos marinos  | 189.4                                | Commissa             |
| 36   | 6 ductos marinos y 2 interconexiones   | 74.8                                 | CCC                  |
| 40   | Oleoducto de Akal J-FSO1   | 57.9                                 | CCC                  |
| <b>IV. NITRÓGENO</b>   |  |                                      |                      |
| 7  | Ducto para el transporte de nitrógeno Atasta-Nohoch A                              | 134.6                                | Commissa             |
| 9  | Suministro a largo plazo de nitrógeno (15 años)                                    | 2,671.4 *                            | CNC                  |
| 20   | Plataforma de inyección de nitrógeno   | 25.4                                 | Industria del Hierro |
| <b>V. PLATAFORMAS HABITACIONALES</b>                         |  |                                      |                      |
| 24   | Akal B y Akal L  | 102.6                                | Cabyi                |
| 37   | Akal C y módulo de reemplazo   | 87.8                                 | Cabyi                |
| 38   | Akal J y módulo de reemplazo   | 83.6                                 | Cabyi                |
| 39   | Akal N y Akal G  |                                      | En proceso           |
| <b>VI. SERVICIOS</b>   |  |                                      |                      |
| 34   | Fletamiento de plataforma habitacional   | 51.9                                 | Cotemar              |
| 25   | Instalación de plataformas y puentes   | 135.2                                | CMM                  |
| 26   | Transporte de personal y materiales  | 25.5                                 | Cotemar              |
| 29   | Certificación de instalaciones   | 15.8                                 | ABS                  |
| 30   | Sistema flotante de almacenamiento (10 años)                                       | 421.6 **                             | Modec                |
| 35   | Almacenamiento de equipo en Dos Bocas  |                                      | En proceso           |
| 41   | Transporte de estructuras  | 11.2                                 | Cotemar              |
| 42   | Transporte de estructuras  | 7.3                                  | Cotemar              |
| 47   | Barco grúa   | 46.6                                 | CMM                  |
| 51   | Transporte de estructuras  | 6.2                                  | Cotemar              |
| 52   | Transporte de estructuras  |                                      | En proceso           |

\* Valor de compras de nitrógeno a lo largo de 15 años

\*\* Arrendamiento de sistema por 10 años

**(Tabla # 5) Contratos de ingeniería, procura, construcción, interconexión y puesta en marcha licitados del proyecto Cantarell**



Monto original: \$22,148,573.50 USD

Inicio: 13-Sep-97

Terminación: 18-Jun-99

**IPC-24 en el que actualmente participa el IMP (ingeniería en Inglaterra, construcción en Inglaterra y Tampico) con respecto a Akal-L:**

- Dos plataformas habitacionales (Akal-L y Akal-B).

Contratista: C. AKAL B y L

Monto original: \$83,088,101.94 USD

Inicio: 20-May-98

Terminación: 28-Ene-00

**IPC-5 en el que actualmente participa el IMP en la Cd. de México, VILLAHERMOSA, Cd del Carmen y Houston con respecto a Akal-L:**

- Automatización y control de 66 plataformas, integradas en los complejos Akal-J, Akal-C, Nohoch-A, Akal-L, Akal-B, Akal-N, Akal-G, plataformas periféricas y centro de operaciones en Cd. del Carmen, Campeche.

Contratista: HONEYWELL

Monto original: \$36,300,000.00 USD

Inicio: 30-Jun-99

Terminación: 13-Abr-02.<sup>14</sup>

# CAPÍTULO III

## TEORÍA DE LA SEGURIDAD

## TEORÍA DE LA SEGURIDAD

### 3.1 LA SEGURIDAD INDUSTRIAL

En la seguridad e higiene intervienen un conjunto de ciencias y una diversidad de especialidades, por lo cual suele decirse que su ejercicio es interdisciplinario. Esto implica, que exista una gama de enfoques que han dado como resultado un gran número de definiciones y conceptos, de los cuales, a continuación se enunciarán los que hagan más clara su comprensión.

La **seguridad y la higiene** es el conocimiento aplicado en lo que se refiere a la identificación de los orígenes o causas de los riesgos por trabajo, es decir, de los accidentes y de las enfermedades que se derivan del realizar actividades de trabajo o relacionadas con el mismo; así como, su prevención y control.

Debido a que es tan amplio el estudio, la interpretación y la aplicación de la seguridad y la higiene, se suele dividir en dos campos de trabajo:

- Seguridad en el trabajo e
- Higiene industrial

#### **Seguridad en el trabajo:**

Se puede expresar como un conjunto de técnicas que tienen el propósito de establecer conductas individuales y colectivas adecuadas al diseño de las instalaciones, procesos, maquinarias, herramientas y equipos necesarios para la producción o el ejercicio de un trabajo; así como el hacer procedimientos y sistemas que permitan reducir los riesgos y evitar lesiones a los trabajadores, minimizar las pérdidas económicas y daños a las empresas, más a parte promover el más alto grado de bienestar físico, mental y social a los trabajadores.

El concepto de seguridad industrial esta ligado con el de riesgos de trabajo, dicho concepto se puede expresar como el “conjunto de métodos que tratan de poner al trabajador al cubierto de los peligros y daños que la ejecución de su labor pueda ocasionarle”. De ahí que sea su objeto de trabajo el estudio de las causas que pueden ser capaces de alterar la salud y la integridad del hombre, así como también adoptar prácticas y medidas para controlarlas. Por lo tanto, la seguridad industrial fundamentalmente previene los riesgos de trabajo.

### **Higiene industrial:**

Es la ciencia y el arte dedicado a la previsión, reconocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales o tensiones que surgen en o del lugar de trabajo, que pueden causar enfermedad, deterioro de la salud y del bienestar, así como, incomodidad e ineficiencia marcada entre los trabajadores y los miembros de la comunidad.<sup>14</sup>

### **Accidente:**

Es un proceso no planeado ni deseado que daña o afecta a los factores de la producción, caracterizándose por la violencia con la que sucede.

### **3.1.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA OCURRENCIA DE ACCIDENTES**

Los accidentes ocurren por los siguientes factores:

- Condición insegura: es la condición o estado físico del equipo o instalación que puede ocasionar un accidente
- Acto inseguro: es la violación de un procedimiento comúnmente aceptado, que finaliza en un accidente.

Los accidentes afectan a la persona al lesionarse; ya que se incapacita parcial permanentemente, se incapacita total permanente o pierde la vida, afectando así, a su familia y a la empresa.

## Mecánica de la exposición

Toda persona en su etapa productiva, invierte una tercera parte en sus actividades trabajo, la otra tercera parte en su alimentación y actividades recreativas, y el último tercio lo dedica para el descanso corporal. Lo anterior implica que el hombre en su labor diaria se interrelaciona con materias primas, procesos, equipos, maquinaria, herramientas y con otras personas. A esta interrelación se le denomina "exposición" y a la forma en que se da la continua relación integral con todos ellos y de la que dependen sus resultados la llamaremos "mecánica de la exposición".

La exposición a los diversos agentes que interactúan con el individuo, puede generar cuatro tipos básicos de respuesta, los cuales se presentan a continuación.

- *Alteraciones reversibles inmediatas*: son aquellas que cesan espontáneamente después de un breve periodo de no-exposición, como por ejemplo, la fatiga física.
- *Alteraciones reversibles mediatas*: la Ley Federal del Trabajo se refiere a ellas como las incapacidades temporales, que requieren de periodos más prolongados de recuperación y de tratamiento médico, pero que no dejan secuelas, como por ejemplo, una fractura no complicada.
- *Alteraciones irreversibles*: son a las que la legislación laboral se refiere como incapacidades permanentes, es decir, aquellas que dejan secuelas permanentes, bien sea que impidan la realización de cualquier actividad laboral (incapacidad total permanente), o que limiten el desempeño laboral (incapacidad parcial permanente), como sería el caso de las amputaciones.
- *La muerte*: se puede producir inmediatamente o después de un tiempo, como consecuencia de la exposición del trabajador a uno o más agentes presentes en el ambiente laboral.

Cabe mencionar que los ordenamientos considerados como fundamentales para la protección de los trabajadores en México son:

- La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- La ley Federal del Trabajo y
- La Ley del Seguro Social.

## Factores de la exposición

- Agentes de riesgo.
- Nivel o concentración de los agentes en el ambiente.
- Tiempo de exposición.
- Existencia de valores de referencia sobre la permisibilidad de la exposición.
- Vía (s) de ingreso o contacto con el organismo.
- Antigüedad de la exposición.
- Exposición combinada de varios agentes con propiedades nocivas similares que puedan sumarse o potenciar sus efectos.
- La utilización o la no-utilización del equipo de protección personal y de sus características en relación con las propiedades de los agentes.
- La utilización o la no-utilización de los medios de protección general y de sus características en relación con las propiedades de los agentes.
- Tipo de exposición, la cual puede ser continua, intermitente, ocasional y periódica.
- Periodos de no-exposición.
- Posibilidad de identificar factores “prepatológicos” de alarma, como el monitoreo biológico y la periodicidad de su realización.
- Posibilidad de establecer muestreos ambientales de los agentes contaminantes, así como, la periodicidad de su realización.

### 3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGENTES

En los ambientes de trabajo se encuentran muchos agentes y condiciones que afectan el bienestar del personal en su salud e integridad física y mental.

Si el agente actúa de manera más o menos permanente sobre personas susceptibles durante plazos largos de exposición, manteniéndose en niveles o concentraciones que no tienen que ser necesariamente altas, esto dará lugar a padecimientos clasificados como enfermedades profesionales.

Algunas lesiones son causadas por exposiciones cortas (súbitas o agudas), las cuales pueden ser ocasionales e inesperadas, pero con niveles o concentraciones del agente o agentes elevados, produciendo siempre síntomas o muestras inmediatos de alguna afectación. Dicha afectación se clasifica generalmente como accidente de trabajo y no como enfermedad profesional.

Para prevenir las enfermedades y los accidentes de trabajo, se deben considerar o tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. El reconocimiento de la existencia de ciertos factores inherentes al medio ambiente de trabajo que influyen de manera adversa sobre las personas que laboran en él.
2. La valoración de la intensidad de los riesgos mediante instrumentos para ciertos agentes, y la comprobación metódica cualitativa para determinadas condiciones, o ambos.
3. La comprobación de la existencia de un riesgo al comparar los valores reales medidos, con los valores de referencia.
4. La propuesta de los métodos y técnicas de control más aconsejables a fin de reducir los riesgos hasta niveles seguros.

Para efecto de conocer la clasificación de los riesgos y la manera de como pueden ponerse en contacto, o en su caso, penetrar al organismo los agentes, se requiere de un conocimiento directo y completo de las labores, operaciones y procesos industriales para fijar cuales son los factores que pueden influir sobre la salud e integridad física de los trabajadores.

**Los agentes se clasifican en:**

- I. Físicos
- II. Químicos
- III. Biológicos
- IV. Ergonómicos
- V. Psicosociales

- I. Entre algunos agentes **físicos**, se encuentran los siguientes:
  - Ruido.
  - Temperatura del aire.
  - Humedad del aire.
  - Presión atmosférica.
  - Radiaciones visibles.
  - Radiaciones ultravioletas.
  - Radiaciones de telecomunicación.
  - Radiaciones infrarrojas.
  - Agentes mecánicos.
  
- II. Los agentes **químicos** se subdividen para su estudio en:
  - Partículas sólidas suspendidas en el aire.
    - Humos (partículas con un tamaño menor a una micra).
    - Polvos (partículas con un tamaño de una a diez micras).
  - Partículas líquidas suspendidas en el aire.
    - Rocíos (efecto de condensación).
    - Aerosoles.
    - Neblinas.
  - Gases.
    - Vapores.
    - Gases.
  
- III. Los agentes **biológicos** se subdividen de acuerdo a la entidad etiológica (estudio de las causas de las enfermedades) que los origina, tales como:
  - Hongos, virus, bacterias, protozoarios.
  
- IV. Los agentes **ergonómicos** se refieren a la adaptación del hombre a sus medios de trabajo, tales como, herramientas, maquinaria, asientos, vestuario y equipo de protección, de ellos depende en buena parte la respuesta global de los trabajadores a las cargas de trabajo.



- V. Los agentes **psicosociales** son derivados de la interrelación del individuo con otros seres de su misma especie, teniendo una repercusión en las esferas conductual y afectiva del trabajador.

### **Vías de ingreso al organismo de los agentes químicos y biológicos**

Las formas o mecanismos mediante los cuales los agentes antes expresados pueden ingresar al organismo son:

- Por inhalación.
- Por absorción a través de la piel.
- Por ingestión.

*Inhalación:* es la penetración de los agentes a los pulmones en donde son retenidos o absorbidos, y que mediante el torrente sanguíneo son distribuidos a todo el organismo. Como ejemplo de los que son retenidos, está el caso de los polvos particulados con contenido de sílice, los cuales provocan la enfermedad de silicosis. Para el caso de los que son absorbidos, se puede ejemplificar con el efecto tóxico de los disolventes, los cuales pueden alterar al sistema nervioso central.

*Absorción a través de la piel:* es la penetración de los agentes por medio de las aberturas de los folículos pilosos, glándulas sebáceas y sudoríparas. Como ejemplo está la intoxicación por contacto con tetraetilo de plomo, aminas aromáticas, fenoles o pesticidas órgano-fosforados.

*Ingestión:* es la penetración de los agentes por vía gastrointestinal. Como ejemplo está la deglución de hidrocarburos, la cual, después de la absorción produce insuficiencia respiratoria.

Cabe señalar que las vías de ingreso al organismo se presentan en forma combinada, por lo que es importante conocer, tanto las características físicas, químicas y toxicológicas de los agentes como los mecanismos para su eliminación o atenuación de sus efectos, pero más importante es aplicar las medidas de evaluación y de control, para en lo posible evitar su

ingreso y las consecuencias. En el ambiente industrial, la principal vía de ingreso de los agentes químicos al organismo es por inhalación y por absorción cutánea respectivamente.

### **Valores umbral límite o valores límites permisibles**

Los valores umbral límite o los valores límites permisibles, son criterios o guías que orientan acerca de los valores cuantitativos de los agentes presentes en el ambiente, en los cuales, no se ve afectada la salud de los trabajadores al exponerse a ellos sin el uso del equipo de protección personal. Dicha exposición dependerá del tiempo, de la frecuencia y de la susceptibilidad individual.

Los valores límites permisibles en nuestro país, se basan en la publicación de la American Conference of Governmental Industrial Hygienist (ACGIH), conocida como TLV's (Threshold Limit Values), la cual es revisada periódicamente. Estos criterios que son de gran importancia, se encuentran contenidos en las normas NOM-010-STPS-1993: "Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en Centros de Trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el ambiente laboral" y en la NOM-011-1993: "Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en Centros de Trabajo donde se genere ruido". El objetivo de éstas Normas Oficiales Mexicanas (NOM) es el de evitar los riesgos de trabajo.

### **3.1.3 RIESGOS DE TRABAJO**

Los riesgos de trabajo son producto de la interrupción o alteración del equilibrio que existe entre el hombre y los agentes presentes en el ambiente de trabajo. Para evitar la ocurrencia de los riesgos de trabajo, es necesario identificar a dichos agentes, evaluar su potencialidad para producir daño y establecer las acciones necesarias para su eliminación o establecer un control a la exposición que tienen los trabajadores a los mismos en el centro laboral.

El riesgo de trabajo puede definirse como el rompimiento de la armonía que existe entre el trabajo y el medio en que se realiza, considerando al trabajo como el empleo de las facultades que posee cualquier trabajador para desarrollar una tarea.

## Factores que ocasionan los riesgos de trabajo

La seguridad e higiene industrial sólo podrán obtener resultados satisfactorios a medida que consideren todos los factores que influyen en la seguridad e higiene industrial de manera directa o indirecta, así como, la influencia de ésta con los demás factores.

- 1) Procedimientos inseguros de trabajo.
- 2) Falta de orden y limpieza.
- 3) Métodos de producción obsoletos.
- 4) Procesos, equipos, herramientas y maquinarias peligrosas.
- 5) Insuficiencia en la capacitación y adiestramiento de los trabajadores.
- 6) Problemas de integración y funcionamiento operativo de las Comisiones Mixtas de Seguridad e Higiene.
- 7) Manejo de los materiales.
- 8) Inadecuada asignación del hombre a su puesto de trabajo.
- 9) Inadecuada asignación de puesto al tipo de trabajador y sus características.
- 10) Exposición a múltiples agentes contaminantes.
- 11) Falta de una revisión periódica del estado de salud de los trabajadores.
- 12) Incorrecta selección, uso y mantenimiento al equipo de protección personal.
- 13) Carencia de políticas y programas de seguridad por parte de la empresa o corporativos.
- 14) Falta de observancia de normas en materia de prevención de riesgos de trabajo.
- 15) Ausencia de una actitud cotidiana de seguridad ante el trabajo.
- 16) Excesivas cargas de trabajo.
- 17) Operaciones repetitivas.
- 18) Trabajo fragmentado o dividido.
- 19) Inadecuada organización del trabajo
- 20) Falta de exámenes médicos de ingreso.
- 21) Ausencia de participación de los trabajadores.
- 22) Inadecuadas formas de supervisión.
- 23) Dificultades en la comunicación de órdenes.
- 24) Carencia de seguridad desde la concepción y diseño de las plantas industriales.
- 25) Falta de coordinación entre las áreas operativas de mantenimiento, operación y servicios.

Por lo anterior, se observa que es necesario estudiar, corregir y prevenir los riesgos bajo un modelo integral con una perspectiva global.

### **Clasificación de tipos de riesgos.**

La sociedad en sus actividades diarias se expone en forma continua a un riesgo latente, que suele ser llamado riesgo aceptable, tolerante u “ordinario de vida”. En ciertas actividades económicas e industriales, este riesgo se eleva de manera considerable.

El riesgo puede definirse como la posibilidad de ocurrencia de un suceso no deseado, o bien, como la probabilidad de pérdidas o daños a los hombres, a la propiedad y a los bienes.

Mucho se ha escrito sobre las diferentes maneras de clasificar a los riesgos, tanto por autores como por instituciones del gobierno y organismos privados, de ahí se tienen las siguientes:

- Según el “Reglamento para la Clasificación y Determinación del Grado de Riesgo de las Empresas” del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), existen diferentes tipos de riesgos.

| <b>TIPO DE RIESGO</b> | <b>CLASE</b> |
|-----------------------|--------------|
| 1) Ordinario de vida  | I            |
| 2) Bajo               | II           |
| 3) Medio              | III          |
| 4) Alto               | IV           |
| 5) Máximo             | V            |

A las empresas se les clasifica de acuerdo a:

- La actividad económica o giro
- Sus procesos de trabajo y,
- El grado de riesgo que tengan.

Lo anterior depende de su Índice de Siniestralidad (IS), el cual es el resultado del promedio de multiplicar el Índice de Frecuencia (IF) por el Índice de Gravedad (IG), los cuales a su vez se calculan como:

$$\text{Índice de frecuencia} = \frac{\text{No. de días perdidos} \times 10^6}{H - H \text{ laboradas}}$$

$$\text{Índice de gavedad} = \frac{\text{No. de accidentes} \times 10^6}{H - H \text{ laboradas}}$$

- Según la Organización Iberoamericana de Protección contra Incendios y la National Fire Protection Asociation (NFPA), los riesgos se clasifican de la siguiente manera:
 

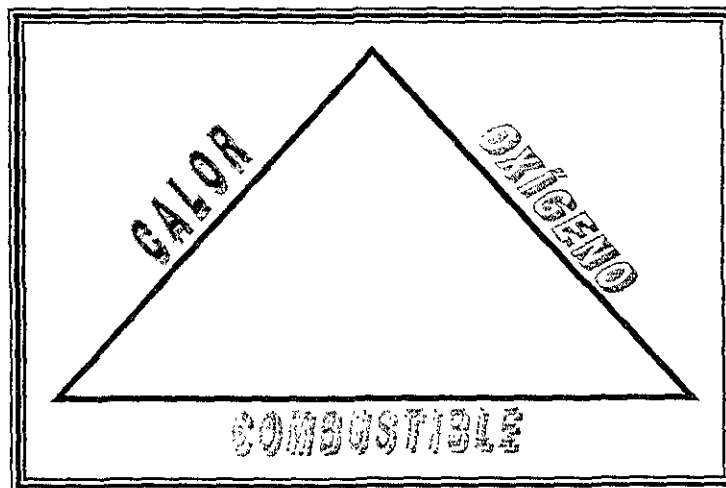
|  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Por el afectado.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Individuales</li> <li>- Colectivos</li> </ul> </li> <li>c) Por su desarrollo.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estáticos</li> <li>- Progresivos</li> </ul> </li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>b) Por la ubicación de la fuente.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocidos</li> <li>- Desconocidos</li> </ul> </li> <li>d) Por sus consecuencias.               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Despreciable</li> <li>- Marginal</li> <li>- Crítico</li> <li>- Catastrófico</li> </ul> </li> </ul> |
|--|--|
- De acuerdo a las bases para el establecimiento del “Sistema Nacional de Protección Civil” y el “Programa de Protección Civil” que fueron publicadas en el diario oficial del martes 6 de mayo de 1986, “las calamidades están compuestas por fenómenos destructivos ocasionados por procesos físico-naturales y por aquellos provocados por el hombre”. Asimismo, los “agentes perturbadores que dan lugar a desastres” se clasifican como fenómenos naturales, o como, de origen humano. Los fenómenos naturales contemplan a los “hidrometeorológicos y geológicos”, tales como, los huracanes, lluvias, tormentas de granizo. Los de origen humano contemplan a los “químicos, sanitarios, ecológicos y

sociales”, entre los que destacan incendios, explosiones, radiaciones, fugas tóxicas, contaminación del agua, aire y suelo.

### 3.2 TEORÍA DEL FUEGO

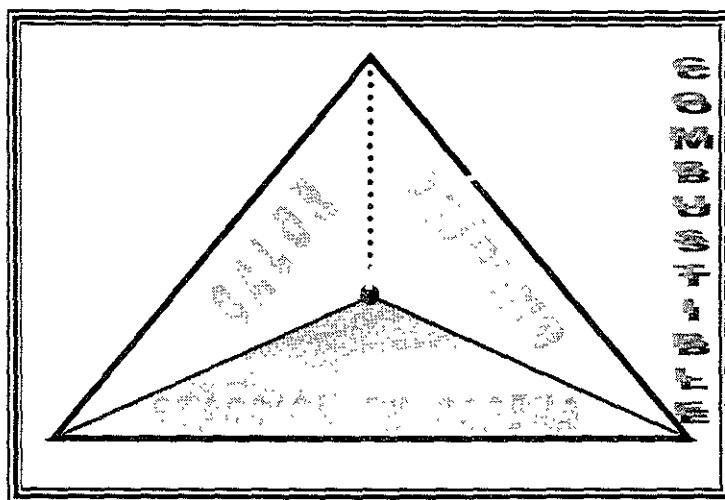
#### 3.2.1 MODELOS REPRESENTATIVOS DEL FUEGO.

En el pasado se consideraba al fuego dentro de los elementos fundamentales, junto con el agua, aire y tierra. Pero el fenómeno del fuego es realmente el desarrollo de una serie de reacciones químicas acompañadas de un intenso desprendimiento de calor, flama y gases, los cuales son producto de la combustión. Tradicionalmente se ha explicado el fenómeno del fuego de forma sencilla mediante el empleo de un modelo gráfico. A este modelo se le nombro “Triángulo del Fuego”, donde los lados del mismo representan los requerimientos absolutos para que el fenómeno se lleve a cabo; esta es la concurrencia simultánea de un material combustible, oxígeno o aire y una fuente de ignición. Si falta cualquiera de los lados del triángulo, no se puede iniciar el fuego; si se elimina cualquiera de los lados del triángulo, éste se extinguirá. (ver fig. # 24)



(Fig. # 26) Triángulo del fuego

Después surgió el modelo actual que incluye un elemento adicional, el cual es la reacción en cadena. Este modelo se representa gráficamente mediante un tetraedro, conociéndosele como "Tetraedro del Fuego". La interrupción de la reacción en cadena suprime instantáneamente el fuego. En lo anterior se basa el fundamento de los agentes gaseosos halogenados (halones y sustitutos) y algunos polvos químicos secos, que suprimen a los radicales libres generados durante los pasos intermedios de la reacción de combustión sin necesidad de enfriar, desplazar al oxígeno o aislar al combustible. (ver fig. # 25)



(Fig. # 27) Tetraedro del fuego

### 3.2.2 ASPECTOS QUÍMICOS Y FÍSICOS DEL FUEGO

Durante la reacción química del fuego denominada combustión, se libera una considerable cantidad de energía, la cual es rápida e intensa. La sustancia que se quema, se combina aceleradamente con el oxígeno del aire. La flama es la energía que se libera de forma radiante, es decir, se manifiesta con calor y luz. En un fuego el calentamiento de los reactivos y productos de la reacción los lleva a altas temperaturas, de manera que los productos se encuentran en fase gaseosa. Esto hace que la corriente de gases que emana el foco del fuego, se encuentre a bajas densidades, dando por resultado una ascensión de estos en forma de columna. Cuando el mezclado de los reactivos (en este caso el combustible y el comburente) es completo y los mismos se encuentran en estado totalmente gaseoso, la flama resultante puede ser incolora, es decir, el espectro de radiación se concentra en el infrarrojo. Cuando por el

contrario, el combustible se encuentra en un estado de mayor agregación (gotas de líquido o partículas sólidas), de manera que el mezclado perfecto no es posible, entonces la flama tiende a mostrar diversos grados de coloración, que depende del combustible específico del cual se trate. Basta citar como ejemplo a las flamas resultantes de un incendio de metanol, las cuales son prácticamente invisibles; las del gas natural de bajo peso molecular, la cual tiene un color amarillo tenue; la del gas natural de alto peso molecular que tiene un color anaranjado; o bien el que contiene arrastres de condensado líquidos, que tiene una flama de color anaranjado oscuro. El estado de agregación del combustible, su grado de mezclado con el aire, la relación de aire/combustible y los factores geométricos, también determinan las características de la flama, así como la generación de productos de combustión incompleta tales como: el humo, neblina, hollín, compuestos oxidados, ácidos orgánicos, y muchos productos más.

### **3.3 TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS COMBUSTIBLES**

A continuación se describirán los tipos y clasificación de los combustibles, así como, conceptos y definiciones importantes para la comprensión de su acción en un momento dado.

#### **3.3.1 COMBUSTIBLES SÓLIDOS.**

Los combustibles sólidos más comunes que se encuentran a bordo de una plataforma son la madera, el papel, tela y el mobiliario.

##### ***Pirólisis***

Antes de que se queme un combustible sólido, tiene que cambiar al estado de vapor. En un incendio, este cambio se origina de la aplicación inicial del calor. El proceso se conoce como pirólisis, el cual se define como "la descomposición química por la acción del calor". En este caso, la descomposición hace que el sólido pase al estado gaseoso. Si el vapor se mezcla suficientemente con el aire y se calienta a una temperatura lo bastante alta (por la acción de una flama o una chispa o un motor caliente), se provocará la combustión.



### ***Temperatura de ignición***

La temperatura de ignición de una sustancia sólida, líquida o gaseosa, es la temperatura más baja en la que se ocasionará la combustión sostenida sin la aplicación de una chispa o flama. Los puntos de ignición varían de acuerdo con los materiales. Para una sustancia dada, la temperatura de ignición también varía según el volumen, el área de superficie y otros factores.

Las temperaturas de ignición de los materiales combustibles más comunes, oscilan entre los 149°C y 538°C.

### **3.3.2 COMBUSTIBLES LÍQUIDOS**

Los líquidos inflamables más comunes en las instalaciones costafuera son el combustible, el aceite de lubricación, el aceite diesel, la querosina, las pinturas a base de aceite y sus disolventes.

### ***Vaporización***

Los líquidos inflamables liberan el vapor en forma muy similar a la de los combustibles sólidos. La velocidad de liberación de vapor es mayor para el caso de los líquidos que para el de los sólidos, porque en ellos las moléculas están menos cohesionadas. Además, los líquidos pueden liberar el vapor en una amplia gama de temperaturas. La gasolina comienza a emanar sus vapores a los -43°C. Esto hace que la gasolina sea una amenaza de fuego constante, por lo tanto, genera vapores inflamables a temperaturas normales.

Los líquidos inflamables más pesados, tales como los combustibles y el aceite lubricante, se deben calentar para que puedan liberar la cantidad de vapor suficiente para la combustión. Los aceites lubricantes pueden encender a 204°C.

Una vez que se esté quemando un líquido inflamable ligero o pesado, la retroalimentación de radiación y la reacción en cadena aumentan la producción de flamas.

El vapor producido por un líquido inflamable es más pesado que el aire, lo que provoca que el vapor sea muy peligroso porque buscará los lugares bajos, se disipará lentamente y se

desplazará hacia un punto distante de ignición. Por ejemplo, el vapor que se fuga de un tanque se puede desplazar hasta un motor eléctrico. Si el vapor contiene la mezcla adecuada de aire, se encenderá y se llevará una flama al tanque con fugas, dando como resultado una explosión y un incendio de gran magnitud.

El vapor de líquidos inflamables se quema con gran intensidad. Al derramarse los líquidos, dejan al descubierto una gran superficie, liberando una gran cantidad de vapor y generando grandes cantidades de calor al encenderse.

### ***Punto de inflamación.***

Es la temperatura en la que un combustible líquido desprende la cantidad de vapor necesaria para formar una mezcla inflamable próxima a su superficie. Una mezcla inflamable o explosiva es aquella formada de vapor y aire, capaz de encenderse por una fuente de ignición, pero que normalmente no es suficiente para sostener la combustión. La combustión sostenida se efectúa a una temperatura ligeramente más alta, conocida como el punto de inflamación del líquido. Los puntos de inflamación o de explosión de los líquidos se determinan por medio de pruebas controladas.

### ***Clasificación y características de los líquidos combustibles e inflamables.***

El líquido combustible es aquel cuya temperatura de inflamación es mayor o igual a 100°F (37.8°C). además, para efectos de seguridad, los riesgos ocasionados por líquidos se subdividen en clases. (ver tabla # 6)

| <b>CLASE</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
|--------------|---|
| Clase II     | Son aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es mayor o igual a 100°F (37.8°C) y menor a 140°F (60°C). |
| Clase III A  | Son aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es mayor a 140°F (60°C) y menor a 200°F (93°C).           |

| CLASE       | DESCRIPCIÓN  |
|-------------|--|
| Clase III B | Son aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es mayor a 200°F (93°C). |

(Tabla # 6) Clasificación de líquidos combustibles

Los *líquidos inflamables* son aquellos cuyo punto de inflamación es inferior a 100°F (37.8°C) y su presión de vapor no excede 40 lb/plg<sup>2</sup> absolutas (276 kPa, 2.8 kg/cm<sup>2</sup>) a 100°F (37.8°C). (clase 1, NFPA No. 30)

| CLASE    | DESCRIPCIÓN   |
|----------|---|
| Clase IA | Son aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es inferior a 73°F (22.8°C) y cuyo punto de ebullición es menor a 100°F (37.8°C).         |
| Clase IB | Son aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es inferior a 73°F (22.8°C) y cuyo punto de ebullición es mayor o igual a 100°F (37.8°C). |
| Clase IC | Son aquellos líquidos cuyo punto de inflamación es mayor o igual a 73°F (22.8°C) y menor a 100°F (37.8°C).                                |

(Tabla # 7) Clasificación de líquidos inflamables (Clase I)

La NFPA clasifica en su estándar No. 10 a los fuegos de la siguiente manera:

| CLASE     | DESCRIPCIÓN  |
|-----------|--|
| Clase "A" | Son los fuegos que se presentan en materiales combustibles sólidos como el papel, algodón, paja, heno, cuero, lana, madera o carbón. Para su extinción se necesitan los efectos de enfriamiento o absorción de calor que proporciona el agua, las soluciones acuosas o los efectos |

| CLASE     | DESCRIPCIÓN   |
|-----------|---|
|           | protectores de ciertos polvos que retardan la combustión.   |
| Clase "B" | Son los fuegos de líquidos combustibles o inflamables como el alcohol, gasolina, kerosina, metano, etano y materiales similares, cuya extinción se logra mediante la eliminación del aire (oxígeno), para inhibir la emisión de vapores combustibles e interrumpiendo la cadena de reacción de la combustión. |
| Clase "C" | Son los fuegos que se originan de los equipos, maquinaria y cableado eléctrico bajo tensión, en donde la seguridad de la persona que opera el extintor exige el empleo de un agente de extinción, el cual sea, un no conductor de la electricidad.  |
| Clase "D" | Son los fuegos que se producen de ciertos metales combustibles, tales como el magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y similares a ellos. Estos requieren de un medio extintor que absorba el calor, sofoque el fuego y que no reaccione con los metales incendiados  |

**(Tabla # 8) Clasificación de los fuegos**

En las plataformas marinas, los tipos de incendios que pueden ocurrir son los de las clases A, B y C.

### 3.3.3 COMBUSTIBLES GASEOSOS

Entre los gases que se encuentran a bordo de la instalación se tienen el gas natural y el gas combustible; así como el gas ácido o amargo, el cual contiene  $H_2S$ , cuyo principal peligro es su toxicidad.

Los combustibles gaseosos se encuentran en el estado de vapor requerido. Sólo se necesita la mezcla adecuada de oxígeno y la cantidad suficiente de energía para que encienda. Los gases al igual que los líquidos inflamables, siempre producen una flama visible; no prenden

sin flama. Para que el gas se vaporice no se requiere de retroalimentación de la radiación. No obstante, es esencial que haya algo de retroalimentación de radiación para el proceso de quemado, a fin de que el gas se vuelva a encender en forma continua.

### ***Rango explosivo (rango inflamable)***

Un gas inflamable o el vapor inflamable de un líquido se debe combinar con el aire en la proporción adecuada para formar una mezcla explosiva. El porcentaje más pequeño de un gas o vapor que hace que una mezcla de aire-vapor sea explosiva se conoce como el Límite Explosivo Inferior (LEL).

Si hay menos gas en la mezcla, ésta será demasiado pobre. El porcentaje más alto de gas de una mezcla explosiva de aire y vapor se denomina Límite Explosivo Superior (UEL). Si una mezcla contiene más gas que el UEL, será demasiado rica. El rango de porcentajes entre los límites explosivos inferior y superior se denomina rango explosivo de gas o vapor.

La siguiente tabla muestra los límites explosivos inferiores y superiores de substancias que se pueden encontrar en una plataforma marina.

| <b>Producto</b> | <b>Límite Inferior Explosivo<br/>(LEL)</b> | <b>Límite Superior Explosivo<br/>(UEL)</b> |
|-----------------|--|--|
| Gasolina        | 1.4  | 7.6  |
| Querosina       | 0.7  | 6.0  |
| Propano         | 2.1  | 9.5  |
| Hidrógeno       | 4.0  | 74.2                                       |
| Metano          | 5.0  | 15.0                                       |

| Producto         | Límite Inferior Explosivo<br>(LEL) | Límite Superior Explosivo<br>(UEL) |
|------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Óxido de etileno | 2.0                                | 100.0                              |
| Amoniaco         | 15.5                               | 27.0                               |
| Nafta            | 0.9                                | 6.7                                |
| Butano           | 1.0                                | 8.4                                |
| Benceno          | 1.4                                | 8.0                                |

(Tabla # 9) Límites explosivos inferiores y superiores de algunas sustancias

### 3.4 EL OXÍGENO Y LAS FUENTES DE IGNICIÓN

#### 3.4.1 EL OXÍGENO

El lado del triángulo del fuego correspondiente al oxígeno, se refiere al contenido de éste con el ambiente. Normalmente se requiere una concentración del 16% de oxígeno en el aire para alimentar la combustión con flamas. Sin embargo, la combustión sin flama y con mucho humo se puede realizar en un ambiente que tenga el 3% de oxígeno. El aire normalmente contiene alrededor de un 21% de oxígeno ( $O_2$ ), 78% de nitrógeno ( $N_2$ ) y 1% de diversos gases, principalmente argón (Ar). (ver fig. # 24)

#### 3.4.2 FUENTES DE ENERGÍA O DE IGNICIÓN

El calor es el tercer lado del triángulo del fuego. Si hay cantidades suficientes de energía, combustible y oxígeno, el triángulo queda completo, implicando esto la existencia del fuego. La energía o la fuente de ignición inicia la reacción química denominada combustión.

Los materiales combustibles presentan diferentes características de ignición y comportamiento, las fuentes de ignición generalmente son de los siguientes tipos:

- a) Reacciones químicas.
- b) Chispas y arcos eléctricos.
- c) Rayos.
- d) Flama.
- e) Superficies calientes.
- f) Calor resultante de la compresión.

a) Reacciones Químicas: las cuales pueden producir calor, y este a su vez encender las sustancias, productos de la reacción química o materiales cercanos. Una reacción química puede ocurrir en una plataforma costafuera en combustión espontánea ( $H_2S$  desarrolla  $FeS$  como corrosión, y esta se convierte en fuente de calor e ignición debido a la combustión espontánea cuando se expone al aire).

b) Chispas y arcos eléctricos: una chispa eléctrica es la descarga de una corriente eléctrica a través de una abertura entre dos objetos cargados, produciendo suficiente calor.

El arco puede ser considerado un momento eléctrico. La corriente eléctrica fluye a través de contactos, tratando de seguir fluyendo cuando el contacto se abre. Abrir apagadores puede ser peligroso, cuando se tiene la probabilidad de estar en atmósferas peligrosas. (motores eléctricos, apagadores, relevadores, sistema de ignición de motores de combustión interna, luminarios y demás).

c) Rayos: se conoce como rayo a la descarga eléctrica de una nube sobre una carga opuesta ubicada en otra nube o en la tierra; desarrolla altas temperaturas sobre los materiales que se encuentran en su trayectoria y descarga en puntos altos como antenas o chimeneas.

d) Flama: cuando se queman los fusibles se acompañan de una luminosidad llamada flama, pudiéndose encontrar en cortes o soldaduras oxiacetilénicas, flama del quemador de desfogues y demás.

- e) Superficies calientes: estas pueden ser fuentes de ignición tales como las salpicaduras de soldadura, chimeneas y escapes, equipo y tubería de proceso a alta temperatura, sistema de escape de turbinas y motores de combustión interna, dispositivos eléctricos de alta temperatura tales como los luminarios incandescentes, calor friccional como el deslizamiento de bandas o rodamientos faltos de lubricación, y chispas generadas por esmeriladura.
- f) Calor resultante de la compresión: si una mezcla inflamable se comprime rápidamente, esta se encenderá cuando el calor resultante de la compresión sea suficiente para aumentar la temperatura del vapor a su punto de ignición. La combustión iniciada por el calor de compresión, puede ocurrir cuando los hidrocarburos en vapor o gas se mezclan tales como en los siguientes casos: purga del aire o inertizado inadecuado a recipientes a presión, cuando se presuriza el equipo con hidrocarburos. También cuando hay falla en los sellos de compresores que permite la entrada del aire hacia el proceso, o , cuando hay una falla en el sistema de lubricación en compresores de aire, tipo lubricado.

### **3.5 FACTORES QUE COADYUVAN A LA EXPANSIÓN DE UN INCENDIO**

Si se ataca oportunamente el incendio, se puede aislar fácilmente el área limitada donde se haya iniciado. Si se le permite continuar por no haberse detectado, puede generar grandes cantidades de calor que se propagarán lejos del área de incendio, provocando fuegos adicionales en los lugares en donde haya combustible y oxígeno.

A medida que se consume la fuente original de combustible, el calor y por lo tanto el fuego, se propagará hacia nuevas fuentes de combustible. El calor de un incendio se transmite por uno o más de los tres métodos: conducción, radiación y convección.

#### ***Conducción***

La conducción es la transferencia de calor a través de un cuerpo sólido. Dado que las plataformas en la Sonda de Campeche están construidas de metal, la transferencia de calor por



medio de la conducción es un peligro en potencia. El incendio puede desplazarse de un área hacia otra, de un nivel a otro, y de un compartimiento a otro mediante la conducción del calor.

En muchos casos, la aplicación de agua en los lugares específicos servirá para retardar o detener la transmisión de calor por conducción. El agua enfría los componentes estructurales afectados.

### ***Radiación***

La radiación del calor es la transferencia de calor proveniente de una fuente a través de un espacio intermedio, sin la presencia de algunas sustancias materiales. El calor se desplaza hacia fuera del fuego en la misma manera en que viaja la luz; o sea en línea recta. Al entrar en contacto con un cuerpo, se absorbe, se refleja o se transmite. El calor absorbido aumenta la temperatura del cuerpo absorbente. El calor se irradia en todos los sentidos a menos que se le obstruya.

El calor irradiado propaga el fuego al calentar las sustancias combustibles que encuentre en su camino haciéndolas generar vapores y después encender los gases.

El calor intenso irradiado puede llegar a imposibilitar el acceso al incendio. Por ello, el personal de seguridad debe usar ropa protectora y reducir el calor. Esto puede lograrse mediante cortinas de agua.

### ***Convección***

La convección es la transferencia de calor a través del movimiento de la materia calentada, por ejemplo, a través del movimiento de los gases calientes generados por el fuego y las partículas sólidas productos de la combustión incompleta, sueltas en el aire. Cuando queda restringido, el calor de convección se desplaza en una trayectoria más o menos predecible.

El incendio produce gases más ligeros que el aire, los cuales ascienden a las partes altas. El aire calentado, más ligero que el aire frío, también asciende, al igual que el humo generado por la combustión. A medida que los productos calentados por la combustión

ascienden, el aire fresco ocupa su lugar, éste a su vez, se calienta y luego sube al punto más alto que puede alcanzar. El aire caliente y los gases que ascendieron desde el fuego, comienzan a enfriarse; comienzan a enfriarse; al hacer esto descienden, se vuelven a calentar y nuevamente suben. Lo anterior es el ciclo de las corrientes de convección.

El calor que se origina en un incendio sobre una cubierta inferior se desplazará en forma horizontal a lo largo de los pasillos y hacia arriba, por lo que es imperativo que el incendio quede restringido al área más pequeña.

### **3.5.1 EFECTOS DE LOS PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN**

Los incendios producen flamas, calor, gases y humo; cada uno de estos productos de combustión puede provocar lesiones de gravedad o muerte.

#### ***Las flamas***

El contacto directo con las flamas ocasiona quemaduras de gravedad y daños serios a las vías respiratorias. Para evitar las quemaduras de la piel durante el combate contra el incendio, el personal debe mantenerse a una distancia segura del incendio a menos que esté protegido con ropa adecuada y bien equipada para luchar contra el fuego.

#### ***El calor***

Un incendio genera muy rápidamente temperaturas superiores a 93°C y en áreas cerradas puede elevarse hasta 427°C. Temperaturas que exceden los 50°C representan un peligro para el ser humano, aún cuando se use ropa protectora y aparatos de respiración. Los efectos nocivos del calor van desde lesiones menores hasta la muerte. La exposición directa al aire caliente puede provocar una deshidratación, fatiga por el calor, quemaduras y obstrucción de las vías respiratorias. El calor también induce un mayor ritmo cardíaco.

## **Los gases**

Los gases específicos generados por un incendio dependen en su mayoría del combustible en cuestión. Los gases nocivos más comunes son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), esto sólo ocurre cuando la combustión se lleva al 100%; y cuando la reacción es incompleta también es producto el monóxido de carbono.

El monóxido de carbono es el más peligroso de los dos. Cuando se inhala aire mezclado con monóxido de carbono la sangre absorbe el CO antes de absorber e oxígeno, lo que provoca una insuficiencia de oxígeno en el cerebro y en el cuerpo. La exposición a una concentración de CO del 1.3% provocará un estado de inconsciencia en dos o tres inhalaciones y la muerte en unos cuantos minutos. El dióxido de carbono actúa sobre el sistema respiratorio. Las concentraciones de  $\text{CO}_2$  por encima de lo normal en el aire reducen la cantidad de oxígeno que se absorbe en los pulmones.

Cuando el contenido de oxígeno en el aire cae de su nivel normal del 21% a alrededor del 15% se reduce el control muscular del organismo. A un nivel de 10 a 14% de oxígeno en el aire, los pensamientos se “nublan” y comienza la fatiga, las concentraciones de oxígeno abajo del 10% provoca inconsciencia. Durante los periodos de cansancio, tales como los combates contra los incendios, el organismo exige más oxígeno.

## **El humo**

El humo es un producto visible del fuego que se suma al problema de respiración. Esta compuesto de carbono y de otros compuestos no quemados en la forma de partículas suspendidas. También contiene vapores de agua, ácidos y otras sustancias que resultan venenosas e irritantes.

El humo reduce la visibilidad dentro y por encima del área del incendio. Irrita los ojos, la nariz, la garganta y los pulmones. Ya sea que se inhale una baja concentración durante un periodo largo o una alta concentración brevemente, ambas situaciones pueden ocasionar muchas molestias al personal. El personal encargado deberá hacer uso de los aparatos de respiración dentro del área del incendio.

# CAPÍTULO IV

## SISTEMAS DE DETECCIÓN DE GAS Y FUEGO EN PLATAFORMAS MARINAS

## **SISTEMAS DE DETECCIÓN DE GAS Y FUEGO EN PLATAFORMAS MARINAS**

Los esfuerzos para controlar las fuentes de peligro, como se mencionó en el punto 3.2.1, que son el combustible, el aire y el fuego (incendio o explosión), se concentran en la prevención de la iniciación de la reacción de combustión, o su detección, si ya se ha iniciado dicha reacción. Consecuentemente, el primer caso se refiere a los principios de las medidas preventivas y el segundo a los principios de las medidas protectivas.

### **Principios de control preventivo de incendios y explosiones**

El principio del control preventivo de las fuentes de peligro, o en términos generales, de protección preventiva del incendio y la explosión, es muy simple: todos los esfuerzos se dirigirán a evitar la presencia simultánea en el tiempo y en el espacio de combustible, aire y fuente de energía térmica en concentraciones o intensidades que permitan el inicio de la reacción de combustión. Lo anterior implica que si está ausente al menos uno de estos tres ingredientes, o esté presente sólo en baja intensidad o concentración, no se producirá un incendio o una explosión.

Teóricamente el mejor control del combustible como medio para prevenir el incendio y la explosión es eliminarlo completamente. Sin embargo en la práctica, este control suele ser la estrategia menos factible para evitar el incendio y la explosión, pues un entorno sin combustibles es prácticamente imposible en una instalación costafuera. Por lo mismo, no queda más remedio que detectar las concentraciones que se deban a fugas en los equipos presentes en una plataforma marina.

Las otras medidas posibles para la prevención del incendio y de la explosión es controlar al oxidante y a las fuentes de energía térmica (eléctrica, química y mecánica), pero en una plataforma marina no es posible, ya que se está al aire libre. Las fuentes eléctricas de energía térmica como son: chispas, calentamiento por resistencia y electricidad estática, hasta cierto punto son inevitables, y la manera de inhibir sus fatales resultados, es impedir que eleven hasta el punto de combustión la temperatura de los combustibles próximos, así como el uso de ropa de algodón. Las fuentes químicas de energía térmica como son: las llamas, combustión de

cigarrillos o encendido de cerillos son evitables, al igual que las fuentes de energía térmica mecánica como son: chispas, fricción y sobrecalentamiento de maquinaria por medio de un mantenimiento preventivo o revisión a los equipos.

### **Principios de control protectivo del incendio y la explosión**

El control protectivo de las fuentes de peligro, también conocido como control represivo, extinción del incendio, o control de la gestión del incendio se basa fundamentalmente en los mismos principios que el control preventivo. La principal diferencia es que el control protectivo se aplica después de haberse declarado el incendio o la explosión, es decir, cuando todos los esfuerzos han de concentrarse en la extinción del incendio o en la prevención de una explosión. Otra importante diferencia radica en la fuente de ignición. Mientras que un incendio y explosión se pueden iniciar por un determinado número bien conocido de fuentes de energía térmica, su desarrollo posterior no requiere necesariamente la presencia de la fuente de ignición original, ya que el fuego, la llama y el calor, como principales productos de combustión, se convierten en los promotores de la reacción de combustión posterior, dando como consecuencia una reacción en cadena como se mencionó en el punto 3.2.1.

### **Detectores automáticos de incendios**

Los detectores automáticos de incendios son sistemas que responden a las manifestaciones físicas del fuego generando una señal que envían a un sistema de alarma en solicitud de una acción correctiva.

Los detectores de incendios son aparatos que emiten señales de advertencia cuando irrumpe un incendio en el área protegida por el detector. El sistema de detección de incendios, incluyendo a uno o más detectores, transmite la señal de alarma a aquellos encargados de las operaciones para combatir el incendio.

El sistema de detección también puede activar el equipo de extinción de incendios. Un sistema de detección de incendios a bordo de una instalación pone en alerta al personal para que enfrente la emergencia con los recursos que ahí tengan, o si no, para iniciar la evacuación.

La detección temprana del incendio es algo esencial porque debe quedar confinado, controlado y extinguido en sus etapas iniciales antes de que se le pierda el control y se ponga en peligro a la instalación y a las vidas de los que se encuentran en la misma.

Un sistema de detección de incendios bien diseñado, con una instalación y mantenimiento adecuados, y sobre todo, entendido por todos aquellos que deben interpretar las señales que emite, proporciona una advertencia temprana de un incendio en el área protegida, así como su ubicación.

### **Clasificación de los detectores de incendios**

Los detectores de incendios captan la presencia del calor, del humo, de las flamas o cualquier otra indicación, e inician una señal en respuesta.

Se han desarrollado diversos sistemas de detección de gas y fuego, los principales se muestran a continuación.

Los detectores se clasifican de acuerdo a sus características de operación, para fuego o para gas. (ver tabla # 10)

|          |                           |   |
|----------|---------------------------|---|
| a) FUEGO | FLAMA                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infrarrojo (IR)*</li> <li>• Fotoeléctricos</li> <li>• Oscilación de flama</li> <li>• Ultravioleta (UV)*</li> <li>• Infrarrojo-Ultravioleta (IR-UV)*</li> <li>• Infrarrojo-Infrarrojo (IR-IR)*</li> </ul>           |
|          | HUMO                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ópticos o Fotoeléctricos*</li> <li>• Puente de Resistencia</li> <li>• Análisis de Muestra</li> <li>• Ionización*</li> </ul>  |
| b) GAS   | TEMPERATURA               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Termoestático*</li> <li>• Lámina bimetalica</li> <li>• Membrana bimetalica</li> <li>• Cable termosensible</li> <li>• Tapón fusible (neumático)</li> <li>• Dúcto neumático</li> <li>• Ampolla de cuarzo*</li> </ul> |
|          |                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Termovelocimétricos</li> <li>• Cámara neumática</li> <li>• Tubo neumático</li> </ul>   |
|          |                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Combinado</li> <li>• Compensado</li> </ul>   |
| b) GAS   | COMBUSTIBLE               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Óptico IR*</li> <li>• Electrocatalíticos*</li> <li>• Cañón de Haz Infrarrojo*</li> </ul>   |
|          | TÓXICO (H <sub>2</sub> S) | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Película Semiconductora (Absorción)*</li> </ul>  |

\* Tipos de detectores más utilizados en las plataformas petroleras.

(Tabla # 10) Principales sistemas de detección de gas y fuego

Los tipos de detectores más usados en las plataformas marinas, se describen enseguida.



## 4.1 DETECTORES DE FUEGO

### 4.1.1 DETECTORES DE FLAMA

Los detectores de flamas reaccionan ante la aparición de la energía radiante visible para el ojo humano (aproximadamente entre 4,000 y 7,700 Å (0.4 y 0.77 μm), o a la energía radiante que está fuera del campo de la visión humana, ya sea la ultravioleta (UV), o la próxima al infrarrojo (IR) (Middleton 1983). En comparación con otros tipos de detectores, los de llama son los de menor tiempo de reacción. Estos detectores son sensibles a las brasas incandescentes y a las flamas que radian energía de suficiente intensidad y naturaleza espectral para motivar la reacción del detector.

Los detectores de flama están diseñados para reconocer ciertas características de éstas, como la intensidad de la luz, la frecuencia de centelleo (pulsación) o la energía radiante.

Si la zona protegida tiene un elevado peligro potencial de declaración de incendio con llama, que exige una rápida detección, los detectores de llama son los más idóneos. Los detectores de flama, por tanto, se instalan principalmente en las zonas de elevada peligrosidad, tales como las plataformas de carga y las naves de almacenamiento de líquidos inflamables, plásticos, gas natural, determinadas sustancias químicas y otros productos, cuyas moléculas contienen una elevada proporción de átomos de carbono. Puesto que el sensor tiene que ver la llama y no los subproductos de la combustión, la ubicación usual del detector es en las paredes y no en el techo (directamente encima del fuego). Hay que evitar también que algún objeto se interponga en el ángulo de visión de los detectores. En comparación con otros detectores, los de flama cubren una zona más amplia.

Algunos detectores de flama transmiten una falsa alarma cuando se les somete a una energía radiante proveniente de otra fuente que no sea un incendio. Algunos se activan cuando detectan las reflexiones de la luz centelleante (por ejemplo, el reflejo de la luz sobre el agua) o de los arcos de las operaciones de soldadura.

#### 4.1.1.1 Detector de flama Infrarrojo

Estos aparatos tienen un elemento sensor que reacciona a la energía radiante que esta fuera del campo de la visión humana (aproximadamente por encima de  $7,700 \text{ \AA}$  ( $0.77 \text{ \mu m}$ )) de longitud de onda de amplio espectro.

Los detectores de IR son muy útiles para detectar las etapas iniciales de los incendios de hidrocarburos, es decir, cuando se requiere una respuesta rápida a un fuego. El espectro de IR de estos incendios muestra una banda espectral diferente a  $4,400 \text{ nm}$ , atribuibles a un alargamiento de la banda entre el oxígeno y el carbono en la molécula de  $\text{CO}_2$  excitada por la radiación de la flama. No obstante, otras fuentes de calor, tales como el sol, el calor de los motores eléctricos presentan cierta absorción en o en las proximidades de esta longitud de onda. La sensibilidad del detector al  $\text{CO}_2$  se consigue combinando un filtro selectivo y dos sensores piroeléctricos hechos de  $\text{LiTaO}_3$  que responde a dos longitudes de onda diferentes (Paissard 1985). El primer sensor responde solamente a la banda del  $\text{CO}_2$ , mientras que el segundo es sensible a radiación IR no deseada en la región de  $5,000$  a  $6,000 \text{ nm}$ . Las señales de estos dos detectores se comparan y evalúan mediante un circuito electrónico. En el caso de un incendio con radiación IR del  $\text{CO}_2$  caliente, se incrementa significativamente la señal del primer detector. La sensibilidad y el tiempo de respuesta de los detectores IR se pueden ajustar a diferentes valores. Normalmente trabajan en régimen pulsátil.

Los modelos más modernos de detectores IR, gracias al método ya mencionado de doble evaluación de la radiación de entrada, pueden trabajar en los ambientes más adversos, luz solar, luz artificial (por ejemplo iluminación halógena) o el destello del arco de soldadura o corte. En consecuencia, el porcentaje de falsas alarmas es relativamente muy pequeño. (ver detectores IR-IR)

#### 4.1.1.2 Detector de flama fotoeléctrica

Basa su principio de funcionamiento en la generación de un potencial eléctrico que produce una celda fotoeléctrica, cuando ésta es expuesta a la energía radiante de una flama. Reacciona en todo el espectro de luz visible, rayos infrarrojos y rayos ultravioleta de  $1,850$  a

5,000 Å (0.185 a 5 µm) de longitud de onda, tiene como desventaja que actúa con cualquier tipo de luz, produciendo falsas alarmas.

#### 4.1.1.3 Detector de oscilación de flama

Detector fotoeléctrico que impide la reacción ante la luz visible, a no ser que la luz percibida esté modulada a la frecuencia característica de la oscilación de la flama. Se emplea poco, dado que debe calibrarse para cada frecuencia de luz producida por una flama.

#### 4.1.1.4 Detector de flama tipo Ultravioleta (UV)

Este tipo de detector basa su principio de funcionamiento en la respuesta a la longitud de onda de la luz emitida por una flama. Los detectores de UV utilizan el margen de radiación comprendido entre 1,850 Å y 2,450 Å (0.185 a 0.245 µm). Como sensor usan carburo de silicio o nitruro de aluminio, o, en su lugar, una válvula llena de gas (Zimmerman 1986). Además de las flamas, otras fuentes de radiación UV pueden ser: la luz solar, los fenómenos eléctricos atmosféricos, los arcos eléctricos de los sistemas de soldadura y corte. La interferencia por parte de la iluminación solar es despreciable pues la atmósfera terrestre ejerce un efecto de apantallamiento gracias a la capa de ozono, que absorbe la radiación UV inferior a 280 nm. Por lo tanto los detectores de UV se pueden usar tanto al aire libre como en interior. Sin embargo, las otras dos fuentes de radiación UV (rayos y relámpagos, soldadura y corte) pueden ser causa de falsas alarmas. Otro problema que presentan frecuentemente los detectores de UV son una reducción gradual de su sensibilidad por depósito de suciedad en sus elementos ópticos; por ejemplo, depósitos de polvo, humo, hollín, grasa o aceite. En principio, los detectores se pueden usar en casi todos los casos en que en el espacio protegido se pueda producir una combustión con flama. En la práctica, no se usan tanto como los detectores de IR que han demostrado ser más ventajosos. Una excepción notable es la utilización del detector de UV para la detección de las llamas que se producen en la combustión del hidrógeno, que radia intensamente en la región UV pero no en la región IR.

Tomando en cuenta el tiempo de respuesta, costo y demás características del detector de flama UV, se recomienda para detección de fuego dentro del enclaustramiento de turbocompresores, turbogeneradores o de algún otro equipo cuyo valor lo justifique.

#### 4.1.1.5 Detectores de flama tipo Ultravioleta-Infrarrojo (UV-IR)

Este sistema proporciona protección contra fuego automática y continua, aplicado a arcos eléctricos, rayos x, rayos Gamma, u objetos calientes que estén presentes, o donde el uso de detectores ultravioleta (UV) o infrarrojo (IR) por si solos pueden resultar en falsas alarmas. La actuación simultánea de ambos sensores UV e IR se requiere para producir una alarma de fuego. Los dos elementos de detección independientemente monitorean porciones diferentes del espectro de radiación y por medio de las diversas fuentes de actuación, que reciben la señal del fuego, contrarrestan al mismo, dando como resultado una confiabilidad alta.

La sección UV del detector usa un tubo sensible ultravioleta que responde a las radiaciones UV en longitudes de onda de 1850 a 2450 Å (0.185 a 0.245  $\mu\text{m}$ ). El detector IR usa un elemento sensible en estado sólido que capta la radiación infrarroja en el rango de 4.1 a 4.7 micrones (41,000 a 47,000 Å).

El tiempo de respuesta está en función del tamaño del fuego y de la distancia. El detector responde a un fuego intenso de 1 a 5 segundos.

#### 4.1.1.6 Detectores de flama tipo Infrarrojo-Infrarrojo (IR-IR)

El detector de flama óptico discriminante da una respuesta rápida a fuegos de hidrocarburos, incluyendo a los producidos por combustibles líquidos y gaseosos. Los detectores responden a la energía radiante de una flama en dos bandas adyacentes del espectro medio infrarrojo. Dos canales sensores del espectro, cada uno viendo a diferentes longitudes de onda del espectro de flama, permite al detector discriminar entre flamas conteniendo materiales base hidrocarburos y estímulos del ultravioleta y otras fuentes de radiación del espectro como arcos de soldadura, rayos solares, cuerpos calientes y destellos de lámparas que originarían disparos en falso.

El filtro del detector de interferencia electromagnética (EMI) previene respuestas inadvertidas en el espectro electromagnético.

La banda infrarroja angosta en la cual este detector opera, permite funcionar eficientemente en humo denso y a pesar de contaminación a nivel superficial de sus lentes con polvo, mugre, rocío de aceite o de agua, lo cual reduce los requerimientos de limpieza y mantenimiento.

El procesamiento de señales es empleado para determinar que solamente señales que parpadean juntas en los dos canales y en el mismo rango de frecuencia se tomarán en cuenta, pues son específicas de fuegos.

Todos los fuegos de hidrocarburos desarrollan un espectro característico con un pico muy intenso alrededor de  $4.3 \mu\text{m}$  y que corresponde al  $\text{CO}_2$  caliente que se emite durante un fuego. También se emite una radiación de menor intensidad alrededor de  $3.8 \mu\text{m}$  que corresponde a las partículas de hollín incandescentes, siempre presentes.

La radiación proveniente de objetos calientes es rechazada por el circuito de detección, ya que es más intensa en la banda de longitud de onda inferior ( $3.8 \mu\text{m}$ ) que en la longitud de onda superior ( $4.3 \mu\text{m}$ ) lo que es inverso a la relación de intensidades de una flama.

| FUENTE   | RELACIÓN DE INTENSIDAD                               |
|--|--|
|  | @ $4.3 \mu\text{m}$ / intensidad @ $3.8 \mu\text{m}$ |
| • Luz del sol (5800 K)                         | 0.69   |
| • Luz de lámpara incandescente (2800 K)        | 0.72   |
| • Objeto caliente (carcasa de turbina) (477 K) | 1.23   |
| • Flama de gasolina                            | 2.70   |

(Tabla # 11) Relaciones de intensidades de radiación IR de diferentes fuentes

Como puede verse, si el circuito está calibrado para responder a relaciones de intensidad mayor a 2.0, ignorará las falsas alarmas por luz solar u objetos calientes.

#### 4.1.2 DETECTORES DE HUMO

La aparición del humo, se debe básicamente a una combustión incompleta, debida a la insuficiencia de oxígeno a la reacción, temperaturas de reacción bajas y por los tipos de materiales que intervienen en la combustión. La naturaleza corpuscular del humo permite su detección, midiendo los efectos de interferencia de las partículas de humo sobre la propagación de la luz (detectores fotoeléctricos de humo) o mediante la ionización del flujo de corriente (detectores de humo por ionización) (Zimmerman 1986<sup>a</sup>, NFPA 72E 1984).

Un sistema de detección de humo, es un sistema completo de detección de incendios. A bordo de una instalación estos sistemas están compuestos por lo general, de un medio para muestrear en forma continua el aire circundante de los espacios a proteger; de un medio para realizar pruebas del aire, con el fin de buscar la contaminación de este con todos los colores y tamaños de partículas, además de un medio visual o visual audible para indicar la presencia del humo.

La instalación de los detectores de humo debe ir precedida de un cuidadoso análisis de ingeniería del fuego para cada caso concreto. (Zimmerman 1986, Heibrock y Weis 1983). La difusión del humo está muy influenciada por diversos factores, tales como la geometría del recinto, la forma y altura del techo, la carga de fuego y las características de los subproductos de la combustión, posibles obstrucciones, o también por las corrientes de aire dominantes en el espacio protegido. Los detectores de humos son idóneos prácticamente para todos los tipos de incendio, y se han convertido en el tipo de detector de incendios predominante en entornos residenciales e industriales. En comparación con los detectores de temperatura, los detectores de humos pueden proteger espacios considerablemente mayores porque el humo no se disipa tan rápidamente como el calor en volúmenes equiparables.

#### 4.1.2.1 Detectores de humo ópticos o fotoeléctricos

Los detectores fotoeléctricos de humo se emplean en instalaciones de tierra y mar. Se dividen en dos clases, dependiendo esto de la medición de la dispersión u obscurecimiento del haz luminoso.

- De rayo luminoso (obstrucción del haz luminoso).
- De refracción (dispersión del haz luminoso).

El de rayo luminoso es una detección lineal, la cual cubre una cierta longitud entre el emisor de luz y el receptor, basando su principio de operación en la medición de la intensidad del haz luminoso que llega al receptor. En ausencia de humo, el haz luminoso que llega al receptor genera una fotocorriente constante. Si existe humo, se obscurece el haz luminoso y se atenúa la corriente en el receptor. Cuando la fotocorriente cae por debajo de un valor predeterminado, se activa una señal de alarma. La sensibilidad de respuesta del detector se puede ajustar a varios valores definidos. Se puede compensar la reducción de la intensidad de la señal por causas diferentes a la presencia de humo, tales como acumulación de polvo, envejecimiento del detector o cambios bruscos en la temperatura ambiente. Si por alguna razón se interrumpe físicamente el haz luminoso, o se sobrepasan los límites de compensación, se genera una señal de avería en vez de una señal de alarma. La intensidad de la señal depende en cierta medida del color del humo.

El de refracción es detección puntual que se activa cuando el humo penetra a una cámara donde un haz de luz se refracta sobre las partículas de humo visibles, provocando una variación en la resistencia eléctrica de la celda fotoconductiva. El receptor fotosensitivo se puede colocar en ángulo recto respecto al haz luminoso. En este caso el detector mide la dispersión del haz luminoso por las partículas de humo por la analogía con el principio nefelométrico de las medidas en química analítica. Contiene una fuente de luz y un elemento de recepción fotoeléctrico que no se encuentra en la trayectoria del rayo de la luz. Si el aire está limpio, la luz no incide sobre la superficie de recepción; ésta es la condición normal, sin embargo, si las partículas de humo pasan frente al rayo de luz, la desvían hacia el elemento de recepción y al captarse la luz, se activa una alarma.

Las interferencias debidas al polvo del aire se pueden corregir ajustando la entrada de humo o ajustando automáticamente el umbral de la señal. Los detectores de humo ya sea por obstrucción o dispersión del haz luminoso no actúan cuando el radio de las partículas de humo es inferior a la longitud de onda del haz luminoso incidente, es decir, inferior a 100 nm (Burry 1985). Esta es una de las razones por la cual se utilizan los detectores de humo por ionización.

#### 4.1.2.2 Detectores de humo de puente de resistencia

Este tipo de detector contiene un circuito electrónico de puente de rejillas, en el cual las partículas de humo y la humedad producen cambios rápidos de impedancias, rompiendo el equilibrio del puente y provocando que mediante un dispositivo electrónico se accione la alarma.

Los detectores de humo de puente de resistencia se activan por un aumento de las partículas de humo o de humedad (se despiden vapor de agua en las etapas iniciales de un incendio) y son más idóneos para su uso en instalaciones en tierra.

#### 4.1.2.3 Detectores de Humo de Análisis de Muestra

En este tipo de detectores una bomba extrae una muestra de aire-humo, la introduce en una cámara de niebla de alta humedad, en donde la humedad del aire se condensa sobre las partículas de humo formando una niebla dentro de la cámara. La densidad de la niebla se mide por medio fotoeléctrico y cuando esa sea mayor que un valor prefijado se acciona la alarma.

Con el uso de la cámara de nube (también conocida con el nombre de cámara de Wheatstone) se prueba el aire muestreado y si hay partículas de humo presentes, la humedad las hace que formen una nube que es más densa que el aire normal. Un dispositivo fotoeléctrico rastrea el aire muestreado y si encuentra que es más denso que el valor preestablecido, se activa la alarma.

#### 4.1.2.4 Detector de Humo de Ionización

El detector de humo por ionización consta de una cámara de detección que contiene una pequeña cantidad de un compuesto radioactivo y dos electrodos cargados. Normalmente son



de tipo zonal (es decir, montados en una ubicación concreta). La radiación desde el elemento radioactivo mantiene el aire de la cámara permanentemente ionizada, manteniendo una pequeña corriente constante entre los electrodos. Si en la cámara se introducen partículas de humo, son atraídas por los iones e incorporadas a los mismos, reduciendo por tanto la conductancia. Si la conductancia cae por debajo de un nivel predeterminado, se produce la respuesta del detector. La corriente de ionización depende simultáneamente del radio y de la concentración de las partículas de humo que penetran en la cámara (Helsper y alumnos 1983). Cuanto más pequeñas son las partículas, más rápida es la respuesta. Los detectores de humo por ionización son considerablemente más rápidos que los de tipo fotoeléctrico. En trabajos experimentales en los que se simularon incendios con generación de humo y se ensayaron los tres tipos de detectores de incendios (ionización, fotoeléctricos y térmicos) se obtuvieron los siguientes tiempos de respuesta: 66 segundos (detector de ionización), 166 segundos (detector fotoeléctrico), 240 segundos (detector térmico) (Miyama y Saito 1982). Desafortunadamente, el detector de ionización no diferencia entre partículas de origen diferente. Cualquier partícula de determinado tamaño activará la señal; es decir, partículas tan comunes como las del polvo o las de los vapores del proceso pueden disparar la alarma. Se ha intentado resolver el problema mediante dos cámaras ionizadas de muestreo, una exterior y otra interior. Mientras que las partículas de humo pueden introducirse libremente en la cámara exterior, la interior es casi impenetrable. En presencia de partículas de humo, el equilibrio eléctrico entre las dos cámaras queda perturbado. El circuito electrónico del detector responde a este cambio y se dispara la alarma.

La fuente radioactiva que ioniza el aire de la cámara del detector tiene que ser muy débil. Entre los diversos isótopos el más utilizado es el  $\text{Am}^{241}$ , en forma de óxido,  $\text{AmO}_2$ . Tiene una vida media de 420 años y emite radiación que penetra el aire hasta 6 cm y se puede apantallar fácilmente mediante la carcasa del mismo detector, es decir, este puede servir de eficaz barrera contra la radioactividad. La ínfima cantidad de material radioactivo no representa un peligro para la salud.

En los incendios con llama, los detectores de humo por ionización son más idóneos que los detectores de humo fotoeléctricos. Estos últimos son mejores para la detección de incendios con mucha humareda (incendios sin llama o incendios a baja temperatura) que generan partículas relativamente grandes. Los detectores de humo de tipo zonal se usan para la

protección de recintos relativamente pequeños, 20 a 50 m<sup>2</sup>, mientras que los detectores de espacios lineales (que proporcionan protección continua a lo largo de una ruta) son aplicables en recintos con altos techos; por ejemplo, hangares, vestíbulos, túneles, museos o corredores.

#### 4.1.3 DETECTORES DE TEMPERATURA

Tal como su nombre lo indica, los detectores contraincendios activados por calor captan y se activan por medio del calor generado por un incendio. Estos sistemas responden a las manifestaciones físicas del fuego generando una señal que envían a un sistema de alarma en solicitud de acción correctiva. Los tipos principales de dispositivos activados por calor son los detectores de temperatura fija (termoestáticos) y los detectores de tasa de aumento (termovelocimétricos). Algunos dispositivos son la combinación de ambos. Los mismos principios son aplicables a los aparatos puntuales y a los lineales; los primeros contienen un elemento termosensible en forma de unidad compacta que ocupa una pequeña superficie, mientras que los lineales contienen un elemento termosensible longitudinal o en forma de circuito.

El funcionamiento de los detectores térmicos está basado en la modificación de una propiedad física o eléctrica de un material bajo la influencia del calor que activa una alarma (Zimmerman 1986<sup>a</sup>). Los cambios físicos comprenden dilatación, fusión de una aleación fusible, ablandamiento de un aislamiento termosensible o dilatación volumétrica de un líquido. La modificación de la resistencia es el cambio de propiedades eléctricas más utilizado (NFPA 72E 1984). Estos cambios se pueden medir a una determinada temperatura (máxima) del sensor, en el aire ambiente o continuamente. En este último caso, los detectores se activan cuando la velocidad de elevación de temperatura excede un valor predeterminado (normalmente de 7 a 8 K por minuto).

Los detectores térmicos responden al calor convectivo que desprende el incendio. Puesto que la intensidad térmica disminuye rápidamente en función de la distancia respecto al centro del incendio, los detectores térmicos son aconsejables para detectar incendios en pequeños recintos cerrados (normalmente de 15 a 30 m<sup>2</sup>, con techos bajos) o cuando se prevé que el incendio romperá con una rápida elevación de la temperatura. También se puede usar en entornos abiertos, si se colocan directamente sobre los equipos y maquinarias a proteger,

donde se puedan producir incendios con llama. En principio se pueden usar también para la protección de recintos más grandes, utilizando los detectores en configuraciones de alta densidad. Los detectores térmicos se usan en entornos adversos, donde el humo, el polvo y la humedad hacen prohibitivo el uso de otros tipos de detectores, o donde la velocidad de detección no es fundamental. Por tanto, son especialmente adecuados para su conexión a sistemas automáticos de extinción de incendios (por ejemplo, sistemas de caída de agua por aspersión). Puesto que pueden incorporar un sistema de autoprotección, los detectores térmicos pueden diseñarse a prueba de explosiones y emplearse en entornos donde exista peligro de explosión. Los detectores térmicos raramente producen falsas alarmas, y cuando éstas se producen es porque el detector no se colocó correctamente, por ejemplo, cerca de fuentes térmicas, tales como calefacciones o a la luz del sol.

Pese a sus ventajas, por ejemplo, que sean los más baratos de todos los detectores de incendios, que sean los que menos falsas alarmas provocan, que requieren ninguna o muy baja potencia de alimentación, o que son mecánicamente robustos, están perdiendo gradualmente mercado a favor de los más versátiles detectores de humos (Int. Fire Chief 1986).

#### 4.1.3.1 Detectores termoestáticos

##### **Detectores de Temperatura Fija**

Un detector de temperatura fija activa una alarma contra incendios cuando la temperatura del dispositivo alcanza un valor previamente fijado. Se observa que el dispositivo sólo se activa a sí mismo, cuando alcanza la temperatura previamente fijada, y no por el aire en el ambiente. La diferencia entre estas dos temperaturas, la del aire circundante y la necesaria para activar el detector, se denomina demora térmica y se origina porque el calor se debe transferir del aire circundante al detector para que alcance su temperatura de operación.

La transferencia de calor requiere de cierto tiempo; nunca es tan perfecta para que el aire y el detector se encuentren a la misma temperatura, por lo tanto, cuando se activa un detector de temperatura fija, el aire circundante siempre está más caliente que el detector. La demora térmica es proporcional a la velocidad de ascenso de temperatura en el área.

### **Detector de placa bimetalica**

En este caso, el elemento sensor está compuesto de dos placas de metal diferentes unidas por soldadura. Ambos metales tienen diferentes coeficientes de expansión; uno se expande más rápido que el otro cuando se le somete al calor.

A temperaturas normales, la placa bimetalica se encuentra recta. Cuando aumenta la temperatura, la placa se dobla debido a la diferencia en los coeficientes de expansión; este desdoblamiento hace que la placa metálica toque el punto de contacto mediante el cual se cierra un circuito eléctrico que transmite una señal de alarma.

La ventaja de este detector es que regresa a su forma original después de que se haya eliminado la fuente de calor. Si no es destruida por el fuego, queda en su lugar para volver a usar. La desventaja de este detector es que con frecuencia genera falsas alarmas.

### **Detector de membrana bimetalica**

Este tipo de detector está formado por una membrana bimetalica cóncava que al calentarse cambia a convexa. Como ventaja, ejerce una mayor fuerza para cerrar los contactos, no le afectan las vibraciones y regresa por si solo a su estado original.

### **Detector de tapón fusible (puntual)**

Está formado por un conector metálico bloqueado por un metal fundente, unido a una tubería presurizada con aire de instrumentos que cuando el metal se funde por acción del calor, el aire escapa propiciando una caída en la presión, detectándose esto por un interruptor de baja presión (PSL), lo que provoca que el sistema de protección se accione.

### **Detector ampolla de cuarzo**

Formado por una ampolla de cuarzo que contiene un líquido de alto coeficiente de dilatación térmica, instalada a la descarga de un aspersor, cuando se alcanza una temperatura prefijada, la ampolla se rompe permitiendo la salida del agua contraincendio.

Los dispositivos de expansión líquida (ampolla de cuarzo) son similares en su operación a los dispositivos de metal fundible y se emplean para restringir entre otras cosas, el agua en un sistema de rociadores o un contacto deslizante en un interruptor eléctrico. Para tal fin, se llena parcialmente una bombilla de vidrio frágil con un líquido; se deja una burbuja de aire por encima del nivel del líquido y a medida que la temperatura asciende, el líquido se expande. Si la temperatura *sigue* subiendo, el líquido se expande aún más. A una temperatura previamente fijada, la bombilla estalla, liberando la presión que haya estado reteniendo. La bombilla se debe cambiar cuando se restablece el sistema.

En el mercado existen bulbos de cuarzo calibrados a diferentes temperaturas (distinguiéndolos por colores), para que el diseñador del sistema elija en base a la Temperatura Promedio de la zona, donde va a colocar los detectores.

#### 4.1.3.2 Detectores termovelocimétricos

Reaccionan cuando una determinada tasa de incremento de temperatura es alcanzada. Funcionan por diferencia de temperatura entre el interior y el medio ambiente, la alarma se acciona cuando la temperatura aumenta rápidamente y se retarda cuando el aumento es lento.

#### 4.1.3.3 Detector combinado de temperatura fija y de tasa de aumento

El detector de tipo combinado contiene tanto el dispositivo de temperatura fija como el dispositivo de tasa de aumento; se activa cuando la temperatura sube más rápido que la tasa previamente calibrada; sin embargo, si la temperatura aumenta lentamente, pero en forma continua, quizá no se active el dispositivo de Tasa de Aumento; en tal caso, el dispositivo de temperatura fija se encargará de activar la alarma.

La ventaja de este tipo de detector, es la protección adicional: el dispositivo de temperatura fija responde al desarrollo lento de un incendio; además, un detector combinado pudiera proteger un espacio que requeriría ambos tipos de detectores, el de Temperatura Fija y el de Tasa de Aumento.

El dispositivo de Tasa de Aumento en el detector se restablece por si mismo, pero en el caso del de Temperatura Fija, el metal fundible no es capaz de restablecerse. Por lo tanto, la única desventaja radica que en el segundo, todo el dispositivo se tendría que cambiar si se activa el de Temperatura Fija. Algunos detectores de combinación hacen uso de un cable bimetalico al igual que en el de Temperatura Fija, para que no se tengan que cambiar cada vez que se activen. Sin embargo, estos detectores están sujetos a dar falsas alarmas, como se señalo anteriormente.

#### 4.1.3.4 Detector térmico compensado

Este detector, a diferencia de los térmicos combinados, opera a bajas velocidades de incremento de temperatura.

Está formado por una funda y varillas internas con diferentes coeficientes de dilatación, cuando la temperatura se incrementa rápidamente la funda se dilata y cierra los contactos. Si la temperatura se incrementa lentamente la funda y las varillas se dilatan provocando el cierre de los contactos.

## 4.2 DETECTORES DE GAS

### 4.2.1 DETECTOR DE GAS COMBUSTIBLE

Los subproductos del incendio, “gas del fuego”, son: monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de azufre, cloruro de hidrógeno y muchos otros subproductos de la combustión, a veces en concentraciones mínimas. Se liberan en la fase inicial del desarrollo del incendio junto con humo, y alcanzan sus niveles de concentración más elevados previamente a la fase de flama. Químicamente son proclives a reacciones de oxidación o reducción, característica que se puede aprovechar para detectar su presencia. Los detectores de gases contienen un sensor que puede ser un semiconductor o un catalizador (Zimmerman 1986a). Este último cataliza la oxidación de los gases de la combustión, mientras que el semiconductor cambia sus características de conductividad como resultado de su oxidación o reducción por los gases del incendio.

Aunque en principio no existe un serio fundamento para no utilizar los detectores de gas con la misma frecuencia que otros tipos de detectores de incendios. Se ven relegados a un segundo plano dada la versatilidad y bajo precio de los detectores de humo. Sin embargo, los detectores de gas son muy utilizados en sistemas de alarma para detectar en recintos cerrados la presencia de vapores o gases peligrosos a concentraciones inferiores a las de sus límites de explosividad.

#### 4.2.1.1 Detector de tecnología óptica (infrarrojo puntual)

Este tipo de detector emplea un principio de operación diferente a la tecnología catalítica y electroquímica, ya que se basa en la absorción de luz en el infrarrojo, producida por los vapores o gases de hidrocarburos, la cual es bastante mayor que la absorción propia del nitrógeno, aire o el vapor de agua.

El dispositivo está integrado por una cámara abierta a la atmósfera, donde un haz de luz IR atraviesa la muestra; el haz es producido por una lámpara de cuarzo-halógeno y este es recibido por un componente opto-electrónico (sensor de estado sólido) que genera una señal de medición que es comparada con un segundo haz de referencia, conducido a través de un camino que no se encuentra contaminado por el gas combustible (tubo sellado o fibra óptica).

El empleo de más de una longitud de onda en algunos modelos, permite identificar y cuantificar diferentes hidrocarburos gaseosos, permitiendo optimizar el detector para instalaciones de gas natural (principalmente metano) o almacenamiento de gas LP (propano, butano), etc.

Ventajas:

- No se envenena como el detector catalítico.
- No requiere oxígeno.
- Se recupera rápidamente de la exposición a altas concentraciones de gas combustible.

Este detector se recomienda para su instalación en áreas cerradas: como en el cuarto de generación o en los módulos de compresión.

#### 4.2.1.2 Detector de cañón de haz de luz infrarroja

La localización exacta de los detectores de tipo puntual, es el aspecto más crítico del diseño del sistema. Cualquier fuga de gas formará nubes que se mezclan y diluyen en el aire del ambiente formando mezclas explosivas. Tales nubes de atmósfera explosiva se desplazarán de diferentes modos de acuerdo a las condiciones ambientales, tales como: dirección y velocidad del viento, temperatura, turbulencia generada por: la estructura de equipos, sólo por mencionar algunos.

Esto significa que la localización y cantidad de puntos de detección, siempre será un compromiso basado en los sitios donde se considere más probable una fuga, y su interacción con las condiciones de tiempo prevalecientes.

#### 4.2.1.3 Detección de gas combustible tipo catalítico

El sensor de gas combustible, consiste de un par de elementos. Uno es un elemento sensor catalítico activo, y el otro funciona como un elemento de referencia de compensación de temperatura, humedad o viento. En la presencia de gas combustible, la resistencia del elemento sensor activo se incrementa en proporción a la concentración del gas que ha ido detectado; en razón del calentamiento que sufre al efectuarse en su superficie la combustión catalítica (sin flama) del gas combustible presente.

El cambio en la resistencia del elemento activo, relativo a la resistencia, es usado como la base para determinar el porcentaje del Límite Inferior de Explosividad (LEL) del gas en el sensor.

El elemento sensor es colocado dentro de una caja de aluminio, para áreas peligrosas (NEMA 7)



Por lo tanto, el gas combustible oxida al platino, y éste a su vez calienta al metal, dando como efecto un cambio en su resistencia eléctrica.

Esta variación de resistencia es acondicionada dentro de un puente de Wheatstone, produciendo un voltaje proporcional, posteriormente se amplifica, se convierte a corriente (4-20 mA), y se transmite al controlador.

Haciendo alusión a lo descrito anteriormente podemos decir que las plataformas de la Sonda de Campeche son todas de tipo "abierto", lo que significa que, si bien existe normalmente una amplia ventilación natural, también es factible que la brisa marina (que sopla más del 95% del tiempo) "barra" o desplace una fuga que no se encuentre localizada exactamente corriente arriba de una cabeza detectora; por lo que tal fuga puede pasar indetectada, constituyendo un riesgo latente.

El detector del tipo "Cañón de haz de luz IR", proyecta un angosto haz de luz infrarroja a una distancia de hasta 200 m, detectando la existencia de nubes de gases, mediante la absorción causada en el espectro por la presencia de compuestos de hidrocarburos, para 108 que el sensor ha sido calibrado. Se emplea un segundo haz cuya longitud de onda no es absorbida por 108 hidrocarburos, como un haz de referencia para evitar efectos de interferencia causada por la absorción provocada a causa de lluvia o niebla. La medición de la presencia de gas combustible es hecha mediante la comparación de la relación de intensidades entre el haz primario y el de referencia. La reducción de la intensidad del haz primario es proporcional tanto a la concentración de gas, Como al espesor de la nube que se atraviesa. De ese modo, tal medición se expresa como (LEL x m.) lo que corresponde al promedio del porcentaje de Límite Inferior de Explosividad de la nube de gases multiplicado por la porción del haz que tal nube ocupa. Existen varias configuraciones de este tipo de detector; para distancias cortas de hasta 65 m., se tiene una combinación de Transmisor / receptor y un espejo retrorreflector. Para distancias mayores (de hasta 200 m) se emplean transmisores y receptores separados.

### **Ventajas con respecto a los detectores puntuales**

- Se cubren amplias áreas con un solo equipo.
- No es susceptible de envenenamiento químico en ambientes agresivos tales como el de la plataforma, al ser un sensor del tipo óptico.
- Se reducen notablemente los requerimientos de mantenimiento.
- Su calibración no requiere el empleo de gases peligrosos (y costosos), ya que se emplea un filtro óptico cuya absorción es equivalente a una nube del gas a detectar.

El circuito del detector provee medios para ignorar el bloqueo momentáneo por personal u objetos que atraviesen el haz por periodos de tiempos cortos, alarmando en caso de bloqueos mas prolongados; así como compensación de cero lo que elimina la necesidad frecuente de calibración.

### **4.3 CRITERIOS GENERALES PARA LA UBICACIÓN DE DETECTORES**

Para determinar la ubicación de detectores se aplican las siguientes recomendaciones del código NFPA-72:

#### **a) Detectores de flama "ultravioleta"**

Para definir la ubicación de los detectores de flama se deben considerar el ángulo óptico de visión (90° o 150°), así como la relación entre la sensibilidad y la separación del detector de flama.

Se recomienda utilizar este tipo de detector en lugares enclaustrados, donde las interferencias externas como rayos, soldaduras, etc., no causen falsas alarmas, pudiéndose usar en equipo como: turbocompresores, turbogeneradores, etc., donde se quieran respuestas rápidas para activar los sistemas de extinción contra incendio.

**b) Detectores de temperatura**

Para determinar el espaciamiento y la localización de estos detectores, se consideran los siguientes factores:

1. Conformación del techo y paredes
2. Altura del local
3. Volumen del local
4. Distribución de espacio libre
5. Temperatura normal del sitio
6. Posibilidad de temperaturas anormales debidos a aparatos productores de calor o a procesos industriales
7. Ventilación y/o aire acondicionado que pudieran influir en el funcionamiento normal del aparato

**c) Detectores de humo**

Se establece que el emplazamiento de los detectores de humo, debe basarse en un estudio técnico sobre la aplicación de esta forma de protección a la zona que se considere, algunas circunstancias que deben tenerse en cuenta son:

1. Velocidad del aire
2. Forma del techo
3. Superficies y altura
4. Tipo de materiales almacenados
5. Tipo de proceso que se realiza
6. Posibilidad de desprendimiento normal de humos como parte del proceso
7. Estratificación de humos

Los detectores de temperatura y humo (tipo puntual) cuando se colocan debajo del techo, tendrán un distanciamiento mínimo de éste hacia la pared lateral de 4 pulgadas (10 cm), para aislar el espacio de aire muerto.

Los detectores de temperatura y de humo (tipo lineal) deberán colocarse a una distancia máxima de 20" (0.50 m) debajo del techo o de las paredes laterales.

### **Espaciamiento**

El espaciamiento entre los detectores de temperatura y de humo (lineal o puntual) será el recomendado por el fabricante, de acuerdo al modelo de los mismos la distancia hacia las paredes será la mitad de dicho espaciamiento.

El espaciamiento entre detectores de temperatura en construcciones abiertas no deberá exceder el 50% del distanciamiento especificado en locales cerrados.

Recomendaciones para la localización de detectores de humo cuando existe aire acondicionado:

- No deben colocarse cerca de difusores (pueden diluir el humo)
- Deben colocarse en el sentido del flujo de aire pudiendo requerirse detectores adicionales, por la separación entre ellos, es común incrementar un 50% el número de detectores determinado por el cálculo.

### **d) Detectores de gas combustible y gas tóxico (H<sub>2</sub>S)**

Para la localización y espaciamiento de este tipo de detectores existen básicamente dos filosofías que son:

- Localizar los detectores lo más cercano posible a la fuente de emisión de escape del gas.
- Localizar los detectores en una área (volumen) donde sea posible una concentración de gas.

Consideraciones que se deben tomar en cuenta para la localización, espaciamiento e instalación de detectores de gas combustible y gas tóxico ( $H_2S$ ):

- De acuerdo a la densidad relativa del vapor.
- Los detectores de gas combustible se localizarán en la parte superior de los equipos y techos.
- Los detectores de gas tóxico se localizarán en el piso o a 30 cm del mismo.
- Corrientes de aire.
- Dispersión de gas.
- Limitaciones de temperatura propias del detector.
- La vibración afecta rápidamente al sensor.
- Alambrado, separarlo de líneas de alta tensión.
- Usar guardas para protección contra el agua.
- Usar filtros para protección contra el polvo.

#### 4.4 SISTEMA DIGITAL DE GAS Y FUEGO (SDGF)

El Sistema Digital de Gas y Fuego (SDGF), tiene como objetivo monitorear y controlar la presencia de gas combustible o tóxico que esté por encima del nivel tolerable, así como, alertar la presencia de fuego. Otra función es la de monitorear a las bombas contraincendio, de abrir las válvulas de diluvio y por medio de señales audibles y visibles, poner en aviso al personal que se encuentra dentro de la instalación en la que hay un suceso de emergencia. En otras palabras está diseñado para detectar, alarmar, controlar y activar los sistemas de protección contraincendio.

Al detectar los sensores de los diversos detectores antes mencionados una muestra explosiva o fuego, la señal se transmite por cableado (fibra óptica) hasta la Unidad de Procesamiento Remoto (UPR), en la cual es procesada, y ésta a su vez, envía otra señal para abrir las válvulas de diluvio, accionar las alarmas visibles y audibles, transmitir la señal al Controlador Lógico Programable (PLC), el cual, es una entidad programada que mantiene las variables del proceso de manera controlada, es decir, en valores especificados, de donde se

enviará otra señal que arrancará y/o parará las bombas correspondientes, al igual que accionar el paro automático de los sistemas de proceso.

En el caso de la detección de gas tóxico se enviará la señal a la UPR y de ahí se enviará como alarma visible y/o audible a campo, y al mismo tiempo en paralelo se registrará el paro automático de emergencia.

El Sistema Digital de Gas y Fuego (SDGF) deberá ser capaz de recibir tanto señales análogas como digitales de los detectores de fuego, de gas, de las alarmas manuales y otros, por medio del uso de uno o más programas específicos para sistemas de seguridad, así como, controlar las operaciones de los relevadores de salida (interruptor eléctrico actuado remotamente por una señal eléctrica), funciones de manejo de datos y comunicación con la interfaz hombre-máquina para realizar gráficos, diagnósticos, reportes y cambios de operación.

#### **4.5 UNIDAD DE PROCESAMIENTO REMOTO (UPR)**

La Unidad de Procesamiento Remoto (UPR), ejecuta las funciones de adquisición de la información de los instrumentos detectores y alarmas de campo, además de la ejecución de toda la lógica para las acciones de control en tiempo real sobre los dispositivos finales de campo de los diversos sistemas de seguridad que hay en una instalación. La UPR, deberá contar con redundancia en todos sus elementos, apegándose como mínimo a un sistema certificado para un nivel de integridad de seguridad Sil-3.

La UPR está formada básicamente por los siguientes componentes:

- Procesadores
- Memoria
- Fuentes de alimentación
- Módulos de entrada / salida
- Módulos de comunicaciones
- Unidad de Programación Portátil, PC tipo Laptop

## **Procesadores**

Coordina y ejecuta todas las funciones de monitoreo y control, permitiendo una interfaz de comunicación con el operador mediante una estación de trabajo local (interfaz hombre-máquina).

## **Memoria**

Contiene la información básica para la configuración / operación de la instalación, la cual puede modificarse de acuerdo a los requerimientos operativos, siendo fácilmente expandible y mantiene un respaldo de su información en caso de falla de la alimentación eléctrica al SDGF.

## **Fuentes de alimentación**

Proporciona un suministro constante de energía eléctrica acorde con los niveles de tensión requeridos para los módulos que conforman la UPR.

## **Módulos de entrada y salida**

Nos permiten realizar la interfase entre el proceso y la máquina; los módulos acondicionadores de señal de entrada cuentan con elementos de protección electrónica como aislamiento óptico o filtrado electrónico, los módulos acondicionadores de señal de salida cuentan con elementos electrónicos de protección como circuitos electrónicos limitadores de corriente.

## **Módulos de comunicaciones**

Permiten el enlace de comunicaciones entre la unidad de procesamiento remoto y un sistema digital de mayor jerarquía en complejos marinos próximos como podrían ser los sistemas de control supervisorio y el sistema de adquisición de datos, mediante enlaces radioeléctricos.

# CAPÍTULO V

## APLICACIÓN DE LAS BASES DE LA SEGURIDAD EN EL COMPLEJO AKAL "L"



**APLICACIÓN DE LAS BASES DE LA SEGURIDAD EN EL COMPLEJO AKAL "L"**

PEMEX Exploración y Producción (PEP) a través de la administración del activo Cantarell tiene asignada la conversión temporal de la plataforma de enlace de Akal-L a una plataforma de estabilización, así como las interconexiones y los equipos necesarios para el manejo provisional de 100 MBPD de crudo provenientes de las plataformas de perforación de Akal-L y Akal-LK. Por otra parte el complejo marino Akal-J no cuenta con la capacidad suficiente para manejar la producción del área de Akal-L debido a el nuevo programa de perforación y al retraso en la instalación de los nuevos complejos de producción, que como consecuencia generarán altas contrapresiones por el incremento en el transporte.

Entre los puntos más importantes a considerar para la conversión de la plataforma de enlace Akal-L, estará el aprovechar al máximo la infraestructura existente, e iniciar la operación considerando los servicios auxiliares necesarios como son el aire de planta e instrumentos, energía eléctrica, diesel limpio, agua potable, agua de mar, gas combustible, sistema de drenaje, módulo habitacional y quemador de servicio continuo.

Los equipos serán diseñados para la máxima producción de acuerdo a los pronósticos de producción de crudo; por lo tanto no se prevén ampliaciones futuras.

Las descargas de las válvulas de control de presión y de seguridad de los distintos equipos, serán enviadas a un quemador de servicio continuo que deberá instalarse en la plataforma de enlace.

Las áreas donde se ubicarán las turbobombas, sus tableros de control y los CCM's de servicios auxiliares, serán clasificadas de acuerdo a los requisitos que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMP-1994 en el artículo 500 y el API-RP-500, referente a lugares clasificados como peligrosos. Considerando las propiedades de los líquidos o vapores que puedan estar presentes en dichas áreas. Lo anterior servirá para determinar las características de los gabinetes de los tableros y CCM's (a prueba de explosión, aprueba de intemperie o para uso general).

El objetivo desde el punto de vista de seguridad industrial, es el de proporcionar la protección adecuada al personal operativo de las plataformas Akal-L perforación y enlace, prevenir lesiones humanas y pérdidas de vidas, evitar daños a los equipos, al medio ambiente y áreas circunvecinas de la instalación, permitiendo la detección oportuna de riesgos inherentes a la separación de gas, mediante sistemas que permitan tomar decisiones oportunas de forma segura y confiable.

A continuación se dará lo concerniente a lo visto en seguridad preventiva, para aplicarlo y percatarse en que sistemas de seguridad está implícito en el caso real del complejo Akal-L, así como, sus especificaciones particulares.

## **5.1 SISTEMAS DE SEGURIDAD**

Los sistemas de seguridad que forman parte del alcance de Akal-L perforación y enlace son el sistema de la red de agua contra incendio, sistema de supresión de fuego a base de agente limpio, extintores, letreros de señalización y sistema digital de monitoreo y control para gas y fuego.

### **5.1.1 SISTEMA DE AGUA CONTRA INCENDIO**

Tiene como función principal proporcionar agua para enfriamiento a los equipos, utilizando para ello tubería, válvulas de diluvio, monitores, sistema de tapón fusible e instrumentos de medición. El cual deberá ser activado en forma manual o automática a través del sistema de tapón fusible.

El sistema consistirá de una red de agua contra incendio presurizada con agua de mar, por medio de bombas reforzadoras tipo "jockey" que van hasta las válvulas de diluvio, así como, boquillas automáticas de aspersión y monitor.

La red está diseñada básicamente para proporcionar enfriamiento a equipos y operará tratando de aislar zonas completas en la plataforma, para lograr con lo anterior abatir altas temperaturas en zonas determinadas y evitar que se presenten problemas de explosión o incendios en equipos adyacentes.

Se contará con transmisores de presión en el sistema neumático del detector de calor tipo tapón fusible, los cuales indicaran baja presión o activación del sistema de aspersión al operador, mediante alarmas configuradas.

### 5.1.2 LETREROS DE SEÑALIZACIÓN

Se deberá contar con letreros de señalización indicando la localización de equipo contra incendio, rutas de escape, así como, señales prohibitivas, indicativas y obligatorias.

### 5.1.3 SISTEMA DE SUPRESIÓN DE FUEGO A BASE DE UN AGENTE LIMPIO

Tiene como función principal proteger al personal y equipo que se encuentre dentro de un área cerrada mediante la detección de humo y de fuego. La liberación de un agente limpio (heptafluoropropano) que eliminará al oxígeno para evitar la combustión del material sin dañar al equipo o personal. Este sistema se instalará en el cuarto de control y podrá operar en forma manual o automática.

En este sistema habrán detectores de humo tipo iónico, que tendrán como fuente de ionización Americio 241, con una sensibilidad de mínimo 1.9% de obscuridad/pie y trabajarán, apropiadamente con velocidades de aire de máximo 1200 pies/min.

Los detectores de humo deberán cumplir con lo siguiente:

- Sean a prueba de falsas alarmas debido a: polvo, humedad, temperatura, polaridad inversa, sobretensión, "ruido" eléctrico.
- Puedan cubrir satisfactoriamente un área mínima de 200 ft<sup>2</sup> (18.5 m<sup>2</sup>) por detector.
- Tendrán un led que indique el estado de alarma del detector.
- Su sensibilidad será ajustable en campo.
- Deben ser NEMA 1 (propósito general) y trabajarán con 24 VCD, temperaturas de 0 a 49°C y humedad relativa de máx. 95% sin condensación.
- En cada sistema, los detectores de humo funcionarán con circuitos supervisados desde el tablero de control local.
- Tendrán vida útil de mínimo 3 años.

A continuación se mostrará la relación de entradas/salidas de las señales para el tablero local del control del sistema de agente limpio en el cuarto de control de la plataforma Akal-L perforación, y en los cuartos de control de las bombas de la plataforma Akal-L enlace 1er y 2º nivel.

| TABLERO LOCAL DE CONTROL PARA SISTEMA DE AGENTE LIMPIO | AREA   | ENTRADAS                       |                    | SALIDAS            | PUERTO DE COMUNICACION                |   |
|--|--|--------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|---|
|  | CUARTO DE CONTROL 1er NIVEL AKAL-B PERFORACION | CIRCUITOS DE DETECCION DE HUMO | DIGITALES A 24 VCD | DIGITALES A 24 VCD | RS.232C, CONEXION CON UPR DE S.D.G.F. | RS 232C, CONFIGURACION CON PC PORTATIL. |
|  |  | 4                              | 5                  | 11                 | 1                                     | 1                                       |

**(Tabla # 12) Señales para el tablero local de control del sistema de agente limpio en el cuarto de control de Akal-L perforación**

| TABLERO LOCAL DE CONTROL PARA SISTEMA DE AGENTE LIMPIO | AREA  | ENTRADAS                       |                    | SALIDAS            | PUERTO DE COMUNICACION                |   |
|--|---|--------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|---|
|  | CUARTO DE CONTROL DE BOMBAS 1er NIVEL AKAL-B ENLACE | CIRCUITOS DE DETECCION DE HUMO | DIGITALES A 24 VCD | DIGITALES A 24 VCD | RS.232C, CONEXION CON UPR DE S.D.G.F. | RS 232C, CONFIGURACION CON PC PORTATIL. |
|  |   | 5                              | 7                  | 16                 | 1                                     | 1                                       |

**(Tabla # 13) Señales para tablero local de control del sistema de agente limpio en el cuarto de control de bombas de Akal-L enlace 1er. nivel**

| TABLERO LOCAL DE CONTROL PARA SISTEMA DE AGENTE LIMPIO | AREA                                      | ENTRADAS                       |                    | SALIDAS            | PUERTO DE COMUNICACION                |   |
|--|---|--------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|---|
|  | CUARTO DE CONTROL 2º. NIVEL AKAL-B ENLACE | CIRCUITOS DE DETECCION DE HUMO | DIGITALES A 24 VCD | DIGITALES A 24 VCD | RS.232C, CONEXION CON UPR DE S.D.G.F. | RS.232C, CONFIGURACION CON PC PORTATIL. |
|  |   | 5                              | 7                  | 16                 | 1                                     | 1                                       |

**(Tabla # 14) Señales para tablero local de control del sistema de agente limpio en el cuarto de control de bombas de Akal-L enlace 2º nivel**

#### 5.1.4 SISTEMA DIGITAL DE GAS Y FUEGO

El sistema digital de monitoreo y control para gas y fuego está diseñado para detectar, alarmar, controlar y activar los sistemas de protección contraincendio tanto en akal-L perforación como en akal-L enlace. Cada plataforma tiene diseñado su sistema digital de monitoreo y control para gas y fuego que funciona en forma independiente. Sin embargo, en

akal-L enlace se encuentra la interfaz hombre-maquina para monitorear y controlar los sistemas de ambas plataformas.

El sistema digital de monitoreo y control para gas y fuego, se utilizará para detectar y alarmar en tiempo real sobre los sistemas de seguridad que se instalarán en la plataforma, los sistemas de seguridad a incluir en el sistema de detección y alarma son los siguientes:

- Sistema de detección de gas: toxico, combustible e hidrogeno.
- Sistema de alarmas manuales: por fuego, hombre al agua y abandono de plataforma.
- Sistema de detección de fuego: sensores UV/IR y de humo.
- Sistema contraincendio a base de aspersion de agua (monitoreo y disparos remotos)
- Sistema de supresión de fuego a base de agente limpio para cuartos de control.
- Sistema de alarmas audibles
- Sistema de alarmas visibles

Las siguientes tablas de entradas/salidas sirven para dimensionar y proponer el arreglo de la UPR en cuanto a la redundancia para los tipos de entradas/salidas.

|                            | SEÑALES ANALÓGICAS |         | SEÑALES DIGITALES |         |         |                                    | COMUNICACION CON OTROS EQUIPOS |        |                 |
|----------------------------|--------------------|---------|-------------------|---------|---------|------------------------------------|--------------------------------|--------|-----------------|
|                            | ENTRADAS           |         | ENTRADAS          | SALIDAS |         |                                    | PUERTOS                        |        |                 |
|                            | 0-20 mA            | 4-20 mA | 24 VCD            | 24 VCD  | 120 VCA | CONTACTOS DESENERGIZADOS NA. Y NC. | RS-232C                        | RS-485 | ETHERNET TCP/IP |
| <b>PRIMER NIVEL</b>        |                    |         |                   |         |         |                                    |                                |        |                 |
| DETECCION FUEGO            | 8                  |         |                   |         |         |                                    |                                |        |                 |
| DETECCION GAS COMB. Y TOX. | 15                 |         |                   |         |         |                                    |                                |        |                 |
| ALARMAS MAN.               |                    |         | 9                 |         |         |                                    |                                |        |                 |
| ALARMAS VIS.               |                    |         |                   |         | 18      |                                    |                                |        |                 |
| SIST. ASPERSION            |                    | 4       | 4                 | 4       |         |                                    |                                |        |                 |
| ALARMAS AUD.               |                    |         |                   |         |         | 6                                  |                                |        |                 |
| CUARTO DE CONTROL BOMBAS   |                    |         |                   |         |         |                                    | 2                              |        | 1               |
| BOMBAS C.I.                |                    | 6       | 20                | 2       |         |                                    |                                |        |                 |
| RED AGUA C.I.              |                    | 3       |                   |         |         |                                    |                                |        |                 |

|                          | SEÑALES ANALÓGICAS |           | SEÑALES DIGITALES |          |           |          | COMUNICACION CON OTROS EQUIPOS |          |          |
|--------------------------|--------------------|-----------|-------------------|----------|-----------|----------|--------------------------------|----------|----------|
|                          |                    |           |                   |          |           |          |                                |          |          |
| COMUNICACION CON LAP-TOP |                    |           |                   |          |           |          | 1                              |          |          |
| <b>SEGUNDO NIVEL</b>     |                    |           |                   |          |           |          |                                |          |          |
| DETECCION FUEGO          | 7                  |           |                   |          |           |          |                                |          |          |
| DETECCION GAS            | 18                 |           |                   |          |           |          |                                |          |          |
| ALARMAS MAN.             |                    |           | 3                 |          |           |          |                                |          |          |
| ALARMAS VIS.             |                    |           |                   |          | 12        |          |                                |          |          |
| SIST. ASPERSION          |                    | 1         | 1                 | 1        |           |          |                                |          |          |
| CUARTO CONTROL MOTORES   |                    |           |                   |          |           |          |                                | 1        |          |
| MOTOGENERADORES          |                    |           |                   |          |           |          |                                | 2        |          |
| <b>TERCER NIVEL</b>      |                    |           |                   |          |           |          |                                |          |          |
| ALARMAS VISIBLES         |                    |           |                   |          | 18        |          |                                |          |          |
| ALARMAS MAN.             |                    |           | 3                 |          |           |          |                                |          |          |
| SEÑALES DE MÓDULO HAB.   |                    |           | 8                 |          |           |          |                                |          |          |
| <b>TOTAL</b>             | <b>48</b>          | <b>14</b> | <b>48</b>         | <b>7</b> | <b>48</b> | <b>6</b> | <b>3</b>                       | <b>3</b> | <b>1</b> |

(Tabla # 15) Resumen de entradas/salidas en la plataforma de enlace de Akal-L

|                          | SEÑALES ANALÓGICAS |         | SEÑALES DIGITALES |         |         |                                   | COMUNICACION CON OTROS EQUIPOS |        |                 |
|--------------------------|--------------------|---------|-------------------|---------|---------|-----------------------------------|--------------------------------|--------|-----------------|
|                          | ENTRADAS           |         | ENTRADAS          | SALIDAS |         |                                   | PUERTOS                        |        |                 |
|                          | 0-20 mA            | 4-20 mA | 24 VCD            | 24 VCD  | 120 VCA | CONTACTOS DESENERGIZADOS NA. Y NC | RS-232C                        | RS-485 | ETHERNET TCP/IP |
| <b>PRIMER NIVEL</b>      |                    |         |                   |         |         |                                   |                                |        |                 |
| DETECCION FUEGO          | 12                 |         |                   |         |         |                                   |                                |        |                 |
| DETECCION GAS            | 16                 |         |                   |         |         |                                   |                                |        |                 |
| ALARMAS MANUALES         |                    |         | 9                 |         |         |                                   |                                |        |                 |
| CTO. DE CONTROL          |                    |         |                   |         |         |                                   | 2                              |        | 1               |
| ALARMAS VISIBLES         |                    |         |                   |         | 18      |                                   |                                |        |                 |
| ALARMAS AUDIBLES         |                    |         |                   |         |         | 6                                 |                                |        |                 |
| SISTEMA ASPERSION        |                    | 5       | 5                 | 5       |         |                                   |                                |        |                 |
| COMUNICACION CON LAP-TOP |                    |         |                   |         |         |                                   | 1                              |        |                 |
| RED AGUA CONTRA-INCENDIO |                    | 1       |                   |         |         |                                   |                                |        |                 |
| HELIPUERTO               |                    |         |                   |         |         |                                   |                                |        |                 |

|                  | SEÑALES ANALÓGICAS |          | SEÑALES DIGITALES |          |           |          | COMUNICACION CON OTROS EQUIPOS |          |
|------------------|--------------------|----------|-------------------|----------|-----------|----------|--------------------------------|----------|
|                  |                    |          |                   |          |           |          |                                |          |
| ALARMAS MANUALES |                    |          | 1                 |          |           |          |                                |          |
| ALARMAS VISIBLES |                    |          |                   |          | 6         |          |                                |          |
| <b>TOTAL</b>     | <b>28</b>          | <b>6</b> | <b>15</b>         | <b>5</b> | <b>24</b> | <b>6</b> | <b>3</b>                       | <b>1</b> |

**(Tabla # 16) Resumen de entradas/salidas en la plataforma de perforación de Akal-L**

### 5.1.5 SISTEMA DE DETECCIÓN Y ALARMA

El objetivo principal de estos detectores y alarmas será proteger al personal, los equipos, materiales y elementos. Mediante la detección y alarmas preventivas, para que el personal tome las acciones correspondientes.

Lo anterior se debe lograr con base en sistemas de detección de gas hidrógeno, gas combustible, gas sulfhídrico, fuego, alarmas audibles, alarmas visibles, estaciones manuales, los cuales recibirán y enviarán señal(es) a través de la unidad procesadora remota (UPR).

Los detectores y alarmas deben ser diseñados conforme a las normas y reglamentos de PEP así como de los estándares y códigos de la "National Fire Protection Association" NFPA 72 (1999).

El sistema de detección y alarma para ambas plataformas está compuesto por los siguientes equipos en campo:

- Detectores de fuego (UV/IR).
- Detectores de gas tóxico (H<sub>2</sub>S).
- Detectores de gas combustible.
- Detectores de gas hidrógeno.
- Alarmas manuales por fuego.
- Alarmas manuales por abandono de plataforma.
- Alarmas manuales por hombre al agua.

## Sensor/Controlador de gas hidrógeno

### Objetivo:

Supervisar continuamente la concentración de gas hidrógeno en el interior de los cuartos de baterías, indicando la presencia de gas a través de la unidad de procesamiento remoto.

El sensor de gas hidrógeno funcionará bajo el principio de oxidación catalítica.

### Características:

El material del cuerpo donde está montado el sensor es de aluminio, diseñado de tal manera que cumpla con los requisitos de normas internacionales relacionadas con áreas peligrosas.

El sensor debe ser el adecuado para detectar la presencia de gas hidrógeno.

### Controlador

Basado en un circuito de microprocesador, para monitoreo continuo de la presencia de gas hidrógeno, con autodiagnóstico e identificación automática de fallas.

### Características:

Voltaje de operación: 24 VCD nominal.

Corriente de operación: Operación 0.25 amp. Nominal 0.5 amp. Máx. a 24 VDC.  
Arranque 1.0 amp. Máx.. a 24 VCD (1 segundo).

Rango: 0-99% LEL

Indicaciones de estado en la pantalla local del transmisor:  
Error en la calibración.



Falla del detector.

Alto/bajo voltaje, falla a tierra.

Rango de temperatura:

Operación: 0°C a + 75°C

Rango de humedad:

Operación continua del 70% al 100% de humedad no condensada.

Rango para los puntos de ajuste:

Baja alarma: de 5 a 40% LEL.

Alta alarma: de 10 a 60% LEL.

Señal de salida:

0-20 mA.

Calibración por una sola persona sin abrir la caja o desclasificando el área.

Material de la caja donde está contenido el controlador:

Aluminio y con entrada para tubería conduit roscada de 3/4" de diámetro.

Sensor/Controlador de gas tóxico (H<sub>2</sub>S).

Objetivo

Supervisar continuamente la concentración de gas sulfhídrico en áreas abiertas por medio de detectores, indicando su presencia a la unidad de procesamiento remoto.

El sensor debe operar bajo el principio electroquímico.

Características:

El material del cuerpo donde está montado el sensor debe ser de aluminio.

El sensor debe ser el adecuado para detectar la presencia de H<sub>2</sub>S.

El sensor debe tener un filtro que lo proteja de las salpicaduras de agua.

## Controlador

Basado en circuito de microprocesador, para monitoreo continuo de la presencia de niveles potenciales de gas sulfhídrico ( $H_2S$ ). Con autodiagnóstico e identificación automática de fallas. Debe operar en el rango de 0 a 99 ppm, debe tener una pantalla digital para indicar continuamente el nivel de gas tóxico ( $H_2S$ ) detectado en el área, con autodiagnóstico e identificación automática de fallas.

Baja concentración de gas tóxico ( $H_2S$ ) 10 ppm.

Alta concentración de gas tóxico ( $H_2S$ ) 40 ppm.

Falla del detector de gas tóxico ( $H_2S$ ).

Detector de gas tóxico ( $H_2S$ ) en calibración.

Los puntos de ajuste para las alarmas de alta y baja concentración, así como para la calibración, deben ser ajustables en campo.

Dispositivo de autocalibración que permita la calibración por una sola persona y sin tener que abrir dicho dispositivo. El controlador funcionara a 24 VCD nominal y tendrá una señal de salida de 0 a 20 mA. El cuerpo del controlador será de una sola pieza, en material de aluminio y a prueba de explosión, con entrada roscada para tubería conduit de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro.

Rango de temperatura: Operación:  $0^{\circ}C$  a  $+75^{\circ}C$ .

Rango de humedad: Operación continua del 70% al 100% de humedad no condensada.

## **Sensor/Controlador de gas combustible**

Objetivo:

Supervisar continuamente la concentración de gas combustible en áreas abiertas, indicando su presencia a la unidad de procesamiento remoto.

El sensor de gas combustible funcionará bajo el principio de oxidación catalítica.

Características:

El material del cuerpo donde esta montado el sensor será de aluminio, diseñado de tal manera que cumpla con los requisitos de normas internacionales relacionadas con áreas peligrosas.

El sensor debe ser adecuado para detectar la presencia de gas combustible (CH<sub>4</sub>).

Controlador

Basado en circuito de microprocesador, para monitoreo continuo de la presencia de gas combustible y autodiagnóstico e identificación automática de fallas y señales de salida para conexión con la UPR respectiva.

Estados indicados por los leds:

Baja concentración de gas combustible 20% LEL.

Alta concentración de gas combustible 60% LEL

Falla del detector de gas combustible.

Detector de gas combustible en calibración.

Características:

Voltaje de operación: 24 VCD nominal.

Corriente de operación: Operación: 0.25 amp. Nominal, 0.5 amp. Max. a 24 VCD.

Arranque: 1.0 amp. Máx.. a 24 VCD (1 segundo).

Rango: 0-99% LEL.

Indicaciones de estado en la pantalla local del transmisor:

Error en la calibración

Falla del detector

Alto/bajo voltaje, falla a tierra.

Rango de temperatura: Operación: 0°C a + 75°C.

Rango de humedad operación continua del 70% al 100% de humedad sin condensación.

Señal de salida: 0-20 mA.

Dispositivo de autocalibración que permita la calibración por una sola persona sin abrir la caja o desclasificando el área.

Material de la caja donde está contenido el controlador:

Aluminio con entrada roscada para tubería conduit de ¾" de diámetro.

Rango para los puntos de ajuste: Baja alarma de 5 a 40% LEL.

Alta alarma de 10 a 60% LEL.

### **Detector de fuego (UV/IR)**

Objetivo:

Monitorear la existencia de un indicio de fuego en áreas abiertas específicas, por medio de detectores tipo (UV/IR) y efectuando las indicaciones de alarmas necesarias.

Características:

El detector de fuego utilizará las ondas de luz ultravioleta e infrarroja que generan las flamas, para detectar la presencia del mismo.

El detector de fuego UV/IR debe ser un dispositivo de una sola pieza que contenga lo siguiente:

Un detector UV: detecta la onda de luz ultravioleta del fuego.

Un detector ir: detecta la onda de luz infrarroja del fuego.

Un procesador de la señal: identifica la presencia y/o problema en el dispositivo.

Un relevador de tiempo: confirma si la señal instantánea de fuego es real.

El dispositivo debe operar a 24 VCD y alarmara cuando ambos detectores (UV/IR) indiquen la presencia del fuego. El tiempo del relevador de tiempo debe ser ajustable en campo. El dispositivo debe responder a un fuego de un pie cuadrado, de gasolina a 50 pies de distancia, respondiendo la alarma instantánea en menos de 0.5 segundos.

El detector no debe responder a falsas alarmas emitidas por las ondas ultravioleta e infrarroja de arcos de soldadura eléctrica, rayos X, superficies calientes o reflejos del sol. Y tendrá un cono de visión de 90 grados mínimos.

El dispositivo puede ser monitoreado para identificar las condiciones de operación normal, fuego, falla, solo UV detectado y solo IR detectado, al enviar la siguiente señal analógica (UPR) de 0 a 20 mA. Al sistema digital de monitoreo y control para gas y fuego (SDGF)

Falla del detector

Lente sucio

Operación normal

Solo IR

Solo UV.

Alarma instantánea

## Alarma fuego

El diseño del dispositivo será modular para permitir un fácil reemplazo del módulo de IR o UV sin el uso de herramientas especiales. Todas las superficies ópticas deben ser fácilmente accesibles para limpieza y se contará con un autochequeo óptico para ambos módulos (UV/IR), el cual puede ser ajustable en campo para manual o automático.

El cuerpo será de aluminio y contará con una entrada para tubería conduit roscada de 3/4" NPT.

El detector UV/IR podrá operar en un rango de 0°C a + 75°C y en humedades del 70% al 100% de humedad relativa.

## CONCLUSIONES

Debido a que las plataformas marinas trabajan continuamente las 24 horas del día durante todo el año con procesos de extracción, separación, transporte y manejo de hidrocarburos, los principales riesgos son los de explosión y fuego, trayendo esto como consecuencia el aumento de la probabilidad de ocurrencia de alguna conflagración. Lo anterior implica que se le debe dar una atención superlativa al rubro de seguridad, teniendo como prioridad:

1. La seguridad del personal de operación
2. La seguridad de las instalaciones
3. La seguridad de la producción.

La forma para evitar un caso de emergencia, comienza a partir del correcto diseño de la ingeniería de los proyectos desde su etapa conceptual, para así, determinar la seguridad concerniente que tendrá la instalación, propiciando de esta manera la facilidad para las labores de mantenimiento e inspección en la misma. También se puede mencionar que es trascendental la capacitación del personal, así como su velocidad de respuesta para que los equipos de detección cumplan con su cometido, que es el prevenir un suceso anormal en la instalación, ya que de esta forma se hacen acertadas tomas de decisión, que trae como resultado la no aplicación de los equipos contraincendio, los cuales están diseñados para corregir en un determinado momento por medio de la supresión lo que no se pudo controlar con los equipos de detección.

Si se logra lo anteriormente dicho, se evitarán decesos humanos, catástrofes ambientales y las pérdidas millonarias debidas a la reconstrucción de las instalaciones y por el paro en la producción.

En lo concerniente a los sistemas de detección, actualmente se recomienda que la instalación de los detectores de gas combustible del tipo "cañón de haz infrarrojo" sea en las áreas abiertas, debido a que presentan ventajas al requerir menor mantenimiento y por sustituir a un número considerable de detectores del tipo catalítico puntual, ya que así, se aumenta la

efectividad en la detección de fugas, esto se debe a que cubren una mayor área por su haz, y no solo en el punto donde se sitúa la cabeza detectora, como es el caso de los detectores de tipo puntual. También se han sustituido los detectores de gas combustible de tecnología "catalítica" por detectores de tecnología óptica (infrarrojo puntual), ya que los detectores del tipo catalítico empleados hasta ahora, han demostrado ser sumamente sensibles al envenenamiento y/o a la desactivación del elemento sensor, debido seguramente a la contaminación de sales presentes en el ambiente marino o por ensuciamiento; requiriendo por lo mismo su frecuente reemplazo o recalibración, reduciendo así, la confiabilidad y disponibilidad del sistema. En cambio los de tipo óptico (infrarrojo) puntual, presentan ventajas en la durabilidad, inmunidad al envenenamiento, menor mantenimiento, ya que no requieren una recalibración frecuente.

Uno de los objetivos de la Gerencia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental de PEMEX, es el identificar los riesgos en los procesos de las instalaciones, ya sea por medio de auditorías, inspecciones o estudios, para establecer las medidas más apropiadas para su mitigación. Para lograr esto, es de suma importancia llevar un estricto control estadístico de la accidentalidad registrada en todas las instalaciones en Pemex Exploración y Producción (PEP).

PEMEX utiliza de manera sistemática dos índices para evaluar su desempeño en seguridad. Estos índices, de frecuencia y gravedad, dan cuenta de los accidentes ocurridos por incumplimiento de los procedimientos o bien, porque la empresa hizo lo necesario para que no ocurrieran.

En el periodo 1995-2000 el índice global de frecuencia disminuyó en 78%, al pasar de 5.30 a 1.19, y el índice de gravedad se redujo en 60%, al pasar de 415 a 165.

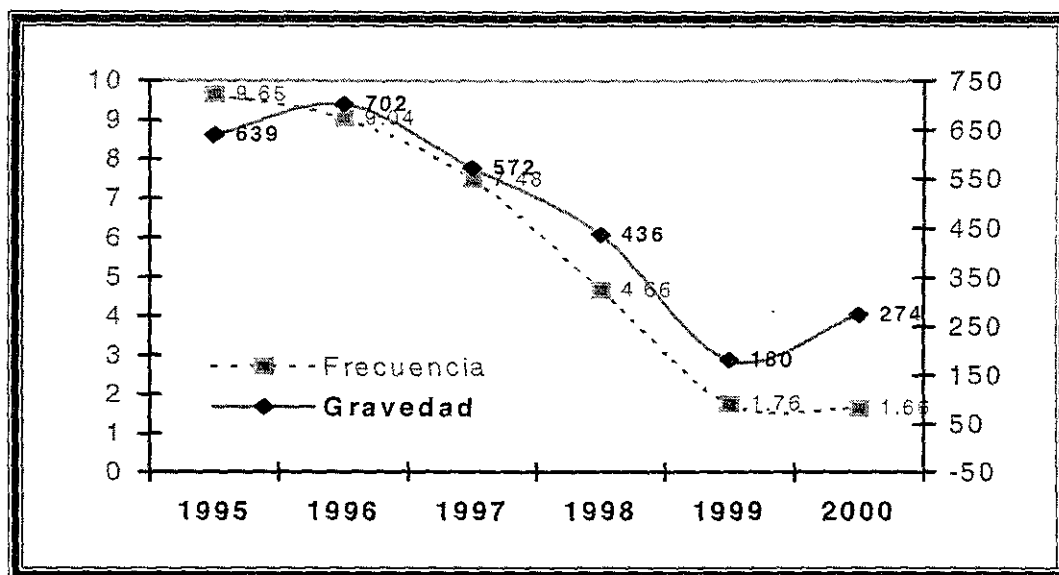
Petróleos Mexicanos registró en el año 2000 una disminución de ambos índices: con respecto a 1999, los índices de frecuencia y gravedad bajaron 14 y 8% respectivamente. En promedio, durante el mismo año ocurrió un accidente incapacitante por cada 841,000 horas laboradas.

A pesar de las estadísticas favorables en el año 2000, trece trabajadores petroleros murieron en accidentes de trabajo. Es claro que todavía queda mucho por mejorar, motivo por



el que los sistemas de seguridad y administración de la seguridad deben aplicarse con redoblada intensidad.

Pemex Exploración y Producción a consecuencia de los accidentes fatales ocurridos con los trece trabajadores, registró un aumento del 52% del índice de gravedad. Sin embargo, el índice de frecuencia disminuyó 6% con respecto al año anterior como se muestra en la siguiente gráfica.



**Índices de frecuencia y gravedad de accidentes 1995-2000 de Pemex Exploración y Producción (PEP)**

A partir de 1998 se inició el seguimiento de la accidentalidad de los contratistas por medio de un índice de frecuencia que, como en el caso de PEMEX, da cuenta del número de accidentes ocurridos por cada millón de horas-hombre laboradas en un periodo determinado. Este índice pasó de 2.7 en 1998 a 1.9 en 1999 y a 1.8 en 2000.

De acuerdo con la información anterior, cabe mencionar que el desarrollo de la ingeniería de seguridad preventiva reciente para las nuevas instalaciones costafuera, así como, la actualización de las ya existentes, están repercutiendo en gran medida a los resultados requeridos por la empresa petrolera mexicana.

Para finalizar es importante decir que una buena seguridad en cualquier instalación dependerá de los siguientes elementos:

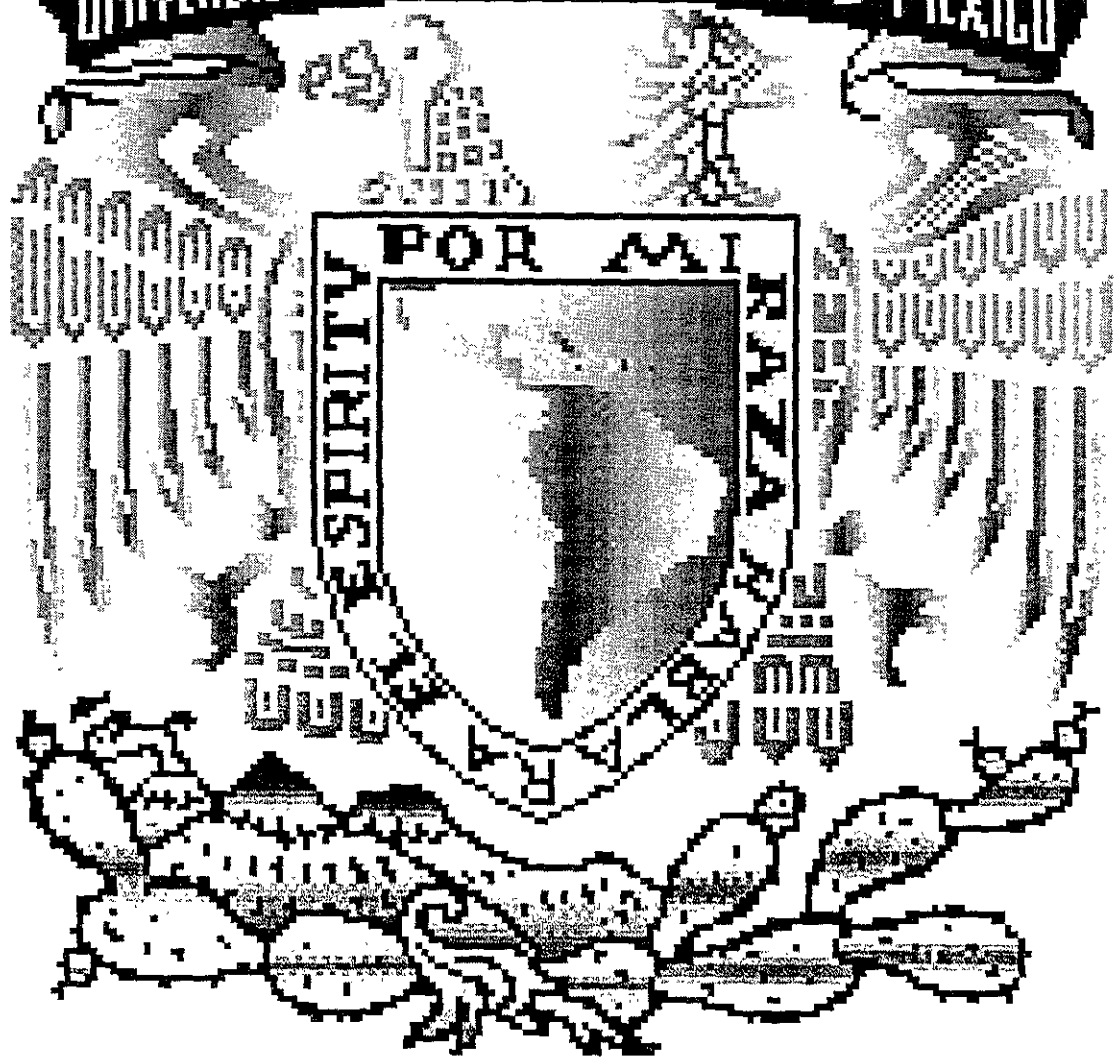
- Del correcto diseño de la ingeniería,
- De una construcción apegada a la ingeniería,
- De la elección de materiales adecuados,
- De la correcta operación de la instalación,
- De darle mantenimiento oportuno a los equipos, y
- De inspeccionar la instalación para prever algún suceso.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Página de Internet <http://www.pemex.com.mx>.
2. Libros del proyecto "Recuperación Secundaria por Medio de Inyección de Agua". Proyecto realizado por PEMEX-IMP en el periodo 1980-1991.
3. Página de Internet <http://www.nhc.noaa.gov/1995opal.html>
4. Página de Internet <http://www.nhc.noaa.gov/1995roxanne.html>
5. Alfredo Márquez Claussen. "Propuesta de mejoras al diseño para nuevas plataformas de compresión en la Sonda de Campeche". UNAM Facultad de Química.
6. Enríquez Valentino Alejandro. "Modificaciones estructurales para incrementar la producción en plataformas marinas de perforación existentes". Cap. I, II. IPN Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, ESIA. (México 1998).
7. Moratinos Estivill José Luis. "Plataformas marinas". Cap. I, II. UNAM Facultad de Ingeniería. (México 1989).
8. Revista "World Oil". Vol. 220 No. 8. Publicación de la Compañía Gulf Publishing. (Agosto de 1999).
9. Revista "Vuelo". Revista a bordo de Mexicana de Aviación, S.A. de C.V. Año VI, No. 65 (Junio de 1999). pp. 18-26.
10. Revista "Petróleo Internacional". Una Publicación de Keller International. Año 58, No. 5. (Agosto 1999). p. 14
11. "Información de Plataformas Marinas". Oficina de inspección y mantenimiento, IMP. Subdirección General de Ingeniería de Proyectos.
12. Bases de diseño del proyecto "Manejo de la Producción de Akal-L para 1999-2000". IMP. (1999).

13. Gaceta "IMP". Año III, No. 86 (28 de febrero de 2000). pp. 14-15
14. Exposición "Participación del IMP en el Proyecto Cantarell". Realizado en febrero de 2000.
15. "American Industrial Hygiene Association"
16. PEMEX, "Nociones Fundamentales de Seguridad e Higiene Industrial"
17. Escárcega Rangel Eduardo. "Análisis Integral de Riesgos".
18. Aldaz Vélez Silvia Elizabeth. "Sistemas de Seguridad y Contraincendio en las Plataformas de la Sonda de Campeche". UNAM Facultad de Química. (México 1997).
19. PEMEX, "Memoria de Labores 1999". Marzo, 2000.
20. Dinko Tuhtar. "Protección Contra el Fuego y Explosiones" desarrollo de sistemas. Paraninfo. Madrid 1990.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



VERITAS LIBERABIT VOS