



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD PROFESIONAL ZACATENCO “ADOLFO LÓPEZ MATEOS”  
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
PROGRAMA DE POSGRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS  
*MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS***

**“APLICACIÓN DE UN MODELO SISTÉMICO AL  
ANÁLISIS DE DOS ACCIDENTES EN PLATAFORMAS  
MARINAS”**

**T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL GRADO  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN INGENIERÍA DE SISTEMAS  
P R E S E N T A**

**ING. CARLOS MIRANDA DE LA ROSA**

**DIRECTORES DE TESIS  
DR. JAIME REYNALDO SANTOS REYES  
DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ SIMÓN**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14

*ACTA DE REVISIÓN DE TESIS*

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 13:00 horas del día 2 del mes de septiembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.M.E.-ZAC. para examinar la tesis de titulada:

**“ APLICACIÓN DE UN MODELO SISTÉMICO AL ANÁLISIS DE DOS ACCIDENTES EN PLATAFORMAS MARINAS”**

Presentada por el alumno:

**MIRANDA**

Apellido paterno

**DE LA ROSA**

Apellido materno

**CARLOS**

Nombre(s)

Con registro: 

A	0	0	0	2	5	0
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

DR. JAIME REYNALDO SANTOS REYES

Segundo Vocal

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ SIMON

Secretario

DRA. CLAUDIA HERNÁNDEZ AGUILAR

Presidente

DRA. ELVIRA ÁVALOS VILLARREAL

Tercer Vocal

DR. RICARDO TEJEIDA PADILLA

Suplente

M. EN C. CARLOS VERA REZUSTA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIME ROBLES GARCÍA



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



*INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL*  
*SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO*

*CARTA CESIÓN DE DERECHOS*

En la Ciudad de México, D.F. el día 2 del mes de septiembre del año 2009, el que suscribe **Carlos Miranda de la Rosa**, alumno del Programa de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería de Sistemas con número de registro A000250, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de: **Dr. Jaime Reynaldo Santos Reyes** y **Dr. Luis Manuel Hernández Simón** y cede los derechos del trabajo intitulado: **“APLICACIÓN DE UN MODELO SISTÉMICO AL ANÁLISIS DE DOS ACCIDENTES EN PLATAFORMAS MARINAS”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [cmirandar@hotmail.com](mailto:cmirandar@hotmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

---

Ing. Carlos Miranda de la Rosa  
Nombre y Firma

## Contenido

Resumen .....	(iv)
Abstract .....	(v)
Objetivos.....	(vi)
Presentación de la Tesis .....	(vii)
Índice de Figuras y Tablas.....	(viii)
Glosario de Términos y Figuras.....	(x)
Simbología usada en MORT .....	(xiii)

## Capítulo 1: Antecedentes y Justificación ..... 1

1.1 El petróleo y su contexto .....	1
1.1.1 La importancia del petróleo .....	3
1.1.2 Reservas mundiales de petróleo .....	3
1.2 Industria petrolera nacional (PEMEX).....	5
1.2.1 PEMEX Exploración y Producción (PEP).....	6
1.2.1.1 Complejo Cantarell.....	6
1.2.1.2 Complejo Chicontepec .....	6
1.2.1.3 KU-Maloob-Zaap .....	7
1.2.2 Plataformas marinas.....	7
1.2.2.1 Actividades en plataformas marinas de producción .....	9
1.2.2.2 Condiciones de trabajo y peligros en plataformas marinas .....	10
1.3 Algunas estadísticas de accidentes en plataformas marinas .....	12
1.3.1 Algunas estadísticas accidentes/incidentes en plataformas marinas-Reino Unido.....	13
1.3.2 Algunas estadísticas accidentes/incidentes en plataformas marinas-PEMEX-PEP .....	17
1.4 Beneficios de la prevención de accidentes.....	20
1.5 Justificación del proyecto de tesis .....	21
1.4 Conclusiones del capítulo.....	22

## Capítulo 2: Marco Teórico y Metodológico ..... 23

2.1 Áreas del conocimiento empleadas en el proyecto de tesis .....	23
2.2 Teoría General de Sistemas.....	23
2.2.1 Clases de sistemas .....	24
2.2.1.1 Sistemas naturales.....	24
2.2.1.2 Sistemas físicos diseñados .....	24
2.2.1.3 Sistemas de actividad humana .....	25
2.2.2 Metodología de sistemas "suaves" y "duros" .....	25
2.2.2.1 Metodología de sistemas "duros".....	26
2.2.2.2 Metodología de sistemas "suaves" .....	26
2.2.2.3 Metodología "intermediarias" .....	26
2.3 La importancia de estudiar accidentes.....	27
2.3.1 Modelo MORT .....	28
2.3.1.1 Conceptos básicos del MORT .....	28
2.3.1.2 Convenciones del diagrama MORT .....	30
2.3.1.3 Estructura básica del MORT .....	33
2.3.1.4 Análisis de barreras.....	34
2.3.2 Investigación de accidentes .....	35
2.3.2.1 Recopilación de información .....	35

2.3.2.2 Reconstrucción.....	35
2.3.2.3 Análisis .....	36
2.3.2.4 Recomendaciones y monitoreo.....	36
2.4 Conclusiones del capítulo.....	36

### **Capítulo 3: Accidentes Ocurridos en Plataformas Marinas ..... 37**

3.1 Descripción de los accidentes ocurridos en plataformas marinas .....	37
3.1.1 Accidente ocurrido el día 14 de febrero del 2008 en la plataforma marina "X" .....	37
3.1.1.1 Descripción del proceso.....	37
3.1.1.2 Descripción de los hechos .....	38
3.1.1.3 Reporte del servicio médico.....	40
3.1.1.4 Daños a la persona .....	40
3.1.2 Accidente ocurrido el día 14 de febrero del 2008 en la plataforma marina "Y" .....	40
3.1.2.1 Descripción del proceso.....	40
3.1.2.2 Descripción de los hechos .....	42
3.1.2.3 Reporte del servicio médico.....	42
3.1.2.4 Daños a la persona .....	42
3.2 Conclusiones del capítulo.....	42

### **Capítulo 4: Análisis de los Accidentes..... 43**

4.1 Metodología para el análisis de accidentes .....	43
4.1.1 Recopilación de información de los accidentes .....	44
4.1.2 Reconstrucción de los accidentes .....	44
4.1.2.1 Accidente en plataforma "X".....	45
4.1.2.2 Accidente en plataforma "Y".....	46
4.2 Diagnóstico de los accidentes .....	46
4.2.1 Análisis de barreras.....	47
4.2.2 Análisis MORT.....	47
4.3 Resumen de los factores causales identificados en el análisis .....	54
4.3.1 Deficiencias/Omisiones en el "Sistema de Control" .....	54
4.3.1.1 Barreas y controles .....	54
4.3.1.2 Sistema de información.....	54
4.3.1.3 Supervisión y desempeño del personal .....	54
4.3.1.1 Apoyo a la supervisión .....	55
4.3.1.2 Barreras.....	55
4.3.2 Deficiencias/Omisiones en el "Sistema de Gestión".....	56
4.4 Conclusiones del capítulo.....	56

### **Capítulo 5: Discusión, Conclusiones y Futuro Trabajo..... 57**

5.1 Discusión .....	57
5.1.1 Prevención de accidentes .....	57
5.1.2 MORT vs. Método Tradicional (MT) .....	59
5.2 Conclusiones.....	59
5.2.1 Conclusiones de la tesis.....	59
5.2.2 Conclusiones acerca del modelo MORT en el caso de aplicación .....	59
5.3 Futuro trabajo .....	60

**6.0 Referencias ..... 61**

**7.0 Anexos ..... 63**

**Anexo-A Breve Historia del Petróleo ..... 63**

**Anexo-B Exploración, Perforación y Extracción ..... 65**

**Anexo-C Principales Yacimiento de Petróleo en México ..... 75**

**Anexo-D Breve Historia de PEMEX..... 77**

**Anexo-E Resumen de los resultados del accidente ocurrido en la plataforma "Y" ..... 81**

## Resumen

La industria del petróleo indudablemente representa una de las fuentes de energía más importantes de la sociedad moderna. En la actualidad se están investigando energías alternativas; sin embargo hasta ahora no se ha logrado una opción que realmente lo sustituya.

Poner en producción un nuevo campo de petróleo o gas natural exige amplios trabajos de preparación. El acceso al emplazamiento puede estar limitado o dificultado por condiciones climáticas o geográficas. Entre los requisitos necesarios se incluyen plataformas marinas, instalaciones de transporte, construcción, mantenimiento, alojamiento y administración; equipos de separación de petróleo, gas y agua; transporte de petróleo crudo y gas natural; instalaciones de abastecimiento de agua y evacuación de residuos, y muchos otros servicios, instalaciones y equipos de diversa índole.

El trabajo que se lleva a cabo en plataformas marinas es muy peligroso en todo momento, esto es tanto en el puesto de trabajo como fuera de él. Por ejemplo, algunos trabajadores han descrito problemas de insomnio, que pueden agravarse por altos niveles de vibración y ruido. A demás, mientras se realizan actividades, por ejemplo, de perforación y producción pueden sufrirse lesiones por muchas causas, como resbalones y caídas, manipulación de tubos, elevación de tuberías y equipos, uso inadecuado de herramientas y manipulación incorrecta de explosivos. Se pueden producir quemaduras por vapor, fuego, ácido o lodo que contenga sustancias químicas, como el hidróxido sódico. La exposición al petróleo crudo y a productos químicos puede provocar dermatitis y lesiones de la piel. Por lo consiguiente, prevenir dichos incidentes o accidentes es uno de los principales retos que tiene cualquier organización involucrada en las actividades relacionadas con la exploración y producción de petróleo y gas.

Por otro lado, accidentes ocurren con frecuencia en las instalaciones de producción de petróleo y gas con graves consecuencias en términos de pérdidas de vidas humanas, lesiones graves, interrupción de las operaciones, pérdidas de producción, daños materiales, daños a los trabajadores, daños al medio ambiente, multas, retraso en las operaciones, entre otras. Dado lo anterior, es imperativo prevenir dichos accidentes y una manera de lograr esto es mediante el aprendizaje de ellos. El presente trabajo de tesis presenta los resultados del análisis de dos accidentes que ocurrieron en las plataformas marinas “X, Y”. El modelo MORT ha sido empleado para la identificación de “errores”, “omisiones”, etc., que condujeron a dichos eventos. Se espera que el análisis de dichos eventos pueda contribuir al mejor entendimiento de accidentes y con esto poder prevenirlos en el futuro.

## **Abstract**

The oil and gas industry may represent one of the key energy sources of modern society. Currently, new forms of energy sources have been proposed; however there is a long way to go before a reliable source of energy can be found.

A great deal of work is required in order to exploit a new oil and gas field. The access to such fields is constraint for a number of issues such as climatologically or geographical conditions. Among other things, offshore platforms, transport facilities, construction, maintenance, process equipment, etc. are required in order to produce the vital source of energy.

On the other hand, a number of hazards are involved in the activities performed in offshore platforms. For instance, workers/operators experience problems associated with insomnia due to vibration and high levels of noise. Moreover, workers are exposed to accidents or incidents with severe injuries or fatalities in exploration and production operations. These are caused by falls, pipeline handling, equipment lifting, inadequacy of the explosives handling, etc. Furthermore, the workers' exposition to crude, acids, chemical substances, etc. can affect skin illness such as dermatitis. Prevention of such events may be regarded as one of the major concerns of the organizations involved in the oil and gas industry.

Accidents occur very often in oil and gas facilities with consequences such as: injuries, fatalities, interruption of operations, loss of production, loss of installations, fines, and in some cases negative impacts to the environment. Given this, it is of vital importance to prevent the occurrence of such events and at the same time to learn from them. The present work presents the analysis of two accidents that occurred in two offshore platforms "X" and "Y". The MORT model has been adopted in order to identify the "errors" or "omissions" of these events. This sort of analysis may help to understand better accidents and may help to prevent them in the future.

# Objetivos

## Objetivos Generales

Diagnosticar dos accidentes ocurridos en las plataformas marinas “X” e “Y” localizadas en la Sonda de Campeche del Golfo de México.

## Objetivos específicos

1. Revisar y analizar de forma exhaustiva toda la información relacionada con:
  - a) la industria del petróleo a nivel internacional y nacional;
  - b) tipos de peligros en las actividades que se llevan a cabo en plataformas marinas;
  - c) estadísticas de incidentes y accidentes en plataformas marinas a nivel internacional y nacional;
  - d) información relacionada con los accidentes (reportes de los accidentes, entrevistas a testigos, etc.);
  - e) teoría general de sistemas; y
  - f) teoría del análisis de accidentes.
  
3. Llevar a cabo el análisis de los accidentes utilizando el modelo MORT.
  
4. Documentar los resultados del análisis.

# Presentación de la Tesis

En la presente tesis para cumplir con los objetivos mencionados en la sección anterior se llevaron a cabo las siguientes etapas:

## **Etapas 1: Revisión bibliográfica**

El objetivo primordial de esta etapa es la recopilación y análisis de la información relacionada con:

- a) la industria del petróleo a nivel internacional y nacional;
- b) tipos de peligros en las actividades que se llevan a cabo en plataformas marinas;
- c) estadísticas de incidentes y accidentes en plataformas marinas a nivel internacional y nacional;
- d) información relacionada con los accidentes;
- e) teoría general de sistemas; y
- f) otros.

Lo anterior ayudó a justificar y establecer el marco teórico del presente trabajo de tesis.

En los **Capítulos 1, 2, 3** y **Anexos A, B, C, y D** se presenta la información anterior en el contexto de la tesis.

## **Etapas 2: Análisis de dos accidentes ocurridos en plataformas marinas**

El objetivo de esta etapa es llevar a cabo el análisis de los dos accidentes que han ocurrido en las plataformas marinas ubicadas en la Sonda de Campeche, Golfo de México. El modelo MORT ha sido usado para llevar a cabo dicho análisis.

El **Capítulo 3** presenta la descripción de los dos accidentes.

El **Capítulo 4** y **Anexo-E** presentan los resultados del análisis.

Finalmente, en el **Capítulo 5** se presentan las conclusiones de la tesis y futuro trabajo.

# Índice de Figuras y Tablas

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.1</b> La industria petrolera a nivel internacional.....	1
<b>Figura 1.2</b> La industria petrolera nacional .....	2
<b>Figura 1.3</b> Instalaciones operativas costa-fuera.....	2
<b>Figura 1.4</b> Reservas mundiales de petróleo (Energía, 2008).....	4
<b>Figura 1.5</b> Reservas mundiales de petróleo por zonas (Energía, 2008) .....	4
<b>Figura 1.6</b> Porcentaje de consumo de cada zona (Energía, 2008) .....	5
<b>Figura 1.7</b> Ejemplo de un complejo de plataformas marinas (Pemex, 2008).....	8
<b>Figura 1.8</b> Ejemplo de una plataforma marina (Pemex, 2008).....	8
<b>Figura 1.9</b> Plataformas de producción.....	13
<b>Figura 1.10</b> Plataformas de perforación de pozos.....	13
<b>Figura 1.11</b> Plataformas de compresión.....	14
<b>Figura 1.12</b> Plataformas de bombeo .....	14
<b>Figura 1.13</b> Plataformas habitacionales .....	15
<b>Figura 1.14</b> Número de incidentes .....	16
<b>Figura 1.15</b> Tipos de lesiones .....	16
<b>Figura 1.16</b> Accidentes-Activos PEP (PEP, 2006) .....	18
<b>Figura 1.17</b> Accidentes-Áreas de servicio especializado (PEP,2006).....	18
<b>Figura 1.18</b> Fatalidades-Activos PEP (PEP, 2006) .....	19
<b>Figura 1.19</b> Fatalidades-Áreas de servicio especializado (PEP, 2006).....	19
<b>Figura 1.20</b> Accidentes laborales y su relación con otras organizaciones (Mossink, 2002).....	20
<b>Figura 2.1</b> Áreas del conocimiento empleadas en la tesis .....	23
<b>Figura 2.2</b> Clases de Sistemas (Adaptado de Checkland, 1995).....	24
<b>Figura 2.3</b> Espectro de metodologías, donde las metodologías de sistemas “suaves” y “duros” se muestran como los extremos opuestos.....	25
<b>Figura 2.4</b> El MORT en el contexto de metodologías de sistemas “suaves” y “duros” .....	27
<b>Figura 2.5</b> Ejemplo de lógica jerárquica .....	30
<b>Figura 2.6</b> Extracto del gráfico MORT .....	31
<b>Figura 2.7</b> Estructura Básica de MORT.....	32
<b>Figura 2.8</b> Etapas de una investigación de accidentes .....	35
<b>Figura 3.1</b> Vista parcial del accidente en la plataforma marina “X” .....	38
<b>Figura 3.2</b> Vista frontal-1 del accidente .....	39
<b>Figura 3.3</b> Vista frontal-2 del accidente .....	39
<b>Figura 3.4</b> Vista frontal del accidente en la plataforma “Y”.....	41
<b>Figura 3.4</b> Vista frontal del accidente .....	41
<b>Figura 4.1</b> Metodología para el análisis de accidentes .....	43
<b>Figura 4.2</b> Etapa de “Recopilación” de información a cerca de los accidentes.....	44
<b>Figura 4.3</b> Etapa de Reconstrucción de los accidentes .....	44
<b>Figura 4.4</b> Etapa de Recopilación de información y reconstrucción de los accidentes.....	47
<b>Figura 4.5</b> Rama SB1.Flujo de Energía o Condición Nociva. Rojo: Un problema que contribuye al resultado; verde no indica problema .....	48
<b>Figura 4.6</b> Rama SB2. Personas o Bienes Vulnerables. Rojo: un problema que contribuye al resultado. Verde: no indica problema .....	49
<b>Figura 4.7</b> Rama SB3. Controles y Barreras LTA, (LTA: Less That Adequate). Rojo: un problema que contribuye al resultado. Verde: no indica problema .....	49
<b>Figura 4.8</b> Rama SD5. Supervisión y Desempeño del Personal LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema .....	50
<b>Figura 4.9</b> Rama SD5-a5. Errores de Funcionamiento de la Tarea. Rojo: un problema que	

contribuye al resultado; verde: no indica problema; azul: no se tiene suficiente información para evaluarlo.....	50
<b>Figura 4.10</b> Rama SD6 Apoyo de la Supervisión. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema.....	51
<b>Figura 4.11</b> Rama SC2. Barreras LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema; azul: no se tiene suficiente información para evaluarlo.....	52
<b>Figura 4.12</b> Rama SA2. Estabilización y Restauración LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema; azul: no se tiene suficiente información para evaluarlo.....	52
<b>Figura 4.13</b> Rama M. Factores del Sistema de Gestión LTA. Rojo: indica donde hay problema que contribuye al resultado.....	53
<b>Figura 4.14</b> Rama MB3. Sistema de Control y Evaluación de Riesgos LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado.....	53
<b>Figura 5.1</b> Etapa de “Recomendaciones” de la metodología de análisis de accidentes.....	60

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.1</b> Tipos de plataformas marinas (PEMEX, 2008).....	9
<b>Tabla 1.2</b> Ejemplos de actividades que se realizan en plataformas marinas.....	10
<b>Tabla 1.3</b> Instalaciones sin accidentes por región (PEP, 2006).....	17
<b>Tabla 1.4</b> Análisis de barreras.....	47

# Glosario de Términos y Definiciones

**ACCIDENTE.** Evento o combinación de eventos no deseados e inesperados, instantáneos o no, que tienen consecuencias tales como lesiones o enfermedad al personal, daños a terceros en sus bienes o en sus personas, daño al medio ambiente, daño a las instalaciones o alteración a la actividad normal del proceso.

**CONSECUENCIA.** Resultado real o potencial de un evento no deseado, medido por sus efectos en las personas, en el ambiente, en la producción y/o instalaciones, así como la reputación e imagen.

**DEFINICION.** El petróleo es un compuesto complejo de hidrocarburos, es decir, una combinación de Carbono e Hidrógeno exclusivamente.

**ELEMENTOS QUIMICOS EN EL PETROLEO CRUDO:** Al analizar petróleo de procedencias diversas, se puede decir, de una manera general, que lo forman los siguientes elementos:

CARBONO	de 76 a 86 por ciento
HIDRGENO	de 10 a 14 por ciento
OXIGENO	de 1 a 6 por ciento
AZUFRE	de 0.01 a 3 por ciento

También se han encontrado huellas de compuestos de hierro, níquel, vanadio y otros metales.

**ETIMOLOGIA.-** La palabra petróleo, castellanizado del latín petrolum, (petra-piedra y oleum-aceite), significa aceite de piedra. El vocablo chapopote o chapapote es castellanización de la palabra náhuatl chapopoctli de cháhuatl=grasa y poctli=humo.

**EVENTO.** Suceso relacionado a las acciones del ser humano, al desempeño del equipo o con sucesos externos al sistema que pueden causar interrupciones y/o problemas al sistema. En este documento, evento es causa o contribuyente de un incidente o accidente o es también una respuesta a la ocurrencia de un evento iniciador.

**FÓRMULA:** Analizando petróleos de procedencias diversas, se puede decir, de una manera general, que la fórmula de los **HIDROCARBUROS SATURADOS** ( $CH_4$ ) es  $C_n H_{2n-2}$  de la serie del **ACETILENO**.

**GAS NATURAL LICUADO.** Gas natural que, para facilitar su transporte, ha sido licuado mediante enfriamiento a aproximadamente menos 161°C a presión atmosférica.

**GAS NATURAL.** Mezcla de hidrocarburos, generalmente gaseosos o mezclados con crudo, presente de forma natural en estructuras subterráneas. El gas natural consiste principalmente de metano (80%) y proporciones significativas de etano (7%), propano (6%) y butano (2,5%). Habrá siempre alguna cantidad de condensado e/o hidrocarburos líquidos asociados con el gas. El término también es usado para designar el gas tratado que se abastece a la industria y a los usuarios comerciales y domésticos y tiene una calidad especificada.

**HIDROCARBUROS.** Cualquier compuesto o mezcla de compuestos, sólido, líquido o gas que contiene carbono e hidrógeno (Ej. carbón, petróleo crudo y gas natural). Según el número de los átomos de carbono variarán las propiedades de los hidrocarburos:

-A temperatura ambiente y presión atmosférica los hidrocarburos que tengan hasta 4 átomos de carbono son gaseosos (metano, etano, propano, butano).

- Entre 5 y 16 átomos de carbono son líquidos (ciclo pentano, ciclo hexano, metil ciclo hexano y benceno).

- Los hidrocarburos que posean más de 16 átomos son sólidos (donde predominan los asfaltos).

Los petróleos son mezcla de estas cadenas de hidrocarburos y según la composición de las mismas se tendrá los diferentes tipos de crudos (ver petróleo). A pesar de la gran diversidad de la composición de los hidrocarburos presentes en cada petróleo crudo, la proporción de carbono e hidrógeno es casi constante: 83% a 86% de carbono y 11% a 13% de hidrógeno.

**IMPACTO.** Efecto probable o cierto positivo o negativo, directo o indirecto, reversible o irreversible, de naturaleza social, económica y/o ambiental que se deriva de una o varias acciones con origen en las actividades industriales.

**INCIDENTE.** Evento no deseado, inesperado e instantáneo, que puede o no traer consecuencias al personal y a terceros, ya sea en sus bienes o en sus personas, al medio ambiente, a las instalaciones o alteración a la actividad normal de proceso.

**INSTALACIÓN.** Conjunto de estructuras, equipos de proceso y servicios auxiliares, entre otros, dispuestos para un proceso productivo específico.

**MODELO.** Representación simplificada o esquemática de un evento o proceso con el propósito de de facilitar su comprensión o análisis.

**PELIGRO.** Característica física o química de un material, sistema, proceso o planta que bajo condiciones específicas de manejo puede ser causa de un daño potencial o accidente.

**PERFORACIÓN.** Operación que consiste en perforar el subsuelo con la ayuda de herramientas apropiadas para buscar y extraer hidrocarburos.

**PLATAFORMA OFF-SHORE.** Término inglés que significa costa afuera. Se refiere a las actividades petroleras que se realizan en la plataforma continental y en aguas internacionales.

**PLATAFORMA ON-SHORE.** Es la actividad petrolera que se realiza en tierra.

**POZO DE EXPLORACIÓN.** Es el que se perfora en un yacimiento ya delimitado

**POZO.** Denominación dada a la abertura producida por una perforación. Los pozos, en el lenguaje administrativo, generalmente se designan por un conjunto de letras y de cifras relativas a la denominación de los lugares en los

que se encuentran y al orden seguido para su realización. Existen numerosos tipos de pozos, entre ellos de exploración, de avanzada y de explotación.

**PREVENCIÓN.** Conjunto de medidas tomadas para evitar un peligro o reducir un riesgo.

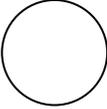
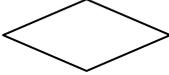
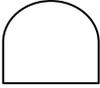
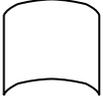
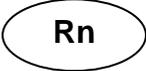
**PROCESO.** Conjunto de secuencial interrelacionado de actividades y recursos que transforman insumos en productos, agregándoles valor.

**REFINERÍA.** Complejo de instalaciones en el que el petróleo crudo se separa en fracciones ligeras y pesadas, las cuales se convierten en productos aprovechables.

**RIESGO.** La probabilidad de que ocurra un tipo particular de daño. Por ejemplo una lesión o fatalidad como resultado de un evento crucial.

**YACIMIENTO.** Acumulación de crudo y/o gas en roca porosa tal como arenisca o caliza. Un yacimiento petrolero normalmente contiene tres fluidos (aceite, gas y agua) que se separan en secciones distintas debido a sus distintas gravedades. El gas, siendo el más ligero, ocupa la parte superior del yacimiento, el aceite la parte intermedia y el agua la parte inferior.

# Simbología usada en MORT

Simbología	Descripción
	Un evento, generalmente una falla o un descuido, expresado en términos genéricos
	Un evento describe un componente básico o parte de la falla. Marca el nivel más bajo del desarrollo en el árbol.
	Un evento donde la secuencia se termina por falta de información o soluciones. El evento puede ser transferido a "Riesgos Asumidos".
	Un Evento que es satisfactorio
	Un acontecimiento que normalmente se espera que ocurra.
	Compuerta "Y" (AND). Requiere la existencia de todas las entradas para producir la salida
	Compuerta "O" (OR). Requiere la existencia de una sola entrada para producir la salida-
	Triángulo. Se usa para la transferencia de secuencia a otra ubicación del gráfico
	Transferencia a la rama de riesgos asumidos. Denota los problemas para los cuales no hay contramedidas practicables
	Aplica condiciones a la compuerta de salida.

# Capítulo 1: Antecedentes y Justificación

En resumen, este capítulo presenta la justificación de la necesidad de investigar incidentes/accidentes, en la industria petrolera, que es el tema de este proyecto de tesis. El capítulo comienza con una descripción del contexto de la industria petrolera a nivel nacional e internacional y se presenta en la sección 1.1. La sección 1.2 contiene una breve descripción de la industria petrolera nacional. Posteriormente en la sección 1.3 se describen algunas estadísticas de incidentes/accidentes ocurridos en plataformas marinas. En la sección 1.4 se presenta una discusión del beneficio de mejoras en la seguridad en el lugar de trabajo. La justificación del tema de investigación se expone en la sección 1.5. Finalmente, conclusiones del capítulo se presentan en la sección 1.6.

## 1.1 El Petróleo y su contexto

La Fig. 1.1 muestra la industria del petróleo en el contexto internacional y nacional. Cabe mencionar que la Figura facilita la presentación de este trabajo de tesis; en las siguientes secciones se presenta una breve descripción de dicha Figura.

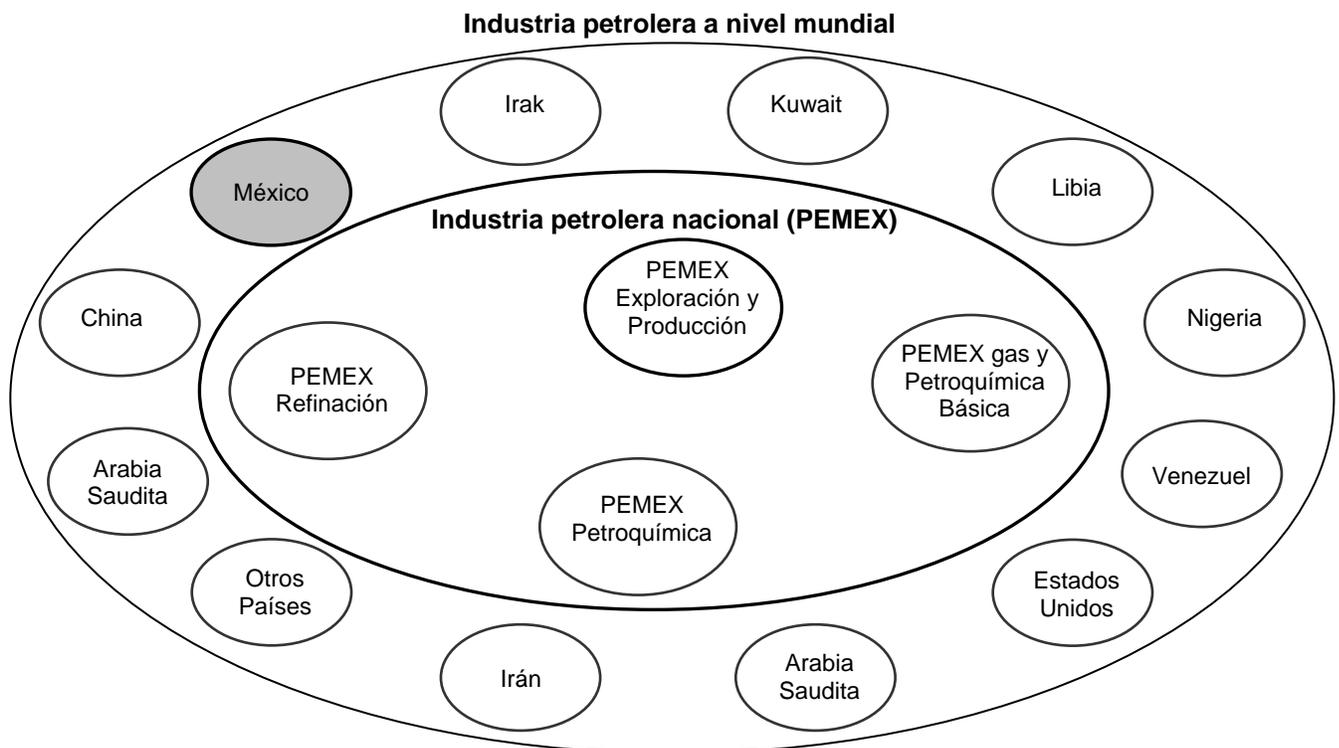
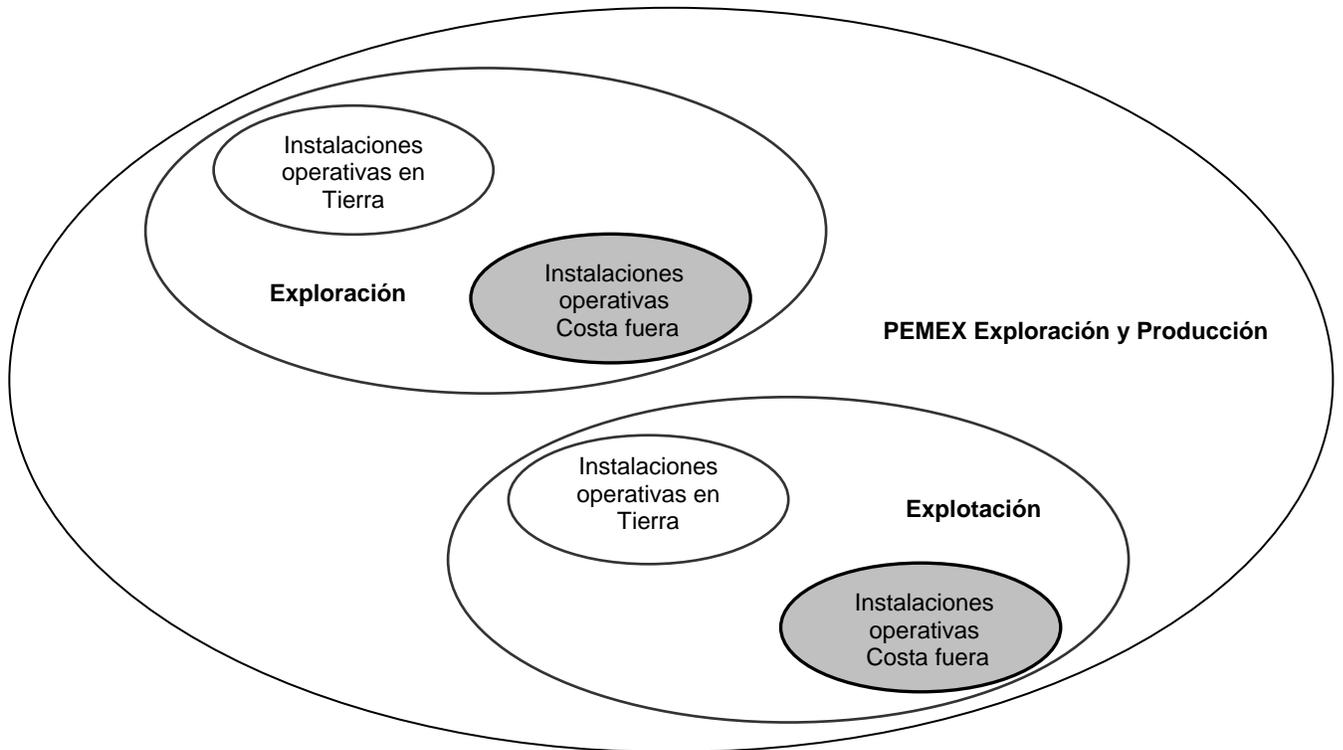
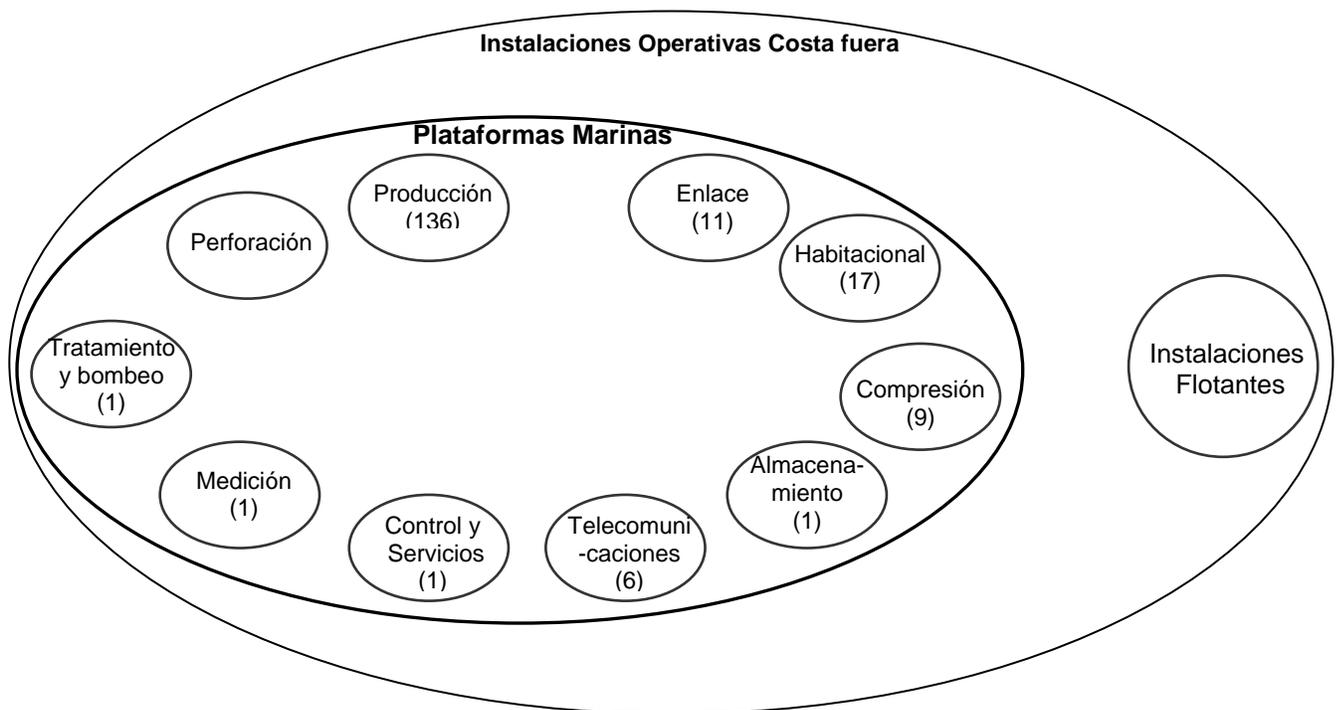


Figura 1.1 La industria petrolera a nivel internacional



**Figura 1.2** La industria petrolera nacional



**Figura 1.3** Instalaciones operativas costa fuera

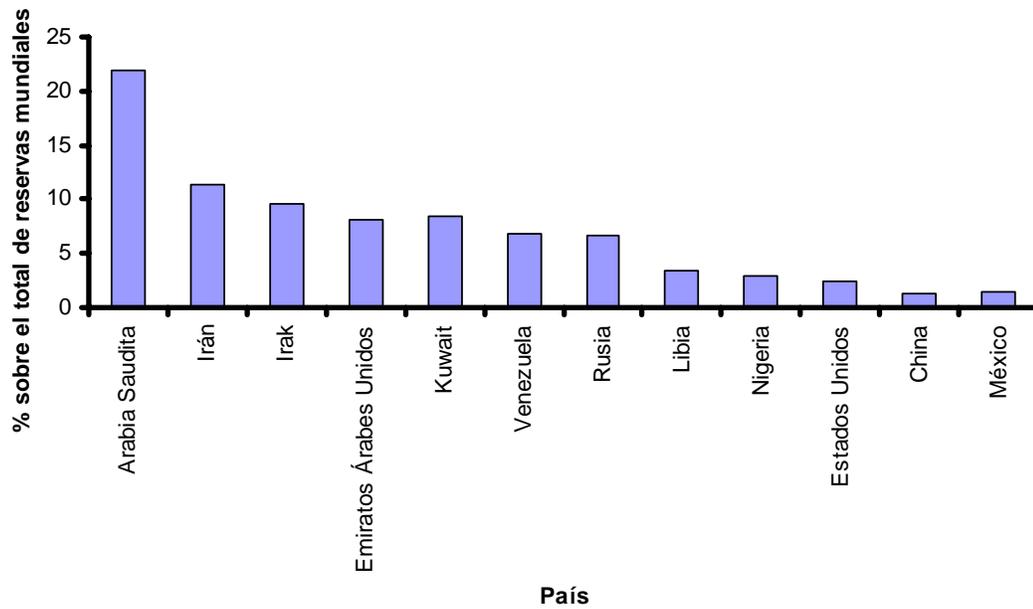
### **1.1.1 La importancia del petróleo**

El petróleo es la fuente de energía más importante de la sociedad actual. En una u otra de sus muchas formas lo usamos cada día de nuestra vida. El petróleo proporciona fuerza, calor y luz y además de este mineral se fabrica una gran variedad de productos químicos. El petróleo es un recurso natural no renovable que aporta el mayor porcentaje del total de la energía que se consume en todo el mundo. La importancia del petróleo no ha dejado de crecer desde sus primeras aplicaciones industriales a mediados del siglo XIX, y ha sido el responsable de conflictos bélicos en algunas partes del mundo como por ejemplo en el Medio Oriente. Por otro lado, la alta dependencia que el mundo tiene del petróleo, la inestabilidad que caracteriza al mercado internacional y las fluctuaciones de los precios de los precios de este producto, han llevado a que se investiguen energías alternativas, aunque hasta ahora no se ha logrado una opción que realmente lo sustituya. A continuación se listan algunos puntos importantes de la importancia del petróleo.

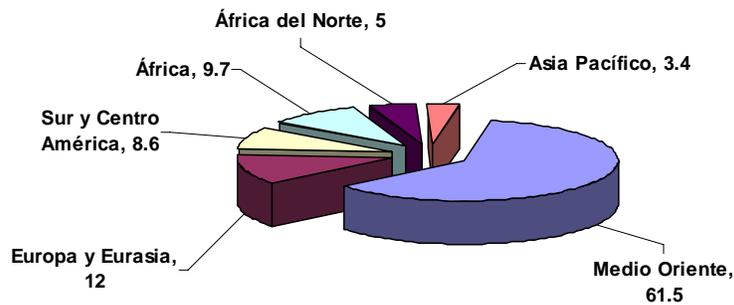
- a) El petróleo y su gama casi infinita de productos derivados le convierten en uno de los factores más importantes del desarrollo económico y social en todo el mundo.
- b) El petróleo y las decisiones estratégicas que sobre él se toman por los países productores influyen en casi todos los componentes de coste de una gran parte de los productos que consumimos. Cuando sube el precio del petróleo se produce una subida de los costos, de forma más o menos inmediata, en casi todos los sectores productivos y, en consecuencia, se nota en los precios de los bienes de consumo.
- c) La extracción y producción de petróleo está en manos de unos pocos países productores y es controlada por la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo), quienes con sus decisiones influyen en los distintos mercados en los que se fijan los precios mínimos del crudo.
- d) Por todo ello, es muy importante el impacto del petróleo en la economía mundial y en las de los diferentes países que dependen en gran medida de esta materia prima.

### **1.1.2 Reservas mundiales de petróleo**

A finales de 2006, las reservas mundiales probadas de petróleo ascendían a 164,500 millones de toneladas, equivalentes a 1.21 billones de barriles. Las Figs. 1.4 y 1.5 presentan algunas estadísticas de producción por países y por zonas respectivamente. En la Figura 1.4 se muestra, por ejemplo, que el 79.5% de las reservas mencionadas anteriormente se encuentran en los 11 países pertenecientes a la OPEP; es decir, Arabia Saudita, Argelia, Emiratos Árabes Unidos, Indonesia, Irak, Irán, Kuwait, Libia, Nigeria, Qatar y Venezuela.



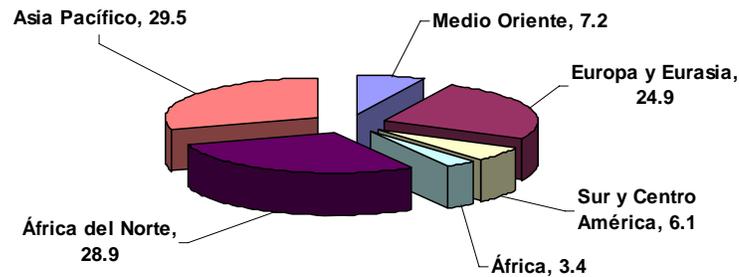
**Figura 1.4** Reservas mundiales de petróleo (SRWE, 2007).



**Figura 1.5** Reservas mundiales de petróleo por zonas (SRWE, 2007).

Por otro lado, el 6.6% del total mundial se encuentra en países pertenecientes a la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), formada por 30 países entre los que se encuentra los llamados económicamente más potentes del mundo. El resto, un 13.9%, está repartido en los demás países del mundo (entre estos destacan Rusia y China). Lo anterior quiere decir que el 83.9% de las reservas actualmente existentes de petróleo en el mundo se encuentran en esos 12 países.

La Fig. 1.5 muestra las reservas mundiales de crudo por zonas geográficas: Es decir, que dos tercios de las reservas mundiales de petróleo se encuentran en el Medio Oriente. Sin embargo, el porcentaje que consume cada zona no tiene nada que ver con sus reservas como se puede ver en la Fig. 1.6.



**Figura 1.6** Porcentaje de consumo de cada zona (SRWE, 2007).

## 1.2 Industria petrolera nacional (PEMEX)

En 1901, el ingeniero mexicano Ezequiel Ordóñez descubre un yacimiento petrolero llamado *La Pez*, ubicado en el Campo de El Ébano en San Luis Potosí. En ese mismo año el Presidente Porfirio Díaz expide la Ley del Petróleo con la que se logra impulsar la actividad petrolera, otorgando amplias facilidades a los inversionistas extranjeros. En 1934 nace Petróleos de México, A. C., como encargada de fomentar la inversión nacional en la industria petrolera. Por otro lado, en el año de 1938, la Suprema Corte de Justicia les niega el amparo a las compañías petroleras extranjeras, obligándolas a conceder demandas laborales. Éstas se niegan a cumplir con el mandato judicial y en consecuencia, el 18 de marzo, el Presidente Lázaro Cárdenas del Río decreta la expropiación a favor de la Nación, declarando la disponibilidad de México para indemnizar a las compañías petroleras el importe de sus inversiones. Posteriormente, el 7 de junio se crea Petróleos Mexicanos como organismo encargado de explotar y administrar los hidrocarburos en beneficio de la nación. Finalmente, en 1992, se expide una nueva Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios donde se establecen los lineamientos básicos para definir las atribuciones de Petróleos Mexicanos en su carácter de órgano descentralizado de la Administración Pública Federal, responsable de la conducción de la industria petrolera nacional. (PEMEX, 2008). Ver Anexo-A para más detalles acerca de la historia de la industria petrolera nacional.

Esta Ley determina la creación de un órgano Corporativo y cuatro Organismos Subsidiarios, que es la estructura orgánica bajo la cual actual opera actualmente PEMEX. Dichos Organismos son (Pemex, 2009a):

- {a} PEMEX Exploración y Producción (PEP);
- {b} PEMEX Refinación (PXR);
- {c} PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB); y
- {d} PEMEX Petroquímica (PPQ).

### **1.2.1 PEMEX Exploración y Producción (PEP)**

Los principales yacimientos de petróleo y gas natural en México se localizan en las regiones marina y del sudeste, donde el petróleo y el gas natural están presentes en las mismas formaciones subterráneas. Por esta razón, la principal fuente de gas natural es el gas asociado que se extrae simultáneamente con el petróleo. Los principales complejos de pozos petroleros que tiene México son los siguientes (Pemex, 2009b):

- {a} Complejo Cantarell; {b} Complejo Chicontepec; y {c} KU-Maloob-Zaap.

#### **1.2.1.1 Complejo Cantarell**

El yacimiento petrolero de Cantarell fue descubierto por el pescador Rudesindo Cantarell en 1976, se localiza a 80 km de la costa, en la Bahía de Campeche. Este complejo está constituido por los campos Nohoch, Chac, Akal, Kutz, Ixtoc y Sihil. Este yacimiento comenzó su explotación en 1979 y hasta 2006, el pozo ha producido 11,492 millones de barriles de aceite y 4,691 millones de millones de pies cúbicos de gas natural. Este complejo es una ciudad en el mar con todos los servicios que hay en tierra y cuenta en total con 190 pozos. Su producción durante el año 2003 lo colocó como el segundo productor más rápido, detrás del Campo Ghawar en Arabia Saudita. La producción de Cantarell podría disminuir de 2 millones de barriles diarios en 2003 a alrededor de 600 mil barriles en 2009. Este rápido declive es el resultado de mejores técnicas de extracción, las cuales ocasionan una mayor rapidez a expensas de la longevidad del yacimiento. El Complejo Cantarell produce dos terceras partes del petróleo de México. (Pemex, 2009b).

### **1.2.1.2 Complejo Chicontepec**

También conocido como Paleocanal Chicontepec, es un campo petrolero en el estado de Veracruz. El Paleocanal fue descubierto en 1926 y tiene una superficie de tres mil 815 km<sup>2</sup>. De 1952 al año 2002 se perforaron 951 pozos, de los cuales actualmente operan 102, con una producción de seis mil 800 barriles por día de crudo y 15 millones de pies cúbicos diarios de gas. (Pemex, 2009b).

### **1.2.1.3 KU-Maloob-Zaap**

PEMEX (PEP) desarrollará, durante los próximos ocho años, el Proyecto Ku-Maloob-Zaap, en la Sonda de Campeche. El activo Ku-Maloob-Zaap está a aproximadamente a 105 kilómetros de Ciudad del Carmen, frente a los estados de Tabasco y Campeche. PEMEX contempla la perforación de 82 pozos, instalar 17 plataformas y construir 32 ductos. Se estima que en el año 2011 el desarrollo del Proyecto Ku-Maloob-Zaap alcanzará su máximo de producción de crudo Maya, al aportar un total de 800 mil barriles diarios, cifra que contrasta con los 263 mil barriles diarios que se extraen actualmente. (Pemex, 2009b).

## **1.2.2 Plataformas marinas**

Las plataformas de perforación sirven de soporte a las torres de perforación, los utensilios y el equipo para las operaciones en alta mar o en aguas interiores, y las hay de distintos tipos, desde barcos y barcasas flotantes o sumergibles hasta plataformas fijas sobre soportes de acero utilizadas en aguas poco profundas y plataformas de gravedad grandes, flotantes, de hormigón armado, que se utilizan en aguas profundas. Una vez completada la perforación, las plataformas marinas se usan como soporte del equipo de producción. Las más grandes tienen capacidad para más de 250 operarios y demás personal de apoyo, para helipuertos y plantas de procesado, además de capacidad de almacenamiento de petróleo crudo y condensado de gas. Las Figs. 1.7 y 1.8 muestran ejemplos de plataformas marinas de producción de crudo y gas ubicadas en la Sonda de Campeche.



**Figura 1.7** Ejemplo de un complejo de plataformas marinas.



**Figura 1.8** Ejemplo de una plataforma marina.

Las instalaciones de producción de la plataforma grande procesan el crudo, el gas y el condensado de las instalaciones satélite antes de su embarque en tierra. El tipo de plataforma utilizado en la perforación submarina suele estar determinado por el tipo de pozo que se va a perforar (de exploración o de producción) y por la profundidad del agua. La Tabla 1.1 muestra una lista de los tipos de plataformas marinas en México. (Véase el Anexo C donde se detalla la cantidad de plataformas marinas y por región).

**Tabla 1.1** Tipos de plataformas marinas (Pemex, 2009c)

<b>Tipos de Plataformas marinas</b>	<b>Total</b>
Perforación	136
Producción	16
Enlace	11
Habitacional	17
Compresión	9
Almacenamiento	1
Telecomunicaciones	6
Control y servicios	1
Medición	1
Tratamiento y bombeo	1

### **1.2.2.1 Actividades en Plataformas marinas de producción**

Poner en producción un nuevo campo de petróleo o gas natural exige amplios trabajos de preparación. El acceso al emplazamiento puede estar limitado o dificultado por condiciones climáticas o geográficas. Entre los requisitos necesarios se incluyen instalaciones de transporte, construcción, mantenimiento, alojamiento y administración; equipos de separación de petróleo, gas y agua; transporte de petróleo crudo y gas natural; instalaciones de abastecimiento de agua y evacuación de residuos, y muchos otros servicios, instalaciones y equipos de diversa índole. La mayoría de ellos no están disponibles en el emplazamiento y deben aportarlos la compañía perforadora o productora o contratistas externos.

Las compañías de prospección y producción de petróleo y gas natural suelen utilizar los servicios de contratistas para que provean algunos o la totalidad de los siguientes servicios de soporte necesarios para perforar y poner en explotación campos productores. La Tabla 1.2 presenta algunos ejemplos de actividades que se llevan a cabo en plataformas marinas.

**Tabla 1.2** Ejemplos de actividades que se realizan en plataformas marinas (Kraus, 1998).

- Preparación del emplazamiento: desmonte, rampas y pasarelas, puentes, campos de aterrizaje, puertos marítimos, muelles, embarcaderos y plataformas de carga y descarga.
- Montaje e instalación: equipo de perforación, energía y servicios, tanques y oleoducto, alojamientos, edificios de mantenimiento, garajes, soportes, edificios de servicio y administración.
- Trabajos bajo el agua: instalación, inspección, reparación y mantenimiento de equipos y estructuras subacuáticos.
- Mantenimiento y reparación: mantenimiento preventivo de equipos de perforación y producción, vehículos y embarcaciones, maquinaria y edificios.
- Contratistas: servicio de comidas; servicios de conservación; protección y seguridad de las instalaciones y del perímetro; conserjería, actividades recreativas y de soporte; almacenamiento y distribución de equipo de protección, repuestos y suministros desechables.
- Ingeniería y trabajos técnicos: pruebas y análisis, servicios informáticos, inspecciones, laboratorios, análisis no destructivos, almacenamiento y manipulación de explosivos, protección contra incendios, permisos, protección ambiental, medicina y salud, higiene industrial y medidas de seguridad y frente a vertidos.
- Servicios externos: teléfono, radio y televisión, alcantarillado y recogida de basuras.
- Equipos de transporte y manutención: aviones y helicópteros, servicios marítimos, maquinaria pesada de construcción y maquinaria de manutención.

### **1.2.2.2 Condiciones de Trabajo y Peligros en Plataformas Marinas**

Las condiciones trabajo en plataformas marinas es muy ardua y peligrosa. Por ejemplo, los pozos se perforan las veinticuatro horas del día, en turnos de 8 o 12 horas, y los trabajadores deben poseer considerable experiencia, destreza y energía para afrontar las duras exigencias físicas y mentales de su trabajo. Prolongar el horario de trabajo de una cuadrilla de trabajadores puede acarrear graves accidentes o lesiones. La perforación requiere un estrecho trabajo en equipo y una gran coordinación para poder realizar las tareas de forma segura y en el momento oportuno. Debido a estos y otros requisitos, es necesario prestar atención al estado de ánimo y a la salud y seguridad de los trabajadores (el personal que trabajan en los campos petrolíferos o los frecuentan son los geólogos, ingenieros, mecánicos, conductores, personal de mantenimiento, electricistas, operarios de oleoductos y peones). Períodos adecuados de descanso y relajación, alimentación nutritiva e higiene y alojamientos apropiados, con aire acondicionado en climas húmedos y calurosos, y calefacción en zonas de clima frío, son aspectos esenciales. A continuación se describe brevemente algunos de los peligros y riesgos a los que están sometidos los trabajadores en plataformas marinas.

#### **a) Enfermedades (estrés, psicológico, entre otros)**

- Los principales riesgos profesionales relacionados con las operaciones de plataformas marinas, son las enfermedades por exposición a elementos geográficos y climáticos, el estrés producido por tener

que recorrer largas distancias por el agua o por terreno difícil, y las lesiones personales. El aislamiento físico de los lugares de prospección y su lejanía de los campamentos base, y los largos períodos de trabajo necesarios en las plataformas de perforación marinas y en lugares remotos en tierra, pueden acarrear problemas psicológicos. (Krous, 1998).

- El trabajo en alta mar es peligroso en todo momento, tanto en el puesto de trabajo como fuera de él. Algunos trabajadores no pueden soportar el estrés del trabajo en alta mar a un ritmo exigente, durante largos períodos de tiempo, en un relativo confinamiento y sometidos a condiciones ambientales continuamente cambiantes. Entre los síntomas de estrés de los trabajadores están la irritabilidad inusual, otros síntomas de angustia mental, beber o fumar en exceso y el consumo de drogas. Trabajadores de plataformas han descrito problemas de insomnio, que pueden agravarse por altos niveles de vibración y ruido. La confraternización entre trabajadores y los permisos frecuentes para ir a tierra pueden reducir el estrés. El mareo y el ahogamiento, así como la exposición a condiciones climáticas rigurosas, son otros riesgos del trabajo en alta mar. (Krous, 1998).
- La exposición a climas rigurosos, infecciones o enfermedades parasitarias en zonas donde éstas son endémicas, provoca patologías (como enfermedades del tracto respiratorio). Aunque muchas de estas enfermedades requieren todavía estudios epidemiológicos en trabajadores de la perforación, se sabe que trabajadores del petróleo han experimentado periartritis del hombro y del omoplato, epicondilitis humeral, artrosis de la columna cervical y polineuritis de las extremidades superiores. En las operaciones de perforación también existe la posibilidad de padecer enfermedades por exposición al ruido y las vibraciones. La gravedad y frecuencia de estas enfermedades relacionadas con la perforación parece ser proporcional al tiempo de servicio y exposición a las condiciones de trabajo adversas (Duck 1983; Ghosh 1983; Montillier 1983).

#### ***b) Accidentes y lesiones***

- Los trabajadores involucrados en actividades de perforación y producción pueden sufrir lesiones por muchas causas, como por ejemplo: resbalones y caídas, manipulación de tubos, elevación de tuberías y equipos, uso inadecuado de herramientas y manipulación incorrecta de explosivos. Se pueden producir quemaduras por vapor, fuego, ácido o lodo que contenga sustancias químicas, como el hidróxido sódico. La exposición al petróleo crudo y a productos químicos puede provocar dermatitis y lesiones de la piel. (Krous, 1998).

- La plataforma de perforación, la plataforma giratoria, y el equipo suelen estar resbaladizos y vibran debido al funcionamiento del motor y a la perforación, por lo que los trabajadores han de realizar movimientos precisos y cuidadosos. Existe el riesgo de resbalones y caídas desde lugares altos al trepar por la perforadora y la torre, y riesgo de exposición a petróleo crudo, gas, lodo y humos de escape del motor. La operación de acoplar y desacoplar rápidamente los tubos de perforación requiere entrenamiento, destreza y precisión por parte de los trabajadores para realizarlo de forma segura una y otra vez. (Krous, 1998).
- La caída de una columna de perforación en el interior de un pozo es un grave incidente que puede acarrear la pérdida del pozo. Pueden producirse lesiones, y a veces muertes, cuando el personal es golpeado por un cable de acero al romperse estando tenso. (Krous, 1998).

#### *c) Exposición a Gases o sustancias tóxicas*

- Los trabajadores pueden estar expuestos a vapores inflamables e exposiciones a sustancias tóxicas, por ejemplo exposición al ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), durante las operaciones de exploración, perforación y producción. Se recomienda evitar que el trabajador se exponga a dichas sustancias, ya que pueden tener consecuencias muy severas al trabajador, especialmente en plataformas marinas. Se deberá enseñar a todos los trabajadores a detectar la presencia de H<sub>2</sub>S y a adoptar medidas preventivas inmediatas para reducir la posibilidad de exposición tóxica y explosiones. (Krous, 1998).

#### *d) Explosión/incendio*

- Siempre existe un riesgo de explosión e incendio durante la perforación de pozos. Además, existe siempre un potencial adicional de riesgo de incendio y explosión en las operaciones de proceso de separación de crudo y gas. (Krous, 1998).

### **1.3 Algunas estadísticas de accidentes en Plataformas marinas**

Esta sección presenta una breve descripción de algunas estadísticas relevantes al número de incidentes y accidentes que han ocurrido en la industria petrolera a nivel mundial y nacional. Estadísticas de incidentes y accidentes ocurridos en las plataformas del Mar del Norte, Reino Unido, se presentan como ilustración y comparación para el caso nacional.

### 1.3.1 Algunas estadísticas de accidentes/incidentes en Plataformas marinas- Reino Unido

Las Figs. 1.9 - 1.13 muestran las estadísticas del número de accidentes que han ocurrido en diferentes tipos de plataformas marinas del Mar del Norte, Reino Unido. Los datos presentados en las gráficas datan de 1990 al 2005 y las plataformas consideradas son las relacionadas a: {a} Perforación-Pozos; {b} Producción; {c} Compresión; {d} Bombeo y re-bombeo, y {e} Habitacionales.

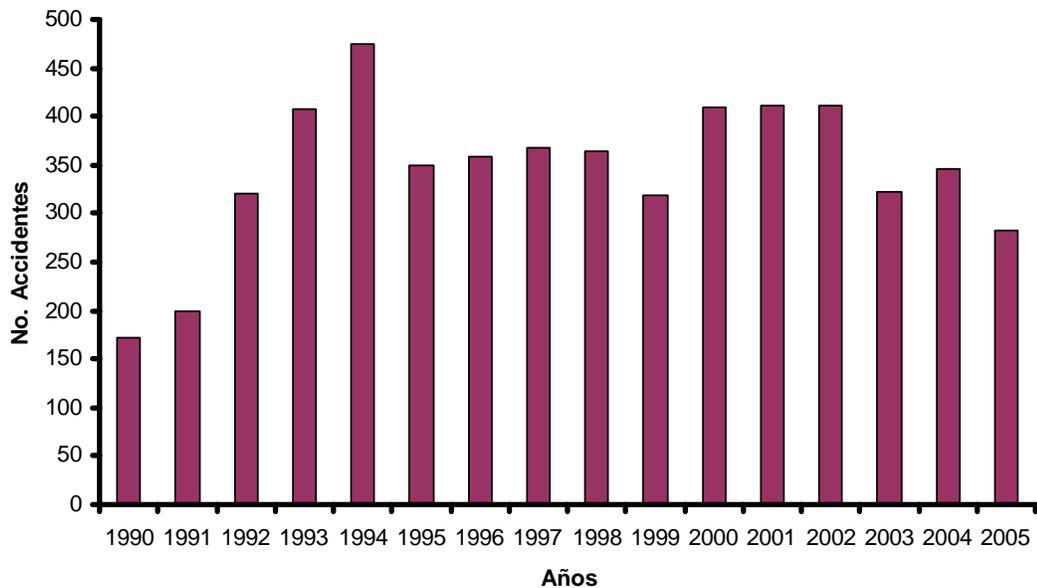


Figura 1.9 Accidentes en plataformas de producción (ASOUNS, 2006).

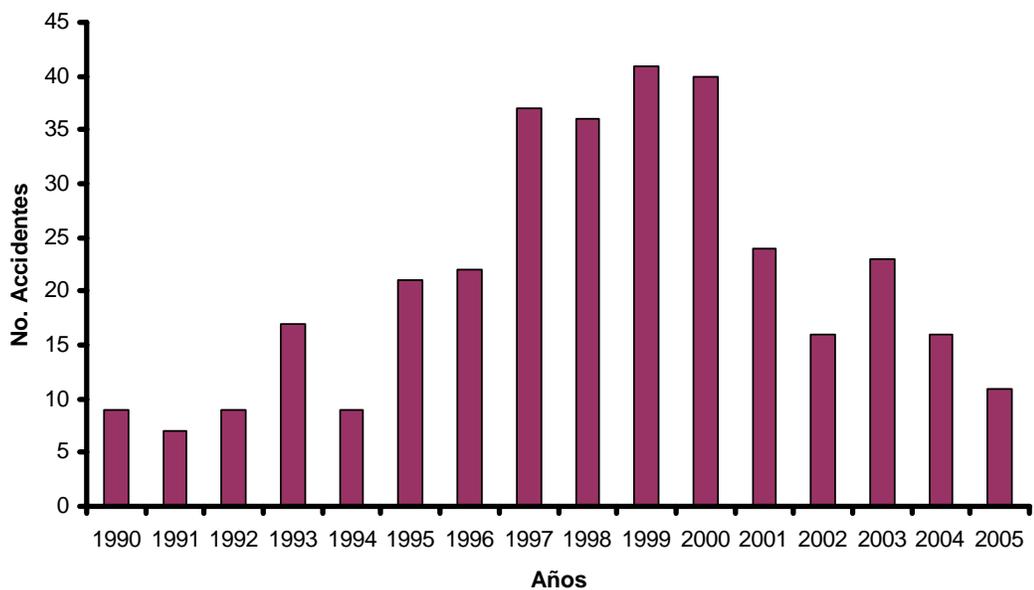
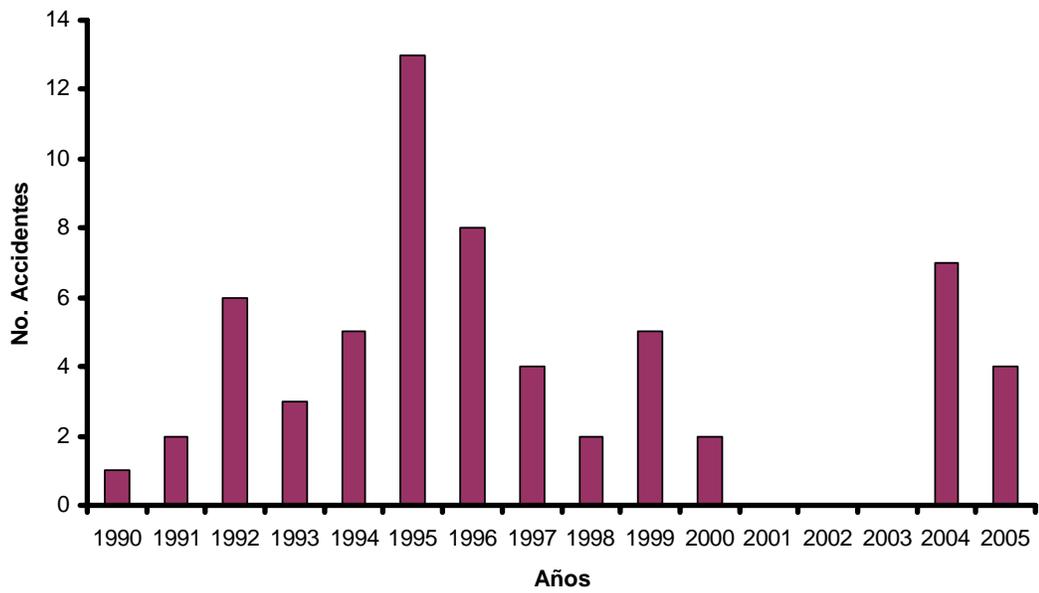
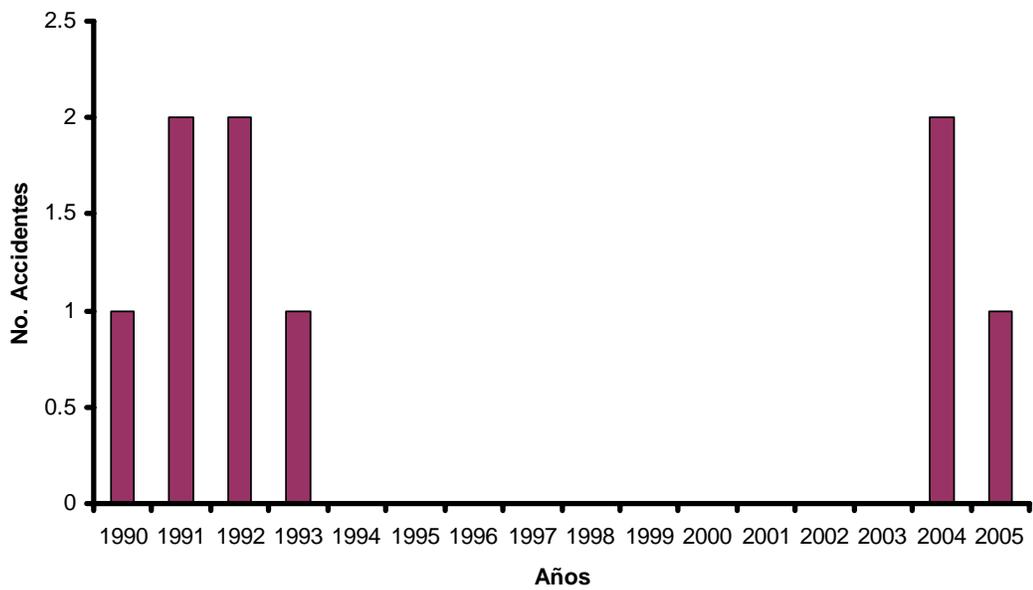


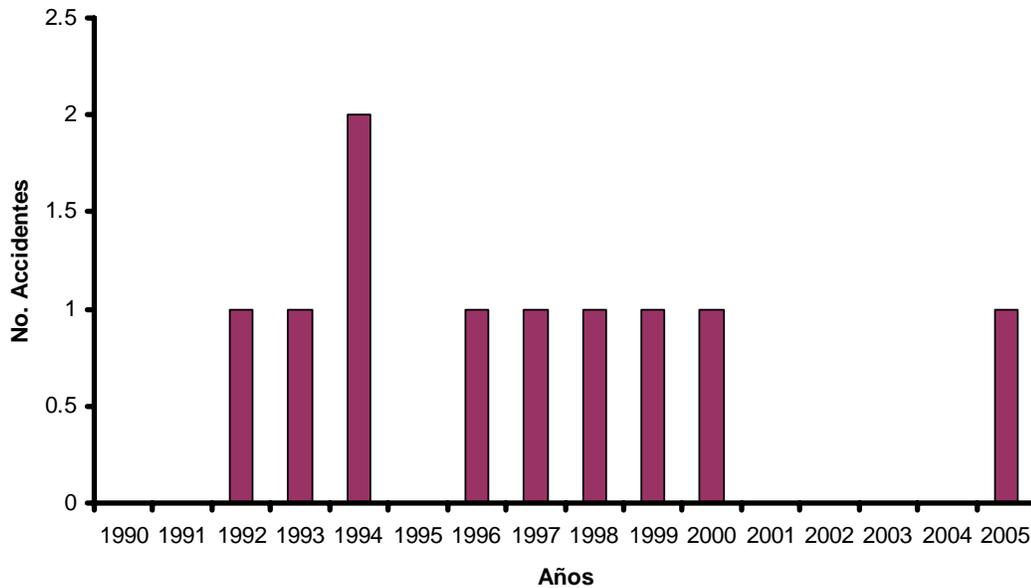
Figura 1.10 Accidentes en perforación de pozos (ASOUNS, 2006).



**Figura 1.11** Accidentes en plataformas de compresión (ASOUNS, 2006).



**Figura 1.12** Accidentes en plataformas de rebombeo (ASOUNS, 2006).



**Figura 1.13** Accidentes en plataformas habitacionales (ASOUNS, 2006).

De las Figuras anteriores se observa que el mayor número de ocurrencia de accidentes ocurre en las plataformas de producción con un total de 5,517 casos y con una media de 344.8 accidentes por año (ver Fig. 1.9); después le sigue la plataforma de perforación de pozos con un total de 338 y con una media de 21.12 accidentes por año (Fig. 1.10); y posteriormente la plataforma de compresión con un total de 62 y con una media de 3.87 accidentes por año (Fig. 1.11). Lo anterior es de esperarse, ya que este tipo de plataformas es donde se lleva la mayor actividad que involucra al ser humano. Por otro lado, las plataformas que presentan el menor número de accidentes por año son las de re-bombeo y habitacional; esto es, con una media de 0.56 y 0.625 respectivamente.

Las Figs. 1.14 y 1.15 presentan algunas estadísticas del número de incidentes y tipos de lesiones para una instalación en particular. Por ejemplo, la Fig. 1.15 muestra un total de 718 incidentes ocurridos en un año y con una media de 59.83 incidentes/mes. Por otro lado, la Fig. 1.15 presenta el tipo de lesiones que se presentaron, siendo las quemaduras las que ocurren con mayor frecuencia en este tipo particular de instalación; es decir con un total de 121 casos. Posteriormente, le siguen las afectadas por humo (68); problemas respiratorios (2); lesiones a la vista (40), y finalmente las fracturas con un 1 caso.

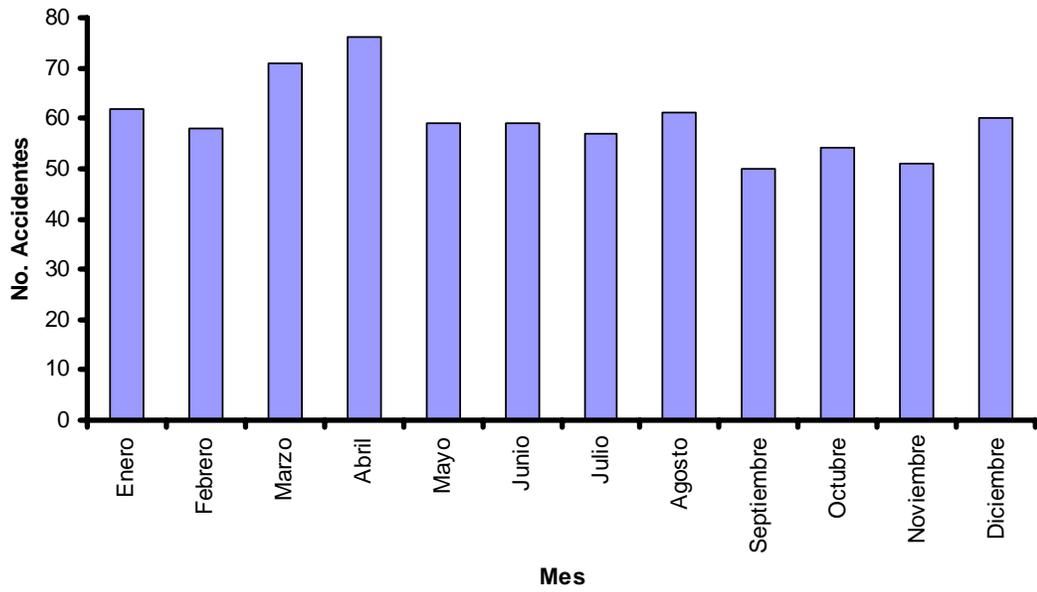


Figura 1.14 Número de incidentes (ASOUNS, 2002).

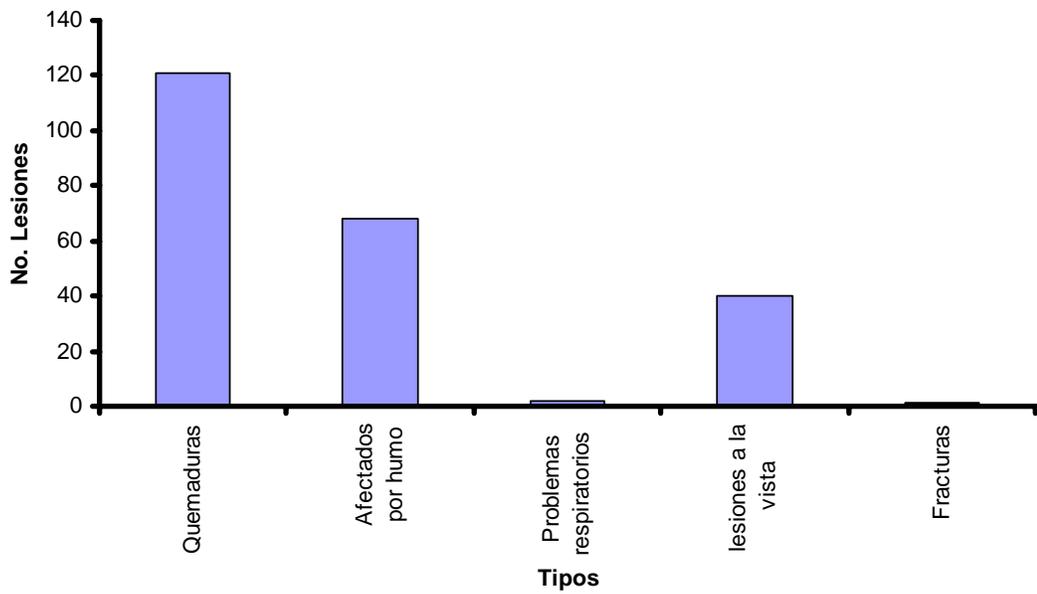


Figura 1.15 Tipos de lesiones (ASOUNS, 2006)

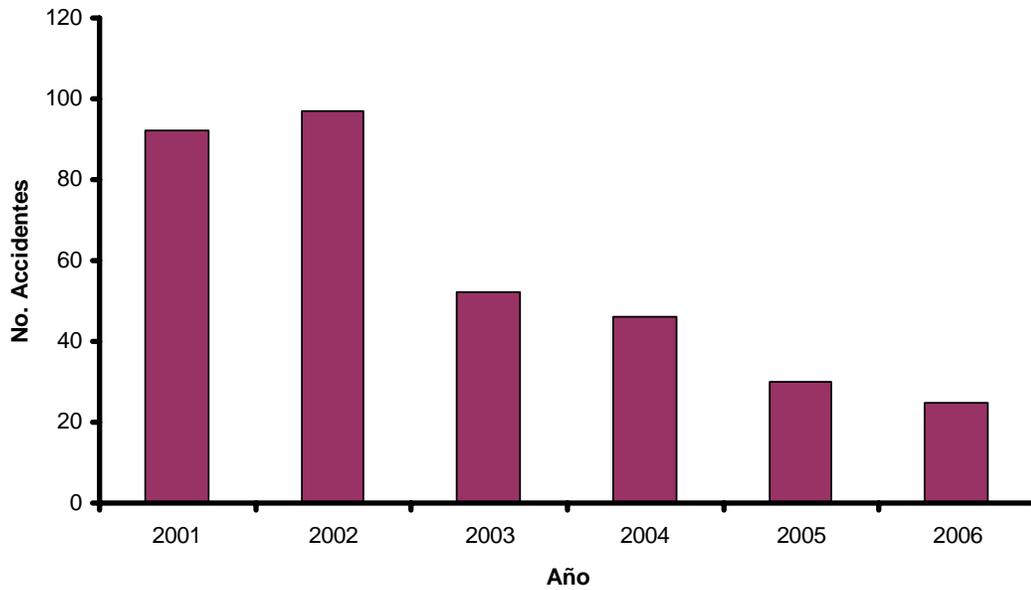
### 1.3.2 Algunas estadísticas de accidentes en PEMEX- Exploración y Producción (PEP)

Esta sección presenta algunas estadísticas de accidentes y el número de horas sin accidentes en las instalaciones de la PEP. La Tabla 1.3 presenta un resumen de las instalaciones sin accidentes personales.

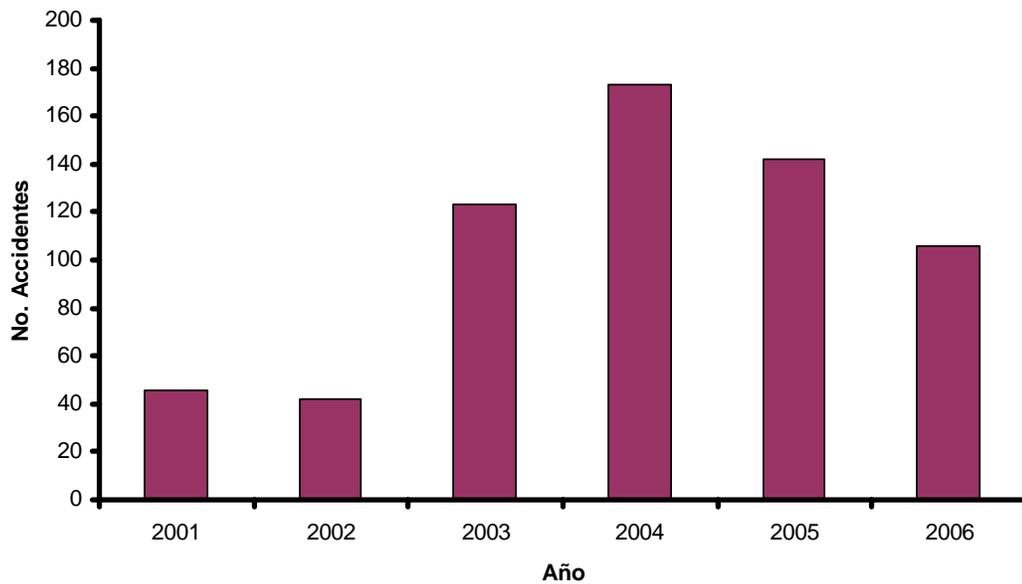
**Tabla 1.3** Instalaciones sin accidentes por región (Pemex, 2009b)

Región	Activo	Con más de mil días sin accidentes	Con más de 365 días sin accidentes
Norte	Burgos	13	1
	Poza Rica-Altamira	70	1
	Veracruz	17	2
Sur	Macuspana	19	0
	Samaria-Luna	12	0
	Bellota-Jujo	22	0
	Muspac	20	0
	GTDH Sur	2	0
	Cinco Presidentes	30	0
Marina Noreste	Ku-Maloob-Zaap	1	1
	Cantarell	3	2
	GTDH RMNE	3	2
Marina Suroeste	Abkatun-Pol-Chuc	2	4
	GTDH RMSO	3	4
	Litoral	0	1
UPMP	División Norte	18	31
	División Sur	6	30
	División Marina	10	15

Según el reporte de PEP (PEP, 2006) de un total de 718 instalaciones de producción, 217 acumularon más de mil días sin accidentes. Por otro lado, la UPMP, 34 de 118 equipos en operación alcanzaron más de mil días sin accidentes y 76 lograron más de 365 días. En dicho reporte, destaca que en la Región Marina Suroeste se han acumulado 469 días sin accidentes personales en sus instalaciones.



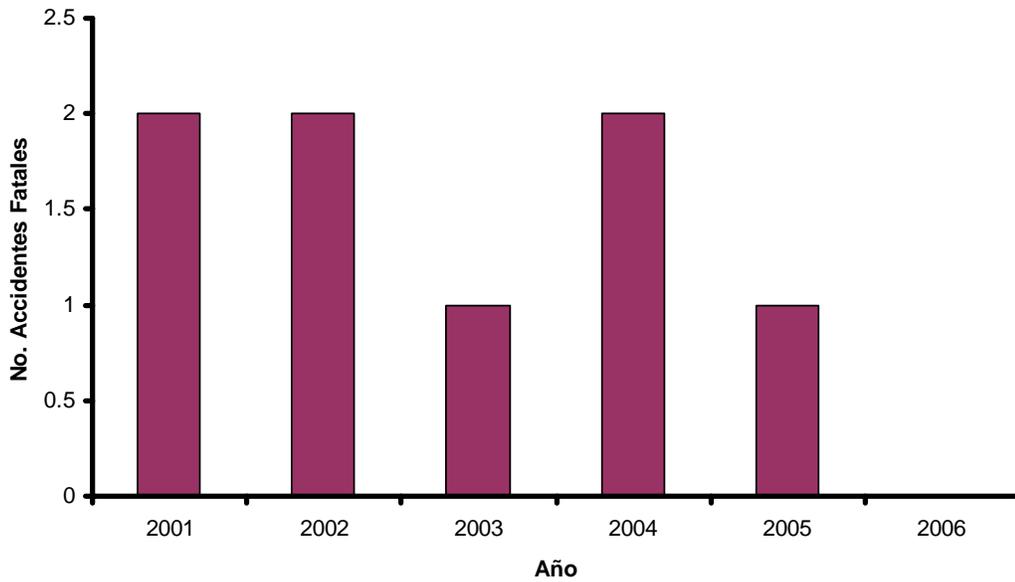
**Figura 1.16** Accidentes-Activos (Pemex, 2009b).



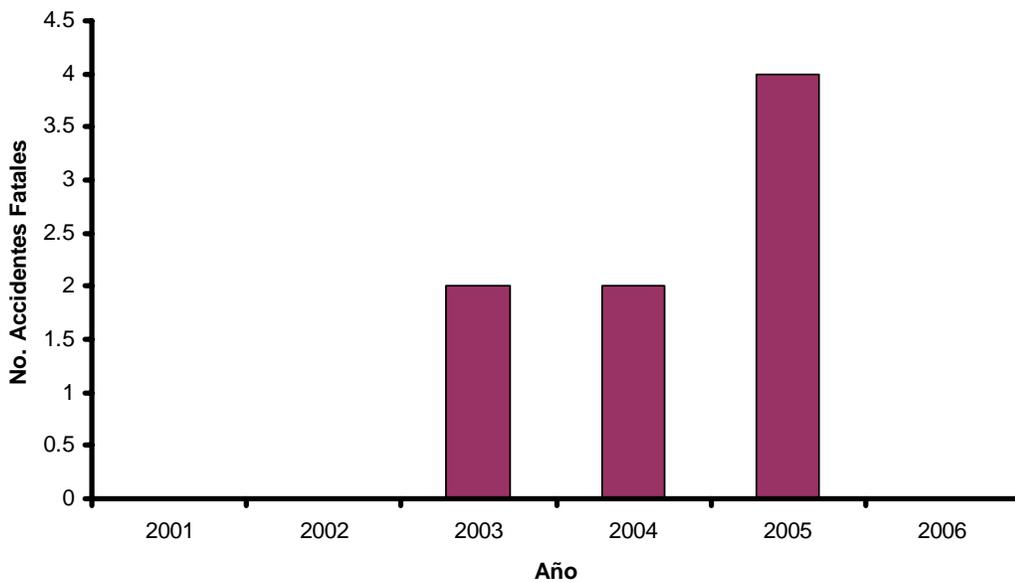
**Figura 1.17** Accidentes-Áreas especializadas (Pemex, 2009b)

Las Figs. 1.16 y 1.17 muestran algunos datos del número de accidentes personales ocurridos entre 2001 y 2006. En particular, la Fig. 1.16 muestra que el año más crítico fue el año 2002 con un total de 97 accidentes. En general, la Figura muestra una disminución del número de accidentes y el reporte de la PEP (PEP, 2006) afirma que hubo una disminución de 17% con respecto al año 2005.

Por otro lado, las llamadas “Áreas de Servicios Especializados” se registraron 35 trabajadores accidentados menos que en el año 2005 como se indica en la Fig. 1.17. Nuevamente, el reporte de la PEP indica que hubo una disminución del 25% con respecto al año 2005.



**Figura 1.18** Fatalidades-Activos (Pemex, 2009b).

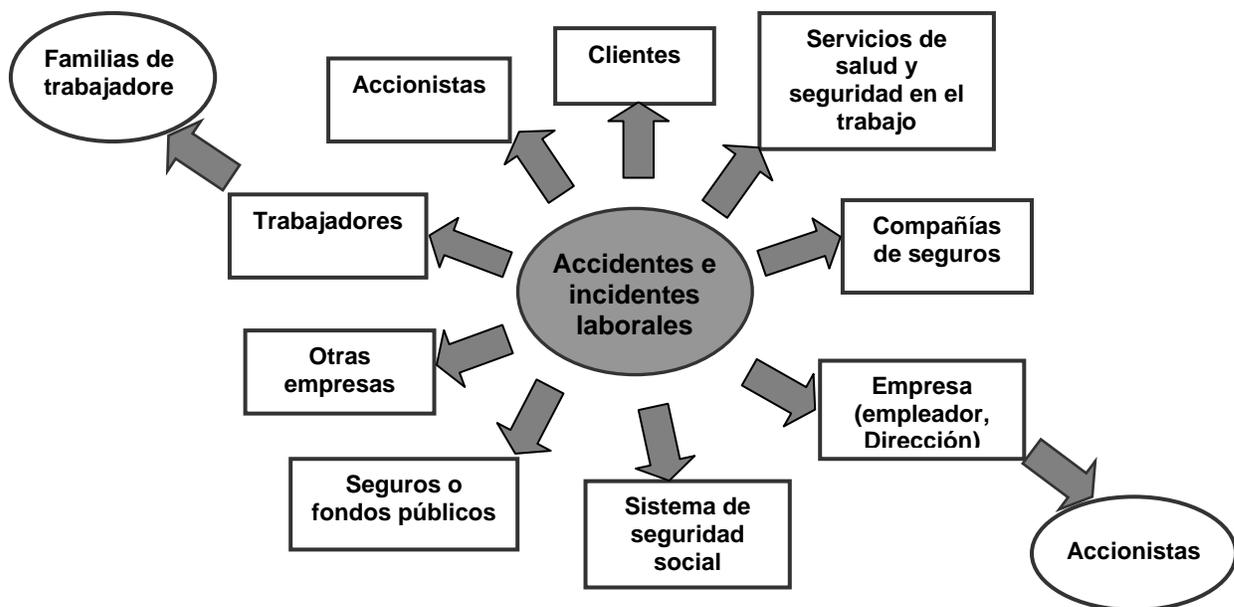


**Figura 1.19** Fatalidades-Áreas especializadas (Pemex, 2009b).

Las Figs. 1.18 y 1.19 muestran algunos datos relacionados con accidentes fatales del periodo de 2001 al 2006. En general, se observa que hubo un total de 8 fatalidades en ambos centros de trabajo; esto es, “Activos PEP” (Fig. 1.18) y “Áreas de servicio especializado” (Fig. 1.19). De manera similar, en ambos casos no se reportaron fatalidades en el año 2006.

#### 1.4 Beneficios de la mejora de la seguridad en el lugar de trabajo

La mejora de la salud y la seguridad en el trabajo puede reportar beneficios económicos a las empresas, a los trabajadores y a la sociedad en su conjunto. En cambio, los accidentes y las enfermedades profesionales pueden ocasionar grandes costos a las empresas. En las de pequeño tamaño sobre todo, los accidentes laborales pueden tener una gran incidencia económica. Pero a veces es difícil convencer a los empresarios y a los responsables de la toma de decisiones de que unas condiciones de trabajo más seguras y saludables resultan rentables. Un método eficaz puede ser el hacer estimaciones financieras o económicas y presentar un panorama completo y realista de los costos totales que generan los accidentes, así como de los beneficios obtenidos con su prevención. Los costos totales y los beneficios incluirán tanto los costos evidentes como los ocultos, y tanto los costos que se puedan contabilizar con facilidad como los que sólo se puedan expresar de una forma cualitativa. (Mossink, 2002).



**Figura 1.20** Accidentes laborales y su relación con otras organizaciones (Mossink, 2002)

Los accidentes laborales representan una carga para muchas partes. Las empresas normalmente no corren con todos los gastos ocasionados por enfermedades profesionales, afecciones relacionadas con el trabajo o lesiones producidas por los accidentes laborales. Los accidentes también ocasionan costos para otras empresas, para los trabajadores y para el conjunto de la sociedad (ver Fig. 1.20).

Por ejemplo, puede ocurrir que la empresa no costee los gastos de asistencia sanitaria de los trabajadores, o que las pensiones por discapacidad corran a cargo de mutuas de seguros. En muchos países, existen normativas que, de algún modo, remiten los costos a la empresa o a la persona que los ha causado (lo que se llama “internalización de costos”).

### **1.5 Justificación del proyecto de tesis**

La industria del petróleo indudablemente representa una de las fuentes de energía más importantes de la sociedad moderna. En la actualidad se están investigando energías alternativas; sin embargo hasta ahora no se ha logrado una opción que realmente lo sustituya (ver sección 1.1). Por otro lado, accidentes ocurren con frecuencia en las instalaciones de producción de petróleo y gas con graves consecuencias en términos de pérdidas de vidas humanas, lesiones graves, interrupción de las operaciones, etc. (Ver secciones 1.2. y 1.3). Este problema coincide con las estadísticas de la Organización Mundial del trabajo (OIT, 2008), las cuales afirman lo siguiente:

- {a} Anualmente en el mundo ocurren 270 millones de accidentes del trabajo y 160 millones de personas contraen enfermedades profesionales.
- {b} Cada día mueren en promedio 6,000 personas a causa de accidentes o enfermedades relacionados con el trabajo, lo que equivale a un total de más de 2,2 millones de muertes en el trabajo por año.
- {c} De esas muertes, aproximadamente 350,000 se deben a los accidentes en el lugar de trabajo.
- {d} Con el costo de las lesiones, las muertes y las enfermedades en forma de ausencias al trabajo, tratamientos y prestaciones por incapacidad y por fallecimiento, se pierde alrededor del 4 por ciento del Producto Interno Bruto (PIB) mundial.

Dado lo anterior, es imperativo prevenir dichos accidentes y una manera de lograr esto es mediante el aprendizaje de ellos. Lo anterior quiere decir que mediante un análisis detallado de dichos eventos es posible identificar los “errores”, “omisiones”, etc., que condujeron a dichos eventos. Este proceso puede contribuir al mejor entendimiento de accidentes y con esto poder prevenirlos en el futuro.

## **1.6 Conclusiones del capítulo**

Este capítulo presentó la justificación del proyecto de tesis. En particular se concluyo que accidentes tienen que ser investigados y así aprender de ellos con la finalidad de evitar recurrencias en el futuro.

Este proyecto de tesis se enfoca al análisis de dos accidentes que ocurrieron en las instalaciones de plataformas marinas en la Sonda de Campeche. Los aspectos teóricos en la cual se basa este proyecto se describe en el Capítulo 2.

# Capítulo 2: Marco Teórico y Metodológico

En resumen, este capítulo contiene una descripción muy breve de los conceptos teóricos necesarios para el desarrollo del proyecto de tesis. El capítulo comienza presentando en la sección 2.1 un esquema del mapa mental del marco teórico del presente proyecto de investigación. La sección 2.2 introduce a la ciencia de sistemas. Posteriormente se discute la importancia de estudiar fallas de sistemas y esto se presenta en la sección 2.3. Finalmente, la sección 2.4 presenta las conclusiones del capítulo.

## 2.1 Áreas del conocimiento empleadas en el proyecto de tesis

La Figura 2.1 muestra las diferentes áreas del conocimiento que se emplearon en el desarrollo de este proyecto de tesis.

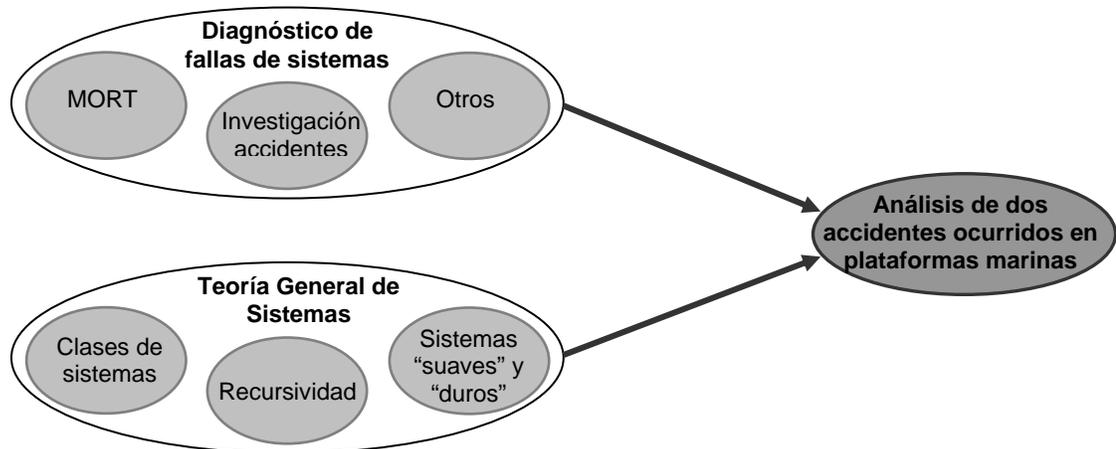


Figura 2.1 Áreas del conocimiento empleadas en la tesis

## 2.2 Teoría General de Sistemas

La palabra “sistema” esta de moda y hablamos sobre sistemas sociales, ecosistemas, sistemas de control, sistemas informáticos, sistema solar, sistemas filosóficos, sistemas biológicos, entre otros. El hecho de que la palabra se usa en muy diferentes contextos indica la complejidad del concepto mismo. Pero sin que nos involucremos en lingüística o semántica se puede afirmar que un sistema es un conjunto de elementos (partes) interrelacionados entre sí con un propósito. Para detalles de los orígenes, conceptos y desarrollo de la ciencia de sistemas, ver por ejemplo, Emery (1981), Bertalanffy (1981), Forrester (1961) Kim (1993), Flood (2001), Checkland (1981, 1995), Checkland y Scholes (1990).

### 2.2.1 Clases de sistemas

Checkland ha propuesto cuatro clases de sistemas necesarias para describir el “todo” del mundo real, estos son (ver Figura 2.2): {a} sistemas naturales, {b} sistemas físicos diseñados; {c} sistemas abstractos diseñados; y {d} sistemas de actividad humana.

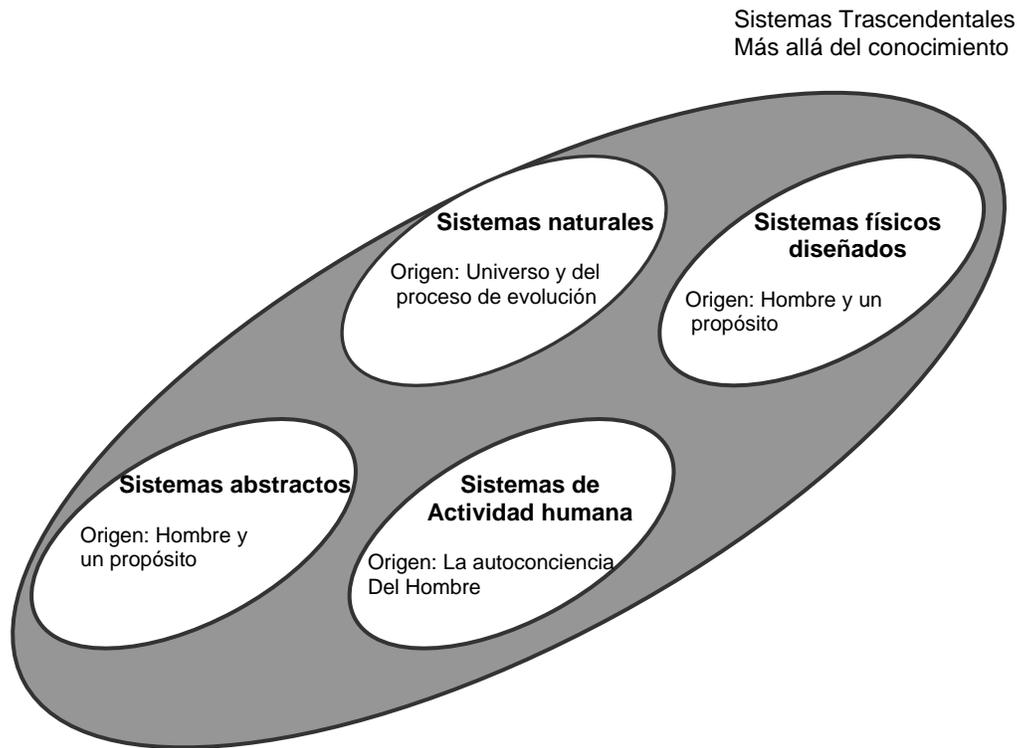


Figura 2.2 Clases de Sistemas (Adaptado de Checkland, 1995)

A continuación se describen muy brevemente cada uno de ellos, para más detalles ver Checkland (1995).

#### 2.2.1.1 *Sistemas naturales*

Son aquellos cuyos orígenes se encuentran en el “origen del universo”, y el autor argumenta que son el resultado de las fuerzas y procesos que caracterizan a este universo; por ejemplo, los sistemas vivientes que se observan en la tierra.

#### 2.2.1.2 *Sistemas físicos diseñados*

Son los que están diseñados como el resultado de algún propósito humano y que existen para servir a un propósito; por ejemplo, un sistema de aire acondicionado.

### 2.2.1.3 Sistemas abstractos diseñados

Estos sistemas representan el “producto consciente” ordenado de la mente humana; por ejemplo, las matemáticas, poemas, filosofía, entre otros.

### 2.2.1.4 Sistemas de actividad humana

Estos son sistemas menos tangibles que los sistemas naturales y diseñados. Checkland (1995) argumenta que en el mundo se puede observar claramente innumerables grupos de actividades humanas más o menos ordenadas, como resultado de algún propósito o misión fundamental; por ejemplo, “los hábitos de estudio de los estudiantes del IPN” es un ejemplo de un sistema de actividad humana.

## 2.2.2 Metodologías de sistemas “suaves” y “duros”

Se puede argumentar que la investigación moderna en el área de sistemas se divide en dos campos:

1. Teoría matemática de sistemas “duros”. (Jensen, 1998; Bayraktar, et al. 1979)
2. Sistemas de actividad humana (“suaves”). (Checkland, 1995; Checkland & Scholes, 1990; Flood, 2001).

El pensamiento de sistemas “duros” está dirigido a una meta; esto es, el estudio en particular comienza con la definición de la meta que se desea alcanzar (Checkland, 1990). La aplicación de estos métodos es más difícil a los problemas de administración, a los problemas “suaves” en sistemas sociales donde las “metas” son menos claras.

Las metodologías se pueden ver como un espectro de sistemas “suaves” y “duros”; ver la Figura 2.3.



**Figura 2.3** Espectro de metodologías, donde las metodologías de sistemas “suaves” y “duros” se muestran como los extremos opuestos. Adaptado de Beard, et al. 2005.

### **2.2.2.1 Metodologías de sistemas “duros”**

Las metodologías de sistemas “duros”, como por ejemplo *Investigación de Operaciones* (OR por sus siglas en inglés), pueden ser apropiadas para casos donde:

{a} los *problemas estructurados* se pueden formular explícitamente en un lenguaje que implique que está disponible una teoría referente a sus soluciones. Por ejemplo, ¿cómo podemos transportar el producto “x” desde A hasta B, a un costo mínimo?;

{b} el “sistema” esta bien definido;

{c} hay consenso entre los involucrados acerca de los objetivos;

{d} no hay conflictos de intereses;

{e} entre otros.

Un ejemplo típico donde una metodología “dura” podría ser adecuada sería el diseño de un sistema de aire acondicionado.

### **2.2.2.2 Metodologías de sistemas “suaves”**

En el otro extremo del espectro se encuentran las metodologías “suaves”; por ejemplo la *Metodología de los Sistemas Suaves* (SSM por sus siglas en inglés). Para una descripción detallada de la SSM ver Checkland (1995). En general, las características de las metodologías de los sistemas suaves son las siguientes:

{a} los *problemas no estructurados* que están manifiestos en un sentimiento de inquietud pero que no se pueden formular explícitamente sin el intento aparente por simplificar la situación dada. Por ejemplo, ¿qué se debe de hacer para disminuir el crimen en el DF?

{b} NO hay consenso entre los involucrados acerca de los objetivos;

{c} Hay conflictos de intereses; esto es hay diferentes “Weltanschauung”. Ver Checkland (1995) para más detalles.

### **2.2.2.3 Metodologías “intermediarias”**

De lo anterior surge la siguiente pregunta: ¿por qué se uso el MORT y no otra metodología o modelos mencionados en la sección 2.2?

En general, el MORT puede ser considerado como una metodología intermediaria. En particular, por sus características puede considerarse más “suave” que los otros métodos descritos en la sección 2.2 (ver Figura 2.4) y esta fue la justificación del empleo del modelo MORT en el presente trabajo de investigación.



**Figura 2.4** El MORT en el contexto de metodologías de sistemas “suaves” y “duros”. Adaptado de Beard, et al. 2005.

### 2.3 La importancia de estudiar accidentes

En los últimos años un gran número de eventos indeseables han ocurrido en México y en todo el mundo (Muñoz, 2008; USCSHIB, 2007; Rogers, 1986; Kunii, et al. 1995). Dichos eventos han tenido como consecuencias: lesiones menores y graves, fatalidades (en muchos casos de decenas, centenas y de miles), pérdidas de instalaciones, pérdidas económicas e impactos negativos al medio ambiente. Después de un análisis detallado de la mayoría de estos eventos y la reflexión acerca de ellos, dos aspectos resultan obvios: el primero, es que todos ellos tienen factores causales múltiples y el segundo, es que la mayoría son evitables. Hay muchas razones del porqué no se evitan; pero la razón principal es la incapacidad de las personas y organizaciones de aprender de los errores.

Tradicionalmente los enfoques al diagnóstico de sistemas de ingeniería se concentran en las causas inmediatas de un accidente. Este tipo de fallas se conocen como *fallas activas* y pueden ser consideradas como errores humanos o violaciones que tienen el impacto inmediato en la integridad del sistema (Grabowski, et al, 1996; Andreas, 1999; Anjana, 1997; Perrow, 1984). Los investigadores han encontrado que el factor humano es uno de los factores clave que contribuyen en la ocurrencia de los desastres y accidentes mayores. Sin embargo, en los últimos años la comprensión de la naturaleza e importancia de los errores organizacionales causó que estos últimos también se consideraran en el intento de reducción de la frecuencia de los accidentes y desastres mayores. Los errores organizacionales son conocidos como *fallas latentes*. Estas fallas frecuentemente son las cometidas en el diseño, la administración y la comunicación y también pueden ser las deficiencias en la estructura de la

organización (Grabowski, et al, 1996; Embrey, 1991; Martin, et al, 1990). Resulta claro que estudiar y tratar las fallas organizacionales es tan importante como enfocarse a las causas humanas o técnicas de los accidentes.

Dado lo anterior se puede argumentar que el objetivo principal del diagnóstico de las fallas de los sistemas es la identificación de los factores causales que contribuyeron a los mismos. Esto permitirá aprender de los errores y así prevenir futuros accidentes.

### **2.3.1 Modelo MORT**

Varios métodos han sido desarrollados a través de los años con el objetivo de investigar accidentes. Por ejemplo, durante los años 70s y 80s el Departamento de Energía de los Estados Unidos desarrolló técnicas para la “reconstrucción de incidentes”, así como técnicas de “argumentación”; por ejemplo, el método de “Análisis de cambios” (DOE, 1994; Van Vuuren, 2000), entre otros. Cabe mencionar que estos métodos tienen ciertas limitaciones debido a que se concentran en encontrar las causas inmediatas de los accidentes. Por otro lado, el método Management Over-sight Risk Tree (MORT) no busca encontrar la causa única o inmediata de un evento indeseable, pero todos aquellos factores causales debidos a deficiencias en aspectos organizacionales, de comunicación, humanos, entre otros (Johnson, 1980). A continuación se presenta una descripción del MORT.

#### **2.3.1.1 Conceptos básicos del MORT**

El Árbol de Supervisión de la Gestión y Riesgos (MORT) es un procedimiento analítico para determinar las causas y factores que contribuyen a un accidente o incidente. En MORT, los accidentes se definen como eventos imprevistos que producen daños o perjuicios, es decir, pérdidas. Las pérdidas se producen cuando un agente nocivo entra en contacto con una persona, o bien un material. Este contacto puede producirse ya sea por una falta de prevención o como un lamentable, pero aceptable, resultado de un riesgo que ha sido correctamente evaluado (el llamado "riesgo asumido"). El análisis del MORT siempre evalúa la ruta del "fracaso" antes de considerar la hipótesis "riesgo asumido". En el análisis MORT, la mayor parte del esfuerzo se dirige a la identificación de problemas en el control de un trabajo/proceso y en las deficiencias de las barreras de protección asociados con este. Estos problemas son luego analizados por sus orígenes en la planificación, diseño, la política, entre otros. Para utilizar MORT, primero hay que identificar los “episodios” clave en la secuencia de los eventos. Cada episodio puede ser caracterizado como:

- a) Un objetivo vulnerable expuesto a ...

- b) Un agente de daño en el ...
- c) La ausencia de barreras adecuadas.

El análisis con MORT se puede aplicar a uno o más episodios identificados. Para identificar estos episodios clave, se tendrá que realizar un análisis de barrera (o "Análisis de Barrera y Rastro de Energía" que es su nombre completo). El análisis de barrera facilita el análisis MORT; sin el análisis de barrera sería muy difícil utilizar el modelo MORT.

El proceso del MORT es como un diálogo entre las preguntas genéricas del MORT y la situación que se está investigando. El analista, actúa como el intérprete entre MORT y la situación. Las preguntas del MORT son hechas en un orden particular, que se ha diseñado para ayudar a aclarar los hechos que rodearon el incidente. Aun así, no todas las preguntas planteadas por MORT serán relevantes en todas las ocasiones. Para llegar a conocer MORT es importante familiarizarse con los aspectos fundamentales de las preguntas del modelo. El gráfico en sí actúa como una rápida lista que permite concentrarse en los problemas que se manifestaron a través del proceso. Es importante que se hagan notas sobre la marcha, como lo sería si se llevara a cabo una entrevista. En la práctica, los analistas MORT hacen breves notas sobre el gráfico MORT - lo suficiente como para captar las cuestiones que se plantean y su evaluación de los mismos. Para hacer más fácil este proceso de revisión, con frecuencia se usa un código de colores en gráfico a medida que esta haciendo el análisis. Por ejemplo, el modelo MORT utiliza los siguientes criterios de colores:

- a) Rojo, indica que se ha encontrado un problema.
- b) Verde, indica que una cuestión ha sido juzgada satisfactoriamente,
- c) Azul, para indicar donde se piensa que un asunto es relevante pero no se tiene suficiente información para valorarlo apropiadamente.

Además, las cuestiones presentadas en el gráfico MORT pueden ser juzgadas como irrelevantes, éstas deben ser tachadas para demostrar que ya se han examinado. En general, los resultados de un análisis MORT son:

- a) La creación de nuevas líneas de investigación;
- b) La visibilidad de factores causales y;
- c) La confianza aumentada en la rigurosidad de la investigación.

### 2.3.1.2 Convenciones del diagrama de MORT.

Esta sección introduce las convenciones y simbología utilizadas en el MORT. Debe mencionarse que el MORT comparte algunas de las convenciones del árbol de análisis de fallas. Los eventos genéricos dentro de MORT se descomponen en sus componentes causales utilizando una lógica jerárquica y una las causas con compuertas lógicas, “Y” (AND) y “O” (OR).

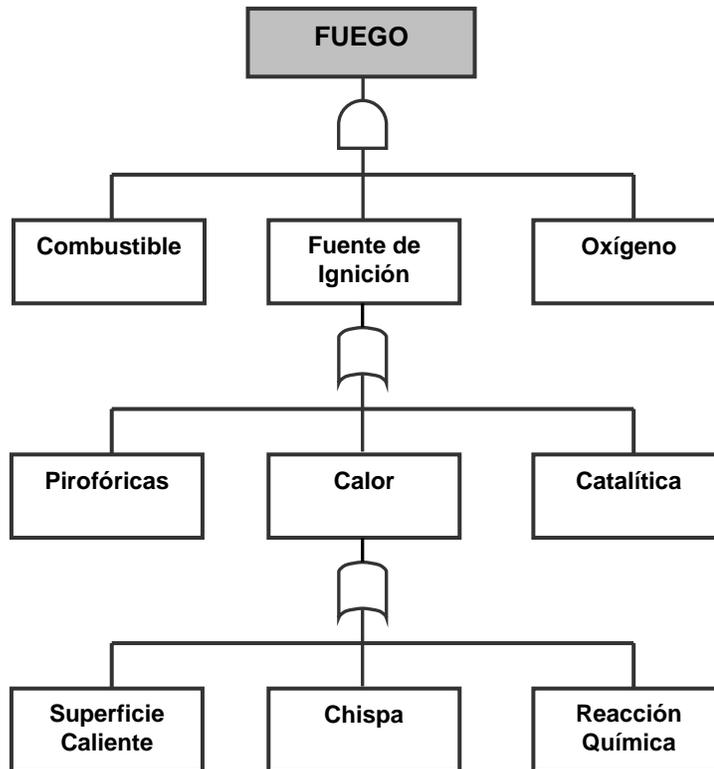
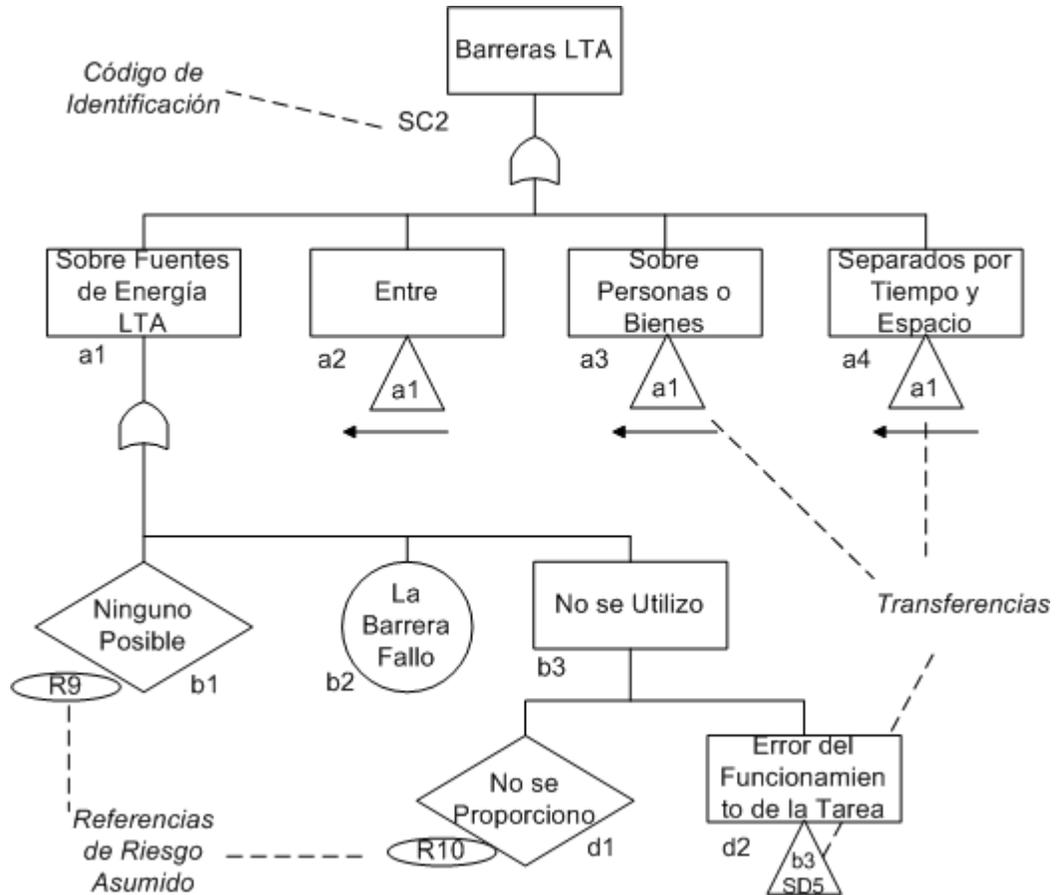


Figura 2.5 Ejemplo de lógica jerárquica

En el análisis de árbol de fallas los componentes causales se conocen como eventos de entrada y su efecto se llama una salida del evento. Por ejemplo, en la Figura 2.5 los tres eventos de entrada: "Fuente de Ignición", "Combustible" y el "Oxígeno" producen "Fuego" como un evento de salida. Donde todas las entradas son necesarias para producir los resultados, como es el caso de los incendios, los eventos de entrada se suman por una compuerta “Y” (AND) para dar un evento de salida. En caso de que sólo un evento de entrada sea suficiente para producir el resultado, se utiliza la compuerta “O” (OR).

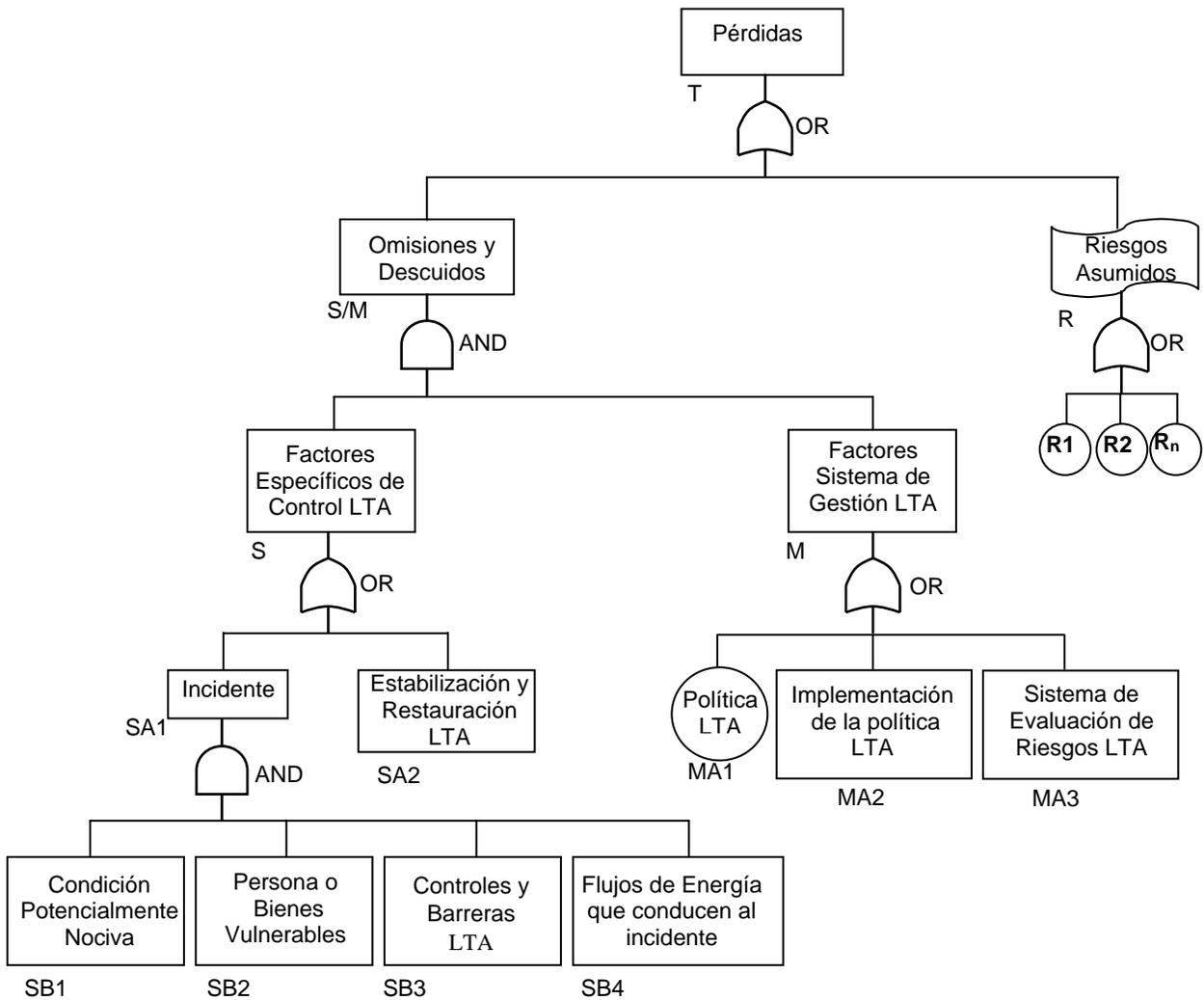
La Figura 2.6 es un extracto del gráfico MORT en la cual se ilustran muchos de los símbolos y las convenciones utilizadas en el resto del diagrama.



**Figura 2.6** Extracto del gráfico MORT

Cada tema en el diagrama MORT tiene una referencia - un código (por ejemplo, "SC2" es el código de identidad MORT del evento "Barreras LTA"). En MORT los códigos siguen un sistema jerárquico, que refleja la estructura del gráfico. El caso cuando un evento sea la salida de una rama importante, generalmente se identifica por un código escrito en mayúsculas con una 'S' o 'M' para una primera rama. La 'S' indica que se trata de una parte de la rama "Factores Específicos de Control" y 'M' que demuestra que pertenece a la rama "Factores del Sistema de Gestión". Para especificar un evento en MORT, es normal utilizar un formato de dirección; dos (y a veces tres) códigos de identidad se vinculan con un guión. Por ejemplo, para referirse al caso de "Sobre las Personas o Bienes" en la Figura 2.6, se escribiría "SC2- a3". En la Figura 2.6 se utiliza un símbolo en forma de diamante en dos lugares: "SC2- b1" y "SC2- c1". Cuando esta acompañado por un pequeño símbolo oval (etiquetados R9 y R10 en este ejemplo), esto indica un riesgo asumido - corre el riesgo que se ha identificado y es aceptado en nombre de la organización responsable de controlarlo.

Además de lo anterior, el modelo MORT utiliza un sistema de “transferencias”, por ejemplo en la Figura 2.6 abajo del evento “SC2- a2” hay un triángulo que contiene el texto "a1", el triángulo es el símbolo de transferencia y se utiliza para ahorrar espacio en el árbol. Un triángulo abajo de un evento muestra que hay eventos coligados a investigar en otras partes del árbol. En este ejemplo, al evaluar caso “SC2-a2” (“Entre”, ver Figura 2.6), la rama debajo de “a1” debe considerarse sólo como si fuera señalado directamente debajo “SC2- a2”. La transferencia debajo del acontecimiento “SC2- c2” lo conecta con “SD5- b3”. Esto significa que el “Error del desempeño de la tarea”, (c2) que es manifestado en (b3) no utilizando la barrera, será analizado más a detalle utilizando la rama en “SD5- b3”.



**Figura 2.7** Estructura Básica de MORT

### **2.3.1.3 Estructura básica del MORT**

En la Figura 2.7 se muestra la estructura básica del modelo MORT. El evento principal o superior en MORT es denominado "Pérdidas" por debajo del cual están dos de sus posibles causas: {1} "Omisiones y Descuidos", o {2} "Riesgos Asumidos". Todos los factores que contribuyen a ello en la secuencia del accidente se tratan como "descuidos y omisiones" a menos que sean "riesgos asumidos". La entrada al evento "Omisiones y Descuidos" es a través de una compuerta lógica "Y" (AND). Esto significa que los problemas que se manifiestan en el control específico de las actividades de trabajo, necesariamente implican cuestiones en la gestión de los procesos que los gobiernan.

La "Especificación" y la "Gestión" son las dos ramas principales en MORT. Los "Factores Específicos de Control" se dividen en dos clases: {a} los relacionados con el "Incidente o accidente" en sí (SA1), {b} los relacionados con la "Restauración" de control después de un accidente (SA2). Ambos unidos por la compuerta "O" (OR); esto quiere decir que cualquiera de las dos puede ser una causa de las "Pérdidas" (ver la Figura 2.7).

#### *Riesgos asumidos provisionales*

En el análisis con el MORT, las "Pérdidas" pueden provenir de dos fuentes: {a} los riesgos que se han identificado y aceptado correctamente (llamado "Riesgos Asumidos") y {b} los riesgos que no han sido gestionados correctamente (los llamados "Descuidos y Omisiones"). MORT contiene varias referencias que corresponden a la rama "Riesgo Asumido" (ver Figura 2.7). Por ejemplo, MORT permite la posibilidad de que una "barrera" no se presente debido a que no ha sido práctico. Para hacerlo, sin embargo, se tendrían que establecer las razones de esta decisión a un nivel satisfactorio de las pruebas. En la práctica, esto implicará la revisión de la evaluación del riesgo y el análisis costo - beneficio que apoya la decisión.

En general, para evitar interrumpir el análisis, se pueden escribir las razones del porqué se asumieron los riesgos en una Tabla y realizar su seguimiento como una cuestión aparte. Cada evento que se refiera en el gráfico MORT debe ser codificado provisionalmente con color azul y debe corresponder a una entrada. El evento no puede ser cerrado hasta que la justificación para el riesgo asumido haya sido evaluada.

#### **2.3.1.4 Análisis de barreras**

El análisis de “barrera y flujo de energía”, o simplemente “análisis de barrera”, como es generalmente conocido produce un conjunto claro de los “episodios” que se desea analizar. Lo anterior constituye un elemento esencial para la preparación del análisis MORT. Por "Energía" se refiere a los agentes nocivos que amenazan o provocan daño real a un "Objetivo", que está expuesto a ella. Aunque la "Energía" y “Flujo de Energía” son los términos más utilizados, los agentes nocivos pueden incluir las condiciones ambientales (por ejemplo, riesgos biológicos, la limitación de oxígeno, entre otros.).

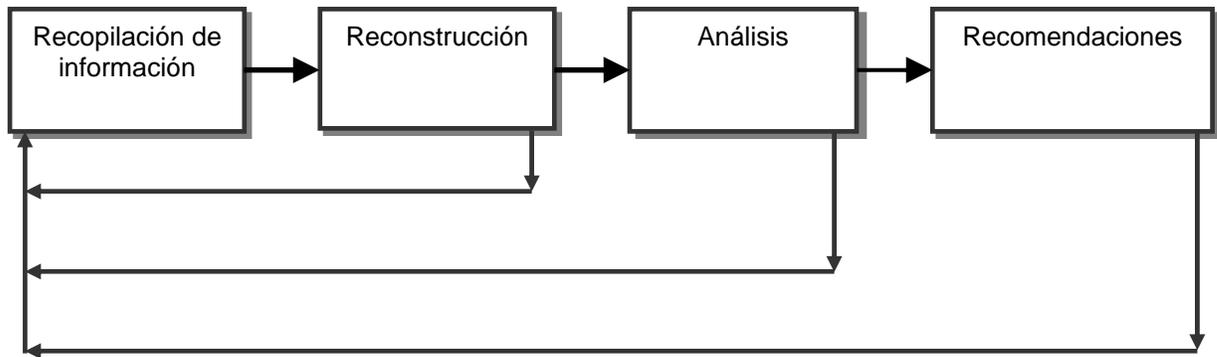
Los "Objetivos" pueden ser personas, cosas o procesos - nada, de hecho, que deba ser protegido o que estaría mejor si es alterado por la "Energía". En MORT, un accidente tiene que producir una pérdida, por lo tanto, al menos uno de los objetivos en la secuencia de accidentes tiene que ser valioso. Sin embargo, los incidentes (a veces llamados casi accidentes o casi golpes) también son de interés. Un incidente puede ser como resultado tanto de la exposición a un flujo de energía sin lesiones o daños, o los daños de un objetivo sin valor intrínseco. El último caso todavía puede ser un objeto valioso para su análisis.

Por otro lado, "barrera" se refiere a los medios por los cuales los "Objetivos" se mantienen a salvo de las "Energías". De hecho, el “Análisis de barrera” incluye no sólo las barreras (de la naturaleza que son puramente de protección), sino también los controles del trabajo/proceso, ya que pueden proporcionar también la protección de las energías (y objetivos) de una manera segura.

Muy a menudo, un accidente pone de manifiesto una serie de episodios donde energías encuentran los objetivos en interacciones no deseadas; el análisis de barreras trata de localizar todas estas y ponerlas a disposición del análisis. El objetivo del análisis de barrera es dar cuenta de todas las interacciones no deseadas entre las energías y los objetivos ya que deben estar disponibles para su posterior análisis en la investigación

### 2.3.2 Investigación de accidentes

La investigación de incidentes (accidentes) ha tenido un progreso significativo en los últimos años, y ya se tiene bien establecido el esquema metodológico a seguir. Las etapas generales de una investigación típica de un incidente (accidentes) se muestran a continuación en la Figura 2.8.



**Figura 2.8** Etapas de una investigación de accidentes. Adaptado de (Lekberg, 1997; Ferry, 1988).

A continuación se describe brevemente cada una de las etapas.

#### 2.3.2.1 Recopilación de información

La etapa de recopilación de los datos incluye: {a} obtener y archivar cualquier información relevante (manuales, procedimientos de trabajo, entre otros); {b} obtener el testimonio de los testigos; {c} realizar entrevistas directas; {d} entre otros. Un problema de esta etapa es que en la mayoría de las ocasiones no es posible obtener toda la información relevante. La información faltante puede conllevar a la falta de claridad y la incertidumbre en el análisis. Por ello es muy importante reunir lo más que se pueda de información en esta etapa de la investigación.

#### 2.3.2.2 Reconstrucción

La reconstrucción se enfoca en aquello que tuvo lugar (sucedió). En esta etapa es posible emplear modelos de los accidentes para capturar los aspectos genéricos del evento adverso. Algunos modelos se enfocan en la cadena de los eventos, mientras los otros toman en cuenta más las relaciones cambiantes entre los individuos y las organizaciones involucrados. Como parte de la reconstrucción con frecuencia se desarrolla una escala de tiempo de lo sucedido. La predisposición en el equipo de investigación es un factor que puede afectar los resultados de la investigación.

### **2.3.2.3 Análisis**

Esta etapa intenta encontrar porque ocurrió el percance. Habitualmente existe retroalimentación entre las etapas de análisis, reconstrucción y recopilación de datos (información) porque un mayor entendimiento causa que la información de las etapas más tempranas se analice más detenidamente. En la etapa de análisis es posible identificar las causas de origen y los factores causales del evento

### **2.3.2.4 Recomendaciones y monitoreo**

Como conclusiones del análisis del incidente (accidente), pueden identificarse y aplicarse las acciones correctivas. Los procesos tienen que monitorear que las acciones correctivas sean completas y efectivas. Habitualmente la tarea más difícil es realizar los cambios más profundos en la estructura o en la administración. Las conclusiones y las recomendaciones tienen que ir dirigidos a las necesidades del personal que los va a emplear.

## **2.4 Conclusiones del capítulo**

Este capítulo presentó el marco teórico en relación a la teoría de la Ciencia de Sistemas, Fallas de Sistemas, Sistemas, así como la descripción del modelo MORT. En particular, se concluye que el modelo MORT es suficiente para llevar a cabo el diagnóstico de los dos accidentes que han ocurrido en las plataformas marinas. En el capítulo 3 se describen brevemente los dos accidentes para el análisis.

# Capítulo 3: Accidentes ocurridos en Plataformas Marinas

---

En general, este capítulo presenta una breve descripción de los accidentes que serán analizados en este trabajo de tesis. La sección 3.1 describe los dos accidentes que ocurrieron en las plataformas marinas “X” y “Y”. Finalmente, la sección 3.2 presenta las conclusiones del capítulo.

## 3.1 Descripción de los accidentes ocurridos en plataformas marinas

En esta sección se describen dos accidentes ocurridos en dos plataformas marinas ubicadas en la sonda de Campeche, Golfo de México. Los accidentes son los siguientes:

- {a} accidente ocurrido el día 14 de febrero del 2008, en la plataforma marina “X”.
- {b} accidente ocurrido el día 9 de abril del 2008, en la plataforma marina “Y”.

Nota: Lo nombres verdaderos de las plataformas marinas se han omitido en este trabajo de tesis.

### 3.1.1 Accidente ocurrido el día 14 de febrero del 2008, en la plataforma marina “X”

La plataforma marina “X” perfora el pozo de desarrollo “B-32”. El objetivo principal de las operaciones de la plataforma es la de obtener producción comercial de hidrocarburos en las brechas sedimentarias y calizas arcillosas de edad JSK, a una profundidad de aproximadamente 7,556 m.

#### 3.1.1.1 *Descripción del proceso*

El operador (trabajador) tiene encomendada la actividad de perforar ciertas placas metálicas con barrena de 10 5/8” y empleando un equipo conocido comúnmente en campo como “ampliadora” de 17 ½” a una altura de aproximadamente 2,746 m.

### **3.1.1.2 Descripción de los hechos**

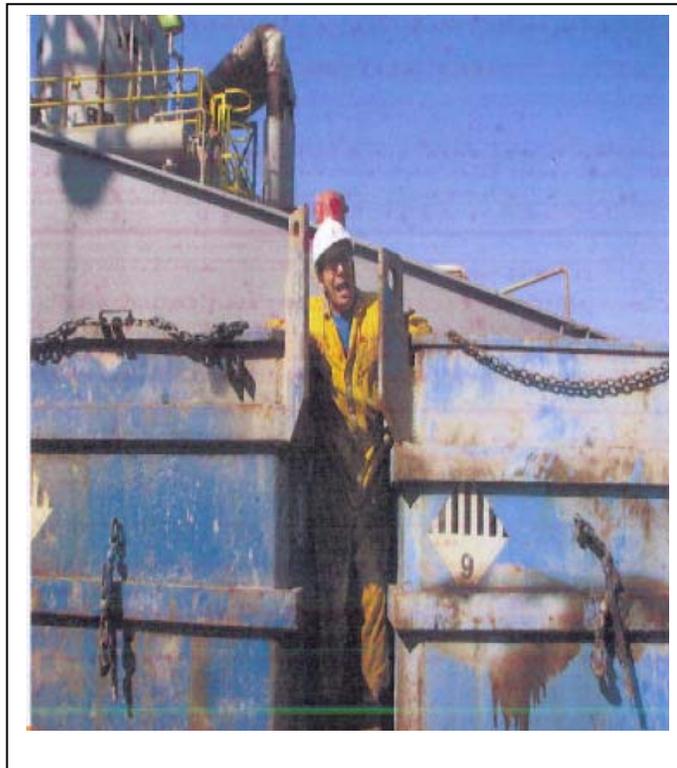
El día 14 de febrero del 2008 siendo aproximadamente a las 00:10 horas aproximadamente, en el equipo “9159” de la plataforma “X”, se suscitó el accidente en la persona del Sr. “JJJ”, que ostenta la categoría de “ayudante de trabajos de perforación” (ATP), al estar realizando trabajos en el patio de tuberías acomodando las cajas de recorte con apoyo de la grúa y parado sobre las cajas a una altura de aproximadamente 3 m aproximadamente. De acuerdo a la evidencia del trabajador, después de retirar el grillete y tratar de bajarse, se resbala cayendo entre caja y caja quedando atrapado. El trabajador fue encontrado con el cuerpo en un espacio de 50 cm (ver Figs. 3.1, 3.2 y 3.3). Posteriormente, el trabajador fue auxiliado para salir y finalmente fue trasladado en camilla para ser atendido por el servicio médico de la plataforma.



**Figura 3.1** Vista parcial del accidente en la plataforma marina “X”



**Figura 3.2** Vista frontal-1 del accidente



**Figura 3.3** Vista frontal-2 del accidente.

### **3.1.1.3      *Reporte del servicio médico***

El lesionado es trasladado al consultorio médico en camilla por sus compañeros. El trabajador presentó dolor en región costal anterior izquierda entre la novena y décima costilla. Posteriormente, el trabajador es trasladado al hospital general de la Cd. del Carmen, Campeche para la valoración médica.

### **3.1.1.4      *Daños a la persona***

El trabajador es diagnosticado como “golpe contuso en área costal entre novena y décima costilla”.

## **3.1.2    *Accidente ocurrido el día 9 de abril del 2008, en la plataforma marina “Y”***

La plataforma marina “Y”, perfora el pozo Exploratorio 00000-1 en la Sonda de Campeche. El objetivo principal de las operaciones de la plataforma es la de obtener producción comercial de hidrocarburos en las brechas sedimentarias y calizas arcillosas fracturadas de edad Terciario (ver Anexo-A para más detalles acerca de esto), a una profundidad de 4,836/4,830 m. Actualmente, dicha plataforma continúa perforando a profundidades de +/- 1,110 m.

### **3.1.2.1      *Descripción del proceso***

En general, cuando se perfora un pozo petrolero, se realizan diversas actividades en las que se manejan herramientas, materiales, cajas metálicas para recortes y diversos tipos de contenedores y con apoyo de grúas o con el “Ronco” en el piso de trabajo, etc. Estas cajas son contenedores para recortes impregnados con lodo de emulsión inversa, que se ubican en el patio de tuberías por lo que es necesario estar realizando maniobras y limpieza constantemente, y se requieren productos desengrasantes para llevar a cabo dicha actividad. El personal que tiene bajo su cargo realizar este tipo de actividades son los llamados “ATP” (Ayudantes de Trabajos de Perforación.), además el operador de la grúa, ayudante de “grueso”, segundo y cabo de ATP’s.



**Figura 3.4** Vista frontal del accidente.



**Figura 3.5** Vista frontal del accidente.

### **3.1.2.2 Descripción de los hechos**

Aproximadamente a las 03:00 a.m. el Trabajador “*KKK*”, con categoría de “Ayudante de Trabajos de Perforación” (ATP), con antigüedad de 1 año y 6 meses en dicha categoría se encontraba parado sobre una tubería TR 20” guiando el movimiento de una caja de recortes vacía; todo esto en la cubierta principal de la plataforma. El trabajador (o ATP), da un paso hacia atrás sin observar que había espacios libres entre tubos, perdiendo así el equilibrio y una de sus piernas cae entre los tubos y por instinto trata de sujetarse de la caja, quedando su cuerpo libre sin control y su cabeza dando un “chicoteo” (ver Fig. 3.4). Lo anterior le ocasionó “esguince cervical”.

### **3.1.2.3 Reporte del servicio médico**

El lesionado fue trasladado a Cd. del Carmen, Campeche para una valoración en el servicio de urgencias.

### **3.1.2.4 Daños a la persona**

El trabajador presentó esguince cervical.

## **3.2 Conclusiones del Capítulo**

Los dos accidentes descritos en este capítulo demuestran una vez más lo que se discutió en el capítulo 1 de los beneficios de mejorar la seguridad en el lugar de trabajo. Ambos trabajadores fueron suspendidos de sus actividades y recibiendo los beneficios de su empleador. El capítulo 3 se presenta el diagnóstico de los accidentes empleando el modelo MORT.

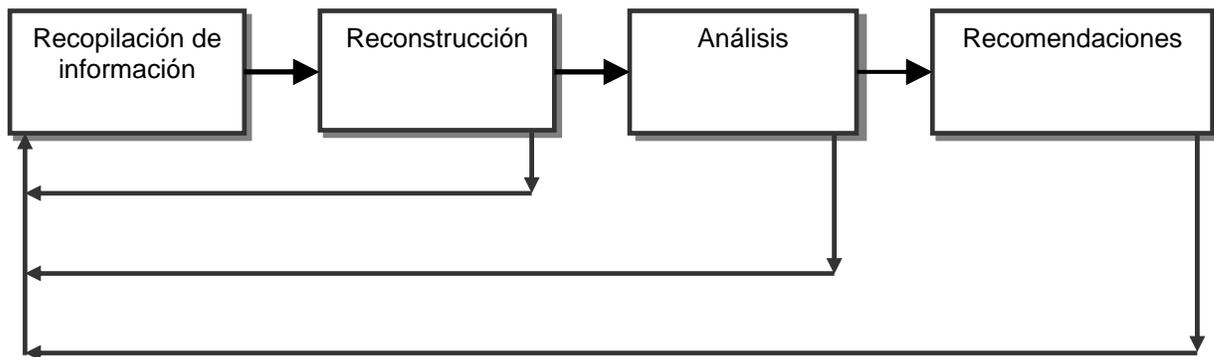
# Capítulo 4

## Análisis de los Accidentes

En general, este capítulo explica como se aplicó el modelo MORT en el análisis del caso “Tláhuac”. La sección 4.1 describe el desarrollo de las etapas de la metodología de investigación así como los resultados de los dos casos de estudio. Finalmente, la sección 4.2 presenta las conclusiones del capítulo.

### 4.1 Metodología para el análisis de accidentes

La Figura 4.1 muestra la metodología de investigación de accidentes descrita en el Capítulo 2 para este proyecto de tesis.

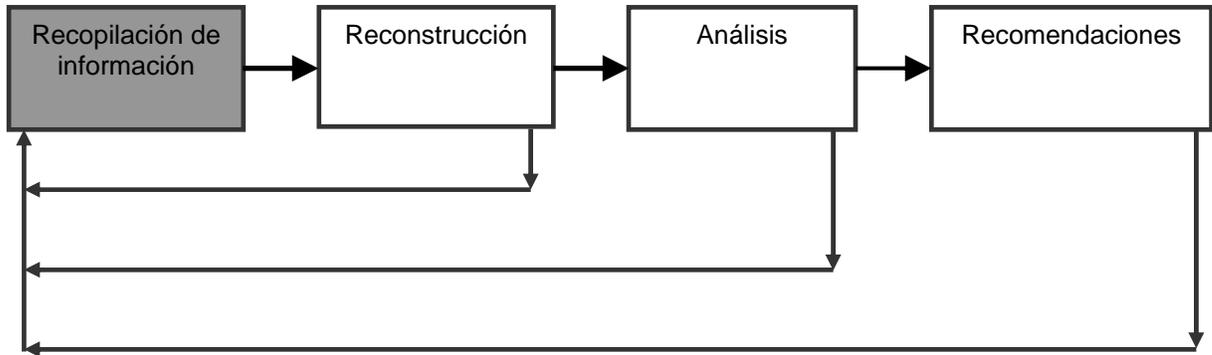


**Figura 4.1** Metodología para el análisis de accidentes.

En las siguientes secciones se presenta la aplicación de la metodología para el análisis de los accidentes descritos en el capítulo anterior.

### 4.1.1 Recopilación de información acerca de los accidentes

La Figura 4.1 muestra la etapa de “Recopilación de información” acerca de los accidentes.

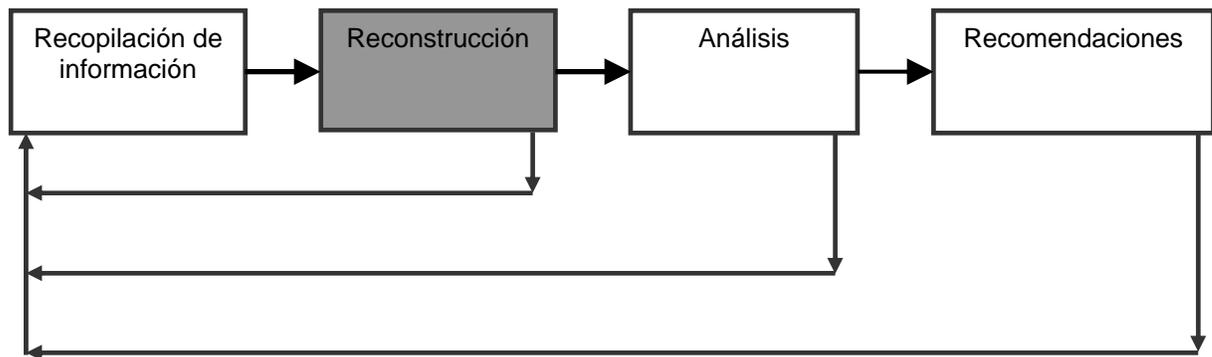


**Figura 4.2** Etapa de “Recopilación” de información a cerca de los accidentes.

En esta etapa se llevó a cabo una recopilación de la información a cerca de los hechos que ocurrieron en cada accidente. La información anterior fue obtenida mediante entrevistas a los testigos (Ej. Compañeros de trabajo de los trabajadores que sufrieron los accidentes). El objetivo principal de esta etapa es la de establecer una visión completa de los hechos de los accidentes.

### 4.1.2 Reconstrucción de los eventos del incidente

La Figura 4.2 muestra la etapa de “Reconstrucción” de los accidentes descritos en el Capítulo 3.



**Figura 4.3** Etapa de Reconstrucción de los accidentes.

A continuación se presenta la secuencia de eventos para los casos de estudio.

#### **4.1.2.1      *Accidente en Plataforma “X”***

Como se mencionó en el Capítulo 3, el personal que tiene bajo su cargo llevar a cabo una serie de actividades en la perforación de pozos se les conoce como “ATP” (Ayudantes de Trabajos de Perforación). A continuación se describe brevemente la reconstrucción de los eventos principales del accidente.

*11 de febrero 2008 (Reporte, 2008a):*

- 03:00 a.m.      El trabajador “JJJ”, con categoría de “Ayudante de Trabajos de Perforación” (ATP), con antigüedad de 1 año y 6 meses en dicha categoría se encontraba parado sobre una tubería TR 20” guiando el movimiento de una caja de recortes vacía; todo esto en la cubierta principal de la plataforma.
  
- 03:20 a.m.      El trabajador da un paso hacia atrás sin observar que había espacios libres entre tubos, perdiendo así el equilibrio y una de sus piernas cae entre los tubos y por instinto trata de sujetarse de la caja, quedando su cuerpo libre sin control y su cabeza dando “chicoteo” (ver Fig. 3.4).
  
- 03:23 a.m.      Lo anterior le ocasionó “esguince cervical”.
  
- 03:30 a.m.      El trabajador es atendido por un médico en la plataforma y consideró la necesidad de que el trabajador accidentado tenía que ser enviado a tierra para ser atendido en urgencias.
  
- 03:50 a.m.      El Trabajador es enviado al hospital general de Cd. Del Carmen, Campeche para su tratamiento.

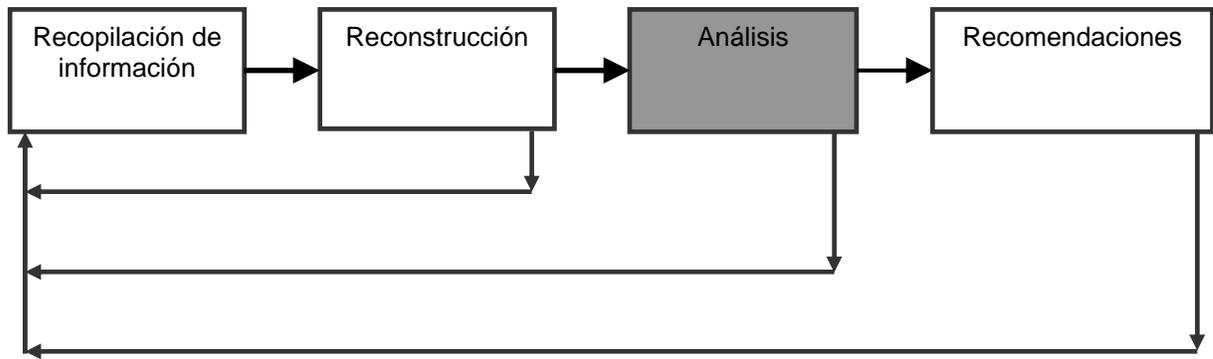
#### **4.1.2.2      *Accidente en Plataforma “Y”***

*9 de abril 2008 (Reporte, 2008b):*

- 23:20            El trabajador “KKK”, con categoría de “ayudante de trabajos de perforación” (ATP), empezó a realizar trabajos en el patio de tuberías acomodando las cajas de recorte con apoyo de una grúa y se encuentra parado sobre unas cajas a una altura de aproximadamente 3 m (ver Figs del Capítulo 3).
- 00:10 a.m.      Después de retirar el grillete y tratar de bajarse, se resbala cayendo entre caja y caja quedando atrapado y su cuerpo queda atrapado en un espacio de aproximadamente 50 cm (ver Figs. 3.1, 3.2 y 3.3).
- 00:18 a.m.      El trabajador es rescatado por compañeros y sale en camilla y es trasladado al servicio médico en la plataforma.
- 00:50 a.m.      El trabajador es atendido por un Médico en la plataforma y consideró la necesidad de que el trabajador accidentado tenía que ser enviado a tierra para ser atendido en urgencias.
- 01:10 a.m.      El Trabajador es enviado al hospital general de Cd. Del Carmen, Campeche para su tratamiento.

## **4.2      Diagnóstico de los accidentes**

Esta sección presenta el diagnóstico de los accidentes mediante la aplicación del modelo MORT descrito en el Capítulo 2. La Figura 4.4 se indica la etapa de “Análisis” de la metodología empleada en este trabajo de tesis.



**Figura 4.4** Etapa de Recopilación de información y reconstrucción de los accidentes.

En esta etapa de análisis es necesario llevar a cabo primeramente un análisis de barreras (ver Capítulo 2).

#### 4.2.1 Análisis de barreras

Como el primer paso de la aplicación del MORT se realizó el análisis de barreras para los casos de estudio. La Tabla 4.1 muestra el episodio que se consideró para el análisis. Es importante mencionar que el flujo de energía “Exceso de confianza” del trabajador se consideró para ambos accidentes; por lo consiguiente en las subsecuentes secciones se presentarán los resultados de dicho análisis.

**Tabla 4.1** Análisis de Barrera

Flujo de Energía	Objetivo	Barrera
Exceso de confianza del trabajador	El trabajador	Capacitación, procedimientos de trabajo, etc.

#### 4.2.2 Análisis MORT

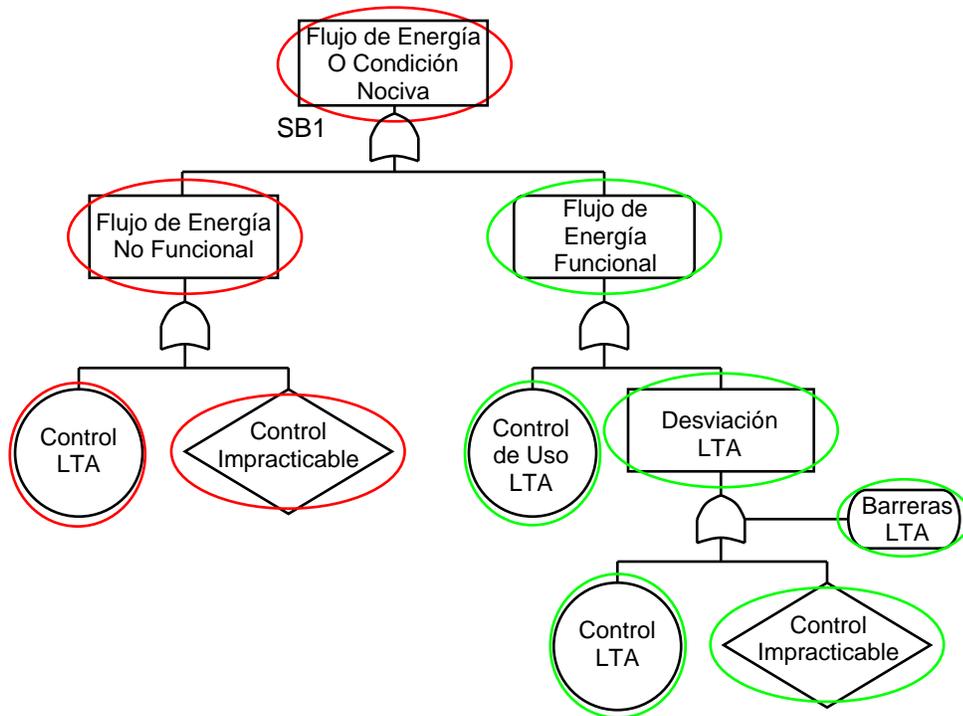
El análisis con MORT da como resultado un gráfico con notas breves en cada evento de las ramas que conforman el gráfico. Los colores del código de acuerdo a la valoración es el siguiente:

- a) Rojo, donde es encontrado un problema.
- b) Verde, donde una cuestión ha sido juzgada satisfactoriamente

- c) Azul, para indicar donde se piensa que un asunto es relevante pero no tiene suficiente información para valorarlo apropiadamente

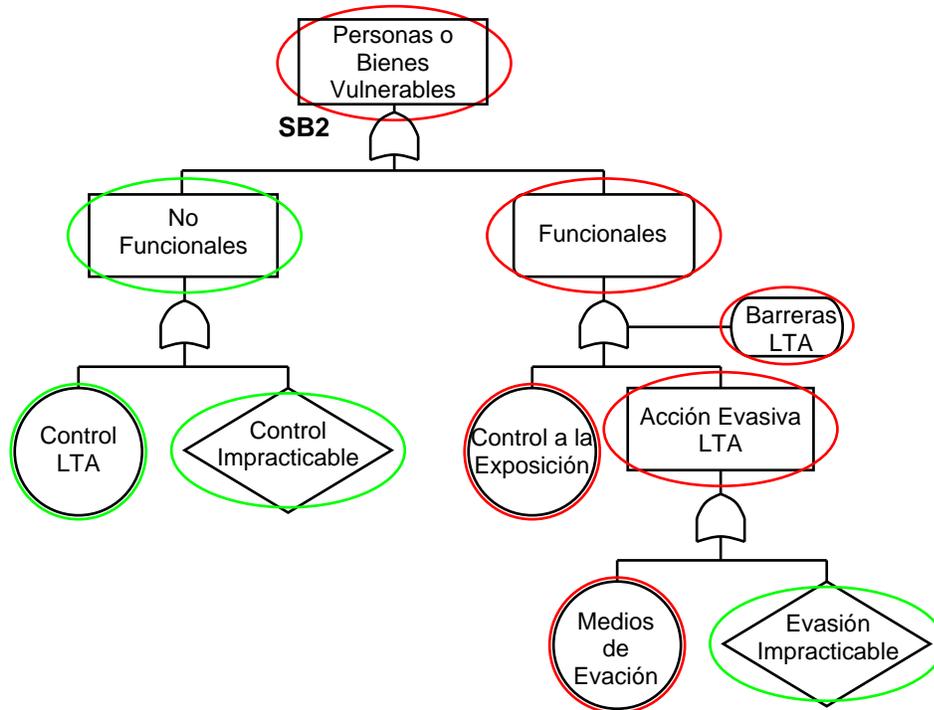
Las Figuras 4.5-4.13 muestran diversas ramas del gráfico MORT codificadas y en donde se encontraron mayor número de problemas para los dos casos de estudio.

#### 4.2.2.1 Barreras y controles



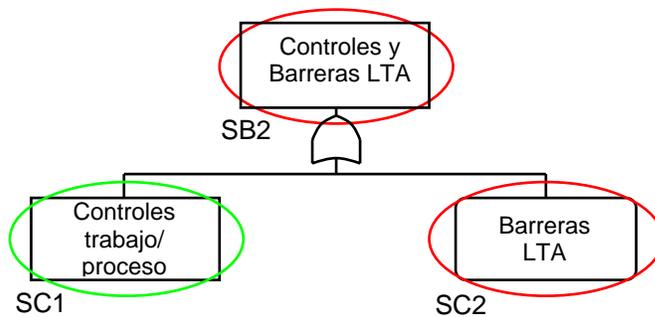
**Figura 4.5** Rama SB1. Flujo de Energía o Condición Nociva. Rojo: Un problema que contribuye al resultado; verde no indica problema.

La Figura 4.5 muestra la rama que considera la Energía o Condición ambiental nociva que derivó en el problema.



**Figura 4.6** Rama SB2. Personas o Bienes Vulnerables. Rojo: un problema que contribuye al resultado. Verde: no indica problema.

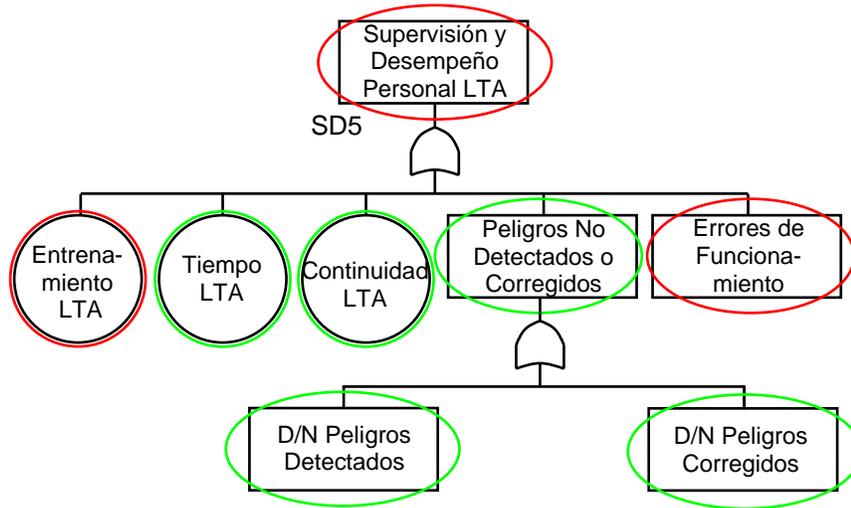
La rama de la Figura 4.6 considera quién o qué fue expuesto al flujo de energía o condición nociva.



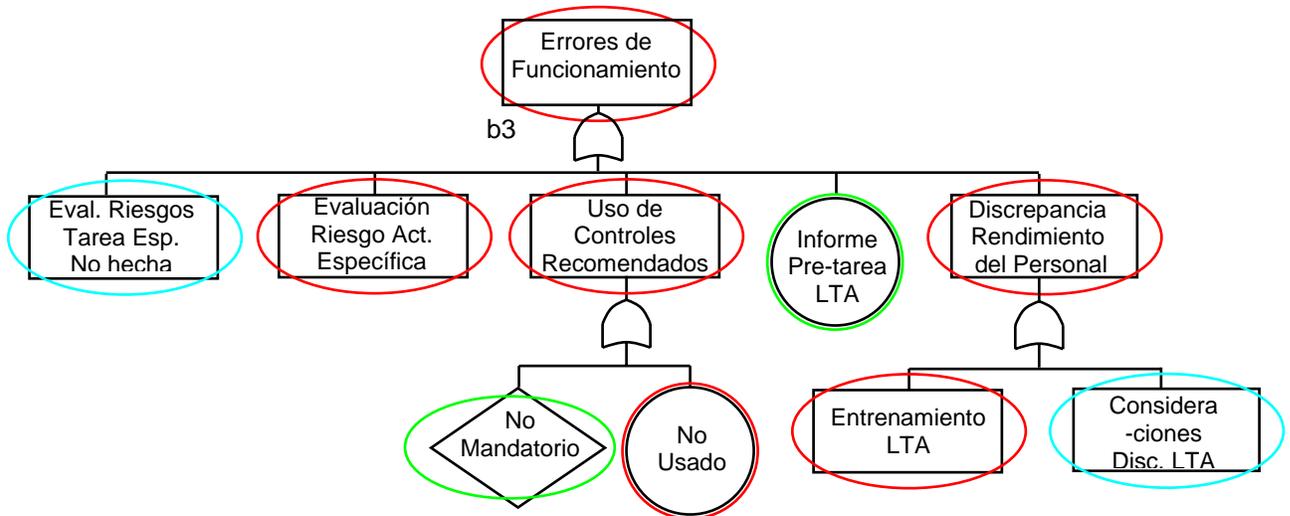
**Figura 4.7** Rama SB3. Controles y Barreras LTA, (LTA: Less Than Adequate). Rojo: un problema que contribuye al resultado. Verde: no indica problema.

La Figura 4.7 muestra la rama que considera si son adecuadas las barreras y los controles para impedir que las personas y objetos vulnerables se expongan a los efectos de los flujos de energía y/o condiciones nocivas.

4.2.2.2 **Supervisión y desempeño del personal**



**Figura 4.8** Rama SD5. Supervisión y Desempeño del Personal LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema

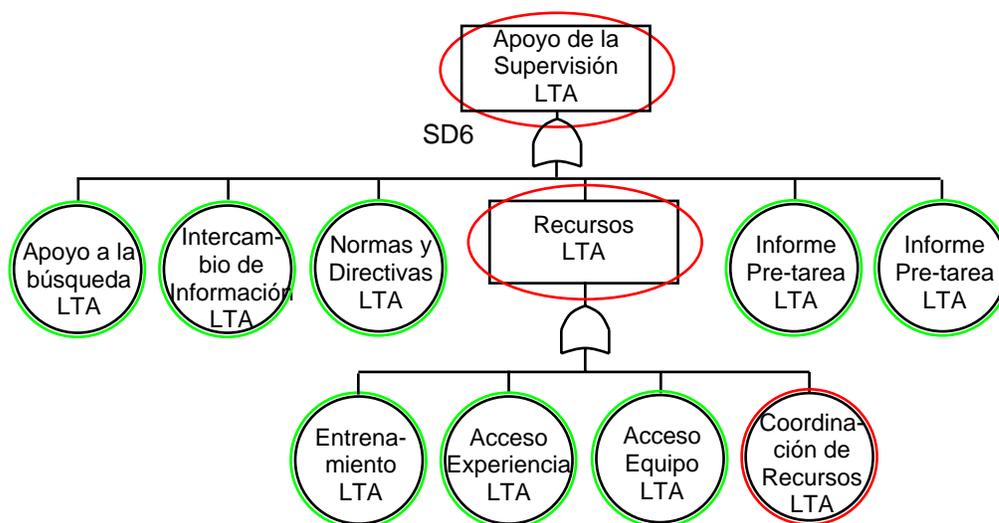


**Figura 4.9** Rama SD5-a5. Errores de Funcionamiento de la Tarea. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema; azul: no se tiene suficiente información para evaluarlo

La Figura 4.8 muestra la rama que aborda la importancia del desempeño del personal y la supervisión en el control del trabajo/proceso en cuestión. El propósito de la supervisión es asegurarse que determinada actividad o proceso está trabajando adecuadamente o que trabaja sin problemas.

La Figura 4.9 muestra la rama que considera como los errores del personal de primera línea contribuyeron al problema en cuestión. Hay pocos "actos inseguros" en el sentido de las fallas atribuidas a los empleados de primera línea. La asignación de la responsabilidad del "acto inseguro" a un empleado de primera línea no se debe hacerse a menos que las siguientes medidas preventivas han demostrado para ser adecuadas: a) Análisis de riesgos; b) Gestión o supervisión de detección; c) Revisión de los procedimientos del sistema de seguridad para el trabajo; d) Revisión de los factores humanos de tarea/equipo. Usando esta rama, se tiene que tener en mente los errores específicos que contribuyeron al problema en el trabajo/proceso. Conjuntamente considera si una tarea específica de la evaluación de riesgos debería haber sido realizada para el trabajo/proceso en cuestión. Esto es esencialmente preocupante en situaciones donde una tarea específica de la evaluación de riesgos no ha sido aplicada a pesar de la existencia de riesgos significativos.

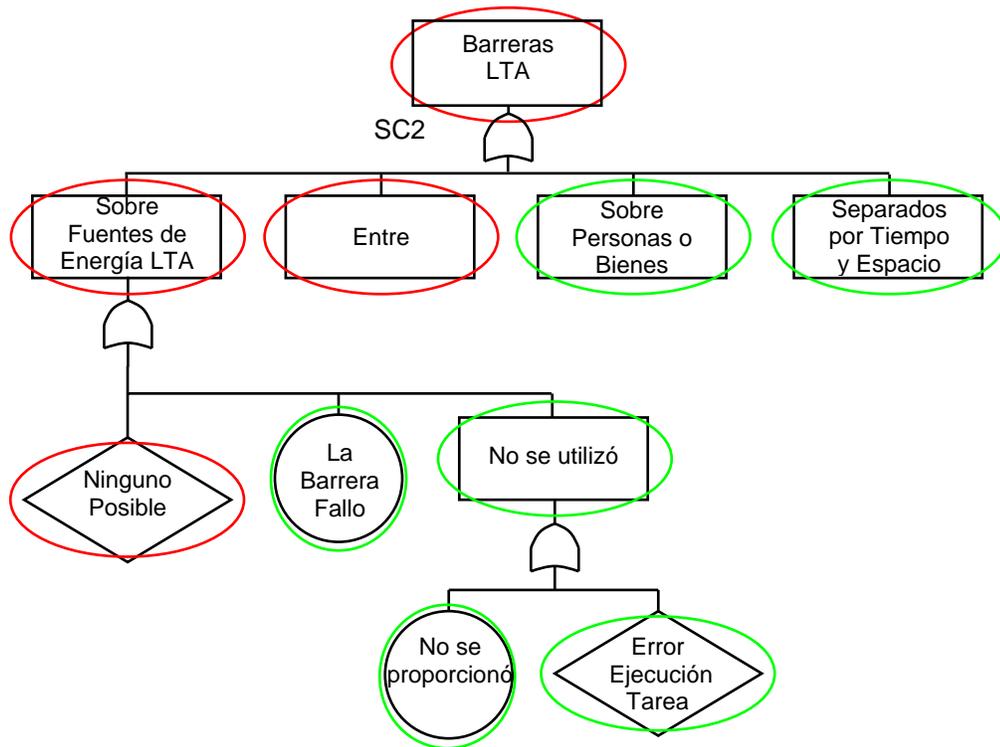
#### 4.2.2.3 Apoyo a la supervisión



**Figura 4.10** Rama SD6 Apoyo de la Supervisión. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema.

La Figura 4.10 muestra la rama que considera si el nivel superior de gestión apoyó y orientó adecuadamente a la organización, permitiendo el logro de control satisfactorio del trabajo/proceso.

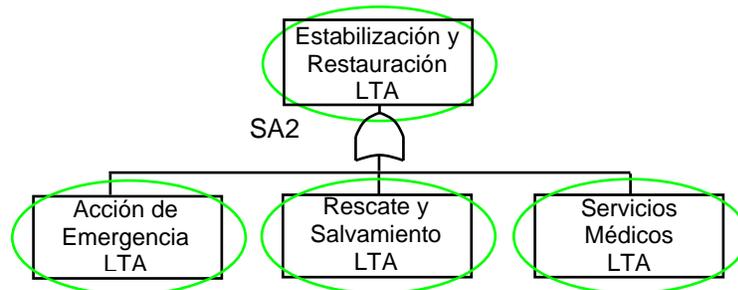
#### 4.2.2.4 Barreras



**Figura 4.11** Rama SC2. Barreras LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema; azul: no se tiene suficiente información para evaluarlo

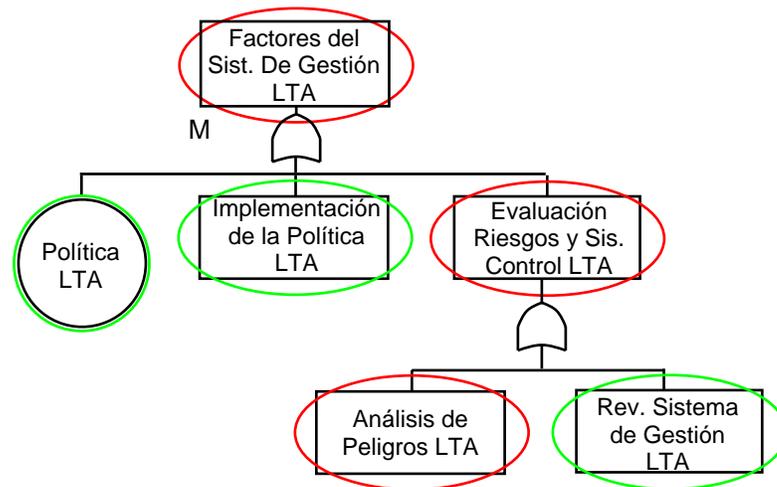
Una barrera es cualquier dispositivo o método diseñado para proteger "objetivos" vulnerables de las fuentes del daño. Los objetivos incluyen gente u objetos.

#### 4.2.2.5 Estabilización y restauración



**Figura 4.12** Rama SA2. Estabilización y Restauración LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado; verde: no indica problema; azul: no se tiene suficiente información para evaluarlo

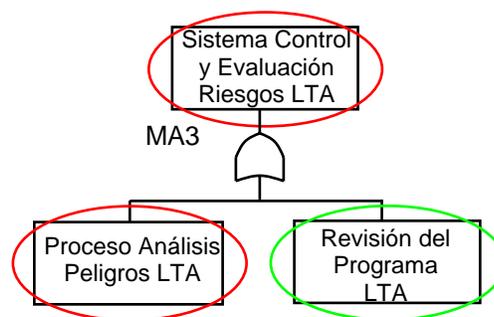
La Figura 4.12 muestra la rama que esta destinada para evaluar los acontecimientos que siguieron a un accidente grave.



**Figura 4.13** Rama M. Factores del Sistema de Gestión LTA. Rojo: indica donde hay problema que contribuye al resultado

La Figura 4.13 muestra la rama que considera el diseño, planeación o el proceso de formulación de políticas que pueden haber contribuido al incidente o accidente y sus consecuencias. MORT asume que todas las cuestiones en la S-rama están vinculadas a las cuestiones en la M-Rama. La relación entre éstas es tal que la M-rama diseña y gobierna a la rama S. El énfasis aquí está en los procesos más que en las personas. Puede haber varios casos donde una función en la rama MORT "M" es la responsabilidad de una persona que no esta pensado como un administrador.

#### 4.2.2.6 Sistema de gestión



**Figura 4.14** Rama MB3. Sistema de Control y Evaluación de Riesgos LTA. Rojo: un problema que contribuye al resultado

La Figura 4.14 muestra la rama que considera la adecuación del proceso de planeación/diseño y el análisis de riesgos que los apoya.

### **4.3 Resumen de los factores causales identificados en el análisis**

Esta sección presenta el resumen de los factores causales identificados por el modelo MORT para los casos de estudio.

#### **4.3.1 Deficiencias/Omisiones en el “Sistema de Control”**

##### **4.3.1.1 Barreras y controles**

1. Exceso de confianza del trabajador(es).
2. El trabajador tenía que llevar a cabo su actividad; sin embargo no tenía que llevar a cabo su actividad sobre las tuberías. En otras palabras el operador no se apegó a los procedimientos de trabajo.

##### **4.3.1.2 Sistema de información**

3. Deficiencias en el sistema de información. Por ejemplo, la información relacionada con otros incidentes/accidentes similares no estaba disponible para los trabajadores, ya que esta podría ser muy valiosa para el aprendizaje de los mismos.
4. Deficiencias en la comunicación entre los departamentos involucrados en los accidentes. Por ejemplo, se tenía información o lecciones aprendidas otros de incidentes/accidentes similares; sin embargo éstos no fueron comunicados de una manera efectiva a los trabajadores.
5. Inadecuada e insuficiente la difusión de las lecciones aprendidas de los incidentes anteriores ya que los trabajadores siguen cometiendo los mismos errores y los accidentes siguen ocurriendo.
6. No se tiene la certeza de que si se lleva una estadística de los accidentes que han ocurrido en la plataforma y si los trabajadores tienen acceso a dicha información.

##### **4.3.1.3 Supervisión y desempeño del personal**

8. Deficiencias en el desempeño del supervisor en turno, así como del sistema de control del proceso/trabajo.

9. Deficiencias en el entrenamiento de los supervisores y trabajadores. Por ejemplo, el supervisor no se percató de cómo los operadores realizaban sus actividades.
10. No hay evidencia de que se haya llevado a cabo un análisis de riesgos para este tipo de actividades. Por otro lado, si es que se llevó a cabo dicho análisis no fue hecho correctamente ya que no consideró este riesgo.
11. El esfuerzo dirigido a la evaluación de riesgos de las tareas específicas de los trabajadores no fue realizada. No se encontró evidencia de que este análisis fue llevado a cabo.
12. El supervisor no monitoreó adecuadamente a sus trabajadores; por ejemplo hay evidencia de incidentes/accidentes similares que han ocurrido en el pasado; sin embargo las lecciones no fueron aprendidas.
13. No hay evidencia de un control interno y supervisión de los riesgos.
14. No hay controles independientes de supervisión.

#### **4.3.1.4 Apoyo a la supervisión**

15. Deficiencias en el sistema de apoyo a los supervisores. Como se comentó en las secciones anteriores en esta plataforma ha habido muchos otros incidentes/accidentes similares. Sin embargo, las prácticas de supervisión no han cambiado siguen siendo las mismas.
16. Falta de apoyo por parte del Departamento de Recursos Humanos (DRH). Por ejemplo, el DRH no cubre las plazas de los supervisores que se ausentan en el trabajo.
17. Deficiencias en el sistema de monitoreo o supervisión de los supervisores. Por ejemplo, el supervisor involucrado en uno de estos accidentes es el hecho de que no tuvo la guardia completa en la noche del accidente.

#### **4.3.1.5 Barreras**

18. Los procedimientos de trabajo no se usaron correctamente por parte del trabajador.
19. Deficiencias en la capacitación del trabajador ya que ignoró el procedimiento de trabajo, incurriendo así en un exceso de confianza.

#### **4.1.2 Deficiencias/Omisiones en el “Sistema de Gestión”**

20. La línea de responsabilidad no tuvo el desempeño adecuado ya que el supervisor en turno cuando ocurrió el accidente no tuvo la guardia completa y no hubo un persona de relevo para este tipo de escenarios.
21. Deficiencias en el ‘sistema de gestión de riesgos’ si es que existe, ya que no contempló el análisis de riesgos y peligros para este tipo de actividades.
22. El sistema de gestión de riesgos no tomó en cuenta este tipo de flujo de energía (exceso de confianza) para las operaciones que se lleva a cabo en este tipo de instalaciones.

#### **4.4 Conclusiones del capítulo**

En este capítulo se abordó la etapa de “Análisis” de la metodología planteada en el capítulo 2 para el caso de investigación. En general, los resultados obtenidos al aplicar el modelo MORT en el análisis de los casos de estudio muestran que las causas de estos accidentes son múltiples. El siguiente capítulo presenta la discusión y las conclusiones de este proyecto de tesis.

# Capítulo 5

---

---

## Discusión, Conclusiones y Futuro Trabajo

En este último capítulo se presentan la discusión de los resultados y las principales conclusiones del trabajo realizado en este proyecto de investigación. La sección 5.1 contiene una breve discusión del estudio. Las conclusiones se exponen en la sección 5.2. Finalmente, el futuro trabajo se plantea en la sección 5.4.

### 5.1 Discusión

#### 5.1.1 Prevención de accidentes

Como se mencionó en el Capítulo 1 (ver secciones 1.3.1 y 1.3.2) el trabajo que se lleva a cabo en plataformas marinas es muy peligroso en todo momento, esto es tanto en el puesto de trabajo como fuera de él. Por ejemplo, algunos trabajadores han descrito problemas de insomnio, que pueden agravarse por altos niveles de vibración y ruido. Además, mientras se realizan actividades, por ejemplo, de perforación y producción pueden sufrirse lesiones por muchas causas, como resbalones y caídas, manipulación de tubos, elevación de tuberías y equipos, uso inadecuado de herramientas y manipulación incorrecta de explosivos. Se pueden producir quemaduras por vapor, fuego, ácido o lodo que contenga sustancias químicas, como el hidróxido sódico. La exposición al petróleo crudo y a productos químicos puede provocar dermatitis y lesiones de la piel. Por lo consiguiente, prevenir dichos incidentes o accidentes es uno de los principales retos que tiene cualquier organización involucrada en las actividades relacionadas con la exploración y producción de petróleo y gas.

En general, las consecuencias de incidentes y accidentes son muchas como por ejemplo: pérdidas de producción, daños materiales, daños a los trabajadores, daños al medio ambiente, multas, retraso en las operaciones, entre otras.

De lo anterior surgen las siguientes preguntas:

*¿Para qué investigar los incidentes y accidentes?*

*¿Se pueden prevenir los incidentes y accidentes?*

A continuación se discute cada una de ellas.

a) *¿Para qué investigar los incidentes y accidentes?*

Como se mencionó anteriormente, la importancia de investigar y analizar incidentes y accidentes es aprender de ellos y así prevenir eventos similares en el futuro. Lo anterior trae muchos beneficios tales como: la mejora del desempeño de las organizaciones, incrementar la confianza de los trabajadores, crear una cultura positiva de seguridad, contribuir a la continuidad de la operación, entre otros.

b) *¿Se pueden prevenir los incidentes y accidentes?*

Este trabajo de tesis argumenta que si es posible prevenir dichos eventos. Tal y como se argumentó en el Capítulo 2:

*“Después de un análisis detallado de la mayoría de estos eventos (incidentes y accidentes) y la reflexión acerca de ellos, dos aspectos resultan obvios: el primero, es que todos ellos tienen factores causales múltiples”*

Lo anterior ha sido demostrado con los factores causales identificados en el presente estudio que se resumen en el Capítulo 4.

*“... y el segundo, es que la mayoría son evitables. Hay muchas razones del por qué no se evitan; pero la razón principal es la incapacidad de las personas y organizaciones de aprender de los errores.”*

### **5.1.2 MORT vs. Método Tradicional (MT)**

En el Capítulo 4 se han presentado los resultados del análisis empleando el modelo MORT. Se puede observar que se han identificado factores causales múltiples. Por otro lado, el método tradicional (MT) implantado en las plataformas marinas de los casos de estudio presenta ciertas limitaciones en el análisis de accidentes. El MT ha sido definido como una metodología que sirve para identificar factores causales relacionados con factores raíz; es decir el MT trata de encontrar las “Causas Raíz” de incidentes y/o accidentes. Tal y como su nombre lo indica, la metodología que se sigue es hacerse la pregunta ¿Porqué?, o ¿Cómo pudo pasar?, el evento que se está analizando, hasta encontrar las “Causas Raíz” de dicho evento.

Sin embargo, se puede argumentar que cualquier incidente y/o accidentes NO tienen una causa única o “Causas Raíz”, pero las causas son múltiples. Esto es, las causas de incidentes y accidentes tienen causas múltiples y para prevenir dichos eventos NO es suficiente investigar causas raíces pero encontrar los factores causales múltiples que conducen a los mismos.

Dado lo anterior, el presente trabajo de tesis presenta una alternativa complementaria a las limitaciones del MT. Este proyecto de investigación sostiene la tesis de que es de vital importancia entender la anatomía de los incidentes y accidentes desde esta perspectiva si es que el objetivo es prevenir su recurrencia en el futuro.

## **5.2 Conclusiones**

### **5.2.1 Conclusiones de la tesis**

El objetivo general y los objetivos específicos planteados para este proyecto de tesis han sido cumplidos satisfactoriamente.

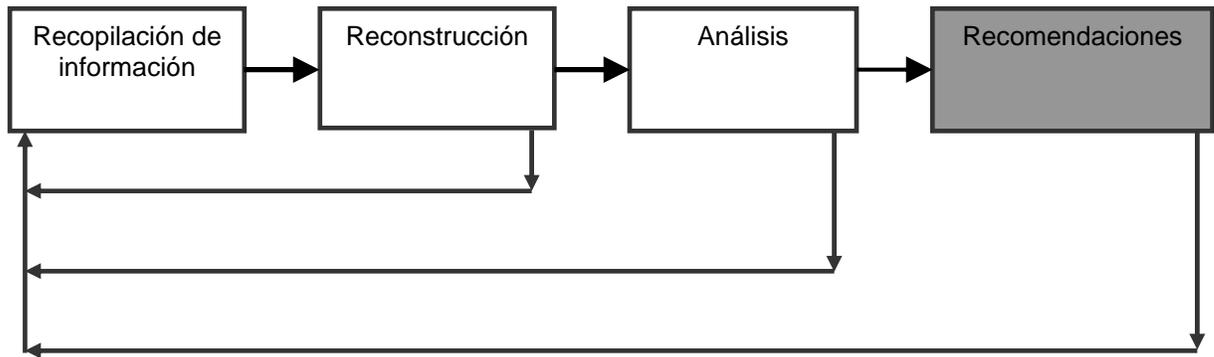
### **5.2.2 Conclusiones acerca del modelo MORT en el caso de aplicación**

El modelo MORT ha identificado un número de factores causales que contribuyeron a los accidentes que se analizaron en este trabajo de tesis. De lo anterior se puede concluir que la aplicación del modelo MORT fue satisfactorio.

### 5.3 Futuro trabajo

A continuación se plantea en breve el futuro trabajo:

1. identificar otros “flujos de energía” que pueden ser relevante para los dos casos de estudio. Esto permitiría encontrar otros factores causales relevantes.
2. La etapa de “Recomendaciones” de la metodología planteada para el análisis de accidentes descrita en el Capítulo 2 tiene que ser llevada a cabo como futuro trabajo. Tal y como se muestra en la Figura 5.1, es necesario llevar varios procesos de retroalimentación antes de llegar a esta etapa. Por ejemplo, identificar otros dos flujos de energía y recabar más información de dichos accidentes para tener un análisis completo de los casos de estudio.



**Figura 5.1** Etapa de “Recomendaciones” de la metodología de análisis de accidentes.

# Referencias

---

---

- Andreas, W. (1999). Wake up call. *The Scotsman*, May 22, 1-2.
- Anjana, A. (1997). Accidents and the human factor. *The Times*, Jan 27, 17.
- ASOUNS. (2006). Accident statistics for offshore units in the North Sea 1980 – 2005. DNV, UK.
- Bayraktar, B. A., Muller-Merbach, H., Roberts, J. E. & Simpsons, M. G. (Eds). (1979). *Education in systems Science*, Londres: Taylor & Francis.
- Beard, A.N., Thompson, P., Santos-Reyes, J., & Goodwin, J. (2005). Risk assessment and safety management module. H-W University, Edinburgh, UK.
- Bertalanffy, I., Von. (1981). *A systems view of man: collected essays*. Violette, P.A. (ed). Boulder, Co:Westview Press, 198.
- Black, D. (1989). The human element at the core of disaster. *The independent*, 20 March.
- Checkland, P. B. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester, Wiley.
- Checkland, P. B. (1995). *Systems Thinking, System Practice*. John Wiley and Sons.
- Checkland, P. B. and Scholes, J. (1990). *Soft Systems Methodology in Action*. Chichester, Wiley.
- DOE. (2008). Department of Energy (DOE) Guideline Root Cause Analysis Guidance Document, Nuclear Energy and Office of Nuclear Safety Policy and Standards, Washington DC, USA.
- Duck, BW. (1983). Petróleo, extracción y transporte marítimo. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT.
- Emery, F. E. (Ed). (1981). *Systems Thinking (2 vols)*. Harmondsworth: Penguin.
- Ferry, T. S. (1998). *Modern accident investigation and analysis*. Wylie.
- Flood, R. L. (2001). *The relationship of “Systems Thinking” to Action Research*”, Handbook of Action Research- Participative Inquiry & Practice, Edited by Peter Reason & Hilary Bradbury, Sage.
- Forrester, J.W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, MA:MIT Press. USA.
- Ghosh, P.K. (1983). Petróleo, plataformas marinas. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT: 1559-1563.
- Grabowski, M., Roberts, K. H. (1996). Human and organizational error in large scale systems. *IEEE Trans Systems man Cybernet Part A; Systems Humans*, 26 (1), 2-16.
- Jensen, H. J. (1998). Self organized criticality. Cambridge Lecture Notes in Physics. Cambridge University Press.
- Johnson, W.G. (1980). MORT Safety Assurance Systems, Marcel Dekker, New York, USA,
- Kim, D. H. (1993). *Systems Archetypes: Diagnosing systemic issues and designing high leverage interventions*. Cambridge, MA: Pegasus Communications. USA.

- Kraus, B.W. (1998). Prospección, perforación y producción de petróleo y gas natural- Petróleo: prospección y perforación. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, Ginebra: OIT.
- Kunii, O., Akagi, M., and Kita, E. (1995). Health consequences and medical and public health response to the Great Hanshin Awaji Earth-quake in Japan: A case study in disaster planning, *Medicine and Global Survival*, No. 2, pp. 32–45.
- Lekberg, A. K. (1997). Different approaches to incident investigation: how the analyst makes the difference. In S. Smith and B. Lewis (eds.) *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Systems Safety Conference*, 178-193, USA.
- Martin, J. and Siehl, C. (1990). Organizational culture and counterculture: an uneasy symbiosis. In Sypher, B. D. (Ed) *Case studies in organizational communication*, the Gilford Press, New York.
- Montillier, J. (1983). Perforación, petróleo y agua. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, 3ª edición. Ginebra: OIT.
- Mossink, Jos. (2002). *Inventory of socioeconomic costs of work accidents*. Topic Centre on Research — Work and Health: TNO Work and Employment, the Netherlands In cooperation with: Marc de Greef, Prevent, Belgium
- Muñoz, P. (2008). Instalan deudos de Pasta de Conchos plantón en el D.F., *La Jornada*, 11-02-2008.
- Pemex. (2009a). Acerca de Pemex. <http://www.pemex.com/index.cfm?action=content&sectionID=1>. (Fecha de acceso: Febrero 2009).
- Pemex. (2009b). Pemex Exploración y Producción (PEP). <http://www.pep.pemex.com/>. (Fecha de acceso: Febrero 2009).
- Pemex. (2009c). Anuario Estadístico 2006-Plataformas marinas. <http://www.pep.pemex.com/AnuEst2006/index.htm> . (Fecha de acceso: Febrero 2009).
- Pemex. (2009d). Historia de Pemex. <http://www.pemex.com/index.cfm?action=content&sectionID=1&catID=10004>. (Fecha de acceso: Febrero 2009).
- Perrow, C. (1984). *Normal accidents: living with high risk technologies*. New York: Basic Books.
- Reporte. (2008a). Reporte técnico del accidente personal ocurrido el día 11 de febrero del 2008 en la plataforma “X”.
- Reporte. (2008b). Reporte técnico del accidente personal ocurrido el día 9 de abril del 2008 en la plataforma “Y”.
- Rogers, W. P. (1986). *Report of the presidential commission on the space shuttle challenger accident*, US Government Printing Office, Washington DC, US.
- SRWE. (2007). Statistical review of world energy 2007. BP-SRWE, UK.
- US-Chemical Safety & Hazard Investigation Board. (2007). *Investigation report-refinery explosion and fire*, Texas, US.
- Van Vuuren, W. (2000). Organizational Failure: An Exploratory Study in the Steel Industry and the Medical Domain, PhD Thesis, Institute for Business Engineering and Technology Application, The Netherlands.

# Anexo - A

---

---

## Breve Historia del Petróleo

### **A1. ¿Cuál es el origen del petróleo?**

No se sabe exactamente como se formó el petróleo en el subsuelo. Las teorías de su origen se siguen discutiendo hasta la fecha. Varios químicos famosos, entre ellos el ruso, Mijail Basilivich Lomonosov (1711 - 1865) en 1745; el francés, Marcelin Pierre Eugene Berthelot (1827 - 1907) en 1866; el ruso, Dimitri Ivanovich Mendeleiev (1834 - 1907) en 1877 y el francés Paul Sabatier (1854 - 1941) en 1902, defendieron el origen del mineral. Otros investigadores se inclinan por el origen orgánico, sosteniendo que proviene de la descomposición de residuos animales y vegetales que se han transformado en aceite. Este origen se demuestra al comprobarse que los terrenos en los que se ha formado, no han estado nunca a una temperatura superior a 38 grados Centígrados, descartando la teoría del origen mineral, ya que la obtención a partir de carburos metálicos requiere temperaturas mucho más elevadas.

Estudios recientes hechos en laboratorio y analizando rocas petrolíferas de campos productores, parecen confirmar un origen orgánico, ya que se han encontrado en ellas, ciertas propiedades ópticas, que solo se localizan en las sustancias en el petróleo, solo puede proceder de materiales orgánicos.

También nos puede confirmar el origen orgánico, el hecho de que la mayor parte de los yacimientos en el mundo se localiza en lugares que fueron ocupados por lagos y mares hace millones de años.

### **A2. Características del petróleo**

Se encuentran en el subsuelo, impregnado en formaciones de tipo arenoso o calcáreo; asume los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso, dependiendo de la composición, temperatura y presión a que se encuentra. Su color es variable entre ámbar y el negro; su densidad es menor que la del agua. En estado gaseoso es inodoro, incoloro e insípido, por lo que como medida de seguridad se le mezcla un mercaptano (compuesto sulfuroso), para detectar su presencia y evitar intoxicaciones; puede hallarse solo o mezclado con el petróleo líquido dentro de un mismo yacimiento. En el subsuelo, se encuentra generalmente flotando encima de una capa de agua, hallándose en la parte superior una de gas.

El petróleo no se encuentra distribuido uniformemente en las capas del subsuelo, es necesario que concurren cuatro condiciones para dar lugar a un yacimiento donde se acumule el petróleo y el gas:

1. Una roca almacenadota, que debe ser permeable, en formal tal, que bajo presión, el petróleo pueda moverse a través de sus poros de tamaño microscópico.
2. Una roca impermeable, que evitará que el petróleo escape hacia la superficie.
3. El yacimiento debe tener forma de “trampa”, es decir, que las rocas impermeables se encuentran flexionadas en tal forma que el petróleo no pueda moverse hacia los lados.
4. Deben existir rocas generadoras, que se hayan convertido en petróleo por el efecto de la presión y la temperatura.

Las rocas almacenadota en que se ha encontrado petróleo, son de muy diversas edades geológicas. En el siguiente cuadro se muestra la edad geológica de las rocas productoras en algunos países.

**Tabla A.1 Eras geológicas y el petróleo**

<b>Era</b>	<b>Edad</b>	<b>País</b>
CENOZOICA	TERCIARIO	Estados Unidos, Venezuela, Rusia, Irán, Irak, México, Francia, Rumania, Ecuador, Perú, Colombia, Trinidad.
MESOZOICO	CRETACIO	Estados Unidos, Medio Oriente, México, Alemania, Rusia, Egipto, Argentina.
	JURASICO	Estados Unidos, Rusia, México, Alemania.
	TRIASICO	Alemania
PALEOZOICO	PERMICO	Estados Unidos, Rusia, Alemania.
	CARBONIFERO	Estados Unidos, Rusia, Canadá.
	DEVONIANO	Estados Unidos, Rusia, Canadá.
	SILURICO	Estados Unidos.
	ORDOVICICO	Estados Unidos.
	CAMBRICO	Estados Unidos.

# Anexo - B

---

---

## Exploración, Perforación, y Extracción

### **B1. Exploración**

Se entiende por exploración petrolera, el conjunto de actividades, de campo y de oficina, cuyo objetivo principal es descubrir nuevos depósitos de hidrocarburos o nuevas extensiones de los ya existentes. Los volúmenes de petróleo y gas natural que pueden ser extraídos de los yacimientos, y cuya existencia esté comprobada por la perforación de pozos, constituyen las reservas probadas. Todas las compañías petroleras del mundo, destinan una gran parte de sus recursos técnicos y económicos a la exploración con miras a incrementar sus reservas.

Las primeras exploraciones en busca de hidrocarburos carecían de bases científicas, siendo su objetivo el encontrar manifestaciones superficiales del petróleo, tales como chapopoterías. Posteriormente, la técnica exploratoria consistía de perforar pozos de cateo, siguiendo las tendencias marcadas por los pozos productores, con el resultado de que muchos pozos se localizaban al azar. En el período de 1910 a 1920, la industria comenzó a utilizar los servicios de los geólogos, quienes con mayores conocimientos de las relaciones existentes entre las condiciones superficiales y del subsuelo, podían determinar con mayores posibilidades de éxito, los lugares en que debían perforarse los pozos, basándose en la exploración geológica superficial.

Numerosos campos fueron descubiertos como frutos de esta clase de exploraciones, pero pronto la experiencia demostró la existencia de yacimientos a mayores profundidades, no teniéndose evidencias superficiales de ellos. En la actualidad, se extrae petróleo de profundidades de casi 7,000 metros.

En el año de 1920, hicieron su aparición en la industria petrolera los métodos geofísicos de exploración, técnicas que pueden determinar las condiciones de las capas profundas del subsuelo, mediante ciertas mediciones que se hacen desde la superficie o dentro de los pozos que se perforan.

A la fecha, estos métodos han demostrado ser sumamente valiosos en la búsqueda de los hidrocarburos, cuyos resultados, interpretados adecuadamente con criterios geológicos, han dado lugar al descubrimiento de casi 80 por ciento de las reservas actuales del mundo.

No obstante los adelantos logrados en las técnicas exploratorias, todavía no se cuenta con un método directo capaz de definir con exactitud la existencia de los hidrocarburos, ya que todos los métodos de exploración, sólo dan indicaciones sobre las características de las capas del subsuelo.

La exploración petrolera actual puede dividirse en varias etapas:

- a).- Trabajos de reconocimiento;
- b).- Trabajos de detalle;
- c).- Estudios para la localización de los pozos exploratorios; y
- d).- Análisis de los resultados obtenidos para programar la perforación de nuevos pozos.

Los trabajos de reconocimiento, tienen por finalidad el estudio de las condiciones geológicas de un área, para estimar sus posibilidades de contener hidrocarburos en su subsuelo, incluyendo exploraciones fotogeológicas, de geología superficial y estudios geofísicos de gravimetría y magnetometría.

Los trabajos de detalle se realizan en áreas seleccionadas, que tengan las mayores, tratando de definir los lugares donde las capas del subsuelo presenten características apropiadas para la acumulación del petróleo. El método más valioso para este tipo de trabajo, es la exploración sismológica. Toda la información obtenida en las exploraciones geológicas y geofísicas, es analizada cuidadosamente, interviniendo numerosos técnicos, cuya experiencia y conocimientos permiten localizar los lugares donde deben perforarse los pozos exploratorios.

Durante la perforación de los pozos de cateo, geólogos y paleontólogos estudian las muestras de rocas cortadas por el pozo, haciendo periódicamente mediciones eléctricas dentro del mismo. Los resultados de estos estudios, definen las capas del subsuelo que contienen hidrocarburos y de las cuales puede extraerse el petróleo.

No obstante contar con estos modernos métodos que permiten realizar minuciosos trabajos exploratorios antes y durante la perforación del pozo, no siempre conducen a descubrir un yacimiento, a pesar de

existir condiciones geológicas propicias para la acumulación del petróleo, por lo que la exploración se lleva a cabo en forma tenaz, estudiando nuevas áreas y revisando constantemente la información obtenida.

En nuestro país se conoce como país petrolero desde el año 1901, en que se encontró la primera producción comercial. Durante el período de 1915 a 1924, fue considerado entre los países productores más importantes del mundo, gracias a las grandes producciones de petróleo del distrito Ebano Pánuco y a la vieja Faja de Oro; a la que se le atribuyeron “reservas fabulosas”.

La exploración petrolera en nuestro país, se inició en forma incipiente a partir de 1900, haciéndose en forma sistemática y organizada a partir de 1942. En el período de 1901 a 1969, se han producido 2,576,657,246 barriles de petróleo crudo, contando con reservas totales de hidrocarburos incluyendo crudo, líquidos de absorción, condensados y gas convertido a líquido de 5,570 millones de barriles al 31 de diciembre de 1969. Estas reservas amparan el consumo de crudo y líquidos de absorción por 22 años y las de gas por 23.7 años. En la actualidad, se emplea todas las técnicas exploratorias geológicas y geofísicas de valor reconocido.

Desde el punto de vista petrolero, no todo nuestro territorio presenta condiciones geológicas apropiadas para la acumulación de hidrocarburos. La región conocida con mayores posibilidades, y donde se encuentran los distritos productores, es la llanura costera del golfo de México, desde las estribaciones de la sierra madre Oriental en el Noreste, hasta la Península de Yucatán, sobre los estados de Nuevo León, Tamaulipas, parte oriental de San Luis Potosí, Veracruz, Tabasco, Campeche y la península ya citada.

En las zonas costeras sumergidas dentro de las aguas del golfo de México, los recientes descubrimientos de los campos de Arenque y la Faja de Oro Marina, así como los datos exploratorios obtenidos frente a las costas, colocan a la plataforma continental del Golfo de México como provincia petrolera de primer orden, que en el futuro aportará sustanciales nuevas reservas. Otras regiones con características geológicas apropiadas, pero donde los estudios exploratorios todavía no han definidos sus posibilidades, son la cuenca de Chihuahua y la plataforma continental del Estado de Chiapas, en el Océano Pacífico. Entre las regiones de interés petrolero donde se han realizados trabajos exploratorios preliminares, se encuentran otras provincias en el norte de la República, en la parte central del altiplano, en Oaxaca y Chiapas, y en Baja California y la costa de Sonora.

## **B2. Perforación**

La finalidad principal de las actividades de explotación consiste de desarrollar un campo petrolero, con base en los trabajos de exploración iniciales, que han proporcionado la seguridad de que existen hidrocarburos a determinada profundidad. En el desarrollo de este campo se deben tomar en cuenta los siguientes factores:

1. Dimensión de la estructura, tomada en forma aproximada.
2. Espesor del estrato productor.
3. Posibilidades de producción, de acuerdo con los resultados obtenidos en los pozos exploratorios.
4. Número de localizaciones que pueden perforarse.
5. Análisis económico de la cantidad de equipos de perforación que deberán operar para desarrollar el campo.
6. Construcción de caminos de acceso.
7. Condiciones de habitabilidad. El nuevo campo puede depender de otro ya establecido o dichas facilidades de habitación pueden encontrarse en un poblado o ciudad cercanos.
8. Aprovechamiento de agua y combustible. En ocasiones puede utilizarse como combustible el gas de los mismos pozos o el crudo que estos producen.
9. Construcción de bodegas de almacenamiento para materiales y equipo.
10. Perforación de los pozos de explotación o desarrollo. La técnica seguida en éstos es muy semejante a la del pozo de exploración pero ahora el objetivo ya es bien definido: producir.
11. Construcción de las líneas de descargas y de baterías para la separación de los hidrocarburos (gas y aceite).
12. Construcción de las líneas colectoras de gas y aceite.
13. Construcción de tanques de medición y almacenamiento.
14. Construcción de plantas de bombeo para dar salidas a los hidrocarburos a los centros de consumo o de transformación (refinerías).

### **B.2.1. Fases de la perforación de un pozo en desarrollo**

Una vez que se ha aprobado la localización de un pozo, se construye el camino de acceso, se transportan materiales, el equipo y comienza la perforación del mismo. Estas actividades se desarrollan en forma

continua y por lo tanto se laboran las veinticuatro horas del día, desde la iniciación del pozo hasta su terminación –a menos de que por causas fortuitas éstas deban suspenderse-, siguiendo un programa de perforación previamente aprobadas por los departamentos de ingeniería petrolera y de perforación.

El sistema utilizando para este trabajo es la perforación rotatoria; antes se utilizaban otros, pero se suspendieron por ser un poco prácticos, ya que estaban basados en técnicas anticuadas. Cada pozo es atendido por cuatro cuadrillas de trabajadores, una para cada turno de ocho horas, y la cuarta para relevo de operaciones; cada cuadrilla se compone de:

- 1 Perforador
- 1 Ayudante de perforador
- 1 Ayudante de perforación (“chango”)
- 3 Ayudantes de perforación piso (rotatoria)
- 1 Operario de combustión interna.

En el citado programa de perforación, como puntos principales están indicados los siguientes: La profundidad del pozo y las tuberías de revestimiento que han de cementarse (generalmente tres: Una superficial de 13 3/8; una intermedia de 9 5/8 y una final de 6 5/8 pulgadas de diámetro); para alojar estas tuberías deberá perforarse primeramente hasta determinada profundidad con barrenas de 17 pulgadas, después con barrenas de 12 ¼ pulgadas y, por último, con barrenas de 8 5/8 pulgadas. Durante la perforación y si el caso lo amerita, deberán tomarse muestras cortando núcleos de la formación. Antes de cementar las tuberías se acostumbra tomar los registros eléctricos que dan la información la información sobre el espesor de los estratos productores y posibilidad de producción de los mismos, así como las profundidades convenientes para cementar las tuberías a que se ha hecho referencia.

Una vez cementada la última tubería de ademe y probada con presión se procede a poner el pozo en explotación para lo cual es normal que se utilice la técnica de terminación permanente que a grandes rasgos consiste en lo siguiente: se llena el pozo de agua; se mete la tubería de producción; se instala el árbol de válvulas; se introducen las cargas explosivas y se hacen explotar frente a la roca que contiene hidrocarburo y por último se abre el pozo para que fluya por sí mismo, en caso de que esto no suceda se le sondea. Por último ya que el pozo está produciendo se conecta a la tubería de descarga para conducir los hidrocarburos a la tubería de separación que segrega el aceite del gas, los cuales son conducidos separadamente por oleoductos y gasoductos.

## **B.2.2 Descripción general de las operaciones de perforación de pozos**

En el sistema de perforación rotatorio, se perfora un agujero haciendo girar una barrena a la cual también se le aplica una fuerza de compresión. La barrena está conectada y se hace girar por la sarta de perforación, compuesta de tubería de perforación de acero de alta calidad y de lastre-barrena, tubos de acero de paredes muy gruesas, cuya función es proporcionar la carga de compresión en la barrena, permitiendo que la tubería de perforación más ligera permanezca en tensión; a medida que se profundiza el pozo, se van agregando nuevos tramos de tubería de perforación. Los cortes o pedazos de formación que arranca la barrena son levantados por el fluido de perforación (lodo), que circula hacia abajo por el interior de la tubería de perforación sale a través de los orificios o toberas de la barrena y regresa a la superficie por el espacio anular, comprendido entre las paredes del pozo y la tubería de perforación. En la superficie el fluido (lodo), que sale del pozo, se hace a través de un cedazo o tamiz vibratorio, donde se eliminan los pedazos de formación; de ahí pasa a las presas, que generalmente son tres, donde se da el tratamiento necesario al fluido. De la última presa succionan el lodo de las bombas y se repite el ciclo, bombeando a través del tubo vertical, de la manguera rotatoria, y de la unión giratoria, al interior de la tubería de perforación.

Periódicamente se saca del pozo la sarta de perforación para cambiar la barrena por otra nueva. La tubería de perforación se sacan en ligadas de tres tubos cada una; éstas son acomodadas en el piso de la torre por los ayudantes de piso y en la parte superior, hace la misma operación el ayudante de perforación (“chango”).

La torre o mástil, proporciona el claro vertical para bajar o subir la sarta de perforación, al meterla o sacarla del pozo durante las operaciones de perforación; debe tener la resistencia y la altura suficiente para efectuar estas operaciones de una forma segura y expedita. Las capacidades de carga de estas torres o mástiles, varían aproximadamente de 45 a 700 toneladas, empleándose las más ligeras para perforar pozos someros y las más resistentes para pozos profundos.

La subestructura es, como su nombre implica, el soporte en el que la torre descansa; debe resistir las cargas previstas con un factor de seguridad conveniente; ser de altura suficiente para permitir la colocación y acceso de los preventores (válvulas), empleados para cerrar el pozo en caso de emergencia.

El malacate, es una de las partes principales del equipo de perforación; tiene las siguientes funciones: Es el centro de control desde donde el perforador opera el equipo; contiene los embragues, cadenas,

engranes, aceleradores de las máquinas, y otros mecanismos que permiten dirigir la potencia de los motores a la operación particular que se desarrolla; y, contiene un tambor que recoge o alimenta el cable de perforación, para subir la polea viajera, según la operación. La potencia necesaria para las maniobras proporcionan los motores, que pueden ser de combustión interna o eléctricos de corriente directa, dan la potencia para mover los compresores de aire; las bombas de lodo, empleadas para hacer circular el lodo de perforación, son normalmente de pistones, de doble acción, tipo duplex (de dos pistones). Las bombas de pistón tienen las siguientes ventajas:

- a).- Capacidad para manejar fluidos que contengan alto por ciento de sólidos, algunos de ellos abrasivos;
- b).- Válvulas con dispositivos para permitir el paso de reactivos para el lodo, de tamaño determinado;
- c).- Sencillez de operación y de mantenimiento; las camisas, pistones y las válvulas pueden ser cambiados por el personal de equipo; y
- d).- Amplia variación del volumen y de la presión disponible.

La flecha, es siempre la conexión superior de la sarta de perforación; comúnmente es un tubo de sección cuadrada, pero puede ser hexagonal u octagonal; pasa por los bujes ajustados en la mesa rotatoria, que permiten que el movimiento giratorio de esta mesa se transmita a toda la sarta de perforación, siendo esta su primordial función.

### ***B.2.2.1 Revestimiento del pozo***

Durante el curso de la perforación, es necesario revestir o ademar el pozo a diferentes intervalos, empleando para ello tuberías de acero de la longitud y diámetro requerido, las cuales se cementan dentro del agujero perforado. El número y el diámetro de las tuberías de revestimiento varían de acuerdo con las diferentes áreas perforadas, con las profundidades con las características productoras del pozo. Generalmente se ademan tres tuberías de diferentes diámetros en un pozo, denominándose a la de mayor diámetro tubería superficial y de control, a la siguiente tubería de revestimiento intermedia y a la de menor diámetro y de mayor profundidad tubería productora.

Cada tubería de revestimiento se fija en su lugar con una lechada de cemento que se bombea por el interior de la tubería de ademe y sube por el espacio anular, en cantidad predeterminada, según el volumen del espacio anular y la altura a la que se desea que suba el cemento; se deja en reposo durante varias horas para que fragüe, antes de seguir la perforación u otras operaciones. Las funciones generales de una tubería de revestimiento son:

- a).- Proporcionar un agujero de diámetro conocido a través del cual puedan efectuarse las operaciones subsecuentes de perforación, terminación y producción;
- b).- Permitir aislar las formaciones entre sí detrás del ademe, para evitar flujos de una formación a otra y permitir obtener producción de una zona específica;
- c).- El cemento proporciona soporte adicional a la tubería de ademe; evita que las presiones de los fluidos de las formaciones actúen sobre el ademe y retarda la corrosión al disminuir el contacto del ademe con el agua corrosiva de las formaciones; y
- d).- El ademe proporciona un soporte adecuado para las válvulas y conexiones en la superficie, necesarias para el control y manejo del aceite o gas producido.

El trabajo de cementación se efectúa en la siguiente forma: El cemento en sacos o a granel en tanques, se vacía a un embudo donde se mezcla con agua que sale a presión de una boquilla de la parte inferior del embudo; la lechada resultante se bombea desde un camión denominado camión cementador, que tiene instaladas bombas de alta presión, hacia el interior de las tuberías de ademe. Una vez que se ha bombeado el cemento, separándolo del lodo por medio de tapones que limpian las paredes del ademe, previamente colocados en el sistema, en una cabeza de cementación, la lechada del cemento y los tapones se desplazan bombeando lodo de perforación. Cuando el tapón inferior llega a la parte de la tubería de ademe, donde se coloca previamente un cople retenedor, que aumentará la presión de bombeo, este rompe el diafragma de dicho tapón y permite continuar desplazando la mezcla al espacio anular; cuando el tapón superior llega al cople retenedor se incrementa la presión considerablemente, indicando que la operación se ha terminado y se deja en reposo el tiempo necesario para que fragüe. En la superficie se le instalan las conexiones de control que requiere cada tubería y posteriormente, con una barrena, se perforan los tapones, continuando con las operaciones de perforación.

### **B.2.2.2 Pruebas de formación**

Durante el curso de la perforación, es necesario en ocasiones verificar la presencia o ausencia de hidrocarburos en un intervalo perforado; para ello se utiliza un probador de formaciones que se introduce unido a la tubería de perforación. La prueba de formación es propiamente una terminación temporal del pozo, durante la cual una sección del agujero descubierto se aísla, quitando la presión hidrostática de la columna de lodo de perforación y se deja producir a través de la tubería de perforación.

El probador de formaciones consiste básicamente de lo siguiente:

- a).- Uno o dos elementos empacados de hule que pueden expandirse contra las paredes del pozo para segregar el espacio anular en secciones arriba y abajo del empacador;
- b).- Una válvula que controla el flujo de la tubería de perforación y excluye el lodo durante el viaje al fondo del pozo, permitiendo que los fluidos de la formación entren durante la prueba; y otra que permita igualar las presiones de uno y otro lado del empaque al terminar la prueba de formación;
- c).- Un manómetro.

El elemento empacador de hule se mete al pozo, permitiendo que el lodo desplazado por la sarta de tubería se levante el espacio anular. Cuando llega al fondo, el hule comprime y expande, aislando en esta forma la zona inferior del pozo del resto del agujero. La fuerza de compresión se obtiene “sentado” la tubería en el fondo del pozo, la válvula del probador se abre para que entren los fluidos a la tubería de perforación, que está vacía. Al final de la prueba, se cierra la válvula del probador, se abre la válvula igualadora para establecer la misma presión en ambos lados del hule empacador y se saca la tubería; del interior de ésta se sacan los líquidos que fluyeron de la formación (aceite o agua). Las presiones obtenidas durante la formación, así como la clase y el volumen de líquidos recuperados dentro de la tubería de perforación, son datos útiles para determinar la potencialidad productora del intervalo probado. También pueden probarse intervalos que están ademados con tuberías a través de perforaciones que se hacen con este propósito, que atraviesan la tubería de ademe y el cemento fraguado del espacio anular.

### **B3. Extracción**

La forma en que se extrae el petróleo, está basada en la que utilizó el Coronel Edwin L. Drake, al descubrir y perforar el primer pozo entubado, “Bissel-Drake” el 27 de Agosto de 1859, en la finca propiedad de J.O. Angier, en el arrollo llamado “Oil Creek”, cerca de Titusville, Pennsylvania, USA.

#### **B.3.1 Clasificación de los pozos petroleros**

Los pozos productores de petróleo se clasifican en: fluyentes y de producción artificial o bombeo. Los fluyentes son aquellos en los que el aceite surge del yacimiento al exterior, mediante energía natural, la

que puede ser de empuje hidráulico o de gas. Los de producción artificial o bombeo, son de un sistema de explotación que se aplica cuando la presión no permite que el petróleo fluya por energía natural.

En el pasado los pozos que no fluían por energía propia, eran abandonados, pero según se han ido perfeccionando los sistemas de explotación, se ha tenido una recuperación mayor de petróleo que se encuentra en dichos yacimientos. En la actualidad, cuando un pozo deja de fluir, se le aplican sistemas de explotación artificiales, como el bombeo neumático, mecánico, hidráulico, etc. El sistema secundario de inyectar gas o agua químicamente tratada, ha demostrado que se puede aumentar la recuperación hasta en un 50 por ciento.

Petróleos Mexicanos utiliza los sistemas de bombeo neumático y mecánico en la zona norte y en el distrito de Poza Rica; el de bombeo hidráulico en algunos campos de la zona sur, y se están llevando a cabo nuevas pruebas de producción, instalando bombas eléctricas profundas en pozos del distrito de Poza Rica. En general, se aplican los métodos de explotación secundarias en varios campos del sistema, inyectando agua en los pozos de “Poza Rica” y de “San Andrés” del distrito de Poza Rica; “Tamaulipas-Constituciones” de la zona norte, y “La venta”, Tabasco en la zona sur.

El aceite que producen los pozos es enviados por su propia energía o la que se les promoció artificialmente hasta un primer centro de recolección llamado batería de separadores, en donde se separa mecánicamente el aceite del gas y del agua; se miden y envían a otros centros recolectores de mayor importancia y de ahí a los centros de tratamientos y refinación.

# Anexo - C

---

---

## Principales Yacimientos de petróleo en México

México es el sexto mayor productor de petróleo en el mundo y el décimo en términos de exportación neta al 2007. Los principales yacimientos de petróleo y gas natural en México se localizan en las regiones marina y del sudeste, donde el petróleo y el gas natural están presentes en las mismas formaciones subterráneas. Por esta razón, la principal fuente de gas natural es el gas asociado que se extrae simultáneamente con el petróleo. El sector petrolero es crucial para la economía de México, los ingresos derivados del petróleo constituyen más del 10% de las exportaciones. Petróleos Mexicanos (PEMEX) estima diez años más de vida para los yacimientos petroleros que hoy se explotan.

### **C1. Complejo Cantarell**

El yacimiento petrolero de Cantarell fue descubierto por el pescador Rudesindo Cantarell en 1976, se localiza a 80 kilómetros de la costa, en la Bahía de Campeche. Esta reserva se formó durante la era Cetácea, a partir del impacto del asteroide que creó el Cráter Chicxulub. Este complejo está constituido por los campos Nohoch, Chac, Akal, Kutz, Ixtoc y Sihil. Este yacimiento fue descubierto en 1976, desde el año en que comenzó su explotación en 1979 hasta 2006 ha producido 11,492 millones de barriles de aceite y 4,691 millones de millones de pies cúbicos de gas natural. Este complejo es una ciudad en el mar con todos los servicios que hay en tierra y cuenta en total con 190 pozos. Su producción durante el año 2003 lo colocó como el segundo productor más rápido, detrás del Campo Ghawar en Arabia Saudita. La producción de Cantarell podría disminuir de 2 millones de barriles diarios en 2003 a alrededor de 600 mil barriles en 2009. Este rápido declive es el resultado de mejores técnicas de extracción, las cuales ocasionan una mayor rapidez a expensas de la longevidad del yacimiento. Complejo Cantarell produce dos terceras partes del petróleo de México.

### **C2. Complejo Chicontepec**

También conocido como Paleocanal Chicontepec, es un campo petrolero en el estado de Veracruz. El Paleocanal fue descubierto en 1926 y tiene una superficie de tres mil 815 kilómetros cuadrados. De 1952 al año 2002 se perforaron 951 pozos, de los cuales actualmente operan 102, con una producción de seis mil 800 barriles por día de crudo y 15 millones de pies cúbicos diarios de gas.

## **C1. Complejo KU-MALOOB-ZAAP**

PEMEX Exploración y Producción desarrollará, durante los próximos ocho años, el Proyecto Ku-Maloob-Zaap, en la Sonda de Campeche. El activo Ku-Maloob-Zaap está a aproximadamente a 105 kilómetros de Ciudad del Carmen, frente a los estados de Tabasco y Campeche. PEMEX contempla la perforación de 82 pozos, instalar 17 plataformas y construir 32 ductos. Se estima que en el año 2011 el desarrollo del Proyecto Ku-Maloob-Zaap alcanzará su máximo de producción de crudo Maya, al aportar un total de 800 mil barriles diarios, cifra que contrasta con los 263 mil barriles diarios que se extraen actualmente.

# Anexo - D

---

---

## Breve historia de PEMEX

- 1901: El ingeniero mexicano Ezequiel Ordóñez descubre un yacimiento petrolero llamado *La Pez*, ubicado en el Campo de El Ébano en San Luis Potosí. En ese mismo año el Presidente Porfirio Díaz expide la Ley del Petróleo con la que se logra impulsar la actividad petrolera, otorgando amplias facilidades a los inversionistas extranjeros.
- 1912: A la caída de Porfirio Díaz, el gobierno revolucionario del Presidente Francisco I. Madero expidió, el 3 de junio de ese año, un decreto para establecer un impuesto especial del timbre sobre la producción petrolera y, posteriormente, ordenó que se efectuará un registro de las compañías que operaban en el país, las cuales controlaban el 95 por ciento del negocio.
- 1915: Posteriormente, Venustiano Carranza creó la Comisión Técnica del Petróleo.
- 1917: La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos determina el control directo de la Nación sobre todas las riquezas del subsuelo.
- 1918: E gobierno de Carranza estableció un impuesto sobre los terrenos petroleros y los contratos para ejercer control de la industria y recuperar en algo lo enajenado por Porfirio Díaz, hecho que ocasionó la protesta y resistencia de las empresas extranjeras.
- Con el auge petrolero, las compañías se adueñaron de los terrenos con petróleo. Por ello, el gobierno de Carranza dispuso que todas las compañías petroleras y las personas que se dedicaran a exploración y explotación del petróleo deberían registrarse en la Secretaría de Fomento.
- 1920: Existen en México 80 compañías petroleras productoras y 17 exportadoras, cuyo capital era integrado en un 91.5% anglo-norteamericanos.
- 1921: La segunda década del siglo fue una época de febril actividad petrolera, que tuvo una trayectoria ascendente hasta llegar a una producción de crudo de poco más de 193 millones de barriles, que colocaba a México como segundo productor mundial, gracias al descubrimiento de yacimientos

terrestres de lo que se llamó la "Faja de Oro", al norte del Estado de Veracruz, que se extendían hacia el Estado de Tamaulipas.

Uno de los pozos más espectaculares en los anales de la historia petrolera del mundo fue el "Cerro Azul No. 4", localizado en terrenos de las haciendas de "Toteco" y "Cerro Azul", propiedad de la "Huasteca Petroleum Company", que ha sido uno de los mantos petroleros más productivos a nivel mundial, al obtener una producción -al 31 de diciembre de 1921- de poco más de 57 millones de barriles.

1934: Nace Petróleos de México, A. C., como encargada de fomentar la inversión nacional en la industria petrolera.

1935: Se constituye en Sindicato de Trabajadores Petroleros en la República Mexicana, cuyos antecedentes se remontan a 1915.

1937: Tras una serie de eventos que deterioraron la relación entre trabajadores y empresarios, estalla una huelga en contra de las compañías petroleras extranjeras que paraliza al país, la Junta de Conciliación y Arbitraje falla a favor de los trabajadores, pero las compañías se amparan ante la Suprema Corte de Justicia de la Nación.

1938: La Suprema Corte de Justicia les niega el amparo a las compañías petroleras, obligándolas a conceder demandas laborales. Éstas se niegan a cumplir con el mandato judicial y en consecuencia, el 18 de marzo, el Presidente Lázaro Cárdenas del Río decreta la expropiación a favor de la Nación, declarando la disponibilidad de México para indemnizar a las compañías petroleras el importe de sus inversiones. Posteriormente, el 7 de junio se crea Petróleos Mexicanos como organismo encargado de explotar y administrar los hidrocarburos en beneficio de la nación.

1942: Se firma el primer Contrato Colectivo de Trabajo entre el Sindicato de Trabajadores Petroleros de la República Mexicana.

1962: Se cubre anticipadamente el último abono de la deuda contraída por la expropiación de 1938.

1971: Se expide la Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos. En la década de los 70's se le da además un impulso a la refinación y se experimenta un auge en la industria petrolera, producto del descubrimiento de diversos yacimientos petroleros.

1971: Un pescador campechano, Rudecindo Cantarell informa a PEMEX el descubrimiento de una mancha de aceite que brotaba desde el fondo del mar en la Sonda de Campeche. Ocho años después la producción del pozo Chac marcaría el principio de la explotación de uno de los yacimientos marinos más grandes del mundo: Cantarell.

1979: La perforación del pozo Maalob1 confirma el descubrimiento del segundo yacimiento más importante del país, después de Cantarell. El Activo Ku-Maalob-Zaap es el vigésimo tercero a nivel mundial, en términos de reservas, que equivalen a cuatro mil 786 millones de barriles de crudo.

1992: Se expide una nueva Ley Orgánica de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios donde se establecen los lineamientos básicos para definir las atribuciones de Petróleos Mexicanos en su carácter de órgano descentralizado de la Administración Pública Federal, responsable de la conducción de la industria petrolera nacional.

Esta Ley determina la creación de un órgano Corporativo y cuatro Organismos Subsidiarios, que es la estructura orgánica bajo la cual actual opera actualmente PEMEX. Dichos Organismos son:

- PEMEX Exploración y Producción (PEP)
- PEMEX Refinación (PXR)
- PEMEX Gas y Petroquímica Básica (PGPB)
- PEMEX Petroquímica (PPQ)

2005: Durante los meses de abril, mayo y junio Petróleos Mexicanos produjo un promedio diario de tres millones 425 mil barriles de crudo. De estos exportó un millón 831 mil barriles a sus clientes en América, Europa y el Lejano Oriente. El resto se envió al sistema nacional de refinación.

2006: Petróleos Mexicanos se ha convertido en la empresa más grande de México y una de las petroleras más grandes del mundo, tanto en términos de activos como de sus ingresos.

2006: PEMEX lanza al mercado nacional la gasolina Premium *Ultra Bajo Azufre*.

2007: Petróleos Mexicanos continúa intensificando su actividad exploratoria en diversos puntos del país y en la plataforma continental.

2007: Se trabaja en la reconfiguración de la refinería Lázaro Cárdenas, la más antigua del sistema nacional de refinación. Impulsa la recuperación de la industria petroquímica nacional y busca incrementar la producción de gas, para satisfacer la demanda del mercado doméstico y así, reducir las importaciones de este energético.