

## ESTRATEGIA DE PEMEX PARA LA EXTRACCIÓN DE HIDROCARBUROS

*Nelda J. Gámez-treviño<sup>1</sup> y Manuel R. Piña-Monarrez<sup>2</sup>*

COMIMSA. Blvd. Oceanía No. 190, Fracc. Saltillo 400  
C.P. 25290, Saltillo, Coah., Mexico.

Ph (844) 411-3200 Ext. 1217 | Fx (844) 416-9346

autores e-mail: [neldagamez@comimsa.com](mailto:neldagamez@comimsa.com); [manuelp@comimsa.com](mailto:manuelp@comimsa.com)

### RESUMEN

La exploración, perforación y explotación de nuevos yacimientos de hidrocarburos, se realizan tanto en la superficie como en las profundidades. En nuestro país a principios de 1993, se comenzó la exploración en costa afuera (plataformas marítimas fijas), extrayendo hidrocarburo a profundidades de 180m.; a medida que ha existido la necesidad de encontrar yacimientos de hidrocarburo la exploración se ha efectuado en aguas aún más profundas (profundidades mayores de 500m). En el Golfo de México, se han encontrando zonas con potenciales del hidrocarburo suficientes para en el corto plazo, seguir abasteciendo al país con esta fuente de energía. La extracción de este hidrocarburo a esas profundidades, a México le presenta un reto tanto tecnológico como de innovación al adaptar nuevos sistemas de extracción a sus condiciones de operación. A partir de este año México adquirió un Sistema Flotante de Producción, Almacenamiento y Abastecimiento (FPSO) para la extracción del hidrocarburo en aguas profundas del Golfo de México siendo así, un reto para el país el poder ser capaz de operar, dar mantenimiento, diseñar y en un futuro ser capaz de desarrollar su propia tecnología.

**Palabras claves:** FPSO, Aguas profundas, Hidrocarburos, Nueva Tecnología, PEMEX

### Abstract

The exploration, perforation and operation of new deposits of the mineral substances of the terrestrial crust, it can be found so much in the surface as in the depths. In our country at the beginning of 1993, the exploration in coast was begun outside (fixed marine platforms), extracting hydrocarbon to depths of 180m.; as to existed the necessity to find hydrocarbon deposits the exploration has taken place in still more deep waters (greater depths of 500m) of the Gulf of Mexico; finding zones with potentials of hydrocarbon with the purpose of continuing supplying the country with this power plant. The adoption and the new development of deep water technology has to be necessary to continue fulfilling the demand of hydrocarbon, where Mexico in this year has its first Floating System of Production, Storage and Offloading (FPSO) working in deep waters of the Gulf of Mexico being therefore the beginning of a new challenge the country has to be able to operate, to give maintenance, to design and in the future to be able to develop its own technology.

---

1. Estudiante de doctorado del programa PICYT con opción Terminal en Ingeniería Industrial y de Manufactura. Centro de Investigación COMIMSA.

2. Profesor Investigador del programa PICYT. Centro de Investigación COMIMSA.

**Key Words:** FPSO, Deep water, Hydrocarbon, New technology, PEMEX

## 1.-INTRODUCCIÓN

En la actualidad el hidrocarburo se ha convertido en la principal fuente de energía del mundo en donde México está ubicado como uno de los principales líderes en la producción del crudo generando el 18 % del total obtenido por el Continente Americano[7]. Sin embargo cifras alarmantes nos revelan que la producción de petróleo en nuestro país disminuye a un ritmo de 14% por año ya que en el 2004, se registraba una producción de 3.45 mbd, en el 2006 se logra una producción de 3 mbd y se estima que para el 2008 se obtendrá una producción de 1.9 mbd; esto significa que el recurso se agotará en un periodo menor a 10 años [4]. Tanto para la búsqueda del petróleo, como para su explotación, se emplean los sondeos cuya perforación en el mar requiere de técnicas y equipos especializados, que constantemente son perfeccionados. El principal inconveniente de estas maniobras es la lucha con las

condiciones del mar, por la situación flotante de las plataformas, expuestas a ser arrastradas y destruidas. Dado que las fuentes de hidrocarburo en México se han ido agotando en yacimientos ya conocidos, actualmente la exploración y extracción del hidrocarburo, se realiza en aguas profundas (mayores de 500m.), donde el Golfo de México ha sido evaluado como uno de los principales yacimientos potenciales de petróleo. Actualmente se cuenta con la tecnología necesaria para investigar, no sólo las partes exteriores de las márgenes continentales y los mares sino también las cuencas oceánicas profundas. Una vez que la prueba de exploración resulta exitosa, se comienza el proceso de extracción. Este proceso va relacionado con producción y almacenaje del hidrocarburo para los cuales se utilizan diferentes equipos. La característica importante que sirve para clasificar estos equipos, es la forma en como estos se fijan en el lugar de trabajo, pues mientras unos

se apoyan firmemente en el fondo del mar (plataformas) otros flotan y se fijan con anclas. Entre los más comunes están: buques-sonda, plataformas sumergibles, plataformas auto-elevadoras, plataformas flotantes semi-sumergibles y barcazas (ver Figura-1).

En lo referente a la exploración de aguas profundas los equipos de procesamiento, almacenamiento y abastecimiento más comunes son: [8]

- **FSU:** Floating Storage Unit (Sistema Flotante de Almacenamiento).
- **FSO:** Floating Storage and Offloading System (Sistema Flotante de Almacenamiento y Abastecimiento).
- **FPS:** Floating Production System (Sistema Flotante de Producción y Almacenamiento).

- **FPSO:** Floating Production Storage and Offloading (Sistema Flotante de Producción, Almacenamiento y Abastecimiento).

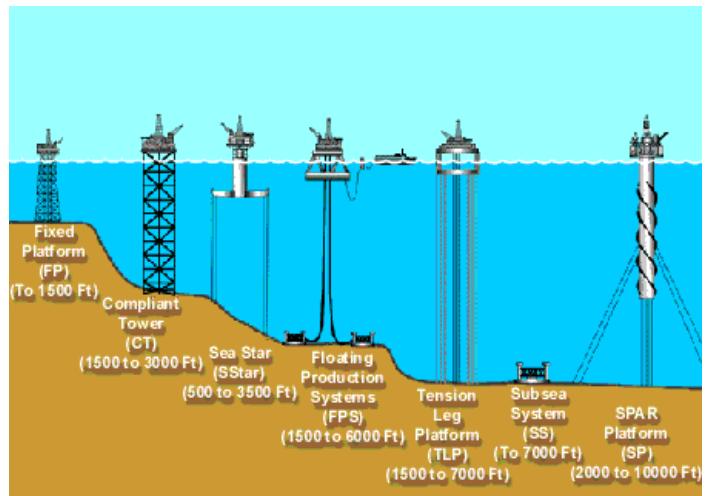


Figura-1: Plataformas

De estos Sistemas Flotantes utilizados en aguas profundas, el más completo es el FPSO por sus características ya que este, es capaz no solo de procesar el crudo sino almacenarlo o bien abastecer otros barcos o plataformas. (ver figura-2).

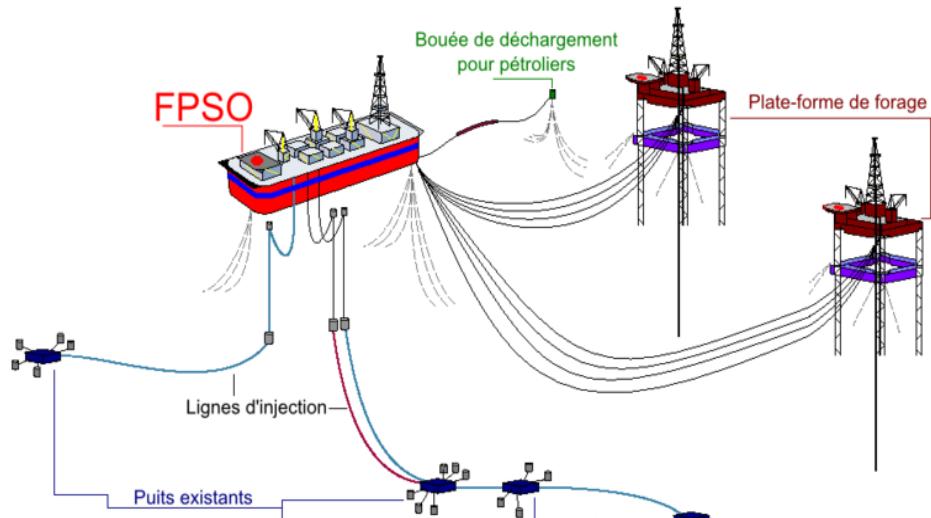


Figura-2: Esquema de un FPSO

## 2.- SISTEMA FLOTANTE DE PRODUCCIÓN, ALMACENAMIENTO Y ABASTECIMIENTO (FPSO)

El FPSO es un sistema utilizado en aguas profundas, ya empleado en la extracción de hidrocarburos en el Reino Unido. El primer FPSO inició su funcionamiento a partir de Septiembre de 1993 en Gyphon, Maclure, Tullich en el Reino Unido. En Brasil desde finales de los años 1950 se utilizó un buque bautizado como buque-tanque “Presidente Juscelino”, el cual fue un símbolo del nacimiento de sistemas

flotantes en ese país y además significó la solución al problema del procesamiento del hidrocarburo en aguas profundas. A partir de entonces, la producción de petróleo en Brasil, ocupa el primer lugar a escala mundial. Por esto el FPSO se convierte en un sistema viable para realizar la misma función de extracción en aguas profundas del Golfo de México. El FPSO como se muestra en la *Figura-3* consiste en un gran buque-tanque anclado al fondo marino que se diseña para procesar y almacenar la producción de pozos submarinos cercanos. El barco

también permite descargar periódicamente el petróleo almacenado a buques menores, los cuales transportan el hidrocarburo a instalaciones para su transformación posterior. En particular, los FPSO's son embarcaciones empleadas en sitios en donde se perfora en aguas profundas y tienen la función de:

- Almacenar el hidrocarburo extraído.
- Procesar el hidrocarburo.
- Abastecer el producto a otro barco o a tierra.

Los FPSO's están integrados por varios sistemas como tanques de almacenamiento, estructuras de procesamiento, sistema de anclaje (mooring system), tubería de llenado (flexible riser), tubería de abastecimiento (flexible pipes) así como el casco, entre otros. Consideraremos aquí, algunos de estos sistemas del FPSO, los cuales son vitales para el funcionamiento del mismo y operación del mismo (ver figura-3) [8]:

- **Flexible Risers:** Son tuberías que conectan la instalación de abajo del mar al FPSO, logrando traer líquidos no tratados a la superficie para su procesamiento y/o almacenamiento. La mayoría de estas tuberías son de acero o bien de un compuesto de nylon y poliéster con el fin de soportar mayores resistencias a la flexión y la corrosión.
- **Mooring Systems:** Es el sistema de sujeción entre el FPSO y fondo marino, la mayoría situados en aguas profundas de más de 500m. Existen diferentes sistemas de anclaje algunos están compuestos por cadenas reforzadas con cables unidas a pequeñas torres que se encuentran en el barco las cuales giran libremente; en la actualidad existen sistemas de anclaje los cuales se pueden desconectar del FPSO con el objeto de que cuando

haya algún accidente el barco pueda moverse a otro lugar.

- **Flexible Pipes:** Está definido como un tubo flexible pero su principal

función es conectar la plataforma/boya/barco a una

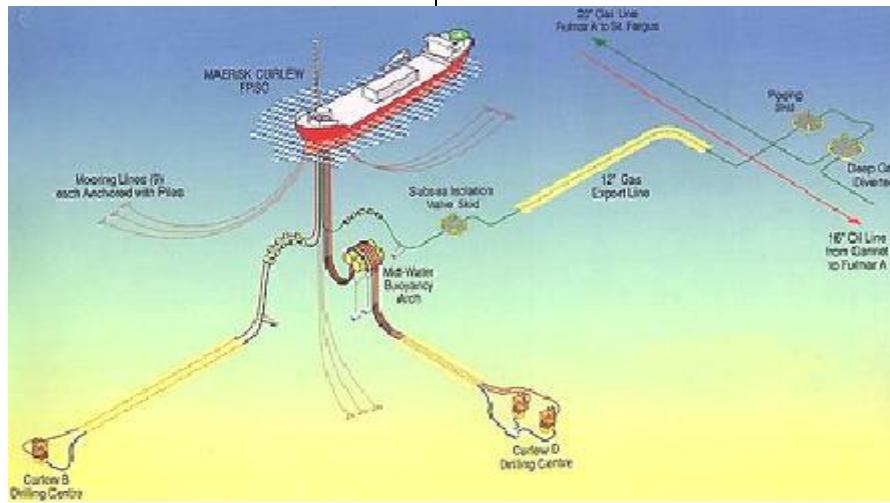


Figura-3: Esquema de un FPSO y

estructura flotante (FSO, FPSO, FPS, FSU), instalación marina, o a otra plataforma con el fin de transportar y abastecer el crudo [6].

Cada uno de los sistemas mencionados anteriormente tienen una función específica en el FPSO por consiguiente su buen funcionamiento depende de la confiabilidad del equipo y el mantenimiento del mismo ya que una falla en uno de ellos podría tener consecuencias desastrosas.

### 3.- DEGRADACIÓN: DAÑO COMÚN DE LOS SISTEMAS QUE INTEGRAN EL FPSO

El FPSO es un sistema expuesto a un medio ambiente cambiante, puesto que se encuentra en zonas húmedas, a diferentes presiones atmosféricas, a constantes movimientos y a que difícilmente estos barcos anclan en tierra para un mantenimiento. Así, lo importante en estos sistemas, es determinar los modos de falla que permitan modelar su vida útil y establecer estrategias de mantenimiento y

reemplazo, para aumentar la confiabilidad del FPSO y de cada uno de los sistemas que lo integran.

Definiremos como *falla* de un elemento estructural a cualquier situación que impida que el elemento cumpla su función de transmisión de esfuerzos o de retención de presión como se encuentra previsto en el diseño del elemento, es decir la falla se produce cuando el elemento se torna incapaz de resistir los esfuerzos previstos en el diseño. Llamamos *modo de falla* al fenómeno o mecanismo responsable del evento o condición de falla. En este sentido, los modos de falla que en general pueden afectar a un componente estructural, son:

- Excesiva deformación elástica
- Excesiva deformación plástica
- Inestabilidad plástica
- Fatiga
- Corrosión, erosión, corrosión-fatiga, corrosión bajo tensiones, etc.
- Creep y creep-fatiga

- Fractura rápida (frágil, dúctil, mixta)

Con el objetivo de determinar los mecanismos de falla que permitan modelar su vida útil y establecer estrategias de mantenimiento y reemplazo, para aumentar la confiabilidad de cada uno de los sistemas que integran el FPSO, se analizan datos históricos de embarcaciones que han estado operando en otros países. Según el historial y reportes de estos barcos, las principales fallas reportadas en cada sistema son:

### **Mooring Systems**

- Falla Mecánicas (Fatiga, Esfuerzos concentrados, Fricción)
- Corrosión en las líneas de conexión
- Degradación en las cadenas.

### **Flexible Pipes:**

- Fallas por degradación.
- Corrosión en el alambre de la armadura.

### **Flexible Risers:**

- Degradación Interna del recubrimiento.
- Fallas Mecánicas (Tensión, Compresión)

Como se puede observar la degradación del material es un aspecto que esta presente en cualquiera de los sistemas del FPSO y es causa de muchos de los daños en el funcionamiento adecuado y sobre todo en la confiabilidad del equipo ya que la rotura o la degradación permanente generalmente, se deben a que los esfuerzos soportados son mayores que la resistencia del material de fabricación o al estrés al que son sometidos. El análisis de algunas de las fallas o daños más comunes, de los cuales se ha podido observar fallas frecuentes como corrosión, degradación, esfuerzos mecánicos, han llevado a la paraestatal PEMEX a realizar análisis exhaustivos y estrategias de reemplazo, para asegurar el buen funcionamiento de sus instalaciones. Al tomar en cuenta lo anterior PEMEX para la explotación de yacimientos ubicados en aguas profundas

en el Golfo de México, realiza estrategias para adaptar eficientemente, a corto plazo, esta nueva tecnología llamada FPSO, a las condiciones de operación propias de la región.

#### **4.- SISTEMAS FLOTANTES EN MÉXICO**

La producción de petróleo en México marcó una pauta muy importante en el desarrollo de nuestro país ahora enfrentándose a regiones donde el hidrocarburo se encuentra a mucho más profundidad, los cambios tecnológicos son necesarios para que el país siga ocupando un lugar importante en la producción de petróleo en el mundo. Petróleos Mexicanos (PEMEX) incursionará en tecnología petrolera de vanguardia, al invertir 700 millones de dólares para un barco de proceso y almacenamiento de crudo (FPSO). Hasta hoy, la empresa mexicana sólo había utilizado plataformas fijas y flexibles en el desarrollo de campos petroleros. En la actualidad hay un barco estacional en medio del Golfo de México

(el Takuntak) que sólo es utilizado para almacenar el petróleo, pero con la nueva embarcación se podrá procesar y almacenar el hidrocarburo, para luego transferirlo. Esto permitirá ahorrar tiempo y elevar la eficiencia para el aprovechamiento de hidrocarburos contenidos en yacimientos marinos.

El año pasado, PEMEX incursionó en la exploración de aguas profundas en el Golfo de México. Siendo el Noxal, el primer pozo petrolero considerado en aguas profundas, el cual cuenta con una profundidad de 925m. ubicado en Catema Veracruz. El pozo tiene una capacidad de producción estimada de 10 mil millones de barriles diarios y  $9.5 \text{ ft}^3$  de gas diario [3]. Para su extracción, se rentó la tecnología denominada Tension Leg Platform (TLP) esta plataforma consiste en una estructura flotante sujetada por tensores verticales, los cuales están conectados y cimentados al lecho marino por pilotes asegurados. Lo relevante de la nueva tecnología del FPSO es que esta, sirve para yacimientos

ubicados hasta a tres mil metros de tirante de agua, por lo que la paraestatal mexicana no tendrá que adquirir equipos y sistemas intermedios como las denominadas tensada hasta para mil 400 metros, Mini TLP, SPAR o SEMI para profundidades de hasta tres mil metros. Es por eso que una de las tareas de nuestro país es poder implementar nueva tecnología con el fin de seguir desempeñando su papel dentro de la industria petrolera [2]. La extracción de petróleo se ha convertido en todo un reto para Petróleos Mexicanos quien a través de Blue Marine Technology Group, socio comercial y operativo de Bergesen Worldwide Limited en México, realiza su Exploración y Producción. La paraestatal a través de esta compañía obtuvo la Operación, Mantenimiento y Adquisición durante 15-18 años, de la primera Unidad Flotante de Producción, Almacenamiento y Descarga (**FPSO**) a ser instalada en la Bahía de Campeche, Golfo de México, la cual a partir del mes de abril del año 2007

proporciona, entre otros, los siguientes servicios [9]:

- Separación y manejo de 200,000 barriles/día de crudo y 120 millones de pies cúbicos estándar de gas.



*Figura-4: FPSO Yuum K'ak'náab*

- Almacenamiento de 2,200,000 barriles de crudo.
- Descarga a ritmo de 1,200,000 barriles/día.
- Traspaso del producto a buque-tanques o a terminales en tierra, vía ductos.

Uno de los 106 FPSO existentes alrededor del mundo el “Yuum K’ak’náab” (*Figura-4*), está en aguas del Golfo de México, con un peso muerto de 35000 MT y longitudes de 365m de eslora y 65m de manga y llevará acabo su función de almacenar,

procesar y enviar el hidrocarburo a otro barco o a tierra. El buque estuvo en construcción en diferentes partes del mundo y luego fue armado para después llegar a las costas mexicanas. El primer FPSO que opera en México, está ubicado en el campo petrolero Ku-Maloob-Zaab (KMZ), uno de sus complejos más importantes, donde se procesan, mezclan y almacenan aceites con diferente graduación **API** (medida de densidad). La producción de este campo, aunada a la que se obtenga en Chicontepec (yacimientos

en tierra) contribuirá a compensar el declive en la producción de Canterall [5].

Este evento, se convierte en el inicio de nuestro país para desarrollar su propia estrategia para la operación óptima, del FPSO en México.

## **5.- EL PETRÓLEO Y LA ECONOMIA**

El presupuesto federal de México depende de compañías energéticas como es el caso de CFE y PEMEX, ya que ambas empresas generan un 53% de los ingresos totales de la administración federal; es decir que de cada peso recaudado por las autoridades hacendarías, 53 centavos provendrán del sector energético. La economía de nuestro país puede colapsarse a raíz de la caída de producción de petróleo ya que no habrá capital para invertir en el país [1]. Para seguir operando y/o incrementar el número de FPSO en México, para solventar este déficit en el abastecimiento del hidrocarburo, es necesario que México sea capaz de desarrollar su propia tecnología, a través de un estudio de los diferentes

sistemas de extracción, producción y almacenamiento (FPSO) utilizando las experiencias de otros países, para modelar y simular y así desarrollar las condiciones de trabajo óptimas en este ambiente operacional, de cada uno de los componentes que influyen en el desempeño del equipo[10].

## **CONCLUSIÓN**

Aunque el declive de la producción en los pozos petroleros, pronostica un des-abasto del hidrocarburo a corto plazo, en México, los hallazgos de reservas del hidrocarburo encontradas en el Golfo de México, indican que a través de una administración eficiente y racionada, este no será a corto plazo el principal problema que el país enfrente. De hecho, el principal problema al que nos enfrentamos, es a la adecuación e implementación de la tecnología necesaria para la extracción de crudo en aguas profundas, la cual le dará estabilidad a la producción del petróleo y gas que el país requiere.

## Bibliografía

- |  |   |
|--|---|
| [1] <i>Garduño Roberto (12 Septiembre 2004) "Descapitalizadas, CFE y PEMEX seguirán como eje del ingreso fiscal"</i> <u><i>La Jornada</i></u>                    | [9]<br><br><a href="http://www.bluemarine.com.mx/esp/index.html">http://www.bluemarine.com.mx/esp/index.html</a>                          |
| [2] <i>Olgún Sánchez Jesús (30 Agosto del 2006) "Invierte PEMEX 700 mdd en barco petrolero"</i> <u><i>Notimex</i></u>  | [10]<br><br><a href="http://www.oilandgas.org.uk/issues/fpsostudies.htm#pdfs">http://www.oilandgas.org.uk/issues/fpsostudies.htm#pdfs</a> |
| [3] <i>Rodríguez Israel (13 Junio 2006) "Descubre PEMEX el primer yacimiento de gas en aguas profundas del golfo"</i> <u><i>La Jornada</i></u> , No. 7831 pg. 22 |   |
| [4] <i>Téllez Ocampo Edgar(2007) "Mas allá del cenit petrolero". <u>Energía a debate.</u></i><br><br><i>Tomo IV- No. 19, pg. 16-17</i>                           |   |
| [5] <i>(5de Septiembre del 2006) <u>Notimex / Intelite</u></i>   |   |
| [6] <i>UKOOA Guidance Note; Doc. No.2-1-4-221</i>  |   |
| [7]  |   |
| <a href="http://www.ecopetrol.com.co/especiales/estadisticas2">www.ecopetrol.com.co/especiales/estadisticas2</a>   |   |
| [8] <u><a href="http://www.ukooa.com">www.ukooa.com</a></u> )  |   |