

EVOLUCIÓN DE CRITERIOS DE ESTABILIDAD DE PLATAFORMAS SEMISUMERGIBLES DE PRODUCCIÓN EN EL GOLFO DE MÉXICO

Vite Flores A.¹, Sánchez García D.², López Lara J.³

^{1,2,3} Universidad Veracruzana, México

¹e-mail: avite@uv.mx

RESUMEN

En el presente documento se presenta un estudio de la evolución de los criterios de estabilidad de plataformas semisumergibles de producción en una zona específica como lo es el Golfo de México con la finalidad de proponer una mejora si así lo amerita la investigación. Se muestra cada uno de los temas que conforman la investigación. Una descripción de los sistemas flotantes de producción, los criterios de estabilidad aplicados a plataformas semisumergibles. Las condiciones meteoceánicas del Golfo de México y las comparativas entre normativas nacionales e internacionales a lo largo de 10 años. Este trabajo fue desarrollado como trabajo de Tesis y continuará con el tema de investigación para extender los análisis a otras entidades regulatorias e incluir los efectos del cambio climático en las variables expuestas en este trabajo.

Palabras claves: Plataformas semisumergibles de producción, criterios, estabilidad.

1- INTRODUCCIÓN

México, al ser un país petrolero, enfrenta cada vez mayores retos para lograr la explotación de sus yacimientos tanto en tierra como costa afuera.



Particularmente para la explotación de estos últimos, los retos se vuelven aún más complejos al incursionar en aguas profundas debido a las condiciones extremas impuestas por los grandes tirantes de agua que existen entre el lecho marino y la superficie, lo cual demanda nuevos avances tecnológicos para lograr la adecuada explotación de estos recursos. Por esto es un área de estudio altamente competitiva porque se trata de mejorar aspectos como la rentabilidad, que se representan en cantidades millonarias, las implicaciones de carácter ambiental y también el daño a las comunidades.

Desde esta perspectiva surge el interés de la presente investigación cuyo objetivo es conocer la evolución de los criterios de estabilidad aplicados a plataformas semisumergibles de producción en el Golfo de México, bajo el marco de una investigación documental-bibliográfica con enfoque interpretativo, la cual está estructurada en 4 capítulos y que arroja resultados interesantes para nuevas líneas de investigación, sobre todo en el área de accidentes marítimos.[7]

2- MATERIALES Y MÉTODOS

Debido a la complejidad en el análisis de estabilidad, el alcance del presente trabajo se limitará a conocer la evolución de los criterios de estabilidad aplicados a una plataforma semisumergible de producción en el Golfo de México. Se eligió un periodo de tiempo que permitiera establecer si hubo cambios o no, de acuerdo con los reportes publicados por las sociedades de clasificación en el apartado de notas de cambios en las reglas, se observó que en los últimos 30 años el número de cambios fue mayor en el periodo de 2010 al 2020, considerando aplicados los cambios anteriores al periodo a estudiar, tomando de base un rango de 10 años para este trabajo.

Se destaca la presencia de Det Norske Veritas (DNV-GL), esta sociedad de clasificación que vela por el cumplimiento de las normas de diseño y estabilidad. Con base en esto se hizo hincapié en la normativa DNVGL-OS-C3011 de dicha sociedad de clasificación. A posteriori se investigaron las consideraciones del análisis de estabilidad, en los cuales salen a relucir las condiciones



meteoceánicas y características del movimiento en el Golfo de México siendo ésta el área donde la plataforma va a operar.

Otro de los aspectos importantes que se tienen en consideración, es la revisión de la bibliografía con referencia a plataformas semisumergibles de producción para conocer avances al momento de realizar el análisis de estabilidad. [1]

Configuración típica de una plataforma semisumergible

La configuración típica de una plataforma semisumergible (fig. 1) está condicionada por las misiones y las funciones de apoyo asociadas a las que vaya a destinarse. Los cuatro componentes principales de la configuración de una semisumergible son:

- Pontones.
- Columnas estabilizadoras.
- Reforzado (Bracing).
- Cubiertas (Topside).

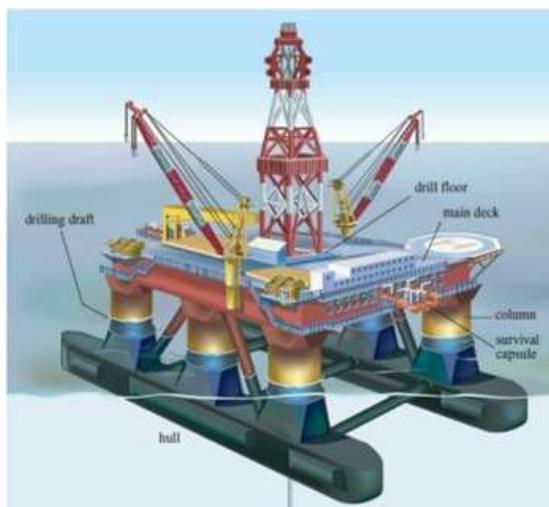


Fig 1. Fuente: (P. Machini) [18]



La disposición de pontones paralelos paralelepípedicos es la opción que más se ajusta a los requerimientos de movilidad y maniobrabilidad, y es de aplicación exclusiva para semisumergibles.

Columnas estabilizadoras. Las columnas estabilizadoras constituyen uno de los principales elementos de flotación y estabilidad durante la inmersión de la plataforma.

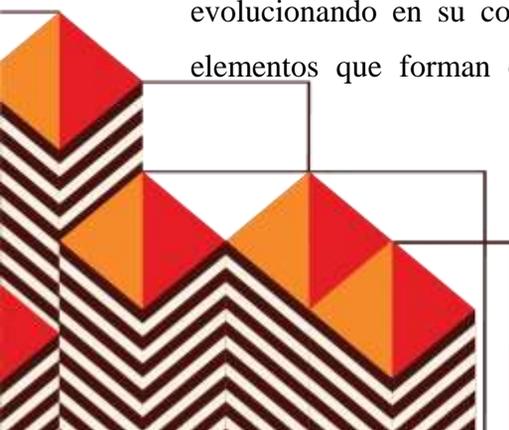
En general el menor número de columnas está relacionado con el menor costo de la estructura, aunque una reducción de columnas implica más peso de estructura de refuerzo y mayor robustez de las columnas.

La altura de las columnas se define atendiendo a tres requerimientos:

- Respuesta a las acciones del mar. Una mayor capacidad de inmersión reduce la respuesta a la arfada. Mayor número de columnas mejora la respuesta a la arfada ya que aumenta el amortiguamiento.
- Condiciones de estabilidad. Pesos muy altos aumentan el centro de gravedad y disminuyen el radio metacéntrico. El volumen desplazado por las columnas, junto con el de los pontones, debe ser capaz de contrarrestar este efecto, manteniendo la plataforma en equilibrio con un radio metacéntrico positivo.
- Durante la operación se ha de mantener una distancia mínima entre la cresta de la ola y el fondo de la estructura de cubierta para evitar slamming. A esta distancia se la conoce habitualmente como Airgap.

Reforzado o bracing. El reforzado tiene la misión de unir entre sí los elementos estructurales que componen la estructura semisumergible y transmitir los esfuerzos y cargas a los que están sometidos. Una plataforma semisumergible tiene varios flotadores o pontones sobre los que se instalan las columnas estabilizadoras.

Para mantener la posición y separación de estos, se disponen los reforzados, que han ido evolucionando en su configuración con las diferentes generaciones de semisumergibles. Los elementos que forman el reforzado se realizan generalmente en perfil tubular con sección



constante o variable, que proporciona valores de inercia homogéneos, y por tanto mayor rigidez, en todas las direcciones de incidencia de esfuerzos. El reforzado presenta un elevado coste de fabricación y mantenimiento. El entramado del refuerzo estará sometido a grandes esfuerzos. En la práctica la tendencia es que todo el reforzado quede al aire a fin de disminuir la resistencia, los esfuerzos hidrodinámicos y mejorar la mantenibilidad.

Otra tendencia actual es la de disminuir el reforzado para reducir el coste de producción, optando por diseños de uniones entre cubiertas y columnas más eficientes, con el empleo de materiales con alto límite elástico en aquellas zonas donde se prevea concentración de tensiones

Plataforma semisumergible de producción

En este tipo de plataforma se alojan los equipos y dispositivos para separar el gas del crudo y bombear este último a tierra; está compuesta por una subestructura, formada por columnas y una superestructura que consta de dos niveles al igual que la de perforación.

Las plataformas de producción deben ser calculadas para soportar pequeñas estructuras, compresores, tanques de almacenamiento, equipo de tratamiento y otros equipos anexos de proceso. Una plataforma de producción es una plataforma utilizada para la separación de la mezcla de aceite-agua-gas que fluye a la superficie, en aceite crudo, agua y gas natural. Se separan con el fin de poder distribuir estos para su comercialización o refinación con el menor de los riesgos, así como el cuidado de las instalaciones.

Criterios de estabilidad de una plataforma Semisumergible

Conocer los criterios de estabilidad, es de vital importancia para su correcta aplicación. Estos, son el conjunto de normas que debe cumplir un artefacto naval para que su estabilidad alcance valores mínimos que garanticen su seguridad. Los requisitos de estabilidad y seguridad con los que debe cumplir la plataforma serán los estipulados en el Código para la Construcción y Equipamiento de Unidades Móviles de Perforación Costa Afuera (MODU Code por sus siglas en



inglés) siendo una guía particular para los diseños offshore de la Organización Marítima Internacional (IMO).

Código MODU, cuya primera publicación fue en 1989, se escribió para dar una norma internacional para las unidades de perforación de nueva construcción. Esto simplifica el movimiento internacional, el funcionamiento de las estructuras y garantiza un nivel de seguridad adecuado para estructuras y para el personal de a bordo, equivalente a la exigida por el Convenio (OMI Código MODU 2009, preámbulo).

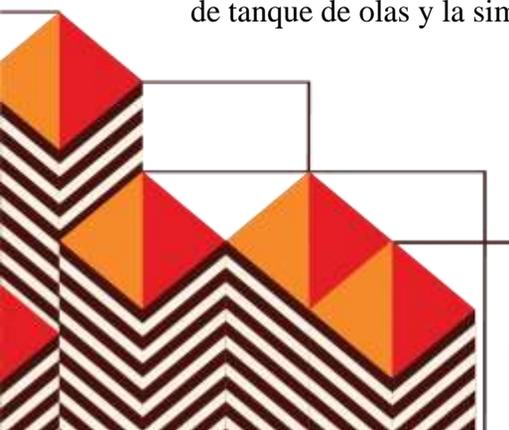
Criterios de estabilidad intacta

La estabilidad de una unidad en cada modo de funcionamiento debe cumplir con los siguientes criterios (Ver imagen 2.1):

El área bajo la curva de momentos adrizantes al ángulo de inundación descendente debe exceder en un 30% como mínimo el área bajo la curva de momentos escorantes del viento al mismo ángulo. La curva de momentos adrizantes debe ser positiva en todo el rango de ángulos desde la posición vertical hasta la segunda intersección.

Cada unidad debería poder alcanzar una condición de tormenta severa en un período de tiempo compatible con las condiciones meteorológicas. Los procedimientos recomendados y el tiempo aproximado requerido, considerando tanto las condiciones de operación como las condiciones de tránsito, deben estar incluidos en el manual de operación. Debería ser posible lograr la condición de tormenta severa sin la remoción o reubicación de consumibles sólidos u otra carga variable. Sin embargo, la Administración puede permitir la carga de una unidad más allá del punto en el que los consumibles sólidos tendrían que ser retirados o reubicados para pasar a condiciones de tormenta severa bajo las siguientes condiciones, siempre que no se exceda el KG permitido.

El análisis debe incluir los resultados de las pruebas en el túnel de viento, las pruebas del modelo de tanque de olas y la simulación no lineal, cuando corresponda.



Prueba de inclinación

Se requerirá una prueba de inclinación para la primera unidad de un diseño, cuando la unidad esté lo más cerca de completarse, como sea posible, para determinar con precisión los datos del peso en rosca (peso y posición del centro de gravedad).

Para las unidades sucesivas que son idénticas por diseño, los datos del peso en rosca de la primera unidad de la serie pueden aceptarse en lugar de una prueba de inclinación, siempre que la diferencia en el desplazamiento del peso en rosca o la posición del centro de gravedad debido a cambios de peso sean diferencias menores en maquinaria, equipamiento o equipo, confirmado según los resultados de una encuesta de peso muerto, son menos del 1% de los valores del desplazamiento del peso en rosca y las dimensiones horizontales principales determinadas para la primera serie. Tal dispensación no se puede otorgar para unidades estabilizadas por columnas [2]

Curvas de momento de adrizamiento y escora

Las curvas de momentos adrizantes y las curvas de momentos escorantes del viento deben relacionarse con los ejes más críticos. Se debe tener en cuenta la superficie libre de líquidos en los tanques. Durante condiciones temporales de la plataforma, su altura metacéntrica no debe de ser menor de 0.3 metros.

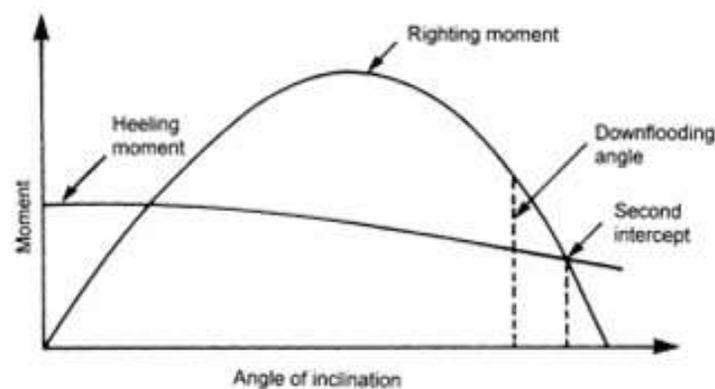


Figura 2.1 Curvas de momento de adrizado y momento de escora



De esta forma se comprueba que se cumplan los requisitos de estabilidad intacta establecidos, para cada una de las condiciones de carga en las que se prevé que la plataforma vaya a estar sometida durante su ciclo de vida, siendo estas; plena carga, operación, lastre y transición.

Estabilidad dañada

Los requisitos con respecto a la estabilidad en averías para plataformas offshore con columnas estabilizadoras se muestran en el siguiente apartado [1]

La unidad debe proveer suficiente flotabilidad y estabilidad en cualquier condición de operación o transición, en caso de inundación parcial o completa de cualquier compartimento estanco que se encuentre por debajo, o parcialmente por debajo, de la línea de flotación, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

El ángulo de escora después de la inundación no debe de ser mayor de 25°.

Cualquier abertura por debajo de la línea de flotación final deberá ser hecha estanca. Debe proporcionarse un rango de estabilidad positivo, es decir, debe proporcionarse al menos de un rango de 7° entre el primer y el segundo ángulo de intercepción de las curvas de momentos adrizante y escorante. (Ver Imagen 2)

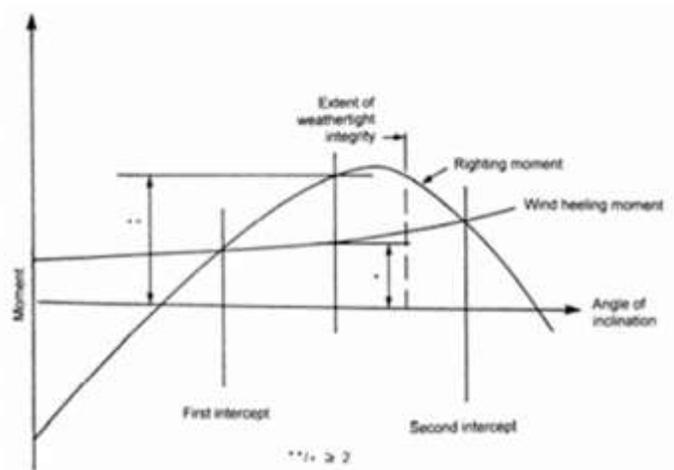


Figura 2 - Curvas de momento adrizante y momento escorante del viento

A los efectos de las consideraciones sobre inundaciones y estabilidad, cualquier compartimento estanco incluye los compartimentos que contienen sistemas de tuberías de agua de mar. En cuanto a la extensión de la avería, de la sección 5.9 [3]. Se especifican las zonas que son susceptibles de sufrir daños, así como la extensión de éstas, en las plataformas con columnas estabilizadoras.

Con el fin de asegurar la estabilidad de la plataforma en el caso de sufrir una avería, son definidos los siguientes mamparos estancos y, en consecuencia, los distintos compartimentos de la plataforma.

Condiciones Metoceánicas y Características de Movimiento en el Golfo de México

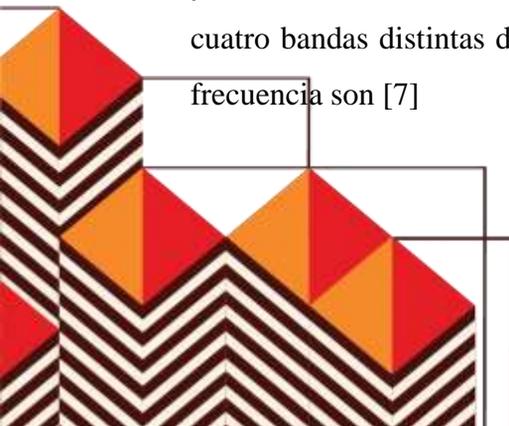
La definición de las condiciones metoceánicas, es de vital importancia para el análisis de las estructuras marinas. Los factores que intervienen en un estado de mar son los siguientes [4]

Viento, Olas generadas por el viento. Olas superficiales generadas por tormentas distantes.

Corriente superficial, generada por tormentas locales. Corrientes de aguas profundas propias del sitio, como las corrientes de lazo y remolino que circulan constantemente en el Golfo de México. Las estructuras costa afuera dedicadas a la perforación y producción de los recursos naturales localizados debajo del lecho marino, están a la merced de las inclemencias del tiempo. Estos ambientes marinos que las estructuras deben soportar son las fuerzas extremas del oleaje, viento y corriente debidas por ejemplo a huracanes, así como los sismos y las olas de los Tsunami, que también pueden ocurrir en ciertas partes del mundo.

Acciones ambientales

Las cargas ambientales son las excitaciones dinámicas más importantes en las estructuras marinas y resultan de la acción de las olas, viento y corrientes marinas. Estas deben ser calculadas en cuatro bandas distintas de frecuencia para evaluar sus efectos sobre el sistema. Estas bandas de frecuencia son [7]



a) Cargas estáticas debidas al viento, la corriente y la deriva de las olas (wave drift) con magnitud y dirección constantes para la duración del análisis.

b) Cargas cíclicas de baja frecuencia que puede alterar a la semisumergible en los periodos naturales de avance, deriva y guiñada (surge, sway y yaw) con variaciones entre 60 y 180 s.

Estas fuerzas son debidas al efecto de segundo orden de las olas conocido como slow drift y la parte dinámica del viento.

c) Cargas cíclicas en la frecuencia de olas, que constituye la principal fuente de cargas sobre la plataforma. Estas fuerzas son calculadas considerando métodos de primer orden.

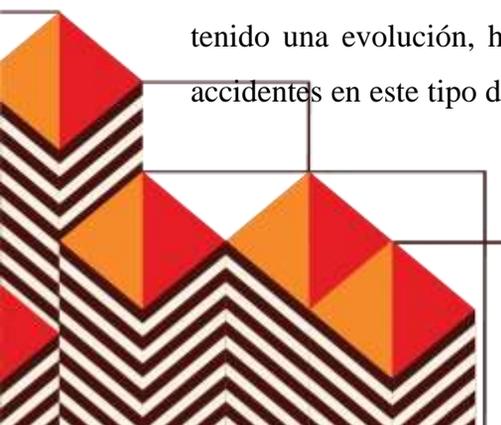
Análisis de Incidentes de Plataformas Semisumergibles en el Golfo de México

En esta sección se analizaron los accidentes en plataformas semisumergibles que operaban en el GoM y las causas asociadas con el incidente, para así determinar si estuvo involucrada la estabilidad de dicha plataforma, entre los cuales se destaca la plataforma Deepwater Horizon y Thunder Horse, determinando que en ninguno de los casos estuvo comprometida la estabilidad de la estructura.

Se realizaron tablas comparativas de las distintas reglamentaciones tanto de DNV como de DNV-GL para determinar si los criterios tuvieron alguna variación, constatando que desde los años 2010 hasta 2020 no se registraron cambios y por tanto que no hay un cambio significativo en la presentación de los criterios de estabilidad para aplicarse a los análisis de este dentro de la casa clasificadora que se eligió para este estudio. Incluso se puede comprobar que ni durante la transición al pasar de DNV a DNV-GL hubo evolución de estos criterios de estabilidad aplicados a las plataformas semisumergibles.

Comparación entre normativas

Tras el estudio de las normativas de estabilidad de la casa clasificadora DNV-GL que se aplican a plataformas semisumergibles se concluyó que durante 10 años los criterios de estabilidad no han tenido una evolución, ha esto se le puede atribuir el hecho de que no hay un antecedente de accidentes en este tipo de artefactos navales en los que la causa fuera un fallo de estabilidad. Por



Lo anterior se realizó un análisis a diferentes normativas a lo largo de los últimos 10 años para determinar si fuera la casa DNV algún organismo realizó un cambio en los criterios ya antes mencionados. Las normativas que se consideraron para este estudio fueron el IMO MODU CODE, del cual la última edición publicada fue el Código MODU 2009 es equivalente al Convenio SOLAS de 1974 y el Protocolo de 1988 relativo al Convenio internacional sobre líneas de carga de 1966. Esta última publicación del Código MODU es una inspección y actualización de Código MODU de 1989 [5].

Además de la norma NRF-041-PEMEX-2014 Carga, amarre, transporte e instalación de plataformas costa afuera de petróleos mexicanos. Con las cuales se puede tener una referencia a priori a los últimos 10 años, y una referencia actual para obtener un resultado real de la evolución de los criterios de estabilidad que forman parte del análisis de estabilidad de plataformas semisumergibles de producción en el Golfo de México. [6]

Tabla 4.4 Comparación de criterios entre normativas

Criterios de estabilidad	IMO MODU CODE (2009)	PEMEX (2014)	DNV- GL (2020)
(GM) debe ser positiva, con un ángulo de escora cero.			
Estabilidad estática transversal > 30°			
Área bajo la curva del momento de adrizado > 40%			
En condiciones temporales, su altura metacéntrica > 0.3 metros.			
Ángulo de escora después de la inundación no debe de ser mayor de 25°.			
Daño por debajo de la línea de flotación final deberá ser hecha estanca.			
Rango de estabilidad positivo, > 7° entre el primer y el			

segundo ángulo de intercepción de las curvas de momentos adrizante y escorante			
--	--	--	--

Con la información anterior se tiene como resultado que no hubo evolución en los criterios de estabilidad que se aplican a sistemas flotantes de producción, de acuerdo con las normativas y organismos que se estudiaron.

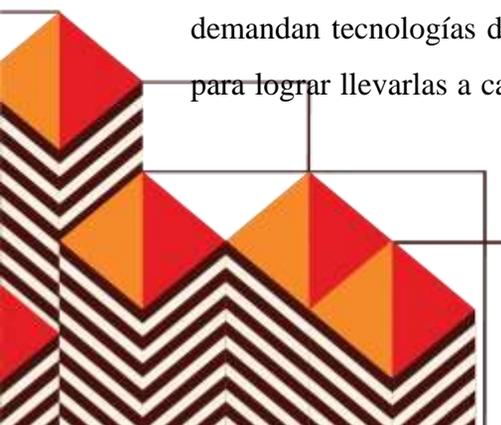
4- DISCUSIÓN

El futuro de la exploración y producción de hidrocarburos en México enfrenta una diversidad de retos en recursos humanos, tecnología y ejecución de proyectos en aguas profundas. Es importante dejar estos factores atrás y tomar una nueva visión con el fin de construir una mejor industria en nuestro país. Se presentan algunos propuestas de trabajos futuros que pueden desarrollarse como resultado de esta investigación o que, por exceder el alcance del mismo, no se abordaron con la suficiente profundidad. Como se indica a continuación:

- Ampliar la muestra de estudio con una variedad de organismos regulen los análisis de estabilidad de plataformas semisumergibles, de esta forma se tendrá un resultado 100% representativo y no se dejará por fuera información que pudiera ser valiosa para el estudio.
- Analizar el impacto del cambio climático en la zona específica en la que va a operar la plataforma, y así obtener resultados actualizados sobre el comportamiento del oleaje.

5- CONCLUSIONES

En México existe un gran potencial para producir hidrocarburos en aguas profundas, las cuales demandan tecnologías de última generación para vencer los retos operativos que éstas imponen para lograr llevarlas a cabo de manera exitosa tanto técnica como económicamente. Los equipos



semisumergibles utilizados en la producción en aguas profundas requieren de una evolución constante para ampliar su capacidad de operación en la medida en que se enfrentan a condiciones operativas cada vez más extremas.

Las fuerzas de gran magnitud a las que son sometidas las estructuras flotantes de producción, generadas por las condiciones meteoceánicas, representan un riesgo estructural potencial para cada uno de estos elementos, por lo que se debe tener un total entendimiento de cómo es que estas fuerzas actúan sobre ellos para prevenir fallas en el sistema que ocasionen un paro de actividades y por lo tanto tiempos improductivos que generan pérdidas económicas.

Realizar los análisis de estabilidad en programas especializados de cómputo de un equipo de producción en aguas profundas, operando con las condiciones meteoceánicas de un escenario real, permite tener una visión más amplia para realizar una mejor selección del equipo que se requiere para llevar a cabo las actividades en dicha localización. Permite a su vez conocer cuál será la respuesta estructural del equipo seleccionado, y conocer si resistirán las fuerzas generadas por las condiciones en la zona, que a su vez se verá reflejado en la estabilidad del sistema cuyo propósito es prevenir problemas técnicos, y evitando una pérdida económica y humana inesperada.

6- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Chakrabarti, S.K. 2005, in Handbook of Offshore Engineering,
- [2] D. N. V. DNV-GL. 2010, «DNVGL-OS-C301.Stability and watertight integrity.
- [3] D. N. V. DNV-GL. 2020, «DNVGL-OS-C301.Stability and watertight integrity.
- [4] Elwanger, G.B., 1988, “Algunos Aspectos de Análisis de los proyectos de Plataformas Marítimas”, Tesis de Doctorado, COPPE-UFRJ.
- [5] MODU, «MODU Code 2009 Code for the construction and equipment of MODU, » 2009.
- [6] PEP, 2011, “Avances Retos y Perspectivas de Petróleos Mexicanos”, Club de Industriales, México.





[7] Silva Ballesteros Jorge, 2004, “Apuntes del curso ingeniería civil costa afuera, capítulo XIV. sistemas flotantes de producción”, facultad de ingeniería UNAM, México, D.F.

