



Modelos digitales de plataformas petroleras marinas

Octavio Gómez C. y Jesús Vázquez B.

Antecedentes

Los modelos digitales son representaciones gráficas tridimensionales que se mantienen en su escala real. Este tipo de modelos se desarrollan en una computadora con el empleo de un *software* de diseño especializado. De este modo, es posible representar los objetos reales con formas, colores y texturas reales y visualizarlos en el monitor de la computadora.

En el caso de los modelos digitales de plataformas petroleras marinas, éstos son creados de una manera similar a como realmente se construyen. Esto es, empleando componentes de acuerdo con las especificaciones como ANSI, IMCA, API, NFPA y otros estándares de aplicación internacional. De igual modo, se debe considerar la existencia de componentes de línea como las válvulas de control y otros instrumentos que –además de cumplir con las normas internacionales– poseen características muy particulares. Por ejemplo, sus ‘actuadores’ pueden ser de tipo neumático o eléctrico y, para este tipo de componentes, es necesario construir un modelo digital idéntico en cuanto a formas y dimensiones específicas del fabricante, la marca y el modelo.

Otros componentes que se emplean en las plataformas marinas son los equipos construidos especialmente para desempeñar la operación unitaria específica del proceso, normalmente son equipos fabricados bajo pedido conforme a planos y memorias de cálculo desarrollados durante la etapa de diseño. Los modelos de estos equipos se realizan mediante la agrupación de figuras geométricas básicas, llamadas ‘primitivos’, de tal manera que conforman un modelo paramétrico del equipo en cuestión.

Por otro lado, los modelos digitales también son conocidos como maquetas electrónicas o modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes (de acuerdo con la Unidad de Normatividad Técnica de Pemex Exploración y Producción), debido a que contienen información relacionada con cada uno de los componentes modelados. Además, existe una marcada diferencia entre estos modelos y las maquetas que antiguamente se hacían de PVC, mismas que –únicamente– daban idea de la distribución de los equipos y tuberías de proceso, o de los instrumentos principales con una escala muy pequeña, en la cual era imposible apreciar espacios reales, accesos a instrumentos y a otros dispositivos de operación tales como válvulas de acción manual.

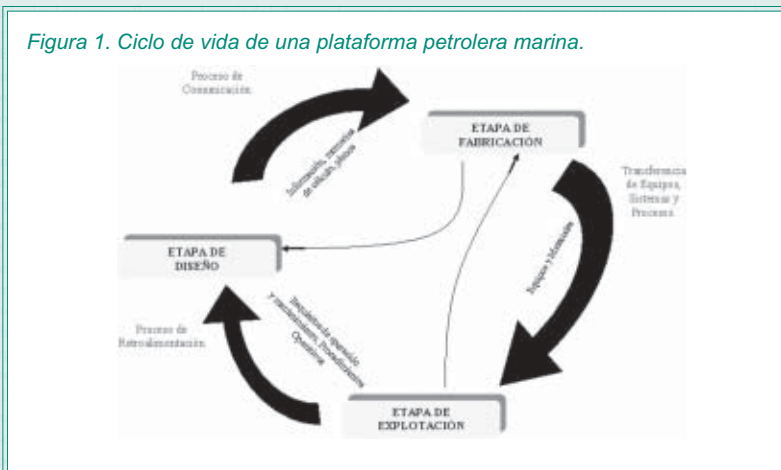
Ante este panorama, las plataformas marinas pueden ser de diferentes tipos de acuerdo con la función que desempeñan. Este trabajo se refiere a plataformas marinas fijas tubulares, las cuales pueden ser de cuatro, seis u ocho piernas y que sustentan la subestructura y la superestructura. La subestructura es la estructura de la plataforma situada por debajo del nivel del mar, a ella se unen los ‘embarcaderos de emergencia’ utilizados para embarco y desembarco de personal. A la

estructura localizada por arriba del nivel del mar se le denomina superestructura y, normalmente, consta de dos niveles. En el nivel inferior se localizan los equipos de proceso y las tuberías de servicios y de proceso; en el nivel superior se instalan los equipos de producción y, opcionalmente, los helipuertos.

Ciclo de vida de plataformas marinas

El ciclo de vida de una plataforma marina comprende tres grandes etapas: 1) etapa de diseño, 2) etapa de fabricación y 3) etapa de explotación. El producto de cada una de las etapas marca la entrada a la siguiente etapa; misma que, a su vez, retroalimenta a la etapa anterior. De esta forma, en la etapa de diseño se desarrollan diagramas de flujo de proceso, diagramas de tuberías e instrumentación, diagramas de señales y rutas eléctricas, planos de distribución de equipos principales y tuberías de proceso. Otros desarrollos importantes en esta fase son las especificaciones de equipos, tuberías, estructuras, instrumentos, filosofía de seguridad, filosofía de operación, filosofía

Figura 1. Ciclo de vida de una plataforma petrolera marina.





de control, cálculos de espesores de paredes de recipientes y cédulas de tuberías, planos de localización de instrumentos, motores eléctricos, luminarias, equipo de seguridad y otros que requieran suministro de energía eléctrica.

De este modo, una de las especialidades más importantes es la estructural, pues es la estructura de la plataforma la que soporta todo el peso de los equipos, tuberías, fluidos y equipos móviles tales como grúas y helicópteros. Sin embargo, uno de los principales obstáculos que interfieren con el diseño es la fuerza de las mareas. El diseño estructural queda conformado por memorias de cálculo, planos y especificaciones de elementos estructurales, listas de materiales, procedimientos de instalación y detalles de conexiones.

Por su parte, la etapa de fabricación, comprende la construcción, instalación, pruebas y puesta en servicio. En este sentido, toda la información generada en la etapa de diseño se entrega a los fabricantes de estructuras y equipos, con lo que se abre un proceso de comunicación entre los diseñadores y los fabricantes que requiere de constantes revisiones de planos, especificaciones y listas de materiales. De igual forma, el proceso se repite con los proveedores de instrumentos debido a que –antes de iniciar la construcción– se deben verificar los planos, las memorias de cálculo, espesor y composición de materiales. En especial, la de aquéllos que entrarán en contacto con los fluidos de proceso y con los exteriores, que soportarán ambientes muy severos.

Luego de las revisiones, cada fabricante emite sus propios planos constructivos y sus listas de materiales para iniciar con la fabricación de los equipos. En un primer momento se trabaja con los equipos más grandes y, por ende, los de manejo e instalación más compleja; más tarde serán construidos los equipos que requieren materiales especiales; posteriormente, los de menor tamaño y de materiales estándar. Sin embargo, por las características propias de las plataformas, es menester que la mayor parte de la construcción se realice en los talleres, donde

una gran cantidad de los componentes serán ensamblados y todos los equipos probados, ello con la finalidad de que las operaciones mar adentro sean sólo las estrictamente necesarias.

En la etapa de explotación se realiza la operación, el mantenimiento en sus tres acepciones (preventivo, correctivo y predictivo), las modificaciones y adecuaciones. De igual modo, durante esta etapa se llevan a cabo las mejoras a las instalaciones. Muchas veces, el proceso concluye con el desmantelamiento y retiro de los componentes, lo que marca el fin de la vida útil.

Por otra parte, las características inherentes al medio ambiente propician que las maniobras de operación y mantenimiento de las plataformas marinas sean especialmente complicadas. De esta forma y con la intención de disminuir el riesgo en la operación, es necesaria la capacitación y certificación del personal. En adición a ello, es preciso contar con procedimientos bien definidos, disponer en el sitio de todos los materiales y herramientas dado que, solicitarlos a instalaciones o proveedores en tierra obliga a un considerable tiempo de espera.

Es en esta etapa en donde se refleja la eficacia del diseño de modo que, la información sobre el particular, debe retroalimentar a las etapas anteriores a fin de enriquecer futuros diseños. Cabe mencionar que es vital que en las instalaciones de la plataforma marina se cuente con toda la información generada en las etapas previas, sólo así será posible tener en mente todos los parámetros y especificaciones que se consideraron durante el diseño y fabricación de equipos.

En otros aspectos, las adecuaciones y mejoras son actividades constantes en las plataformas marinas, pues continuamente están saliendo al mercado nuevos equipos, mucho más eficientes y de mejor fabricación. Aunado a esto se presentan las acciones por mantener estable la producción de petróleo y gas que, en ocasiones, demandan cambios en el proceso o en las instalaciones. El parámetro más importante, al igual que en las etapas anteriores, es la seguridad, tanto del personal como del medio ambiente y de las instalaciones. Por esto es importante seguir las recomendaciones del API 14C (API, 1998), que especifican la formalización de un sistema para administración de cambios.

Dicho sistema deberá considerar la necesidad que da origen al cambio, las partes involucradas (operadores, personal de mantenimiento o seguridad, comandadores, proveedores, diseñadores, etcétera), las partes afectadas, los nuevos procedimientos operativos y de mantenimiento, y el programa con la definición de actividades en cada etapa. Además, la gran densidad de equipos y tuberías en la plataforma marina, propicia un ambiente con alta probabilidad de fallas lo que hace necesario tomar medidas adicionales de seguridad (API, 1998).

Tales medidas deben considerar más puntos de medición, mayores márgenes operativos entre la primer alarma y el punto de disparo y hacer continuos los análisis de riesgos en la operación de las plataformas marinas. De igual modo, al llegar al final de la vida útil es necesario contar con todos los planos de las instalaciones. La razón de este requerimiento es planear todas las actividades junto con sus riesgos e implicaciones para desmantelar la instalación y retirar, de manera eficiente y segura, todos los componentes. Con la finalidad de evitar accidentes y catástrofes ecológicas, estas actividades deben llevarse a cabo con apego a los instrumentos de desmantelamiento de cada uno de los sistemas.

Modelo digital

Los modelos digitales pueden ser de dos dimensiones (modelos 2D) o de tres dimensiones (modelos 3D). Los primeros están constituidos por diagramas, planos, memorias de cálculo y listas de materiales; en tanto que los modelos 3D contienen todos los elementos físicos fijos que forman parte de las plataformas marinas y que tienen una función específica en la etapa de explotación de la misma.

Los modelos digitales deben cubrir todo el ciclo de vida de las plataformas marinas, por lo que se inician con su construcción desde las primeras actividades en la etapa de diseño. Además, deben ser actualizados cuando se realicen cambios

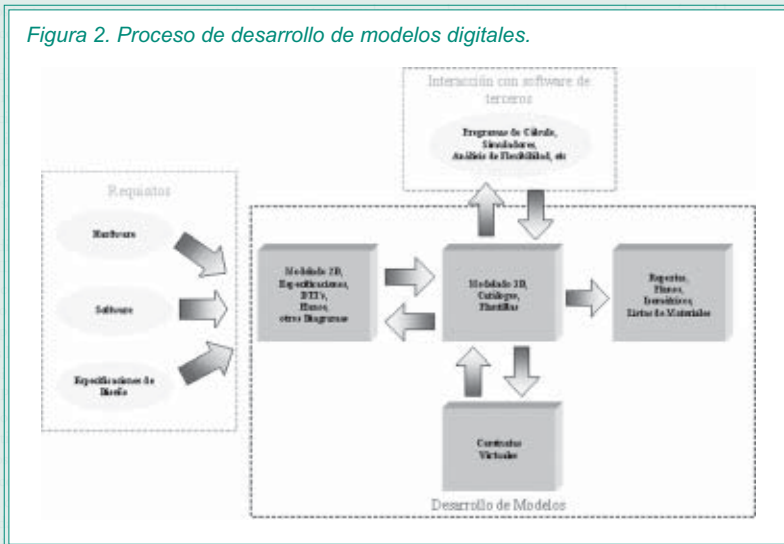


en las instalaciones, de manera que los modelos permanezcan vigentes y con información válida y actual durante toda la vida útil de la instalación.

Para iniciar el desarrollo de un modelo digital se requiere un buen grupo de diseñadores y los siguientes tres componentes básicos: *software*, *hardware* y las especificaciones de diseño. Existen en el mercado varios sistemas que son adecuados para el modelado de plataformas marinas, pero los que dominan el mercado internacional son Plant Design Management System (PDMS) y Plant Design System (PDS). Sin embargo, como lo enuncia Robert Peltier (2002): “El objetivo no está en juzgar si los paquetes de *software* son competitivos o en evaluar formas de *software* alternativo, está justamente en otra línea, en el temple del diseñador, y es únicamente tan bueno como lo es el diseñador mismo. El sector informático está cambiando rápidamente, lo que hoy es un descubrimiento mañana será una práctica estándar”.

En este sentido, se puede decir lo mismo del *hardware*, puesto que cada vez es más corto su ciclo de vida. Lo que obedece al rápido progreso actual en los dispositivos y equipos de cómputo; por lo tanto, es importante que los diseñadores conozcan instalaciones similares y que tengan un amplio conocimiento de las especificaciones y normatividad aplicables.

Figura 2. Proceso de desarrollo de modelos digitales.



Por otra parte, el desarrollo de modelos digitales consta de las siguientes etapas: especificación, desarrollo de modelos 2D, desarrollo de modelos 3D y desarrollo de reportes.

Etapas de especificación

En esta etapa se definen:

Especialidades que intervienen. Proceso, tuberías, civil, mecánico, instrumentación y control, arquitectura, eléctrico, telecomunicaciones, seguridad industrial y aire acondicionado.

Lista de componentes por especialidad. Se incluyen aquí el servicio al cual están destinados (árboles de válvulas, tuberías de procesos y de servicios, elementos estructurales, equipos mecánicos, instrumentos, lazos de control, cuartos de control y áreas de servicios, equipos eléctricos, los CCM, cajas de conexiones, altavoces, cámaras de CCTV, detectores de mezclas explosivas, ductos de aire acondicionado y manejadoras de aire). Los servicios típicos son pozos, cabezales de distribución, separadores, venteos, drenajes, agua contra incendio, aire de instrumentos, aire de servicios, gas, aceite, subestructura, superestructura, corriente di-

recta, corriente alterna, seguridad y telecomunicaciones.

Especificaciones a aplicar y fabricantes de equipo de línea.

Típicamente se aplican las siguientes especificaciones para tuberías ANSI B31.3, ANSI B31.4, ANSI B31.8 y ANSI B36.10; para válvulas API 6D, API 600 y API 602; para árboles de válvulas API 6 A; para válvulas de seguridad y relevo API 526; para recipientes a presión ASME sección VIII, para estructuras IMCA; instrumentos conforme a ISA; equipo eléctrico de acuerdo con NEC y NFPA; para aire acondicionado NFPA 496, NFPA 90 A y NFPA 101. Es necesario contar con los planos de construcción de equipos y componentes, así como las dimensiones de los equipos, instrumentos y dispositivos eléctricos y de seguridad de los diversos proveedores.

Niveles de modelado. En este sentido se reconocen tres niveles con las siguientes características:

- Nivel 1. Corresponde a componentes que se modelan como cajas negras sólidas que sólo representan el volumen que ocuparán dichos componentes. Este nivel de modelado se aplica para componentes o sistemas que aún no se han definido completamente pero que ya se tiene conocimiento de las entradas, salidas y acometidas eléctricas, así como de su forma y dimensiones aproximadas obtenidas de proyectos anteriores o de proveedores. Se entiende que este nivel de modelado se aplica temporalmente con el objetivo de no retrasar los avances en otras especialidades y que es necesario considerar en cuanto a espacio, tuberías y canalizaciones eléctricas.
- Nivel 2. Representa la forma externa real de los equipos, con dimensiones reales considerando todos los accesorios externos y los elementos de conexión como tuberías y ‘conduits’. Se aplica prácticamente a todos los equipos y accesorios de las especialidades involucradas, desarrollando el mo-



delo a partir de planos con detalles, vistas, especificaciones y catálogos de los proveedores.

- Nivel 3. Aquí, cada una de las partes o piezas del equipo es considerada un elemento individual, incluyendo las partes o componentes internos. De manera que pueda conocerse no solamente su apariencia externa (como en el nivel 2), sino también los detalles internos. Por ejemplo, en un intercambiador de calor de tubos y coraza, éstos se modelan por separado y luego se ensamblan las tapas, tubos, cabezales y coraza; mientras que este mismo equipo modelado en nivel 2 tendría la coraza, las boquillas y las tapas como elementos únicos y no podría desensamblarse. Este nivel es útil cuando se planea que el modelo 3D sirva de apoyo para desarrollar procedimientos para ensamblar y desensamblar equipos y sistemas.

La información o atributos asociados a cada elemento modelado. Esta información depende del uso que se dé al modelo, de acuerdo con el ciclo de vida de la plataforma. La información mínima consta de un identificador, condiciones normales mínimas y máximas de operación, propiedades de los fluidos de proceso, suministro eléctrico, especificaciones, materiales, marca y modelo, cuando apliquen.

Desarrollo de modelos 2D

Los modelos 2D se conforman con diagramas y planos. Se desarrollan, inicialmente, los diagramas de flujo de proceso (Bandel y Lawson, 2002), en seguida, los diagramas de tuberías e instrumentación; con éstos y las especificaciones, se hacen: un modelo 3D, la distribución de equipos, rutas de tuberías y localización de otras áreas de servicios y confort de personal.

Posteriormente, se desarrollan los diagramas de señales, de lazos de control y de alambrado. El modelo 2D se complementa con planos derivados del modelo 3D, una vez que éste ha sido terminado; estos planos pueden ser: generales de localización, estructurales, isométricos, de tuberías y los propios de cada especialidad. Cabe mencionar que todos los diagramas deben estar basados en una simbología estándar y las especificaciones de cada especialidad, esto hará posible ligarlos a bases de datos que contengan toda la información relacionada con cada componente; de manera que, se puedan hacer verificaciones de congruencia entre los modelos 2D y los 3D.

Desarrollo de modelos 3D

Los modelos 3D de las plataformas marinas se inician con la especialidad estructural, una vez hecha la distribución del equipo principal y localización de áreas. Posteriormente, partiendo de los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI), se hacen grupos de equipos tales como: árboles de válvulas, cabezales de distribución, separadores, etcétera. Acto seguido, se conectan con tuberías los equipos

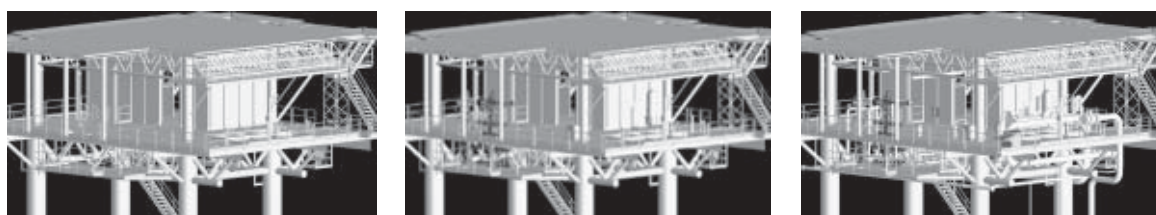
entre los grupos, incluyendo tuberías de servicios; inmediatamente debe hacerse la interconexión de grupos y colocarse la instrumentación tanto de equipos como de tuberías. Una vez que se localizan los equipos eléctricos y contando con los diagramas de rutas y señales, se modelan los 'conduct' y charolas eléctricas. Finalmente, se localizan los dispositivos de seguridad y aire acondicionado.

Para que el desarrollo de los modelos 3D tenga calidad, es importante iniciar con la definición de los elementos de especificaciones y catálogos que se necesitarán para el modelado de cada una de las diferentes especialidades involucradas. Por ejemplo, si en la especialidad de tuberías se modelarán elementos o accesorios de un determinado fabricante, es necesario crear un catálogo que contenga los elementos de dicho fabricante que serán utilizados por los diseñadores o modeladores de tuberías. Esto agiliza y da consistencia al modelado, ya que una vez elaborado el catálogo—el modelador de tuberías simplemente busca en el catálogo del sistema los elementos o accesorios que necesita y los utiliza en el modelo, sin tener que ocuparse más por detalles como dimensiones de elemento, tipos de conexiones, materiales, etcétera.

Desarrollo de reportes

Una vez que se ha terminado el modelo 3D se pueden crear, configurar y personalizar reportes isométricos, listas de materiales, planos generales de localización, por especialidad o sección, cortes, elevaciones, detalles de conexiones, listas de instrumentos, de tuberías de equipos mecánicos y eléctricos.

Figura 3. Secuencia de desarrollo del modelo digital de la plataforma Batab 1A.





Conclusiones

Los modelos digitales son de gran utilidad durante todo el ciclo de vida de las plataformas marinas, gracias a que mantienen consistencia de especificaciones entre las especialidades, mantienen registros de datos actualizados, condiciones de operación, propiedades termodinámicas de los fluidos y todas las consideraciones de diseño. Toda la información almacenada ahorra gran cantidad de horas hombre en la etapa de diseño, más aún, se logra un diseño de alta calidad al tener controlados todos los cambios que se presentan durante esta etapa.

De igual modo, tanto los modelos como los registros, son provechosos durante la etapa de construcción. El beneficio se traduce en que se pueden hacer recorridos virtuales por la instalación antes de llevar algún componente a la plataforma, lo que permite detectar y visualizar problemas y errores antes de que éstos sucedan. Al mismo tiempo, permite a los ingenieros de construcción proponer arreglos de equipos y tuberías, más económicos e igualmente seguros.

Además, es posible detectar choques entre elementos y modificar sus rutas; se pueden simular acciones de instalación y operación de sistemas críticos asegurando que el diseño propuesto es el óptimo. Los trayectos virtuales a través de los modelos digitales ahorran costos y peligrosos viajes a plataformas e instalaciones reales, pues desde las oficinas se puede inspeccionar la totalidad de las plantas y hacer diseños para modernizar las instalaciones, así como definir rutas de evacuación y hacer análisis de riesgos.

Referencias

API. *Production facilities on offshore structures*, RP 2G, EE.UU.:API Recommended practice, 1998.

API. *Recommended practice for analysis, design, installation, and testing of basic surface safety systems for offshore*

production platforms, 14c, sexta ed., EE.UU.:API Recommended practice, 1998.

Bandel, F. y J. Lawson. "Working the kinks out the piping design", en: *Chemical Engineering*, EE.UU., septiembre, 2002.

Peltier, Robert. "Computer tools drive power plant design", en: *Revista Power*, EE.UU., mayo-junio, 2002.

Pemex. *Especificaciones técnicas para proyectos de obras*, P.2.0600.01, Rev. 1, México: Unidad de Normatividad Técnica de la Subdirección de Operaciones y Comercialización de Pemex Exploración y Producción.

Octavio Gómez Camargo

Ingeniero químico egresado de la Facultad de Química de la UNAM (1979). Maestro en Ingeniería Química, UNAM (1987). Se especializa en la dirección y control de proyectos, manejo y formación de personal, estimación de horas-hombre, supervisión de instalación de sistemas de instrumentación y control. De igual modo, ha estado presente en el diseño y desarrollo de sistemas de control para unidades turbogás. Actualmente participa en tres proyectos distintos: Desarrollo del control distribuido de Gómez Palacio, Dgo., Control de unidades turbogás e Infraestructura en sistemas de calidad. Su línea de desarrollo es la de Instrumentación.

ogomez@iie.org.mx

Jesús Vázquez Bustos

Ingeniero electrónico por el Instituto Tecnológico de la Laguna (1993). Sus áreas de especialidad son los sistemas electrónicos digitales, la programación en tiempo real y el diseño de redes de comunicaciones.

Actualmente participa en los proyectos: Integración de prototipos para unidades turbogás II e hidroeléctricas y Transferencia de aplicaciones en controladores SAC a una plataforma integrada con productos comerciales.

jvazquez@iie.org.mx