



# El CTAP del IMP Cuenta con Otros Cuatro Laboratorios y Equipamiento de Vanguardia (Segunda Parte)

*Investigadores y expertos del CTAP del IMP describen el funcionamiento y utilidad de los laboratorios y equipos de última generación para desarrollo de la industria petrolera y otros sectores*

La investigación y los servicios tecnológicos que ofrece el Centro de Tecnología para Aguas Profundas (CTAP) del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) a las actividades petroleras en campos de aguas someras, profundas o terrestres; también comprende estudios geotécnicos y diseño de cimentaciones para la industria civil y obras urbanas como presas, puentes o edificios. La industria naval puede verse igualmente beneficiada gracias al análisis y diseño de embarcaciones para

actividades comerciales. Asimismo, la energía eléctrica eólica podría recibir del CTAP del IMP proyectos de infraestructura marina de soporte para turbinas y generadores eléctricos.

Entre los beneficios que el CTAP, en su incipiente trabajo, brinda al sector hidrocarburos y al resto de las industrias referidas, está la formación de recursos humanos especializados; el desarrollo de tecnologías con seguridad operativa e impacto mínimo hacia el medio



ambiente; la calificación de tecnologías nuevas o existentes ante condiciones ambientales u operacionales propias de cada proyecto de inversión. Así como la generación de tecnologías diferenciadas para fortalecer la competitividad de la industria nacional.

Cada uno de los laboratorios del CTAP del IMP tiene, además de un alto grado de especialización, características que incluso los distinguen como únicos en México, Latinoamérica o en el mundo, sea por su infraestructura o por ciertos equipos diseñados para el CTAP específicamente.

### Laboratorio de Calificación de Tecnologías (LCT)

Único en Latinoamérica. Su diferencia con los que existen en Europa, además de su capacidad, es contar con dos bahías de prueba que permiten estudiar dos tecnologías de proceso, ahorrando tiempo en su instalación; aludió el coordinador del CTAP del IMP, Federico Baranco Cicilia.

“Con el paso del tiempo, los campos petroleros cambian y los equipos o sistemas de producción de hidrocarburos se deben adaptar a estas nuevas condiciones de operación” mencionó el ingeniero Juan Eduardo Hernández Becerril, colaborador del LCT cuyo titular es el ingeniero Arturo Reyes Rosas, con quien además de Eduardo Hernández colaboran tres ingenieros petroleros; una ingeniera química, un ingeniero físico y un ingeniero en electrónica.

El potencial de este laboratorio es la calificación y evaluación del desempeño de equipos de proceso y dispositivos para medición de flujo, a fin de estudiar el comportamiento de éstos, sujetos a mezclas tipo gas-líquido o líquido-líquido a diferentes condiciones de presión, flujo y temperatura. Aquí se desarrollan modelos para simulación, se evalúan y califican dispositivos de medición de fluidos y equipos de proceso, como separadores de hidrocarburos. El LCT también ofrece servicios de entrenamiento teórico-práctico a operadores de sistemas de producción de hidrocarburos.

El procedimiento para hacer la calificación de una tecnología en este laboratorio, consiste en elaborar un modelo computacional donde



se simulan las condiciones de flujo, presión y temperatura a las que en la realidad deberá operar dicha tecnología. Posteriormente, se desarrolla un experimento a baja o mediana escala, con el objetivo de validar y ajustar las simulaciones o modelos computacionales. Para desarrollar los experimentos a mediana y baja escala, el LCT cuenta con tres circuitos experimentales, que en conjunto conforman el área o *Loop* de baja presión. Una vez desarrollado el análisis experimental y dependiendo de los resultados que arroje dicho análisis, se ajustan los modelos computacionales, hasta que el grado de incertidumbre sea el mínimo posible, entre el experimento y la simulación, explicó el ingeniero Hernández Becerril.

Finalmente, se prueban modelos a escala real en el circuito o *Loop* de alta presión. Para el caso de la evaluación de la eficiencia de separación, se cuenta con un laboratorio de caracterización de fluidos a través del cual se determina la eficien-

*En el loop de baja presión del LCT, se evalúan tecnologías a pequeña o mediana escala y las que resulten idóneas, se prueban a escala natural bajo condiciones muy próximas a las de los campos productores de hidrocarburos.*

*El alto valor de las tecnologías y servicios que el CTAP provee a la industria petrolera, generará un desarrollo más acelerado y eficiente de los campos en aguas profundas y ultraprofundas*



*El Laboratorio de Geotecnia... es único en México con el equipo más novedoso para caracterizar, dinámica y estáticamente, el suelo de aguas mexicanas someras y profundas*

cia del separador, por medio de mediciones de muestras donde se determina el contenido de aceite o crudo en el agua y viceversa.

“Algo muy importante es que en este laboratorio es posible completar el ciclo para el desarrollo de tecnologías y proponer diversas opciones para la solución de algún problema. Tras la modelación numérica; en el laboratorio o *Loop* de baja presión primero se prueban las tecnologías en modelos a pequeña o mediana escala y aquellas opciones que resulten idóneas se prueban a escala natural en el *Loop* de alta presión, bajo condiciones muy próximas a las de los campos productores de hidrocarburos”; detalló el doctor en ingeniería Federico Barranco.

Los circuitos experimentales del *Loop* de baja presión son:

- Circuito de prueba multifásico utilizando fluidos modelo (C1).

- Circuito de prueba de desarenado y erosión por arenas (C2).
- Circuito de prueba multifásico a presión atmosférica (C3).

El C1 tiene condiciones de operación para 50 mil barriles de fase líquida —agua y crudo—, más una fase gaseosa de 2 mil m<sup>3</sup>/hr de aire. La temperatura de operación es de hasta de 60 grados Celsius.

El C2 permite realizar pruebas experimentales para determinar los efectos de erosión por arenas en conductos y dispositivos mecánicos en contacto con los flujos de hidrocarburos producidos en campos petroleros, así como llevar a cabo pruebas para evaluación de equipos para desarenado. Además, tendrá la posibilidad de reconfigurarse para llevar a cabo pruebas experimentales de separadores ciclónicos.

El C3 está constituido por un separador trifásico con un volumen aproximado de 25 m<sup>3</sup>, un separador de prueba vertical trifásico, construido en acrílico para la visualización del comportamiento de internos separadores de fases, un conjunto de bombas centrífugas que generan flujos de líquidos hasta por cinco mil barriles por día y un módulo de compresión.

Adicionalmente, los tres circuitos experimentales cuentan con un sistema de monitoreo



*En el loop de baja presión del LCT, las tecnologías o equipos que se requieran calificar, pueden adaptarse a cualquiera de los tres circuitos de prueba, gracias a su infraestructura modular.*



La columna resonante del Laboratorio de Geotecnia... permite medir propiedades dinámicas del suelo y conocer la respuesta del suelo ante sismos u oleaje.

y control que les permite obtener lecturas y registros de las principales variables, con el objetivo de supervisar el desempeño de cada circuito.

Una característica relevante del *Loop* de baja presión es su reconfiguración y adaptación a cada uno de los circuitos de prueba, ya que cuenta con infraestructura modular que le posibilita adecuarse a las presiones, temperaturas, mezcla y flujos requeridos por la tecnología o equipo a calificar o probar.

Cuando la metodología de calificación de tecnología requiere evaluar, probar u optimizar tecnología bajo condiciones reales de operación, esto es, hacer fluir una mezcla multifásica de hidrocarburos en el equipo bajo prueba para evaluar su desempeño, se recurre al *Loop* de alta presión.

La operación del *Loop* de alta presión se realiza desde un cuarto de control, donde se monitorean y controlan las condiciones de operación, tales como temperatura, presión, flujo, corte de agua, relación gas-aceite, etcétera; para la evaluación adecuada de elementos bajo prueba.

El LCT cuenta con las medidas de seguridad adecuadas para el desarrollo de las pruebas; está equipado con un sistema integral de se-

guridad que incluye detectores de gases combustibles, humo, sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S); un sistema contra incendios a base de agua para áreas abiertas, así como un agente extintor FM200 para lugares cerrados; además del sistema de paro por emergencia propio del *Loop* de alta presión.

El doctor Barranco Cicilia enfatizó que cualquier empresa nacional o extranjera puede acudir al CTAP para calificar un equipo y conocer su funcionamiento. En el LCT se utilizan como fluidos de prueba: salmuera, crudo en un amplio rango de densidades, gas metano, gas natural y gas nitrógeno para obtener un fluido representativo multifásico de pozo, y así estudiar su comportamiento tal y como sucede en las instalaciones de producción de hidrocarburos, plataformas costa fuera, baterías de separación en tierra y sistemas de producción en aguas profundas.

---

*El equipo de centrífuga, único en Latinoamérica, resuelve problemas de mecánica de suelos, evalúa la capacidad de carga de cimentaciones y estudia el comportamiento de ductos submarinos a escala real*

---



*En el Laboratorio de simulación numérica... se desarrollan metodologías enfocadas a la determinación de parámetros metoceanicos para el análisis y diseño de infraestructura marina*

### **Laboratorio de simulación numérica de fenómenos metoceanicos e hidrodinámicos**

En éste, un grupo de investigadores se dedican al diseño y evaluación de sistemas de producción marina. El IMP tiene una vasta trayectoria en el desarrollo de plataformas fijas y desde hace 12 años incursionó en los sistemas flotantes, cuyo primer proyecto, referente a Buques de producción, Almacenamiento y Trasiego (FPSOs) lo llevó a cabo el doctor Federico Barranco; aludió la maestra en ciencias Virginia Rebeca Mora Perdomo, responsable de este laboratorio.

Además de las destacadas habilidades de quienes conforman esta unidad, aquí se desarrollan metodologías enfocadas a la determinación de parámetros metoceanicos para el análisis y diseño de infraestructura marina. Los objetivos principales son: caracterizar fenómenos meteorológicos y oceanográficos —como viento, oleaje o corrientes marinas, tanto en la superficie como en el fondo— que impactan el diseño y operación de sistemas

marinos. Así como implementar y desarrollar modelos para la reproducción de los campos de viento, oleaje y corrientes marinas en el Golfo de México y su análisis de valores extremos. Adicionalmente, el laboratorio de simulación numérica ha incursionado en el uso de realidad virtual y visualización en tres dimensiones (3D) para la conceptualización de tecnologías, diseño de procedimientos complejos tanto de instalación como inspección de infraestructura marina y capacitar a personal de la industria petrolera.

“Toda simulación numérica conlleva un proceso de validación. En la parte hidrodinámica, se validan los resultados numéricos con pruebas de modelos físicos en tanques oceánicos y en la parte oceanográfica se hace una campaña de monitoreo en campo, a través de boyas de medición”.

La inversión para el desarrollo de programas informáticos, útiles en el diseño de infraestructura y de simulaciones que a su vez emplean otros laboratorios del CTAP, es cercana a los 90 millones de pesos y para que los programas informáticos de este laboratorio funcionen a toda su capacidad, se tiene un sistema que alberga a varios servidores, es decir un clúster de super cómputo con 700 cores, cuya velocidad de procesamiento es de 24 *tera-flops*, mismos que miden cálculos matemáticos en un segundo, además de la capacidad de almacenamiento en disco duro de 150 *terabytes*, detalló la investigadora Virginia Mora.

La caracterización metoceanica proporciona parámetros para obtener la respuesta hidrodinámica y estructural de sistemas flotantes en aguas profundas, al tiempo que permite estudiar la interacción fluido-estructura.

Actualmente se encuentra en curso un proyecto liderado por el doctor Iván Félix González sobre el desarrollo de metodologías y herramientas computacionales para la optimización de cascos, líneas de amarre, sistemas

*El corte simple cíclico del Laboratorio de Geotecnia es útil para medir problemas dinámicos de grandes deformaciones como la licuación de arenas.*



**CONECTANDO SOLUCIONES  
TECNOLÓGICAS PARA  
UNA MANUFACTURA  
AVANZADA**



Asegure la competitividad  
en las siguientes industrias  
dinámicas globales:

- Automotriz / Autopartes
- Aeroespacial / Aeronáutica
- Energía
- Dispositivos médicos
- Electrodomésticos
- Electrónica
- Soluciones de Plástico para la industria

Pabellones y áreas especializadas



Regístrese sin costo en línea para visitar  
el piso de exposición:

**WWW.EXPOMANUFACTURA.COM.MX**

Siganos en:

ExpoManufactura



Organizado por:



Certificado por:



Miembro de:



Aliado Editorial:

MANUFACTURA



El equipo de centrifuga subsana la necesidad de medir a gran escala el comportamiento de la infraestructura submarina en interacción con el suelo.



truncados de amarre y *risers* —tubos o ductos que conectan una estructura de producción flotante o una plataforma de perforación, con un sistema submarino— para realizar pruebas de modelos a escala de sistemas flotantes de producción en tanque oceánico.

“El enfoque hacia los cascos es optimizar su geometría para minimizar la respuesta ante cargas ambientales, los resultados se validarán llevando a cabo pruebas experimentales del modelo a escala en un tanque oceánico, el cual tiene la capacidad de reproducir las condiciones de oleaje, viento y corriente del sitio en aguas profundas o ultraprofundas en que se ubicará el sistema flotante de producción. La optimización del sistema de amarre se enfoca en reducir los materiales y los costos de instalación. En cuanto a los sistemas truncados de amarre y *risers*, comprende su diseño para realizar pruebas experimentales en tanques oceánicos, cuyas dimensiones no permiten alojar el modelo completo a escala del sistema de amarre”.

### Laboratorio de Geotecnia e interacción suelo-estructura

A decir del doctor en ingeniería geotécnica, Celestino Valle Molina, este laboratorio es el único en México con el equipo más novedoso —estado del arte— para caracterizar dinámi-

ca y estáticamente el suelo de aguas someras y profundas mexicanas, donde se pueden realizar proyectos en forma integral; ya que cuenta con un equipo de centrifuga de tres metros de brazo para probar modelos físicos a escala de infraestructura.

El equipo de centrifuga, único en Latinoamérica, sirve para resolver problemas de mecánica de suelos, evaluar la capacidad de carga de cimentaciones y estudiar el comportamiento de ductos submarinos. Su ventaja es la posibilidad de probar los modelos físicos de cimentaciones marinas y ductos submarinos al mismo nivel de esfuerzo que en el campo, porque al aumentar artificialmente el nivel de aceleración de la gravedad, se origina un fenómeno de escalamiento. Por ejemplo, un pilote de succión para cimentar sistemas submarinos o flotantes mide 40 metros de largo por seis de diámetro; con la centrifuga eso se representa con un tubo de sólo 40 centímetros de largo por seis centímetros de diámetro, al ponerla a girar a 100 g's (g es la aceleración de la gravedad de la Tierra), lo cual se logra al girar el equipo a una velocidad de alrededor de tres vueltas por segundo, generando así las mismas condiciones de esfuerzo que en el campo, por lo que el análisis es a escala real.

“La centrifuga reproduce artificialmente 100 veces la gravedad de la Tierra y puede alcan-



zar hasta 130 g's. Se tienen cuatro contenedores para colocar los modelos físicos, mismos que se colocan en la canastilla del equipo y se puede medir cuánto va a soportar un modelo de pilote de succión ante una carga lateral o axial, mediante la aplicación de carga con un actuador, mientras el equipo está operando. La cámara anti-impacto se transportó desde París, Francia y se construyó en el CTAP.

Este equipo de centrífuga, propio del CTAP, subsana la necesidad de la industria petrolera de medir a gran escala el comportamiento de la infraestructura submarina interactuando con el suelo, puesto que si las mediciones se realizaran a escala real o en campo, serían muy costosas y poco repetibles. Las pruebas en centrífuga representan pruebas tecnológicas en condiciones de campo cuya principal aplicación es ajustar los procedimientos de diseño y validar nuevos diseños de cimentaciones para sistemas flotantes y submarinos de producción, así como ductos marinos.

Otros dos equipos del Laboratorio de Geotecnia son la columna resonante y el corte simple cíclico. La primera permite medir propiedades dinámicas del suelo como rigidez y amorti-

guamiento, este último se refiere a la capacidad del suelo para disipar energía y sirve para conocer la respuesta del suelo ante sismos u oleaje, de ahí que, en el diseño de una cimentación, esta información resulte necesaria para saber cómo se puede comportar una infraestructura al interactuar con ciertos tipos de suelo, cimentaciones o ductos.

Por su parte, el corte simple cíclico también posibilita la medición de propiedades dinámicas del suelo, pero su diferencia con la columna resonante es el nivel de deformación que es más grande y el rango de frecuencias es más bajo, en comparación con el equipo de columna resonante, ya que cada equipo funciona con determinados rangos de deformación y frecuencias. El corte simple cíclico es útil para

*Una de las etapas clave para la extracción del hidrocarburo es la perforación; el Laboratorio de fluidos de perforación, terminación y cementación de pozos; coadyuva en ésta y otras tareas.*

*La caracterización metoceanica proporciona parámetros para obtener la respuesta hidrodinámica y estructural de sistemas flotantes en aguas profundas y permite estudiar la interacción fluido-estructura*



---

*“Cualquier empresa nacional o extranjera puede acudir al CTAP para calificar un equipo y conocer su funcionamiento”, doctor Federico Barranco*

---

problemas dinámicos de grandes deformaciones como la licuación de arenas. Con ambos equipos, más el de triaxial cíclico, se cubren todos los rangos de deformación y de frecuencias para la resolución de algún problema dinámico; puntualizó el doctor Valle Molina.

Actualmente se tiene en ejecución un proyecto sobre el diseño de pilotes de succión para sistemas submarinos de producción, sujetos a carga combinada en condiciones geotécnicas de aguas profundas. “Se busca desarrollar metodología propia para el diseño de cimentaciones de sistemas submarinos, basándose en las condiciones geotécnicas de México, es decir para los tipos de suelo mexicano e incluso para la filosofía de operación, porque no es lo mismo que falle un sistema submarino en otros países que en México, las consecuencias por fallas son completamente diferentes”.

El proyecto se está haciendo en colaboración con la Universidad de Australia Occidental (UWA, siglas de *University of Western Australia*) sobre todo para validar la parte del modelado físico porque, al ser este equipo de centrífuga, el primero que se tiene en México, debe compararse con los mejores del mundo.

Las actividades experimentales de este laboratorio están orientadas al desarrollo de proyectos de investigación y servicios para mitigar el efecto de riesgos geológicos en aguas profundas, garantizando la estabilidad de la infraestructura marina. Además de ofrecer servicios experimentales geotécnicos para la caracterización de suelos, rocas y el modelado físico de infraestructura como se detalló anteriormente.

### **Laboratorio de fluidos de perforación, terminación y cementación de pozos**

Es sabido que el proceso de desarrollo de un campo petrolero es complejo y que una de las etapas clave para extraer el hidrocarburo de aguas profundas es la perforación. De ahí

que la planeación y el diseño del pozo sean un proceso crítico al que, para el cumplimiento de esta actividad, se le atribuya el 80 por ciento del éxito; señaló el maestro en ciencias Ignacio Ramón Cortés Monroy; titular del laboratorio de fluidos de perforación, terminación y cementación de pozos del CTAP.

Este laboratorio cuenta con más de 50 sistemas experimentales y equipamiento cuyo diseño es único en el mundo, por estar hecho para atender problemas específicos que personal de Petróleos Mexicanos (Pemex) y del IMP ha identificado en pozos exploratorios de aguas profundas mexicanas. La misión del laboratorio es generar valor tecnológico para la industria nacional y extranjera y ser un referente de progreso en México.

Sus principales objetivos son: proporcionar servicios de alto valor tecnológico al sector hidrocarburos tanto nacional como internacional, evaluar y desarrollar tecnologías propias; las cuales, al igual que sus servicios deben tener seguridad operativa y ser compatibles con el medio ambiente, es decir con nuestro entorno y no deben impactar negativamente los yacimientos. El laboratorio a su vez, busca contribuir a la construcción de pozos con calidad de agujero para la exploración y el desarrollo de los campos mexicanos en aguas profundas.

Los retos tecnológicos a los que se enfrenta el laboratorio, bajo las condiciones de aguas profundas del Golfo de México son: amplios gradientes de temperaturas a altas presiones, geo-presiones con ventanas operativas estrechas, geo-riesgos someros e intermedios como formaciones reactivas, estructuras subsalinas, integridad de la cementación, entre otros.

En ese sentido, se cuenta con la capacidad de innovar y desarrollar sistemas robustos de fluidos de perforación, terminación y cementación de pozos para las formaciones y condiciones de operación de los campos más demandantes; así como determinar la factibilidad técnica de tecnologías asociadas a fluidos de control y evaluar la funcionalidad de sus sistemas durante el proceso de desarrollo de campos petroleros; además del proceso de visualización, conceptualización, definición, seguimiento y evaluación (VCDSE) de la construcción de pozos.



Algunos de los equipos más emblemáticos con los que cuenta este laboratorio para resolver problemáticas y mitigar riesgos durante la perforación, terminación y cementación de pozos petroleros, son: uno que determina el punto de cristalización de salmueras a altas presiones y bajas temperaturas para evaluar el riesgo de solidificación de los fluidos, durante el proceso de terminación del pozo. Otro equipo de desplazamiento en medios porosos con recirculación tangencial, para estimar el daño de formación por fluido de perforación en condiciones representativas. Un micro-tomógrafo que permite modelar y evaluar a detalle la estructura interna de muestras de roca con alta resolución en tres dimensiones (3D), obtenidas de lugares de perforación de pozos, así como los efectos de la interacción específica del fluido de perforación con el yacimiento.

Se tiene asimismo un dispositivo para evaluar la capacidad de la migración de gas, en la lechada de cemento durante su colocación.

Otro que mide el ángulo de contacto, tensión interfacial y superficial, cuya celda fue construida por talento mexicano y sirve para evaluar el efecto de los fluidos de control sobre la mojabilidad de la roca productora. También se cuenta con reómetros de diseño único para evaluar el comportamiento reológico de fluidos complejos con gran precisión a alta presión, así como a baja y alta temperatura, lo que incluye parámetros viscosimétricos, módulos viscoelásticos, reología interfacial, análisis de cambios microestructurales por dispersión de luz de ángulo pequeño durante la deformación del fluido, tribología y asentamiento de partículas; especificó el maestro Cortés Monroy.

Todo lo anterior demuestra el alto valor de las tecnologías y servicios que el CTAP del IMP puede proveer a la industria petrolera; propiciando un desarrollo más acelerado y eficiente de los campos en aguas profundas y ultraprofundas, a lo que se suma la necesaria y pertinente formación de recursos humanos de alto desempeño y especialización.

*Más de 50 sistemas experimentales y equipamiento de diseño exclusivo, hacen del Laboratorio de fluidos... un referente de progreso en México.*

