



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA PETROLERA Y GAS NATURAL – PRODUCCIÓN

ANÁLISIS Y PROPUESTA DEL PLAN DE ESTUDIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
PETROLERA

**TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

PRESENTA:

MARÍA ISABEL VILLEGAS JAVIER

TUTOR PRINCIPAL

DRA. JETZABETH RAMÍREZ SABAG, FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. NOVIEMBRE 2014

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Fernando Samaniego Verduzco

Secretario: Dra. Jetzabeth Ramírez Sabag

Vocal: Dr. Víctor Hugo Arana Ortiz

1<sup>er.</sup> Suplente: M.I. Tomás Eduardo Pérez García

2<sup>do.</sup> Suplente: M. en C. David Escobedo Zenil

Lugar donde se realizó la tesis: MÉXICO, DISTRITO FEDERAL

**TUTOR DE TESIS:**

Dra. Jetzabeth Ramírez Sabag

-----  
**FIRMA**

## Contenido

1. Glosario .....	5
2.- Introducción .....	7
3. Necesidades nacionales y competencias críticas asociadas .....	9
3.1 <i>Situación mundial: demanda y oferta de talento técnico</i> .....	9
3.2 <i>Necesidad de un plan de estudios acorde con los requerimientos de la industria.</i> .....	10
3.3 <i>Complejidad de los campos petroleros y retos técnicos de los proyectos.</i> .....	11
3.4 <i>Retos técnicos, competencias críticas y especialidades.</i> .....	16
3.5 <i>Valor del desarrollo de competencias</i> .....	22
4. Antecedentes .....	25
4.1 <i>Revisión y comparación de planes de estudios de universidades.</i> .....	25
4.2 <i>Enfoque hacia retos técnicos.</i> .....	36
4.3 <i>Investigación del Consejo de Talento de la Sociedad de Ingenieros Petroleros (SPE por sus siglas en inglés).</i> .....	49
5. Desarrollo metodológico.....	56
5.1 <i>Modelo de competencias.</i> .....	56
5.2 <i>Fase de desarrollo</i> .....	57
5.2.1 <i>Identificación de retos y competencias críticas</i> .....	57
5.2.2 <i>Definición de competencias y perfiles de especialidad</i> .....	60
5.2.3 <i>Diseño del cierre de brechas</i> .....	61
5.3 <i>Competencias específicas para recién graduados de acuerdo al Consejo de Talento de la SPE.</i> .....	65
5.4 <i>Propuestas de temas y asignaturas adicionales en el plan de estudios.</i> .....	68
5.5 <i>Plan de estudios propuesto.</i> .....	88
6. Aplicación a través de una muestra. ....	89
6.1 <i>El proyecto y sus retos técnicos.</i> .....	89
6.2 <i>Relación entre el proyecto, retos técnicos, competencias y asignaturas del plan de estudios</i> .....	97
Conclusiones. ....	100
Bibliografía .....	103
Anexos .....	107
<i>Anexo 3.1</i> .....	107
<i>Anexo 4.1</i> .....	109

*Contenido de Tablas*

Tabla 3.1 Retos de explotación por tipo de Yacimiento o Hidrocarburo ..... 16

Tabla 3.3 Retos de Operación de Pozos e Instalaciones de Explotación ..... 17

Tabla 3.4 Perforación y reparación de pozos ..... 17

Tabla 3.5 Especialidades de Diseño de Explotación ..... 19

Tabla 3.6 Especialidades de Operación de pozos e instalaciones de explotación ..... 19

Tabla 3.7 Especialidades de Perforación de pozos ..... 20

Tabla 3.8 Ejemplo de perfil de especialidad - Simulación de Yacimientos ..... 21

Tabla 4.1 Porcentaje de asignaturas de especialidad contra total de asignaturas ..... 28

Tabla 4.2 Porcentaje de asignaturas de yacimientos contra asignaturas de especialidad ..... 29

Tabla 4.3 Porcentaje de asignaturas de perforación contra asignaturas de especialidad ..... 30

Tabla 4.4 Porcentaje de asignaturas de producción contra asignaturas de especialidad ..... 31

Tabla 4.5 Asignaturas de ciencias básicas que se imparten en la UNAM y en otras universidades del mundo. .... 32

Tabla 4.6 Tabla comparativa de universidades ..... 34

Tabla 4.7 Retos técnicos de cada proyecto de PEP, fuente: SBC, 2011 ..... 36

Tabla 4.8 Principales competencias ..... 53

Tabla 4.9 Principales competencias 2 ..... 54

Tabla 4.10 Principales competencias 3 ..... 55

Tabla 5.1 Principales retos técnicos de las Coordinaciones de Operación de Pozos e Instalaciones (COPIES)..... 57

Tabla 5.2 Especialidades y competencias críticas de los principales retos de las COPIES ..... 58

Tabla 5.3 Disciplinas y especialidades técnicas de las COPIES ..... 59

Tabla 5.4 Estructura del diccionario de competencias ..... 60

Tabla 5.5 Ejemplo de perfil de especialidad – Operación de Pozos..... 63

Tabla 5.6 Matriz de Competencia – SPE Grupo de Trabajo en Competencia ..... 67

Tabla 5.7 (Continuación) Matriz de Competencia – SPE Grupo de Trabajo en Competencia ..... 68

Tabla 6.1 Relación entre el reto técnico, competencias críticas asociadas al reto y asignaturas que cubren las competencias..... 98

**Contenido de Figuras**

Figura 3.1 Campos petroleros de México y su nivel de complejidad ..... 13

Figura 3.2 Los 4 palancas principales para enfrentar retos técnicos ..... 15

Figura 5.1 Metodología de aprendizaje combinado ..... 62

Figura 5.3 Plan de estudios Ingeniería Petrolera ..... 88

## 1. Glosario

**Brecha:** Diferencia entre el Nivel de Dominio Esperado y el Nivel de Dominio Real relacionado con competencia.

**Competencia:** Conocimiento o habilidad requerida para completar las actividades y tareas en un proceso determinado.

**Competencias complementarias:** Competencia de apoyo de una especialidad para complementar las actividades fundamentales, o interrelacionarse con otros actores del proceso.

**Competencias marcadoras:** Competencias distintivas de una especialidad directamente vinculada a la estructura de proceso, proyecto, visión y plan de negocio del activo.

**Disciplina:** Gran división correspondiente a una rama de alguna ciencia determinada

**Especialidad:** Función de trabajo que forma parte de una disciplina cuyo objeto es una parte de las actividades sobre las cuales se posee conocimiento o habilidades muy precisas.

**Grado de especialización:** Nivel de especialización en una cobertura de competencias de acuerdo al perfil del profesionalista dentro de la Organización y su etapa en el plan de carrera

**Modelo de competencia:** Modelo de desarrollo de personal para acelerar el cierre de brechas, alineando los esfuerzos de capacitación a las necesidades del negocio

**Nivel de dominio:** Uno de cinco grados de dominio de una competencia, con características específicas en las conductas observables:

- Elemental: Noción de los conceptos, tecnologías o metodologías
- Básico: Ha participado en cursos o entrenamiento que cubren los principios, fundamentos y aplicaciones de los temas relacionados con la competencia; y explica las aplicaciones y uso de tecnologías relacionadas.

- Intermedio: Aplica conocimientos y habilidades en proyectos de forma independiente, regular y precisa
- Avanzado: Aplica tecnologías relevantes en numerosos proyectos de diversas áreas y temáticas complejas; demuestra habilidades especializadas; y asesora a compañeros en la aplicación de competencias, puede enseñar a sus colegas
- Especializado: Es considerado una autoridad en la competencia; publica artículos y demuestra liderazgo técnico en la competencia; y asesora a PEMEX en tecnología y aspectos estratégicos de su aplicación

Nivel de dominio esperado: Grado de conocimiento o habilidad que se requiere para una competencia determinada, de acuerdo a las funciones y nivel de puesto.

Nivel de dominio real: Grado de conocimiento o habilidad observada para una competencia determinada. Después de realizar el proceso de medición de competencias (entrevistas a personal).

Perfil de especialidad: Grupo de competencias relacionadas a una especialidad con su nivel de conocimiento (nivel de dominio) requerido para que un perfil de puesto pueda ejecutarse de manera exitosa.

Pertinencia: Justificación clara y precisa de la existencia del programa, atendiendo a una demanda de la sociedad acorde con la misión de la institución.

Plan de estudios: diseño curricular que se aplica a determinadas enseñanzas impartidas por un centro de estudios.

Reto técnico: Actividad asociada a un proyecto técnico (ej. desarrollo de un yacimiento), que presenta una deficiencia en el conocimiento de las competencias (tecnología o proceso) asociadas a la actividad, para cumplir con la promesa de valor/meta del proyecto.

Vehículo de capacitación: Medio por el cual se cierran las brechas de conocimiento del personal.

VCDSE. Metodología utilizada en los proyectos de PEMEX Exploración y Producción definida como Visualización Conceptualización Definición Selección y Ejecución.

## 2.- Introducción

La industria petrolera tanto mundial como nacional pasa por un período de carencia de técnicos capaces de enfrentar los retos técnicos que se presentan en los campos petroleros por la complejidad de los yacimientos.

Esto hace necesario vislumbrar cuáles son los temas importantes y las competencias que se deben desarrollar en los estudiantes de la carrera de Ingeniería Petrolera a fin de que, cuando egresen de las universidades, cuenten con el conocimiento y las habilidades necesarias para incorporarse a las empresas petroleras.

Entre otras, tanto la Society of Petroleum Engineers como la industria petrolera mexicana han hecho esfuerzos en determinar las competencias críticas que están asociadas a los retos técnicos así como las capacidades de análisis que los ingenieros petroleros deben poseer para entender tanto el comportamiento de los yacimientos, como el flujo de fluidos a través del sistema integral de producción y de esa forma, poder proponer alternativas de explotación para los yacimientos.

El talento técnico resulta vital para el funcionamiento de cualquier organización; si el elemento humano está dispuesto a proporcionar su mejor esfuerzo, la organización marchará; en caso contrario, se detendrá. Por esta razón, los requerimientos de conocimientos para los profesionales futuros que trabajarán en la industria petrolera deben, iniciar desde la elaboración del plan de estudios de las universidades que imparten la carrera de Ingeniería Petrolera.

El desarrollo del talento debe tener bases sólidas e iniciar desde la universidad, ya que esto impacta en los tiempos en que un ingeniero petrolero empieza a dar resultados. Los tiempos estimados para desarrollar un experto en compañías innovadoras se encuentra entre los 6 a 8 años a partir de su contratación en una empresa. Las compañías conservadoras llegan a necesitar hasta 12 años para desarrollar a un experto. Si el plan de estudios contempla los temas con los fundamentos necesarios para reducir estos tiempos, la carencia de ingenieros petroleros con las habilidades para dar solución a los problemas de los campos petroleros también será menor.

El desarrollo del personal en la industria petrolera mexicana está basado en la detección de las brechas de conocimiento del talento técnico así como del plan de carrera que va guiando el aprendizaje que debe tener cada técnico y cómo lo desarrollará en alguna especialidad a lo largo de su trayectoria laboral. Estos tiempos pueden reducirse si el plan de estudios de la carrera tiene la solidez para preparar estudiantes que, al egresar, tengan el conocimiento (quizás no las habilidades) para desarrollarse en forma acelerada al comenzar su vida profesional.

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar un plan de estudios que vislumbre los elementos que permitan al recién egresado entender y ambientarse rápidamente a los proyectos de los campos petroleros y que en poco tiempo pueda aportar, tomar decisiones y dar solución a los retos técnicos. Se basa en la misma metodología que se utiliza en la industria petrolera mexicana; es decir, a partir de la detección de los retos técnicos, lo que permite determinar cuáles son las competencias críticas que están asociadas a esos retos. Se toman en cuenta los trabajos realizados por la Society of Petroleum Engineers sobre cuáles son los requerimientos mínimos y necesarios que los nuevos ingenieros petroleros deben cumplir. Parte de este trabajo es mostrar la secuencia de las asignaturas para que el estudiante vaya adquiriendo los conocimientos en cada semestre y que le sirvan como plataforma para el siguiente.

Sin embargo, este trabajo debe ser cíclico y la universidad tiene la responsabilidad de hacer la revisión periódica del plan de estudios con la opinión tanto de académicos como de técnicos que se enfrentan cada día a esta industria; es importante este proceso cíclico ya que los retos técnicos se van transformando conforme se encuentran *nuevos* campos con estrategias diferentes de explotación y la nueva tecnología se va adhiriendo a la explotación de los yacimientos.



### 3. Necesidades nacionales y competencias críticas asociadas

#### 3.1 Situación mundial: demanda y oferta de talento técnico

Una de las necesidades de la industria petrolera actual es contar con talento técnico que pueda resolver los retos técnicos a los que se enfrenta; se observan dos problemáticas importantes: por una parte, las empresas petroleras experimentan dificultades para atraer y retener el talento necesario. A fin de mantener sus ventajas competitivas; y por otra parte, los recién egresados de instituciones educativas no cuentan con las bases técnicas que les permitan afrontar los nuevos retos, debido a que las universidades requieren revisar y actualizar sus planes de estudio de acuerdo a las necesidades de las empresas petroleras.

Aunado a esto, la industria petrolera se encuentra en una posición cada vez más difícil debido a que la mayoría de sus campos son maduros y de mayor complejidad.

Según la American Society for Training & Development (ASTD), el 85% del valor de una organización es atribuible a sus activos intangibles de los que forma parte el capital humano. Esto anticipa una fuerte competencia por talento entre las petroleras para el futuro.

Un análisis de oferta y demanda de talento petrolero indica que la escasez es un fenómeno global; Dicha escasez se concentra en América del Norte (Estados Unidos y Canadá), Medio Oriente y Rusia (Schlumberger Business Consulting, *Surviving the skills shortage. Results of a global survey quantifying the supply & demand of petrotechnical expertise*. Marzo, 2006).

En total, esos países registrarán un déficit de 930 profesionales técnicos petroleros cada año durante la próxima década, debido a que las universidades no están formando jóvenes profesionistas especializados en el sector al ritmo necesario, para satisfacer la demanda mundial ni con el nivel de dominio que se requiere.

Es por eso que la escasez de talento técnico es un problema fundamental para las petroleras, que de no resolverse, amenazará el logro de sus objetivos estratégicos. En este sentido, la próxima década traerá consigo una enorme necesidad de talento para mantener los niveles de productividad requeridos en materia energética.

Un gran reto es retener el talento técnico con experiencia, dado que es el personal clave; pero al mismo tiempo, las petroleras también tienen dificultades para incorporar jóvenes en sus filas.

Cada empresa petrolera deberá diseñar su estrategia con base en sus circunstancias y ambiente operativo. Sin embargo, todas necesitan desarrollar estrategias de administración de talento, que sean las más apropiadas a un ambiente laboral globalizado y altamente competitivo que inicia con la preparación del talento técnico desde su formación profesional.

Como puede apreciarse fácilmente, el talento técnico resulta vital para el funcionamiento de cualquier organización; si el elemento humano está dispuesto a proporcionar su mejor esfuerzo, la organización marchará; en caso contrario, se detendrá. De aquí a que toda organización debe prestar atención primordial a su personal (talento humano).

Por esta razón, los requerimientos de conocimientos para los profesionales futuros que trabajarán en la industria petrolera deben, iniciar desde la elaboración del plan de estudios de las universidades.

### 3.2 Necesidad de un plan de estudios acorde con los requerimientos de la industria.

Un **plan** es un **modelo sistemático** que se desarrolla antes de concretar una acción, con la intención de dirigirla. En este sentido, se puede decir que un **plan de estudio** es el **diseño curricular** que se aplica a enseñanzas determinadas impartidas por un centro de estudios.

El plan de estudio proporciona directrices en la **educación**: los docentes se encargarán de instruir a los **estudiantes** en relación a los temas mencionados en el plan, mientras que los alumnos tendrán la obligación de aprender dichos contenidos si desean graduarse.

En el desarrollo de un plan de estudio se incluye, además de la formación, el **entrenamiento** de los profesionales futuros. Esto quiere decir que, junto a las técnicas particulares de cada disciplina, se busca que el estudiante adquiera responsabilidad acerca de su futuro como profesional y la incidencia que tendrá a nivel social.

Es importante tener en cuenta que los planes de estudio deben cambiar con el tiempo, ya que se adaptarán a las nuevas necesidades y retos técnicos a los que se enfrentan las empresas los cuales deben **actualizarse** para que la formación de los estudiantes no pierda valor.

### 3.3 Complejidad de los campos petroleros y retos técnicos de los proyectos.

Encontrar empleados calificados para desarrollar los proyectos es un desafío fuerte para las compañías petroleras, de tal forma que la esperanza está puesta en que el número de ingenieros petroleros se incremente cada vez más. Pero encontrar ingenieros petroleros calificados es un gran problema que enfrentan las compañías operadoras. De acuerdo con Ron Nickelson, Director de reclutamiento global para Clover Global Solutions, comentario que hizo en “The Understanding Staffing Challenges” en “The Energy Industry webinar” en agosto de 2012. Con los nuevos descubrimientos vienen frecuentemente problemas para la industria de exploración y producción, en la que el talento técnico no es suficiente ni tienen la experiencia técnica para poder asignar a algunos ingenieros a esos proyectos futuros. Su creencia es que para el éxito en una empresa es esencial la administración de la fuerza laboral para alcanzar el éxito y revertir la tendencia que comenzó décadas atrás. El llamado “The Great Crew Challenge” que se extiende de los años 80’s a mitad de los 90’s, la industria presenció una migración de empleados potenciales debido a la depresión de los precios del petróleo. Además había estudiantes brillantes de las universidades principales en ciencias y matemáticas, que buscaban entrar en la industria petrolera, optaron por otros campos. Esto provocó que se perdiera una generación y media de individuos extremadamente talentosos que simplemente se fueron a otras áreas (E&P Industry Faces Employment Challenges <http://www.epmag.com/item/print/EP-Industry-Faces-Employment-Chal>).

Encontrar empleados con las competencias necesarias para llevar a cabo los proyectos de exploración y producción, es un reto verdaderamente difícil para las

compañías, pero la esperanza es que el número de ingenieros petroleros calificados se incremente.

Con los nuevos descubrimientos, el problema fundamental de Exploración y Producción, es contar con gente con suficiente experiencia técnica para enfrentar los retos de los proyectos.

La industria petrolera mexicana, al igual que las demás empresas operadoras y de servicios en la industria de exploración y producción a nivel mundial, enfrenta el reto de contar con reemplazos de talento técnico en el corto plazo por el número de ingenieros que se jubilarán; el promedio de edad en la empresa<sup>1</sup> es de 46 años; por lo tanto se debe retomar la formación de nuevas generaciones para reducir esta tendencia en el futuro. Asimismo, es necesario considerar que algunas actividades de exploración y explotación se intensificarán.

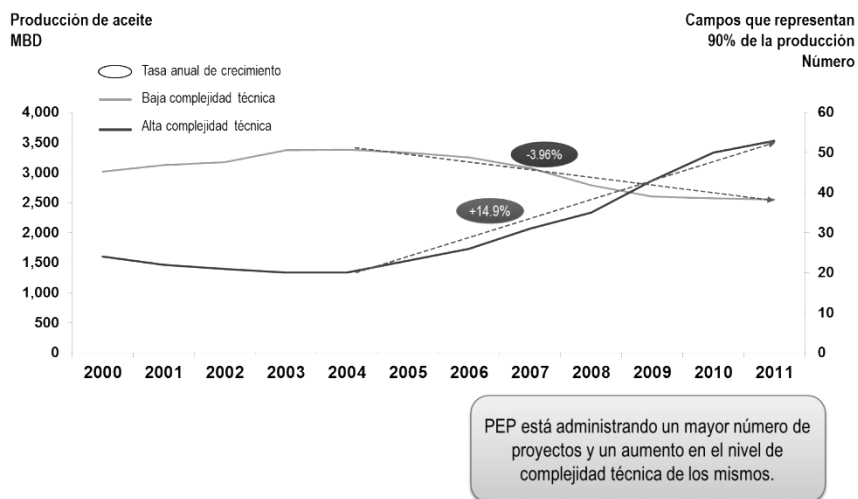
En el pasado, la industria petrolera mexicana era reactivo para cubrir sus necesidades de talento técnico, por no tener cuantificadas a priori las vacantes que se generarían por la salida de su talento; por lo tanto, la captura de talento no era la óptima por la presión de cubrir el faltante y no afectar la operación, principalmente en las áreas que contribuyen directamente en la generación del valor del negocio.

Esta situación no propiciaba la instrumentación de planes de desarrollo que requería el talento técnico interno, para formar a los especialistas y expertos con los que se enfrentarían a los retos técnicos.

Ahora bien, en un ambiente de recuperación económica lenta, combinada con retos técnicos cada vez más complejos para mantener su plataforma de producción, México se enfrenta con un contexto cada vez más complicado. Estos cambios se han reflejado principalmente en dos dimensiones: un mayor número de proyectos ejecutándose simultáneamente y un aumento en su nivel de complejidad técnica, como se puede observar en la Figura 3.1.

---

<sup>1</sup> BenchMark SBC 2010



**Figura 3.1 Campos petroleros de México y su nivel de complejidad**

Para enfrentarse con este nuevo contexto, la industria petrolera mexicana está trabajando en la habilitación de cuatro palancas como una forma integral para solucionar sus retos técnicos: estrategia, procesos, tecnología y capital humano. Dentro del capital humano, el desarrollo de competencias del personal técnico es reconocido en la industria como uno de los detonadores de éxito en la implementación de estrategias, al tiempo que históricamente ha sido la tarea que requiere mayor tiempo para su desarrollo.

Una de las iniciativas estratégicas del plan de negocios de Pemex Exploración y Producción (PEP), es la generación y desarrollo de talento técnico; por tal motivo, se inició un proceso de desarrollo de competencias para el personal técnico de Exploración y Explotación en el cual se han enfocado sus recursos a dimensionar y resolver los principales retos técnicos de explotación, en función de la cartera de proyectos de PEP.

Alinear esfuerzos hacia el desarrollo de competencias va más allá de implementar las mejores prácticas internacionales. Se espera que la estrategia resulte en la disminución del tiempo de desarrollo de las especialidades técnicas dentro de las empresas que resulta en una reducción de varios años del tiempo hacia la autonomía del talento técnico, con su impacto respectivo en el valor de la cartera de proyectos.

El entorno técnico de la industria petrolera nacional es complicado; los campos principales del país están en su etapa de madurez, con su respectiva declinación en la producción, que en algunos casos es importante. El ejemplo más conocido por todos es el caso de Cantarell, que desde su máximo de producción arriba de 2 MMBPD en el año 2004 ha mantenido una caída anual de 16.5% en promedio. Por otro lado, los campos descubiertos recientemente han sido de menor tamaño, por lo que no ha sido posible contrarrestar la caída en producción de Cantarell. Esto ha ocasionado que la producción diaria de PEP haya bajado 4.7% en promedio por año en los últimos 5 años.

Una de las razones por la que los nuevos campos no han podido contrarrestar la caída en la producción, es que involucran una complejidad técnica diferente a lo que la empresa mexicana había enfrentado en el pasado: yacimientos de baja permeabilidad, recuperación secundaria y mejorada y explotación en aguas profundas por mencionar algunos ejemplos. Los campos en la cartera de proyectos comparten estas características, lo que aumenta en forma sustancial la importancia de aprender cómo enfrentar de forma integral la complejidad mencionada.

La industria petrolera mexicana ha identificado los retos técnicos principales asociados a la explotación de los proyectos prioritarios en su cartera. Las soluciones a estos retos deben ser integrales, incluyendo la revisión de necesidades en materia de procesos, estrategia, tecnología y desarrollo del capital humano.

Se ha iniciado un proceso de revisión de su programa de desarrollo de competencias para asegurar la alineación entre éste y la búsqueda de la solución a los retos técnicos prioritarios para la organización; que implica que las instituciones de educación superior que impartan la carrera de Ingeniero Petrolero deban alinearse a este esfuerzo, de manera que los recién egresados cuenten con las bases técnicas que les permitan entender y dar soluciones a los problemas de la industria petrolera nacional.

La identificación de los retos técnicos principales como punto de partida para el desarrollo de competencias, permite a las escuelas enfocar sus esfuerzos en las revisiones de planes de estudio, de manera que sean consistentes con las necesidades de la industria petrolera.

El modelo integral para resolver los retos técnicos se compone de cuatro elementos: estrategia, procesos, tecnología y desarrollo del capital humano. Actualmente, la industria petrolera mexicana está llevando a cabo diferentes iniciativas dentro de cada una de estas tareas para asegurar que se habiliten a lo largo de toda la vida de los proyectos y generar un modelo de negocios de iniciativas sustentables con impacto en el largo plazo (ver la figura 3.2).



Figura 3.2 Los 4 palancas principales para enfrentar retos técnicos

Un punto que se debe tomar en cuenta es que las asignaturas deben estar alineadas a las necesidades de la industria, pero al mismo tiempo deben basarse en la pertinencia; es decir, en la justificación clara y precisa del programa que atiende la demanda de los retos técnicos. Por esta razón, la metodología que se utiliza actualmente para generar los planes de desarrollo para el talento técnico en la industria petrolera, será la base para la revisión del plan de estudios de la carrera de Ingeniero Petrolero, así como en los criterios de evaluación para la acreditación de los programas de enseñanza de la ingeniería según CACEI, descritos en el Anexo 3.1

### 3.4 Retos técnicos, competencias críticas y especialidades.

Como iniciativa rectora para evaluar y satisfacer las necesidades de desarrollo de competencias por ejemplo: PEP cuenta con un proceso estructurado que comenzó con la definición de los retos técnicos principales y continúa hasta la integración e implementación del programa de desarrollo de competencias.

Esto permitirá abarcar las áreas principales de la Ingeniería Petrolera, de tal forma que las competencias críticas detectadas para cada una de estas áreas se contemplan en las asignaturas del plan de estudios.

A partir de la metodología que se mostrará en el capítulo 4, se determinaron los retos técnicos a los que se enfrenta la industria petrolera mexicana y especialidades asociadas a esos retos. Éstos se mencionan en las tablas 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4:

#### Retos de Diseño de Explotación

Tabla 3.1 Retos de explotación por tipo de Yacimiento o Hidrocarburo

Explotación de aceite en campos de baja permeabilidad
Explotación de yacimientos convencionales y no convencionales de gas
Explotación de yacimientos de aceite volátil y de gas y condensado en condiciones críticas
Explotación de yacimientos de crudos pesados y extrapesados

Tabla 3.2 Retos de exportación Funcionales

Mejoramiento de la imagen del subsuelo
Caracterización y modelado estático y dinámico, de yacimientos de arenas y turbidíticos
Caracterización y modelado estático y dinámico, de yacimientos naturalmente fracturados
Recuperación secundaria y mejorada
Diseño de perforación, terminaciones e intervenciones en pozos no convencionales
Control de agua y gas
Productividad de pozos



Sistemas artificiales de producción
Control de arenas, depositación y precipitación de orgánicos e inorgánicos
Manejo, proceso y transporte de crudos pesados y extrapesados
Instalaciones en aguas profundas
Manejo y disposición de agua y gas en superficie
Monitoreo y optimización de instalaciones, pozos y procesos
Análisis de riesgo e incertidumbre

Tabla 3.2 Retos de Operación de Pozos e Instalaciones de Explotación

Optimización de Sistemas Artificiales de Producción en Pozos
Cuantificación confiable de los volúmenes de fluidos en los sistemas de producción
Optimización de redes (ductos y líneas de descarga) de producción
Acondicionamiento de Fluidos
Manejo y Optimización de Instalaciones de Producción
Separación convencional y de alta eficiencia de hidrocarburos
Automatización (Monitoreo y Control) de Pozos e Instalaciones
Optimización de Pozos Fluyentes
Manejo de Crudos Pesados y Extrapesados
Manejo, Tratamiento y disposición de Agua Congénita

Tabla 3.3 Perforación y reparación de pozos

Perforación de pozos en condiciones adversas (alta temperatura y alta presión) y con ventanas operativas estrechas.
Perforación de pozos con altos gradientes de pérdida
Perforación de pozos horizontales, multilaterales, radiales o de alto ángulo.
Aseguramiento de flujo en condiciones submarinas

Perforación de formaciones con rocas de evaporitas y domos salinos (intrusiones de sal y canopies) y zonas de lutitas en la etapa de explotación.
Operación de equipos de perforación (terrestres y marinos) automatizados, y con capacidades tecnológicas superiores.
Operación de equipos y herramientas para el desarrollo de campos en aguas profundas.
Perforación de pozos bajo balance (con presión controlada y/o con un gradiente de 0.4 ó menor).
Ejecución de terminaciones de pozos horizontales o de alto ángulo, y de terminaciones en aguas someras y aguas profundas.
Reparación de pozos con condiciones mecánicas severas, reparaciones en aguas someras, e intervenciones con plataformas periféricas.
Optimización y selección de fluidos de perforación y terminación
Técnicas de control de pozos para aguas profundas
Diseño y ejecución de cementaciones integrales en pozos con condiciones severas (espacios anulares reducidos y zonas depresionadas).
Diseño y ejecución de estimulaciones de zonas productoras y limpiezas de aparejo ácidas y no ácidas.
Optimización y selección de barrenas

Los retos técnicos detectados involucran una o más de las disciplinas de la cadena de valor de explotación. Dentro de las disciplinas se identifican especialidades y se desarrollan perfiles de especialidad para determinar las competencias asociadas y el nivel de dominio, esperado que debe tener el personal técnico en los cuatro niveles técnicos: asistente, analista, especialista y experto, lo cual se tomará en cuenta en la revisión del plan de carrera, debido a que los recién egresados se encontrarán en la etapa de asistente en su inicio de carrera en la empresa. En las tablas 3.5, 3.6 y 3.7 se muestran las especialidades que se requieren desarrollar para poder enfrentar los retos técnicos con éxito que presentan los proyectos petroleros.

Tabla 3.4 Especialidades de Diseño de Explotación

DISCIPLINA	ESPECIALIDAD
Ingeniería de Yacimientos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización de yacimientos</li> <li>• Ingeniería de yacimientos</li> <li>• Simulación de yacimientos</li> <li>• Recuperación secundaria</li> <li>• Recuperación mejorada</li> <li>• Laboratorio de Yacimientos Área Fluidos</li> </ul>
Ingeniería de Producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingeniería de Producción de Pozos</li> <li>• Sistemas Artificiales de Producción</li> <li>• Productividad de Pozos</li> </ul>
Instalaciones de Producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño Instalaciones de Explotación</li> <li>• Auto y Control de Procesos Subsuelo-Superficie</li> <li>• Aseguramiento de Flujo</li> <li>• Líneas Submarinas/ Risers</li> <li>• Umbilicales</li> <li>• Sistemas Submarinos</li> <li>• Control Submarino</li> <li>• Sistemas flotantes de Producción</li> </ul>
Perforación para Explotación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño y Seguimiento Intervención de Pozos</li> <li>• Diseño y Control de la Terminación y Mantenimiento de pozos</li> <li>• Operación Geológica</li> </ul>

Tabla 3.5 Especialidades de Operación de pozos e instalaciones de explotación

DISCIPLINA	ESPECIALIDAD
Operación de pozos	Operación de pozos  Operación de Sistemas Artificiales de Producción
Operación de instalaciones	Operación de Instalaciones de Producción  Recolección y Transporte de fluidos  Automatización, Instrumentación y Control
Acondicionamiento y medición de fluidos	Medición de fluidos  Acondicionamiento y tratamiento de fluidos

Tabla 3.6 Especialidades de Perforación de pozos

DISCIPLINA	ESPECIALIDAD
Perforación de pozos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Perforación direccional</li> <li>▪ Perforación multilateral</li> <li>▪ Perforación bajo balance</li> </ul>
Reparación de pozos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reparación de pozos</li> </ul>
Terminación de pozos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Terminación de pozos terrestres y en aguas someras</li> <li>▪ Terminación de pozos en aguas profundas</li> </ul>
Multidisciplinaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cementaciones</li> <li>▪ Geomecánica</li> <li>▪ Control de pozos</li> <li>▪ Fluidos de control e hidráulica</li> <li>▪ Conexiones superficiales</li> <li>▪ Selección y operación de barrenas</li> <li>▪ Inspección tubular</li> <li>▪ Logística de materiales y equipos</li> <li>▪ Subsea</li> <li>▪ Operaciones de pesca y molienda</li> <li>▪ Equipos de perforación y reparación</li> <li>▪ Ingeniería de pozo</li> </ul>

Para asegurar que los perfiles se alineen con la solución de retos técnicos, cada perfil incluye competencias marcadoras y complementarias, de acuerdo a los requerimientos de la especialidad.

Tabla 3.7 Ejemplo de perfil de especialidad - Simulación de Yacimientos

COMPETENCIAS	PERFIL GENÉRICO				
	Simulación de Yacimientos				
		Asistente	Analista	Especialista	Experto
Simulación de yacimientos	M	2	3	4	5
Caracterización fluidos/roca-fluidos	M	2	3	4	5
Propiedades fisicoquímicas de los fluidos del yacimiento (PVT)	M	2	3	4	4
Modelado de procesos químicos, térmicos y composicionales en yacimientos de aceite pesados	M	2	3	4	4
Desplazamiento de aceite pesado en yacimientos de carbonatos naturalmente fracturados	M	2	3	4	4
Ingeniería de yacimientos de gas	M	2	3	4	4
Ingeniería de yacimientos	M	2	3	4	4
Monitoreo de yacimientos	M	2	3	4	4
Análisis de pruebas de presión-producción	M	2	3	3	4
Inyección de agua	M	2	3	3	4
Inyección de gas no miscible	M	2	3	3	4
Administración integral de yacimientos	C	2	2	3	3
Estimación y certificación de reservas	C	2	2	3	3
Geología de explotación	C	2	2	3	3
Petrofísica	C	2	2	3	3
Unidades de flujo aplicadas a la caracterización de yacimientos	C	2	2	3	3
Análisis de riesgo de explotación	C		2	3	3
Definición y desarrollo de proyectos VCD	C		2	3	3
Recuperación mejorada vía procesos gases miscibles	C		2	3	3
Recuperación mejorada vía procesos químicos	C		2	3	3
Interpretación de registros de pozo	C	2	2	2	3
Análisis de productividad de pozos	C		2	2	3
Análisis especial y rutinario de núcleos	C		2	2	3
Control de agua/gas	C		2	2	3
Desarrollo y optimización de campos	C		2	2	3

Todos los perfiles se tomarán en cuenta, ya que las descripciones de las competencias que se requieren en los perfiles de Ingeniería Petrolera permitirán definir los temas que estarán incluidos en el plan de estudios.

### **3.5 Valor del desarrollo de competencias**

Otro frente derivado del levantamiento de los retos técnicos fue la definición de vehículos prioritarios para el desarrollo de personal. Los vehículos prioritarios diseñados incluyen programas integrales de capacitación, talleres y envío de personal a posgrados alineados con los retos técnicos. Para este trabajo se revisaron estos actos de capacitación, ya que en ellos se encuentran descritos las competencias y los temarios. Sin embargo, por confidencialidad no se mostrarán.

Este trabajo tiene la certeza de que su base, la identificación de retos y competencias críticas asociadas, ha sido validado por la comunidad técnica de ingenieros petroleros activos en la industria mexicana, ya que participó en la correcta definición de retos y prioridades para los proyectos, en la evaluación de necesidades de desarrollo, asegurando la implementación de iniciativas sustentables y dando seguimiento a resultados e impacto en los retos técnicos.

Asegurar el desarrollo de competencias es de gran valor, tanto para el personal técnico en particular como para la empresa en general. El valor para el personal técnico está en el diseño y fortalecimiento de su plan de carrera, con planes de aprendizaje y entrenamiento estructurados para cada individuo con base en los requerimientos de la organización. El valor para la industria petrolera se encuentra en la resolución de sus retos técnicos para dar sustentabilidad a su base productiva, con la consecuente mejora en la tasa de retorno de los proyectos y la oportunidad de incluir mejores prácticas en administración de talento técnico dentro de la industria. Esto implica que la preparación de los ingenieros petroleros desde la institución de educación superior debe, incluir las necesidades de la industria petrolera.

El desarrollo de competencias provee un camino para maximizar la efectividad y el desempeño, tanto del individuo como de la organización. De ahí la importancia de que los jóvenes ingenieros egresen con las bases técnicas suficientes para enfrentar los retos técnicos de los proyectos.

El valor del proceso de desarrollo de competencias debe ser observable en su impacto en ayudar a resolver los retos técnicos. Para lo anterior, es fundamental que las escuelas que imparten la carrera de Ingeniería Petrolera den seguimiento a la implantación y resultados de las modificaciones al plan de estudios propuesto.

Cabe destacar que, en los últimos cinco años se han multiplicado en el país instituciones de educación que imparten la carrera de Ingeniería Petrolera, situándose en alrededor de 30 centros educativos, contra apenas una decena hace algunos años, con un importante crecimiento de la matrícula de estudiantes que en su momento se incorporarán al mercado laboral.

En este sentido es necesario señalar que la apertura de estos programas académicos en su mayoría enfrentan problemas, como la falta de profesores de tiempo completo e investigadores, insuficiencia de laboratorios, equipos, materiales y software de apoyo a la enseñanza, recursos limitados para operación e inversión y poca vinculación y colaboración con la industria, entre las principales restricciones. (fuente: taller organizado por la Universidad Politécnica del Golfo de México: Primera reunión de directores de programas académicos de Ingeniería Petrolera)

Como consecuencia de este problema y en el afán de homologar los conocimientos de los ingenieros de recién egreso de todas estas instituciones educativas en México, PEP para poder incorporar talento nuevo a los proyectos, realiza un programa de inducción que incluye, en su temario, los conocimientos mínimos que requiere el ingeniero petrolero para ser contratado como asistente en la empresa. Por supuesto, esto es una erogación que se genera para la empresa como resultado de que los recién egresados no tienen la preparación adecuada o suficiente para apoyar en los trabajos que se realizan en los proyectos. Por lo anterior, este trabajo toma en cuenta las necesidades de la empresa de tal manera que los temas a proponer contemplen las competencias que están asociadas a los retos técnicos actuales.

Finalmente, se propone el nuevo plan de estudios para la carrera de Ingeniería Petrolera a partir de la revisión de los retos técnicos, las competencias asociadas a dichos retos y junto con la revisión de estudios de diferentes universidades y los requerimientos detectados por la Society of Petroleum Engineers, a través de un estudio basado en la necesidad de definir las competencias específicas para los

graduados, realizado por el Consejo de Talento de la Society of Petroleum Engineers (SPE).



## 4. Antecedentes

### 4.1 Revisión y comparación de planes de estudios de universidades

Con la finalidad de identificar las materias imprescindibles para la formación de ingenieros petroleros y mejorar el programa de estudios de la Facultad de Ingeniería en la UNAM, de manera que cumplan con el perfil del Ingeniero Petrolero que pueda dar solución a los retos técnicos que enfrenta la industria petrolera en nuestro país, se llevó a cabo un análisis de los planes de estudios de diferentes universidades.

El análisis está basado en el estudio de once planes de estudios de universidades que imparten la licenciatura en Ingeniería Petrolera con reconocimiento internacional. Entre ellas se encuentran las cinco universidades mejor calificadas durante el 2012, de acuerdo al Benchmark de Schlumberger Business Consulting en 2012.

#### **UNIVERSIDADES**

University of Texas Austin  
Stanford University  
Texas A&M University  
University of Tulsa  
Colorado School of Mines  
University of Oklahoma  
University of Louisiana  
West Virginia University  
University of Calgary  
University of Alberta  
Dalhousie University

Los programas de estudio que integran la carrera en Ingeniería Petrolera se cursan en un período mínimo de ocho semestres, iniciando con una formación general en el área físico-matemática y gradualmente a partir del segundo o cuarto

semestre, se incorporan las materias de especialidad en Ingeniería Petrolera, que abarcan las cuatro grandes disciplinas que la conforman:

- Ingeniería de yacimientos
- Diseño de pozos
- Ingeniería de Producción
- Diseño y operación de instalaciones superficiales

En el Anexo 4.1 se listan los planes de estudio de cada una de las universidades.

En el caso de la Universidad en Austin, las materias del aprendizaje de la ingeniería en general como a las correspondientes a la ingeniería petrolera son similares a la de la Facultad de Ingeniería de la UNAM; sin embargo, la Universidad de Austin se enfoca a rocas sedimentarias y cuenta con una asignatura dirigida a geomecánica.

El modelo Geomecánico tiene diversas aplicaciones durante la etapa de un yacimiento, desde la exploración hasta su explotación. En exploración se utiliza para el análisis de fugas y migración, determinación de las propiedades fugantes de fallas y la presión de poro a partir de datos sísmicos. En perforación es útil para la optimización del peso de lodo, optimización de la trayectoria de pozo, selección de los puntos de asentamiento de tuberías de revestimiento, predicción de presión de poro a partir de registros de pozos y estabilidad de agujero en tiempo real. En explotación ayuda en la caracterización de yacimientos fracturados y definición de la orientación óptima de pozos, análisis de fugas y migración, determinación de las propiedades fugantes de fallas, compactación del yacimiento y fallas inducidas por producción, predicción de la producción de arena, disparos orientados y fracturamiento hidráulico; este último tan importante en lo concerniente a la explotación de lutitas de gas y/o aceite.

Por otra parte, no cuentan con materias dirigidas hacia la simulación de yacimientos, recuperación secundaria y mejorada y únicamente incluye una materia dirigida hacia el diseño y tecnología de producción. Aparentemente, es un plan de estudios con bases fuertes de ingeniería, pero muy general en temas de ingeniería petrolera. Lo que es un hecho, es que la Universidad de Texas at Austin

tiene un centro de investigación dirigido a la perforación, terminación y mecánica de rocas, ingeniería de yacimientos e Ingeniería de gas natural, lo cual seguramente demuestra hacia dónde se están dirigiendo.

En el caso de la Universidad de Stanford se centra en la medición de fluidos, las bases del flujo multifásico, y dirige la perforación hacia pozos horizontales. Sin embargo, la carrera está dirigida hacia temas de energía en general y optimización de sistemas energéticos.

La Universidad de Texas A&M muestra una similitud con el programa de la UNAM, siendo ésta una de las mejores universidades hasta el momento por sus investigadores; entre ellos, el Dr. Tom Blasingame cuyas investigaciones actuales se destinan hacia yacimientos de gas no convencionales.

La Universidad de Colorado tiene investigadores tales como Will Fleckenstein, Hossein Kazemi, Mark Miller y Erdal Ozkan, quienes se encargan de enfocar los estudios en temas de perforación, simulación de yacimientos, producción y pruebas de presión, respectivamente.

Cabe señalar que aunque el Diseño de Instalaciones superficiales para el manejo y tratamiento de la producción en superficie también es una disciplina básica en Ingeniería Petrolera, no figura con gran relevancia y peso en las Universidades consultadas, más que en la Universidad de Dalhousie, donde sí se presta especial atención al estudio de estructuras y mecánica de sólidos; incluso imparte la materia de Dinámica de Océanos para el diseño de estructuras costa afuera. Esto permite descartar, como parte de la licenciatura, esta área de oportunidad, que figura mucho más en licenciaturas de Ingeniería Civil e incluso en maestrías en Ingeniería Petrolera (Universidad de Heriott-Watt, Universidad de New Castle, Universidad de Delft).

Las Universidades como Alberta y Texas A&M dirigen sus programas de estudio hacia los principales retos técnicos de la región geográfica donde se localizan. Es decir, Texas A&M incluye capacitación específica en fracturamiento hidráulico, yacimientos naturalmente fracturados y no convencionales. La Universidad de Alberta encamina temas puntuales al estudio de las propiedades de los aceites

pesados y los procesos térmicos como método de recuperación. La Universidad de Tulsa, adicional al tradicional estudio de Ingeniería de producción de aceite, incorpora el enfoque de la producción de gas y condensado.

La preparación del ingeniero petrolero en la escuela de educación superior debe incluir tópicos relacionados con las problemáticas que se presentan en los proyectos de la industria petrolera mexicana (en este caso, Pemex Exploración y Producción que, por confidencialidad se omiten los nombres completos de los proyectos) y, por supuesto, en la forma de solucionarlos.

Si se hace una revisión de las asignaturas de especialidad en cada universidad, se puede observar que el porcentaje de ellas con respecto al total de las asignaturas varía en un promedio del 50%; sin embargo, las universidades tanto de Tulsa como de Alberta se encuentran por arriba del 75%.

Tabla 4.1 Porcentaje de asignaturas de especialidad contra total de asignaturas

Universidad	Asignaturas de Especialidad	Total de Asignaturas	Porcentaje (%)
UNAM	24	51	47
Universidad de Texas Austin	18	43	42
Universidad de Stanford	13	24	54
Universidad de Texas A&M	15	42	35
Universidad de Tulsa	21	28	75
Universidad de Colorado	13	33	39
Universidad de Oklahoma	15	39	39
Universidad de Louisiana	18	43	42
Universidad de Virginia	13	22	59
Universidad de Calgary	18	48	38
Universidad de Alberta	17	19	90
Universidad de Dalhousie	16	29	55

Es interesante analizar ahora, cuántas de las asignaturas de especialidad están enfocadas a las áreas de yacimientos, perforación y producción.

Si observamos el área de especialidad de Yacimientos, el promedio de todas las universidades es de 37.5%, por lo que la UNAM se encuentra por arriba de este valor.

Tabla 4.2 Porcentaje de asignaturas de yacimientos contra asignaturas de especialidad

Universidad	Total de Asignaturas de Especialidad	Especialidad en Yacimientos	Porcentaje (%)
UNAM	24	11	46.00
Universidad de Texas Austin	18	7	39.00
Universidad de Stanford	13	5	39.00
Universidad de Texas A&M	15	6	40
Universidad de Tulsa	21	6	29.00
Universidad de Colorado	13	4	31.00
Universidad de Oklahoma	15	7	46.00
Universidad de Louisiana	18	7	38.00
Universidad de Virginia	13	4	30.00
Universidad de Calgary	18	5	27.00
Universidad de Alberta	17	8	47.00
Universidad de Dalhousie	16	6	38.00

De la misma manera, en el caso de perforación, el porcentaje de asignaturas dedicadas a esta especialidad en todas las universidades consideradas es de 20%, por lo que la UNAM maneja un valor similar.

Tabla 4.3 Porcentaje de asignaturas de perforación contra asignaturas de especialidad

Universidad	Total de Asignaturas de Especialidad	de	Especialidad en Perforación	Porcentaje (%)
UNAM	24		5	21.00
Universidad de Texas Austin	18		2	11.00
Universidad de Stanford	13		2	15.00
Universidad de Texas A&M	15		2	13.00
Universidad de Tulsa	21		5	25.00
Universidad de Colorado	13		4	31.00
Universidad de Oklahoma	15		3	20
Universidad de Louisiana	18		6	33.00
Universidad de Virginia	13		3	23.00
Universidad de Calgary	18		3	17.00
Universidad de Alberta	17		3	18.00
Universidad de Dalhousie	16		2	13.00

Para el caso de producción, el porcentaje de esta especialidad para las universidades tomadas en cuenta es de 43.8%, mientras que la UNAM se queda por debajo de ese valor con apenas un 33%. Sin embargo, los temas de producción se incluyen en las asignaturas consideradas en el plan de estudios.

Tabla 4.4 Porcentaje de asignaturas de producción contra asignaturas de especialidad

Universidad	Total de Asignaturas Especialidad	de de	Especialidad en Producción	Porcentaje (%)
UNAM	24		8	33.00
Universidad de Texas Austin	18		9	50
Universidad de Stanford	13		6	46.00
Universidad de Texas A&M	15		7	47.00
Universidad de Tulsa	21		10	48.00
Universidad de Colorado	13		5	38.00
Universidad de Oklahoma	15		5	33.00
Universidad de Louisiana	18		6	34.00
Universidad de Virginia	13		6	46.00
Universidad de Calgary	18		10	56.00
Universidad de Alberta	17		7	42.00
Universidad de Dalhousie	16		8	50

Cabe mencionar que para la propuesta final, la revisión de las materias se centró en las correspondientes a la ingeniería petrolera y se consideró que las asignaturas correspondientes a las áreas básicas de la ingeniería se respetan.

Sin embargo, se muestra la tabla siguiente con la información relacionada con las asignaturas de ciencias básicas.

Tabla 4.5 Asignaturas de ciencias básicas que se imparten en la UNAM y en otras universidades del mundo.

Plan de Estudios UNAM 2013	Asignaturas de Ciencias Básicas	Louisiana	West Virginia	Calgary	Colorado	Alberta	Tulsa	Texas A&M	Dalhousie	Texas Austin	Oklahoma	Stanford
Álgebra	Álgebra											
Cálculo Diferencial	Cálculo Diferencial	X			X		X	X		X	X	X
Geometría Analítica	Geometría Analítica										X	
Algebra Lineal	Algebra Lineal	X						X			X	
Cálculo Integral	Cálculo Integral	X						X			X	
Estática	Estática	X				X		X		X		
Geología General	Geología General	X		X				X	X	X	X	X
Ecuaciones Diferenciales	Ecuaciones Diferenciales	X		X				X			X	X
Cálculo Vectorial	Cálculo Vectorial							X		X	X	
Cinemática y Dinámica	Cinemática y Dinámica					X		X	X			
Química para Ingenieros Petroleros	Química para Ingenieros Petroleros	X		X		X	X			X	X	
Electricidad y Magnetismo	Electricidad y Magnetismo									X		
Termodinámica	Termodinámica	X		X		X		X				
Probabilidad y Estadística	Probabilidad y Estadística		X	X								
	Principios de Química II	X		X	X					X	X	
	Aplicaciones de Cálculo Avanzado de Aplicaciones	X		X						X	X	

Como conclusión, las materias que más se repiten en el panorama generalista de cada una de las cuatro grandes disciplinas que la conforman son:



## **INGENIERÍA DE YACIMIENTOS**

Comportamiento de yacimientos

Propiedades de los fluidos

Dinámica de fluidos en medios porosos

Recuperación secundaria y mejorada

Caracterización estática y dinámica

## **INGENIERÍA DE POZOS**

Diseño de perforación y terminación de pozos

Laboratorio de fluidos

## **INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN**

Productividad de pozos

Análisis e interpretación de pruebas de presión

Sistemas artificiales

Fenómenos de transporte

## **INSTALACIONES SUPERFICIALES**

Diseño de instalaciones superficiales

Al comparar las asignaturas que más se repiten en las universidades contra las que se encuentran en el programa de estudios de la UNAM, el 90% de ellas están consideradas y únicamente la materia Dinámica de fluidos en medios porosos no se imparte como tal, sino que es parte del contenido temático de la materia de Comportamiento de Yacimientos. Sin embargo, cabe mencionar que esta asignatura estaba contemplada en el programa de estudios que estuvo vigente en la Facultad de Ingeniería de la UNAM hasta el 2006; con el nombre de Principios de Mecánica de Yacimientos.

Si se refieren los retos técnicos identificados en la industria petrolera mexicana hacia las materias impartidas por las diferentes universidades, es posible realizar una intersección de manera que se puedan especificar los temas que deben presentarse en cada asignatura de tal forma que le proporcione al recién egresado de la carrera de Ingeniería Petrolera, los elementos para poder iniciar con pasos

firmes, dentro de un plan de carrera en la empresa, su desarrollo y que logre enfrentar los retos técnicos de los proyectos.

En la tabla 4.6 se presenta la tabla comparativa de los planes de estudios de las universidades, que fueron analizadas contra el plan vigente de la Universidad Nacional Autónoma de México y el propuesto durante 2013.

Tabla 4.6 Tabla comparativa de universidades

Plan de Estudios UNAM 2013	Otras Universidades	Louisiana	West Virginia	Calgary	Heriot Watt	Alberta	Tulsa	Texas A&M	Dalhousie	Oklahoma	Stanford	Texas Austin
	Introducción a la Ingeniería Petrolera	X	X	X			X			X		
	Petrofísica y Evaluación de formaciones y registros de pozo	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Recuperación Secundaria y Mejorada	Recuperación Mejorada	X		X		X	X		X		X	
	Recuperación térmica para aceites pesados					X		X				
Propiedades de los fluidos petroleros	Comportamiento de fase del sistema petrolero	X	X			X	X	X				
	Propiedades de los fluidos		X				X	X		X		
	Flujo de fluidos en el yacimiento	X		X		X		X		X	X	
	Laboratorio de Mecánica de Yacimientos	X						X	X	X		
Ingeniería de Yacimientos de Gas	Ingeniería de Yacimientos de Gas	X	X			X	X		X			
	Computación aplicada a Ingeniería Petrolera	X					X					
	Dinámica de océanos								X			
	Yacimientos naturalmente fracturados							X				
	Yacimientos no convencionales							X				X
	Ingeniería de Yacimientos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Laboratorio de Yacimientos	X	X	X			X			X		
Simulación Matemática de Yacimientos	Simulación de Yacimientos					X		X			X	
	Aplicación de Ingeniería de Yacimientos		X			X		X				X
Análisis de Pruebas de Presión	Pruebas de presión			X		X	X	X		X	X	
Comportamiento de yacimientos												
Principios de Mecánica de Yacimientos												
Caracterización Estática de Yacimientos												
Administración Integral de Yacimientos												
	Fluidos de perforación	X										
	Laboratorio de fluidos	X	X							X		
	Diseño y control de la perforación de pozos	X					X	X		X	X	

Terminación y mantenimiento de pozos	Terminación de pozos	X		X		X	X			X		X
Ingeniería de Perforación de Pozos	Ingeniería de Perforación	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
	Fracturamiento hidráulico				X			X				
	Estimulación de pozos		X		X	X	X					
	Perforación avanzada				X	X	X		X		X	
	Laboratorio de perforación	X					X			X		
Equipo y Herramientas de Perforación de Pozos												
Perforación no convencional												
	Teoría avanzada de estructuras								X			
	Soldaduras								X			
	Metales y fracturas								X			
	Mecánica de sólidos								X			
	Desarrollo de campos costa afuera								X			
Conducción y manejo de la producción de los hidrocarburos	Manejo de aceite y gas	X	X	X		X	X	X	X			
	Operación en superficie de la producción		X	X		X	X		X	X		
Bombeo y Compresión de Hidrocarburos												
Flujo Multifásico en Tuberías	Ingeniería de producción	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X
	Ingeniería de producción de gas				X		X					
Productividad de Pozos	Productividad				X		X	X				
	Laboratorio de producción	X					X			X		
	Fenómenos de transporte (SIP, cementación, hidráulica, calor)		X				X					
Sistemas Artificiales de Producción												
	Principios de Conservación Ambiental, Ética, Economía, Evaluaciones Económicas)	X	X			X	X	X	X	X	X	X
	Proyecto de equipo multidisciplinario	X	X		X		X					
	Diseño a problemas especiales de todas las áreas (special topics)	X	X	X		X	X	X			X	
Temas Selectos de Ingeniería Petrolera												

## 4.2 Enfoque hacia retos técnicos

En la tabla 4.7 se muestra un resumen de los retos técnicos principales que presentan los proyectos más importantes de PEP (por confidencialidad no se muestran los nombres completos de dichos proyectos)

Tabla 4.7 Retos técnicos de cada proyecto de PEP, fuente: SBC, 2011

Retos técnicos	CAN	KMZ	AYA	CLM	YAX	CAA	CHU	IXT	LAK	ATG	TCO	PAZ	VER	BUR	AJB	DGV	BCH	EPC	JTE	OMA
Aseguramiento de flujo por producción de arenas, orgánicos e inorgánicos	X	X							X						X	X	X	X	X	X
Aseguramiento de flujo y manejo de crudos pesados		X	X										X							
Caracterización y modelado dinámico de yacimientos de arenas					X				X	X				X	X					X
Caracterización y modelado dinámico de yacimientos naturalmente fracturados	X	X	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X	X	
Control de agua y gas en el pozo	X	X	X			X	X	X		X				X	X	X	X	X	X	X
Estimulación y fracturamiento		X								X				X	X	X				
Instalaciones submarinas y flotantes			X						X											
Manejo y disposición de agua y gas en superficie costa afuera	X	X	X	X	X	X	X	X												
Mejoramiento de la imagen del subsuelo	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X	X	X	X	X	X	X
Monitoreo y optimización de instalaciones, procesos y pozos		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Perforación no convencional	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X
Recuperación secundaria y mejorada	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sistemas Artificiales de Producción			X			X	X	X					X						X	X
Terminación no convencional	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X	X	X

Basados en estos retos, los tópicos de las asignaturas deben estar enfocados en la recuperación secundaria y mejorada, a la perforación y terminaciones no convencionales, control de agua y gas, caracterización y modelado dinámico de yacimientos naturalmente fracturados (es oportuno mencionar que el 90 % de los yacimientos en México son naturalmente fracturados), optimización de instalaciones, procesos y pozos, explotación de lutitas de gas y/o aceite.

Con la finalidad de verificar el enfoque de las asignaturas de acuerdo a los retos técnicos que enfrentan las regiones en donde se encuentran las universidades, se llevó a cabo una investigación, incluso se recibió información de algunos profesores de las diferentes universidades y se obtuvo el resumen siguiente.

### ***UNIVERSIDAD DE AUSTIN***

#### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Perforación, terminación y mecánica de rocas
- Ingeniería de gas natural
- Ingeniería de yacimientos
- Ingeniería de producción
- Recursos no convencionales
- Caracterización integral de yacimientos

#### **LUGAR DE UBICACIÓN REFERENTE A CAMPOS PETROLEROS**

La universidad de Texas en Austin se encuentra ubicada en la cuenca provincial occidental del golfo en el estado de Texas EEUU cerca de los siguientes campos

**Campos de aceite:** Giddings

**Campos de Gas:** Owen, Hawkville

#### **MEJORES INVESTIGADORES POR ESPECIALIDAD:**

##### **Perforación:**

- Martin E. Chenevert, Jon E. Olson, Paul Bommer

##### **Ingeniería de Gas Natural:**

- Quoc P. Nguyen, Kishore Mohanty

##### **Ingeniería de Yacimientos:**

- Mojdeh Delshad, Mateo Balhoff, Gary A. Pope, David DiCarlo.

##### **Ingeniería de Producción:**

- Quoc P. Nguyen, Sanjay Srinivasan, Mukul Sharma, Augusto L. Podio, Steven L. Bryant, A. Daniel Colina

## **Recursos no convencionales:**

- David DiCarlo y Quoc P. Nguyen, Masa Prodanovic y Steven Bryant, Peter Eichhubl (BEG) y Peter Flemings (BEG), Ruben Juanes, Tadeusz Patzek

## **Caracterización integral de Yacimientos:**

- Sanjay Srinivasan, Steven L. Bryant, Jon E. Olson, Larry W. Lake, Mukul Sharma

## **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES**

- Estabilidad de la pizarra con lodos base agua y el comportamientos de lodos base aceite en lutitas
- Depósitos de gas y condensado y yacimientos naturalmente fracturados
- Procesos de recuperación mejorada de hidrocarburos
- Secuestro e inyección miscible de CO<sub>2</sub>
- Acidificación matricial, fracturamiento hidráulico y desplazamiento inestable en medios porosos

<http://enr.utexas.edu/programs/petroleum>

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)

## ***UNIVERSIDAD DE STANFORD***

## **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Maestrías y Doctorados en Ingeniería de Yacimientos.
- Simulación de yacimientos
- Recuperación mejorada
- Recursos no convencionales
- Análisis de pruebas de presión
- Energías limpias
- Modelado de flujo en pozos
- Captura de CO<sub>2</sub>

- Secuestro de gases de invernadero
- Ingeniería Geotérmica

## **LUGAR DE UBICACIÓN REFERENTE A CAMPOS PETROLEROS**

- La Energy Resources Engineering se encuentra ubicada en 367 Panamá Street Green Earth Sciences 065 Stanford University y las cuencas sedimentarias más cercanas a ella son:
  - La cuenca costera central
  - La cuenca de San Joaquín

## **MEJORES INVESTIGADORES POR ESPECIALIDAD:**

### **Simulación de Yacimientos**

- Khalid Aziz, Louis Durlofsky and Hamdi Tchelepi

### **Interpretación de Análisis de Pruebas de Presión**

- Roland Horne

### **Recuperación Mejorada de Petróleo y Yacimientos no Convencionales**

- Anthony Kavscek

### **Programa Geotérmico**

- Roland Horne

### **Almacenamiento de Carbón**

- Sally Benson, Anthony Kavscek, y Mark Zoback

## **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES**

- Captura de carbono durante la combustión de carbón.
- El secuestro de gases de efecto invernadero.

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)

<https://pangea.stanford.edu/departments/ere/faculty-research>

## **UNIVERSIDAD DE TEXAS A&M**

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Tecnología de la perforación
- Construcción de pozos
- Estimulación de pozos
- Yacimientos de metano en capas de carbón
- Recuperación mejorada en yacimientos de aceites pesados
- Yacimientos de Hidratos de carbono
- Shale gas
- Tight Gas
- Análisis de yacimientos
- Recuperación mejorada
- Evaluación de formaciones
- Yacimientos naturalmente fracturados
- Simulación de yacimientos
- Visualización de yacimientos

### **LUGAR DE UBICACIÓN REFERENTE A CAMPOS PETROLEROS**

Texas A&M University, College Station, Estados Unidos. Se encuentra ubicada cerca de las cuencas sedimentarias la provincia occidental del golfo y al norte la cuenca del este de Texas, donde se localizan los campos siguientes:

**Campos de gas:** John Amoruso, Bald Prairie, Farrar, Bear Grass, Freestone, Teague, Dowdy Ranch, Overton, Oak Hill, Lisburne, Anton-Irish, Carthage North, Blocker, Carthage, Bethany-Longstreet, Greenwood-Waskom.

**Campos de aceite:** Hawkins, East Texas

### **PRINCIPALES INVESTIGADORES POR ÁREAS:**

#### **Caracterización de yacimientos**

- Yalchin Efendiev, Santa Akella, L. Guan, Akhil Datta - Gupta

### **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES:**

En la etapa inicial de producción de un yacimiento de gas, como los que se tienen cerca de la universidad de Texas A&M, se pueden presentar gastos y presiones



capaces de levantar los líquidos (condensado y/o agua) que se producen junto con el gas y llevarlos a superficie; sin embargo, con la declinación de la presión de los yacimientos llega un momento en el cual el flujo de gas no tiene la fuerza suficiente para levantar los líquidos, acumulándose en el fondo de la tubería de producción afectando la productividad del pozo, debido a la contrapresión que ejerce esa columna de líquidos a la formación.

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)

<http://engineering.tamu.edu/petroleum/research>

## **UNIVERSIDAD DE COLORADO**

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Recuperación mejorada mediante la inyección de CO<sub>2</sub>
- Simulación de yacimientos geotérmicos
- Simulación de yacimientos no convencionales
- Caracterización de yacimientos naturalmente fracturados
- Ingeniería de producción
- Perforación de pozos.

### **LUGAR DE UBICACIÓN REFERENTE A CAMPOS PETROLEROS.**

Illinois Street, Golden, Colorado, Estados Unidos cerca de las cuencas sedimentarias de Denver, Piceance y Sand wash, donde se localizan los siguientes campos:

**Campos de gas:** Piceance Creek, Grand Valley, Rulison, Mamm Creek, Parachute, Buzzard Creek, Wattenberg

**Campos de Aceite:** Mamm Creek, Cedardale Ne

### **MEJORES INVESTIGADORES POR ESPECIALIDAD:**

#### **Perforación de pozos**

- Alfred William (Bill) Eustes III, William (Will) Fleckenstein, Carrie McClelland, Mark G. Miller

## **Ingeniería de Yacimientos**

- Linda Battalora, Ramona M. Graves, B. Todd Hoffman, Hossein Kazemi, Erdal Ozkan, Ronny Pini, Manika Prasad, Azra Tutuncu, Craig W. Van Kirk, Wendy Wempe, Yu-Shu Wu, Xiaolong Yin, Luis E. Zepa

### **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES:**

Los yacimientos no convencionales, como los que se ubican en Bakken y Eagle Ford requieren incrementar su producción de líquidos; por lo tanto la Universidad de Colorado School of Mines, en conjunto con la industria, han desarrollado un programa de investigación sobre recuperación mejorada de yacimientos no convencionales (UIOR por sus siglas en inglés).

El reto, sin embargo, es enorme, ya que este tipo de yacimientos contienen cientos de miles de millones de barriles en los EE.UU solamente. La recuperación mejorada de yacimientos no convencionales no es una tarea fácil y la investigación significativa será necesaria para lograr el éxito. La tecnología apropiada debe ser todavía determinada, y los diferentes yacimientos pueden requerir diferentes técnicas.

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)

[http://petroleum.mines.edu/graduate\\_program.html](http://petroleum.mines.edu/graduate_program.html)

## ***UNIVERSIDAD DE OKLAHOMA***

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Estabilidad de pozos
- Daño a la formación y fracturamiento hidráulico
- Sistemas Naturalmente Fracturados
- Ingeniería de yacimientos / recuperación mejorada
- Ingeniería de perforación
- Análisis de pruebas de presión
- Ingeniería de producción

### **LUGAR DE UBICACIÓN REFERENTE A CAMPOS PETROLEROS.**

La Universidad del Estado de Oklahoma está geográficamente situada en una de las áreas de exploración más activas del país. Se encuentra cerca de las cuencas

sedimentarias Anadarko, Cherokee platform, Arkoma y la cuenca del sur de California, donde se encuentran los siguientes campos:

**Campos de gas:** Hugoton Gas Area, Mocane-Laverne Gas Area, Cedardale Ne, Watonga-Chickasha Trend, Strong City District, Begert, Buffalo Wallow, Stiles Ranch, Mayfield Ne, Elk City, Haley, Verden Cement, Golden Trend, Sho-Vel-Tum, Coalgate Ne, Pine Hollow South, Kinta, Red Oak-Norris.

**Campos de aceite:** Burbank, Postle, Sho-Vel-Tum.

## **MEJORES INVESTIGADORES POR ESPECIALIDAD:**

### **Estabilidad de pozos**

- Younane Abousleiman

### **Daño a la formación y fracturamiento hidráulico**

- Faruk Civan

### **Sistemas Naturalmente Fracturados**

- Richard G. Hughes

### **Ingeniería de yacimientos / recuperación mejorada de petróleo**

- Dean S. Oliver

### **Ingeniería de perforación**

- Samuel O. Osisanya

### **Análisis de pruebas de presión**

- Djebbar Tiab

### **Ingeniería de producción**

- Michael L. Wiggins

<http://www.energy4me.org/careerscholarships/petroleum-engineering-and-technology-schools/university-of-oklahoma/>

<http://checksheets.ou.edu/earthindx.htm>

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)

## **UNIVERSIDAD DE LOUISIANA**

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Control de pozos y prevención de reventones
- Recuperación mejorada
- Evaluación de formaciones
- Control ambiental
- Terminación de pozos y dinámica de fluidos.

### **LUGARES DE UBICACIÓN REFERENTES A CAMPOS PETROLEROS.**

Luisiana State University está ubicada en el estado de Luisiana, en el cual se encuentran los campos siguientes.

**Campos de Gas:** Haynesville Shale Unit, Elm Grove, Caspiana, Holly, Vernon, Eugene Island Block, Greenwood-Waskom (compartido con el estado de Texas), Bethany Longs treet (compartido con el estado de Texas), Kingstone, Woodardville.

**Campos de Aceite:** Mississippi Canyon BLK 807 (offshore), Mississippi Canyon BLK 778 (offshore). Green Canyon BLK 743 (offshore), Green Canyon BLK 826 (offshore), Green Canyon BLK 640 (offshore), Green Canyon BLK 562 (offshore), Mississippi Canyon BLK 383 (offshore), Alaminos Canyon BLK 857 (offshore), Garden Banks BLK 171 (offshore). Walker Ridge BLK 206 (offshore).

### **MEJORES INVESTIGADORES**

- Dr.Dean S. Oliver, Dr.Paul L.Stoffa , Dr.Larry D.Talley

### **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES:**

Manejo seguro de las altas presiones del subsuelo de las formaciones de gas durante las operaciones de perforación.

Predicción precisa de los procesos dinámicos de fluidos durante la ejecución o reparación de pozos.

Desarrollo de técnicas para la mejora de la prevención de la contaminación; Separación agua, aceite, pruebas de toxicidad, etc.

Hay que mencionar que otra de las dificultades técnicas es que la mayoría de los campos de aceite que se encuentran cerca de la zona de Luisiana son campos costa fuera.

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)

<https://www.pete.lsu.edu/research/expertise>

## **UNIVERSIDAD DE CALGARY**

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Investigación en precipitación de asfáltenos e incrustaciones minerales
- Modelado de yacimientos
- Investigación en hidratos de metano
- Ciencia y tecnología de la recuperación de aceites pesados
- Modelado integrado de yacimientos
- Técnicas de combustión in-situ.

### **LUGARES DE UBICACIÓN REFERENTES A CAMPOS PETROLEROS.**

La universidad de Calgary se encuentra ubicada en Calgary, Alberta, Canadá. En el estado de Alberta se encuentra la cuenca sedimentaria Western Canada Sedimentary Basin, y es el centro de producción de petróleo de Canadá. Esta cuenca cuenta con las más grandes reservas de aceite y gas natural en el mundo. Así mismo en el estado de Alberta se encuentra el Yacimiento de Arenas Bituminosas, específicamente el depósito de Athabasca.

### **MEJORES INVESTIGADORES POR ESPECIALIDAD:**

#### **Propiedades y procesamiento de aceite pesado**

- Dr. Harvey Yarranton

#### **Catálisis de mejoramiento del bitumen e Hidrógeno**

- Dr. Pedro Pereira

#### **Modelado de yacimientos no convencionales**

- Dr. Apostolos Kantzas, Dr. Josephine Hill

### **Simulación de Yacimientos: Procesos avanzados de recuperación**

- Dr. Zhangxing (John) Chen

### **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES:**

Las arenas bituminosas de Alberta son arenas impregnadas de bitumen de forma sólida o semisólida de petróleo, y típicamente se encuentra con arena, arcilla y agua en su estado natural.

Para poder producir este tipo de yacimientos se requiere de técnicas especializadas en arenas bituminosas, como las técnicas térmicas de recuperación mejorada.

<http://schulich.ucalgary.ca/chemical/research>

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)

### ***UNIVERSIDAD DE ALBERTA***

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Ingeniería de perforación
- Mecanismos de producción de petróleo
- Análisis de pruebas de presión
- Mecánica de fluidos y producción de gas natural
- Solución numérica y analítica de flujo en medios porosos
- Ingeniería de yacimientos
- Simulación de yacimientos
- Recuperación secundaria de hidrocarburos
- Recuperación térmica de hidrocarburos
- Registros geofísicos y evaluación de formaciones

### **LUGARES DE UBICACIÓN REFERENTES A CAMPOS PETROLEROS.**

La Universidad de Alberta es una universidad pública de investigación localizada en la ciudad de Edmonton, Alberta, Canadá. Al igual que la universidad de Calgary, ambas se encuentran referenciadas a los mismos campos petroleros ubicados en el estado de Alberta.

### **MEJORES INVESTIGADORES POR ESPECIALIDAD:**

### **Ingeniería de Yacimientos:**

- Tayfun Babadagli, Hassan Dehghanpour, Juliana Leung, Peng, Ryosuke Okuno, Peng, Huazhou (Andy) Li.

### **Ingeniería de producción**

- Alireza Nouri, Peng, Japan Trivedi

### **Ingeniería de perforación**

- Ergun Kuru, Peng, Ryosuke Okuno

### **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES:**

Las mismas que se presentan para la Universidad de Calgary.

<http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=CA>

<http://www.civil.engineering.ualberta.ca/Research/ResearchAreas/Petroleum.aspx>

### ***UNIVERSIDAD DE VIRGINIA DEL OESTE***

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Ingeniería de Perforación
- Evaluación de reservas de aceite y gas
- Propiedades de los hidrocarburos
- Ingeniería de producción
- Fenómenos de transporte y propiedades petrofísicas
- Flujo de fluidos a través de medios porosos
- Caracterización de yacimientos
- Simulación numérica de yacimientos
- Almacenamiento de Gas Natural
- Flujo Multifásico en tuberías
- Remediación Ambiental

## **LUGARES DE UBICACIÓN REFERENTES A CAMPOS PETROLEROS.**

Algunas veces referido como el “Saudi Arabia del gas Natural” La formación Marcellus (lutítica) está ubicada en el Este de Virginia, Pensylvania, Ohio y New York, cerca de West Virginia University

La formación de Lutitas Marcellus es potencialmente el mayor descubrimiento relacionado con la energía de nuestras vidas. Ya sea a través de la determinación de las propiedades petrofísicas, la investigación de la estabilidad del pozo, o el cálculo del potencial económico de un yacimiento, los investigadores del Departamento de Petróleo y Gas Natural de Ingeniería en la Universidad de West Virginia, están liderando el camino en la investigación de lutitas, que permitirá a la Estados Unidos aprovechar el enorme potencial de este recurso.

## **MEJORES INVESTIGADORES POR ESPECIALIDAD:**

### **Ingenieria de Yacimientos**

- Ilkin Bilgesu's, Dr. Bilegsu

### **Ingenieria de Produccion**

- Dr. Ebrahim Fathi's

## **DIFICULTAD TÉCNICA DE ESOS LUGARES:**

Los avances en las tecnologías de perforación horizontal y fracturamiento hidráulico, han facilitado en gran medida la actividad de perforación de gas natural en los Apalaches en los últimos años. La perforación horizontal permite la puesta en marcha de pozos múltiples desde una sola localización. El fracturamiento ha ayudado en el proceso de recuperación mediante el uso de agua, arena, y trazas de productos químicos para crear fracturas en la formación, lo que da como resultado la explotación del gas natural.

<http://majors.wvu.edu/home/details/272>

[http://www.eia.gov/oil\\_gas/rpd/topfields.pdf](http://www.eia.gov/oil_gas/rpd/topfields.pdf)



## **UNIVERSIDAD DE DALHOUSIE**

### **FORTALEZAS TÉCNICAS**

- Ingeniería de Yacimientos
- Recuperación mejorada
- Yacimientos de gas natural
- Tecnologías de producción
- Exploración petrolera.

### **LUGAR DE UBICACIÓN**

La universidad de Dalhousie se encuentra ubicada en el estado de Nueva Escocia en Canadá.

[http://www.dal.ca/academics/graduate\\_programs/petroleum-engineering.html](http://www.dal.ca/academics/graduate_programs/petroleum-engineering.html)

### **4.3 Investigación del Consejo de Talento de la Sociedad de Ingenieros Petroleros (SPE por sus siglas en inglés).**

Por otra parte, debido a la necesidad de definir las habilidades específicas que deben tener los ingenieros recién egresados, el Consejo del Talento de SPE llevó a cabo una investigación del currículo estudiantil universitario, así como de las expectativas del conocimiento de sus habilidades. A partir de los datos obtenidos de numerosas universidades, se creó una base de datos de habilidades técnicas, donde se prestó especial atención a los resultados de la evaluación del conocimiento. Estos conocimientos técnicos se utilizaron para crear una encuesta que se envió a una amplia variedad de empresas del sector petrolero (Exploración y Producción), compañías petroleras integradas (IOCs), compañías nacionales y a proveedores de servicios y tecnología. Se le solicitó a las empresas que clasificaran cada conjunto de conocimientos de la siguiente manera:

Requerido (indispensable),

Estimado (necesario pero no indispensable) o,

No requerido (no es necesario o no aplica)

El objetivo a largo plazo de la Base SPE de conocimientos técnicos para ingenieros egresados es servir como una herramienta de referencia para la industria, la academia y los estudiantes.

La base no pretendió ser definitiva en referencia a los criterios curriculares, a los requisitos básicos de contratación, o de la autoevaluación del estudiante. La base tampoco debe considerarse como cualquier otro componente del proceso de acreditación para evaluar los programas universitarios de Ingeniería petrolera. La base en la actualidad, es una herramienta para obtener información o referencias de uso en beneficio de la industria, de la academia y de los estudiantes.

#### Definiciones

Los siguientes términos definen la clasificación de las respuestas en la encuesta inicial y en la base:

**Requerido:** El conocimiento básico que las compañías definen como fundamental en los ingenieros petroleros recién egresados.

**Estimado:** El conjunto de conocimientos técnicos que, si bien no se requiere para las nuevas contrataciones, es valorado/considerado por los empleadores.

**No requerido:** El conocimiento que no es requerido por la industria (o no es aplicable) en los ingenieros petroleros recién egresados.

#### Requerimientos para el desarrollo de la base

La base fue elaborada a partir de una revisión exhaustiva de las bases de datos industriales y académicas, así como por aportaciones de colegas expertos en la industria. En particular, fueron compilados los planes de estudios de las universidades y los resultados de la evaluación del aprendizaje en torno al

conocimiento general de ingeniería y de distintas disciplinas en la ingeniería petrolera.

Por otra parte, se le pidió al personal de la industria catalogar el conjunto de conocimientos técnicos en el área de su competencia, cuáles deberían considerarse como Requeridos, Estimados o No requeridos en los recién egresados de Ingeniería petrolera.

#### Proceso de desarrollo

El Consejo del Talento de SPE determinó un comité de expertos en la industria y la academia para desarrollar la base. Se acreditó la necesidad de que la base fuera un documento “flexible” (no sólo un conjunto de criterios preestablecidos), ya que los procesos respectivos se han implementado para asegurar la actualización, revisión y prospección continuas.

Se realizó una encuesta y se le envió a 109 compañías petroleras (nacionales, internacionales, empresas medianas y del sector de servicios). La participación consistió en 51%, lo que dio validez a los resultados de la encuesta.

El resultado de la encuesta para la base SPE de conocimientos de competencias para ingenieros egresados sugirió que el sector de exploración y producción, dentro de la industria petrolera, le asigna un valor esencial a los conocimientos técnicos específicos para los graduados en Ingeniería petrolera. En particular, quedó claro que los egresados deben tener fundamentos sólidos, amplio conocimiento y habilidades de ingeniería.

La encuesta también reflejó que los egresados desean tener más conocimiento práctico y operacional, así como la aplicación de los fundamentos de ingeniería petrolera en el ámbito laboral (perforación, producción, ingeniería de yacimientos) y también de los fundamentos de geociencias, de economía, de lenguaje y de presentaciones técnicas. (referencia: Blasingame Tom SPE Talent Council The SPE Technical Knowledge for Graduating Engineers Matrix,)

Para esta tesis, se utilizaron 44 criterios de selección para las competencias consideradas en el trabajo de SPE, de las cuales, se tomaron en cuenta las que son superiores al 50% como requeridas, de tal manera que sea un juicio para la determinación de los temas de las asignaturas de la carrera de Ingeniería Petrolera.

Tabla 4.8 Principales competencias

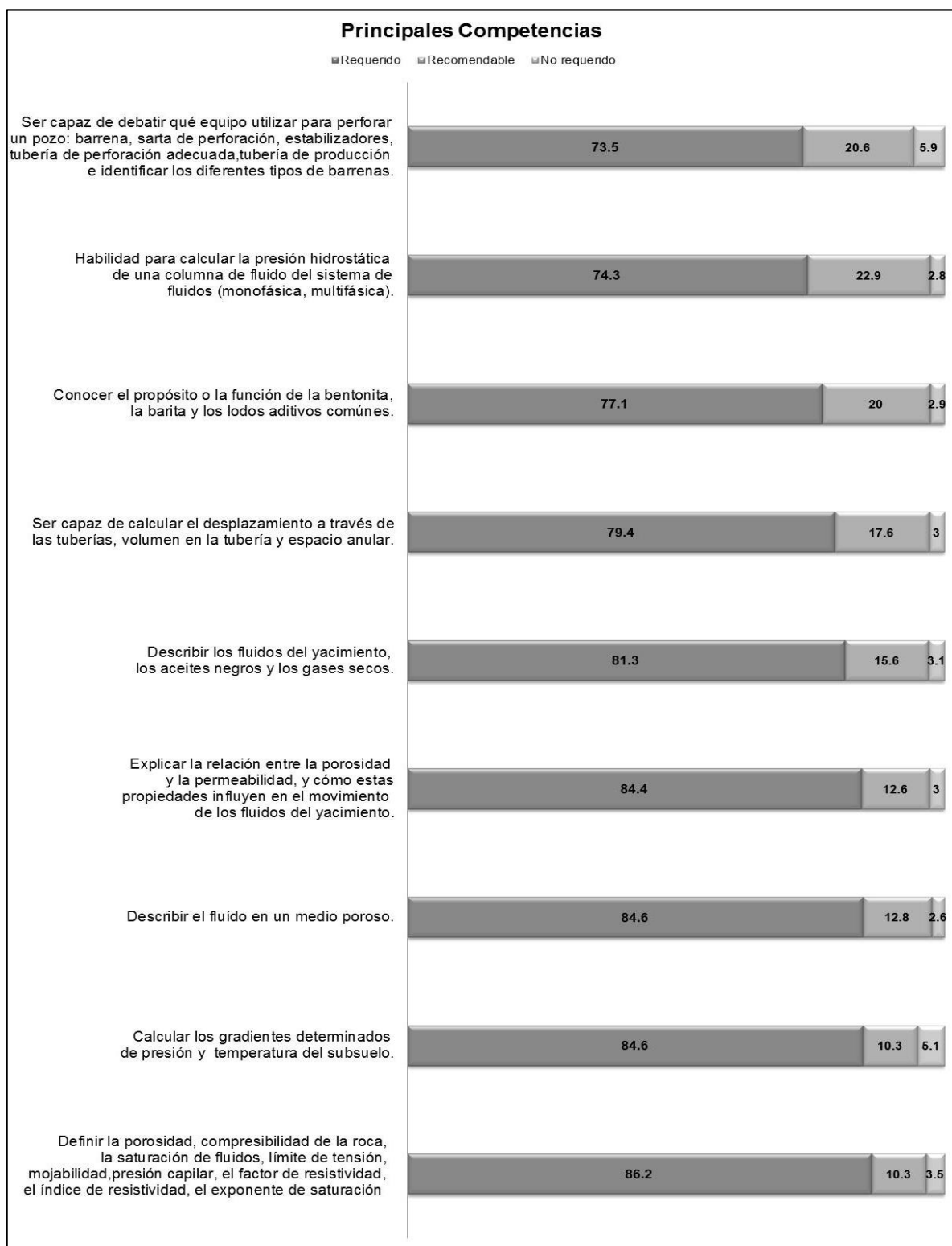


Tabla 4.9 Principales competencias 2

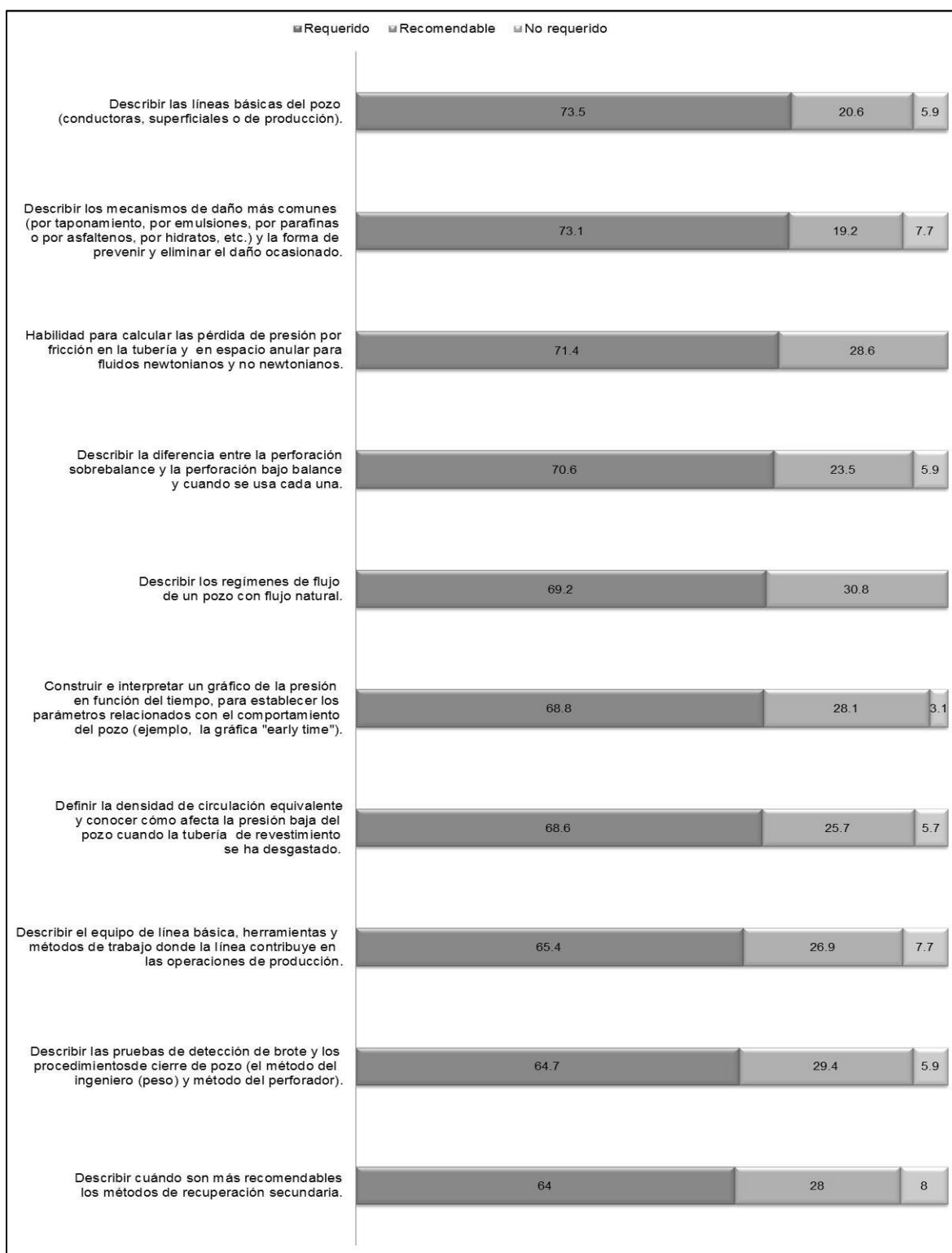
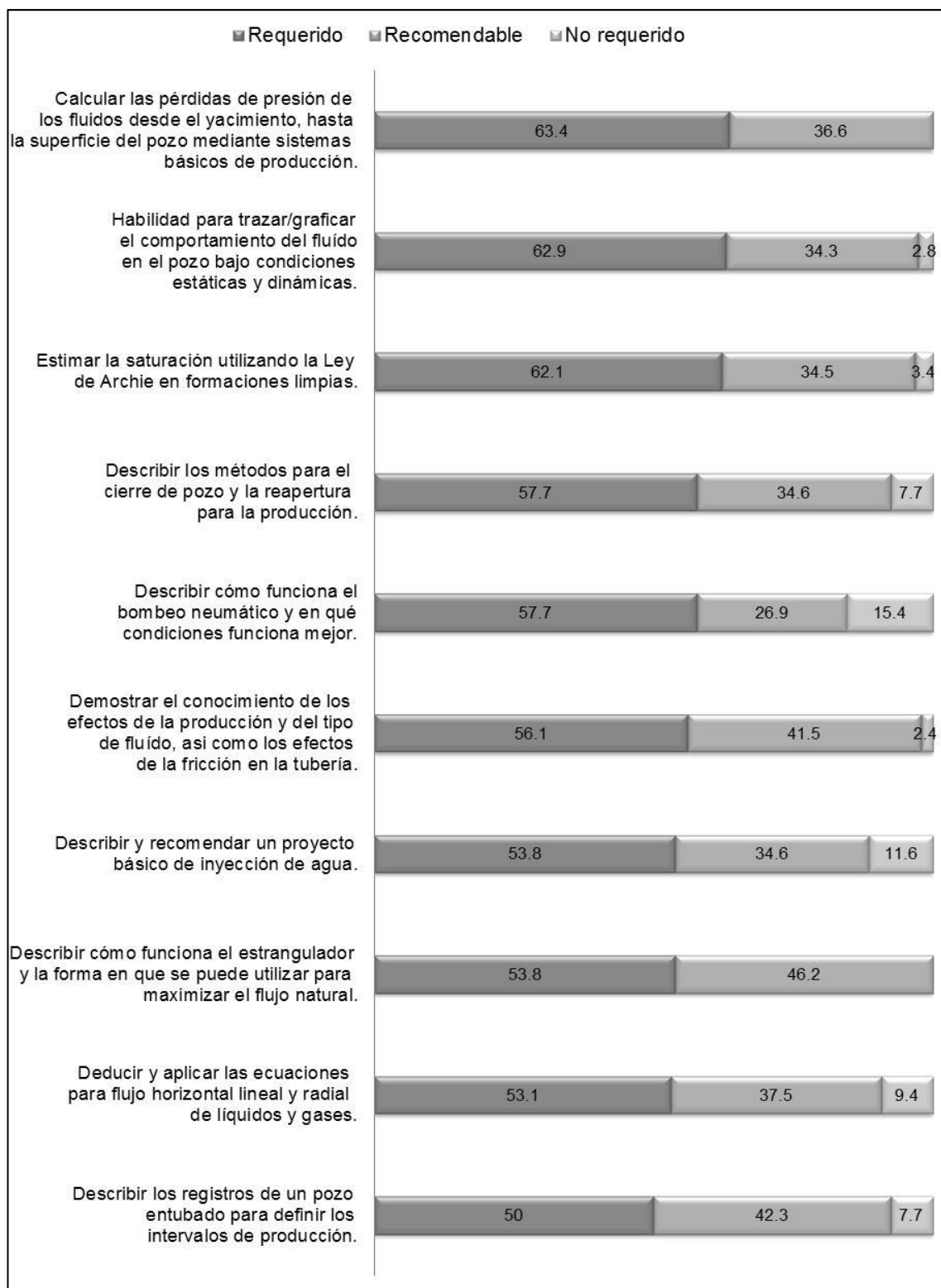


Tabla 4.10 Principales competencias 3



## 5. Desarrollo metodológico

### 5.1 Modelo de competencias.

La metodología utilizada en este trabajo, hoy en día, es empleada nivel mundial para el desarrollo de competencias, a partir de la identificación de los retos técnicos y cómo éstos se ligan a las competencias y especialidades para cubrir las necesidades de personal técnico en los proyectos de explotación de petróleo.

El modelo de competencias tiene como finalidad definir con mayor precisión las necesidades de desarrollo del personal para atender los retos técnicos de las áreas involucradas. Cabe mencionar que este modelo se utiliza para desarrollar al personal de una empresa en forma acelerada a través de los distintos vehículos de capacitación y el modelo de aprendizaje combinado. El modelo permite alinear las necesidades técnicas a las competencias para resolver los problemas que presenten los proyectos petroleros.

Por lo anterior, es utilizado como base para generar un plan de estudios que permita al recién egresado contar con las competencias requeridas y realizar exitosamente con las tareas que le sean encomendadas en su nivel inicial.

El modelo de competencias comprende tres fases:

Fase de desarrollo.

1. Identificación de retos y competencias críticas.
2. Definición de competencias y perfiles de especialidad.
3. Diseño del cierre de brechas.

Fase de operación.

1. Ejecución de evaluaciones.
2. Planeación de la capacitación.

Fase de seguimiento.

1. Monitoreo del desarrollo.



Para fines de este trabajo, la fase de desarrollo es utilizada para definir los temas que deberán comprender las asignaturas.

## 5.2 Fase de desarrollo

### 5.2.1 Identificación de retos y competencias críticas

Los retos técnicos son el punto de partida del modelo de competencias para alinear los esfuerzos de desarrollo profesional con los objetivos del negocio.

El análisis de los retos técnicos incluye dos etapas principales:

1. **Identificación de retos técnicos.** La identificación de retos técnicos es un esfuerzo que abarca la parte técnica y metodológica. Este proceso se lleva a cabo durante talleres donde los expertos del tema revisan los retos técnicos enfrentados en los Activos de Producción.
2. **Priorización de retos técnicos.** Durante los talleres, los expertos priorizan los retos técnicos que enfrentan a nivel activo o proyecto de acuerdo con el impacto potencial en reservas, producción y costos, entre otros.

Para contar con una visión organizacional de los retos técnicos se homologan y pondera cada reto técnico homologado con base en la priorización promedio de los activos/proyectos y el número de activos/proyectos que enfrentan ese reto. De esta manera, se identifican los retos principales en las áreas. (Ver ejemplo tabla 5.1)

Tabla 5.1 Principales retos técnicos de las Coordinaciones de Operación de Pozos e Instalaciones (COPIES)

Número	Principales retos
1	Optimización de sistemas artificiales de producción en pozos
2	Cuantificación confiable de los volúmenes de fluidos en el sistema de producción
3	Optimización de redes (ductos y líneas de descarga) de producción
4	Acondicionamiento de fluidos
5	Manejo y optimización de instalaciones de producción
6	Separación convencional y de alta eficiencia de hidrocarburos
7	Automatización (monitoreo y control) de pozos e instalaciones
8	Optimización de pozos fluyentes
9	Manejo de crudos pesados y extra-pesados
10	Manejo, tratamiento y disposición de agua congénita

Fuente: Taller identificación de retos de las COPIES

Mediante el análisis de habilidades, conocimiento y conductas requeridas para atender los retos técnicos, se definen las competencias críticas y las especialidades asociadas.

La identificación de competencias críticas consta de dos partes:

1. **Análisis de competencias críticas.** Se utiliza la experiencia de personal experto interno y externo así como las mejores prácticas internacionales para establecer las competencias que se desarrollarán. Durante los talleres, los expertos enlistan las habilidades, conocimiento y conductas que se necesitan para solucionar los retos técnicos priorizados por activo/proyecto. Aunado al esfuerzo inicial de los expertos internos de PEP, expertos externos a la empresa complementan la lista de competencias; de esta manera se tiene una visión internacional que cubre al mismo tiempo, las necesidades de PEP.
2. **Detección de especialidades asociadas.** Las especialidades de los profesionistas se determinan de acuerdo con las funciones realizadas por el personal dentro de los proyectos. Cada especialidad es generada con un conjunto de competencias requeridas para conformar su perfil. (ver ejemplo tabla 5.2).

Tabla 5.2 Especialidades y competencias críticas de los principales retos de las COPIES

No	Retos	Especialidad	Competencias críticas
1	Optimización de sistemas artificiales de producción en pozos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operación de pozos</li> <li>• Operación de sistemas artificiales de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Operación de pozos con sistemas artificiales</li> <li>b) Operación de pozos fluyentes</li> <li>c) Pruebas de producción de pozos</li> <li>d) Monitoreo de producción</li> <li>e) Optimización de la producción</li> </ul>
2	Cuantificación confiable de los volúmenes de fluidos en los sistemas de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de fluidos</li> <li>• Automatización instrumentación y control</li> <li>• Recolección y transporte de fluidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Medición y certificación de hidrocarburos</li> <li>b) Medición y transferencia de custodia de hidrocarburos</li> <li>c) Instrumentación y control</li> <li>d) Calibración y ajuste de instrumentos de medición y control de procesos</li> </ul>
3	Optimización de redes (ductos y líneas de descarga) de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolección y transporte de fluidos</li> <li>• Automatización instrumentación y control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Operación de estaciones de recolección y oleoductos</li> <li>b) Operación de estaciones de compresión y gasoductos</li> <li>c) Simulación de redes de recolección y transporte de fluidos</li> <li>d) Medición y transferencia de custodia de hidrocarburos</li> <li>e) Sistemas de control</li> </ul>
4	Acondicionamiento de	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acondicionamiento y tratamiento de fluidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Tratamiento de crudo</li> <li>b) Tratamiento de gas</li> <li>c) Operación de plantas</li> </ul>

	fluidos		d) acondicionamiento de hidrocarburos Controlar la calidad de los fluidos
5	Manejo y optimización de instalaciones de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación de instalaciones de producción</li> </ul>	a) Operación baterías de separación b) Operación de plantas de acondicionamiento de hidrocarburos c) Operaciones de procesos de superficie d) Ingeniería de mantenimiento y confiabilidad
6	Separación convencional y de alta eficiencia de hidrocarburos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación de instalaciones de producción</li> <li>Acondicionamiento y tratamiento de fluidos</li> <li>Automatización instrumentación y control</li> </ul>	a) Operación baterías de separación b) Operación de procesos de superficie c) Operación de estaciones de compresión y gasoductos d) Operación de plantas de deshidratación de aceites crudos e) Controlar la calidad de los fluidos
7	Automatización (monitoreo y control) de pozos e instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatización instrumentación y control</li> <li>Medición de fluidos</li> </ul>	a) Sistemas de control (SCADA) b) Instrumentación y control c) Monitoreo y control de equipos de procesos d) Medición y certificación de hidrocarburos
8	Optimización de pozos fluyentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación de pozos</li> <li>Automatización instrumentación y control</li> </ul>	a) Pruebas de producción de pozos b) Operación de pozos fluyentes c) Monitoreo de producción d) Optimización de la producción
9	Manejo de crudos pesados y extrapesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acondicionamiento y tratamiento de fluidos</li> <li>Recolección y transporte de fluidos</li> </ul>	a) Tratamiento de crudo pesado b) Inyección de vapor c) Controlar la calidad de los fluidos d) Operación de plantas de acondicionamiento de hidrocarburos
10	Manejo, tratamiento y disposición de agua congénita	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recolección y transporte de fluidos</li> <li>Acondicionamiento y tratamiento de fluidos</li> </ul>	a) Operación sistemas de tratamiento químico del agua b) Operar plantas de tratamiento y manejo de aguas residuales

Fuente: Taller identificación de retos de las COPIES

Asimismo, expertos internacionales y nacionales, junto con un grupo especializado en desarrollo de competencias, revisan las especialidades asociadas, y después de varias iteraciones se agrupan las competencias identificadas y se definen especialidades técnicas divididas en disciplinas. (Ver ejemplo tabla 5.3)

Tabla 5.3 Disciplinas y especialidades técnicas de las COPIES

<b>Operación de pozos</b> Operación de pozos y sistemas artificiales de producción
<b>Operación de instalaciones</b> Operación de instalaciones de producción ** Operación de instalaciones de producción de aceite * Operación de instalaciones de producción de gas * Recolección y transporte de fluidos **
<b>Acondicionamiento y medición de fluidos</b> Medición de fluidos Acondicionamiento y tratamiento de fluidos

\*Solo aplica en campos offshore

\*\* Solo aplica en campos onshore

Fuente: Taller identificación de retos de las áreas de operación de pozos e instalaciones de explotación

### 5.2.2 Definición de competencias y perfiles de especialidad

Con base en la lista de competencias críticas y especialidades asociadas, se desarrolla un Diccionario de Competencias, el cual describe las conductas observables que deben reflejarse en cada nivel de dominio de una competencia.

El catálogo de competencias incluye dos etapas:

1. **Desarrollo del diccionario de competencias.** Para cada competencia identificada, expertos externos a PEP proporcionan una descripción y un detalle exhaustivo de las conductas observables para los cinco niveles de dominio definidos.
2. **Validación del diccionario de competencias.** Una vez elaborado el diccionario por expertos externos a PEP, pasa por un proceso de revisión y validación por los expertos internos (Ver ejemplo Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Estructura del diccionario de competencias

<p><b>ÁREA DE CONOCIMIENTO</b> Nombre de competencia</p> <p><b>DEFINICIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Contenido técnico y descripción de la competencia de acuerdo al cuerpo del conocimiento</b></li></ul> <p><b>CONDUCTAS OBSERVABLES</b></p> <p><b>NIVEL DE DOMINIO 1: ELEMENTAL</b></p> <p><b>NIVEL DE DOMINIO 2: BÁSICO</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Entiende conoce</li><li>• Identifica / clasifica la información</li><li>• Genera productos y respuestas simples</li><li>• Aplica bajo supervisión</li><li>•</li></ul> <p><b>NIVEL DE DOMINIO 3: INTERMEDIO</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Aplica correctamente y sin supervisión</li><li>• Analiza procesos de trabajos y resuelve problemas</li><li>• Diagnostica y recomienda soluciones</li><li>• Soporta los objetivos del negocio</li></ul> <p><b>NIVEL DE DOMINIO 4: AVANZADO</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Diagnostica y resuelve problemas complejos</li><li>• Anticipa problemas e impacto de las tecnologías</li><li>• Brinda soluciones alternas</li><li>• Implemente la tecnología</li><li>• Mentoría</li></ul> <p><b>NIVEL DE DOMINIO 5: ESPECIALIZADO</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Genera soluciones innovadoras</li><li>• Defines nuevas practicas</li><li>• Establece la estrategia de la competencia</li></ul> <p>Considerado autoridad adentro y fuera de la compañía</p>
---

Fuente: Análisis SBC para la realización de modelos de competencias, 2008

Los perfiles de especialidad establecen el nivel de dominio esperado para cada competencia por cada especialidad en cada uno de los proyectos, de acuerdo con los grados de especialización en la ruta de experto (asistente, analista, especialista y experto) y de la ruta de gestión (coordinadores, jefes de sector, superintendentes y administradores).

Estas herramientas son la referencia para:

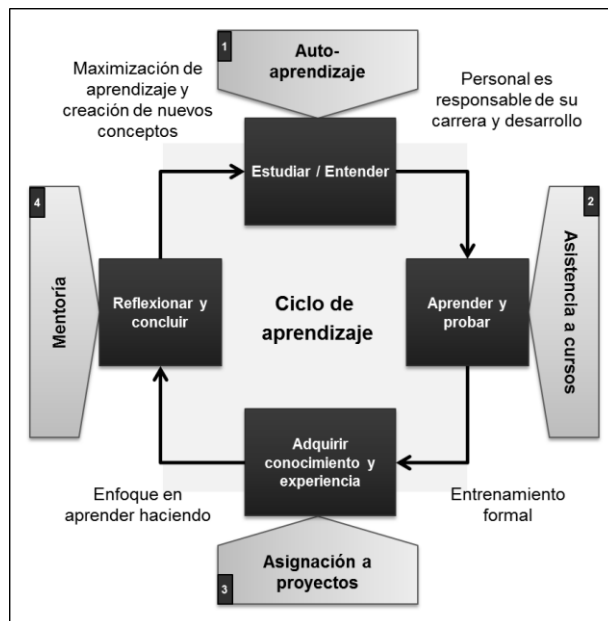
- Generar las evaluaciones de cada profesionista.
- Evaluar fortalezas/brechas.
- Generar los Planes de Capacitación Individuales de acuerdo a las necesidades del proyecto.

### *5.2.3 Diseño del cierre de brechas*

Los mapas de aprendizaje establecen cuáles son los actos de capacitación sugeridos para cerrar las brechas de cada una de las competencias de acuerdo a las conductas observables en los distintos niveles de dominio esperado por grado de especialización.

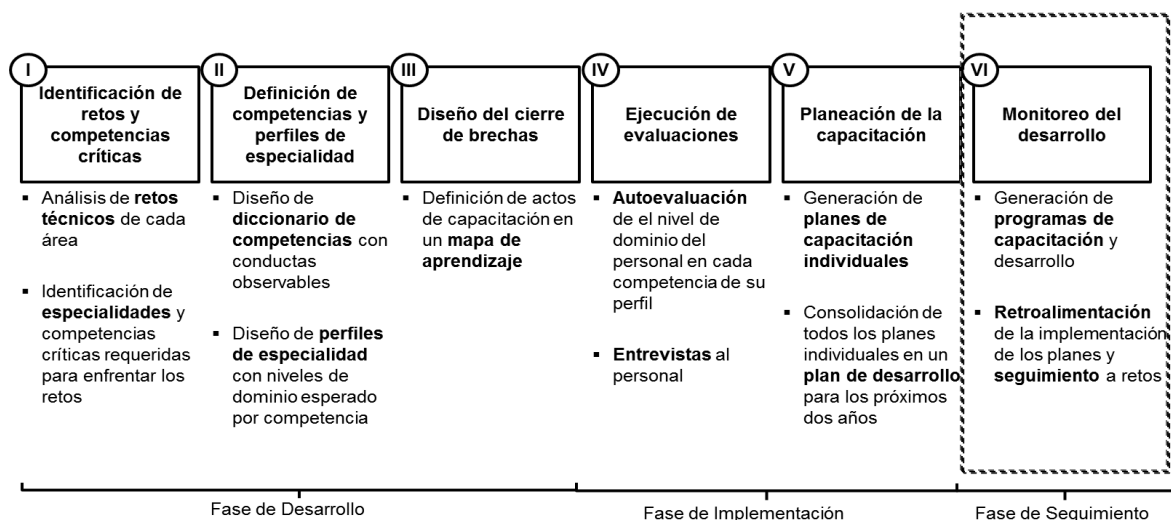
El desarrollo de los mapas de aprendizaje de especialidad se basa en la metodología de aprendizaje combinado que permite adaptar la oferta de aprendizaje de acuerdo con los diferentes estilos y requisitos especiales del profesionista, privilegiando el “aprender haciendo”. (Ver Figura 5.1).

Figura 5.1 Metodología de aprendizaje combinado



Para ser más claro, el proceso de desarrollo de competencias consiste en la aplicación de un método sistemático para determinar el conocimiento y niveles de habilidades del personal técnico identificando sus fortalezas y brechas de sus competencias con el propósito de desarrollar habilidades tanto a nivel individual como organizacional. Este modelo consta de tres etapas. La primera es el desarrollo y que será la base para el presente trabajo; la segunda que es la operación y por último es el seguimiento (ver Figura 5.2).

Figura 5.2 Metodología de desarrollo de competencias



Para identificar las principales necesidades del personal técnico en materia de desarrollo de competencias se inicia por examinar la problemática específica para cada proyecto. Con la ayuda de los líderes de los proyectos y de la comunidad técnica dentro PEP se determinan los principales retos técnicos y las competencias críticas asociadas para resolverlos. La integración y análisis arroja los siguientes resultados, que permiten asegurar que los perfiles se alineen con la motivación de crear una carrera técnica integral se siguieron los siguientes lineamientos en su diseño:

1. Cada perfil incluye competencias marcadoras y complementarias, de acuerdo a los requerimientos de la especialidad.
2. El número de competencias marcadoras se mantiene para los distintos niveles.
3. La diferencia entre los diferentes niveles dentro de los perfiles radica en el número de competencias complementarias y el nivel de dominio esperado para todas las competencias (ver ejemplo tabla 5.5).

Tabla 5.5 Ejemplo de perfil de especialidad – Operación de Pozos

Competencia	Tipo	Asistente	Analista	Especialista	Experto
Operación de pozos fluyentes	M	3	3	4	5
Operación de pozos con bombeo electrocentrífugo (BEC)	M	2	3	4	5
Operación de pozos con bombeo neumático	M	2	3	4	5
Apertura y cierre de pozos	M	3	3	4	4
Monitoreo y análisis de las variables operativas	M	2	3	4	4
Operación de pozos con bombeo de cavidad progresiva (BCP)	M	2	3	4	4
Operación de pozos con bombeo hidráulico	M	2	3	4	4
Operación de pozos con bombeo mecánico	M	2	3	4	4
Operación de pozos inyectores de gas	M	2	3	4	4

Operación de sistemas artificiales de producción no convencionales	M	2	3	4	4
Operación de pozos con émbolo viajero	M	2	3	3	4
Operación de pozos inyectoros de agua	M	2	3	3	4
Operación de pozos inyectoros de vapor	M	2	3	3	4
Optimización de la operación de pozos con sistemas artificiales de producción	M	2	3	3	4
Optimización de la producción de pozos	M	2	3	3	4
Control de fluidos producidos	M	2	3	3	4
Emergencias y contingencias	C	2	3	3	3
Permiso de trabajo con riesgo	C	2	3	3	3
Diseño y selección de sistemas artificiales de producción	C	2	3	3	3
Inducción de pozos	C	2	3	3	3
Operación de árboles de producción y cabezales de válvulas	C	2	3	3	3

Cabe mencionar que para la propuesta del plan de estudios serán tomados en cuenta todos los perfiles de especialidad definidos para Pemex Exploración y Producción, que por cuestión de confidencialidad no son mostrados en este documento.

Otro frente derivado del levantamiento de los retos técnicos fue la definición de vehículos prioritarios para el desarrollo de personal. Los vehículos prioritarios diseñados incluyen programas integrales de capacitación, talleres y envío de personal a posgrados alineados con los retos técnicos. Para este trabajo se revisaron estos actos de capacitación ya que en ellos se encuentran descritos las competencias que abordan y los temarios, que, como se mencionó anteriormente, no podrán ser mostrados por confidencialidad. Sin embargo, se muestra un ejemplo para ilustrar esta parte.

#### Propiedades fisicoquímicas de los fluidos del yacimiento (PVT)

##### Básico (de 0 a 2)

1. **Autoaprendizaje:** Lecturas de artículos sobre las propiedades de los fluidos de yacimiento, tipos de muestreo, análisis de muestras, y correlaciones utilizadas para determinar diagramas de fase y propiedades de los fluidos.
2. **Curso básico:** Propiedades de los fluidos del yacimiento: principios básicos del comportamiento de fases de los hidrocarburos (uno, dos y multicomponentes), diagrama de presión-composición, clasificación de los yacimientos y los fluidos de los yacimientos, sistema de gas retrógrado y sistema cercano al punto crítico, gradiente de presión y localizaciones de contacto gas-aceite, caracterización de los hidrocarburos, correlaciones



generalizadas, aplicaciones de las ecuaciones de estados, caracterización de muestras de sistemas multicomponentes, propiedades de los gases, comportamiento de los gases, propiedades PVT de los aceites, entendimiento de los datos de laboratorio, pruebas PVT, ecuaciones de estados y las fases de equilibrio.

3. **Curso básico:** Caracterización de fluidos de yacimiento (aceite negro y gas condensado): mecanismo de producción de los yacimientos de aceite negro, aplicaciones de los balance de materia a diferentes fluidos del yacimiento, comportamiento termodinámico de los fluidos (aceite negro y gas condensado), balance composicional de materia, predicción del comportamiento del yacimiento utilizando balance de materia.
4. **Proyecto de tutoría:** trabajar con el mentor para desarrollar el conocimiento y habilidades en el análisis de propiedades de fluidos del yacimiento, los tipos de pruebas y comparaciones con las correlaciones.

Con este ejemplo, se desea mostrar que en el nivel básico se encuentran los vehículos de capacitación que requeriría un ingeniero recién egresado y que sirve como base para la generación de los temarios de las asignaturas.

### 5.3 Competencias específicas para recién graduados de acuerdo al Consejo de Talento de la SPE.

Por otra parte, basado en la necesidad de definir las competencias específicas para los graduados, el Consejo de Talento de SPE condujo un estudio sobre los currículos de las universidades, así como las expectativas de la industria con respecto al conocimiento técnico de los recién graduados en ingeniería petrolera. De esta manera, se generó una matriz de sets de conocimiento técnico que fue enviada a compañías de Exploración y Producción (integrated oil companies (IOC's)), compañías petroleras nacionales (NOC's) y proveedores de servicio y tecnología. Las compañías respondieron y jerarquizaron los conocimientos mediante los siguientes términos:

- Requerido (indispensable),
- Valioso (deseado, pero no necesario), o
- No requerido (no necesario o no aplicable).

Esta matriz llamada Matriz de Conocimiento Técnico para Graduados SPE es una herramienta de referencia para la industria, academia y estudiantes. No significa

que sea definitiva pero sirve como una componente para los procesos de acreditación de los programas de ingeniería petrolera y sirve como una referencia en los puntos que deben ser tomados en cuenta para beneficio de la industria.

La matriz fue construida a partir de una revisión exhaustiva de fuentes de la industria y académicos, así como de los expertos de la industria, con lo cual se realizó este proceso y se obtuvo un tabulador para determinar cuáles eran las competencias requeridas en el perfil del ingeniero petrolero. Finalmente, de 109 compañías invitadas se tuvo una participación de casi el 51% con lo que se validaron los resultados.

Se utilizaron 44 criterios de selección para las competencias, de las cuales, en este trabajo se tomaron en cuenta las que son superiores al 50% como requeridas, de tal manera que sea un juicio para la determinación de los temas de las asignaturas de la carrera de Ingeniería Petrolera.

Adicionalmente, el Grupo de Tareas de SPE (Task Force) desarrolló un procedimiento para pruebas dirigido a mejorar la preparación de exámenes utilizando a los expertos académicos de la carrera de ingeniero petrolero. De esta manera se definieron los criterios para un mínimo de competencias que los ingenieros petroleros deben tener. Este esfuerzo fue hecho a través del Consejo Nacional de Examinadores y Encuestadores para la Ingeniería (NCEES). Para ello la NCEES utiliza definiciones amplias y profundas de la siguiente manera:

**Amplio:** el conocimiento básico de todas las áreas de ingeniería petrolera necesarias en cada una de las ingenierías para demostrar un mínimo de competencias después de 4 a 6 años de experiencia.

**Profundo:** el conocimiento que se requiere en un ingeniero petrolero después de 4 a 6 años de experiencia para demostrar un mínimo de competencias de uno o más de las áreas principales en la práctica.

**Sub-disciplinas: de la ingeniería petrolera:** perforación, terminación, instalaciones de producción, evaluación de formaciones y yacimientos. Todas las sub-disciplinas comparten el conocimiento común de las tareas relacionadas con la categoría de “amplio”, y cada sub-disciplina que requiere de conocimiento

especializado, entendimiento y habilidades acumuladas a través de la experiencia se define en la categoría de “profundo”.

Este Grupo de Tareas se formó con el Presidente de SPE de 1999, Scott Hickman, quien reclutó a un grupo diversificado de participantes de la industria, academia, la NCEES y el Registro de Profesionales de la Ingeniería del Estado de Texas a fin de revisar las prácticas comunes relacionadas con el establecimiento de competencias, que fueran representativas de la industria petrolera, entre otras. La información generada se basó en los resultados de las aportaciones de 2,150 miembros de la SPE quienes tenían entre 4 y 10 años de experiencia, y posteriormente el Grupo Chauncey (firma de consultoría), condujo un análisis de las tareas para determinar las áreas de conocimiento requeridas por los ingenieros petroleros.

Los resultados se presentan a continuación:

**Tabla 5.6 Matriz de Competencia – SPE Grupo de Trabajo en Competencia**

<b>MATRIZ DE COMPETENCIA – SPE GRUPO DE TRABAJO EN COMPETENCIA MÍNIMA</b>				
<b>Subdisciplinas</b>	<b>Actividad</b>	<b>CONOCIMIENTO/HABILIDAD*</b>		
		<b>Nivel de Competencia Básico</b>	<b>Nivel de Competencia Intermedio</b>	<b>Nivel de Competencia Avanzado</b>
General	Mantener el cumplimiento de la normatividad.	Identificar que organismos reguladores tienen jurisdicción y dónde encontrar la documentación de la normatividad aplicable.	Completar las autorizaciones regulatorias necesarias y los informes específicos de la sub-disciplina.	Trabajar con los reguladores en cambios de regla y excepciones.
General	Realizar el análisis la toma de riesgos y planes de contingencia.	Comprender decisiones y conceptos de análisis de riesgos y el valor de la planificación de contingencia.	Llevar a cabo evaluaciones de riesgo dentro de la sub-disciplina y preparar planes de contingencia para la gestión de riesgos.	Llevar a cabo evaluaciones de riesgo a través de sub-disciplinas para un proyecto y preparar planes de contingencia.
Perforación	Mantener el control del pozo.	Calcular el peso del lodo necesario para mantener el control del pozo y el volumen de lodo requerido para llenar el agujero mientras se hacen cambios de tubería.	Diseñar y/o implementar el procedimiento para llevar a cabo una afluencia con éxito.	Diseñar y/o implementar el procedimiento para controlar el pozo.
Perforación	Desarrollar un programa de la tubería de revestimiento (diámetros y establecer profundidades de asentamiento).	Comprender la relación entre el radio de flujo de producción deseada y la tubería/tubería de revestimiento.	Determinar la profundidad de asentamiento de la tubería de revestimiento para proteger las arenas limpias.	Optimizar el número y la profundidad de tuberías de revestimiento. Optimizar el tamaño de la sarta de revestimiento.
Evaluación de la formación	Determinar las propiedades de la formación (porosidad, saturación, permeabilidad) con la interpretación de los registros del pozo.	Determinar las propiedades a partir de las lecturas de registro en arenas limpias.	Determinar las propiedades a partir de las lecturas de registro en arenas limpias y arcillosas. Modelos de saturación de agua.	Ser capaz de estabilizar la profundidad de desplazamiento en litología compleja, pozos multilaterales.
Evaluación de la formación	Determinar las propiedades de la formación (presión del área de drenaje, permeabilidad, daño, distancia de los límites) a partir del análisis de pruebas de presión.	Determinar las propiedades de la formación para flujo monofásico de aceite o agua en acumulación o en pruebas de gasto constante. Límites del flujo multifásico. Formación homogénea e isotrópica.	Determinar las propiedades de la formación a partir de las pruebas, flujo monofásico de aceite, gas y agua o en la acumulación de flujo multifásico. La formación puede ser heterogénea y anisotrópica.	Determinar las propiedades de la formación para el flujo multifásico de gas, aceite y / o agua o en la acumulación de pruebas de flujo. La formación puede tener heterogeneidades complejas o ser anisotrópica y tener contacto de fluidos dentro de la zona de influencia de la prueba.

Tabla 5.7 (Continuación) Matriz de Competencia – SPE Grupo de Trabajo en Competencia

MATRIZ DE COMPETENCIA – SPE GRUPO DE TRABAJO EN COMPETENCIA MÍNIMA				
Subdisciplinas	Actividad	CONOCIMIENTO/HABILIDAD*		
		Nivel de Competencia Básico	Nivel de Competencia Intermedio	Nivel de Competencia Avanzado
Producción	Diseño de la tubería de producción/condiciones de estimulación.	Conocimiento de que la tubería se colapsa debido a los cambios de presión y temperatura durante la estimulación.	Puede calcular los cambios de longitud o fuerzas debido a los efectos de pistón, temperatura.	Diseño para ambientes corrosivos de temperatura / presión, por ejemplo: H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , el colapso en las tuberías.
Producción	Diseño dinámico de la tubería de producción/condiciones de estimulación.	Conocimiento de las diferentes opciones para ayudar en el levantamiento de fluidos producidos, rangos de presión y volúmenes de fluidos para cada opción de elevación, el sistema hidráulico y las fuerzas mecánicas relacionadas con cada una de las opciones.	Capaz de seleccionar y diseñar el sistema artificial apropiado y la presión de fluido para operaciones convencionales incluyendo el uso de diversas bombas de fondo de pozo con equipos de superficie asociada. Incorporar el desempeño en el diseño y la evaluación económica de las opciones de recuperación.	Diseñar el sistema artificial adecuado para terminaciones horizontales o condiciones difíciles como del ártico y operaciones costa fuera.
Yacimiento	Analizar el yacimiento/recuperación secundaria o mecanismos de recuperación mejorada.	Comprender los principios de flujo de agua /inyección de gas.	Evaluar el flujo óptimo del agua/inyección de gas.	Calcular la recuperación de área/barrido vertical, perforación para flujo fraccional y avance frontal. Estimación de recuperación de yacimientos de gas condensado (condensación retrógrada), determinar la eficiencia de barrido óptima.
Yacimiento	Determinar el volumen inicial de aceite y gas.	Calcular el volumen de aceite y gas por acre-pie de la roca y las propiedades de los fluidos. Comprender los principios de Balance de Materia para determinar el volumen de aceite o gas.	Determinar el volumen inicial de aceite y el gas en mapas geológicos, las propiedades de los fluidos y las rocas. Aplicar técnicas de balance de materia.	Incorporar gráfica Sw vs presión en los cálculos de aceite y gas. Manipular diversas formas de ecuaciones de balance de materia y determinar la forma más apropiada para su uso en cualquier tipo de situación en el cálculo original de gas y aceite.

#### 5.4 Propuestas de temas y asignaturas adicionales en el plan de estudios.

Esta información, aunada a la proporcionada por SPE, más la relación de asignaturas que se cursan en las diferentes escuelas que imparten la carrera de Ingeniería Petrolera, y alineada a los retos técnicos y competencias asociadas para Pemex Exploración y Producción, permiten proponer el plan de estudios, así como los temarios de las asignaturas.

Las propuestas son las siguientes en cada una de las asignaturas que se muestran a continuación.

#### EQUIPO Y HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN DE POZOS

Temas adicionales propuestos:

##### 4. Equipo auxiliar para perforación

- 4.5 Equipos para perforar bajo balance
- 4.6 Equipos snubbing y stripping
- 5. Conceptos básicos de la perforación no convencional y sus aplicaciones
  - 5.1 Perforación no convencional (pozos multilaterales)

La principal ventaja de la perforación bajo balance es minimizar el daño a la formación y, por lo tanto, al yacimiento. Con este método se permite que los fluidos de la formación fluyan hacia el pozo, razón por la cual es mínima la invasión del lodo hacia la formación. En consecuencia, la producción de hidrocarburos en pozos perforados con esta técnica es más alta que la de los pozos normales. Contrariamente, perforar con el método convencional (sobrebalance) se ocasionan daños alrededor del agujero del pozo, los cuales afectan la producción de hidrocarburos.

Durante las operaciones de perforación, se conserva una presión hidrostática ligeramente mayor a la de la formación. De esta forma se previene el riesgo de que ocurra un brote. Sin embargo en ocasiones, la presión de formación excederá la hidrostática y ocurrirá un brote.

Datos estadísticos indican que en la ocurrencia de brotes; el 70% sucede viajando, 25% perforando y el 5% cuando no se tiene tubería dentro del pozo.

Por tal motivo se deben conocer a detalle las prácticas para el control de pozos y con esto evitar un reventón, que es un brote sin control.

Para el control de brotes se cuentan con dos técnicas SNUBBING Y STRIPPING

El objeto de cada uno de estas técnicas es introducir la tubería hasta la profundidad programada para controlar el pozo con circulación directa y volver a recuperar el control primario.

Para definir qué tipo de operaciones se realizará (Snubbing o Stripping), es necesario calcular la fuerza ascendente y el peso de la sarta, además de otras consideraciones técnicas que el personal especializado deberá determinar.

El propósito básico para realizar operaciones de deslizamiento de tubería bajo presión del pozo, es la de bajar el extremo de la sarta a una profundidad que haga más fácil la operación de control del pozo bajo condiciones de utilizar menor densidad en el fluido de control, evitando con ello dañar la formación o las TR's del pozo. Se han identificado algunas ventajas las cuales se logran bajando la sarta hasta la profundidad de origen del brote, por ejemplo resulta más económico

el control del pozo, menor contaminación ambiental, menos pérdida de tiempo, etc. (<http://achjjj.blogspot.mx/2011/09/perforacion-en-bajo-balance.html>)

Se consideró incluir también la perforación de pozos no convencional (pozos multilaterales). Los pozos multilaterales que emergen de un pozo principal ayudan a maximizar el contacto con el yacimiento. Además de proporcionar un área de drenaje más extensa que la provista por un pozo individual, estas terminaciones de pozos multilaterales pueden reducir el riesgo global de perforación y el costo total. Para satisfacer los objetivos específicos de desarrollo de campos en las exigentes condiciones actuales, los ingenieros deben tener el conocimiento de las conexiones confiables entre tuberías de revestimiento primaria del pozo principal y las tuberías de revestimiento de las ramificaciones laterales. En aras de optimizar la producción, reducir los costos y maximizar la recuperación de las reservas, las compañías operadoras de la industria petrolera están asignando cada vez más importancia a las terminaciones de pozos multilaterales, ramificaciones o pozos de drenaje, perforados desde un pozo primario. Más del 10% de los 68,000 nuevos pozos que se perforan cada año son candidatos para este tipo de terminación. La tecnología de pozos multilaterales también se utiliza en operaciones de re-entrada en pozos existentes. (Fraija, José, Ohmer, Herve et all, 2002 Nuevos aspectos de la construcción de pozos multilaterales, Schlunberger).

## FLUJO MULTIFÁSICO EN TUBERÍAS

Temas adicionales propuestos

### 3. Flujo multifásico en tuberías horizontales

#### 3.2 Modelos mecánicos

### 4. Flujo multifásico en tuberías verticales

#### 4.2 Modelos mecánicos

### 5. Flujo multifásico en tuberías inclinadas

#### 5.2 Modelos mecánicos

### 7. Transferencia de calor

#### 7.1 Calor y temperatura

#### 7.2 Conducción de calor

#### 7.3 Convección

#### 7.4 Radiación

#### 7.5 Comportamiento de la temperatura en el sistema integral de producción

Los modelos mecánicos o mecanicistas intentan modelar matemáticamente la física del fenómeno en estudio aplicando principios fundamentales, como el de conservación de la masa, de cantidad de movimiento lineal y de energía, a

volúmenes de control que, por lo general, consideran promedios espaciales y temporales de las propiedades, y velocidades de los fluidos.

La gran ventaja sobre los modelos tradicionales es que, cuando esto se consigue, es posible realizar una experimentación intensiva, sistemática y automatizable sobre el modelo en lugar de hacerlo sobre el sistema natural. Pueden mejorar la capacidad de predecir la caída de presión y el colgamiento en las tuberías, especialmente en situaciones que no fácilmente se pueden modelar en un laboratorio y para las cuales no están disponibles correlaciones empíricas fiables. Aun cuando las correlaciones empíricas continúan siendo la principal herramienta de diseño utilizada, es inminente que serán desplazadas por los modelos mecanísticos, mismos que continúan progresando y validándose (Unified Mechanistic Model for Steady-State Two-Phase Flow: Horizontal to Vertical Upward Flow, 2000 L. Gómez, O. Shoham, Z. Schimdt, R. Chokshi y T. Northug, SPE Journal, vol. 5, pp. 339-350,).

La determinación de la distribución de la temperatura es importante, pues las propiedades de los fluidos están en función de ella y, por consiguiente, las pérdidas de presión en las tuberías. Es por eso que se incluye como un tema que debe tomar en cuenta los cambios de temperatura desde el yacimiento hasta la entrega de los hidrocarburos (Ing. Garaicochea Petirena Fransico, Ing. Bernal Huicochea Cesar, Ing. López Ortiz Oscar 1991, Transporte de Hidrocarburos por ductos, , Colegio de Ingenieros Petroleros de México.)

## INGENIERÍA DE PERFORACIÓN DE POZOS

Temas adicionales propuestos:

3. Optimización de la perforación.
  - 3.1 Componentes del Sistema Hidráulico
  - 3.2 Cálculo de la hidráulica durante la perforación
  - 3.3 Optimización de la perforación
  
4. Diseño de la lechada de cemento y operaciones de cementación de pozos
  - 4.2 Distribución de los equipos de cementación en la localización
  
5. Control de pozos
  - 5.3 Procesos para restablecer las condiciones normales de un pozo descontrolado

La perforación de pozos petroleros requieren una hidráulica que cumpla con los objetivos de mejorar la eficiencia de la barrena y proveer una eficiente acarreo de los recortes de la formación a la superficie. El sistema hidráulico está integrado por

el equipo superficial, la sarta de perforación, y el espacio anular. El cálculo hidráulico en este sistema define el diámetro óptimo de las toberas de la barrena, con el cual se obtendrá la potencia hidráulica del flujo del fluido de perforación que promueva la óptima remoción de recortes, incrementando la velocidad de penetración y en la vida de la barrena; en consecuencia, una reducción en el costo total de la perforación.

Durante la construcción de un pozo petrolero, el proceso de cementación es de vital importancia para el mismo, dado que una deficiente operación de cementación traería drásticas consecuencias; tales como incremento de los costos, riesgo de pérdida del pozo, riesgos hacia el ambiente y a la seguridad.

Por tal motivo, al momento de diseñar y cementar un pozo petrolero se deben tomar en cuenta ciertas técnicas, así como las mejores prácticas de operación, que incluye la distribución de los equipos de cementación en la localización dirigidas al proceso de cementación.

En los pozos petroleros durante las etapas de perforación, terminación y mantenimiento de los mismos, existe la probabilidad de que se origine un brote. Esto se debe al desbalance entre la presión de formación y la presión hidrostática del fluido de control. Si los brotes son detectados a tiempo, aplicando las medidas inmediatas y correctas para manejarlo en superficie no causa daños industriales, ecológicos o al personal. Pero en caso contrario, se incrementan los tiempos y costos de intervención. Si el brote no es detectado a tiempo, y no se aplican las medidas correctas en superficie para manejarlo o no se tiene integridad en los sistemas superficiales: este puede manifestarse en forma violenta en superficie, con todo el potencial contenido en la formación productora y sin poder manejar los fluidos a voluntad. En la industria petrolera a esta condición se le conoce como "Descontrol de pozo"; por este motivo es que es de suma importancia que se conozcan los procesos para restablecer las condiciones normales de un pozo descontrolado (Guía de diseño para la perforación: Hidráulica en la perforación de pozos petroleros), (Conceptos generales de control de pozos, capítulo 1. Petróleos Mexicanos PEP – UPMP. Programa de Acreditación en control de pozos, well cap).

## SISTEMAS ARTIFICIALES DE PRODUCCIÓN

### Temas

8. Aplicaciones especiales de los Sistemas Artificiales de Producción

8.4 Aplicación de los Sistemas Artificiales de Producción en pozos de gas



La implantación de métodos de producción en pozos de gas surge como una respuesta inmediata y con metas a corto y mediano plazos para estabilizar la declinación de producción o mantener un ritmo de producción constante en los diferentes campos en el norte del país, mediante la implantación de métodos de producción para manejar la carga de líquidos en los pozos, ya que la problemática principal que origina la fuerte declinación en la producción es la presencia de líquidos (Agua y/o Condensado) en la corriente de flujo de gas, que ocasiona que con el tiempo el pozo no tenga suficiente energía para elevar y descargar dichos líquidos, los cuales se acumulan en el fondo del pozo, ejerciendo una contrapresión a la formación. Con la aplicación de los sistemas artificiales de producción se reduce la fuerte declinación de la producción base. Esta parte complementa los sistemas artificiales de producción para aumentar la vida de los pozos y mantener o incrementar la plataforma de producción (Sistemas de producción para pozos de gas natural, Universidad Nacional Autónoma de México).

## CONDUCCIÓN Y MANEJO DE LA PRODUCCIÓN DE LOS HIDROCARBUROS

Temas adicionales propuestos

2. Separación de fluidos
  - 2.1 Ecuación de estado
  - 2.2 Equilibrio líquido-vapor
  - 2.5 Métodos de diseño de separadores y operación
5. Medición de la producción
  - 5.5 Coriolis
  - 5.6 Medidores multifásicos
  - 5.7 Medidores ultrasónicos
7. Instalaciones de producción marinas
  - 7.1 Plataformas fijas de perforación.
  - 7.2 Plataformas auto-elevables.
  - 7.3 Plataformas semi-sumergibles.
  - 7.4 Barcazas de perforación.
  - 7.5 Sistemas flotantes de producción
  - 7.6 Líneas submarinas y umbilicales

Uno de los problemas que se presentan en el manejo de la producción en superficie es el flujo multifásico que ocasiona mayores caídas de presión. Además, tanto bombas como compresores manejan sólo una fase a excepción de las bombas multifásicas. Es por esta razón que la separación de aceite y gas cobra un papel importante en el sistema de producción. Para realizar la separación del gas

del aceite se emplean separadores del tipo vertical y horizontal, cuya capacidad para manejar ciertos volúmenes diarios de crudo y de gas, a determinadas presiones y etapas de separación. En la separación de gas y aceite es muy importante considerar la expansión que se produce cuando el gas se desprende del líquido y la función que desempeña la presión. Además, en el interior del separador, a través de diseños apropiados y la debida calibración de los separadores se logra que el gas salga lo más limpio posible y se logre la mayor cantidad posible de aceite. Esto dependerá de la eficiencia de los separadores, pero también del buen diseño de los mismos así como su calibración y operación. La energía que posee el fluido al entrar al recipiente debe ser controlada. Los gastos de las fases líquida y gaseosa deben estar comprendidos dentro de ciertos límites, que serán definidos a medida que se analice el diseño.

Por otra parte, uno de los problemas que más se presentan en la distribución de hidrocarburos es la medición. Es tan importante que las transferencias de custodia deben contar con medidores que tengan la certidumbre de proporcionar los volúmenes exactos que se están entregando. Actualmente, se utilizan medidores más sofisticados que la placa de orificio; entre ellos se encuentran medidores de flujo multifásico, ultrasónicos o coriolis que son seleccionados de acuerdo al que mejor se ajuste a las condiciones de operación. Adicionalmente y con la misma importancia, la medición correcta de las condiciones de producción de los pozos -yacimientos, contribuye a contar con información adecuada para realizar los pronósticos de la producción a través del modelado de yacimientos, para administrar adecuadamente la extracción de crudo y optimizar los diferentes sistemas y procesos productivos asociados.

Con los nuevos retos a los que se enfrenta la industria petrolera mexicana, entre ellos aguas profundas, es necesario contar con equipos que permitan el desarrollo de los campos marinos. Los principales equipos utilizados en la perforación de pozos petroleros en campos marinos son:

- Plataformas fijas de perforación
- Plataformas autoelevables
- Plataformas semisumergibles
- Barcazas de perforación
- Sistemas flotantes de producción
- Líneas submarinas y umbilicales

De los equipos arriba mencionados, las plataformas fijas son las más utilizadas para campos en desarrollo. Actualmente el 90% del aceite producido en campos marinos proviene de pozos perforados en este tipo de plataformas. En los campos

de producción marinos la mayoría de los pozos en producción se tienen en plataformas fijas de perforación, aunque también los hay en “Tetrápodos de apoyo”, los cuales son plataformas fijas de menores dimensiones y sin equipo de perforación, donde los pozos son perforados por plataformas auto elevables o semisumergibles. Las plataformas satélites llamadas así por encontrarse alejadas del complejo de producción, puede ser cualquiera de las plataformas fijas que contenga pozos en explotación; es decir, que estén conectadas al complejo de producción mediante líneas de descarga. La función de las líneas de descarga, es la de permitir la conducción de los hidrocarburos desde los cabezales de recolección en las plataformas satélites, hasta el complejo de producción. Esta tubería es tendida en el lecho marino y su diseño se hace atendiendo al gasto máximo esperado y a la presión máxima obtenida con el o los pozos cerrados. Aunque también, se deben tomar en cuenta las condiciones de la zona que atraviesa, la presión del colector donde descarga y las propiedades de los fluidos que transporta. Los ingenieros deberán estar preparados para poder realizar los diseños necesarios para transportar los hidrocarburos de los campos marinos a las estaciones de recolección.

Por lo general en el campo, los complejos de producción contienen de dos a tres plataformas de producción, dependiendo del volumen de aceite que sea necesario manejar. Por esta razón es de suma importancia que se conozcan las instalaciones de producción marinas (Gómez Cabrera, José Ángel, Apuntes de conducción y manejo de la producción en superficie, Facultad de Ingeniería, UNAM), (Ing Mario Arrieta, Estaciones de Flujo, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Boliviana), (Ing. González Islas Rubén Compendio de nociones elementales de medición multifásica., Asociación de Ingenieros Petroleros de México CNH PEMEX Foro de Lineamientos de Medición). (Ing. Gonzalez Valero José. Medición de Flujo de aceite, Asociación de Ingenieros Petroleros de México), (Mendoza May L. Andrés; “Separación y Medición de Aceite y Gas en una Plataforma de Producción del Campo Cantarell”; Facultad de Ingeniería. UNAM).

Asignatura adicional propuesta

## **FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO**

### **Temas**

1. Introducción
  - 1.1 Definición de conceptos
  - 1.2 Propiedades mecánicas de las rocas

- 1.3 Determinación de las propiedades mecánicas de rocas
  - 1.4 Principales esfuerzos que intervienen durante el fracturamiento hidráulico
  - 1.5 Criterios y tipos de falla
  - 1.6 Creación y propagación de la fractura
  - 1.7 Modelos de propagación de la fractura
  - 1.8 Geometría y orientación de la fractura
  - 1.9 Geometría de fractura, interrelación y efectos sobre la productividad del pozo.
- 
- 2. Hidráulica de la Fractura
    - 2.1 Reología de los fluidos y efectos sobre la geometría de la fractura
    - 2.2 Modelos reológicos
    - 2.3 Cálculo de presiones requeridas y efectos sobre la geometría de la
    - 2.4 fractura
- 
- 3. Fluidos fracturantes
    - 3.1 Definición y Funciones
    - 3.2 Propiedades
    - 3.3 Tipos y sus características
    - 3.4 Aditivos
    - 3.5 Consideraciones de selección del fluido
    - 3.6 Efectos en la conductividad de la fractura
    - 3.7 Medición de las propiedades
- 
- 4. Materiales apuntalantes
    - 4.1 Definición y funciones
    - 4.2 Propiedades
    - 4.3 Tipos y sus características
    - 4.4 Selección del apuntalante
    - 4.5 Factores que afectan la conductividad de fractura
    - 4.6 Efectos de la conductividad de fractura sobre la productividad del pozo
    - 4.7 Medición de las propiedades físicas
- 
- 5. Diseño del fracturamiento
    - 5.1 Consideraciones del diseño relacionadas con el yacimiento, características de la roca, dimensiones de la fractura y estado mecánico del pozo.
    - 5.2 Determinación preliminar y óptima de la geometría de fractura

- 5.3 Análisis de pruebas de calibración de parámetros
- 5.4 Análisis económico
  
- 6. Ejecución del fracturamiento
  - 6.1 Pruebas de calibración de parámetros
  - 6.2 Etapas principales de la ejecución
  - 6.3 Monitoreo de parámetros
  
- 7. Evaluación del fracturamiento
  - 7.1 Ajuste de esfuerzos de la roca
  - 7.2 Calculo de la pérdida de fluido en la roca
  - 7.3 Igualación de presiones (media vs calculada)
  - 7.4 Calculo de la geometría de fractura de acuerdo al ajuste de esfuerzos.
  - 7.5 Obtención de la geometría de fractura por medio de la producción
  - 7.6 Otros métodos

Uno de los objetivos de la Ingeniería Petrolera es la explotación adecuada de un yacimiento, buscando extraer el mayor volumen de hidrocarburos posible a menor costo, sin que se presente un agotamiento por explotación inadecuada. Una gran parte de las reservas petroleras se encuentran localizadas en formaciones de valores bajos de permeabilidad, las cuales no pueden ser producidas económicamente con las técnicas hasta ahora conocidas.

Las diferentes operaciones que se realizan desde el inicio de la perforación de un pozo hasta su terminación provocan una alteración en las condiciones naturales de la formación, lo cual repercute en una disminución de su capacidad productiva.

Una manera de intentar restituir o mejorar esta capacidad, es mediante un tratamiento de estimulación del pozo; dentro de estos tratamientos uno de los más efectivos y utilizados por los resultados obtenidos es el fracturamiento hidráulico. La finalidad del fracturamiento hidráulico es crear un canal altamente conductivo dentro del yacimiento en la zona inmediata al pozo, que facilite el paso de los fluidos de la formación hacia el pozo o de este hacia el yacimiento, por lo que la fractura inducida y sustentada al ser altamente conductiva, tendrá una marcada influencia en el patrón de flujo y en la distribución de presiones en el estrato productor.

Esta técnica de estimulación de pozos ha venido a resolver, aunque no de una manera total, si en gran parte problemas que se presentan en los siguientes casos:

Formaciones de baja permeabilidad, formaciones altamente dañadas, formaciones con sistemas permeables aislados, procesos de recuperación secundaria, almacenamiento en el subsuelo

En general los tratamientos de fracturamiento hidráulico proveen una excelente conductividad, pero en muchas ocasiones sólo por un lapso muy corto. Prácticamente los efectos de reducción de la conductividad empiezan inmediatamente después de que el bombeo es parado, dichos efectos continúan hasta que el pozo está en producción.

Inmediatamente después de que el tratamiento de fracturamiento hidráulico es terminado, el apuntalante, que es puesto dentro de la fractura para que ésta no se cierre, puede, en ocasiones, regresarse o ser arrastrado por los fluidos de fracturamiento hacia la vecindad del pozo una vez que estos han alcanzado el tiempo de rompimiento, reduciendo así el ancho de la fractura y ocasionando una disminución en la conductividad, a este proceso se le conoce como “flowback”. Estudios recientes dentro de la industria petrolera han mostrado que este efecto (flowback) es uno de los principales causantes en la reducción de la conductividad.

Cerca del 35 % al 40 % de pozos perforados en la actualidad serán fracturados hidráulicamente y se estima que cerca del 75 % de los pozos que han sido fracturados hidráulicamente han incrementado su producción. Por estos motivos es importante que los ingenieros conozcan todos los procesos, técnicas y materiales que se involucran al momento de realizar un fracturamiento hidráulico a fin de solventar la baja permeabilidad de los yacimientos.

### **Asignatura adicional propuesta.**

#### **TERMINACIÓN EN POZOS DE GAS Y ACEITE EN LUTITAS**

##### **Temas**

1. Revisión general de yacimientos no convencionales
  - 1.1 Descripción de yacimientos no convencionales.
  - 1.2 Distribución de yacimientos no convencionales en México.
  - 1.3 Lutitas (Shale gas/ Shale oil).
  - 1.4 Impacto del desarrollo de yacimientos de aceite y gas en lutitas
  
2. Propiedades físicas en yacimientos de aceite y gas en lutitas
  - 2.1 Mecanismo de almacenamiento de hidrocarburos.
  - 2.2 Mecanismos de flujo de hidrocarburos.
  - 2.3 Clasificación de tipos de lutitas.
  - 2.4 Propiedades físicas de las lutitas.

- 2.5 Geología de lutitas orgánicas.
  - 2.6 Mineralogía y geoquímica.
  - 2.7 Tecnologías actuales para toma de información.
- 
- 3. Consideraciones de mecánica de roca para terminación de pozos
    - 3.1 Propiedades geomecánicas.
    - 3.2 Presión de poro y presión de iniciación de fractura.
    - 3.3 Magnitudes de los esfuerzos principales.
    - 3.4 Anisotropía y contraste de esfuerzos.
    - 3.5 Interacción de fracturas inducidas y fracturas naturales.
- 
- 4. Metodología de terminación en lutitas.
    - 4.1 Tipos de terminación de pozos verticales y horizontales en lutitas.
    - 4.2 Diseño de disparo de producción.
    - 4.3 Espaciamiento y orientación de las fracturas hidráulicas.
    - 4.4 Consideraciones para fracturas hidráulicas en pozos horizontales.
    - 4.5 Tecnológicas para aislamiento y control de fracturas hidráulicas
- 
- 5. Fracturamiento hidráulico con apuntalante en lutitas.
    - 5.1 Justificación de fracturamiento hidráulico en lutitas.
    - 5.2 Consideraciones en el diseño de fracturamiento hidráulico con apuntalante.
    - 5.3 Transporte de apuntalante.
    - 5.4 Técnicas de fracturamiento hidráulico en lutitas.
    - 5.5 Selección de apuntalante y reología de fluidos de fractura.
- 
- 6. Métodos de evaluación de Fracturamientos hidráulicos
    - 6.1 Diagnóstico de fracturamientos hidráulicos en lutitas.
    - 6.2 Métodos de diagnóstico directo.
    - 6.3 Métodos de diagnóstico indirecto.
    - 6.4 Modelado de fracturas hidráulicas

La perforación Horizontal se ha convertido en una técnica clave en la explotación de yacimientos no convencionales tipo shale; aunado a esto, se han tenido que desarrollar nuevas técnicas para la terminación de estos pozos; estas nuevas técnicas incluyen el Fracturamiento hidráulico, comúnmente conocida como fracking, un avance tecnológico demostrado que permite recuperar de forma segura el gas natural desde lo más profundo formaciones de gas de lutitas. Los expertos han sabido por años que los depósitos de gas natural existen en profundas formaciones de esquisto, pero hasta hace poco las grandes cantidades de gas natural en estas formaciones no se consideraban recuperables. Hoy en día, a

través del uso de fracturamiento hidráulico, combinado con perforación horizontal sofisticada, permiten que cantidades extraordinarias de la producción de gas de lutitas sean producidas de manera segura. El fracturamiento hidráulico ha sido utilizado por la industria del petróleo y el gas desde la década de 1940 y se ha convertido en un elemento clave del desarrollo del gas natural en todo el mundo.

De ahí radica la importancia de que se conozcan los fundamentos teóricos para la terminación de pozos en yacimientos no convencionales. (Berrueta Zenteno. Eduardo “La continuación de la formación Eagle Ford en el estado de Texas brinda un gran potencial para la explotación de shale gas al lado mexicano de la frontera”. Energía a debate)

## PRODUCTIVIDAD DE POZOS

### **Temas:**

7. Diseño de aparejos de producción
  - 7.1 Opciones de terminaciones de pozos
  - 7.2 Clasificación de los aparejos de producción
  - 7.3 Selección del diámetro del aparejo de producción
  - 7.4 Empacadores de grava
  - 7.5 Diseño de grava y de la malla
  - 7.6 Productividad de pozos con empacadores de grava
  
8. Diseño de estimulaciones y fracturamiento
  - 8.1 Diseño de acidificación en areniscas
  - 8.2 Volumen de ácido y gasto de inyección
  - 8.3 Diseño de acidificación de carbonatos
  - 8.4 Fracturamiento ácido

Las sartas o aparejos de producción son el medio por el cual se transportan los fluidos del yacimiento a la superficie y pueden clasificarse dependiendo de las condiciones del yacimiento como: fluyente, de bombeo neumático, bombeo mecánico, bombeo electro-centrífugo, bombeo hidráulico, entre otros sistemas artificiales.

Seleccionar, diseñar e instalar un aparejo de producción es una parte crítica en cualquier programa de operación durante la intervención de un pozo ya sea en una terminación y/o reparación. En un diseño, hay que tomar en cuenta el ángulo



del pozo, los fluidos de perforación, peso, velocidad de rotaria y otros procedimientos de operación.

Una vez perforado el pozo, se comunica el fluido del yacimiento desde la formación hacia el pozo a través de los canales existentes (permeabilidad) por distintos medios como expansión de fluidos, desplazamiento natural o artificial del fluido, drene por gravedad, expulsión capilar etc; y los procesos pueden trabajar separadamente o juntos. Sin embargo, en muchos casos la producción es insuficiente desde el punto de vista comercial. La producción puede estar reducida en los pozos por daños en los disparos, en la zona alrededor del pozo por problemas dentro de la formación. Para resolver estos problemas es necesario utilizar diferentes procedimientos en el yacimiento para que se incremente el fluido de la formación al pozo, lo cual se puede hacer con tratamiento ácido, tratamiento con surfactantes, limpiando los disparos o con fracturamiento hidráulico (Mora Ríos Alfonso y López Valdés Israel 1995; "Manual de evaluación de formaciones, PEP, Región Sur, de perforación y mantenimiento de pozos,)

## TERMINACIÓN Y MANTENIMIENTO DE POZOS.

### **Temas:**

#### 6. Elaboración del programa de terminación y/o reparación de un pozo

Un pozo perforado representa el conducto o canal que permite la comunicación entre el yacimiento y la superficie, por el cual se extrae la información y los fluidos que se encuentran en el yacimiento. Los costos de realización del pozo constituyen el principal gasto para el desarrollo de éste e influyen directamente sobre las características de producción y administración del yacimiento. La terminación es la fase más importante en la vida de un pozo, porque comprende todas las operaciones entre la perforación y la puesta en producción. Una terminación ideal minimiza el costo inicial de un pozo e incide sobre la rentabilidad del mismo a lo largo de su vida productiva. Por el contrario una terminación deficiente, ocasiona gastos innecesarios, abandono prematuro y reservas de hidrocarburos no recuperadas. Para el diseño de un Programa de Terminación, se deben tener en cuenta las condiciones ambientales, restricciones y los recursos, para con ello poder a realizar una terminación de pozo exitosa (Ing. Chauqui Diego Gabriel Terminación I, equipos Maniobras herramientas, Cursos de petróleo general).

## YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES DE HIDROCARBUROS.

### **Temas:**

1. Introducción a la físico-química y termodinámica de los hidrocarburos
  - 1.1 Definición de yacimiento no convencional
  - 1.2 Ocurrencia de los yacimientos no convencionales
  - 1.3 Importancia económica y reservas mundiales
  - 1.4 Contexto mundial: aspectos políticos, ambientales y sociales
  
2. Arenas de baja permeabilidad (Tight sands)
  - 2.1 Ocurrencia y características del yacimiento
  - 2.2 Métodos de explotación
  - 2.3 Retos técnicos y ambientales para su explotación
  - 2.4 Contexto mundial y nacional
  
3. Lutitas (Shale)
  - 3.1 Ocurrencia y características del yacimiento
  - 3.2 Métodos de explotación
  - 3.3 Retos técnicos y ambientales para su explotación
  - 3.4 Contexto mundial y nacional
  
4. Aceite pesado (Heavy Oil)
  - 4.1 Ocurrencia y características del yacimiento
  - 4.2 Métodos de explotación
  - 4.3 Retos técnicos y ambientales para su explotación
  - 4.4 Contexto mundial y nacional
  
5. Metano en capas de carbón (Coalbed methane)
  - 5.1 Ocurrencia y características del yacimiento
  - 5.2 Explotación a nivel mundial, limitaciones y aspectos ambientales
  - 5.3 Potencial mexicano
  
6. Hidratos de metano
  - 6.1 Ocurrencia y características del yacimiento
  - 6.2 Explotación a nivel mundial, limitaciones y aspectos ambientales

El yacimiento no convencional es aquel donde el hidrocarburo, gas y aceite permanece en la roca generadora, es decir, no migra a una roca almacenadora, a diferencia de los yacimientos convencionales.

En estos casos, la roca generadora y la roca almacenadora son la misma.

La desventaja del yacimiento no convencional radica en que resulta más caro extraer aceite y gas.

El negocio de shale oil/gas es un fenómeno que ha cobrado importancia a nivel mundial a partir de la búsqueda de soluciones para la demanda futura de energéticos, especialmente en países de economías emergentes y alta población.

La industria petrolera mexicana inició los trabajos exploratorios de shale oil-gas a principios del año 2010. En abril de 2011 la Energy Information Administration (EIA) publicó en la evaluación realizada a nivel mundial un recurso técnicamente recuperable para las cuencas de México, de 681 MMMMpc de gas.

Con base en el conocimiento de más de 70 años de exploración en las cuencas mexicanas. PEP identificó las provincias geológicas de Burro – Picachos – Sabinas, Burgos, Tampico – Misantla, Veracruz y Chihuahua como precursoras de litutas aceítíferas – Gasíferas.

Conociendo el panorama en el que se encuentra México con respecto a los yacimientos no convencionales es de suma importancia que los futuros egresados de la carrera de ingeniería petrolera tengan unas bases firmes para poderse enfrentar a estos nuevos desafíos que se están presentando (PEMEX Exploración y Producción. Subdirección de Exploración, Aceite y Gas en litutas Avances en la evaluación de su potencial en México. 21 de Junio de 2012), (Dr. Grajales Nishimura José Manuel, YACIMIENTOS CONVENCIONALES Y NO CONVENCIONALES Instituto Mexicano del Petróleo).

## PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS.

### **Temas:**

1. Reservas de aceite pesado y extra-pesado en México y en el mundo.
  - 1.1 Distribución de las reservas de aceite pesado en México
  - 1.2 Distribución de las reservas de aceite pesado en el mundo (Venezuela, Canadá y Estados Unidos entre otros).
2. Producción de crudos pesados y extra-pesados
  - 2.1 Bombeo por cavidades progresivas aplicado a la producción de crudos pesados
  - 2.2 Bombeo neumático aplicado a la producción de crudos pesados.
  - 2.3 Bombeo electrocentrífugo aplicado a la producción de crudos pesados
  - 2.4 Bombeo hidráulico tipo jet aplicado a la producción de crudos pesados
  - 2.5 Explotación minera
  - 2.6 Pozos horizontales y multilaterales con producción en frío.
  - 2.7 Producción de petróleo pesado en frío con arena (CHOPS)
3. Transporte de crudos pesados y extra-pesados.
  - 3.1 Calentamiento en un punto (Spot Heating).

- 3.2 Líneas con aislamiento térmico.
- 3.3 Calentamiento a lo largo de una línea (Line Heating).
- 3.4 Adición de diluyentes.
- 3.5 Inyección de agua a través de anillos de agua alrededor de crudo pesado y emulsiones de agua de baja viscosidad.
- 3.6 Otros métodos de transporte de crudos como tratamientos químicos y reductores de viscosidad.

#### 4. Alternativas de tecnologías de producción y transporte de crudos pesados y extra-pesados en campos de México

- 4.1 Introducción al aseguramiento de flujo.
- 4.2 Análisis SARA.
- 4.3 Descripción de configuración de instalaciones terrestres y submarinas.

Los crudos pesados se caracterizan por ser fluidos de alta viscosidad, que necesitan de una adecuada tecnología para obtener la máxima producción y el mayor factor de recobro del yacimiento. Para ello es necesario en el proceso de producción aplicar tecnología asociada a la recuperación térmica (Calentamiento, Inyección de vapor, Combustión in situ, SAGD, etc.) y durante el transporte en ciertas ocasiones es necesario combinar el calentamiento con la dilución. Cuando estos crudos traen consigo agua de formación, arcillas y minerales entonces también requieren tratamiento y mejoramiento antes de ser considerados aptos para refinación.

Por estas razones para alcanzar niveles comerciales de recuperación y producción, desde muy temprano en el ciclo de vida los yacimientos de crudos pesados requieren la selección y aplicación de métodos de recuperación mejorada así como de mejoramiento de productividad incluyendo el sistema artificial de producción.

Cabe mencionar que México cuenta con varios proyectos de crudos pesados que requieren explotarse en forma adecuada y con métodos de recuperación mejorada específicos para crudos pesados. (“Métodos de producción para crudos pesados”. Enfocado a la selección del sistema de levantamiento artificial aceite internacional).

## PERFORACIÓN NO CONVENCIONAL.

### Temas:

- 1. Perforación direccional
  - 1.1 Introducción

- 1.2 Definición y aplicaciones de la perforación direccional de pozos
  - 1.3 Planeación y cálculo de la trayectoria del pozo
  - 1.4 Instrumentos empleados para determinar la inclinación y dirección del pozo
  - 1.5 Evaluación de la trayectoria del pozo
  - 1.6 Técnicas y herramientas para cambio de inclinación y dirección del pozo
  - 1.7 Diseño de aparejos de fondo
  - 1.8 Problemas durante la perforación de pozos direccionales
  - 1.9 Consideraciones especiales en el diseño de pozos direccionales
2. Perforación horizontal
    - 2.1 Importancia de la perforación Horizontal
    - 2.2 Aplicaciones
    - 2.3 Métodos de perforación horizontal
    - 2.4 Planeación de la sarta de perforación
    - 2.5 Diseño del aparejo de fondo
    - 2.6 Diseño de la trayectoria de la sección de incremento de un pozo horizontal
    - 2.7 Problemas de la perforación de pozos horizontales
    - 2.8 Consideraciones especiales en el diseño de pozos horizontales
3. Perforación con tubería flexible
    - 3.1 Fabricación de la tubería flexible
    - 3.2 Vida útil de la tubería flexible
    - 3.3 Esfuerzos a los que se somete la tubería flexible
    - 3.4 Perforación con Tubería Flexible
4. Perforación de bajo balance
    - 4.1 Conceptos básicos
    - 4.2 Sistemas de Fluidos de Perforación
    - 4.3 Técnica de perforación bajo balance
    - 4.4 Control de pozos
    - 4.5 Planeación y diseño para operaciones de perforación bajo balance
5. Perforación multilateral
    - 5.1 Importancia de la perforación de pozos multilaterales
    - 5.2 Criterios para definir la perforación de pozos multilaterales
    - 5.3 Características del Yacimiento
    - 5.4 Diseño del pozo y limitaciones en la perforación
6. Perforación de diámetro reducido
    - 6.1 Introducción
    - 6.2 Diseño de sartas
    - 6.3 Barrenas
    - 6.4 Hidráulica

## 6.5 Terminación y reparaciones

### 7. Perforación de alcance extendido

- 7.1 Importancia de la perforación de alcance extendido
- 7.2 Fluidos de perforación
- 7.3 Evaluación de las zonas a atravesar
- 7.4 Geometría del pozo
- 7.5 Diseño de tubería de revestimiento
- 7.6 Cementaciones de tuberías de revestimiento
- 7.7 Selección del equipo

### 8. Perforación en aguas profundas

- 8.1 Ubicación
- 8.2 Situación Estructural
- 8.3 Profundidad total y de objetivos
- 8.4 Información estimada del Yacimiento
- 8.5 Programa registro continuo de Hidrocarburos
- 8.6 Programa de muestreo
- 8.7 Pruebas de Producción
- 8.8 Geopresiones y asentamiento de Tuberías de Revestimiento
- 8.9 Estado Mecánico programado y características de la geometría del pozo
- 8.10 Estimación del gradiente geotérmico
- 8.11 Proyecto direccional
- 8.12 Programa de barrenas e Hidráulica
- 8.13 Aparejos de fondo y diseño de sartas
- 8.14 Programa de registros por etapa
- 8.15 Programa de tuberías de revestimiento

Derivado de la demanda económica, la optimización de la explotación y producción de aceite además del desarrollo y optimización de estos recursos, se han tenido que implementar técnicas para la perforación de pozos no convencionales, debido a que ahora los retos son yacimientos limitados, incertidumbre geológica, pozos profundos, alta temperatura, alta presión, baja presión, perforación con flujo controlado, pozos robustos, alto contenido de ácido sulfhídrico, formaciones salinas, largo desplazamiento, alto ángulo de desviación, pozos tipo "S".

Para lo anterior se trabaja bajo la metodología VCDSE de tal forma que los diseños se realizan tomando en cuenta los retos para llegar a los objetivos.

La ingeniería de la perforación de pozos no convencionales, al igual que cualquier otra ingeniería, se moderniza con el incremento y avance tecnológico, por lo que la

información debe a su vez ser actualizada en forma continua; con el desarrollo del proyectos de perforaciones no convencionales las prácticas convencionales dejan de serlo y tecnologías que en años anteriores eran innovación, ahora se convierten en prácticas cotidianas. De ahí radica la importancia que se tengan los fundamentos teóricos para poder enfrentar estos problemas cuando se presenten. (Ing. Solano De la Cruz Roberto 2011, Perforación de pozos no convencionales, Instituto Politécnico Nacional, Semana de las Geociencias.).

5.5 Plan de estudios propuesto.  
 Figura 5.2 Plan de estudios Ingeniería Petrolera

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA PETROLERA						Obligatorias	Optativas	Totales
Semestre								
1	Álgebra 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Cálculo Diferencial 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Geometría Analítica 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Computación para Ingenieros (L+) 8 t:3.0; p:2.0; T=5.0	Cultura y Comunicación 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0		41	41
2	Álgebra Lineal 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Cálculo Integral 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Estática 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Introducción a la Economía 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Geología General (L) (P) 9 t:4.0; p:1.0; T=5.0	Dibujo (L) 6 t:1.5; p:3.0; T=4.5	51	51
3	Ecuaciones Diferenciales 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Cálculo Vectorial 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Cinemática y Dinámica 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Química para Ingenieros Petroleros (L+)(P) 10 t:4.0; p:2.0; T=6.0	Geología de Yacimientos de Fluidos 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Ética Profesional 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0	52	52
4	Electricidad y Magnetismo 11 t:4.5; p:2.0; T=6.5	Termodinámica 11 t:4.5; p:2.0; T=6.5	Equipo y Herramientas de Perforación de Pozos 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Mecánica de Fluidos 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Geología de Explotación de Petróleo, Agua y Vapor (P) 10 t:4.5; p:1.0; T=5.5	Propiedades de los Fluidos Petroleros 10 t:4.0; p:2.0; T=6.0	59	59
5	Probabilidad y Estadística 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Análisis Numérico (L) 7 t:2.5; p:2.0; T=4.5	Ingeniería de Perforación de Pozos (L+) 10 t:4.0; p:2.0; T=6.0	Bombeo y Compresión de Hidrocarburos 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Petrofísica y Registro de Pozos 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Principios de Mecánica de Yacimientos 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	51	51
6	Planeación y Administración de Proyectos de Ciencias de la Tierra 9 t:3.0; p:0.0; T=3.0	Programación Avanzada 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0	Perforación no Convencional 12 t:6.0; p:0.0; T=6.0	Caracterización Estática de Yacimientos 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Productividad de Pozos 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Comportamiento de Yacimientos 12 t:6.0; p:0.0; T=6.0	55	55
7	Evaluación de Proyectos de Ciencias de la Tierra 6 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Literatura Hispano-Americana Contemporánea 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0	Terminación y Mantenimiento de Pozos 12 t:4.0; p:2.0; T=6.0	Flujo Multifásico en Tuberías 10 t:4.5; p:0.5; T=5.0	Caracterización Dinámica de Yacimientos 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Simulación Matemática de Yacimientos 10 t:4.0; p:1.0; T=5	52	52
8	Administración de la Seguridad Industrial y Protección Ambiental 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0	Recuperación Secundaria y Mejorada 12 t:6.0; p:0.0; T=6.0	Sistemas Artificiales de Producción (P) 12 t:6.0; p:0.0; T=6.0	Yacimientos no Convencionales 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Optativa (Fracturamiento Hidráulico, Terminación en Juntas, Transporte de crudos pesados) 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0	Legislación de la Industria Petrolera 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0	44	6 50
9	Temas Selectos de Ingeniería Petrolera 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Administración Integral de Yacimientos 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Conducción y Manejo de la Producción de los Hidrocarburos (P) 9 t:4.5; p:0.0; T=4.5	Temas Selectos de Ingeniería Petrolera 8 t:3.0; p:0.0; T=3.0	Ingeniería de Yacimientos de Gas 8 t:4.0; p:0.0; T=4.0	Recursos y Necesidades de México 6 t:3.0; p:0.0; T=3.0	47	47
						Créditos Obligatorios	452	
						Créditos optativos mínimos	6	
						Total		458

- Asignaturas de ciencias básicas
- Asignaturas de ciencias de la ingeniería
- ⬆ Asignaturas de ingeniería aplicada
- ⬇ Asignaturas de ciencias sociales y humanidades
- ↔ Otras asignaturas convenientes
- | Indica Seriación obligatoria

(L+) Asignatura con laboratorio Separado  
 (L) Asignatura con laboratorio  
 (P) Asignatura con prácticas incluidas

t: Horas teóricas  
 p: Horas prácticas  
 T: Total de horas teóricas y prácticas



## 6. Aplicación a través de una muestra.

La finalidad del plan de estudios es proporcionar las competencias necesarias al alumno de manera que pueda enfrentar los retos técnicos, en un nivel de asistente, en el proyecto en el que se incorpore.

Desde el punto de vista de la metodología aplicada, los retos técnicos deben ligarse a las especialidades requeridas y a las competencias deseables para atenderlos.

De esta manera, podemos relacionar los temas propuestos en el plan de estudios para la carrera de Ingeniería Petrolera, desde el punto de vista de competencias y cómo se ligan con los retos técnicos de un proyecto de Pemex Exploración y Producción.

A continuación se presentará el ejemplo de un proyecto de Pemex Exploración y Producción, en el que se indican sus retos y cómo son asociadas las competencias para dar solución a problemas relacionados con el reto y finalmente, las asignaturas con las que se relacionan. Por confidencialidad se omitirá el nombre del proyecto. La fuente es el Dimensionamiento de las áreas de Diseño de Explotación 2012 y el Modelo de Desarrollo de Competencias de Diseño de Explotación 2010.

### 6.1 El proyecto y sus retos técnicos.

#### **Reto Técnico: Caracterización de yacimientos**

##### **Competencias asociadas:**

**Análisis de Yacimientos fracturados.-** Caracterizar y evaluar los yacimientos que presentan interrelaciones complicadas o inexistentes entre la permeabilidad y porosidad, y otras propiedades de los yacimientos. El análisis de fracturas permite caracterizar la interconexión y ayuda a cuantificar el impacto en el rendimiento del yacimiento durante las etapas de producción primaria y secundaria.

**Estimación y certificación de reservas.-** Estimar volúmenes de hidrocarburos y generar los documentos técnicos que los sustentan, aplicando criterios técnicos de

geología e ingeniería de yacimiento de acuerdo a la normatividad oficial, con el fin de lograr la certificación de las reservas.

**Caracterización petrofísica de yacimientos y análisis integrado de pozos.-**

Integrar la información de la geología regional estructural, procesos/ambientes depositacionales y estratigrafía, arquitectura depositacional, litofacies, tipos petrofísicos de roca, información petrográfica, distribución de fluidos, análisis capilar y datos de las propiedades de los fluidos de hidrocarburos, los datos de la roca con la evaluación de formación, estima las unidades de flujo, información de gradientes de presión, identificar compartimentos del yacimiento e integrar las propiedades sísmicas de la roca, imágenes sísmicas, datos de producción y distribución en espacio usando métodos geo-estadísticos para crear modelos 3D estáticos.

**Reto Técnico: Simulación numérica de yacimientos fracturados**

**Competencias asociadas:**

**Simulación de yacimientos.-** Construir y/o actualizar un modelo numérico representativo del comportamiento del yacimiento o parte del mismo, que integre la información estática y dinámica con la finalidad de evaluar escenarios de explotación y seleccionar el óptimo, así como realizar el seguimiento y control del comportamiento del yacimiento soportando el diseño, construcción y optimización de la infraestructura de superficie, el mantenimiento, productividad de los pozos y el plan de explotación del yacimiento.

**Propiedades Físicoquímicas de los fluidos del yacimiento (PVT).-** Realizar análisis y validar propiedades físicoquímicas de los fluidos en los yacimientos petroleros (aceite, gas y agua) que permitan determinar el comportamiento PVT. Realizar cálculos de balance de materia convencional y composicional y pronósticos de producción y cálculos de reservas de hidrocarburos.

**Modelado de procesos químicos, terminales y composicionales en yacimientos de aceites pesados.-** Analizar, interpretar y diseñar procesos químicos, térmicos y composicionales desarrollados para yacimientos de carbonatos naturalmente fracturados y de aceite pesado con la finalidad de

implantar procesos con el propósito de cambiar propiedades de los fluidos y/o la roca del yacimiento a fin de aumentar el factor de recobro o la calidad del aceite.

### **Reto Técnico: Procesos de recuperación secundaria**

#### **Competencias asociadas:**

**Inyección de gas no miscible.-** Identificar, diseñar, implantar y optimizar procesos de inyección de gas no miscible (hidrocarburo, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, gas de combustión, aire y otros) en yacimientos de hidrocarburos, así como proponer su desincorporación, mediante la integración de información estática y dinámica del yacimiento, utilización de métodos de análisis convencional y simulación numérica de yacimientos, e incorporación de nuevas tecnologías y mejores prácticas.

**Inyección de agua.-** Identificar, diseñar, implantar y optimizar los proyectos de inyección de agua, aguas congénitas o residuales en yacimientos de hidrocarburos, así como proponer su desincorporación, mediante la integración de información estática y dinámica del yacimiento, utilización de métodos de análisis convencional y simulación numérica de yacimientos, e incorporación de nuevas tecnologías y mejores prácticas.

**Ingeniería de yacimientos.-** Analizar e integrar la información estática, dinámica y de producción, mediante técnicas analíticas y numéricas (curvas de declinación, balance de materia, modelos analíticos y de simulación), con la finalidad de definir los mecanismos de producción, cuantificar volúmenes de hidrocarburos, determinar factores de recuperación, elaborar pronósticos de producción, y evaluar la eficiencia y factibilidad de los procesos de recuperación que permita optimizar la explotación del yacimiento.

**Caracterización fluidos/roca-fluido.-** Caracterizar las propiedades físicas, químicas y termodinámicas de los fluidos del yacimiento o a ser inyectados, y la interacción de éstos con los parámetros de la roca presente en el yacimiento (mojabilidad, permeabilidad relativa, presión capilar, presión de saturación), mediante la toma de muestras de roca y fluidos, el diseño e interpretación de pruebas/análisis.

## **Reto técnico: Procesos de recuperación mejorada**

### **Competencias asociadas:**

**Recuperación mejorada vía procesos gases miscibles.-** Identificar, diseñar, implantar y optimizar proyectos/procesos de inyección de gases miscibles ( $\text{CO}_2$ , hidrocarburos gaseosos,  $\text{N}_2$ ) con la finalidad de extraer los componentes livianos e intermedios del aceite y desarrollar miscibilidad para desplazar el aceite del yacimiento mediante reducción de viscosidad, hinchamiento del aceite (incremento de volumen), y mecanismo de empuje por condensación o evaporación de gas.

**Recuperación mejorada vía procesos químicos.-** Identificar, diseñar, implantar y optimizar proyectos/procesos de inyección de químicos (surfactantes, polímeros, emulsión, micelas, álcalis) con la finalidad de modificar la mojabilidad de la roca, reducir la tensión interfacial y controlar la movilidad de los fluidos para mejorar la eficiencia en el desplazamiento y factor de recuperación.

**Recuperación térmica.-** Identificar, diseñar, implantar y optimizar procesos de recuperación térmica (inyección continua/alterna de vapor, drenaje gravitacional asistido con vapor, combustión in situ, calentamiento eléctrico, electromagnético, entre otros), mediante la utilización de métodos de análisis convencional y simulación numérica de yacimientos.

**Caracterización fluidos/roca-fluido.-** Caracterizar las propiedades físicas, químicas y termodinámicas de los fluidos del yacimiento a ser inyectados, y la interacción de éstos con los parámetros de la roca presente en el yacimiento (mojabilidad, permeabilidad relativa, presión capilar, presión de saturación), mediante la toma de muestras de roca y fluidos, el diseño e interpretación de pruebas/análisis.

**Desplazamiento de aceite pesado en yacimientos de carbonatos naturalmente fracturados.-** Identificar, diseñar, implantar, documentar y optimizar proyectos de inyección de fluidos en yacimientos de aceite pesado con el propósito de generar desplazamientos miscibles o inmiscibles, mediante la integración de modelos estático y dinámico, caracterización de los hidrocarburos presentes en el yacimiento.

**Ingeniería de yacimientos.-** Analizar e integrar la información estática, dinámica y de producción, mediante técnicas analíticas y numéricas (curvas de declinación, balance de materia, modelos analíticos y de simulación), con la finalidad de definir los mecanismos de producción, cuantificar volúmenes de hidrocarburos, determinar factores de recuperación, elaborar pronósticos de producción, y evaluar la eficiencia y factibilidad de los procesos de recuperación que permita optimizar la explotación del yacimiento.

**Recuperación mejorada vía procesos no convencionales.-** Identificar, diseñar, implantar y optimizar proyectos/procesos de recuperación mejorada por métodos no convencionales (microorganismos, inyección de líquidos iónicos, técnicas de calentamiento con microondas, energía eléctrica o acústica, e incremento de la movilidad del aceite con vibraciones sísmicas) con la finalidad de incrementar la movilidad de los fluidos para mejorar la eficiencia en el desplazamiento y recuperación.

### **Reto técnico: Diseño de perforación y terminación de pozos**

#### **Competencias asociadas:**

**Árboles submarinos.-** Evaluar, seleccionar y especificar las características del árbol de producción submarino así como sus accesorios y garantizar la operación de los sistemas submarinos en forma segura.

**Terminación y reparación de pozos.-** Seleccionar los tipos de terminación y/o correctivos necesarios, reparaciones mayores o menores con base en las condiciones mecánicas del pozo, en las propiedades del yacimiento y la naturaleza del problema a resolver.

**Diseño, planeación y optimización de la perforación.-** Analizar y diseñar el programa detallado de ingeniería para la perforación y terminación de un pozo, comportamiento histórico de pozos de correlación, tipos de fluidos, tecnologías y equipos.

**Diseño de pozos multilaterales.-** Diseñar y planear la perforación y terminación de pozos multilaterales, garantizando el objetivo geológico, que permitan obtener

los volúmenes de producción esperados, así como la factibilidad de intervenciones y reparaciones contempladas en el plan de mantenimiento del pozo.

### **Reto técnico: Productividad de pozos**

#### **Competencias asociadas:**

**Análisis nodal.-** Analizar los elementos del sistema de producción (yacimientos, cara de la formación, terminación de pozos, aparejos de producción, sistemas artificiales de producción, líneas de escurrimiento, estrangulador, separadores y condiciones de operación) calculando y desarrollando simulaciones de las caídas de presión en los diferentes componentes del sistema y aplicando conocimientos de flujo multifásico de fluidos en medios porosos, tuberías (verticales, inclinadas y horizontales) y estranguladores para optimizar la producción de fluidos de formación en superficie con la mínima caída de presión, proponer acciones correctivas y diagnosticar escenarios de mejoras en el sistema.

**Daño a la formación.-** Definir los mecanismos físicos y/o químicos que originan las restricciones, durante la perforación, terminación y vida operativa en las cercanías de pozos productores e inyectores, causantes de reducciones en el aporte/inyección de fluidos desde el yacimiento hasta el pozo o viceversa, mediante el análisis de interacciones roca-fluidos, fluido-fluido, comportamiento de producción y presiones para poder establecer las acciones preventivas y/o correctivas adecuadas y en consecuencia optimizar el índice de productividad/inyectividad del pozo.

**Fracturamiento de pozos.-** Seleccionar los tipos de fracturamientos basados en las condiciones mecánicas del pozo, en las propiedades del yacimiento y la naturaleza del problema a resolver a fin de optimizar la capacidad de producción del pozo.

**Estimulación.-** Diseñar sistemas de bombeo y tipos de fluidos reactivos o no reactivos con la roca-yacimiento, que permita prevenir/controlar/eliminar daño de formación causados por interacciones roca-fluidos o fluidos-fluidos y/o cambios de presión y temperatura (parafinas y asfáltenos), realizando los análisis necesarios para evitar reacciones indeseables de estos fluidos con los fluidos y mineralogía de la roca-yacimiento.

**Control de arena.-** Determinar las causas que originan el fenómeno de producción de sólidos en pozos, a partir de los resultados del análisis de estudios de geomecánica de las rocas de yacimiento y comportamiento de producción para aplicar soluciones que permitan el control efectivo del mismo.

**Control de depósitos.-** Definir los mecanismos fisicoquímicos que originan restricciones al flujo en el medio poroso de un yacimiento o en el aparejo de producción o inyección de los pozos o líneas de escurrimiento y ductos, ocasionadas por depósitos orgánicos (parafinas, asfáltenos) e inorgánicos (carbonatos, sulfatos, hidratos, sal), mediante la caracterización química y evaluación de la efectividad de soluciones químicas inhibitoras, mecánicas, térmicas y electromagnéticas, de la problemática para establecer acciones y planes de prevención y/o remediación que mantengan la operatividad continua del sistema de producción.

**Análisis de pruebas de presión-producción.-** Diseñar e interpretar pruebas y mediciones de presión-producción convencionales y no convencionales, mediante el uso de modelos matemáticos de flujo de fluidos en medios porosos, a fin de establecer la distribución y el comportamiento de presiones que apoya la caracterización estática y dinámica, y la ejecución de operaciones subsuelo-superficie destinadas a optimizar la explotación del yacimiento.

### **Reto Técnico: Bombeo multifásico**

#### **Competencia asociada:**

**Bombeo y medición multifásicos.-** Definir la filosofía de control y medición de variables de procesos multifásicos, mediante el análisis del comportamiento de sus sistemas y equipos, utilizando criterios técnico-económicos, análisis de riesgo, normas de diseño, normatividad de seguridad industrial y protección ambiental, mejores prácticas, modelos y herramientas de simulación, a fin de lograr la operación eficiente de los sistemas y equipos para asegurar la operación óptima de los procesos e infraestructura de superficie y la calidad de entrega de los productos.

## **Reto Técnico: Optimización de instalaciones de producción**

### **Competencias asociadas:**

**Procesos de producción en superficie.-** Definir los procesos de recolección, separación, tratamiento, almacenamiento, medición y transporte de los fluidos, mediante el monitoreo de parámetros, simulación de procesos, determinación de requerimientos de infraestructura y dimensionamiento de equipos (separadores, rectificadores, bombas, compresores, turbinas, intercambiadores, torres de estabilización, tanques, deshidratadores, sistemas de medición, entre otros).

**Transporte y manejo de la producción.-** Diseñar y/u optimizar las redes de tuberías de flujo monofásico y multifásico, y equipos de bombeo y compresión, mediante la caracterización y propiedades fisicoquímicas y termodinámicas de las corrientes (gas, aceite, agua, sólidos), dimensionando y optimizando de acuerdo a la producción y a los diferentes sistemas de producción.

**Acondicionamiento y tratamiento de gas.-** Definir los sistemas de separación, rectificación, filtración, recuperación de condensados y líquidos del gas natural, control de punto de rocío, deshidratación o endulzamiento y esquemas de manejo de desechos.

**Diseño de infraestructura superficial.-** Analizar los esquemas de manejo de fluidos, propuesto en las etapas de visualización y conceptualización de la infraestructura e instalaciones de producción (líneas, múltiples, separadores, depuradores, tanques, motores, bombas, calentadores, tratadores, oleoductos, gasoductos y servicios) que garanticen el manejo óptimo de los volúmenes de producción de líquidos y gas.

**Tratamiento de aceite.-** Diseñar los sistemas de deshidratación, desalado, endulzamiento, estabilización, recuperación, mezclas y transferencia de aceite, mediante el análisis de sus características físico-químicas, la aplicación de estrategias de tratamiento.

**Tratamiento de agua.-** Diseñar, operar y mantener los sistemas mecánicos (presas API, filtros, tanques igualadores, plantas de tratamiento) y tratamiento



químico (floculantes, surfactantes, biocidas, secuestrantes de oxígeno, inhibidores de incrustaciones y corrosión, entre otros) del agua de formación y de servicio.

### **Reto Técnico: Análisis de riesgo e incertidumbre**

#### **Competencias asociadas:**

**Análisis de riesgo de explotación.-** Definir modelos de toma de decisiones basados en la teoría de riesgo e incertidumbre, mediante la caracterización de los procesos, probabilidades de ocurrencia de eventos y análisis de incertidumbre de las variables técnico-económicas, considerando el entorno operacional, seguridad, salud y protección ambiental, en las áreas de exploración y producción a fin de incrementar la probabilidad de éxito en la toma de decisión y maximizar la rentabilidad del Activo en su ciclo de vida.

**Definición y desarrollo de proyectos VCD.-** Visualizar, conceptualizar y, definir los proyectos de infraestructura y obra estratégica de PEMEX Exploración y Producción, utilizando los conceptos y metodologías de administración de proyectos, herramientas y normas institucionales, asegurando el involucramiento de todos los participantes en cada una de las fases del proyecto antes de su ejecución, evaluando los grados de definición y complejidad del proyecto para apoyar la toma de decisiones, cumpliendo con los objetivos y lineamientos del programa de negocios de PEP.

**Ingeniería económica y financiera.-** Definir los modelos de Ingeniería económica y financiera, mediante la aplicación de conceptos (VPN, Costos Unitarios, Impuestos, Costo del Capital, Flujo de Caja, Depreciación, Inflación, modelos de riesgo, Vida útil, entre otros) y software especializados, a fin de determinar el valor económico de los proyectos y la jerarquización del portafolio de Inversiones.

#### **6.2 Relación entre el proyecto, retos técnicos, competencias y asignaturas del plan de estudios**

La siguiente tabla muestra la relación entre el reto técnico, las competencias críticas asociadas al reto y las asignaturas del plan de estudios propuesto que cubren las competencias:

Tabla 6.1 Relación entre el reto técnico, competencias críticas asociadas al reto y asignaturas que cubren las competencias

<b>Reto técnico</b>	<b>Competencias asociadas</b>	<b>Asignatura</b>
Caracterización de yacimientos	Análisis de Yacimientos fracturados. Estimación y certificación de reservas. Caracterización petrofísica de yacimientos y análisis integrado de pozos.	Geología General. Geología de yacimientos de fluidos. Geología de explotación de petróleo, agua y vapor. Petrofísica y registros de pozos. Principios de Mecánica de Yacimientos. Caracterización estática de yacimientos.
Simulación numérica de yacimientos fracturados	Simulación de yacimientos. Propiedades Físicoquímicas de los fluidos del yacimiento (PVT) Modelado de procesos químicos, terminales y composicionales en yacimientos de aceites pesados	Propiedades de los fluidos petroleros. Comportamiento de yacimientos. Recuperación secundaria y mejorada Simulación matemática de yacimientos.
Procesos de recuperación secundaria	Inyección de gas no miscible Inyección de agua. Ingeniería de yacimientos. Caracterización fluidos/Roca-fluidos	Propiedades de los fluidos petroleros. Comportamiento de yacimientos. Recuperación secundaria y mejorada. Administración integral de yacimientos.
Procesos de recuperación mejorada	Recuperación mejorada vía procesos gases miscibles. Recuperación mejorada vía procesos químicos. Recuperación térmica. Caracterización fluidos/roca-fluido. Desplazamiento de aceite pesado en yacimientos de carbonatos naturalmente fracturados. Ingeniería de yacimientos. Recuperación mejorada vía procesos no convencionales.	Propiedades de los fluidos petroleros. Comportamiento de yacimientos. Recuperación secundaria y mejorada. Administración integral de yacimientos.
Diseño de perforación y terminación de pozos	Árboles submarinos. Terminación y reparación de	Equipo y herramientas de perforación.

	pozos. Diseño, planeación y optimización de la perforación. Diseño de pozos multilaterales.	Ingeniería de Perforación de pozos. Perforación no convencional. Terminación y mantenimiento de pozos.
Productividad de pozos	Análisis nodal. Daño a la formación. Fracturamiento de pozos. Estimulación. Control de arena. Control de depósitos. Análisis de pruebas de presión-producción.	Productividad de pozos. Flujo multifásico en tuberías. Análisis de pruebas de presión.
Bombeo multifásico	Bombeo y medición multifásicos	Conducción y manejo de la producción de los hidrocarburos.
Optimización de instalaciones de producción	Procesos de producción en superficie. Transporte y manejo de la producción. Acondicionamiento y tratamiento de gas. Diseño de infraestructura superficial. Tratamiento de aceite. Tratamiento de agua.	Conducción y manejo de la producción de los hidrocarburos.
Análisis de riesgo e incertidumbre	Análisis de riesgo de explotación. Definición y desarrollo de proyectos VCD. Ingeniería económica y financiera	Planeación y administración de Proyectos de Ciencias de la Tierra. Evaluación de Proyectos de Ciencias de la Tierra.

Con este proyecto de Pemex Exploración y Producción y sus retos técnicos asociados a las competencias, se demuestra que las asignaturas están cubriendo los temas para que los alumnos tengan las bases necesarias para poderse integrar a los trabajos que se realizan en los proyectos petroleros.

## Conclusiones.

1. La industria petrolera está en constante cambio. Los yacimientos son más complejos y son de diferente índole.
2. Esto implica que los retos técnicos de los proyectos también se mueven en ese sentido.
3. PEP debe formar al personal para que enfrente dichos retos.
4. Existe un problema adicional del retiro de nuestro personal experto en el corto y mediano plazo. Esto nos lleva a una estrategia dual. La más sólida es la formación de personal recién egresado, fresco de ideas y sin paradigmas creados, con un perfil que sea de interés para la empresa y para el desarrollo del personal, que en poco tiempo pueda ser desarrollado en una disciplina y el dominio profundo de una especialidad.
5. Pemex Exploración y Producción (PEP) se ha propuesto captar al talento técnico del mercado, con los conocimientos y valores que requiere para formar en el corto y mediano plazo las nuevas generaciones de especialistas y expertos a partir de recién egresados de las instituciones educativas en las especialidades estratégicas de Pemex Exploración y Producción, así como talento con experiencia reconocida, para atender de manera inmediata los retos técnicos de los proyectos en las áreas donde Pemex Exploración y Producción no tenga personal con experiencia. Por ello, es importante que los recién egresados cumplan con el perfil requerido para pertenecer a la empresa y que los externos demuestren sólidos conocimientos y habilidades para resolver cuestiones específicas de importancia estratégica para enfrentar los retos técnicos.
6. PEP ha dado los primeros pasos en una nueva era para administrar su talento técnico, principal palanca para lograr las metas.
  - Proveer a los proyectos con el talento técnico adecuado de manera eficiente, en función de sus retos técnicos y cargas de trabajo proyectadas.

- Posicionar a PEP como una empresa atractiva para trabajar a través de una oferta laboral que compita con las empresas operadoras y de servicios.
  - Atraer al mejor nuevo talento técnico del mercado para ir cerrando las brechas de especialistas y expertos.
7. Como se mencionó, el reto es importante por lo cual se ha establecido un plan de reclutamiento para los próximos tres años que permita reducir la brecha de especialistas y expertos que los proyectos requieren, optimizar el proceso de asignación, y lo más importante, incorporar más áreas de la cadena de valor bajo esta nueva administración del talento técnico. Esto significa la necesidad de preparar talento técnico con las características que la empresa requiera.
  8. La metodología implica la definición de los retos técnicos que involucran una o más de las disciplinas de la cadena de valor de explotación. Dentro de las disciplinas se identifican especialidades y se crean perfiles de especialidad para determinar las competencias asociadas y el nivel de dominio esperado que debe tener el personal técnico en los cuatro niveles técnicos, lo cual fue tomado en cuenta en la revisión del plan de carrera para que los recién egresados tengan las competencias para poderse incorporar a los proyectos y dar soluciones a tareas de asistente.
  9. La gestión del talento técnico inicia con el análisis de oportunidades de formación del talento en especialidades donde personal experto de la empresa se retira o próximo a retirarse, las soluciones y alternativas de solución y la estrategia de formación de personal desde sus fundamentos hasta especializarlos en el menor plazo posible, creando perfiles de competencias por especialidad con comportamientos técnicos claros con dominio en las competencias de importancia y siguiendo un plan de carrera que le permita al profesional desarrollarse en una disciplina y concluir con el dominio profundo de una especialidad.
  10. Este trabajo tiene la certeza de que su base, la identificación de retos y competencias críticas asociadas, ha sido validado por la comunidad técnica de PEP, ya que participó en la definición de retos y prioridades para los proyectos y en la evaluación de necesidades de desarrollo.
  11. Además complementa la consideración de los retos técnicos de los proyectos estratégicos de PEP, las competencias asociadas a dichos retos a través de la revisión de estudios de diferentes universidades y los

requerimientos detectados por la Society of Petroleum Engineers mediante un estudio basado en la necesidad de definir las competencias específicas para los graduados, el Consejo de Talento de la Society of Petroleum Engineers (SPE) que propone el nuevo plan de estudios para la carrera de Ingeniería Petrolera.

12. El temario de las materias y el plan de estudios cubren las necesidades de recién egresados para la industria, ya que en ellas están incluidas las competencias que requiere un ingeniero petrolero para ser contratado en las empresas petroleras.
13. Se recomienda que cada año se alinee el plan de estudios a las necesidades técnicas de las empresas petroleras. Esto permitirá tener actualizado el plan de estudios y que los recién egresados puedan satisfacer la demanda de ingenieros petroleros, pero al mismo tiempo, enfrentar los retos técnicos que se presentan en la industria.

## Bibliografía

- Anuario Estadístico Pemex 2009.
- F. Bober Christopher, R. Bartlett Kenneth 2004, “The Utilization of Training Program Evaluation in Corporate Universities”, Human Resource Development Quarterly, Vol. 15, No. 4.
- Hourneaux Junior Flavio, Pereira Eboli Marisa, Caruso Martins Eduardo Abr./Jun. 2008, “Corporate Education and the Role of the Chief Learning Officer”, R. bras. Gest. Neg, Sao Paulo, V. 10, N. 27, p. 105-117,.
- R Millen David, A. Fontaine Michael, J. Muller Michael, April 2002 “Understanding the benefits and costs of communities of practice”, Communications of the ACM, Vol. 45, No. 4.
- Mintzbert Henry July-August 2009, “Rebuilding Companies as Communities”, Harvard Business Review, pp. 140 – 143.
- Muller Paul 2006, “Reputation, trust and the dynamics of leadership in communities of practice”, J Manage Governance pp. 381-400.
- Orr Bob, McVerry Bridget December 2007, “Talent Management Challenge in the Oil and Gas Industry”, Natural Gas & Electricity, pp. 18 – 23.
- Rozwell Carol 08-2009, “Forget ROI, Measure Time to Competency to Calculate Learning Value”,.
- Ruse Donald H., Jansen Karen E. Dicember 2008, “Stay in Front of the Talent Curve”, Research – Technology Management, November –, pp. 38 – 43.
- Wenger E 1998, “Communities of practice: Learning, meaning and identity”, Cambridge: Cambridge, University Press.
- Wenger E. 2000, “Communities of practice and social learning systems”, Organisation, pp. 225–246.
- E&P Industry Faces Employment Challenges  
<http://www.epmag.com/item/print/EP-Industry-Faces-Employment-Challenger>

- Schlumberger Business Consulting Marzo, 2006, Surviving the skills shortage. Results of a global survey quantifying the supply & demand of petrotechnical expertise.
- Bobo James E., Reece Cindy, “The Advancement of the Petroleum Engineering Professional: Establishment of Professional Competency Guidelines”, SPE 56603
- Jabaley Sally, “Expanding knowledge to young engineers in our industry”, Shell International Exploration & Production Inc., SPE 12477
- Allcorn M, Zemlak W.M. and van der Tuin R.G., “Building human capital to meet demands in well intervention”, Schlumberger, BP, SPE, SPE 10227
- Fassihi M. R, BP America, “Competency-based training and development”, SPE 96731
- Blasingame Tom, “The SPE technical knowledge for graduating engineers matriz”, SPE Talent Council
- Starling Steve, “Career development for a sustainable, safe and competitive petroleum industry”, ANTCER, SPE 88512
- Pemex Exploración y Producción 2010 “Modelo de desarrollo de competencias para Explotación”,.
- Pemex Exploración y Producción 2012, “Modelo de desarrollo de competencias para Operación de Pozos e Instalaciones”
- Pemex Exploración y Producción, “Modelo de desarrollo de competencias para la Unidad de Negocios de Perforación”
- Gómez L., Shoham O., Schimdt Z., Chokshi R. y T. Northug 2000, “Unified Mechanistic Model for Steady-State Two-Phase Flow: Horizontal to Vertical Upward Flow”, SPE Journal, vol. 5, pp. 339-350,
- Garaicochea Petirena Fransico 1991, Bernal Huicochea César, López Ortiz Óscar, “Transporte de hidrocarburos por ductos”, Colegio de Ingenieros Petroleros de México
- Guía de diseño para la perforación: Hidráulica en la perforación de pozos petroleros.



- Conceptos generales de control de pozos, capítulo 1. Petróleos Mexicanos PEP – UPMP. Programa de Acreditación en control de pozos, well cap
- Sistemas de producción para pozos de gas natural, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mario Arrieta, “Estaciones de Flujo”, Universidad Nacional Experimental Politécnica de la Fuerza Armada Boliviana
- Rubén González Islas, “Compendio de nociones elementales de medición multifásica”, Asociación de Ingenieros Petroleros de México CNH PEMEX, Foro de Lineamientos de Medición.
- Ing. González Valero José, “Medición de flujo de aceite”, Asociación de Ingenieros Petroleros de México.
- Mendoza May L. Andrés; “Separación y Medición de Aceite y Gas en una Plataforma de Producción del Campo Cantarell”; Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Vázquez Cárdenas Juan Francisco “Mejoramiento de la conductividad en el fracturamiento hidráulico” Facultad de ingeniería de la UNAM
- Mora Ríos Alfonso, López Valdés Israel 1995, “Manual de evaluación de formaciones”, PEP, Región Sur, de perforación y mantenimiento de pozos, Primera edición.
- Flores Morales Jessica Magaly, 2008, “Producción y transporte de crudos pesados”, Facultad de Ingeniería.
- “Métodos de producción para crudos pesados”. Enfocado a la selección del sistema de levantamiento artificial, Aceite Internacional.
- Barrueta Zenteno Eduardo. “La continuación de la formación Eagle Ford en el estado de Texas brinda un gran potencial para la explotación de shale gas al lado mexicano de la frontera”. Energía a debate.
- Chauqui Diego Gabriel, Terminación I, equipos Maniobras herramientas Cursos de petróleo general.
- PEMEX Exploración y Producción 21 de Junio de 2012. Subdirección de Exploración, “Aceite y Gas en lutitas Avances en la evaluación de su

potencial en México”,.

- Grajales Nishimura José Manuel , “Yacimientos convencionales y no convenciones”, Instituto Mexicano del Petróleo
- Solano De la Cruz Roberto 2011, “Perforación de pozos no convencionales”, Instituto Politécnico Nacional, Semana de las geociencias.
- Manual para la acreditación de Programas de Enseñanza de la Ingeniería. CACEI 2004
- Ramírez-Sabag Jetzabeth, Villajuana y Roberto Tavares Gerardo, 2008 roductividad de Pozos, Editado por la facultad de Ingeniería UNAM, 470 pp
- Ramírez-Sabag Jetzabeth, 2012, Matemáticas aplicadas a la Ingeniería Petrolera, Reverté Ediciones
- Braja M. Das; Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2013 CENGAGE learning Cuarta edición.
- Van Nostrand Reinhold, New York, 1990, Neural Networks Architectures: An Introduction Diederich, J. ed.
- Lior Rokach and Oded Maimon, 2010, Data mining with decision trees: theory and applications
- Gustavo Villalobos Ordaz, 2008 Medicion de flujo: Placas de orificio, toberas de flujo y tubos venturi
- María Moro Piñeiro Metrología. 2007 introducción, conceptos e instrumentos de medición.
- Libardo Antonio Londoño C, 2012 Geoestadística Aplicada: Generación de mapas de interpolación para el estudio de fenómenos distribuidos espacialmente EAE.

## Anexos

### Anexo 3.1

#### CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LA ACREDITACION DE PROGRAMAS DE ENSEÑANZA DE LA INGENIERIA SEGÚN CACEI

La acreditación de un programa educativo es el reconocimiento público de su calidad, es decir, es la garantía de que dicho programa cumple con determinado conjunto de estándares de calidad.

Los indicadores de esta categoría son:

**Pertinencia:** Justificación clara y precisa de la existencia del programa atendiendo a una demanda de la sociedad acorde con la misión de la institución.

El programa tendrá claramente establecidos sus objetivos.

**Estructura Académica:**

El programa deberá apoyarse en estructuras académicas y académico administrativas claramente establecidas, con funciones bien definidas y que no supediten lo académico a lo administrativo.

**PERSONAL ACADÉMICO:** El éxito de un programa depende del personal académico que le presta servicio, de la formación que éste tenga, de su desempeño, compromiso con la institución, la unidad académica y el programa de su grado de desarrollo y actualización.

**PLAN DE ESTUDIOS:** Es la base sobre la cual descansa un programa y su importancia reside en su capacidad para dar forma a la experiencia académica que busca la transmisión y construcción del conocimiento, a la vez que lo secuencian y dosifican en extensión y profundidad

Objetivo y estructura.

1. Perfil del Egresado
2. Secuencia
3. Aspecto Teórico-Prácticos
4. Extensión
5. Contenidos
6. Revisión
7. Cobertura

8. Flexibilidad
9. Vinculación
10. Titulación Orientación
11. Investigación
12. Idioma extranjero
13. Titulación

Metodologías alternativas – Todo programa deberá establecer que en varios cursos se incluya, en parte o en la totalidad de su desarrollo, métodos de enseñanza diferentes a los tradicionales de exposición oral del profesor, tales como: el uso de audiovisuales, aulas interactivas, desarrollo de proyectos, prácticas de laboratorio con participación activa de alumnos, así como otro tipo de actividades orientadas a mejorar el proceso de enseñanza –aprendizaje.

Herramientas de cómputo – Empleo de la herramienta computacional (software).  
Evaluación del aprendizaje- La calidad en el desempeño del estudiante deberá evaluarse mediante diversos tipos de exámenes, tareas, problemas para resolver, ejercicios, prácticas de laboratorio, trabajos e informes y deberá considerar sus habilidades en comunicación oral y escrita.  
Es necesario que se tengan establecidos exámenes departamentales, sobre todo en Ciencias Básicas y Matemáticas.

Participación en investigación y/o desarrollo tecnológico- Un número significativo de alumnos deberá participar en los proyectos de investigación y/o desarrollo tecnológico que tengan relación áreas de conocimiento del programa y en los que participan también profesores relacionados con éste.

Vinculación- Actividades que impliquen un vínculo con los sectores social, productivo y de servicios, así como con otras instituciones educativas, tales como prácticas, estancias y otras, deben formar parte de los esquemas del proceso enseñanza aprendizaje considerado en el plan de estudio del programa.

**RESULTADOS E IMPACTO:** Una de las formas de estimar la calidad de un proceso es a través de sus resultados y el cambio, aceptación y mejoras que éstos logran, así como la pertinencia del proceso con las necesidades del medio en donde se desempeñará el egresado.

## Anexo 4.1

### Programa de la Universidad de Texas Austin

#### First Year

##### Fall Semester

Principles of Chemistry I  
Differential and Integral Calculus  
Rhetoric and Writing (English Composition)  
Introduction to Geology  
First-Year Signature Course

##### Spring Semester

Principles of Chemistry II  
Engineering, Energy, and the Environment  
Sequences, Series, and Multivariable Calculus  
Engineering Physics I  
Laboratory for Physics 303K  
Approved Visual and Performing Arts Elective

#### Second Year

##### Fall Semester

Physical and Chemical Behavior of Fluids I  
Formation and Solution of Geosystems Problems  
Statics  
Engineering Physics II  
Laboratory for Physics  
Advanced Calculus for Applications I

### **Spring Semester**

Engineering Communications  
Transport Phenomena in Geosystems  
Mechanics of Solids  
Sedimentary Rocks  
Approved Social and Behavioral Science Elective

### **Third Year**

#### **Fall Semester**

Reservoir Engineering I  
Drilling and Well Completions  
Petrophysics  
Thermodynamics and Phase Behavior  
American and Texas Government

#### **Spring Semester**

Physical and Chemical Behavior of Fluids II  
Reservoir Engineering II  
Production Technology and Design  
Fundamentals of Well Logging  
American History

### **Fourth Year**

#### **Fall Semester**

Reservoir Engineering III  
Reservoir Geomechanics  
Introduction to Geostatistics  
Resource Economics and Valuation  
American and Texas Government

## **Spring Semester**

Geosystems Engineering Design and Analysis II

Masterworks of Literature (Humanities)

Approved Technical Area Elective

Approved Technical Area Elective

American History

## **Programa de la Universidad de Stanford**

Energy and the Environment

Energizing California

Fundamentals of Multiphase Flow

Undergraduate Report on Energy Industry Training

Modeling Uncertainty in the Earth Sciences

Engineering Valuation and Appraisal of Oil and Gas Wells, Facilities, and Properties

Optimization of Energy Systems

Undergraduate Teaching Experience

Undergraduate Research Problems

Special Topics in Energy and Mineral Fluids

Laboratory Measurement of Reservoir Rock Properties

Advanced Programming for Scientists and Engineers

Reservoir Simulation

SUPRI-C Research Seminar: Gas Injection Processes

SUPRI-D Research Seminar: Well Test Analysis

SCRF Research Seminar: Geostatistics and Reservoir Forecasting

Geothermal Reservoir Engineering Research Seminar

SUPRI-HW Research Seminar: Horizontal Well Technology

Optimization of Energy Systems

Fundamentals of Energy Processes

The Energy Seminar  
Teaching Experience in Energy Resources Engineering  
Advanced Research Work in Energy Resources Engineering

## **Programa de la Universidad de Texas A&M**

### **FRESHMAN YEAR 1**

Composition and Rhetoric  
Foundations in Engineering I  
Engineering Mathematics I  
Mechanics  
University Core Curriculum Elective  
Health and fitness Activity  
Gen. Chem. for engr. Students  
Gen. Chem. for engr. Stu. Lab  
Foundations in Engineering II  
Engineering Mathematics II  
Electricity and Optics  
University Core Curriculum Elective  
Req. Phys. Activity (S/U only)

### **SOPHOMORE YEAR**

Comm. for Tech. Professionals  
Engineering Mathematics III  
Statics and Particle Dynamics  
Petroleum Drilling Systems  
University Core Curriculum Elective  
Mechanics of Materials  
Differential Equations  
Principles of Thermodynamics



Reservoir Petrophysics  
University Core Curriculum Elective

## **JUNIOR YEAR**

Geology of Petroleum  
Petr. Engr. Numerical Methods  
Reservoir Fluids  
Transport Proc. In Petr. Prod.  
Technical Presentations I  
Formation Evaluation  
Reservoir Models  
Well Performance  
Petroleum Production Systems  
Petroleum Project Evaluation

## **SUMMER**

Summer Practice

## **SENIOR YEAR**

Reservoir Development  
Drilling Engineering  
Production Engineering  
Technical Presentations II  
University Core Curriculum Elective  
Geostatistics  
Reservoir Description  
Technical elective  
University Core Curriculum Elective

## **Programa de la Universidad de Tulsa**

Introduction to Petroleum Engineering  
Introduction to PE – Applications  
Rock and Fluid Properties Lab  
Rock Properties  
Fluid Properties  
Petroleum Economics and Property  
Evaluation  
Computer Applications in Petroleum  
Engineering  
Reservoir Engineering I  
Drilling Lab  
Drilling Engineering I  
Production Engineering I  
Natural Gas Reservoir Engineering  
Natural Gas Production Engineering  
Drilling Engineering II  
Formation Evaluation  
Well Construction and Completion Design  
Production Engineering Lab  
Production Engineering II  
Reservoir Engineering II  
Flow Assurance  
Directional and Horizontal Drilling  
Well Stimulation  
Special Topics in Petroleum Engineering  
Research in Petroleum Engineering  
Capstone Design

## **Programa de la Universidad de Colorado**

Introduction to petroleum industry  
Special topics in petroleum engineering  
Independent study  
Fluid mechanics  
Special topics in petroleum engineering  
Independent study  
Computational methods in petroleum engineering  
Reservoir rock properties  
Reservoir fluid properties  
Drilling engineering  
Summer field session I  
Summer field session II  
Cooperative education  
Sustainable energy systems  
Completion engineering  
Special topics in petroleum engineering  
Independent study  
Mechanics of petroleum production  
Gas measurement and formation evaluation lab  
Well test analysis and design  
Well log analysis and formation evaluation.  
Economics and evaluation of oil and gas projects  
Petroleum reservoir engineering I  
Petroleum reservoir engineering II  
Well completions and stimulation  
Advanced drilling engineering  
Geostatistics  
Multidisciplinary petroleum design  
Energy engineering

Petroleum seminar  
Reservoir geomechanics  
Special topics in petroleum engineering  
Independent study

## **Programa de Universidad de Oklahoma**

### **FIRST SEMESTER**

Prin. of English Composition (Core I)  
General Chemistry (Core II)  
Calculus & Analytic Geometry I (Core I)  
History 1483-present (Core IV)  
Freshman Engineer Experience

### **SECOND SEMESTER**

Prin. of English Composition (Core I), or Expository Writing  
General Chemistry  
General Physics for Engineering & Science Majors (Core II)  
Calculus & Analytic Geometry II (Core I)  
Intro. to Petroleum Engineering Systems

### **THIRD SEMESTER**

Calculus & Analytic Geometry III  
General Physics for Engineering & Science  
Majors  
Physical Geology  
Statics and Dynamics  
Professional Development

## **FOURTH SEMESTER**

Principles of Economics–Macro (Core III)

Calculus & Analytic Geometry IV

Mechanics of Materials

Reservoir Rock Properties

Rock Properties Lab

**SUMMER            Petroleum Engineering Practice II (Intern ship)**

## **FIFTH SEMESTER**

Intro. to Ordinary Differential Equations

Technical Communications

Petroleum Reservoir Fluids

Fluid Mechanics

Drilling and Completions I

## **SIXTH SEMESTER**

Structural Geology & Stratigraphy-Petr. Engr.

Subsurface Production Engineering

Reservoir Engineering Fundamentals

Numerical Methods for Petroleum

Engineering Computing

Formation Evaluation with Well Logs

## **SEVENTH SEMESTER**

American Federal Government (Core III)

Reservoir Fluid Mechanics Lab

Petroleum Project Evaluation

§P E Approved PE Elective

†Approved Elective: Western Civ. & Culture (Core IV)

## **EIGHTH SEMESTER**

Drilling and Production Engineering Lab

Surface Production Engineering

Integrated Reservoir Management (Capstone)

§P E Approved PE Elective

†Approved Elective: Artistic Forms (Core IV)

†Approved Elective: Non-Western Culture (Core IV)

## **Programa de la Universidad de Louisiana**

### **Freshman Year**

General Chemistry I

General Chemistry II

General Lab

Intro to academic Writing

Writing & Research About Cul

Physical Geology

Calculus I

Calculus II

Intro Petroleum Engineering

Elective (HIST)

### **Sophomore Year**

Fundamentals of Economics

Mechanics of Materials

Statics & Dynamics

Structural Geology

Differential Equations

Drilling Fluids

Drilling Fluids Lab  
General Physics I  
General Physics II  
Elective (Bio Sci)  
Elective (LIT)

### **Junior Year**

Industrial Economics & Finance  
Thermodynamics  
Transport Phenomena  
Technical writing  
Phase Behavior Hydrocarbon System  
Reservoir Fluid Flow  
Reservoir Mechanics Lab  
Petrophysics & Formation Evaluation  
Petrophysics & Formation Evaluation Lab  
Drilling Engineering  
Drilling Lab  
Elective (ARTS)  
Elective (HIST/LIT)

### **Senior Year**

Senior Design Project I  
Senior Design Project II  
Natural Gas Engineering  
Improved Petro Recovery Proc  
Well Planning & Control  
Petro Production Engineering  
Petro Production Lab

Well Completion  
Reservoir Engineering  
Reservoir Lab  
Elective (MATH)  
Elective (PETE/GEOL)  
Elective (PETE)

**Programa de la Universidad de Virginia**

Introduction to Petroleum Engineering  
Transport Phenomena in Petroleum Engineering  
Drilling Engineering  
Drilling Fluids Laboratory  
Petroleum Properties and Phase Behavior  
Basic Petroleum Reservoir Engineering  
Petroleum Engineering Ethics  
Multidisciplinary Team Project  
Production Engineering  
Petroleum Reservoir Engineering Laboratory  
Applied Petroleum Reservoir Engineering  
Oil and Gas Property Evaluation  
Formation Evaluation  
Well Stimulation Design  
Natural Gas Engineering  
Natural Gas Production and Storage  
Petroleum Engineering Design  
Teaching Practicum  
Professional Field Experience  
Directed Study  
Independent Study  
Senior Thesis  
Research



Honors

**Programa de la Universidad de Calgary**

**SECOND SEMESTER**

Differential Equations for Engineers  
Industrial Organic Chemistry for Engineers  
Chemical Engineering Process Calculation  
Process Fluid Dynamics  
Probability and Statistics for Engineers  
Engineering Thermodynamics  
Mechanics of solids  
Engineering Mechanics II  
Introduction to Flow in Porous Media  
Petroleum Engineering Geology  
Complementary Studies Courses  
Computing Tools H

**THIRD SEMESTER**

Analyses of Chemical, Oil & Gas Engineering  
Heat Transfer  
Separation processes I  
Chemical Engineering Thermodynamics  
Numerical Methods Engineering  
Oil & Gas Engineering Process Development  
Reservoir Engineering  
Well Logging and Formation Evaluation  
Drilling and Well Completions  
Petroleum Production Engineering  
Technical Elective

Complementary Studies Course

## **FOURTH SEMESTER**

Transport Phenomena

The Role Responsibilities of the Professional Engineer in Society

Oil & Gas Separation Processes

Well Testing

Design for oil & Gas Engineering I

Waterflooding and Enhanced Oil Recovery

Design for Oil & Gas Engineering II

Petroleum Engineering Laboratory

Technical Elective

Complementary Studies Course

Oil & Gas Engineering Approved Technical Electives

Surface and Colloid Chemistry for Engineers

Upgrading and Refining Processes

Computational Thermodynamics

Pollution Prevention and control for Energy Industry

Life Cycle Assessment

Effluent Treatment Processes for Energy Industry

Energy and Environmental Systems Analysis

Special Topics

Geological Characterization of Oil and Gas Reservoirs

Oil & Gas Field Safety and Environment

Fuel Science and Technology

Materials Aspects of Oil & Gas Production

Unconventional Oil Exploitation

Unconventional Gas Exploitation

## **Programa de la Universidad de Alberta**

Petroleum Reservoir Fluids  
Oil Well Drilling and Completion  
Well Logging and Formation Evaluation  
Petroleum Production Operations  
Drilling Fluids Laboratory  
Fundamentals of Well Test Analysis  
Fundamental Reservoir Engineering  
Natural Gas Engineering  
Heavy Oil Recovery  
Enhanced Oil Recovery  
Fundamental Reservoir Engineering  
Applied Reservoir Engineering  
Well Completion and Stimulation  
Modeling in Petroleum Engineering  
Thermal Methods in Heavy Oil Recovery  
Oil and Gas Property Evaluation  
Petroleum Engineering Seminar  
Petroleum Engineering Design Project  
Petroleum Field Trip

## **Programa de la Universidad de Dalhousie**

Reservoir Engineering  
Natural Gas Reservoirs  
Drilling Engineering  
Petroleum Geoscience  
Production Technology  
Directed Studies  
Advanced Theory of Structures

Dynamics of Offshore Structures  
Geotechnical Aspects of Waste Management  
Enhanced Oil and Gas Recovery  
Chemical Process Control  
Welding Metallurgy  
Fracture of Metallic Materials  
Solid-Liquid Separation  
Advanced Rock Mechanics  
Advanced Mechanics of Solids  
Dynamics of Ocean Fluids  
Industrial Rheology  
Introduction to Operations Research  
Capital Investment and Capacity Expansion Planning  
Decision Analysis  
Theory of Random Fields  
Advanced Petroleum Engineering  
Offshore Drilling and Production  
Environmental Law I  
Resource and Environmental Planning  
Applied Geophysics  
Management of Chemicals and Wastes  
Introduction to Physical Oceanography

**Programa de la Universidad Nacional Autónoma de México (Plan actual)**

➤ PRIMER SEMESTRE

- Geología General
- Álgebra
- Geometría Analítica
- Cálculo Diferencial
- Computación para Ingenieros

➤ SEGUNDO SEMESTRE

- Dibujo
- Álgebra Lineal
- Estática
- Cultura y Comunicación
- Cálculo Integral
- Geología de Yacimientos de Fluidos

➤ TERCER SEMESTRE

- Cálculo Vectorial
- Cinemática y Dinámica
- Termodinámica
- Ecuaciones Diferenciales
- Geología de Explotación de Petróleo, Agua y Vapor

➤ CUARTO SEMESTRE

- Mecánica de Fluidos
- Electricidad y Magnetismo
- Literatura Hispanoamericana Contemporánea
- Propiedades de los Fluidos Petroleros
- Química para Ingenieros Petroleros

➤ QUINTO SEMESTRE

- Comportamiento de Yacimientos
- Probabilidad y Estadística
- Petrofísica y Registros de Pozo
- Análisis Numérico
- Procesos de Bombeo y Compresión de Hidrocarburos
- Ética Profesional

➤ SEXTO SEMESTRE

- Caracterización Estática de Yacimientos
- Elementos de Perforación de Pozos

- Flujo Multifásico en Tuberías
- Planeación y Administración de Proyectos de Ciencias de la Tierra
- Productividad de Pozos
- Programación Avanzados

➤ SÉPTIMO SEMESTRO

- Introducción a la Economía
- Caracterización Dinámica de Yacimientos
- Evaluación de Proyectos de Ciencias de la Tierra
- Ingeniería de Perforación de Pozos
- Simulación Matemática de Yacimientos
- Optativa

➤ OCTAVO SEMESTRE

- Administración de la Seguridad Industrial y Protección Ambiental
- Legislación de la Industria Petrolera
- Recuperación Secundaria y Mejorada
- Terminación y Mantenimiento de Pozos
- Sistemas Artificiales de Producción
- Optativa

➤ NOVENO SEMESTRE

- Recursos y Necesidades de México
- Introducción al Análisis Económico Empresarial
- Administración Integral de Yacimientos
- Conducción y Manejo de la Producción de los Hidrocarburos
- Ingeniería de Yacimientos de Gas
- Temas Selectos de la Ingeniería Petrolera

### Anexo 5.1

Descripción completa de las asignaturas.

A continuación se describirán la información de las asignaturas que soportan las competencias de la Ingeniería Petrolera.

## ASIGNATURAS DEL CUARTO SEMESTRE

Asignatura: **MECÁNICA DE FLUIDOS** Semestre: **4** Créditos: **9**  
 División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA** Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA** Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>	<b>Horas:</b>	<b>Total (horas):</b>
Obligatoria      X	Teóricas      4.5	Semana      4.5
Optativa	Prácticas      0.0	16 semanas      72.0

**Modalidad:** Curso  
**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna  
**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**  
 El alumno explicará los principios, leyes y conceptos fundamentales que gobiernan el comportamiento de los fluidos y los aplicará a los análisis de fenómenos y solución de problemas de flujo de hidrocarburos.

### Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Propiedades de los fluidos	9.0
2.	Estática de los fluidos	13.5
3.	Análisis dimensional y teoría de los modelos	9.0
4.	Ecuaciones fundamentales	13.5
5.	Flujo de líquidos en tuberías	13.5
6.	Flujo de gases en tuberías	7.0
7.	Medidores de flujo	6.5
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	72.0

- 1 Propiedades de los fluidos**  
**Objetivo:** El alumno evaluará las propiedades básicas de los fluidos.  
**Contenido:**
- 1.1 Definición de fluido
  - 1.1 Ley de Newton de la viscosidad
  - 1.2 Viscosidad
  - 1.3 Clasificación de los fluidos
  - 1.5 Tensión interfacial, variables que influyen en esta propiedad
  - 1.5 Calores específicos
  - 1.6 Densidad
  - 1.7 Peso específico
  - 1.8 Presión de vapor

- 2 Estática de los fluidos**  
**Objetivo:** El alumno evaluará las fuerzas que actúan sobre superficies que se encuentran en un fluido en reposo y sus aplicaciones.  
**Contenido:**
- 2.1 Presión en un punto
  - 2.2 Variación de la presión en el seno de un fluido en reposo; fluido compresible e incompresible.
  - 2.3 Presión absoluta y manométrica

- 2.4 Medidores de presión
- 2.5 Aplicaciones
- 2.6 Fuerzas sobre superficies planas y cóncavas
- 2.7 Magnitud y punto de aplicación
- 2.8 Aplicaciones

### 3 **Análisis dimensional y teoría de los modelos**

**Objetivo:** El alumno aplicará las teorías de análisis dimensional y de los modelos en el estudio de fenómenos de flujo.

**Contenido:**

- 3.1 Análisis dimensional
- 3.2 Grupos adimensionales
- 3.3 Teoría de Buckingham
- 3.4 Semejanza geométrica, cinemática y dinámica
- 3.5 Aplicaciones

### 4 **Ecuaciones fundamentales**

**Objetivo:** El alumno analizará y resolverá los problemas de flujo de fluidos usando las ecuaciones fundamentales de la física.

**Contenido:**

- 4.1 Ecuación de continuidad
- 4.2 Ecuaciones de cantidad de movimiento y de conservación de energía
- 4.3 Aplicaciones

### 5 **Flujo de líquidos en tuberías**

**Objetivo:** El alumno aplicará la teoría de flujo de fluidos en tuberías al caso particular de líquidos.

**Contenido:**

- 5.1 Flujo laminar y flujo turbulento, número de Reynolds
- 5.2 Ecuación de Bernoulli modificada
- 5.3 Pérdidas de carga por fricción
- 5.4 Ecuación de Darcy y Weisbach
- 5.5 Diagrama de Moody
- 5.6 Ecuación de Poiseuille
- 5.7 Flujo en régimen variable
- 5.8 Aplicaciones

### 6 **Flujo de gases en tuberías**

**Objetivo:** El alumno aplicará la teoría de flujo de fluidos en tuberías al caso particular de gases.

**Contenido:**

- 6.1 Flujo isotérmico y flujo adiabático
- 6.2 Flujo laminar y flujo turbulento, número de Reynolds
- 6.3 Ecuación de Bernoulli modificada
- 6.4 Pérdidas de carga por fricción
- 6.5 Ecuación de Darcy y Weisbach
- 6.6 Ecuación de Poiseuille
- 6.7 Ecuación de Panhandle
- 6.8 Flujo en régimen variable
- 6.9 Aplicaciones

### 7 **Medidores de flujo**

**Objetivo:** El alumno describirá los diferentes aparatos utilizados en la medición de flujo.

**Contenido:**

- 7.1 Presión estática y presión de estancamiento
- 7.2 Sonda de presión
- 7.3 Tubo de Pitot
- 7.4 Tubo de Venturi



7.5 Placas de orificios

7.6 Aplicaciones

**Bibliografía básica**

STREETER, Victor y Wylie E, Benjamín  
Mecánica de fluidos  
Mexico  
McGraw Hill, 1983

SHAMES J. Iving  
La mecánica de los fluidos  
México  
McGraw Hill, 1979

**Bibliografía complementaria**

BAUMEISTER, T. et al.  
Manual del Ingeniero Mecánico  
México  
McGraw Hill, 1982

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero, Mecánico, Geólogo o Geofísico, con experiencia en el área de Mecánica de Fluidos y con una experiencia en la industria de cuando menos cuatro años en cualquier área de la industria petrolera.

Asignatura: **PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS  
PETROLEROS**

Semestre: 4

Créditos: 10

División: **INGENIERÍA EN  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se  
imparte: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 4.0  
Prácticas 2.0

**Total (horas):**

Semana 6.0  
16 semanas 96.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Principios de mecánica de yacimientos

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno comprenderá el comportamiento de las propiedades físicas de los diferentes fluidos que se encuentran en un yacimiento petrolero y cómo son afectadas por la estructura molecular, tamaño, presión y temperatura; a su vez, analizará el impacto de dichas propiedades en los problemas relativos a la ingeniería de yacimientos y producción. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, solución de problemas y pensamiento crítico; trabajo en equipo; expresiones oral, escrita y gráfica; así como contribuir a asumir las actitudes de disposición para la superación permanente, responsabilidad, gusto y cariño por la profesión, con el fin de lograr el Perfil del Egresado.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción a la físico-química y termodinámica de los hidrocarburos	6.0
2.	Comportamiento de fases	8.0
3.	Comportamiento de los gases	6.0
4.	Comportamiento de los líquidos	4.0
5.	Ecuaciones de estado cúbicas	6.0
6.	Propiedades físicas de los fluidos de los yacimientos petroleros	8.0
7.	Métodos de estimación y medición de las propiedades de los fluidos petroleros	8.0
8.	Clasificación de yacimientos petroleros de acuerdo al tipo de fluidos	6.0
9.	Equilibrio líquido-vapor	8.0
10.	Hidratos de gas	4.0
	Prácticas de Laboratorio	32.0
	Total (horas)	96.0

**1 Introducción a la físico-química y termodinámica de los hidrocarburos**

**Objetivo:** El estudiante definirá los conceptos generales y unidades que se utilizarán en el curso.

**Contenido:**

- 1.1 Sistemas de unidades
- 1.2 Componentes del petróleo
- 1.3 Propiedades intensivas y extensivas de la materia.
- 1.4 Definición de la físico-química y termodinámica de explotación
- 1.5 Importancia de la caracterización de los fluidos petroleros

**2 Comportamiento de fases**

**Objetivo:** El estudiante determinará el comportamiento de Presión-Volumen-Temperatura de una mezcla de fluidos mediante el uso de diagramas de fase. Asimismo, analizará los fenómenos de vaporización y condensación retrogradas y sus implicaciones.

**Contenido:**

- 2.1 Definición de fase

- 2.2 Definición y tipos de diagramas de fase
  - 2.3 Sistemas de un solo componente
  - 2.4 Sistemas binarios
  - 2.5 Sistemas ternarios
  - 2.6 Sistemas multicomponentes de hidrocarburos
- 3 Comportamiento de los gases**  
**Objetivo:** El estudiante explicará las principales leyes físico-químicas de los gases ideales y reales, así como los efectos de los componentes no-hidrocarburos en una mezcla de gas natural.  
**Contenido:**
- 3.1 Definición de una ecuación de estado y su utilidad
  - 3.2 Gas ideal
  - 3.3 Mezclas de gases ideales
  - 3.4 Comportamiento de los gases reales
  - 3.5 Efectos de los componentes no hidrocarburos en las mezclas de gas
- 4 Comportamiento de los líquidos**  
**Objetivo:** El estudiante explicará las relaciones constitutivas requeridas para el estudio de los líquidos ideales y reales.  
**Contenido:**
- 4.1 Comportamiento de líquidos ideales
  - 4.2 Comportamiento de líquidos reales
- 5 Ecuaciones de estado cúbicas**  
**Objetivo:** El estudiante analizará los principios fundamentales de una ecuación de estado cúbica.  
**Contenido:**
- 5.1 Ecuación de estado de van der Waals
  - 5.2 Ecuación de estado de Redlich-Kwong
  - 5.3 Ecuación de estado de Soave-Redlich-Kwong
  - 5.4 Ecuación de estado de Peng-Robinson
  - 5.5 Otras ecuaciones de estado cúbicas
  - 5.6 Reglas de mezclado para las ecuaciones de Soave-Redlich-Kwong y Peng-Robinson
- 6 Propiedades físicas de los fluidos de los yacimientos petroleros**  
**Objetivo:** El estudiante explicará las principales propiedades físicas de los fluidos petroleros.  
**Contenido:**
- 6.1 Tipos de fluidos del yacimiento
  - 6.2 Propiedades del gas seco
  - 6.3 Propiedades del aceite negro
  - 6.4 Propiedades del agua de formación
- 7 Métodos de estimación y medición de las propiedades de los fluidos petroleros**  
**Objetivo:** El estudiante conocerá los procedimientos y experimentos convencionales requeridos para un estudio básico de los fluidos del yacimiento, asimismo estimará sus propiedades mediante el uso de correlaciones.  
**Contenido:**
- 7.1 Métodos de toma de muestras de los fluidos del Yacimiento
  - 7.2 Mediciones convencionales de las propiedades de los fluidos del yacimiento
  - 7.3 Definición e importancia de las correlaciones para estimar las propiedades físicas de los fluidos del yacimiento
  - 7.4 Correlaciones para estimar las propiedades del gas
  - 7.5 Correlaciones para estimar las propiedades del aceite
  - 7.6 Correlaciones para estimar las propiedades del agua de formación
- 8 Clasificación de yacimientos petroleros de acuerdo al tipo de fluidos**

**Objetivo:** El estudiante describirá los tipos de yacimientos de acuerdo al tipo de fluidos.

**Contenido:**

- 8.1 Composiciones características de los fluidos petroleros
- 8.2 Diagramas de fase característicos de los fluidos petroleros
- 8.3 Clasificación de los fluidos petroleros de acuerdo a la literatura

## 9 Equilibrio líquido-vapor

**Objetivo:** El estudiante describirá el equilibrio líquido-vapor de soluciones ideales y no ideales.

**Contenido:**

- 9.1 Definición del equilibrio de fases
- 9.2 Soluciones ideales
- 9.3 Solución no-ideal
- 9.4 Metodologías de cálculo de las condiciones de equilibrio para mezclas multi-componente

## 10 Hidratos de gas

**Objetivo:** El estudiante definirá a los hidratos de gas, así como las condiciones a las que se forman y su importancia para la industria energética.

**Contenido:**

- 10.1 Definición de los hidratos de gas
- 10.2 Condiciones de formación de los hidratos de gas
- 10.3 Importancia de los hidratos de gas en la industria

### Bibliografía básica

MCCAIN, W:  
THE PROPERTIES OF PETROLEUM FLUIDS  
SEGUNDA EDICIÓN EUA  
PennWell, 1990

STANDING, M.b.  
VOLUMETRIC AND PHASE BEHAVIOR OF OIL HYDROCARBON SYSTEMS  
PRIMERA EDICIÓN EUA  
SPE of AIME, 1977

WHITSON, C.h. And Brulé , M.R.,  
PHASE BEHAVIOR PRIMERA EDICIÓN EUA  
SPE Monograph, 2000

### Bibliografía complementaria

AHMED, T.h.  
EQUATIONS OF STATE AND PVT ANALYSIS  
PRIMERA EDICIÓN EUA  
Gulf Publishing Co., 2007

AHMED, T.h.  
RESERVOIR ENGINEERING HANDBOOK  
SEGUNDA EDICIÓN EUA  
Elsevier Inc. 2010

PEDERSEN, K.s. And Christensen , P.L.,  
PHASE BEHAVIOR OF PETROLEUM RESERVOIR FLUIDS  
PRIMERA EDICIÓN EUA  
Taylor & Francis Group, 2007

WARK, K.  
THERMODYNAMICS

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	X
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con especialidad en yacimientos de hidrocarburos y experiencia de cuando menos cinco años en la industria petrolera en el área de yacimientos y/o producción. Preferentemente con estudios de posgrado.

Asignatura: **EQUIPO Y HERRAMIENTAS DE PERFORACIÓN DE POZOS**

Semestre: **4**

Créditos: **8**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

**Horas:**

**Total (horas):**

Obligatoria X  
Optativa

Teóricas 4.0  
Prácticas 0.0

Semana 4.0  
16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ingeniería de perforación de pozos

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno analizará el funcionamiento, operación y la interacción de los componentes que integran el equipo de perforación y sus aplicaciones, así mismo las herramientas para efectuar las operaciones de la perforación de pozos.

**Temario**

NÚM.	NOMBRE	Horas
1.	Introducción a la perforación de pozos	2.0
2.	Equipo de perforación	30.0
3.	Herramientas y materiales de perforación	8.0
4.	Equipo auxiliar para perforación	6.0
5.	Conceptos básicos de la perforación no convencional y sus aplicaciones	18.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Introducción**

**Objetivo:** El alumno comprenderá la caracterización, y forma de hacer un pozo petrolero así mismo la evolución de la perforación convencional y no convencional.

**Contenido:**

1.1 Breve historia de la perforación.

**2 Equipo de perforación**

**Objetivo:** El alumno analizará los componentes principales que integran los equipos de perforación rotarios y aplicará los cálculos de la capacidad de carga del equipo de perforación.

**Contenido:**

2.1 Componentes que integran el equipo de perforación

2.2 Sistemas de perforación

2.3 Clasificación de equipos de perforación

**3 Herramientas y materiales de perforación**

**Objetivo:** El alumno analizará la importancia de la selección y la aplicación de las herramientas utilizadas en el proceso de la perforación.

**Contenido:**

3.1 Barrenas

3.2 Motor de fondo

3.3 MWD, LWD, RTTS

3.4 Herramienta de pesca

3.5 Herramienta desviadora

3.6 Herramientas para la perforación marina

**4 Equipo auxiliar para perforación**

**Objetivo:** El alumno comprenderá el equipo auxiliar utilizado en la perforación de un pozo petrolero.

**Contenido:**

- 4.1 Unidad y equipo de cementación
- 4.2 Unidad de registros eléctricos
- 4.3 Barril de muestreo de núcleos
- 4.4 Equipo de apriete de tuberías de revestimiento
- 4.5 Equipos para perforar bajo balance
- 4.6 Equipos snubbing y stripping

**5 Conceptos básicos de la perforación no convencional y sus aplicaciones**

**Objetivo:** El alumno analizará los componentes principales que integran los equipos de perforación no convencional.

**Contenido:**

- 5.1 Perforación no convencional (pozos multilaterales)

**Bibliografía básica**

BORGOYNE ADAM T,  
Applied Drilling Engineering

ECONOMIDES MICHAEL J,  
Petroleum Well Construction

HARRIS L.M.,  
Deep Water Floating Drilling Operations

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO,  
Manual de Herramientas Especiales

UREN LESTER CHARLES,  
Petroleum Production Engineering

**Bibliografía complementaria**

CARL GATLIN,  
Petroleum Engineering. Drilling and well completions  
USA 1960  
Englewood Cliffs

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
		X	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado	X	Otras:	X
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

El profesor debe contar con el conocimiento y experiencia de los equipos de perforación y equipo auxiliar, así mismo las herramientas y materiales que se emplean tanto en la perforación convencional como no convencional.

## ASIGNATURAS DEL QUINTO SEMESTRE

Asignatura: **PRINCIPIOS DE MECÁNICA DE YACIMIENTOS** Semestre:5 Créditos: 8

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA** Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA** Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>	<b>Horas:</b>	<b>Total (horas):</b>
Obligatoria        X	Teóricas        4.0	Semana        4.0
Optativa	Prácticas       0.0	16 semanas   64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Propiedades de los fluidos petroleros

**Seriación obligatoria consecuente:** Comportamiento de yacimientos

**Objetivo(s) del curso:**

Aplicar los conceptos básicos de la ingeniería de yacimientos petroleros en problemas de flujo de fluidos en medios porosos y en la determinación del volumen original de aceite, así como analizar e interpretar los resultados. Aplicación de software comercial disponible. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, solución de problemas y pensamiento crítico; trabajo en equipo; expresiones oral, escrita y gráfica; así como contribuir a asumir las actitudes de disposición para la superación permanente, responsabilidad, gusto y cariño por la profesión, con el fin de lograr el Perfil del Egresado.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Determinación del volumen original de aceite	10.0
2.	Fases que intervienen en el movimiento de los fluidos	8.0
3.	Flujo de fluidos hacia los pozos	20.0
4.	Introducción a la Ingeniería de Yacimientos	6.0
5.	Conceptos Fundamentales	20.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Determinación del volumen original de aceite**

**Objetivo:** El estudiante aplicará diferentes métodos para calcular el volumen original de aceite en los yacimientos y analizará los resultados. Hará uso de software de simulación disponible.

**Contenido:**

- 1.1 Porosidad y saturaciones medias
- 1.2 Método de isopacas.
- 1.3 Método de cimmas y bases.
- 1.4 Método de isohidrocarburos
- 1.5 Breve descripción de otros métodos
- 1.6 Software disponible

**2 Fases que intervienen en el movimiento de los fluidos**

**Objetivo:** Analizar las fuerzas que intervienen en el movimiento de los fluidos del yacimiento.

**Contenido:**

- 2.1 Fuerza de presión
- 2.2 Fuerza de segregación gravitacional
- 2.3 Fuerza de viscosidad
- 2.4 Fuerza de capilaridad



## 2.5 Ecuación de Darcy

### 3 Flujo de fluidos hacia los pozos

**Objetivo:** Desarrollar y aplicar ecuaciones de flujo de una sola fase en medios porosos.

**Contenido:**

- 3.1 Ecuación de difusión
- 3.2 Soluciones de la ecuación de difusión
- 3.3 Flujo lineal y flujo radial en régimen permanente
- 3.4 Flujos en serie y en paralelo
- 3.5 Flujo multifásico en medios porosos
- 3.6 Índice de productividad de los pozos
- 3.7 Penetración parcial del pozo
- 3.8 Fenómeno de conificación
- 3.9 Efecto de fracturas hidráulicas en la productividad de los pozos
- 3.10 Flujo de fluidos en yacimientos calcáreos

### 4 Introducción a la Ingeniería de Yacimientos

**Objetivo:** El estudiante analizará las características de un objetivo de aprendizaje y será capaz de transformar una ecuación dada en un sistema de unidades, a otra ecuación en cualquier otro sistema de unidades. Así mismo, comprenderá el objetivo de la ingeniería de yacimientos.

**Contenido:**

- 4.1 Características de un objetivo de aprendizaje
- 4.2 Objetivo de la ingeniería de yacimientos
- 4.3 Símbolos, unidades y factores de conversión
- 4.4 Transformación de ecuaciones
- 4.5 Referencias del tema

### 5 Conceptos Fundamentales

**Objetivo:** El alumno aplicará las bases de la ingeniería de yacimientos y analizará diferentes clasificaciones de los mismos.

**Contenido:**

- 5.1 Definición de yacimientos
- 5.2 Diferentes clasificaciones de yacimientos
- 5.3 Clasificación de reservas
- 5.4 Límites físico y convencional de un yacimiento
- 5.5 Factores de recuperación
- 5.6 Plano equivalente o de referencia
- 5.7 Presión media de un yacimiento
- 5.8 Condiciones de abandono
- 5.9 Porosidad, saturación y otros conceptos básicos
- 5.10 Permeabilidades (absoluta, efectiva, relativa)
- 5.11 Correlaciones de  $B_o$ ,  $Z$ ,  $R_s$ , etc.
- 5.12 Expresión de conceptos mediante símbolos

#### Bibliografía básica

BRIAN F. TOWLER,  
*Fundamental principles of Reservoir engineering*  
2002  
SPE Textbook

CRAFT, B.c & Hawking , M.F.,  
*Applied Petroleum Reservoir engineering*  
1991  
Prentice-Hall

#### Bibliografía complementaria

TAREK AHMED,  
*Reservoir engineering handbook, 3rd edition*  
 2006  
 Gulf Professional Publishing

TAREK AHMED,  
*Reservoir rock properties and fluid flow*  
 2009  
 Gulf Professional Publishing

Javadpour, F. 2009. Nanopores and Apparent Permeability of Gas Flow in Mudrocks (Shales and Siltstone). *Journal of Canadian Petroleum Technology* **48** (8): 16-21. doi: 10.2118/09-08-16-da

Javadpour, F., Fisher, D., and Unsworth, M. 2007. Nanoscale Gas Flow in Shale Gas Sediments. *Journal of Canadian Petroleum Technology* **46** (10). doi: 10.2118/07-10-06

Karniadakis, G., Beskok, A., and Aluru, N. 2005. *Microflows and Nanoflows. Fundamentals and Simulation*: Springer.

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula		Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

### Forma de evaluar

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:	

### Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Ingeniero Petrolero con especialidad en yacimientos de hidrocarburos y experiencia de cuando menos 7 años en la industria petrolera en el área de yacimientos

Asignatura: **PETROFÍSICA Y REGISTROS DE POZO**

Semestre: **5**

Créditos: **9**

División: **INGENIERÍA EN  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se  
imparte: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 4.5  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 4.5  
16 semanas 72.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno conocerá y analizará las propiedades físicas de las rocas, relacionadas con los registros geofísicos; conocerá los fundamentos de medición y los diseños de las sondas de registros; adquirirá las bases para interpretarlos cualitativa y cuantitativamente y evaluar formaciones. Tendrá la capacidad de identificar las características dinámicas de las formaciones productoras basado en la interpretación de Registros de Producción. Aplicará los resultados de la caracterización de formaciones y de yacimientos.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
1.	Introducción	1.0
2.	Geología y petrofísica básica para registros geofísicos de pozo	6.5
3.	Ambiente de medición de los registros geofísicos de pozo	4.0
4.	Registros de litología, porosidad y eléctricos	20.0
5.	Técnicas de interpretación cualitativa y cuantitativa de registros geofísicos de pozos	20.0
6.	Nuevas técnicas de registros geofísicos en pozos	4.5
7.	Herramientas de registros de producción	1.5
8.	Registros de variación de presión	4.5
9.	Técnicas de interpretación de registros de presión-producción	10.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	72.0

**1 Introducción a la físico-química y termodinámica de los hidrocarburos**

**Objetivo:** El alumno conocerá lineamientos generales y alcance del curso. Generalidades de los registros en pozos y su utilidad en diferentes áreas de explotación de yacimientos.

**Contenido**

- 1.1 Objetivo y programa de la asignatura
- 1.2 Desarrollo y evaluación del curso
- 1.3 Evolución de los registros en pozos
- 1.4 Aplicación de los registros en pozos
- 1.5 Evaluación

**2 Geología y petrofísica básica para registros geofísicos de pozo**

**Objetivo:** El alumno conocerá las características geológicas y las propiedades físicas del sistema roca fluidos relacionados a los registros geofísicos de pozos.

**Contenido:**

- 2.1 Aspectos geológicos
- 2.2 Porosidad, permeabilidad y saturación de fluidos
- 2.3 Propiedades eléctricas de la roca

- 2.4 Propiedades radioactivas de la roca
- 2.5 Propiedades acústicas de la roca

### 3 Ambiente de medición de los registros geofísicos de pozo

**Objetivo:** El alumno conocerá los diferentes aspectos que conforman el ambiente por el que pasan las sondas y los efectos que tienen sobre las mediciones que realizan.

**Contenido:**

- 3.1 Diámetro y forma del agujero
- 3.2 Lodo de perforación, enjarre y filtrado
- 3.3 Temperatura
- 3.4 Características de las rocas
- 3.5 Efecto del ambiente sobre las mediciones de los registros

### 4 Registros de litología, porosidad y eléctricos

**Objetivo:** El alumno conocerá los principios de medición y los diseños de las sondas de los registros utilizados para determinar aspectos litológicos de la columna perforada, la porosidad de la formación y el tipo y grado de saturación; realizará interpretaciones de las curvas y aplicará los resultados.

**Contenido:**

- 4.1 Registro de potencial espontáneo
- 4.2 Registro de rayos gamma
- 4.3 Registros de espectroscopia y rayos gamma
- 4.4 Registro sónico de porosidad
- 4.5 Registro neutrón
- 4.6 Registro de densidad
- 4.7 Registro eléctricos convencionales
- 4.8 Registros de corriente enfocada
- 4.9 Registros de inducción
- 4.10 Bases de la interpretación cualitativa y cuantitativa de los registros en forma individual y la aplicación de resultados

### 5 Técnicas de interpretaciones cualitativa y cuantitativa de registros geofísicos de pozo

**Objetivo:** El alumno conocerá los fundamentos de las técnicas de interpretación combinada de registros, tanto las llamadas rápidas como las completas, aplicables a los diferentes tipos de formaciones; llevará a cabo interpretaciones en forma manual y utilizando paquetes de cómputo y aplicará los resultados.

**Contenido:**

- 5.1 Formaciones limpias
- 5.2 Formaciones arcillosas
- 5.3 Formaciones con litología compleja

### 6 Nuevas técnicas de registros geofísicos de pozo

**Objetivo:** El alumno conocerá en forma general las técnicas y equipos recientes de registros geofísicos de pozo, así como sus aplicaciones en la caracterización de formaciones y de yacimientos.

**Contenido:**

- 6.1 Técnica MWD durante la perforación del pozo
- 6.2 Técnica LWD durante la perforación del pozo
- 6.3 Otras técnicas de registro de pozos aplicables a la caracterización de formaciones y de yacimientos

### 7 Herramientas de registros de producción

**Objetivo:** El alumno conocerá los principios de medición y los diseños de las sondas de los registros utilizados para medir la presión, densidad y temperatura del pozo.

**Contenido:**

- 7.1 Principales componentes de la herramienta y alternativas de diseño

- de la sarta de medición
- 7.2 Calibración del sistema roca fluidos
- 7.3 Registros de presión- producción a pozo cerrado y a pozo fluyendo
- 7.4 Registrador de temperatura
- 7.5 Registro de Densidad
- 7.6 Funciones del detector de coples

## 8 Registros de variación de presión

**Objetivo:** El alumno conocerá el comportamiento de los valores de presión registrados en pozo y su análisis para la obtención de datos, para la caracterización de los yacimientos de acuerdo a la energía inherente a los yacimientos.

### Contenido:

- 8.1 Función y aplicación del registro estático por estaciones
- 8.2 Pruebas de incremento de presión
- 8.3 Pruebas de decremento de presión
- 8.4 Perfiles de presión, temperatura y densidad en el pozo
- 8.5 Análisis cualitativo de los perfiles aplicado a la identificación de zonas de importancia en la formación

## 9 Técnicas de interpretación de pruebas de presión

**Objetivo:** El alumno conocerá los principios básicos en la interpretación de los registros de presión- producción y su aplicación en la determinación de las características dinámicas de los yacimientos y las propiedades de la roca, porosidad y permeabilidad.

### Contenido:

- 9.1 Método de Horner
- 9.2 Método de MDH
- 9.3 Análisis por medio de curvas tipo
- 9.4 Análisis por medio de integración
- 9.5 Nuevas técnicas

## 10 Prácticas de campo y laboratorio de cómputo

**Objetivo:** El alumno conocerá los equipos y observará las operaciones de toma de registros en los pozos; así mismo, conocerá y aplicará paquetes de computadora para la interpretación de registros de pozos.

### Contenido:

- 10.1 Definición de los hidratos de gas
- 10.2 Condiciones de formación de los hidratos de gas
- 10.3 Importancia de los hidratos de gas en la industria

## Bibliografía básica

ARROYO CARRASCO, F. A.  
*Bases Teóricas de la Interpretación de Registros Geofísicos de Pozos*  
 México  
 Facultad de Ingeniería, UNAM, 1985

BASSIOUNI, Z.  
*Theory, Measurement and Interpretation of Well Logs*  
 Tulsa, OK  
 SPE Textbook Series 4, 1994

DEWAN, J.T.  
*Essentials of Modern Openhole Log Interpretation*  
 Tulsa, OK  
 PennWell Publishing Company, 1983

HEARST, J.R., NELSON, P.H. y PAILLET, F.L.

*Well Logging for Physical Properties*  
New York  
John Wiley and Sons, 2000

#### **Bibliografía complementaria**

BATEMAN, R.M.  
*Open-Hole Log Analysis and Formation Evaluation*  
Boston  
International Human Resources Development Corporation, 1985

COATES, G.L. et al  
*NMR Logging. Principles and Applications*  
Halliburton Energy Services – Gulf Publishing Company, 1999

ELLIS, D.V.  
*Well Logging for Earth Scientists*  
Amsterdam  
Elsevier, 1987

GRAIN, E.R.  
*Log Analysis Handbook*  
Penn Well Publishing Company, 1986

HELANDER, D.P.  
*Fundamentals of Formation Evaluation*  
Tulsa, OK  
OGCI Publications, 1992

MAVKO, G. et al  
*The Rock Physics Handbook*  
Cambridge  
Cambridge University Press, 1998

PIRSON, S.J.  
*Geologic Well Log Analysis*  
Gulf Publishing Company, 1983

SCHLUMBERGER  
*Principios/Aplicaciones de la Interpretación de Registros*  
México  
MCA Marketing, 1989

SCHLUMBERGER, HALLIBURTON, BAKER ATLAS  
*Log Interpretation Charts*  
2000

SPWLA  
*Borehole Imaging*  
SPWLA, 1990  
Reprint Series

SPWLA  
*Measurement While Drilling*  
SPWLA, 1993  
Reprint Series

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	X
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

### Forma de evaluar

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:	

### Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Profesionales en el área de Petrofísica y Registros Geofísicos de Pozo.

Asignatura: **INGENIERÍA DE PERFORACIÓN DE POZOS** Semestre: **5** Créditos: **10**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA** Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA** Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>		<b>Horas:</b>		<b>Total (horas):</b>	
Obligatoria	X	Teóricas	4.0	Semana	6.0
Optativa		Prácticas	2.0	16 semanas	96.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Equipo y herramientas de perforación de pozos

**Seriación obligatoria consecuente:** Perforación no convencional

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno determinará y calculará las presiones de formación y de fractura y obtendrá de acuerdo a la información anterior la ventana operacional en la perforación, será capaz de calcular y diseñar tuberías de perforación, de revestimiento para determinar los asentamientos de éstas últimas, efectuará el diseño completo de la cementación de tuberías y comprenderá su importancia. El alumno calculará y optimizará la hidráulica de la perforación de pozos y adquirirá el conocimiento del control de pozos y la importancia de estos. Al finalizar será capaz de efectuar la elaboración del programa de perforación.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Detección de geopresiones	10.0
2.	Diseño de tuberías de perforación y revestimiento	18.0
3.	Optimización de la perforación	08.0
4.	Diseño de la lechada de cemento y operaciones de cementación de pozos	10.0
5.	Control de pozos	12.0
6.	Elaboración del programa de perforación	6.0
	Prácticas de Laboratorio	32.0
	Total (horas)	96.0

**1 Introducción**

**Objetivo:** El alumno determinará presiones de formación y de fractura, de acuerdo a la información de registros o de pozos de correlación, será capaz de determinar los asentamientos de tuberías de revestimiento y comprenderá su importancia.

**Contenido:**

- 1.1 Presiones de formación
- 1.2 Presiones de fractura
- 1.3 Asentamiento de tuberías de revestimiento

**2 Diseño de tuberías de perforación y revestimiento**

**Objetivo:** El alumno diseñará bajo criterio uniaxial y biaxial las diferentes tuberías de perforación y de revestimiento que constituyen un pozo petrolero y comprobará la viabilidad de sus diseños utilizando criterios de esfuerzos triaxiales.

**Contenido:**

- 2.1 Diseño de tuberías de perforación
- 2.2 Diseño de tuberías de revestimiento

**3 Optimización de la perforación**

**Objetivo:** El alumno analizará los fenómenos físicos que influyen en la hidráulica y la optimización de la perforación y comprenderá su importancia.

**Contenido:**

- 3.1 Componentes del Sistema Hidráulico
- 3.2 Cálculo de la hidráulica durante la perforación
- 3.3 Optimización de la perforación



**4 Diseño de la lechada de cemento y operaciones de cementación de pozos**

**Objetivo:** El alumno diseñará las lechadas de cemento y calculará las cementaciones correspondientes de las operaciones de cementación de las tuberías de revestimiento. Determinará el mejor diseño a realizar en función de las presiones de formación y fractura.

**Contenido:**

- 4.1 Diseño de lechadas y calculo una de cementación
- 4.2 Distribución de los equipos de cementación en la localización
- 4.3 Operaciones de cementación de pozos

**5 Control de pozos**

**Objetivo:** El alumno entenderá los fenómenos físicos que intervienen en los brotes y descontrolos de pozos, será capaz de calcularlos y controlarlos.

**Contenido:**

- 5.1 Control de pozos
- 5.2 Métodos de control de pozos
- 5.3 Procesos para restablecer las condiciones normales de un pozo descontrolado.

**6 Elaboración del programa de perforación**

**Objetivo:** El alumno con los conocimientos adquiridos en esta materia, elaborará un programa de perforación de un pozo real.

**Contenido:**

- 6.1 Elaboración del programa

**Bibliografía básica**

ADAMS NEAL,  
*Well Control Problems and Solutions*

BORGOYNE ADAM T,  
*Applied Drilling Engineering*

CERVANTES ORTIZ LEONARDO JAVIER,  
*Tesis. Barrenas Ticomónicas para la perforación de Pozos*  
UNAM, Facultad de Ingeniería México D.F, 1984.

ECONOMIDES MICHAEL J,  
*Petroleum Well Construction*

GARAICOCHA PETRIRENA. FRANCISCO, *Temas Selectos sobre Cementaciones de Pozos* UNAM,  
Facultad de Ingeniería

HALLIBURTON,  
*Cementing Tables. English/Metric*  
1995

HARRIS L.M,  
*Deep Water Floating Drilling Operations*

HUGHES TOOL COMPANY,  
*Catálogo de Barrenas*  
Houston Texas 1965

HUGHES TOOL COMPANY, *Manual de Barrenas. Tri-cone* USA

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO,  
*Diseño e Integración de un modelo a escala real para el*

*adiestramiento en la detección y control*  
1983

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO, *Procedimiento Semi-Automático para el cálculo de geopresiones y gradientes de fractura.*  
1982

INSTITUTO MEXICANO DEL PETRÓLEO,  
*Control de Brotes en Perforación de Pozos, Manual del curso*

### **Bibliografía complementaria**

CARL GATLIN,  
*Petroleum Engineering. Drilling and well completions*  
Englewood Cliffs, N.J. USA, 1960  
Prentice-hall, Inc.

DEVEREUX STEVE,  
*Casing Design*  
Drilling Research Institute 2003

ECONOMICES MICHAEL J,  
*Petroleum Well Construction*  
1988.  
John Wiley and Sons

HYDRILL.  
*Well design.*

RAHMAN S.S.,  
*Casing Design Theory and Practice*  
Elsevier, 1995

### **Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	X
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

### **Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

### **Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con conocimientos amplios y experiencia mínima de cinco años en campo en el área de perforación de pozos. Preferentemente con estudios de posgrado.

Asignatura: **BOMBEO Y COMPRESIÓN DE  
HIDROCARBUROS**

Semestre: **5**    Créditos: **8**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte:  
**INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>		<b>Horas:</b>		<b>Total (horas):</b>	
Obligatoria	X	Teóricas	4.0	Semana	4.0
Optativa		Prácticas	0.0	16 semanas	64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno identificará los principios subyacentes al funcionamiento de equipos industriales de vapor, motores reciprocantes de combustión interna, turbinas, bombas hidráulicas, neumáticos y compresores. Plantear soluciones a problemas relacionados con la utilización de dichos equipos.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción	1.0
2.	Motores reciprocantes de combustión interna	6.0
3.	Turbinas de gas	6.0
4.	Bombas	12.0
5.	Compresores	15.0
6.	Motores hidráulicos	12.0
7.	Motores neumáticos	12.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Introducción**

**Objetivo:** El alumno conocerá la importancia del bombeo y la compresión de hidrocarburos en la industria petrolera.

**Contenido:**

- 1.1 La importancia del bombeo y la compresión de hidrocarburos en la industria petrolera

**2 Motores reciprocantes de combustión interna**

**Objetivo:** El alumno identificará y analizará las funciones, las características y el comportamiento de los motores de combustión interna..

**Contenido:**

- 2.1 Motores reciprocantes
- 2.2 Ciclo Otto (2 y 4 tiempos)
- 2.3 Ciclo Diesel (2 y 4 tiempos)
- 2.4 Parámetros de la máquina
- 2.5 Problemas
- 2.6 Motor rotatorio (Wankel)
- 2.7 Combustibles (mezclas reactivas)

**3 Turbinas de gas**

**Objetivo:** El alumno identificará las funciones, características y el comportamiento de las turbinas de gas.

**Contenido:**

- 3.1 Ciclo de Brayton
- 3.2 Componentes
- 3.3 Problemas
- 3.4 Plantas estacionarias
- 3.5 Ciclo combinados
- 3.6 Problemas

**4 Bombas**

**Objetivo:** El alumno identificará y analizará las funciones, características y el comportamiento de las

bombas

**Contenido:**

- 4.1 Ecuaciones básicas
- 4.2 Red hidráulica elemental (accesorios)
- 4.3 Análisis gráfica gasto-carga
- 4.4 Fluidos de trabajo (caracterización)
- 4.5 Bombas de desplazamiento continuo
- 4.6 Bombas centrífugas
- 4.7 Problemas de redes

**5 Compresores**

**Objetivo:** El alumno identificará y analizará las funciones, características y el comportamiento de los compresores.

**Contenido:**

- 5.1 Diagramas P-V T-S
- 5.2 Tipos de compresores
- 5.3 Proceso de compresión

**6 Motores hidráulicos**

**Objetivo:** El alumno identificará y analizará las funciones, características y el comportamiento de los motores hidráulicos.

**Contenido:**

- 6.1 Principios básicos de la hidráulica industrial
- 6.2 Redes hidráulicas (componentes)
- 6.3 Tipos de motores hidráulicos
- 6.4 Comparación entre las transmisiones hidrostáticas y las puramente mecánicas.
- 6.5 Turbina hidráulica
- 6.6 Problemas

**7 Motores neumáticos**

**Objetivo:** El alumno identificará y analizará las funciones, características y el comportamiento de los motores neumáticos.

**Contenido:**

- 7.1 Principios básicos de la neumática industrial (analogía con los sistemas hidráulicos)
- 7.2 Redes neumáticas (componentes)
- 7.3 Tipos de motores neumáticos

**Bibliografía básica**

GREENE, R. W.  
Compresores: selección, uso y mantenimiento  
México, 1989  
McGraw-Hill

LANA, S. I  
Hidráulica, motores hidráulicos, bombas  
España, 1976  
Labor

SOTELO ÁVILA G.,  
Hidráulica  
México, 1971  
Facultad de Ingeniería, UNAM

VIVIER, L.  
Turbinas de vapor y gas

Bilbao, 1968  
URMO

### **Bibliografía complementaria**

WALKER, R.  
Pump selection; a consulting engineers manual  
Ann Harbor, 1972  
Ann Harbor Science

### **Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
		X	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	X
Uso de plataformas educativas			

### **Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	X

### **Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero o Mecánico con experiencia en el área de al menos siete años. Preferentemente con maestría.

## ASIGNATURAS DEL SEXTO SEMESTRE

Asignatura: **PRODUCTIVIDAD DE POZOS**

Semestre: **6**

Créditos: **9**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte:  
**INGENIERÍA  
PETROLERA**

### Asignatura:

Obligatoria X  
Optativa

### Horas:

Teóricas 4.5  
Prácticas 0.0

### Total (horas):

Semana 4.5  
16 semanas 72.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

### Objetivo(s) del curso:

El alumno conocerá y aplicará los fundamentos, para mejorar el diseño y la operación de pozos, ductos y redes de recolección.

NUM.	Temario Nombre	Horas
1.	Introducción a la ingeniería de producción	4.5
2.	Comportamiento de afluencia	18.0
3.	Factor de daño y su relación con comportamiento de afluencia	9.0
4.	Curvas de declinación	9.0
5.	Registros de producción	9.0
6.	Análisis integral del pozo	22.5
7.	Total (horas)	72.0

#### 1 **Introducción a la ingeniería de producción**

**Objetivo:** Conocer los fundamentos de la ingeniería de producción.

##### **Contenido:**

- 1.1 Funciones del ingeniero de producción
- 1.2 Descripción de sistemas de producción en campos de aceite
- 1.3 Descripción de sistemas de producción en campos de gas
- 1.4 Descripción de sistemas de producción costafuera
- 1.5 Análisis de Curvas de Gradiente
- 1.6 Comportamiento de Fases de Fluidos del Yacimiento y Superficiales
- 1.7 Productividad de Pozos
- 1.8 Optimización de la producción

#### 2 **Comportamiento de afluencia**

**Objetivo:** Conocer y aplicar los métodos para calcular el IPR actual y futuro de un pozo con datos de campo.

##### **Contenido:**

- 2.1 Comportamiento de afluencia
  - 2.1.1 Soluciones de la ecuación de difusión
    - 2.1.1.1 Geometría de flujo
    - 2.1.1.2 Flujo Transitorio
    - 2.1.1.3 Flujo Pseudo – Estacionario.
  - 2.1.2 Pozos en yacimientos de aceite bajosaturado
    - 2.1.2.1 Índice de Productividad

- 2.1.2.2 Eficiencia de flujo
- 2.1.2.3 Potencial del pozo.
- 2.1.3 Pozos en yacimientos de aceite saturado
  - 2.1.3.1 Curvas de IPR
  - 2.1.3.2 Índice de Productividad Variable
  - 2.1.3.3 Método de Análisis Convencional
- 2.1.4 Pozos en yacimientos de gas
  - 2.1.4.1 Pruebas de potencial
    - 2.1.4.1.1 Propiedades del gas
    - 2.1.4.1.2 Cálculo de Pseudo - Presión
  - 2.1.4.2 Pruebas Convencionales
  - 2.1.4.3 Pruebas Isocronales
  - 2.1.4.4 Pruebas Isocronales Modificadas
  - 2.1.4.5 Pruebas Isocronales en Pozos de Aceite
- 2.1.5 Curvas IPR considerando “multi-layer” y “crossflow effects”
- 2.1.6 Pozos con daño
- 2.2 Comportamiento de afluencia futura
- 2.3 Flujos Laminar y No- Laminar
  - 2.3.1 Flujo No – Darciano.
  - 2.3.2 Régimen de Flujo
    - 2.3.2.1 Magnitud y efectos Visco – Inerciales.
    - 2.3.2.2 Coeficiente Inercial
- 2.4 Pruebas en pozos
- 2.5 Aplicaciones prácticas con software comercial

### 3 Factor de daño y su relación con comportamiento de afluencia

**Objetivo:** Conocer las componentes del daño a la formación, los métodos para evaluarlas y determinar su efecto sobre la productividad del pozo.

**Contenido:**

- 3.1 Factores que provocan daño
- 3.2 Flujo restringido
- 3.3 Alta velocidad de flujo
- 3.4 Flujo a Través de los disparos
- 3.5 Inclinación de pozos
- 3.6 Efecto de fracturas
- 3.7 Factor de daño compuesto
- 3.8 Obtención del factor de daño a partir de pruebas de variación de presión
- 3.9 Análisis de las componentes del factor de daño (factores de pseudodaño)
- 3.10 Efecto del factor de daño sobre el comportamiento de afluencia del pozo

### 4 Curvas de declinación

**Objetivo:** El alumno comprenderá y aplicará en pronósticos sencillos de producción, las curvas de declinación

**Contenido:**

- 4.1 Declinación transitoria
- 4.2 Declinación en estado Pseudo – Estacionario.
  - 4.2.1 Declinación exponencial
  - 4.2.2 Declinación hiperbólica
  - 4.2.3 Declinación armónica
- 4.3 Variables adimensionales
- 4.4 Ajuste por curvas tipo
- 4.5 Estrategias de producción

### 5 Registros de producción

**Objetivo:** Conocer y aplicar los principios de operación y métodos de evaluación de los registros de producción en la evaluación del comportamiento productivo de los pozos.

**Contenido:**

- 5.1 Registros de presión
- 5.2 Registros de temperatura
- 5.3 Registros de gasto a condiciones de pozo
- 5.4 Registros de producción en pozos horizontales y desviados
- 5.5 Combinación de registros
- 5.6 Aplicaciones prácticas con software comercial

**6 Análisis integral del pozo**

Objetivo: Conocer la metodología del Análisis Nodal y realizar análisis nodales sencillos de pozos petroleros.

Contenido:

- 6.1 El sistema integral del pozo
- 6.2 Importancia de la caracterización del fluido y el efecto de la temperatura
- 6.3 Flujo en el yacimiento
  - 6.3.1 Identificación de Rutas preferenciales de flujo
- 6.4 Flujo en la tubería de producción
  - 6.4.1 Flujo dinámico en el Tubing, Divergente y convergente
  - 6.4.2 Efecto de las terminaciones parciales en el gasto de producción
  - 6.4.3 Efecto de la perforación de nuevos pozos, de reparaciones, sistemas artificiales
- 6.5 Flujo en la línea de descarga
- 6.6 Flujo en el estrangulador
- 6.7 Metodología del análisis nodal
- 6.8 Selección y ajuste de métodos de solución para cada elemento
- 6.9 Optimización del sistema
- 6.10 Aplicaciones prácticas con software comercial
  - 6.10.1 Diseño de ductos
  - 6.10.2 Pozos de aceite
  - 6.10.3 Pozos de gas
  - 6.10.4 Pozos con sistemas artificiales de producción
- 6.11 Análisis nodal de pozos con sistema artificial: bombeo neumático, mecánico, etc.
- 6.12 Análisis nodal de pozos verticales, desviados y horizontales

**Bibliografía Básica**

Jetzabeth Ramírez-Sabag, Gerardo Villajuana y Roberto Tavares  
Productividad de Pozos  
Editado por la facultad de Ingeniería UNAM  
2008, 470 pp

Jetzabeth Ramírez-Sabag  
Matemáticas aplicadas a la Ingeniería Petrolera  
Reverté Ediciones  
2012

BEGGS, H. D.  
Production optimization using nodal analysis  
Tulsa  
OGCI, 1991

BEGGS, H. D.  
Gas production operations



Tulsa  
OGCI , 1984

ARNOLD, K. , STEWART, M. Surface production operations Houston  
Gulf, 1988  
2 vols.

GOLAN, M. , WHITSON, C. H.  
Well performance  
New Jersey  
Prentice Hall, 1991

ALLEN, O. T., ROBERTS, A. P.  
Production operations

Norman

OGCI, 1979  
2 vols.

**Bibliografía complementaria:**

ECONOMIDES, H.  
Petroleum production systems  
Tulsa  
Pennwell, 1994

CHILINGARIAN, G.  
Surface operations in petroleum production  
New York  
Elsevier, 1969

<http://www.petroskills.com/courseDetails.aspx?courseId>

Asignatura: **CARACTERIZACION ESTATICA DE YACIMIENTOS**

Semestre: **6** Créditos: **8**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X

Optativa

**Horas:**

Teóricas 4.0

Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 4.0

16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Petrofísica y registros de pozos

**Seriación obligatoria consecuente:** Caracterización dinámica de yacimientos

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno analizará y comprenderá la importancia de la caracterización estática de yacimientos para lograr su explotación óptima; así mismo, describirá las técnicas, directas e indirectas, para determinar, cualitativa y cuantitativamente, las características y propiedades geológicas y petrofísicas más importantes de los yacimientos y conocerá los procedimientos de aplicación para llevar a cabo la caracterización estática.

### Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción	4.0
2.	Caracterización Geológica de Yacimientos	22.0
3.	Caracterización Petrofísica de Yacimientos	26.0
4.	Caracterización Integrada de Yacimientos	12.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

#### 1 Introducción

**Objetivo:** El alumno explicará el significado, los alcances y la importancia de la caracterización estática de yacimientos

**Contenido:**

- 1.1 Significado de la caracterización estática de yacimientos y su relación con otras áreas de ingeniería petrolera, principalmente con yacimientos.
- 1.2 Parámetros necesarios para la caracterización estática de yacimientos.
- 1.3 Importancia de la caracterización estática de yacimientos para poder llevar a cabo su correcta explotación.

#### 2 Caracterización Geológica de Yacimientos

**Objetivo:** El alumno describirá los aspectos geológicos que se requieren para caracterizar un yacimiento, conocerá las técnicas para obtenerlos así como para aplicarlos en trabajos de caracterización estática.

**Contenido:**

- 2.1 Aspectos geológicos que caracterizan un yacimiento.
- 2.2 Fuentes de información geológica y sísmica
- 2.3 Determinación de aspectos sedimentológicos, estratigráficos y estructurales para sedimentos terrígenos y carbonatados con datos geológicos y sísmicos.
- 2.4 Presentación y análisis de resultados de una caracterización geológica.
- 2.5 Ejemplos de caracterización geológica de yacimientos en terrígenos y en carbonatos.

#### 3 Caracterización Petrofísica de Yacimientos

**Objetivo:** El alumno describirá las propiedades petrofísicas que se requieren para caracterizar un yacimiento, conocerá técnicas de obtención, directa e indirectamente, así como los procedimientos para procesarlas y aplicarlas en trabajos de caracterización estática.

**Contenido:**

- 3.1 Ejemplos de caracterización geológica de yacimientos en terrígenos y en carbonatos.
- 3.2 Fuentes de información y procedimientos de laboratorio para la caracterización directa por análisis de núcleos y PVT de fluidos.

- 3.3 Fuentes de información y procedimientos para la caracterización indirecta por interpretación de registros geofísicos de pozo y de datos sísmicos.
- 3.4 Caracterización petrofísica de yacimientos en rocas terrígenas y carbonatadas por combinación de datos de análisis de núcleos y fluidos, registros geofísicos de pozo y sísmica.
- 3.5 Presentación y análisis de resultados de una caracterización petrofísica.
- 3.6 Ejemplos de caracterización petrofísica de yacimientos en rocas terrígenas y carbonatadas.

#### 4 Caracterización Integrada de Yacimientos

**Objetivo:** El alumno describirá las técnicas para caracterizar estáticamente un yacimiento combinando la información geológico-sísmica y la petrofísica.

**Contenido:**

- 4.1 Información básica
- 4.2 Determinación detallada del modelo geológico-sísmico básico para yacimientos en rocas terrígenas y carbonatadas
- 4.3 Determinación detallada del modelo petrofísico básico para yacimientos en rocas terrígenas y carbonatadas
- 4.4 Integración de los modelos geológico-sísmico y petrofísico para yacimientos en rocas terrígenas y carbonatadas.
- 4.5 Ejemplos de caracterización estática integrada de yacimientos.

#### Bibliografía básica

AMYX J. W. ET AL.,  
Petroleum Reservoir Engineering Physical Properties  
AMYX J. W. et al. USA, 1960.  
McGraw Hill Book Co.,

DICKEY .P.A.,  
Petroleum Development Geology  
USA, 1981  
Penn Well Books

LAKE L. AND CARROL JR. B.H.,  
Reservoir Characterization  
USA, 1988. Academic Press. Inc

LUCIA F.J.,  
Carbonate Reservoir Characterization  
Germany, 1999.  
Springer Verlag Berlin Heidelberg,

#### Bibliografía complementaria

ANDERSON, G.  
Core and Core analysis Petroleum  
USA 1975. Publishing Co.,

DJEBBAR TIAB, Erle C. Donalson  
Petrophysics Theory and Practice of Measuring Reservoir  
Rock and Fluid Transport Properties.

GADALLAH, M.  
Reservoir Seismology: Geophysics in Nontechnical Language  
USA 1993.  
Penn Well Books

MCCAIN, William.  
 The Properties of Petroleum Fluids.  
 E.U.A. 1990.  
 The Penn Well Books

RICHARD A. SCHATZINGER, John F. Jordan  
 Reservoir Characterization Recent advances USA 1999  
 AAPG

STANDING, M.b.  
 Volumetric and Phase Behavior of Oil. Fiekt Hydrocarbon  
 Systems. E.U.A. 1977. SPE of AIME

Curtis, J.B. 2002. Fractured Shale-Gas Systems. AAPG Bulletin 86 (11): 1921-1938: 10.1306/61eeddb-173e-11d7-8645000102c1865d  
 Sondergeld, C.H., Newsham, K.E., Comisky, J.T. et al. 2010. Petrophysical Considerations in Evaluating and Producing Shale Gas Resources. Paper Society of Petroleum Engineers SPE-131768-MS presented at the SPE Unconventional Gas Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 23-25 February 2010 10.2118/131768-  
 ms

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	X
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

### Forma de evaluar

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

### Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Ingeniero Petrolero con especialidad en caracterización estática de yacimientos de hidrocarburos y experiencia de cuando menos 5 años en la industria petrolera, en el área de yacimientos.

Asignatura: **PERFORACIÓN NO CONVENCIONAL**

Semestre: **6** Créditos: **12**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte:  
**INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 6.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 6.0  
16 semanas 96.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ingeniería de perforación de pozos

**Seriación obligatoria consecuente:** Terminación y mantenimiento de pozos

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno entenderá las técnicas de perforación no convencional de un pozo petrolero tanto terrestre como marino.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Perforación direccional	14.0
2.	Perforación horizontal	12.0
3.	Perforación con tubería flexible	11.0
4.	Perforación de bajo balance	12.0
5.	Perforación multilateral	13.0
6.	Perforación de diámetro reducido	9.0
7.	Perforación de alcance extendido	10.0
8.	Perforación en aguas profundas	10.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	96.0

**1 Perforación direccional**

**Objetivo:** El entenderá el concepto de perforación direccional, sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en la industria.

**Contenido:**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Definición y aplicaciones de la perforación direccional de pozos
- 1.3 Planeación y cálculo de la trayectoria del pozo
- 1.4 Instrumentos empleados para determinar la inclinación y dirección del pozo
- 1.5 Evaluación de la trayectoria del pozo
- 1.6 Técnicas y herramientas para cambio de inclinación y dirección del pozo
- 1.7 Diseño de aparejos de fondo
- 1.8 Problemas durante la perforación de pozos direccionales
- 1.9 Consideraciones especiales en el diseño de pozos direccionales

**2 Perforación horizontal**

**Objetivo:** El entenderá el concepto de perforación horizontal, sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en la industria.

**Contenido:**

- 2.1 Importancia de la perforación Horizontal
- 2.2 Aplicaciones
- 2.3 Métodos de perforación horizontal
- 2.4 Planeación de la sarta de perforación
- 2.5 Diseño del aparejo de fondo
- 2.6 Diseño de la trayectoria de la sección de incremento de un pozo horizontal
- 2.7 Problemas de la perforación de pozos horizontales
- 2.8 Consideraciones especiales en el diseño de pozos horizontales

- 3 Perforación con tubería flexible**  
**Objetivo:** El entenderá el concepto de perforación con tubería flexible, sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en la industria.  
**Contenido:**
- 3.1 Fabricación de la tubería flexible
  - 3.2 Vida útil de la tubería flexible
  - 3.3 Esfuerzos a los que se somete la tubería flexible
  - 3.4 Perforación con Tubería Flexible
- 4 Perforación de bajo balance**  
**Objetivo:** El entenderá el concepto de perforar bajo balance, sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en la industria.  
**Contenido:**
- 4.1 Conceptos básicos
  - 4.2 Sistemas de Fluidos de Perforación
  - 4.3 Técnica de perforación bajo balance
  - 4.4 Control de pozos
  - 4.5 Planeación y diseño para operaciones de perforación bajo balance
- 5 Perforación multilateral**  
**Objetivo:** El entenderá el concepto de perforación multilateral, sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en la industria.  
**Contenido:**
- 5.1 Importancia de la perforación de pozos multilaterales
  - 5.2 Criterios para definir la perforación de pozos multilaterales
  - 5.3 Características del Yacimiento
  - 5.4 Diseño del pozo y limitaciones en la perforación
- 6 Perforación de diámetro reducido**  
**Objetivo:** El entenderá el concepto de perforación de diámetro reducido, sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en la industria.  
**Contenido:**
- 6.1 Introducción
  - 6.2 Diseño de sartas
  - 6.3 Barrenas
  - 6.4 Hidráulica
  - 6.5 Terminación y reparaciones
- 7 Perforación de alcance extendido**  
**Objetivo:** El entenderá el concepto de perforación de alcance extendido, sus ventajas y desventajas, así como su aplicación en la industria.  
**Contenido:**
- 7.1 Importancia de la perforación de alcance extendido
  - 7.2 Fluidos de perforación
  - 7.3 Evaluación de las zonas a atravesar
  - 7.4 Geometría del pozo
  - 7.5 Diseño de tubería de revestimiento
  - 7.6 Cementaciones de tuberías de revestimiento
  - 7.7 Selección del equipo
- 8 Perforación en aguas profundas**  
**Objetivo:** El entenderá los conceptos generales de la perforación de pozos en aguas profundas.  
**Contenido:**
- 8.1 Ubicación
  - 8.2 Situación Estructural
  - 8.3 Profundidad total y de objetivos
  - 8.4 Información estimada del Yacimiento
  - 8.5 Programa registro continuo de Hidrocarburos

- 8.6 Programa de muestreo
- 8.7 Pruebas de Producción
- 8.8 Geopresiones y asentamiento de Tuberías de Revestimiento
- 8.9 Estado Mecánico programado y características de la geometría del pozo
- 8.10 Estimación del gradiente geotérmico
- 8.11 Proyecto direccional
- 8.12 Programa de barrenas e Hidráulica
- 8.13 Aparejos de fondo y diseño de sartas
- 8.14 Programa de registros por etapa
- 8.15 Programa de tuberías de revestimiento

### Bibliografía complementaria

ARAIZA, De La Rosa. Gabriela  
*Tesis. Tecnología de perforación con tubería de producción*  
 y tubería de revestimiento  
 México D.F. 2001  
 UNAM

MAURER ENGINEERING,  
*Slim-Hole and Coiled and Evaluate. Vol.2*  
 Houston Texas

MAURER ENGINEERING,  
*Slim-Hole and Coiled and Evaluate. Vol.3*  
 Houston Texas

MAURER ENGINEERING,  
*Slim-Hole and Coiled and Evaluate. Vol.1*  
 Houston Texas 1992

MAURER ENGINEERING, *Tubular mechanics models* Houston Texas 1994

MAURER ENGINEERING,  
*Tecnología de tubería flexible. Manual de entrenamiento*  
 Houston Texas

QUALITY TUBING,  
*Headquarters and Manufacturing Plant*  
 Houston Texas 1997

RIBEIRO, Plácido. João Carlos  
*Development of a predictive drill pipe fatigue model and*  
 Experimental verification  
 1994  
 The University of Tulsa

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
		X	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con experiencia comprobable en trabajos de perforación de cuando menos siete años, con conocimientos de perforación tanto terrestre como marina.



Asignatura: **COMPORTAMIENTO DE YACIMIENTOS**

Semestre: **6**

Créditos: **12**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte:  
**INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 6.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 6.0  
16 semanas 96.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Principios de mecánica de yacimientos

**Seriación obligatoria consecuente:** Recuperación secundaria y mejorada

**Objetivo(s) del curso:**

Conocer el comportamiento general de los diferentes tipos de yacimientos petroleros, así como algunas de las técnicas utilizadas para predecir su comportamiento primario y optimizar la recuperación de hidrocarburos. Aplicar los conocimientos adquiridos en la elaboración de aplicaciones de cómputo, desarrolladas en VB, C++ o Fortran; para obtener parámetros de los yacimientos mediante la Ecuación General de Balance de Materia. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, solución de problemas y pensamiento crítico; trabajo en equipo; expresiones oral, escrita y gráfica; así como contribuir a asumir las actitudes de disposición para la superación permanente, responsabilidad, gusto y cariño por la profesión, con el fin de lograr el Perfil del Egresado.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción al comportamiento de yacimientos	10.0
2.	Mecanismos de desplazamientos de fluidos en el yacimiento	16.0
3.	Ecuación general de balance de materia	20.0
4.	Evaluación de la entrada natural de agua	16.0
5.	Predicción del comportamiento primario de yacimientos	16.0
6.	Optimización de la producción de hidrocarburos mediante la explotación primaria de los hidrocarburos	10.0
7.	Introducción a los proyectos de recuperación secundaria y mejorada	8.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	96.0

**1 Introducción al Comportamiento de Yacimientos**

**Objetivo:** El estudiante analizará el significado y la importancia del estudio del comportamiento de yacimientos.

**Contenido:**

- 1.1 Fundamentos de la mecánica de yacimientos
- 1.2 Construcción y significado de un diagrama de fases dinámica.
- 1.3 Clasificación de los yacimientos de fluidos
- 1.4 Definición del comportamiento de yacimientos y la historia de producción
- 1.5 Importancia de la predicción del comportamiento de yacimientos

**2 Mecanismos de desplazamientos de fluidos en el yacimiento**

**Objetivo:** El estudiante analizará los principales mecanismos causantes del desplazamiento de fluidos en los yacimientos petroleros.

**Contenido:**

- 2.1 Procesos de desplazamiento
- 2.2 Empuje por la expansión de la roca y los fluidos
- 2.3 Empuje por la expansión del gas disuelto liberado
- 2.4 Empuje por la expansión del gas libre en un casquete
- 2.5 Empuje por efecto de un acuífero asociado

- 2.7 Empuje por combinación de mecanismos
- 2.8 Compresibilidad de los componentes de la formación

### 3 Ecuación general de balance de materia

**Objetivo:** El estudiante analizará los principios y consideraciones utilizados en el desarrollo de la ecuación de balance de materia. Asimismo, realizará un balance volumétrico de los fluidos del yacimiento al iniciar su explotación y al terminar un período de producción.

**Contenido:**

- 3.1 Conceptos fundamentales del balance volumétrico de fluidos en los yacimientos
- 3.2 Consideraciones
- 3.3 Desarrollo de la ecuación general de balance de materia para yacimientos de aceite
- 3.4 Desarrollo de la ecuación general de balance de materia para yacimientos de gas
- 3.5 Información requerida para conformar un modelo de balance volumétrico
- 3.6 Ecuación de balance en forma de recta
- 3.7 Índices de empuje
- 3.8 Algunas aplicaciones de la EGBM

### 4 Evaluación de la entrada natural de agua

**Objetivo:** El estudiante definirá los tipos de acuíferos asociados a los yacimientos petroleros y evaluará la magnitud de su aportación.

**Contenido:**

- 4.1 Clasificación de los acuíferos
- 4.2 Modelos para determinar la entrada acumulativa de agua al yacimiento
- 4.3 Evaluación del empuje hidráulico
- 4.4 Determinación de la ecuación que representa la entrada de agua en el yacimiento

### 5 Predicción del comportamiento primario de yacimientos

**Objetivo:** El estudiante aplicará diferentes métodos de predicción para evaluar el comportamiento primario de los distintos tipos de yacimientos petroleros.

**Contenido:**

- 5.1 Ecuaciones usadas en la predicción del comportamiento de los yacimientos
- 5.2 Predicción del comportamiento de balance de materia para yacimientos de aceite bajosaturado
- 5.3 Predicción del comportamiento de balance de materia para yacimientos de aceite saturado
- 5.4 Predicción del comportamiento de balance de materia para yacimientos de gas
- 5.5 Predicción del comportamiento de balance de materia para yacimientos de gas y condensado
- 5.6 Análisis de curvas de declinación
- 5.7 Desarrollo de aplicaciones para la predicción del comportamiento de los yacimientos
- 5.8 Herramientas de cómputo comerciales

### 6 Optimización de la producción de hidrocarburos mediante la explotación primaria de los hidrocarburos

**Objetivo:** El estudiante analizará los fenómenos de conificación y canalización de fluidos en el yacimiento, así como el de gasto óptimo de producción; relacionándolos con las condiciones económicas y la historia de producción para explicar las condiciones de abandono de los yacimientos.

**Contenido:**

- 6.1 Conificación y canalización de fluidos en el yacimiento
- 6.2 Gasto óptimo de producción
- 6.3 Condiciones de abandono de los yacimientos

### 7 Introducción a los proyectos de recuperación secundaria y mejorada

**Objetivo:** El estudiante describirá los tipos de proyectos de recuperación de acuerdo a sus objetivos e desplazamiento de los fluidos en el yacimiento.

**Contenido:**

- 7.1 Características de los proyectos de recuperación secundaria
- 7.2 Ecuación empírica de

Arps

y parámetros que se obtienen

**7.2** Características de los proyectos de recuperación mejorada

**7.3** Desplazamiento inmisible de fluidos en el yacimiento

**7.4** Efectos de los fenómenos interfaciales

### **Bibliografía básica**

AHMED, T.h.  
RESERVOIR ENGINEERING HANDBOOK  
SEGUNDA EDICIÓN USA  
Elsevier Inc. , 2010

CRAFT, B.c., Y HAWKINS, M.f.  
APPLIED PETROLEUM RESERVOIR ENGINEERING  
SEGUNDA EDICIÓN USA  
Prentice-Hall Inc., 1991

DAKE, L.p.  
FUNDAMENTALS OF RESERVOIR ENGINEERING  
PRIMERA EDICIÓN NET  
Elsevier Scientific Publishing Co. , 1992

GARAICOCHA, P. F.  
APUNTES DE COMPORTAMIENTO DE LOS YACIMIENTOS  
PRIMERA EDICIÓN MEX  
Facultad de ingeniería UNAM , 1987

MIAN, M.a  
PETROLEUM ENGINEERING  
PRIMERA EDICIÓN USA  
Penn Well Book , 1992

MUSKAT, M  
PHYSICAL PRINCIPLES OF OIL PRODUCTION  
SEGUNDA EDICIÓN USA  
McGraw Hill Book Co. , 1949

RODRÍGUEZ, N. R.  
APUNTES DE COMPORTAMIENTO PRIMARIO DE YACIMIENTOS  
PRIMERA EDICIÓN MEX  
Facultad de ingeniería UNAM , 1994

### **Bibliografía complementaria**

EMITH, C.r.  
APPLIED RESERVOIR ENGINEERING  
PRIMERA EDICIÓN USA  
Oil and gas consultant International , 1992

FORREST F.C.,  
THE RESERVOIR ENGINEERING ASPECTS OF WATERFLOODING  
PRIMERA EDICIÓN USA  
SPE Monograph Series 1982

RODRÍGUEZ, N. R.  
APUNTES DE PRINCIPIOS DE MECÁNICA DE YACIMIENTOS  
PRIMERA EDICIÓN MEX  
Facultad de ingeniería UNAM , 1987

SMITH, R.v.  
 PRACTICAL NATURAL GAS ENGINEERING  
 PRIMERA EDICIÓN USA  
 Pen Well Book , 1990

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios	X	Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	X
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero petrolero con experiencia mínima de siete años en el área de Yacimientos de Hidrocarburos. Deseable experiencia en el uso de software comercial.

## ASIGNATURAS DEL SÉPTIMO SEMESTRE

Asignatura: **FLUJO MULTIFÁSICO EN TUBERÍAS**

Semestre: **7**    Créditos: **10**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria            X

Optativa

**Horas:**

Teóricas            4.5

Prácticas            0.5

**Total (horas):**

Semana            5.0

16 semanas        80.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno conocerá y aplicará los fundamentos de flujo multifásico en tuberías en la solución de problemas de flujo de mezclas de hidrocarburos en tuberías de producción, líneas de descarga y redes de recolección.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Propiedades de los fluidos	10.0
2.	Fundamentos de flujo multifásico	12.0
3.	Flujo multifásico en tuberías verticales	12.0
4.	Flujo multifásico en tuberías horizontales	12.0
5.	Flujo multifásico en tuberías inclinadas	12.0
6.	Flujo en estranguladores	9.0
7.	Transferencia de calor	5.0
	Prácticas de laboratorio con software especializado	8.0
	Total (horas)	80.0

**1 Propiedades de los fluidos**

**Objetivo:** Conocer fundamentos y métodos para flujo monofásico de gas o líquido

**Contenido:**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Propiedades del aceite saturado
- 1.3 Propiedades del aceite bajosaturado
- 1.4 Propiedades del gas natural
- 1.5 Propiedades del agua saturada
- 1.6 Propiedades del agua bajo saturada
- 1.7 Ejemplos

**2 Fundamentos de flujo multifásico**

**Objetivo:** Conocer la problemática que presenta el flujo multifásico y las variables que intervienen

**Contenido:**

- 2.1 Variables
- 2.2 Patrones de flujo
- 2.3 Transferencia de calor

**3 Flujo multifásico en tuberías horizontales**

**Objetivo:** Conocer métodos para calcular caída de presión en flujo multifásico horizontal

**Contenido:**

- 3.1 Correlaciones
- 3.2 Modelos mecanísticos

- 4 Flujo multifásico en tuberías verticales**  
**Objetivo:** Conocer métodos para calcular caída de presión en flujo multifásico vertical  
**Contenido:**  
4.1 Correlaciones  
4.2 Modelos mecanísticos
- 5 Flujo multifásico en tuberías inclinadas**  
**Objetivo:** Conocer métodos para calcular caída de presión en flujo multifásico inclinado.  
**Contenido:**  
5.1 Correlaciones  
5.2 Modelos mecanísticos
- 6 Flujo en estranguladores**  
**Objetivo:** Conocer los métodos para calcular caídas de presión en flujo multifásico a través de restricciones  
**Contenido:**  
6.1 Flujo crítico y subcrítico  
6.2 Modelos para gas  
6.3 Modelos para líquido  
6.4 Modelos multifásicos  
6.5 Modelos mecanísticos
- 7 Transferencia de calor**  
**Objetivo:** Conocer los fenómenos de transferencia de calor, así como una mejor apreciación y utilización de las leyes fundamentales que la rigen.  
**Contenido:**  
7.1 Calor y temperatura  
7.2 Conducción de calor  
7.3 Convección  
7.4 Radiación  
7.5 Comportamiento de la temperatura en el sistema integral de producción

#### **Bibliografía básica**

BRILL, J. P., BEGGS, H. D. *Two-Phase Flow in Pipes* Tulsa, 1998  
The University of Tulsa,

GOVIER, G. W., AZIZ, K.  
*The flow of complex mixtures in pipes*  
New York, 1972  
Van Nostrand Reinhold,

WALLIS, G. B.  
*One dimensional two-phase flow*  
New York, 1969  
McGraw-Hill

#### **Bibliografía complementaria**

A.R HASAN Y C.S. KABIR,  
*Fluid Flow and Heat Transfer in Wellbores*  
2002  
Society of Petroleum Engineers

BEGGS, H. D.  
*Production optimization using nodal analysis*

Tulsa, 1991  
OGCI

BROWN, K. E.  
*Gas lift. Theory and practice*  
Tulsa, 1975  
Petroleum

GOLAN, M., WHITSON, C. H.  
*Well performance*  
New Jersey, 1991  
Prentice Hall

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

### Forma de evaluar

Exámenes parciales	X	Participación en clase	
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

### Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Ingeniero petrolero, Ingeniero mecánico o físico, con experiencia de cuando menos siete años en el manejo de la producción de hidrocarburos. Preferentemente con grado de Maestro o Doctorado.

Asignatura: **RECUPERACIÓN SECUNDARIA Y MEJORADA** Semestre: **7** Créditos: **12**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA** Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA** Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>		<b>Horas:</b>		<b>Total (horas):</b>
Obligatoria	X	Teóricas	6.0	Semana 6.0
Optativa		Prácticas	0.0	16 semanas 96.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Comportamiento de yacimientos

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

Evaluar los diferentes mecanismos que se presentan en el flujo de fluidos en medios porosos, así como los sistemas de recuperación de hidrocarburos, para maximizar el valor de los yacimientos. Aplicar software comercial disponible. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, solución de problemas y pensamiento crítico; trabajo en equipo; expresiones oral, escrita y gráfica; autoaprendizaje; así como contribuir a asumir las actitudes de disposición para la superación permanente, responsabilidad, gusto por la profesión, con el fin de lograr el Perfil del Egresado.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción	3.0
2.	Propiedades de la roca y los fluidos	6.0
3.	Desplazamiento inmisible	12.0
4.	Desplazamiento de gases miscible	14.0
5.	Método de inyección de vapor	10.0
6.	Método de combustión en sitio	10.0
7.	Método de inyección de polímeros	10.0
8.	Método de inyección de polímeros miscelares	15.0
9.	Método de inyección de álcalis	10.0
10.	Otros métodos de recuperación	6.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	96.0

**1 Introducción**

**Objetivo:** El alumno conocerá las definiciones básicas y el estado que guarda la recuperación secundaria y mejorada en el mundo.

**Contenido:**

- 1.1 Estatus actual de las reservas de aceite en el mundo y la necesidad de la recuperación secundaria y/o mejorada
- 1.2 Métodos de recuperación primaria
- 1.3 Métodos de recuperación secundaria
- 1.4 Métodos de recuperación mejorada
- 1.5 Criterios de selección de los métodos de recuperación mejorada
- 1.6 Recuperación incremental
- 1.7 Futuro de la recuperación secundaria y/o mejorada

**2 Propiedades de la roca y los fluidos**

**Objetivo:** El alumno reforzará los conocimientos adquiridos en comportamiento de yacimientos así como las propiedades de la roca más importantes que afectan en la recuperación primaria y secundaria.

**Contenido:**

- 2.1 Propiedades básicas de la roca
- 2.2 Fuerzas capilares



- 2.3 Permeabilidades relativas
- 2.4 Saturaciones residuales
- 2.5 Comportamiento de fases
- 2.6 Diagramas ternarios
- 2.7 Equilibrio líquido-vapor

### 3 Desplazamiento inmisible

**Objetivo:** El alumno evaluará las ecuaciones para desplazamientos inmiscibles con agua y gas así como la importancia de la relación de movilidades, el cálculo de eficiencias de barrido y desplazamientos en los procesos de recuperación secundaria y mejorada.

**Contenido:**

- 3.1 Ecuación de flujo fraccional
- 3.2 Teoría de Buckley-Leverett
- 3.3 Ecuación de Welge
- 3.4 Concepto de relación de movilidades
- 3.5 Estimación de recuperación de aceite
- 3.6 Eficiencia de desplazamiento microscópica
- 3.7 Eficiencia de barrido volumétrico
- 3.8 Eficiencia de barrido areal
- 3.9 Eficiencia de barrido vertical
- 3.10 Heterogeneidad del yacimiento
- 3.11 Generalidades de la inyección de agua
- 3.12 Generalidades de la inyección de gas

### 4 Desplazamiento de gases miscible

**Objetivo:** El alumno aprenderá el comportamiento miscible entre el fluido desplazado y el desplazante, evaluando diagramas de fases y ternarios. De igual forma conocerá el estado que guarda la inyección de gas en la recuperación secundaria y mejorada.

**Contenido:**

- 4.1 Comportamiento de fases
- 4.2 Diagramas pseudo-ternarios
- 4.3 Propiedades de los solventes
- 4.4 Propiedades de la mezcla solvente-aceite
- 4.5 Miscibilidad al primer contacto
- 4.6 Miscibilidad por múltiple contacto
- 4.7 Propiedades del CO<sub>2</sub>
- 4.8 Desplazamiento miscible por inyección de CO<sub>2</sub>

### 5 Método de inyección de vapor

**Objetivo:** El alumno analizará el comportamiento de los procesos térmicos analizando las fases líquido-vapor y el efecto que trae consigo el incremento de la temperatura y pérdidas de calor en el yacimiento como forma de energía para desplazar el aceite en los procesos de recuperación secundaria y mejorada.

**Contenido:**

- 5.1 Comportamiento de fases líquido-vapor
- 5.2 Entalpía y calidad del vapor
- 5.3 Efecto de la temperatura en la roca del yacimiento y en las propiedades de los fluidos
- 5.4 Pérdidas de calor
- 5.5 Inyección de agua caliente
- 5.6 Inyección de vapor
- 5.7 Inyección cíclica de vapor

### 6 Método de combustión en sitio

**Objetivo:** El alumno analizará de forma general los diferentes procesos de combustión en sitio para mejorar el flujo de aceite en las zonas no consumidas por la combustión. Tendrá un mejor panorama de los procesos de recuperación mejorada.

**Contenido:**

- 6.1 Descripción general del método
- 6.2 Tipos de proceso de combustión en sitio

- 6.3 Aceite consumido por la combustión
- 6.4 Inyección de oxígeno-aire enriquecido u oxígeno puro

**7 Método de inyección de polímeros**

**Objetivo:** El alumno estudiará los procesos de inyección de polímeros más usados en los procesos de recuperación mejorada así como sus propiedades y reforzará los conceptos estudiados en los primeros capítulos como son relación de moviidades, flujo fraccional etc.

**Contenido:**

- 7.1 Polímeros comúnmente usados
- 7.2 Propiedades de los polímeros
- 7.3 Reología de los polímeros
- 7.4 Retención de polímero

**8 Método de inyección de polímeros miscelares**

**Objetivo:** El alumno aprenderá la importancia de las fuerzas capilares y tensiones interfaciales entre el aceite y el agua. Aprenderá de forma general el proceso de inyección de polímeros en los procesos de recuperación mejorada como método de reducción de tensión interfacial.

**Contenido:**

- 8.1 Proyecto de Aplicación
- 8.2 Tipos de surfactantes
- 8.3 Comportamiento de fases
- 8.4 Tensión interfacial
- 8.5 Efecto de la salinidad y la temperatura
- 8.6 Adsorción del surfactante

**9 Método de inyección de álcalis**

**Objetivo:** El alumno conocerá de forma general la inyección de álcalis en procesos de recuperación mejorada como reducción de tensión interfacial y cambio de mojabilidad en el yacimiento.

**Contenido:**

- 9.1 Descripción general del método
- 9.2 Formación del surfactante
- 9.3 Cambio de mojabilidad
- 9.4 Reducción de la tensión interfacial

**10 Otros métodos de recuperación**

**Objetivo:** El alumno conocerá de forma general y el estado que guardan otros métodos de recuperación mejorada en la explotación de hidrocarburos en el mundo.

**Contenido:**

- 10.1 Inyección de agua de baja salinidad
- 10.2 Inyección de espumas
- 10.3 Calentamiento eléctrico

**Bibliografía básica**

CARCOANA, Aurel  
*APPLIED ENHANCED OIL RECOVERY*  
PRIMERA EDICIÓN USA  
Prentice Hall, 1992

LAKE, Larry W  
*ENHANCED OIL RECOVERY*  
PRIMERA EDICIÓN USA  
Prentice Hall, 1989

LATIL, Marcel  
*ENHANCED OIL RECOVERY*  
PRIMERA EDICIÓN USA  
Gulf publishing, 1980

### Bibliografía complementaria

CRAIG, Forrest  
*RESERVOIR ENGINEERING ASPECTS OF WATERFLOODING*  
SEGUNDA EDICIÓN USA  
SPE, 1993

PRATS, Michael *THERMAL RECOVERY* SEGUNDA EDICIÓN USA  
SPE , 1986

SHENG, James  
*MODERN CHEMICAL ENHANCED OIL RECOVERY*  
PRIMERA EDICIÓN USA  
ELSEVIER, 2011

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	X
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

### Forma de evaluar

Exámenes parciales	X	Participación en clase
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:

### Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Ingeniero Petrolero con especialidad en Recuperación Secundaria y Mejorada, con experiencia de cuando menos siete años en la industria petrolera. Preferentemente con Maestría o Doctorado.

Asignatura: **TERMINACIÓN Y MANTENIMIENTO DE POZOS** Semestre: **7** Créditos: **12**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA** Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA** Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>		<b>Horas:</b>		<b>Total (horas):</b>	
Obligatoria	X	Teóricas	4.0	Semana	6.0
Optativa		Prácticas	2.0	16 semanas	96.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Perforación no convencional

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

### **Objetivo(s) del curso:**

El alumno será capaz de identificar el tipo de terminación y mantenimiento que satisfaga los requerimientos de producción y elaborará el programa de terminación de un pozo petrolero tanto terrestre como marino.

### **Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Principios de terminación de pozos	4.0
2.	Determinación de las fuerzas aplicadas y sus efectos a la tubería de explotación y producción	12.0
3.	Diseño de aparejos de producción	16.0
4.	Diseño de reparaciones mayores y menores	12.0
5.	Estimulación de pozos	12.0
6.	Elaboración del programa de terminación y/o reparación de un pozo	8.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

#### **1 Principios de Terminación de Pozos**

**Objetivo:** El alumno comprenderá la importancia que tiene la terminación de un pozo petrolero en la productividad de hidrocarburos.

##### **Contenido:**

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Tipos de terminaciones

#### **2 Determinación de las fuerzas aplicadas y sus efectos a la tubería de explotación y producción**

**Objetivo:** El alumno entenderá y determinará las presiones, fuerzas y esfuerzos a que están sometidas las tuberías de explotación y de producción, en un pozo petrolero, durante los trabajos de terminación.

##### **Contenido:**

- 2.1 Propiedades de las tuberías
- 2.2 Efecto de la combinación de diferentes fuerzas
- 2.3 Fuerzas Aplicadas a las tuberías de revestimiento y producción
- 2.4 Cambios en la longitud del aparejo de producción
- 2.5 Tópicos especiales

#### **3 Diseño de aparejos de producción**

**Objetivo:** El alumno diseñará aparejos de producción en función del tipo de yacimiento y de los requerimientos de producción.

##### **Contenido:**

- 3.1 Determinación del diámetro del aparejo de producción
- 3.2 Diseño del aparejo de producción
- 3.3 Disparos de Producción
- 3.4 Tipos de Terminaciones
- 3.5 Tipo de Terminaciones no convencionales

#### **4 Diseño de reparaciones mayores y menores**

**Objetivo:** El alumno comprenderá los diferentes trabajos que se le realizan a un pozo petrolero durante su vida productiva hasta su taponamiento.

**Contenido:**

- 4.1 Toma de Información y su monitoreo
- 4.2 Análisis de la historia de producción del pozo
- 4.3 Tipos de reparaciones mayores y menores
- 4.4 Cementaciones forzadas
- 4.5 Taponamiento de pozos
- 4.6 Pescas y moliendas
- 4.7 Equipos para la rehabilitación de pozos

**5 Estimulación de pozos**

**Objetivo:** El alumno entenderá la importancia de la eliminación del daño a la formación y las diferentes técnicas por aplicar según el origen del daño.

**Contenido:**

- 5.1 Estimulaciones reactivas y no reactivas
- 5.2 Fracturamiento Hidráulico

**6 Elaboración del programa de terminación**

**Objetivo:** El alumno, con los conocimientos adquiridos en esta materia, elaborará un programa de terminación y de reparación de pozos de un pozo real, siguiendo las normas que tiene establecida la industria petrolera (API).

**Contenido:**

- 6.1 Elaboración del programa

**Bibliografía básica**

ALLEN, O. Thomas , ROBERTS, Allan P  
Production Operations  
.Vol 1 and 2  
EUA 1979  
Oil and Gas Consultants International Inc.

DWIGHT K. SMITH,  
Cementing  
Volume 4  
SPE

GARICOCHEA P. FRANCISCO, Benítez , MIGUEL ÁNGEL,  
Apuntes de Terminación de Pozos  
México 1995  
Facultad de Ingeniería - UNAM,

H. DALE BEGGS,  
Production Optimization Using NODAL Analysis OGCI  
Third printing  
September, 2000  
Tulsa

ISLAS SILVA CARLOS,  
Manual de Estimulación Matricial de Pozos  
México 1991  
Colegio de Ingenieros Petroleros de México A. C.

JONATHAN BELLARBY,  
WELL COMPLETION DESIGN  
2009  
ELSEVIER

MICHAEL J. ECONOMIDES, Larry T. Watters , SHARI DUNN-NORMAN,

Petroleum Well Construction

PEMEX EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN,  
Un Siglo de la Perforación en México  
Terminación y Mantenimiento de Pozos  
Unidad de Perforación y Mantenimiento de  
Pozos  
Tomo XI

### **Bibliografía complementaria**

Perforación en México  
Tuberías Drilling data handbook  
Instutud Francais du petrole

Programa Básico de Seguridad, Manual del alumno Perforación y Mantenimiento de Pozos Rig Pass ( IADC)

Guías Técnicas Elaboradas por la Subdirección de Perforación de Pozos

Guía de Empacadores de Producción Guía de Diseño para el Lavado de Pozos Guía de Fluidos Empacadores  
Guía de Diseño de Disparos de Producción Guía de Diseño para Estimulación de Pozos Guía de Diseño para  
Aislar Intervalos Probados Guía de Diseño para Molienda de Empacadores

### **Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos
Uso de software especializado		Otras:
Uso de plataformas educativas		

### **Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

### **Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con experiencia comprobable en trabajos de Terminación de Pozos de cuando menos siete años. Con conocimientos de terminaciones tanto terrestres como marinas. Preferentemente con maestría.

Asignatura: **EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

Semestre: **7**

Créditos: **6**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 3.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 3.0  
16 semanas 48.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Planeación y Administración de Proyectos de Ciencias de la Tierra

**Seriación obligatoria consecuente:** Administración de la Seguridad y Protección Ambiental

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno obtendrá los conocimientos necesarios para evaluar y administrar proyectos específicos de la Industria Petrolera, aplicará las técnicas y herramientas modernas de planeación, ejecución y control de los proyectos.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Conceptos generales de evaluación de proyectos	12.0
2.	Estudios de mercado y técnicas	12.0
3.	Estudios y evaluación económica	12.0
4.	Evaluación de proyectos de inversión aplicable a la industria petrolera	12.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	48.0

**1 Conceptos generales de evaluación de proyectos**

**Objetivo:** El alumno distinguirá la importancia de tomar las decisiones para la selección de proyectos en base a los conceptos de mercado, económicos, sociales y financieros.

**Contenido**

- 1.1 Definición, tipos, integración de proyectos
- 1.2 Origen y justificación
- 1.3 Proceso de evaluación
- 1.4 Decisión y selección

**2 Estudios de mercado y técnicas**

**Objetivo:** El alumno podrá evaluar los estudios de mercado y técnicas como elementos relevantes, en la selección de proyectos..

**Contenido:**

- 2.1 Estudio de mercado
  - 2.1.1 Objetivo y definiciones generales
  - 2.1.2 Análisis de demanda /oferta /precios/
  - 2.1.3 comercialización/riesgo
  - 2.1.4 Resultados y documentación del estudio
- 2.2 Estudio técnico
  - 2.2.1 Objetivo y conceptos generales
  - 2.2.2 Localización e ingeniería de proyectos
  - 2.2.3 Organización
  - 2.2.4 Resultados y documentación

### 3 Estudios y evaluación económica

**Objetivo:** El alumno evaluará proyectos con base a los resultados económicos y financieros.

**Contenido:**

- 3.1 Estudio económico
  - 3.1.1 Objetivo y definiciones generales
  - 3.1.2 Costo de inversiones y financiamiento
  - 3.1.3 Estado de resultados, balance general y documentación
  - 3.1.4 Costo de oportunidad y costo sombra
- 3.2 Evaluación económica
  - 3.2.1 Valor del dinero en el tiempo
  - 3.2.2 Flujo de efectivo
  - 3.2.3 Valor anual equivalente
  - 3.2.4 Métodos de evaluación. VPN, TIR, etc.
  - 3.2.5 Análisis de sensibilidad
  - 3.2.6 Identificación de mejores opciones

### 4 Evaluación de proyectos de inversión aplicable a la industria petrolera

**Objetivo:** El alumno elaborará y documentará proyectos de inversión hipotéticos y evaluará proyectos reales de la industria petrolera, con base en los resultados de los estudios de mercado, técnicos, económicos y financieros.

- 4.1 Definición e integración de proyectos de inversión en la industria nacional y extranjera
- 4.2 Evaluación económica
  - 4.2.1 De exploración
  - 4.2.2 De extracción
  - 4.2.3 De transporte
  - 4.2.4 De proceso
  - 4.2.5 De infraestructura

#### Bibliografía básica

BACA URBINA, Gabriel Evaluación de Proyectos México  
MacGraw Hill, 1990

COSS BU, Raúl  
Análisis y evaluación de proyectos de inversión  
México  
Editorial Limusa, 1986

#### Bibliografía complementaria

INFANTE VILLAREAL, Antonio  
Evaluación financiera de proyectos de inversión  
Bogotá  
Editorial Norma, 1988  
Textos Universitarios Norma

CRISTAL- BOLD Programas de cómputo merack

#### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual		Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	X



Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con experiencia de cuando menos cinco años en el desarrollo y/o evaluación de proyectos petroleros.

Asignatura: **ANÁLISIS DE PRUEBAS DE PRESIÓN**

Semestre: **7** Créditos: **8**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte:  
**INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 4.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 4.0  
16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Productividad de pozos

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno desarrollará capacidades en un nivel intermedio, para entender la importancia de caracterizar en forma dinámica al yacimiento, adquiriendo habilidades para realizar la detección y evaluación de parámetros, que afectan el comportamiento de un yacimiento bajo condiciones de explotación a partir de información tomada bajo condiciones dinámicas.

**Temario**

1.	Introducción	2.0
2.	Registros de variación de presión	4.0
3.	Ecuación de difusión y sus soluciones	10.0
4.	Pruebas de decremento de presión	12.0
5.	Pruebas de incremento de presión	12.0
6.	Función derivada de presión, como herramienta de diagnóstico	10.0
7.	Análisis de datos de producción, como herramienta de la caracterización dinámica	10.0
8.	Proyecto final	4.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Introducción**

**Objetivo:** Explicar la importancia de la caracterización dinámica de yacimientos, así como también, entender cuáles son las principales herramientas que se utilizan para realizar un estudio de caracterización dinámica, las fuentes principales de información y los resultados que se obtienen.

**Contenido:**

- 1.1 Definición y antecedentes de la caracterización dinámica.
- 1.2 Caracterización estática y su relación con la caracterización dinámica.
- 1.3 Herramientas de la caracterización dinámica.
- 1.4 Información que se requiere para un estudio de caracterización dinámica
- 1.5 Información que se obtiene de un estudio de caracterización dinámica
- 1.6 Casos de aplicación

**2 Registros de variación de presión**

**Objetivo:** Describir cuáles son los principales registros de presión de fondo, sus principales objetivos y sus limitaciones.

**Contenido:**

- 2.1 Tipos de registros de presión de fondo
- 2.2 Función y aplicación del registro estático por estaciones
- 2.3 Tipos de pruebas variación de presión

**3 Ecuación de difusión y sus soluciones**

**Objetivo:** El alumno entenderá el origen de la ecuación de difusión y sus principales soluciones aplicadas en el análisis de pruebas de variación de presión.

**Contenido:**

- 3.1 Ecuación básica del flujo de fluidos
- 3.2 Definición de variables adimensionales
- 3.3 Definición de los diferentes regímenes de flujo
- 3.4 Ecuación de difusión y soluciones para flujo radial

### 3.5 Principio de superposición y su aplicación

#### 4 Pruebas de decremento de presión

**Objetivo:** El alumno será capaz de analizar una prueba de decremento de presión y calculará los principales parámetros asociados al modelo de flujo presente en el diagnóstico.

**Contenido:**

- 4.1 Efecto de almacenamiento
- 4.2 Ecuaciones para el análisis del comportamiento infinito y flujo radial
- 4.3 Análisis mediante curva tipo
- 4.4 Pruebas de límite de yacimiento
- 4.5 Pruebas a gasto variable

#### 5 Pruebas de incremento de presión

**Objetivo:** El alumno será capaz de analizar una prueba de incremento de presión y calculará los principales parámetros asociados al modelo de flujo presente en el diagnóstico.

**Contenido:**

- 5.1 Efecto de almacenamiento
- 5.2 Ecuaciones para el análisis del comportamiento infinito y flujo radial
- 5.3 Efecto del gasto variable antes del cierre del pozo

#### 6 Función derivada de presión, como herramienta de diagnóstico

**Objetivo:** El alumno aplicará la función derivada de presión, cómo herramienta de diagnóstico para el análisis de pruebas de variación de presión

**Contenido:**

- 6.1 La Función derivada de presión
- 6.2 La función de derivada como herramienta de diagnóstico
- 6.3 Cálculo de la función derivada
- 6.4 Análisis mediante curva tipo, yacimientos homogéneos y heterogéneos

#### 7 Análisis de datos de producción, como herramienta de la caracterización dinámica

**Objetivo:** El alumno entenderá las técnicas modernas de análisis de datos de producción, para la determinación de parámetros del yacimiento, así como su utilidad en la caracterización dinámica del yacimiento.

**Contenido:**

- 7.1 Uso de datos de producción como herramienta de la caracterización dinámica
- 7.2 Ecuación empírica de Arps y parámetros que se obtienen
- 7.3 Curva tipo Blasingame y parámetros que se obtienen
- 7.4 Curva tipo Blasingame y parámetros que se obtienen
- 7.5 Curva tipo de Agarwal-Gardner y parámetros que se obtienen

#### 8 Proyecto final

**Objetivo:** El alumno comprenderá las ventajas de analizar los datos de presión y de producción de manera integral para realizar un estudio de caracterización dinámica.

**Contenido:**

- 8.1 Proyecto de Aplicación

#### Bibliografía básica

CASTRO, I. Y Bobadilla G. , G.E.,  
Conceptos Básicos de Caracterización Dinámica de Yacimientos  
UNAM, 2012

DOMINIQUE BOURDET.,  
The Use of Advanced Interpretation Models: Handbook of  
Petroleum Exploration and Production

ROBERT C. EARLOUGH, Jr.  
Advanced in Well Test Analysis  
SPE

STEVEN W. POSTON, Bobby D. Poe Jr  
Analysis of Production Decline Curves  
SPE Books

### **Bibliografía complementaria**

ECONOMIDES, Michael J.  
Petroleum production systems  
Prentice Halle

### **Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

### **Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:

### **Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero petrolero con especialidad en yacimientos de hidrocarburos y particularmente posea la experiencia suficiente en el análisis e interpretación de pruebas de variación de presión en pozos y análisis de datos de producción. Experiencia de cuando menos siete años en la industria petrolera, en el área de yacimientos.

## ASIGNATURAS DE OCTAVO SEMESTRE

Asignatura: **SISTEMAS ARTIFICIALES DE PRODUCCIÓN**      Semestre: **8**      Créditos: **12**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**      Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**      Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>		<b>Horas:</b>	<b>Total (horas):</b>
Obligatoria	X	Teóricas      6.0	Semana      6.0
Optativa		Prácticas      0.0	16 semanas      96.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno conocerá y aplicará los fundamentos, métodos de diseño y evaluación de los Sistemas Artificiales de Producción usados en la industria petrolera para prolongar la vida productiva de los pozos.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción y selección de los Sistemas Artificiales de Producción	4.0
2.	Bombeo neumático	17.0
3.	Bombeo mecánico	17.0
4.	bombeo de cavidades progresivas	13.0
5.	Bombeo electrocentrífugo sumergido	17.0
6.	Bombeo hidráulico	13.0
7.	Sistemas Artificiales Combinados	8.0
8.	Aplicaciones especiales de los Sistemas Artificiales de Producción	3.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	96.0

**1 Introducción y selección de los sistemas artificiales de producción**

**Objetivo:** Conocer y aplicar los fundamentos de los Sistemas Artificiales de Producción y sus criterios de selección y diseño.

**Contenido:**

- 1.1 Necesidad de los Sistemas Artificiales de Producción
- 1.2 Sistemas existentes y sus rangos de operación
- 1.3 Criterios para selección de Sistemas Artificiales de Producción

**2 Bombeo neumático**

**Objetivo:** Conocer y aplicar los principios de operación del bombeo neumático, así como los métodos de diseño y evaluación.

**Contenido:**

- 2.1 Bombeo neumático continuo
- 2.2 Bombeo neumático intermitente
- 2.3 Aplicaciones prácticas con software comercial
- 2.4 Unidades de Bombeo Mecánico no convencionales

**3 Bombeo mecánico**

**Objetivo:** Conocer y aplicar los principios de operación del bombeo mecánico, así como los métodos de diseño y evaluación.

**Contenido:**

- 3.1 Principios de operación
- 3.2 Equipo superficial
- 3.3 Equipo subsuperficial

- 3.4 Diseño de aparejos de bombeo mecánico
  - 3.5 Comportamiento del sistema mediante cartas dinamométricas
  - 3.6 Identificación y corrección de fallas
  - 3.7 Aplicaciones prácticas con software comercial
- 4 Bombeo de cavidades progresivas**  
**Objetivo:** Conocer y aplicar los principios de operación del bombeo de cavidades progresivas, así como los métodos de diseño y evaluación.  
**Contenido:**
- 4.1 Principios de operación
  - 4.2 Equipo superficial
  - 4.3 Equipo subsuperficial
  - 4.4 Identificación y corrección de fallas
  - 4.5 Identificación y corrección de fallas
  - 4.6 Aplicaciones prácticas con software comercial
- 5 Bombeo electrocentrífugo sumergido**  
**Objetivo:** Conocer y aplicar los principios de operación del bombeo electrocentrífugo, así como los métodos de diseño y evaluación.  
**Contenido:**
- 5.1 Principios de operación
  - 5.2 Equipo superficial
  - 5.3 Equipo subsuperficial
  - 5.4 Diseño de aparejos de bombeo electrocentrífugo
  - 5.5 Monitoreo del sistema
  - 5.6 Identificación y corrección de fallas
  - 5.7 Aplicaciones prácticas con software comercial
- 6 Bombeo hidráulico**  
**Objetivo:** Conocer y aplicar los principios de operación del bombeo Hidráulico tipo Pistón y Jet, así como los métodos de diseño y evaluación.  
**Contenido:**
- 6.1 Principios de operación
  - 6.2 Equipo superficial
  - 6.3 Equipo subsuperficial
  - 6.4 Diseño de aparejos de bombeo Hidráulico Tipo Jet
  - 6.5 Identificación y corrección de fallas
  - 6.6 Aplicaciones prácticas con software comercial
- 7 Sistemas Artificiales Combinados**  
**Objetivo:** Conocer y aplicar los principios de operación de los Sistemas Artificiales de Producción Híbridos, así como su aplicación.  
**Contenido:**
- 7.1 Sistema combinado de Bombeo Mecánico-Bombeo Hidráulico tipo Jet (BM-JET)
  - 7.2 Sistema combinado de Bombeo Neumático -Bombeo Hidráulico tipo Jet (BN-JET)
  - 7.3 Sistema combinado de Bombeo Electrocentrífugo Sumergido-Bombeo Neumático (BEC-BN)
  - 7.4 Sistema combinado de Bombeo Electrocentrífugo Sumergido-Bombeo de Cavidades Progresiva (BEC-PCP)
- 8 Aplicaciones especiales de los Sistemas Artificiales de Producción**  
**Objetivo:** Conocer los desarrollos y aplicaciones más innovadoras de los Sistemas Artificiales de Producción en México y en el mundo.  
**Contenido:**
- 8.1 Aplicación de los Sistemas Artificiales de Producción en Campos Maduros
  - 8.2 Aplicación de los Sistemas Artificiales de Producción en Aguas Profundas
  - 8.3 Aplicación de los Sistemas Artificiales de Producción con Crudos Pesados
  - 8.4 Aplicación de los Sistemas Artificiales de Producción en pozos de gas

### Bibliografía básica

BROWN, K. E., BEGGS, H. D The technology of artificial lift Tulsa, 1977  
Pennwell

DÍAZ ZERTUCHE, H  
Apuntes de producción de pozos II  
México, 1984  
UNAM - Facultad de Ingeniería,

DÍAZ ZERTUCHE, H  
Bombeo eléctrico sumergido  
México, 2003  
Colegio de Ingenieros Petroleros de México,

GABOR, T  
Modern sucker rod pumping  
Tulsa, 1973  
Pennwell

GÓMEZ CABRERA, J. A.  
Apuntes de producción de pozos I México, 1984  
UNAM - Facultad de Ingeniería

### Bibliografía complementaria

BEGGS, H. D  
Production optimization using nodal analysis  
Tulsa, 1991  
OGCI

GOLAN, M. , WHITSON, C. H  
Well performance  
New Jersey, 1991  
Prentice Hall

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado	X	Otras:	X
Uso de plataformas educativas			

### Forma de evaluar

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	X
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

### Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Ingeniero petrolero con experiencia de siete años en el área de producción, cinco de ellos en el área de Sistemas Artificiales de Producción.

Asignatura: **SIMULACIÓN MATEMÁTICA DE YACIMIENTOS** Semestre: **8** Créditos: **9**

División: **INGENIERÍA EN  
CIENCIAS  
DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte:  
**INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 4.0  
Prácticas 1.0

**Total (horas):**

Semana 5.0  
16 semanas 80.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

Aplicar los fundamentos de la simulación de yacimientos, así como los recursos informáticos e información disponibles, en el desarrollo de aplicaciones que permitan analizar el flujo de un fluido en el yacimiento, permitiendo al usuario predecir y analizar el comportamiento del modelo a través del tiempo en diferentes escenarios de explotación. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, solución de problemas y pensamiento crítico; trabajo en equipo; expresiones oral, escrita y gráfica; así como contribuir a asumir las actitudes de disposición para la superación permanente, responsabilidad, gusto y cariño por la profesión, con el fin de lograr el Perfil del Egresado.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.	.	.
1.	Introducción a la simulación de yacimientos	4.0
2.	Conceptos matemáticos fundamentales	8.0
3.	Conceptos fundamentales de la ingeniería de yacimientos	6.0
4.	Formulación de problemas de flujo en una fase	16.0
5.	Aproximación por diferencias finitas a las ecuaciones de flujo en una fase	8.0
6.	Simulación de problemas de flujo multifásico en yacimientos petroleros	6.0
7.	Representación de los pozos	4.0
8.	Métodos de solución sistemas de ecuaciones	8.0
9.	Aspectos prácticos de la simulación de yacimientos	4.0
	Prácticas de Laboratorio	16.0
	Total (horas)	80.0

**1 Introducción a la simulación de yacimientos**

**Objetivo:** El estudiante entenderá qué es la simulación de yacimientos, sus objetivos e importancia para la industria, así como sus limitaciones. Asimismo, conocerá los tipos de estudios de simulación existentes y las etapas que los componen.

**Contenido:**

- 1.1 Definición y objetivos de la simulación numérica de yacimientos
- 1.2 Historia de la simulación de yacimientos
- 1.3 Tipos de estudios en la simulación
- 1.4 Clasificación de los simuladores de yacimientos
- 1.5 Importancia de la simulación en la industria

**2 Conceptos matemáticos fundamentales**

**Objetivo:** El estudiante revisará algunos conceptos matemáticos fundamentales requeridos para el desarrollo de la asignatura.

**Contenido:**

- 2.1 Conceptos básicos del cálculo diferencial
- 2.2 Conceptos básicos de las ecuaciones diferenciales
- 2.3 Conceptos básicos del cálculo numérico
- 2.4 Conceptos básicos del álgebra lineal



- 3 Conceptos fundamentales de la ingeniería de yacimientos**  
**Objetivo:** El estudiante revisará algunos conceptos fundamentales de la ingeniería de yacimientos, mismos que serán requeridos para el desarrollo de la asignatura.  
**Contenido:**
- 3.1 Fundamentos de la mecánica del medio continuo
  - 3.2 Propiedades de la roca y fluidos del yacimiento
  - 3.3 Regímenes de flujo en el yacimiento
- 4 Formulación de problemas de flujo en una fase**  
**Objetivo:** El estudiante aplicará conceptos físicos y matemáticos fundamentales para obtener las ecuaciones que gobiernan los problemas de flujo en una fase a través de medios porosos. Asimismo, planteará y resolverá analíticamente algunos problemas básicos de flujo de fluidos.  
**Contenido:**
- 4.1 Cantidades conservativas y su aplicación en los problemas de flujo
  - 4.2 Derivación de la ecuación de continuidad en geometrías ortogonales
  - 4.3 Derivación de la ecuación de Darcy
  - 4.4 Derivación de la ecuación de flujo para un fluido incompresible
  - 4.5 Derivación de la ecuación de flujo para un fluido ligeramente compresible
  - 4.6 Derivación de la ecuación de flujo para un fluido compresible
  - 4.7 Condiciones iniciales y de frontera
  - 4.8 Soluciones analíticas a la ecuación de difusividad mediante el método de separación de variables
- 5 Aproximación por diferencias finitas a las ecuaciones de flujo en una fase**  
**Objetivo:** El estudiante aplicará algoritmos numéricos para solucionar problemas de flujo de una sola fase. Así mismo analizará los esquemas de resolución utilizados, y las características de los sistemas de ecuaciones conformados.  
**Contenido:**
- 5.1 Discretización del dominio
  - 5.2 Construcción y propiedades de las mallas de diferencias finitas
  - 5.3 Aproximación por diferencias finitas a la derivada espacial
  - 5.4 Aproximación por diferencias finitas a la derivada temporal
  - 5.5 Implementación de las condiciones inicial y de frontera
  - 5.6 Esquemas de formulación en diferencias finitas implícitos, explícitos y mixtos
  - 5.7 Consecuencias de la discretización
  - 5.8 Sistemas de ecuaciones para problemas en una, dos y tres dimensiones
- 6 Simulación de problemas de flujo multifásico en yacimientos petroleros**  
**Objetivo:** El alumno aplicará la función derivada de presión, como herramienta de diagnóstico para el análisis de pruebas de variación de presión.  
**Contenido:**
- 6.1 Ecuaciones de conservación de masa para sistemas de flujo multifásico
  - 6.2 Ecuaciones de flujo para sistemas de flujo multifásico
  - 6.3 Modelos de flujo para sistemas de flujo básicos
  - 6.4 Aproximación a las ecuaciones de flujo mediante diferencias finitas
- 7 Representación de los pozos**  
**Objetivo:** El estudiante conocerá los elementos necesarios para modelar el comportamiento de los pozos de acuerdo a su naturaleza, así como la forma de acoplar éste modelo con el del yacimiento.  
**Contenido:**
- 7.1 Tratamiento de los términos fuente/sumidero
  - 7.2 Simulación de un sólo pozo
  - 7.3 Uso de mallas híbridas en los bloques de pozos
  - 7.4 Acoplamiento de los modelos del yacimiento y pozo
- 8 Métodos de solución sistemas de ecuaciones**  
**Objetivo:** El estudiante conocerá algunos de los métodos más utilizados para la solución de los

diversos sistemas de ecuaciones obtenidos durante la conformación de los modelos numéricos utilizados en la simulación de yacimientos.

**Contenido:**

- 8.1 Métodos analíticos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales
- 8.2 Métodos iterativos para la solución de sistemas de ecuaciones lineales
- 8.3 Métodos de solución de sistemas de ecuaciones no-lineales
- 8.4 Algoritmos para determinar la duración de un ciclo iterativo
- 8.5 Análisis de cálculos de balance de materia utilizados en la simulación de yacimientos

**9 Aspectos prácticos de la simulación de yacimientos**

**Objetivo:** El estudiante entenderá la importancia de las aplicaciones prácticas de la simulación numérica de yacimientos, analizando a detalle las etapas de un estudio de simulación.

**Contenido:**

- 9.1 Objetivos del estudio
- 9.2 Análisis de datos
- 9.3 Construcción del modelo
- 9.4 Ajuste de la historia de presión-producción
- 9.5 Predicciones del comportamiento del yacimiento
- 9.6 Estudio de casos de aplicación benéficos de la simulación de yacimientos
- 9.7 Precauciones en el uso de la simulación de yacimientos

**Bibliografía básica**

ERTEKIN, T., ABOU-KASSEM, J.h. And King, G.,  
*BASIC APPLIED NUMERICAL RESERVOIR SIMULATION*  
 USA  
 SPE Text Book, 2001

MATTAX C. AND DALTON, R.I.  
*RESERVOIR SIMULATION*  
 USA  
 SPE Monograph, 1990

RAMIREZ J.,  
*MATEMÁTICAS APLICADAS A LA INGENIERÍA PETROLERA*  
 SPA  
 Reverté, 2012

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con especialidad en Simulación Numérica de Hidrocarburos y experiencia de cuando menos siete años en la industria petrolera, en el área de yacimientos.

Asignatura: **GEOESTADISTICA**

Semestre: **8**

Créditos: **6**

**Asignatura:**

Obligatoria  
Optativa X

**Horas:**

Teóricas 3.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 3.0  
16 semanas 48.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno analizará y modelará la variabilidad espacial en ciencias de la tierra así como la predicción de fenómenos en espacio y tiempo.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Visión general	4.0
2.	Revisión de teoría de la probabilidad	8.0
3.	Análisis espacial	10.0
4.	Modelado de variogramas	8.0
5.	Estimación	10.0
6.	Temas avanzados	8.0
	Prácticas de laboratorio.	
	Total (horas)	48.0

**1 Visión general**

**Objetivo:** El alumno comprenderá las diferencias entre los métodos de interpolación y la geoestadística para la resolución de problemas así como su aplicación en la industria petrolera.

**Contenido:**

- 1.1 ¿Por Qué Geoestadística?
- 1.2 Predicción Geoestadística
- 1.3 Geoestadística vs Interpolación
- 1.4 Limitaciones

**2 Revisión de teoría de la probabilidad**

**Objetivo:** El alumno comprenderá la aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de procesos o fenómenos geológicos en el espacio.

**Contenido:**

- 2.1 Nomenclatura y Notación
- 2.2 Análisis de Una Variable
- 2.3 Análisis de Dos Variables
- 2.4 Análisis de Múltiples Variables
- 2.5 Distribución Gaussiana
- 2.6 Teorema del Límite Central

- 3 **Análisis espacial**  
**Objetivo:**  
El alumno comprenderá las técnicas formales que analizan la falta de independencia que se produce entre las observaciones de una variable para sus diferentes localizaciones.  
  
Contenido:  
    **3.1** Análisis Convencional (No Geoestadístico)  
    **3.2** Análisis de Continuidad Espacial (Geoestadístico)
- 4 **Modelado de variogramas**  
**Objetivo:** El alumno aplicará los modelos matemáticos autorizados para encontrar la fórmula que represente los variogramas experimentales.  
**Contenido:**  
    **4.1** Modelos Básicos Permisibles  
    **4.2** Ajuste del Modelo “Reglas Prácticas”
- 5 **Estimación**  
**Objetivo:**  
El alumno aplicará un conjunto de técnicas que permiten dar un valor aproximado de un parámetro de una población a partir de los datos proporcionados por una muestra  
  
**Contenido:**  
    **5.1** El Problema de la Estimación  
    **5.2** Estimación No Geoestadística (Determinista)  
    **5.3** Criterio de Estimación  
    **5.4** Estimación Geoestadística (Probabilista)
- 6 **Temas avanzados**  
**Objetivo:** El alumno aplicará un conjunto de técnicas utilizadas para evaluar los resultados de un análisis estadístico y garantizar que son independientes de la partición entre datos de entrenamiento y prueba.  
  
**Contenido:**  
    **6.1** Validación Cruzada  
    **6.2** Otros Estimadores  
    **6.3** Simulación Geoestadística

### **Bibliografía Básica**

#### **Geoestadística Aplicada: Generación de mapas de interpolación para el estudio de fenómenos distribuidos espacialmente**

Libardo Antonio Londoño C., Juan Carlos Valdés Q.  
EAE, 2012

#### **Estadística aplicada básica**

David S. Moore

#### **Geoestadística descriptiva**

José tomas Pérez romero

#### **Estadística aplicada: Una visión instrumental**

Escrito por María Teresa Gonzáles

#### **Estadística**

Mario F. Triola

**Estadística descriptiva**

Santiago Fernández Fernández, José María Cordero Sánchez, Alejandro Córdoba, José María Cordero, Alejandro Córdoba Largo

**Inferencia estadística**

Miguel Ángel Gómez Villegas

**Sugerencias didácticas**

Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras: Proyecto de aplicación	
Uso de plataformas educativas			

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero matemático o Ingeniero mecánico

## ASIGNATURAS DEL NOVENO SEMESTRE

Asignatura: <b>INGENIERÍA DE YACIMIENTOS DE GAS</b>		Semestre: <b>9</b>	Créditos: <b>8</b>
División: <b>INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA</b>	Departamento: <b>INGENIERÍA PETROLERA</b>	Carrera(s) en que se imparte: <b>INGENIERÍA PETROLERA</b>	
<b>Asignatura:</b>	<b>Horas:</b>	<b>Total (horas):</b>	
Obligatoria      X	Teóricas      4.0	Semana      4.0	
Optativa	Prácticas      0.0	16 semanas      64.0	

**Modalidad:** Curso  
**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna  
**Seriación obligatoria consecuyente:** Ninguna

### Objetivo(s) del curso:

El alumno desarrollará las habilidades necesarias para la explotación de yacimientos de gas. Aplicación de software comercial disponible. Además, durante el desarrollo del curso, se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, solución de problemas y pensamiento crítico; trabajo en equipo; expresiones oral, escrita gráfica; así contribuir a asumir las actitudes de disposición para la superación permanente, responsabilidad, gusto y cariño por la profesión, con el fin de lograr el Perfil del Egresado.

### Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
1.	Introducción	2.0
2.	Conceptos fundamentales de yacimientos de gas	6.0
3.	Conceptos fundamentales de los diferentes tipos de empuje	8.0
4.	Principios básicos para yacimientos cercanos al punto crítico	8.0
5.	Flujo de gas a través de medios porosos	8.0
6.	Pruebas de presión-producción en yacimientos de gas	8.0
7.	Simulación numérica en yacimientos de gas	8.0
8.	Desarrollo de campos de gas	8.0
9.	Casos de campo	
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

#### 1 Introducción

**Objetivo:** Especifica la importancia de los yacimientos de gas y por qué deben ser estudiados en forma independiente

**Contenido:**

- 1.1 Clasificación de los yacimientos
- 1.2 Definición de yacimientos de gas
- 1.3 Yacimientos de gas en México

#### 2 Conceptos fundamentales de yacimientos de gas

**Objetivo:** Describir los conceptos básicos de los yacimientos de gas

**Contenido:**

- 2.1 Conceptos fundamentales de la ingeniería de yacimientos de gas
- 2.2 Pruebas PVT
- 2.3 Propiedades de la formación

#### 3 Conceptos fundamentales de los diferentes tipos de empuje

**Objetivo:** Determinar los diferentes empujes a los que puede estar sujeto un yacimiento de gas

**Contenido:**

- 3.1 Conceptos básicos de la ingeniería de yacimientos de gas seco y gas húmedo
- 3.2 Ecuación general de balance de materia para yacimientos volumétricos

### 3.3 Ecuación de balance de materia para yacimientos con empuje hidráulico

#### 4 Principios básicos para yacimientos cercanos al punto crítico

**Objetivo:** El alumno definirá cuales son las diferencias principales de los yacimientos que producen cerca del punto crítico

**Contenido:**

- 4.1 Comportamiento de los fluidos hidrocarburos en yacimientos de gas y condensados
- 4.2 Análisis PVT composicionales
- 4.3 Diferencias principales de los yacimientos de gas y condensado con los demás yacimientos de gas

#### 5 Flujo de gas a través de medios porosos

**Objetivo:** El alumno describirá modelos y soluciones analíticas de flujo de gas en medios porosos

**Contenido:**

- 5.1 Modelo de yacimiento ideal
- 5.2 Soluciones de la ecuación de difusión
- 5.3 Radio de investigación
- 5.4 Principios de superposición

#### 6 Pruebas de presión-producción en yacimientos de gas

**Objetivo:** Analizar los datos de pruebas de variación de presión en pozos de gas

**Contenido:**

- 6.1 Análisis con curvas tipo
- 6.2 Pozos de gas hidráulicamente fracturados
- 6.3 Yacimientos naturalmente fracturados
- 6.4 A Tipos y propósitos de las pruebas transitorias de variación de presión
- 6.5 Modelos de yacimientos homogéneos, fluidos ligeramente compresibles
- 6.6 Fundamentos de pruebas de presión transitorias en pozos de gas
- 6.7 Flujo no Darcy
- 6.8 Análisis de pruebas de flujo en pozos de gas
- 6.9 Análisis de pruebas de incremento de presión en pozos de gas

#### 7 Simulación numérica en yacimientos de gas

**Objetivo:** El alumno analizará la derivación de la solución de la ecuación de difusión con el empleo de diferencias finitas y construirá un modelo de simulación en 1D. También hará uso de software de simulación disponible.

**Contenido:**

- 7.1 Diferencias finitas para la ecuación de difusión (1D)
- 7.2 Precisión de la solución

#### 8 Desarrollo de campos de gas

**Objetivo:** El alumno explicará el proceso de administración integral de yacimientos en el desarrollo técnico-económico de campos de gas.

**Contenido:**

- 8.1 Caracterización estática
- 8.2 Caracterización dinámica
- 8.3 Modelo de yacimiento
- 8.4 Administración integral de yacimientos de gas

#### 9 Casos de campo

**Objetivo:** El alumno explicará casos reales de campos de gas reportados en la literatura

**Contenido:**

- 8.1 Casos reportados en la literatura técnica
- 8.2 Aplicación a casos de campos gaseros mexicanos



### Bibliografía básica

BRADLEY, H.b.  
*Petroleum Engineering Handbook*  
Texas, 1987  
SPE

E, John B. Rolling & jhon P. Spivey  
*Pressure Transient Testing*  
Texas, 2003  
SPE Textbook

LEE, J. Y Wattenbarger , R.A.,  
*Gas reservoir engineering*  
2002  
Penn Well Books

MEDHAT M. KAMAL,  
*Transient Well Testing*  
2009  
SPE

### Bibliografía complementaria

Practical Reservoir Simulation  
2003  
Penn Well Books

TURGAY ERTEKIN, John.; Abay-kassem & G.r. King  
Basic Applied Reservoir Simulation  
2001  
SPE

Javadpour, F. 2009. Nanopores and Apparent Permeability of Gas Flow in Mudrocks (Shales and Siltstone).  
Journal of Canadian Petroleum Technology 48 (8): 16-21. : 10.2118/09-08-16-da

Javadpour, F., Fisher, D., and Unsworth, M. 2007. Nanoscale Gas Flow in Shale Gas Sediments. Journal of  
Canadian Petroleum Technology 46 (10). : 10.2118/07-10-06

Lane, H.S., Lancaster, D.E., and Watson, A.T. 1990. Estimating Gas Desorption Parameters from Devonian  
Shale Well Test Data. Paper 1990 00021272 presented at the SPE Eastern Regional Meeting, Columbus,  
Ohio, 31 October-2 November 1990. doi: 10.2118/21272-ms

Lane, H.S., Watson, A.T., and Lancaster, D.E. 1989. Identifying and Estimating Desorption from Devonian  
Shale Gas Production Data. Paper 1989 Copyright 1989, Society of Petroleum Engineers 00019794 presented  
at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, 8-11 October 1989. doi:  
10.2118/19794-ms.

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	X
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	X
Uso de plataformas educativas			

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	X

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con especialidad en yacimientos de hidrocarburos y experiencia de cuando menos siete años en la industria petrolera, en el área de yacimientos.

Asignatura: **ADMINISTRACIÓN INTEGRAL DE YACIMIENTOS**

Semestre: **9** Créditos: **8**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas 4.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 4.0  
16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

Aprender la metodología de la Administración Integral de Yacimientos y su aplicación en la vida productiva de un yacimiento petrolero. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, solución de problemas y pensamiento crítico; trabajo en equipo; expresiones oral, escrita y gráfica; así como contribuir a asumir las actitudes de disposición para la superación permanente, responsabilidad, gusto y cariño por la profesión, con el fin de lograr el Perfil del Egresado.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción a la Administración Integral de Yacimientos	2.0
2.	Integración de geociencias, ingeniería y exploración	5.0
3.	Proceso de administración integral de yacimientos	7.0
4.	Adquisición, análisis y administración de datos	7.0
5.	Modelado del yacimiento	7.0
6.	Análisis y predicción del comportamiento del yacimiento	7.0
7.	Evaluación económica en la administración integral de yacimientos	7.0
8.	Procesos de recuperación secundaria y mejorada	7.0
9.	Estudio de casos de campo	8.0
10.	Planes estratégicos	7.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Introducción a la administración integral de yacimientos**

**Objetivo:** El estudiante explicará la importancia y alcances que puede tener la Administración Integral de Yacimientos (AIY).

**Contenido:**

- 1.1 Análisis de la importancia de la AIY
- 1.2 Objetivos de la AIY
- 1.3 Alcance de la AIY

**2 Integración de geociencias, ingeniería y exploración**

**Objetivo:** El estudiante describirá cuáles son las ventajas de integrar equipos multidisciplinarios en la toma de decisiones de la administración de yacimientos.

**Contenido:**

- 2.1 Conceptos básicos AIY
- 2.2 Fundamentos de la AIY
- 2.3 Ventajas de equipos multidisciplinarios y la sinergia
- 2.4 Integración de las geociencias, ingeniería y exploración en el desarrollo de tecnología

- 3 Proceso de administración integral de yacimientos**  
**Objetivo:** El estudiante describirá cuál es el propósito de la AIY así como el ciclo que debe cumplir.  
**Contenido:**
- 3.1 Propósitos de la AIY
  - 3.2 Desarrollo de planes en la AIY
  - 3.3 Implementación de planes en la AIY
  - 3.4 Seguimiento y evaluación de los planes en la AIY
  - 3.5 Mejoras a los planes de AIY
  - 3.6 Casos de estudio de AIY
- 4 Adquisición, análisis y administración de datos**  
**Objetivo:** El estudiante definirá cuáles son los tipos de datos útiles en la toma de decisiones de la AIY.  
**Contenido:**
- 4.1 Definición de los datos necesarios en la AIY y fuentes de obtención
  - 4.2 Análisis y validación de los datos disponibles
  - 4.3 Almacenamiento y readquisición de datos
  - 4.4 Ejemplos de aplicación de datos
- 5 Modelado del yacimiento**  
**Objetivo:** El estudiante describirá como intervienen las diferentes disciplinas en el modelado de yacimiento y la función que tiene el mismo en la AIY.  
**Contenido:**
- 5.1 Función del modelo del yacimiento
  - 5.2 Aplicación de las geociencias en la generación del modelo de yacimiento
  - 5.3 Aplicación de los datos sísmicos en la generación de modelo de yacimientos
  - 5.4 Aplicación de la geo-estadística en la generación del modelo de yacimiento
  - 5.5 Aplicación de la ingeniería en la generación del modelado de yacimiento
- 6 Análisis y predicción del comportamiento del yacimiento**  
**Objetivo:** El estudiante comprenderá las diferentes formas para evaluar el comportamiento del yacimiento.  
**Contenido:**
- 6.1 Análisis del comportamiento del yacimiento
  - 6.2 Definición de los diferentes mecanismos naturales de producción del yacimiento
  - 6.3 Predicción del comportamiento de producción del yacimiento por método volumétrico
  - 6.4 Predicción del comportamiento de producción del yacimiento por curvas de declinación
  - 6.5 Predicción del comportamiento de producción del yacimiento por balance de materia
  - 6.6 Predicción del comportamiento de producción del yacimiento por simulación matemática
- 7 Evaluación económica en la administración integral de yacimientos**  
**Objetivo:** El estudiante describirá las diferentes técnicas existentes para la evaluación económica en la AIY así como los aspectos legales que influyen en ella.  
**Contenido:**
- 7.1 Definición de los diferentes criterios económicos para la evaluación de proyectos y sus aspectos legales en la AIY
  - 7.2 Definición de escenarios económicos
  - 7.3 Evaluación económica de AIY
  - 7.4 Ejemplos de optimización económica
- 8 Procesos de recuperación secundaria y mejorada**  
**Objetivo:** El estudiante describirá las diferentes características que deben de ser tomadas en cuenta para evaluar cuál es el proceso de recuperación secundaria o mejorada aplicable al campo.

**Contenido:**

- 8.1 Inyección de agua como proceso de recuperación secundaria
- 8.2 Definición de los diferentes procesos de recuperación mejorada
- 8.3 Guías para la selección del proceso de recuperación secundaria ó mejorada óptimo en la AIY

**9 Estudio de casos de campo**

**Objetivo:** El estudiante analizará casos de desarrollo de algunos de los principales campos de México.

**Contenido:**

- 9.1 Antonio J. Bermúdez
- 9.2 Cantarell
- 9.3 Chicontepec
- 9.4 Burgos

**10 Planes estratégicos**

**Objetivo:** El estudiante analizará a partir de ejemplos de campo otras alternativas en las estrategias aplicadas a campos recién descubiertos, en operación y con procesos de recuperación mejorada.

**Contenido:**

- 10.1 Estrategias en campos recién descubiertos
- 10.2 Estrategias en campos en operación
- 10.3 Estrategias en campos con proceso de recuperación mejorada

**Bibliografía básica**

CONSENTINO, L:  
*INTEGRATED RESERVOIR STUDIES*  
PRIMERA EDICIÓN FRA  
Institut Francais du Petroleum Publications, 2001

SATTER, A. Y Thakur , G. C.,  
*INTEGRATED PETROLEUM RESERVOIR MANAGEMENT: A TEAM APPROACH*  
PRIMERA EDICIÓN EUA  
PennWell Books, 1994

THAKUR, G.c. Y Satter. A.  
*INTEGRATED WATERFLOOD ASSET MANAGEMENT*  
PRIMERA EDICIÓN EUA  
PennWell Books, 1998

WIGGINS, M.I.  
*A MANUAL FOR RESERVOIR MANAGEMENT*  
PRIMERA EDICIÓN EUA  
Texas A&M University, 1990

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios	X	Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase
--------------------	---	------------------------

Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con experiencia en el desarrollo de proyectos de explotación de yacimientos de hidrocarburos y experiencia de cuando menos 15 años de experiencia en la industria petrolera, en áreas de responsabilidad de ejecución de proyectos integrales.

Asignatura: **TEMAS SELECTOS DE INGENIERÍA PETROLERA** Semestre: **9** Créditos: **8**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA** Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA** Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

<b>Asignatura:</b>		<b>Horas:</b>		<b>Total (horas):</b>	
Obligatoria	X	Teóricas	4.0	Semana	4.0
Optativa		Prácticas	0.0	16 semanas	64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno analizará y discutirá temas de actualidad y desarrollará un proyecto final.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
1.	Introducción	5.0
2.	Temas de actualidad	40.0
3.	Presentación de proyecto final	19.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Introducción**

**Objetivo:** El alumno entenderá la importancia de esta asignatura en su formación profesional.

**2 Temas de actualidad**

**Objetivo:** El alumno investigará, presentará y analizará proyectos de interés y de actualidad para la industria nacional.

**3 Presentación de proyecto final**

**Objetivo:** El alumno presentara y discutirá resultados del proyecto.

**Publicaciones Periódicas**

*Revista de la Society of Petroleum Engineers*

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado	X	Otras:	X
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas
Trabajos y tareas fuera del aula		Otras:

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero petrolero o del área de las Ciencias de la Ingeniería, con experiencia mínima de 10 años en la industria de los hidrocarburos o del sector energético. Preferente con estudios de posgrado.



Asignatura: **CONDUCCIÓN Y MANEJO DE LA PRODUCCIÓN**

Semestre: **9**      Créditos: **10**

**DE LOS HIDROCARBUROS**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria      X  
Optativa

**Horas:**

Teóricas      4.5  
Prácticas      0.0

**Total (horas):**

Semana      4.5  
16 semanas      72.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno conocerá los fundamentos, métodos de diseño y evaluación de los sistemas de recolección, tratamiento y transporte de hidrocarburos.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Calidad de los fluidos producidos	5.0
2.	Separación de fluidos	20.0
3.	Procesamiento de aceite crudo	15.0
4.	Acondicionamiento de gas	12.0
5.	Medición de la producción	9.0
6.	Baterías de separación y ductos	5.0
7.	Instalaciones de producción marinas	6.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	72.0

**1 Calidad de los fluidos producidos**

**Objetivo:** Conocer las necesidades de proceso de fluidos de acuerdo con sus características

**Contenido:**

- 1.1 Muestreo de fluidos.
- 1.2 Métodos de análisis de fluidos
- 1.3 Análisis PVT
- 1.4 Requerimiento de procesamiento de acuerdo con el fluido

**2 Separación de fluidos**

**Objetivo:** Conocer los principios de operación, diseño y evaluación de separadores

**Contenido:**

- 2.1 Ecuación de estado
- 2.2 Equilibrio líquido-vapor
- 2.3 Tipos de separadores
- 2.4 Principios de operación
- 2.5 Métodos de diseño de separadores y operación
- 2.6 Separación en etapas
- 2.7 Sistemas de seguridad

**3 Procesamiento de aceite crudo**

**Objetivo:** Conocer los principios de operación y métodos de diseño de equipos para tratamiento de crudo

**Contenido:**

- 3.1 Especificaciones para entrega de aceite crudo
- 3.2 Tanques de almacenamiento
- 3.3 Deshidratación

- 3.4 Desalado
- 3.5 Estabilización
- 3.6 Instalaciones de bombeo
- 3.7 Manejo de agua producida

#### 4 Acondicionamiento de gas

**Objetivo:** Conocer los principios de operación y métodos de diseño de equipos para acondicionamiento del gas producido.

**Contenido:**

- 4.1 Especificaciones para entrega de gas
- 4.2 Rectificadores de gas
- 4.3 Deshidratación de gas
- 4.4 Endulzamiento de gas
- 4.5 Instalaciones de compresión

#### 5 Medición de la producción

**Objetivo:** Conocer los principios de operación de los equipos para medición de los fluidos producidos.

**Contenido:**

- 5.1 Tanques de medición
- 5.2 Medidores de orificio
- 5.3 Medidores de desplazamiento positivo
- 5.4 Medidores de turbina
- 5.5 Coriolis
- 5.6 Medidores multifásicos
- 5.7 Medidores ultrasónicos
- 5.6 Automatización y telemedición

#### 6 Baterías de separación y ductos

**Objetivo:** Conocer la operación y diseño de baterías de separación y ductos

**Contenido:**

- 6.1 Operación y diseño integral de una batería de separación
- 6.2 Operación y diseño de ductos

#### 7 Instalaciones de producción marinas

**Objetivo:** Conocer la operación y diseño de las instalaciones que se ocupan para la producción de los pozos marinos.

**Contenido:**

- 7.1 Plataformas fijas de perforación.
- 7.2 Plataformas auto-elevables.
- 7.3 Plataformas semi-sumergibles.
- 7.4 Barcazas de perforación.
- 7.5 Sistemas flotantes de producción
- 7.6 Líneas submarinas y umbilicales

#### Bibliografía básica

Production operations  
Tulsa, 1978  
OGCI

BEGGS, H. D  
Gas production operations  
Houston, 1984  
OGCI

CAMPBELL, J. M.  
Gas conditioning and processing  
Houston, 1984

Campbell Petroleum Series

CHILINGARIAN, G  
*Surface operations in petroleum production*  
New York, 1969  
Elsevier

SZILAS, A. P  
Production and transport of oil and gas  
New York, 1975  
Elsevier

KUMAR, S.  
Gas production engineering  
Houston, 1987  
Gulf Publishing Co.

### **Bibliografía complementaria**

ECONOMIDES, Michael J.  
Petroleum production systems  
Prentice Hall

BEGGS, H. D.  
Production optimization using nodal analysis  
Houston, 1991  
OGC

### **Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado	X	Otras:	
Uso de plataformas educativas			

### **Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	X
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

### **Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con posgrado en Ingeniería Petrolera y con experiencia de cuando menos siete años en el manejo de la producción de hidrocarburos

Asignatura: **YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES DE HIDROCARBUROS**

Semestre: **8 ó 9**

Créditos: **8**

División: **INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria X

Optativa

**Horas:**

Teóricas 4.0

Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 4.0

16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno conocerá y analizará los diferentes tipos de yacimientos no convencionales: características, métodos de explotación e importancia. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, pensamiento crítico, trabajo en equipo, expresión oral y escrita, autoaprendizaje.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Introducción	3.0
2.	Arenas de baja permeabilidad (Tight Sands)	15.0
3.	Lutitas (Shale)	15.0
4.	Aceite pesado (Heavy Oil)	15.0
5.	Metano en capas de carbón (Coalbed methane)	8.0
6.	Hidratos de metano	8.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Introducción a la físico-química y termodinámica de los hidrocarburos**

**Objetivo:** El alumno conocerá la definición de yacimiento no convencional, su importancia económica, así como los aspectos políticos, ambientales y sociales para su explotación en el contexto mundial.

**Contenido**

- 1.1 Definición de yacimiento no convencional
- 1.2 Ocurrencia de los yacimientos no convencionales
- 1.3 Importancia económica y reservas mundiales
- 1.4 Contexto mundial: aspectos políticos, ambientales y sociales

**2 Arenas de baja permeabilidad (Tight sands)**

**Objetivo:** El alumno conocerá las características de las arenas de baja permeabilidad así como los retos técnicos que implica su explotación.

**Contenido:**

- 2.1 Ocurrencia y características del yacimiento
- 2.2 Métodos de explotación
- 2.3 Retos técnicos y ambientales para su explotación
- 2.4 Contexto mundial y nacional

**3 Lutitas (Shale)**

**Objetivo:** El alumno conocerá las características de los yacimientos de lutitas así como los retos técnicos que implica su explotación.

**Contenido:**

- 3.1 Ocurrencia y características del yacimiento
- 3.2 Métodos de explotación
- 3.3 Retos técnicos y ambientales para su explotación
- 3.4 Contexto mundial y nacional

**4 Aceite pesado (Heavy Oil)**

**Objetivo:** El alumno conocerá las características de los yacimientos de aceite pesado así como los retos técnicos que implica su explotación.

**Contenido:**

- 4.1 Ocurrencia y características del yacimiento
- 4.2 Métodos de explotación
- 4.3 Retos técnicos y ambientales para su explotación
- 4.4 Contexto mundial y nacional

**5 Metano en capas de carbón (Coalbed methane)**

**Objetivo:** El alumno conocerá las características de los yacimientos de metano en capas de carbón, su explotación a nivel mundial y el potencial mexicano.

**Contenido:**

- 5.1 Ocurrencia y características del yacimiento
- 5.2 Explotación a nivel mundial, limitaciones y aspectos ambientales
- 5.3 Potencial mexicano

**6 Hidratos de metano**

**Objetivo:** El alumno conocerá las características de los hidratos de metano y su explotación a nivel mundial.

**Contenido:**

- 6.1 Ocurrencia y características del yacimiento
- 6.2 Explotación a nivel mundial, limitaciones y aspectos ambientales

**Bibliografía básica**

Artículos técnicos seleccionados

**Sugerencias didácticas**

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase		Prácticas de campo	X
Ejercicios fuera del aula		Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con experiencia comprobable en trabajos de yacimientos no convencionales de hidrocarburos.

Asignatura: **FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO**

Semestre: **8 ó 9**

Créditos: **6**

División: **INGENIERÍA EN  
CIENCIAS DE LA TIERRA**

Departamento: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

Carrera(s) en que se imparte: **INGENIERÍA  
PETROLERA**

**Asignatura:**

Obligatoria  
Optativa X

**Horas:**

Teóricas 3.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 3.0  
16 semanas 48.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno conocerá y analizará los conceptos básicos para el diseño, ejecución y evaluación de un fracturamiento hidráulico. Durante el desarrollo del curso se deberá contribuir a desarrollar las habilidades de análisis, síntesis, pensamiento crítico, trabajo en equipo, expresión oral y escrita, autoaprendizaje.

**Temario**

NÚM	NOMBRE	Horas
.		s
1.	Introducción	8.0
2.	Hidráulica de la fractura	16.0
3.	Fluidos fracturantes	8.0
4.	Materiales apuntalantes	4.0
5.	Diseño	4.0
6.	Ejecución	4.0
7.	Evaluación	4.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	48.0

**1 Introducción**

**Objetivo:** El alumno conocerá los conceptos generales que determinan la geometría de una fractura, su propagación, orientación y efectos en la productividad de un pozo.

**Contenido:**

- 1.1 Definición de conceptos
- 1.2 Propiedades mecánicas de las rocas
- 1.3 Determinación de las propiedades mecánicas de rocas
- 1.4 Principales esfuerzos que intervienen durante el fracturamiento hidráulico
- 1.5 Criterios y tipos de falla
- 1.6 Creación y propagación de la fractura
- 1.7 Modelos de propagación de la fractura
- 1.8 Geometría y orientación de la fractura
- 1.9 Geometría de fractura, interrelación y efectos sobre la productividad del pozo.

**2 Hidráulica de la Fractura**

**Objetivo:** El alumno conocerá y analizará las características y reología de los fluidos utilizados en el diseño de un fracturamiento hidráulico y sus efectos en la geometría de la fractura.

**Contenido:**

- 2.1 Reología de los fluidos y efectos sobre la geometría de la fractura
- 2.2 Modelos reológicos
- 2.3 Cálculo de presiones requeridas y efectos sobre la geometría de la fractura

**3 Fluidos fracturantes**

**Objetivo:** El alumno conocerá y analizará las propiedades, características y selección de los fluidos fracturantes que se utilizan para el fracturamiento hidráulico y efectos en la conductividad de la fractura.

**Contenido:**

- 3.1 Definición y Funciones
- 3.2 Propiedades
- 3.3 Tipos y sus características
- 3.4 Aditivos
- 3.5 Consideraciones de selección del fluido
- 3.6 Efectos en la conductividad de la fractura
- 3.7 Medición de las propiedades

#### 4 Materiales apuntalantes

**Objetivo:** El alumno conocerá y analizará las propiedades, características y selección de los materiales apuntalantes que se utilizan para el fracturamiento hidráulico y efectos en la conductividad de la fractura.

**Contenido:**

- 4.1 Definición y funciones
- 4.2 Propiedades
- 4.3 Tipos y sus características
- 4.4 Selección
- 4.5 Factores que afectan la conductividad de fractura
- 4.6 Efectos de la conductividad de fractura sobre la productividad del pozo
- 4.7 Medición de las propiedades físicas

#### 5 Diseño del fracturamiento

**Objetivo:** El alumno conocerá las consideraciones y parámetros de diseño y análisis económico de un fracturamiento hidráulico.

**Contenido:**

- 5.1 Consideraciones del diseño relacionadas con el yacimiento, características de la roca, dimensiones de la fractura y estado mecánico del pozo.
- 5.2 Determinación preliminar y óptima de la geometría de fractura
- 5.3 Análisis de pruebas de calibración de parámetros
- 5.4 Análisis económico

#### 6 Ejecución del fracturamiento

**Objetivo:** El alumno conocerá y analizará los indicadores de evaluación de un fracturamiento.

**Contenido:**

- 6.1 Pruebas de calibración de parámetros
- 6.2 Etapas principales de la ejecución
- 6.3 Monitoreo de parámetros

#### 7 Evaluación del fracturamiento

**Objetivo:** El alumno conocerá y analizará los indicadores de evaluación de un fracturamiento.

**Contenido:**

- 7.1 Ajuste de esfuerzos de la roca
- 7.2 Calculo de la pérdida de fluido en la roca
- 7.3 Igualación de presiones (media vs calculada)
- 7.4 Calculo de la geometría de fractura de acuerdo al ajuste de esfuerzos.
- 7.5 Obtención de la geometría de fractura por medio de la producción
- 7.6 Otros métodos

#### Bibliografía complementaria

Artículos Técnicos

Guía para el fracturamiento hidráulico

#### Sugerencias didácticas

Exposición oral X Lecturas obligatorias, trabajos de investigación X

Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	X
Ejercicios dentro de clase		Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula		Búsqueda especializada en internet	X
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	X
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas	X		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero con experiencia comprobable en trabajos de yacimientos no convencionales de hidrocarburos.



Asignatura: **TERMINACIÓN EN POZOS DE GAS Y ACEITE EN LUTITAS**

Semestre: **8 ó 9**

Créditos: **6**

**Asignatura:**

Obligatoria  
Optativa X

**Horas:**

Teóricas 3  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 3  
16 semanas 48.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno comprenderá los conceptos y características principales de los yacimientos no convencionales de aceite y gas en lutitas que impactan directamente en la terminación de pozos.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Revisión general de yacimientos no convencionales.	4.0
2.	Propiedades físicas en yacimientos de aceite y gas en lutitas.	11.0
3.	Consideraciones de mecánica de roca para terminación de pozos.	6.0
4.	Metodología de terminación en lutitas.	10.0
5.	Fracturamiento hidráulico con apuntalante en lutitas.	11.0
6.	Métodos de evaluación de Fracturamientos hidráulicos.	6.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	48.0

**1 Revisión general de yacimientos no convencionales.**

**Objetivo:** El alumno conocerá las fuentes de energía no convencional existentes y su impacto en el desarrollo de la industria petrolera.

**Contenido:**

- 1.1 Descripción de yacimientos no convencionales.
- 1.2 Distribución de yacimientos no convencionales en México.
- 1.3 Lutitas (Shale gas/ Shale oil).
- 1.4 Impacto del desarrollo de yacimientos de aceite y gas en lutitas

**2 Propiedades físicas en yacimientos de aceite y gas en lutitas.**

**Objetivo:** El alumno comprenderá las características físicas de los yacimientos de gas y aceite en lutitas que impactan en el diseño de la terminación de pozos.

**Contenido:**

- 2.1 Mecanismo de almacenamiento de hidrocarburos.
- 2.2 Mecanismos de flujo de hidrocarburos.
- 2.3 Clasificación de tipos de lutitas.
- 2.4 Propiedades físicas de las lutitas.
- 2.5 Geología de lutitas orgánicas.
- 2.6 Mineralogía y geoquímica.
- 2.7 Tecnologías actuales para toma de información.

- 3 Consideraciones de mecánica de roca para terminación de pozos.**  
**Objetivo:** El alumno aplicará las teorías de mecánica de roca y su aplicación en el diseño de terminación de pozos.
- Contenido:**
- 3.1 Propiedades geomecánicas.
  - 3.2 Presión de poro y presión de iniciación de fractura.
  - 3.3 Magnitudes de los esfuerzos principales.
  - 3.4 Anisotropía y contraste de esfuerzos.
  - 3.5 Interacción de fracturas inducidas y fracturas naturales.
- 4 Metodología de terminación en lutitas.**  
**Objetivo:** El alumno comprenderá y aplicará las mejores prácticas y tecnologías aplicables para la selección **del método** de terminación de pozos aplicables en pozos de gas y aceite en lutitas.
- Contenido:**
- 4.1 Tipos de terminación de pozos verticales y horizontales en lutitas.
  - 4.2 Diseño de disparo de producción.
  - 4.3 Espaciamiento y orientación de las fracturas hidráulicas.
  - 4.4 Consideraciones para fracturas hidráulicas en pozos horizontales.
  - 4.5 Tecnológicas para aislamiento y control de fracturas hidráulicas.
- 5 Fracturamiento hidráulico con apuntalante en lutitas.**  
**Objetivo:** El alumno aplicará los criterios para selección de fluidos y apuntalantes en las técnicas de fracturamiento hidráulico en los pozos de gas y aceite en lutitas.
- Contenido:**
- 5.1 Justificación de fracturamiento hidráulico en lutitas.
  - 5.2 Consideraciones en el diseño de fracturamiento hidráulico con apuntalante.
  - 5.3 Transporte de apuntalante.
  - 5.4 Técnicas de fracturamiento hidráulico en lutitas.
  - 5.5 Selección de apuntalante y reología de fluidos de fractura.
- 6 Métodos de evaluación de Fracturamientos hidráulicos.**  
**Objetivo:** El alumno aplicará las tecnologías existentes para el mapeo y distribución de apuntalante durante el fracturamiento hidráulico en pozos de gas y aceite en lutitas.
- Contenido:**
- 6.1 Diagnóstico de fracturamientos hidráulicos en lutitas.
  - 6.2 Métodos de diagnóstico directo.
  - 6.3 Métodos de diagnóstico indirecto.
  - 6.4 Modelado de fracturas hidráulicas.

#### **Bibliografía básica**

Jonathan Bellarby  
*Well completion design*  
 Aberdeen, UK

Elsevier, 2009

Michael J. Economides, Tony Martin  
*Modern Fracturing*  
 Houston, Texas.  
 Energy Tribune Publishing, 2007

Xiuli Wang, Michael J. Economides  
*Advanced Natural Gas Engineering*  
 Houston, Texas  
 Gulf Publishing Company, 2009

### Sugerencias didácticas

Exposición oral	X	Lecturas obligatorias, trabajos de investigación	X
Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

### Forma de evaluar

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

### Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura

Ingeniero Petrolero, Mecánico, Geólogo o Geofísico, con experiencia en el área de Mecánica de Fluidos y con una experiencia en la industria de cuando menos diez años en cualquier área de la industria petrolera.

Asignatura: **PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE CRUDOS PESADOS**

Semestre: **8 ó 9**

Créditos: **6**

**Asignatura:**

Obligatoria  
Optativa X

**Horas:**

Teóricas 3  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 3  
16 semanas 48.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno comprenderá los conceptos y características principales para la producción y el transporte de crudos pesados.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
.		
1.	Reservas de aceite pesado y extra-pesado en México y en el mundo.	6.0
2.	Producción de crudos pesados y extra-pesados.	16.0
3.	Transporte de crudos pesados y extra-pesados.	14.0
4.	Alternativas de tecnologías de producción y transporte de crudos pesados y extra-pesados en campos de México.	12.0
	Prácticas de Laboratorio	0.0
	Total (horas)	48.0
<b>1</b>	<b>Reservas de aceite pesado y extra-pesado en México y en el mundo.</b> <b>Objetivo:</b> El alumno conocerá las reservas remanentes en México y en el mundo así como su distribución. <b>Contenido:</b> 1.1 Distribución de las reservas de aceite pesado en México. 1.2 Distribución de las reservas de aceite pesado en el mundo (Venezuela, Canadá y Estados Unidos entre otros).	
<b>2</b>	<b>Producción de crudos pesados y extra-pesados.</b> <b>Objetivo:</b> El alumno comprenderá y diseñará los sistemas artificiales y otros métodos para la producción de crudos pesados. <b>Contenido:</b> 2.1 Bombeo por cavidades progresivas aplicado a la producción de crudos pesados 2.2 Bombeo neumático aplicado a la producción de crudos pesados. 2.3 Bombeo electrocentrífugo aplicado a la producción de crudos pesados 2.4 Bombeo hidráulico tipo jet aplicado a la producción de crudos pesados 2.5 Explotación minera 2.6 Pozos horizontales y multilaterales con producción en frío. 2.7 Producción de petróleo pesado en frío con arena (CHOPS)	
<b>3</b>	<b>Transporte de crudos pesados y extra-pesados.</b> <b>Objetivo:</b> El alumno conocerá las opciones que se pueden utilizar para mejorar las condiciones de flujo de los fluidos a lo largo de las tuberías para el transporte de crudo pesado. <b>Contenido:</b> 3.1 Calentamiento en un punto (Spot Heating). 3.2 Líneas con aislamiento térmico.	

- 3.3 Calentamiento a lo largo de una línea (Line Heating).
- 3.4 Adición de diluyentes.
- 3.5 Inyección de agua a través de anillos de agua alrededor de crudo pesado y emulsiones de agua de baja viscosidad.
- 3.6 Otros métodos de transporte de crudos como tratamientos químicos y reductores de viscosidad.

**4 Alternativas de tecnologías de producción y transporte de crudos pesados y extra-pesados en campos de México**

**Objetivo:** El alumno conocerá alternativas para optimizar la producción y el transporte de crudos pesados

**Contenido:**

- 4.1 Introducción al aseguramiento de flujo.
- 4.2 Análisis SARA.
- 4.3 Descripción de configuración de instalaciones terrestres y submarinas.

**Bibliografía básica**

Akbarzadeh K., et. al: "Los asfaltenos: Problemáticos pero ricos en potencial", Oilfield review 19 no. 2, Otoño, 2007.

Alboudwarej H., et. al: "La importancia del petróleo pesado", Oilfield Review 18 no. 2, Otoño, 2006.

**Brown E. K., et.al:** "The Technology of Artificial Lift Methods", Tomo 2b, The Petroleum Publishing Company, Tulsa, Oklahoma, 1980.

**Butler R. M.:** "Thermal Recovery of Oil and Bitumen", Department of Chemical and Petroleum Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, Prentice Hall, New Jersey, 1991.

**Carril Naranjo J. E.:** "Explotación de yacimientos de crudos pesados", Tesis, Ingeniería petrolera, México, D.F., Facultad de Ingeniería, UNAM, Junio, 2006.

**Curtis C., et. al:** "Yacimientos de petróleo pesado", Oilfield Review 14 no. 3, Invierno, 2002/2003.

**De Ghetto G., et. al:** "Jet Pump Testing in Italian Heavy Oils", artículo SPE 27595, SPE, 1994.

**Díaz Zertuche H.:** "Apuntes de Bombeo Neumático"

**PEMEX,** "Estrategia para el Manejo y Transporte de Crudo Pesado de los Campos Maloob y Zaap"

**Sugerencias didácticas**

Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio	
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo	
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet	
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos	
Uso de software especializado		Otras:	
Uso de plataformas educativas			

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Petrolero, Mecánico, o Químico con experiencia en el área de Manejo de Crudos Pesados y

Extrapesados y con una experiencia en la industria de cuando menos diez años en cualquier área de la industria petrolera.

Asignatura: **MEDICIÓN DE FLUIDOS**

Semestre: **9**

Créditos: **8**

**Asignatura:**

Obligatoria  
Optativa X

**Horas:**

Teóricas 3.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**

Semana 4.0  
16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno conocerá los métodos y equipos empleados para medir la producción de hidrocarburos.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
1.	Fundamentos de la medición de hidrocarburos	12.00
2.	Equipos y accesorios de medición	8.00
3.	Medición estática	12.00
4.	Medición dinámica (para aceite y gas)	16.00
5.	Medición multifásica	6.00
6.	Metodología de calibración de medidores	
	Prácticas de laboratorio.	
	Total (horas)	64.00

**1 Fundamentos de la medición de hidrocarburos**

**Objetivo:**

El alumno comprenderá los conceptos básicos empleados en la medición de hidrocarburos

**Contenido:**

- 7.1 Principios de medición
- 7.2 Tipos de medidores
- 7.3 Tecnología y componentes
- 7.4 Ventajas, desventajas, limitaciones y uso
- 7.5 Como seleccionar y especificar un medidor
- 7.6 Metrología

**2 Equipos y accesorios de medición**

**Objetivo:** El alumno conocerá los tipos de equipos que se utilizan en la industria petrolera para medir la producción de gas y aceite así como los accesorios que se utilizan para esto.

**Contenido:**

- 2.1 Medición automática de nivel en tanques.
- 2.2 Medidores tipo turbina, desplazamiento positivo, coriolis, placas de orificio, ultrasonido, entre otros.
- 2.3 Transmisores de presión, temperatura, RTD's.
- 2.4 Densitómetros.
- 2.5 Cromatógrafos.
- 2.6 Autosampler's. Instrumentación básica
- 2.7 Computadores de Flujo. PLC's y DCS's.
- 2.8 Configuración de los medidores en computadores de flujo.
- 2.9 Corridas de Calibración y Cartas de Control estadístico de medición de fluidos.

- 3 **Medición estática**  
**Objetivo:** El alumno conocerá los métodos y herramientas usadas para la medición de hidrocarburos en tanques de almacenamiento

Contenido:

- 3.1 Tanques de almacenamiento cilíndricos, verticales y horizontales
- 3.2 Calibración de tanques de almacenamiento.
- 3.3 Medición y calibración con cintas fondo y vacío.
- 3.4 Toma de muestra en tanques
- 3.5 Toma de temperatura en tanques
- 3.6 Tablas de aforo
- 3.7 Liquidación volumétrica y másica
- 3.8
- 3.9 Medición automática de tanques –Telemetría
- 3.10 Verificación de alturas de referencia en tanques.

- 4 **Medición dinámica**  
**Objetivo:** El alumno conocerá los métodos y herramientas usadas para la medición de hidrocarburos a través de las líneas de flujo.

**Contenido:**

- 4.1 Selección tipos de medidores.
- 4.2 Medidor Desplazamiento positivo (L-G)
- 4.3 Medidor Turbina (L-G)
- 4.4 Medidor Coriolis (L-G)
- 4.5 Medidor Ultrasónico (G)
- 4.6 Medidor placa de Orificio (G)
- 4.7 Selección de Instrumentación básica y equipos electrónicos.
- 4.8 Diseño, montaje y cumplimiento de normas API MPMS, y AGA
- 4.9 Configuración de los medidores en computadores de flujo.
- 4.10 Sistemas de control distribuido, lazos de control.
- 4.11 Probadores, corridas de calibración
- 4.12 Control estadístico del factor del medidor.
- 4.13 Unidades LACT.

- 5 **Medición multifásica**  
**Objetivo:**  
El alumno conocerá los mecanismos de medición y herramientas usadas para medir la producción de hidrocarburos en sus diferentes fases.

**Contenido:**

- 5.1 Fundamentos de mezclas multifásicas
- 5.2 Tipos de medidores multifásicos
- 5.3 Ventajas y desventajas de tecnologías disponibles en el mercado
- 5.4 Medición de velocidad, presión y temperatura
- 5.5 Verificación de mediciones

- 6 **Metodología de calibración de medidores**  
**Objetivo:** El alumno conocerá los tipos de probadores que se utilizan para calibrar las herramientas de medición.

**Contenido:**

- 6.1 Conceptos básicos.
- 6.2 Probadores tipo tanques (Serafines).
- 6.3 Probadores de tubería (Bidireccionales).
- 6.4 Probadores de volumen pequeño (Compactos)
- 6.5 Probadores máster meter

**Bibliografía básica**

**Medición de flujo: Placas de orificio, toberas de flujo y tubos venturi**  
Gustavo Villalobos Ordaz



**Metrología: introducción, conceptos e instrumentos**

María Moro Piñeiro

**Petroleum Engineering Handbook vol 3.**

Larry W. Lake, Editor-in-Chief. U. of Texas at Austin.

**Transporte de hidrocarburos por ductos.**

Ing. Francisco Garaicochea petrarena, Ing. César Bernal Huicochea Ing. Oscar López Ortiz

**Sugerencias didácticas**

Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos
Uso de software especializado		Otras:
Uso de plataformas educativas		

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero petrolero o ingeniero mecánico con 10 años de experiencia comprobable en el área de recolección y manejo de la producción de hidrocarburos.

Asignatura: **TEMAS SELECTOS DE INGENIERÍA: MINERÍA DE DATOS** Semestre: **9**

Créditos: **8**

<b>Asignatura:</b>	<b>Horas:</b>	<b>Total (horas):</b>
Obligatoria	Teóricas 4.0	Semana 4.0
Optativa X	Prácticas 0.0	16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno comprenderá los conceptos y características principales para extraer información de un conjunto de datos y transformarla en una estructura comprensible para su uso posterior.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
1.	Introducción a la minería de datos	4.0
2.	Procesamiento de datos	10.0
3.	Análisis exploratorio de datos	10.0
4.	Aproximaciones estadísticas para estimación y predicción	16.0
5.	Árbol de decisiones	8.0
6.	Red neuronal	16.0
	Prácticas de laboratorio.	
	Total (horas)	64.0

**1 Introducción a la minería de datos**

**Objetivo:**

El alumno comprenderá las funciones de la minería de datos así como su aplicación a la industria petrolera.

**Contenido:**

**7.7** ¿Qué es la Minería de Datos?

**7.8** ¿Por qué extraer datos?

**7.9** Falacias de la minería de datos

**7.10** ¿Qué Tareas se Pueden Realizar con la Extracción de Datos?

**2 Procesamiento de datos:**

**Objetivo:** El alumno conocerá la técnica que consiste en la recolección de los datos primarios de entrada, que son evaluados y ordenados, para obtener información útil, que luego serán analizados por el usuario final, para que pueda tomar las decisiones o realizar las acciones que estime conveniente.

**Contenido:**

**2.10** ¿Por qué necesitamos pre-procesar los datos?

**2.11** Limpieza de datos

**2.12** Manejo de datos faltantes

**2.13** Identificación de errores de clasificación

**2.14** Métodos numéricos para identificar valores anormales

- 3 **Análisis exploratorio de datos:**  
**Objetivo:** El alumno examinará los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística. De esta forma el analista consigue un entendimiento básico de sus datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas

Contenido:

- 3.1 Tratar con variables Correlacionadas
- 3.2 Explorando variables numéricas
- 3.3 Explorando la relación multivariable

- 4 **Aproximaciones estadísticas para estimación y predicción**  
**Objetivo:** El alumno aplicara los métodos para obtener una inferencia estadística de un conjunto de datos para poder elaborar una predicción de los eventos.

**Contenido:**

- 4.1 Aproximaciones estadísticas para estimación y predicción
- 4.2 Métodos de una variable: centro de medición y programación
- 4.3 Inferencia estadística
- 4.4 Métodos de dos variables: regresión lineal
- 4.5 Regresión múltiple
- 4.6 Revisión de las suposiciones del modelo

- 5 **Árbol de decisiones**  
**Objetivo:**  
 El alumno aplicará los modelos de predicción utilizados en el ámbito de la inteligencia artificial.

**Contenido:**

- 5.1 Algoritmo C4.5
- 5.2 Reglas de decisión

- 6 **Red neural**  
**Objetivo:** El alumno entenderá los modelos y reglas para la elaboración de redes neuronales para la resolución de problemas. Así como el análisis de sensibilidad.

**Contenido:**

- 6.1 Red Neuronal para estimación y predicción
- 6.2 Retropropagación
- 6.3 Reglas de la retropropagación
- 6.4 Análisis de sensibilidad

### **Bibliografía básica**

#### **Data mining with decision trees: theory and applications**

Lior Rokach and Oded Maimon

#### **Data Mining and Knowledge Discovery Handbook.**

Oded Maimon and Lior Rokach (2010).

#### **Management Information Systems for the information**

Stephen Haag

#### **Knowledge Discovery and Data Mining: Challenges and Realities**

Xingquan Zhu, Ian Davidson

### **Sugerencias didácticas**

Exposición audiovisual	X	Prácticas de taller o laboratorio
Ejercicios dentro de clase	X	Prácticas de campo
Ejercicios fuera del aula	X	Búsqueda especializada en internet
Seminarios		Uso de redes sociales con fines académicos

Uso de software especializado  
Uso de plataformas educativas

Otras:

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X	Participación en clase	X
Exámenes finales	X	Asistencia a prácticas	
Trabajos y tareas fuera del aula	X	Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero en Matemáticas o Ingeniero en Minería

Asignatura:  
**REDES NEURONALES**

Semestre: **9**

Créditos: **8**

Asignatura:  
Obligatoria  
Optativa X

**Horas:**  
Teóricas 4.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**  
Semana 4.0  
16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno comprenderá los conceptos y características principales para extraer información de un conjunto de datos y transformarla en una estructura comprensible para su uso posterior.

Temario

NÚM	NOMBRE	Horas
1.	Introducción a la computación neuronal	2.0
2.	Fundamentos de las redes neuronales artificiales	8.0
3.	Selección de las redes neuronales artificiales	4.0
4.	Las primeras redes neuronales artificiales	6.0
5.	Red backpropagation	6.0
6.	Red self organizing map y red counterpropagation	6.0
7.	Red hopfield y red bidireccional associative memory	6.0
8.	Red adaptive resonance theory	10.0
9.	Aplicaciones de las redes neuronales artificiales	6.0
10.	Lógica difusa y redes neuronales artificiales	10.0
	Prácticas de laboratorio.	0.0
	Total (horas)	64.0

**1** **Introducción** a la computación neuronal

**Objetivo:** El alumno conocerá los fundamentos básicos del funcionamiento de las redes neuronales así como las características de estas y sus aplicaciones.

**Contenido:**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Características de las redes neuronales artificiales
- 1.3 Estructura básica de una red neuronal
- 1.4 Computación tradicional y computación neuronal
- 1.5 Historia de la computación neuronal
- 1.6 Aplicaciones de las redes neuronales artificiales

**2** **Fundamentos de las redes neuronales artificiales**

**Objetivo:** El alumno conocerá los tipos de redes neuronales que se emplean en la computación neuronal

- Contenido:**
- 2.1 El prototipo biológico
  - 2.2 La neurona artificial
  - 2.3 Redes neuronales artificiales de una capa y multicapa
  - 2.4 Entrenamiento de las redes neuronales artificiales
- 3 **Selección de las redes neuronales artificiales**  
**Objetivo:** El alumno aprenderá la clasificación de las redes neuronales artificiales así como las ANN más comunes y frecuentes en la mayoría de los simuladores de software de sistemas de computación neuronal.  
**Contenido:**
- 3.1 Adaline y Madaline
  - 3.2 DRS
  - 3.3 ART
  - 3.4 FLN
  - 3.5 Back-Propagation
  - 3.6 Hamming
  - 3.7 BAM
  - 3.8 Hopfield
  - 3.9 The Boltzman
  - 3.10 LVQ
- 4 **Las primeras redes neuronales artificiales**  
**Objetivo:** El alumno conocerá la estructura de las primeras redes neuronales que se desarrollaron.  
**Contenido:**
- 4.1 Perceptron
  - 4.2 Adaline – madaline
- 5 **Red backpropagation**  
**Objetivo:** El alumno conocerá el método de backpropagation de entrenamiento de redes multicapa.  
**Contenido:**
- 5.1 Introducción
  - 5.2 Arquitectura de la red backpropagation
  - 5.3 Algoritmo de entrenamiento
  - 5.4 Aplicaciones de la red backpropagation
  - 5.5 Ventajas e inconvenientes
- 6 **Red self organizing map y red counterpropagation**  
**Objetivo:** El alumno conocerá la red S.O.M. (Self Organizing Map) para organizar mapas topológicos que presenta la red a partir de una situación inicial aleatoria  
**Contenido:**
- 6.1 Introducción red self organizing map
  - 6.2 Arquitectura básica y modo de operación
  - 6.3 Ejemplos red s.o.m.
  - 6.4 Introducción red counterpropagation
  - 6.5 Arquitectura y funcionamiento
  - 6.6 Ejemplos red counterpropagation
- 7 **Red hopfield y red bidirectional associative memory**  
**Objetivo:** El alumno aplicará el concepto de la red Hopfield en problemas de optimización  
**Contenido:**
- 7.1 Red hopfield
  - 7.2 Aplicaciones de la red hopfield
  - 7.3 Ventajas y limitaciones
  - 7.4 Introducción red bidirectional associative memory
  - 7.5 Arquitectura red b.a.m.

- 8 **Red adaptive resonance theory**  
**Objetivo:** El alumno aplicará el concepto de Las redes ART necesaria para aprender nuevos patrones y evitan las modificaciones en los patrones aprendidos previamente.  
**Contenido:**  
8.1 Introducción red adaptive resonance theory  
8.2 Arquitectura red a.r.t.  
8.3 Modo de operación  
8.4 Entrenamiento de la red a.r.t.

- 9 **Aplicaciones de las redes neuronales artificiales**  
**Objetivo:** El alumno conocerá las aplicaciones de las redes neuronales artificiales consideradas como sistemas que resuelven eficazmente problemas de emparejamiento, clasificación y complemento de vectores patrones.  
**Contenido:**  
9.1 Introducción  
9.2 Diseño de una red para una aplicación  
9.3 Ejemplos de aplicaciones

- 10 **Lógica difusa y redes neuronales artificiales**  
**Objetivo:** El alumno conocerá la aplicación de la lógica difusa en aquellos casos cuando no existe un modelo matemático del proceso o es difícil decodificarlo, o bien el modelo es complejo y difícil de evaluarlo en tiempo real.  
**Contenido:**  
10.1 Introducción  
10.2 Estructura general de un sistema basado en lógica borrosa  
10.3 Sistemas neuro- difusos

#### **Bibliografía Básica**

**Anderson, J.A. & Rosenfeld, E.**  
Neurocomputing  
MIT Press, Cambridge, MA, 1989  
Carrascosa, J.L.

**Quimeras del Conocimiento. Mitos y Realidades de la Inteligencia Artificial**  
Ediciones Fundesco, 1992  
Dayhoff, J.

**Neural Networks Architectures: An Introduction**  
Van Nostrand Reinhold, New York, 1990  
Diederich, J. ed.

**Artificial Neural Networks: Concept Learning**  
Computer Society Press, Los Alamitos, CA, 1990  
Fogelman-Soulie, F. ed.

**Automata Networks in Computer Science**  
Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 1987  
Grosseberg, Stephen

**Adaptive Pattern Classification and Universal Recording: I. Parallel Development and coding of Neural Feature Detectors**  
Biological Cybernetics, Volume 23, pp. 121-134, 1976  
Grosseberg, Stephen

**Studies of Mind and Brain**  
Reidel, Dordrecht, Holland, 1982  
Hebb, D. O.

**Organization of behavior**  
Science Editions, New York, 1949

**Sugerencias didácticas**

Exposición audiovisual	X
Ejercicios dentro de clase	X
Ejercicios fuera del aula	X
Seminarios	
Uso de software especializado	
Uso de plataformas educativas	

Prácticas de taller o laboratorio
Prácticas de campo
Búsqueda especializada en internet
Uso de redes sociales con fines académicos
Otras:

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X
Exámenes finales	X
Trabajos y tareas fuera del aula	X

Participación en clase	X
Asistencia a prácticas	
Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Matemático, Ingeniero en sistemas computacionales con 10 años de experiencia.



Asignatura:  
**GEOTECNIA**

Semestre: **9**

Créditos: **8**

Asignatura:  
Obligatoria  
Optativa X

**Horas:**  
Teóricas 4.0  
Prácticas 0.0

**Total (horas):**  
Semana 4.0  
16 semanas 64.0

**Modalidad:** Curso

**Seriación obligatoria antecedente:** Ninguna

**Seriación obligatoria consecuente:** Ninguna

**Objetivo(s) del curso:**

El alumno comprenderá los conceptos y características principales para extraer información de un conjunto de datos y transformarla en una estructura comprensible para su uso posterior.

Temario presentaciones

NÚM	NOMBRE	Horas
1.	Depósitos de suelo y análisis granulométrico	10.0
2.	Relaciones volumétricas y gravimétricas, plasticidad y clasificación de los suelos	10.0
3.	Compactación de suelos	8.0
4.	Movimiento del agua a través de suelos. Permeabilidad y filtración	8.0
5.	Esfuerzos en una masa de suelo	6.0
6.	Consolidación	6.0
7.	Resistencia cortante del suelo	8.0
8.	Exploración del suelo	8.0
	Prácticas de laboratorio.	0.0
	Total (horas)	64.0

**1 Depósitos de suelo y análisis granulométrico**

**Objetivo:** El alumno conocerá los conceptos utilizados para el estudio de los suelos y los materiales de los cuales están compuestos.

**Contenido:**

- 1.1 Introducción
- 1.2 Depósitos de suelo natural
- 1.3 Tamaño de las partículas de suelos
- 1.4 Minerales arcillosos
- 1.5 Densidad de solidos
- 1.6 Análisis mecánico de suelos

**2 Relaciones volumétricas y gravimétricas, plasticidad y clasificación de los suelos**

**Objetivo:** El alumno aplicará los conceptos de relaciones volumétricas para analizar la geometría del subsuelo.

- Contenido:**
- 2.1 Relaciones volumétricas y gravimétricas
  - 2.2 Relaciones entre peso específico, relación de vacíos, contenido de agua y densidad de sólidos
  - 2.3 Compacidad relativa
  - 2.4 Consistencia del suelo
  - 2.5 Índice de liquidez
  - 2.6 Carta de plasticidad
  - 2.7 Clasificación del suelo.
- 3 **Compactación de suelos**  
**Objetivo:** El alumno comprenderá el proceso y los factores que intervienen en la compactación de los suelos
- Contenido:**
- 3.1 Compactación; principios generales
  - 3.2 Prueba Protector estándar
  - 3.3 Factores que afectan la compactación
  - 3.4 Prueba proctor modificada
  - 3.5 Estructura de un suelo cohesivo compactado
  - 3.6 Especificaciones para compactación en campo
- 4 **Movimiento del agua a través de suelos. Permeabilidad y filtración**  
**Objetivo:** El alumno conocerá los métodos para determinar la permeabilidad mediante relaciones empíricas y métodos experimentales para poder comprender el movimiento del agua a través del subsuelo.
- Contenido:**
- 4.1 Ecuación de Bernoulli
  - 4.2 Ley de Darcy
  - 4.3 Permeabilidad
  - 4.4 Determinación en laboratorio de la permeabilidad
  - 4.5 Relaciones empíricas para la permeabilidad
  - 4.6 Ecuación de continuidad de Laplace
  - 4.7 Redes de flujo
  - 4.9 Ascensión capilar en suelos
- 5 **Esfuerzos en una masa de suelo**  
**Objetivo:** El alumno identificará los esfuerzos que se encuentran presentes en una masa de suelo
- Contenido:**
- 5.1 Esfuerzos en suelo saturado sin filtración
  - 5.2 Esfuerzos en suelo saturado con infiltración
  - 5.3 Esfuerzo efectivo en un suelo parcialmente saturado
  - 5.4 Esfuerzo causado por una carga puntual
  - 5.5 Esfuerzo vertical causado por una carga lineal
  - 5.6 Esfuerzo vertical causado por una carga de franja
  - 5.7 Esfuerzo vertical debajo del centro de un área circular uniformemente cargada.
  - 5.8 Esfuerzo vertical causado por un área rectangularmente cargada
  - 5.9 Carta de influencia para presión vertical
- 6 **Consolidación**  
**Objetivo:** El alumno conocerá los procesos de consolidación del suelo.
- Contenido:**
- 6.1 Fundamentos de consolidación
  - 6.2 Gráficas relación de vacío – presión
  - 6.3 Arcillas normalmente consolidadas y pre consolidadas

- 6.4 Efecto de la perturbación entre la relación de vacío – presión
- 6.5 Cálculo de asentamientos por consolidación primaria unidimensional
- 6.6 Índice de compresión
- 6.7 Pre compresión
- 6.8 Drenes de arena

7 **Resistencia cortante del suelo**

**Objetivo:** El alumno aplicará las técnicas y pruebas para el cálculo de la resistencia del suelo, así como el efecto que las arcillas generan a causa del agua.

**Contenido:**

- 7.1 Criterios de falla de Mohr – Coulomb
- 7.2 Inclinación del plano de falla causada por cortante
- 7.3 Prueba de corte directo
- 7.4 Prueba de corte triaxial
- 7.5 Prueba consolidada drenada
- 7.6 Prueba consolidada no drenada
- 7.7 Prueba no consolidada no drenada
- 7.8 Prueba de compresión simple en arcilla saturada
- 7.9 Sensitividad y trixotropía de las arcillas

8 **Exploración del suelo**

**Objetivo:** El alumno conocerá los procedimientos para la exploración del suelo.

**Contenido:**

- 8.1 Programa de exploración del subsuelo
- 8.2 Perforaciones exploratorias en el campo
- 8.3 Procedimientos para muestreo del suelo
- 8.4 Observación de los niveles de agua
- 8.5 Prueba de corte con veleta
- 8.6 Prueba del presurímetro (PMT)
- 8.7 Prueba de penetración de cono
- 8.8 Extracción de núcleos de roca
- 8.9 Preparación de registros de perforación

**Bibliografía Básica**

**Fundamentos de ingeniería geotécnica**

Braja M. Das  
Cengage Learning Latin Am, 2001

**Problemas de geotecnia y cimientos**

Francisco Ángel Izquierdo Silvestre, Miguel Ángel Carrión Carmona  
Ed. Univ. Politéc. Valencia, 2002

**Geotecnia del ingeniero: reconocimiento de suelos Construcción (Editores Técnicos Asociados)**

Henri Cambefort  
Reverte, 1975

**Geotecnia Problemas Resueltos: Mecánica de Suelos**

Edicions virtuals UPC  
Sebastià Olivella Pastallé, Sebastià Olivella, Alejandro Josa García-Tornel,  
Francisco Javier Valencia Vera  
Edicions UPC, 2003

**Sugerencias didácticas**

Exposición audiovisual	X
Ejercicios dentro de clase	X
Ejercicios fuera del aula	X
Seminarios	
Uso de software especializado	
Uso de plataformas educativas	

Prácticas de taller o laboratorio
Prácticas de campo
Búsqueda especializada en internet
Uso de redes sociales con fines académicos
Otras:

**Forma de evaluar**

Exámenes parciales	X
Exámenes finales	X
Trabajos y tareas fuera del aula	X

Participación en clase	X
Asistencia a prácticas	
Otras:	

**Perfil profesiográfico de quienes pueden impartir la asignatura**

Ingeniero Civil con 10 años de experiencia.