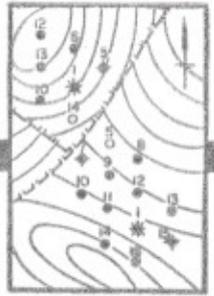


Tarea para el miércoles 27-Sep-06

Crítica



IMPORTANCIA DEL CONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LOS YACIMIENTOS PETROLIFEROS PARA SU MEJOR EXPLOTACION

Ing. Jorge D. Pérez Matus

RESUMEN

En este trabajo se define la Geología Petrolera de Explotación, se describe en forma breve sus objetivos y se señalan los diferentes aspectos que abarca. Además se analizan las principales actividades de explotación de petróleo que requieren del apoyo de tal rama.

Algunas de las etapas de explotación de un campo petrolero tales como: perforación de pozos, desarrollo de campos y evaluación, recuperación de hidrocarburos y simulación numérica del yacimiento, requieren de información geológica especializada; por tal motivo, se describe en este trabajo en qué consiste esta información y la manera en que participa o influye en los trabajos que se desarrollan durante dichas etapas.

Finalmente se señala la necesidad y la conveniencia de que en todo centro de trabajo o empresa que se dedique a la explotación de yacimientos petrolíferos; como es el caso de PEMEX o el IMP, cuente con un grupo de trabajo que se encargue, exclusivamente, de realizar tales estudios y de esta manera contar en forma oportuna con la información geológica mencionada.

ANTECEDENTES

Hace aproximadamente 20 años, se hizo resaltar el escaso desarrollo en que se encontraba, en nuestro país la geología petrolera de explotación⁽¹⁾ y la necesidad urgente de fomentar sus actividades.

En ese tiempo, se conocía poco de los objetivos y de las distintas actividades de esta rama de la geología; sin embargo, en algunas áreas de Petróleos Mexicanos (Explotación) se llevaban a cabo diversas actividades de geología de explotación para obtener la información necesaria para el desarrollo

de proyectos de explotación de algunos campos petroleros.

Con el tiempo se llegó a madurar la idea de crear un área encargada de la geología de explotación para proporcionar, a los diferentes departamentos que controlaban la explotación de los campos, la información geológica requerida para el apoyo de sus actividades.

Algunos cambios posteriores en la organización de Petróleos Mexicanos diluyeron sorpresivamente las actividades primarias que sobre Geología de Explotación se estaban desarrollando, no obstante que aumentaba el conocimiento de esta disciplina, así como la utilidad e importancia de esta información. Actualmente se tiene más conciencia de su importancia; sin embargo, no existe dentro de la organización de Petróleos Mexicanos un departamento especializado encargado de desarrollar este tipo de estudios para cubrir las necesidades, que sobre esta actividad pudieran requerir otras áreas.

En el Instituto Mexicano del Petróleo, desde su fundación y como parte de la Subdirección de Tecnología de Explotación, se creó el Departamento con el nombre de Geología de Explotación, cuyo objetivo fundamental era el de realizar estudios geológicos detallados a los campos petroleros en explotación.

Posteriormente, por reorganización, se convirtió en División de Evaluación de Formaciones, ampliándose sus objetivos y por lo tanto aumentando los tipos de trabajo; con lo que la Geología Petrolera de Explotación aunque sigue siendo una de las principales actividades dentro de tal División, comparte su nivel con tres Departamentos más.

Las necesidades de Petróleos Mexicanos de esta información geológica de explotación son muy grandes.

La capacidad del IMP para desarrollar esta actividad está limitada y se considera que a la fecha no es suficiente para satisfacer los requerimientos de Petróleos Mexicanos.

OBJETIVO DE LA GEOLOGIA DE EXPLOTACION

La Geología de Explotación o Producción es una rama de la Geología Petrolera, cuyo objetivo es el de servir como auxiliar en algunas fases de la explotación de los yacimientos petrolíferos.

El objetivo, parece claro, sin embargo, pocos son los profesionales que entienden en qué consiste exactamente la geología de explotación y cuándo o cómo se debe de aplicar.

Son muchas las etapas de explotación de un campo en las que se requiere del auxilio de la geología. En todas ellas es necesario que se tenga un conocimiento preciso de lo que es la geología petrolera de explotación, cuál es la información que proporciona, cuáles son los trabajos que requieren de esa información y la manera en que se debe utilizar para obtener mejores resultados.

¿QUE ES LA GEOLOGIA PETROLERA DE EXPLOTACION?

Como se mencionó previamente la Geología Petrolera de Explotación, llamada también Geología de Producción, es una rama de la Geología Petrolera. Esta se encarga del estudio de los aspectos geológicos que controlan la acumulación y afectan la explotación de los hidrocarburos de un área dada.

En la Fig. No. 1 se presenta la relación que guarda la geología petrolera de explotación con respecto a la geología petrolera general.

No existe ninguna diferencia entre cada uno de los tipos definidos; realmente la geología es la misma, independientemente de los métodos o de la información que se utilice. Se puede emplear la geología de exploración petrolera utilizando información obtenida de manera directa o indirecta, de superficie o del subsuelo; este mismo tipo de información se procesa para desarrollar la geología de explotación.

Los resultados que se obtienen de ambos estudios geológicos de exploración y de explotación básicamente son los mismos y fundamentalmente es la forma de aplicarlos o bien las áreas donde se apliquen lo que les da el carácter de geología de explotación o bien de exploración; precisando para cada una de ellas objetivos propios y bien definidos. Podría decirse que la geología de explotación se inicia donde termina la geología de exploración y emplea los resultados de ésta para iniciar sus estudios propios tendientes a la caracterización precisa de los elementos geológicos que propiciaron la acumulación de hidrocarburos descubierta por los trabajos exploratorios y de los que tienen efecto en

la recuperación de tales fluidos.

En el diagrama de la Fig. No. 2 se presentan en forma general las principales áreas en las que se requiere del auxilio de la geología de explotación. Los trabajos desarrollados en estas áreas (perforación y desarrollo de campos, evaluación e ingeniería de yacimientos) requieren de información geológica para la preparación de sus programas y el desarrollo de los proyectos de explotación.

INFORMACION GEOLOGICA NECESARIA PARA LA EXPLOTACION DE LOS YACIMIENTOS

La información geológica que se debe obtener de un estudio de Geología de Explotación abarca fundamentalmente los siguientes aspectos:

Cabe aclarar que la información que se enlista en la siguiente relación comprende los aspectos esenciales, pudiendo existir otro tipo de información, también necesaria, que no aparece en la relación.

Características Geológicas Regionales.

Sedimentológicas

- Ambientes de depósito y patrón de distribución de las facies almacenadoras.
- Estructuras sedimentarias y texturas de las facies almacenadoras.

Estratigráficas

- Litología de la columna geológica.
- Relaciones estratigráficas de las facies.
- Procesos diagenéticos existentes y su influencia.

Estructurales

- Características de las estructuras productoras.
- Fracturas y sus características.
- Fallas geológicas y sus elementos.
- Bloques y sus características estructurales.

Características Geológicas Locales (geología de los yacimientos).

- Tipo de trampa almacenadora.
- Litología, incluyendo zonificación.
- Tipo de límites.
- Geometría.
- Profundidad, relieve estructural y buzamiento.
- Heterogeneidad de la roca.
- Distribución original de fluidos, incluyendo determinación del contacto agua-hidrocarburos.

De acuerdo con la relación anterior son muchos

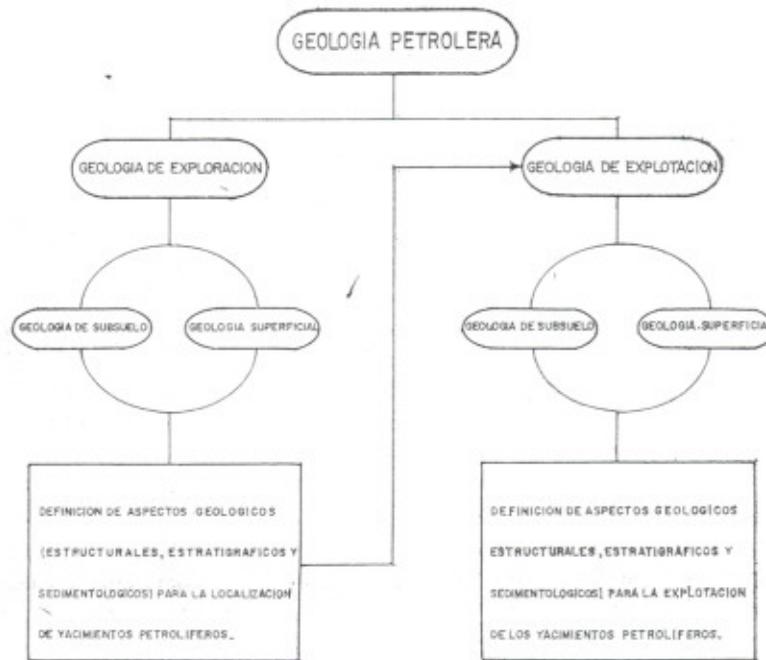


FIG. Nº.1.- RELACION DE LA GEOLOGIA PETROLERA DE EXPLOTACION CON RESPECTO A LA GEOLOGIA PETROLERA GENERAL.



FIG. Nº.2.- PRINCIPALES AREAS EN LAS QUE SE REQUIERE LA GEOLOGIA PETROLERA DE EXPLOTACION

los aspectos geológicos que se requieren conocer, y que se deben aplicar para obtener mejores resultados en la explotación de un campo petrolero, y es precisamente en este punto donde surge el problema ya que si los profesionales que deben utilizar esta información no la conocen o no saben aplicarla, consideran que esta información geológica no es de utilidad.

Debido a las limitaciones reglamentarias en la presentación de este trabajo, no se hace ninguna explicación con relación a la información geológica descrita anteriormente.

ETAPAS DE EXPLOTACION Y LA IMPORTANCIA DE LA GEOLOGIA

Son 4 las principales etapas de explotación en las que se considera necesario contar con el apoyo de la geología. PERFORACION Y DESARROLLO DE CAMPOS, EVALUACION DE YACIMIENTOS, RECUPERACION DE HIDROCARBUROS Y SIMULACION NUMERICA DE YACIMIENTOS.

Perforación y Desarrollo de Campos.

La correcta programación y perforación de un pozo petrolero requiere del conocimiento de los tipos litológicos que integran la columna geológica a perforar y las profundidades probables de sus contactos, con el propósito de seleccionar adecuadamente, entre otras cosas, el tipo de barrenas, el lodo de perforación, los registros geofísicos adecuados para la correcta evaluación de la formación almacenadora, las profundidades a las que deben anclarse las tuberías de revestimiento, los probables intervalos de zonas geopresionadas, etc.

Desarrollar un campo consiste en perforar, de acuerdo a su geometría y extensión, el número de pozos necesario para su correcta explotación.

Con información de un sólo pozo que permita determinar la distribución de los fluidos que saturan a la roca almacenadora y con apoyo en la configuración geofísica del horizonte que corresponde a la cima productora se pueden definir los límites tentativos y la geometría de la acumulación.

El tipo litológico, el ambiente de depósito, el patrón de distribución de facies, la configuración de la cima productora y la geometría, son necesarios para la definición del arreglo y perforación de los pozos de desarrollo.

Por lo anterior puede establecerse que el desarrollo de los campos depende en buena parte del tipo litológico de la roca almacenadora que constituye el yacimiento.

Los tipos litológicos más comunes son arenas o areniscas y calizas o dolomías.

De acuerdo con el patrón geométrico de dichos tipos litológicos (alargados para las arenas y areniscas, paralelos o perpendiculares a la línea de costa y tabulares para las rocas carbonatadas) los yacimientos en arenas constituyen sólo una parte de la estructura geológica; en cambio las rocas carbonatadas generalmente cubren toda el área. De acuerdo con lo anterior los criterios para desarrollar los campos deben estar controlados por el tipo de yacimiento, desde el punto de vista litológico, ya que en una arena la acumulación está distribuida en una franja angosta con relación al área de la estructura. En estos casos es recomendable que el desarrollo se realice a nivel de cuerpo de arena y no de estructura.

El desarrollo de los yacimientos constituidos por rocas carbonatadas puede hacerse de acuerdo con el control estructural. No se debe perder de vista que estas rocas son muy susceptibles a los cambios postdeposicionales y que estos cambios están controlados, parcialmente, por los ambientes de depósito.

Existen casos de campos en arenas con yacimientos múltiples (multidepósito, Fig. No. 3), en donde se presentan acumulaciones de hidrocarburos en diferentes niveles. Sin embargo, este hecho no debe cambiar el criterio del desarrollo del campo.

En términos generales se puede concluir que la localización de los pozos de desarrollo debe estar controlada en forma combinada por aspectos geológicos, tanto estructurales como estratigráficos. En la Fig. No. 4 se presentan 2 ejemplos teóricos de desarrollo de campo.

De acuerdo con la geometría del yacimiento y la distribución probable de las facies almacenadoras el desarrollo de campo se puede llevar a cabo de las siguientes formas:

1. Perforar los pozos a partir del pozo descubridor hasta llegar o encontrar los límites laterales de la acumulación.
2. Corroborar los límites laterales tentativos de acumulación mediante perforaciones de avanzada y posteriormente efectuar perforaciones de relleno.

En ambos casos se deben preparar, tras la perforación del segundo pozo, secciones transversales estructurales para definir las tendencias probables de los mejores intervalos con impregnación de hidrocarburos y de esta manera programar las profundidades de los pozos a perforar.

Como parte del desarrollo de los campos se pueden considerar algunos trabajos que se realizan para la terminación de los pozos; por ejemplo, para seleccionar los intervalos por donde se va a explotar el o los yacimientos.

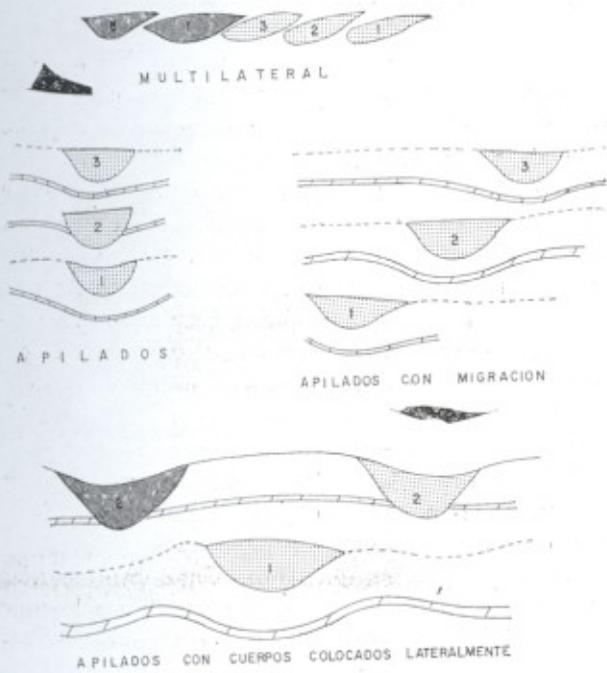


FIG. No 3.- TIPOS DE DISTRIBUCION ESTRATIGRAFICA DE DIFERENTES CUERPOS ARENOSOS⁽⁹⁾

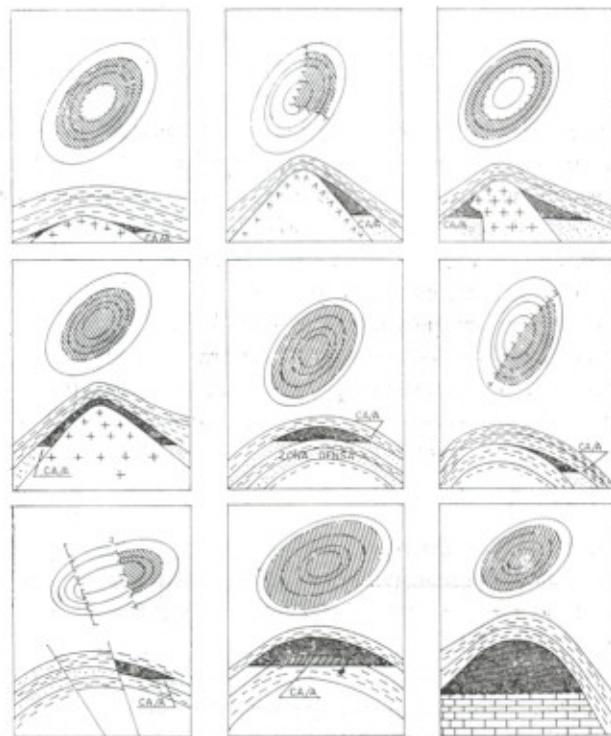


FIG. No 5.- CASOS DE ESTRUCTURA GEOLOGICA CON ACUMULACION DE HIDROCARBUROS⁽³¹⁾

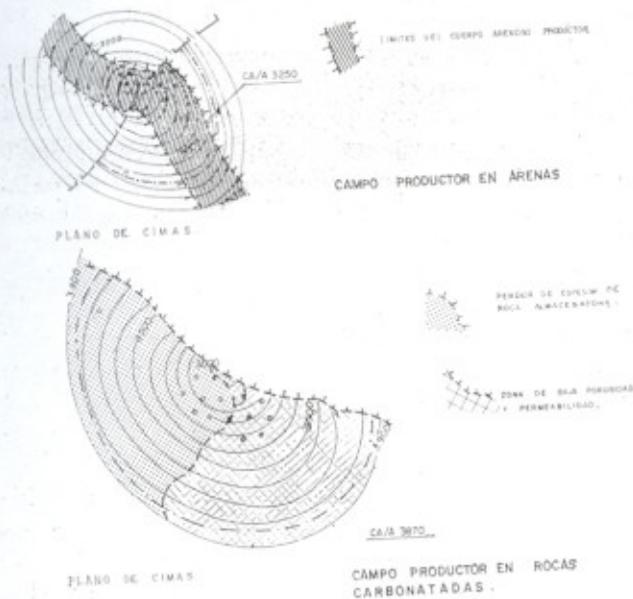


FIG. No 4.- CASOS TEORICOS DE DESARROLLO DE CAMPOS.

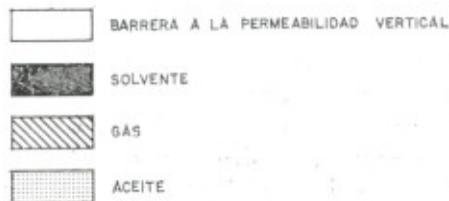
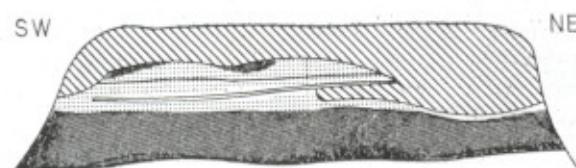


FIG. No. 6.- DISTRIBUCION DE FLUIDOS OBSERVADOS EN LA ACUMULACION "GOLDEN SPIKE" D3A.⁽⁴⁾

En esta selección intervienen diferentes aspectos geológicos, como los tipos litológicos y mineralógicos que integran la columna geológica productora, con lo cual se podrán conocer los tipos y perfiles de las estructuras primarias y texturas existentes, las relaciones estratigráficas, diferentes tipos de porosidad, la presencia de fracturas, los procesos diagenéticos que afectaron a la roca almacenadora estuvo expuesta a la superficie, etc. Con esta información se puede fijar el tipo de terminación o bien definir si se le debe practicar algún tipo de estimulación. Además se tendrá la información suficiente para seleccionar el método apropiado para la interpretación cuantitativa de los registros geofísicos y el criterio suficiente para la selección de los mejores resultados.

Evaluación de Yacimientos.

Evaluar un yacimiento o un campo es de suma importancia, ya que de la cantidad de hidrocarburos recuperables dependen las inversiones que deben hacerse para el logro de la infraestructura necesaria para una correcta explotación del campo; por lo que es conveniente que los aspectos geológicos y algunos parámetros petrofísicos necesarios para la cuantificación de los volúmenes originales de hidrocarburos sean definidos correctamente.

El cálculo de las reservas probadas de una estructura almacenadora se apoya en el volumen de hidrocarburos calculado a condiciones originales. La definición de este volumen original requiere de un estudio geológico detallado en el que se determine, mediante la correlación de secciones transversales estructurales, los perfiles de las capas de roca con hidrocarburos, señalando la cima y la base de la acumulación, así como sus límites laterales, Fig. No. 5.⁽¹²⁾

Un parámetro muy importante en la cuantificación del volumen original es la porosidad. En rocas carbonatadas donde existen diferentes tipos de porosidad es necesario, para hacer una evaluación más aproximada de los volúmenes de hidrocarburos, definir los diferentes tipos de porosidad y hacer una cuantificación del volumen correspondiente a cada tipo.

El espesor neto poroso con hidrocarburos también se requiere en el cálculo del volumen original de hidrocarburos. Con base en información principalmente de registro geofísicos de los pozos y dependiendo del tipo de porosidad, se pueden seleccionar dentro de la zona con acumulación los intervalos porosos, tomando como límites verticales la cima y la base del yacimiento, esta última generalmente dada por intervalos densos o bien por el contacto agua-hidrocarburos

Recuperación de Hidrocarburos.

La ingeniería de yacimientos aplicada a la recuperación primaria y mejorada de hidrocarburos debe apoyarse forzosamente en modelos geológicos de yacimientos.

La descripción geológica del yacimiento requerida en esta etapa de la explotación, debe incluir principalmente los siguientes aspectos: tipo de estructura y fallas geológicas, presencia de fracturas, porosidad y permeabilidad, litología y mineralogía, zonificación, estructuras primarias, etc. Esta información debe tomarse en cuenta para el correcto desarrollo de los proyectos de recuperación de hidrocarburos.

Estructura Geológica.—Conocer el tipo de estructura es importante ya que la magnitud del relieve y cierre estructural es definitivo al elegir el tipo de inyección de agua. En estructuras con relieve estructural alto se debe aprovechar la magnitud del echado de las capas en la selección del arreglo de pozos inyectoros.

En campos con relieve estructural moderado, el echado de las capas no representa ningún efecto en las operaciones de la recuperación secundaria. En este caso otras características de la roca almacenadora, tales como porosidad, permeabilidad, fracturas, fallas geológicas, litología, etc., deben tomarse en cuenta para una correcta selección de pozos e intervalos inyectoros.

Fallas Geológicas.—La posición y número de las fallas geológicas en una estructura definen bloques que pueden constituir yacimientos independientes, la definición anticipada de este aspecto puede ser aprovechada convenientemente. Los planos de fallas deben considerarse que constituyen barreras al paso de los fluidos por lo que la identificación de estos planos y el arreglo de sus trazas en los planos de cimas de los yacimientos, señalarían las áreas de acumulación en las que quedarían comprendidos los pozos inyectoros y productores.

Fracturas.—La descripción de un yacimiento fracturado en forma natural requiere de procedimientos especiales por lo que es necesario que se ponga interés particular en yacimientos de este tipo, ya que no es fácil determinar los parámetros que caracterizan un medio fracturado (ancho, espaciamiento, intensidad y frecuencia de fracturas) aún cuando la roca almacenadora haya sido intensamente muestreada.

Las fracturas afectan a la recuperación de hidrocarburos en diferentes formas: favorecen a los yacimientos con empuje de gas en solución durante la recuperación primaria pero durante la inyección de agua o gas son verdaderas avenidas para el movimiento de fluidos dejando grandes volúmenes

de aceite contenido en la matriz de la roca almacenadora. Si se tiene información de densidad de fracturas y distribución, la posición de los pozos inyectoros se puede localizar en forma conveniente.

Las fracturas, por otro lado, pueden ser la principal causa de problemas de conificación.

Porosidad y Permeabilidad.—Cabe mencionar que los trabajos que se realizan para la definición de estos parámetros no son estrictamente geológicos. Sin embargo, debido a la importancia que tienen en la acumulación y recuperación de hidrocarburos se hacen algunos comentarios, considerados de interés.

La porosidad es un factor definitivo ya que controla la capacidad de inyección de agua; además está relacionada al volumen de aceite almacenado en el yacimiento.

La porosidad final en arenas depende fundamentalmente de las condiciones ambientales al tiempo del depósito; dependiendo del nivel de energía. Sin embargo en una roca carbonatada la porosidad final depende, además del nivel de energía, de procesos orgánicos y diagenéticos que modifican la porosidad original, haciendo más difícil su determinación y pronóstico.

Para poder considerar a una formación como adecuada para la inyección de agua, es necesario que tenga buena porosidad y permeabilidad y que se mantengan, por lo menos del pozo inyector al productor.

La presencia de capas densas con una distribución horizontal amplia en yacimientos sometidos, por ejemplo, a inyección de miscibles, constituyen barreras de permeabilidad al barrido vertical del banco de solvente, Fig. No. 6⁽⁴⁾, provocando que volúmenes considerables de aceite queden en el yacimiento.

En rocas carbonatadas heterogéneas, en donde se tiene un amplio rango de permeabilidad, es probable que se presenten canalizaciones del agua de inyección del pozo inyector al productor, a través de las secciones altamente permeables, quedando los hidrocarburos atrapados en las zonas de menor permeabilidad, por lo que es necesario conocer con detalle la distribución vertical y horizontal de ese parámetro. Determinados estos aspectos, la elección del arreglo de los pozos y de los intervalos de inyección y producción, así como de las cuotas de inyección se hará con más bases, ya que para ello se tomarían en cuenta también las zonas de menor permeabilidad, Fig. No. 7.

Litología y Mineralogía.—Los diferentes tipos litológicos presentes en una roca almacenadora deben conocerse por lo menos a nivel de pozo ya que cada tipo presenta características propias; por ejem-

plo, una caliza es más soluble de una dolomía, el mudstone es de baja porosidad primaria y puede contener arcillas, la dolomía normalmente es un producto de reemplazo e implica circulación de agua a través de medios porosos primarios o fracturas. Un grainstone está formado por granos y su porosidad es primaria intergranular, una arena normalmente contiene arcilla intersticial o interestratificada, una arenisca contiene cementantes que pueden ser carbonatos, etc. Por otro lado, es conveniente determinar el contenido de ciertos tipos mineralógicos; por ejemplo, la Pirita en presencia de oxígeno forma ácido sulfúrico el cual es muy corrosivo, el Bario en combinación con sulfatos produce Sulfato de Bario que es insoluble y tapona los espacios porosos reduciendo con ello la permeabilidad.

El conocimiento de estos aspectos relacionados a los tipos litológicos, son necesarios en la programación de los proyectos o métodos de recuperación de hidrocarburos.

Zonificación.—La zonificación geológica de la roca almacenadora juega un papel muy importante en la inyección de agua. Las predicciones de comportamiento de yacimientos muchas veces fracasan debido a que no se toma en cuenta la heterogeneidad geológica. Es común que los cuerpos de arenas almacenadoras, de acuerdo con la energía en su ambiente de depósito, se encuentren interestratificadas con pequeñas capas lutíticas, o bien presenten estratificación graduada o zonas que de acuerdo con los distintos niveles de energía se presenten libres de arcillas y/o tamaños de granos mayores, lo que origina variaciones en los valores de porosidad y consecuentemente de permeabilidad.

Las rocas carbonatadas almacenadoras comúnmente tienen porosidad del tipo vesicular. Cuando las vesículas están conectadas forman canales con permeabilidades muy altas que podrían admitir la mayor parte del agua de inyección, produciendo un rápido rompimiento del agua en el pozo productor.

Durante la inyección, el agua es aceptada proporcionalmente a la permeabilidad de cada capa.

Después de definir una zonificación de valores de porosidad o permeabilidad y de acuerdo con la distribución horizontal y vertical de dichas zonas, la recuperación secundaria debe programarse o adaptarse con base en las subzonas dentro del yacimiento.

Estructuras Primarias.—Las rocas sedimentarias presentan estructuras originadas durante su depósito. Los cambios constantes de condiciones afectan la mineralogía, textura y composición de los sedimentos acumulados, originando una estratificación o la formación de capas.

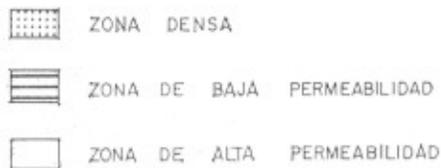
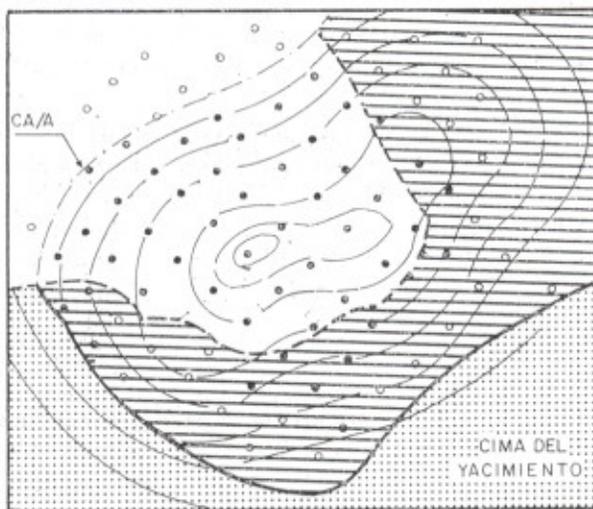
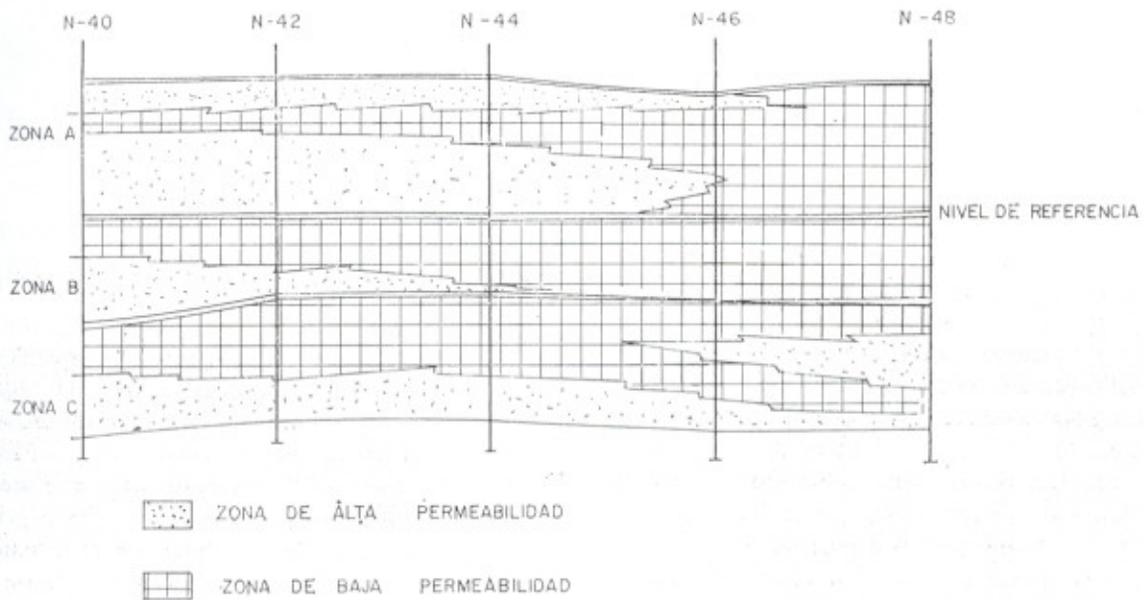


FIG.No.7.- DISTRIBUCION HORIZONTAL Y VERTICAL DE ZONAS DE DISTINTAS PERMEABILIDADES.

Cuando en el ambiente de depósito existen corrientes dominantes en determinadas direcciones y éstas se mantienen durante todo el tiempo del depósito, se generan **estructuras primarias llamadas de corrientes** (estratificación cruzada, rizaduras, etc). Estas estructuras pueden crear superficies de muy alta permeabilidad.

Algunos sedimentos están intensamente bioturbados, lo que indica que durante el depósito de los mismos, algunos organismos construyeron horadaciones, con lo cual se destruye parcialmente la estructura interna y se homogenizan los sedimentos. Esta actividad puede reducir el contraste de permeabilidad dentro de los sedimentos.

Otras estructuras como **las superficies estrilíticas** también juegan un papel muy importante en la recuperación de los hidrocarburos, ya que normalmente se orientan subparalelas a los planos de estratificación y **generalmente están rellenas con silicatos de grano fino y materia orgánica no carbonatada, creando barreras al flujo entre capas.** Debe definirse la presencia de estas estructuras primarias en formaciones productoras cuando se les pretenda someter a proyectos de recuperación secundaria de hidrocarburos, ya que si se conoce el tipo, tamaño y dirección de dichas estructuras pueden ser aprovechadas favorablemente.

En la Fig. No. 8 se presentan algunos casos de estructuras primarias sedimentarias.

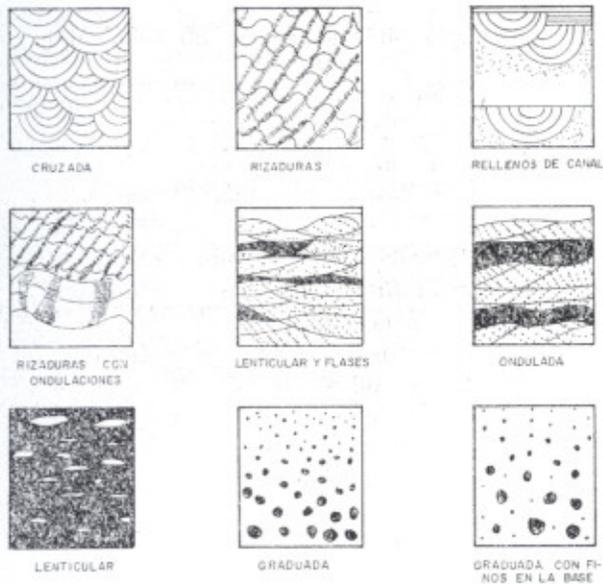


FIG. No. 8.- FORMAS ESQUEMATICAS DE TIPOS DE ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS.

Simulación Numérica de Yacimientos.

El avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de programas complejos de computadoras para la simulación del flujo de fluidos en un yaci-

miento durante las etapas de recuperación primaria y recuperación mejorada, aplicando ecuaciones matemáticas que describen el flujo y la transferencia de masas⁽²⁾ dentro del yacimiento, en una, dos o tres dimensiones, pudiendo ser para tres fluidos (aceite, gas y agua).

La aplicación de estos modelos matemáticos permite el desarrollo, de una manera rápida y precisa, de estudios sobre la futura producción de un yacimiento bajo diferentes condiciones, permitiendo seleccionar el óptimo o manejar varias alternativas.

Lógicamente los resultados que se obtienen de la aplicación de estos modelos dependen de la información que se le suministre al programa y es aquí donde la geología del yacimiento adquiere importancia.

Los datos geológicos que se requieren para la simulación numérica de yacimientos son principalmente: geometría, límites, subdivisiones y heterogeneidad. También se requiere la descripción del acuífero, cuando se encuentra asociado al yacimiento, incluyendo su geometría y límites. Tanto al yacimiento como al acuífero, se les deben determinar, además, los valores de porosidad, permeabilidad espesores netos y saturaciones de agua. Aunque estos datos corresponden a la roca almacenadora que constituye tanto al yacimiento como al acuífero, los trabajos que se desarrollan, como ya se comentó anteriormente, no corresponden estrictamente a las actividades de la geología de explotación.

La simulación numérica del yacimiento requiere del conocimiento del volumen original de hidrocarburos, ya sea de la configuración de mapas de isopacas, estructurales (cimas y bases) o de isoíndices de hidrocarburos.

El ajuste del comportamiento de un yacimiento requiere, generalmente, probar la simulación haciendo variar algunos de los parámetros que intervienen como información; de ahí la necesidad de contar con el dato del volumen original obtenido por diferentes métodos. Así también, cuando se requiere probar con otros valores ya sean petrofísicos, de saturación o de dimensiones del yacimiento, es recomendable modificar criterios, seleccionar nuevos métodos o recuperar mayor información.

Geometría del Yacimiento.—Como ya se indicó en párrafos anteriores, el conocimiento de la geometría del yacimiento es muy importante y necesario para las distintas etapas de la explotación de un campo. Este parámetro está definido por la forma que resulta del arreglo de los límites laterales, en un plano de configuración de cimas.

En la simulación numérica, además de la geometría en planta del yacimiento, la cual es requerida principalmente para el diseño de la retícula necesaria para el simulador, Fig. No. 9, se requiere mostrar la geometría en dos o tres dimensiones; para ésto se preparan secciones transversales o bloques isométricos, combinando dos o más secciones, Fig. No. 10.

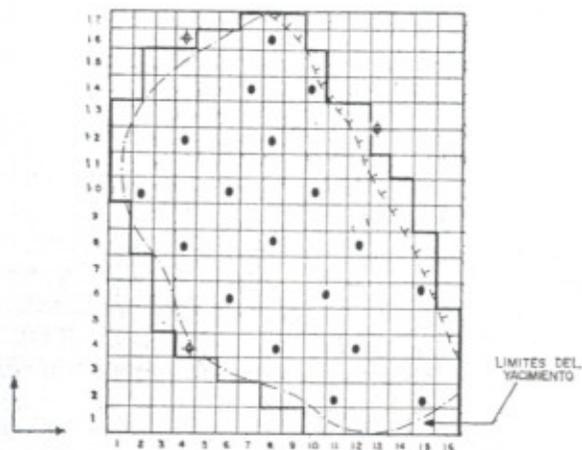


FIG. No. 9.- LIMITES DE UN YACIMIENTO SUPUESTO Y UNA RETICULA TRAZADA DE ACUERDO A LA GEOMETRIA.

Límites.—La posición y tipos de límite que definen la acumulación de hidrocarburos, es un dato necesario en la simulación, ya que define la geometría del yacimiento. Por otro lado, el tipo de límite (falla geológica, cambio de facies, contacto agua-hidrocarburos, etc.), establece el carácter de frontera, definiendo con ésto sus características es decir si el límite está dado por cambios bruscos o transicionales de la porosidad, espesor, permeabilidad, etc.

El límite inferior de la acumulación debe mostrarse mediante la configuración de un plano de bases y también debe indicarse en las secciones transversales de correlación y/o bloques.

Comúnmente este límite lo constituye el plano del contacto agua-hidrocarburos, una zona densa y/o arcillosa o una combinación de éstos.

Subdivisiones.—En general se puede decir que todos los yacimientos presentan subdivisiones.

De acuerdo a su origen, las subdivisiones pueden clasificarse en estructurales y estratigráficas.

La estructural es generada principalmente por fallas geológicas, cuyos planos representan barreras al paso de los fluidos. Dependiendo del grado de fallamiento de una estructura se pueden generar bloques, los cuales constituyen yacimientos independientes, Fig. No. 11. La simulación de estos casos, se debe realizar en forma independiente.

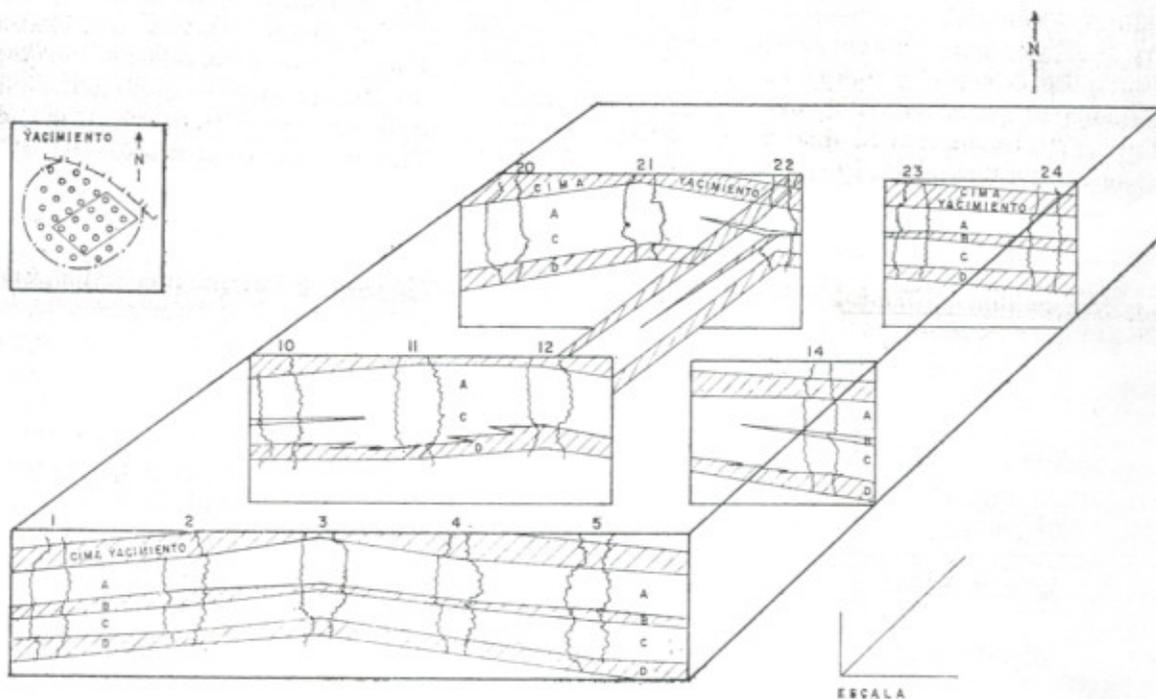


FIG. No. 10.- REPRESENTACION DE UN YACIMIENTO EN DOS Y TRES DIMENSIONES

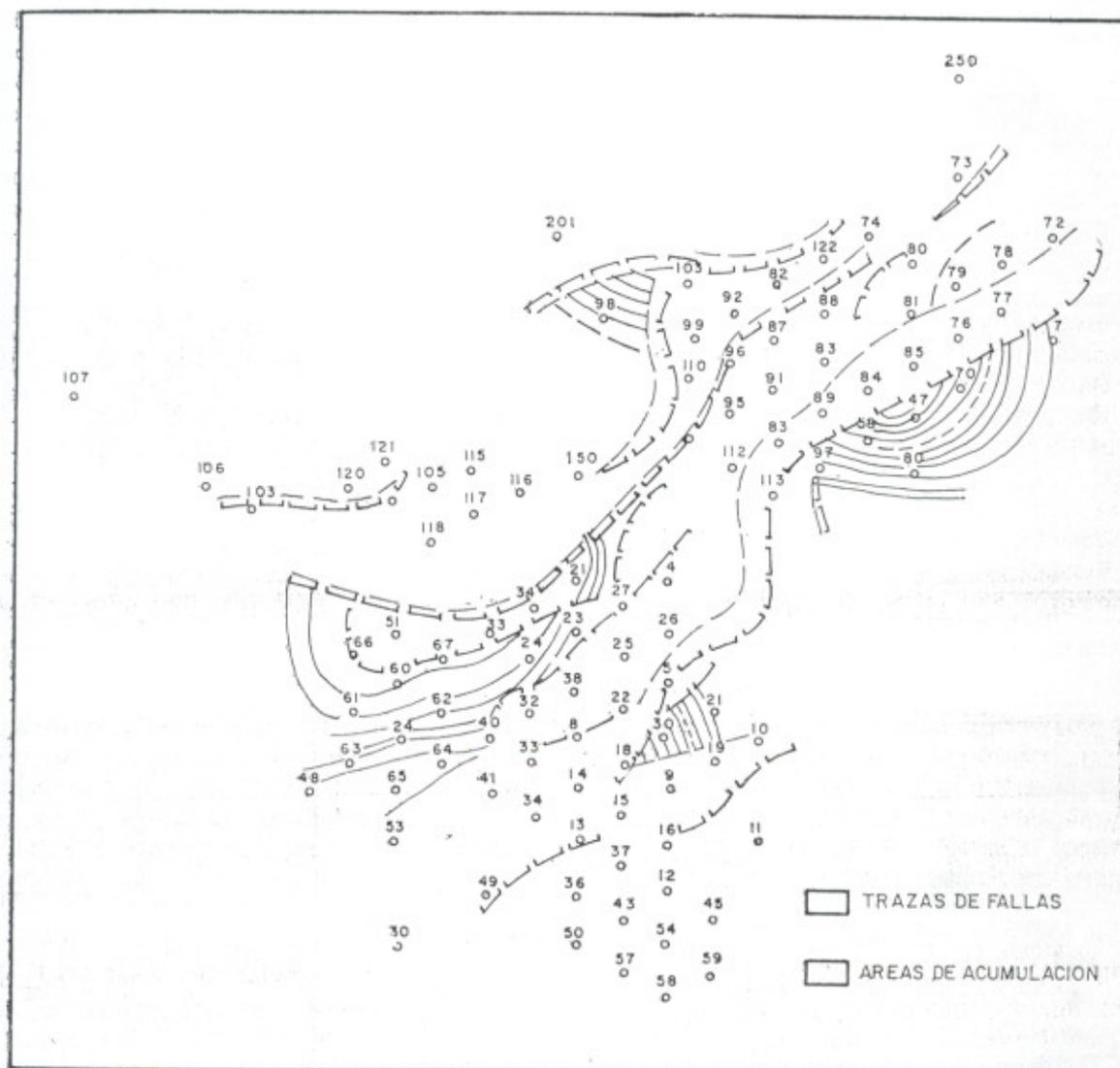


FIG. N^o. 11. — PLANO DONDE SE MUESTRA LA SUBDIVISION ESTRUCTURAL DE UNA ARENA PRODUCTORA DEL CAMPO TUPILCO, COMALCALCO, TABASCO.

La subdivisión estratigráfica la constituyen generalmente planos de estratificación o intercalaciones de cuerpos arcillosos o densos. En las rocas almacenadoras del tipo de arenas o areniscas es común que las subdivisiones estén dadas por capas arcillosas. Estas subdivisiones generalmente constituyen barreras en el sentido vertical, separando zonas con diferentes características de acumulación (presión de saturación, tipo de hidrocarburos, etc.), que constituyen yacimientos independientes, o bien establecen barreras en el área donde se localizan, Fig. No. 12.

Es común que la mayoría de los yacimientos presentan subdivisiones tanto estructurales como estratigráficas.

Después de establecida la subdivisión y habiendo separado a la roca productora en capas y/o bloques, los datos necesarios, así como los

planos de configuración se preparan para cada capa o bloque identificado.

Heterogeneidad.—Además de las subdivisiones presentes en los yacimientos, cada unidad o capa almacenadora puede presentar cambios bruscos, principalmente en sus propiedades petrofísicas y litológicas. Estas variaciones resultan más frecuentes, como ya se mencionó anteriormente, en rocas carbonatadas por lo que es conveniente, cuando se pretenda describir yacimientos en rocas de este tipo, usar procedimientos apropiados.

La heterogeneidad definida debe ser presentada en forma adecuada, es decir, mediante secciones y planos con lo cual se podrá indicar la variación vertical y horizontal de los cambios existentes. De esta manera los profesionales que requieren de esta información podrán disponer de ella con facilidad y hacerla participar en la simulación numérica

de los yacimientos.

Los datos necesarios para caracterizar el acuífero prácticamente corresponden a los descritos para el yacimiento (geometría, límites, propiedades petrofísicas, etc.). Cabe aclarar que normalmente es poca la información que se dispone sobre el acuífero, para su descripción.

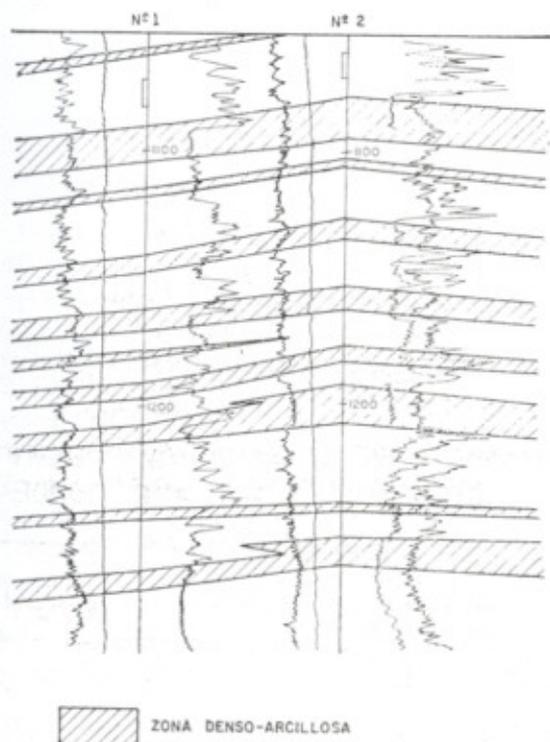


FIG. Nº 12.- SECCION TRANSVERSAL EN LA QUE SE MUESTRA UNA SUBDIVISION ESTRATIGRAFICA

Otros datos geológicos tales como: ambiente de depósito, patrón de distribución de facies, tipos litológicos, no intervienen directamente en la aplicación de un modelo matemático para la simulación numérica de un yacimiento; sin embargo, es necesario que los profesionales que intervienen en el desarrollo de estas actividades conozcan, aunque sea en forma aproximada, esta información ya que de esta manera podrán variar algunos parámetros, necesarios para el ajuste del comportamiento, con cierta lógica, congruentes al tipo litológico o distribución de las litofacies.

RECOMENDACIONES

1. Debido a la importancia que tienen las diferentes etapas de explotación de un campo y la necesidad de obtener buenos resultados en cada una de ellas, se recomienda que para el desarrollo de cada etapa se utilice la información geológica correspondiente.

2. Es bien sabido, el hecho de que para obte-

ner buenos resultados en la evaluación de yacimientos y la aplicación de proyectos de recuperación primaria y secundaria, es necesario conocer las características geológicas de los mismos, por lo que se recomienda que cualquier estudio de ingeniería de yacimientos esté apoyado en un modelo geológico definido y se realicen ajustes de acuerdo con los resultados obtenidos del estudio o en base a nueva información que por necesidad, se obtenga durante la explotación del campo.

3. Un estudio geológico de explotación requiere de información suficiente y diversa por lo que se recomienda que en las etapas de explotación de un campo donde se deba obtener información se incluyan, dentro de los programas, la parte correspondiente a los estudios de geología de explotación, dejando la opción de actualizar la información o de obtener otro tipo de información que se requiera durante el desarrollo del estudio o bien, que por ajustes, debido a problemas en la explotación, deban hacerse.

4. Son muchas las etapas de la explotación de un campo que requieren de la información geológica y debido a su escasa difusión, los profesionales encargados de los trabajos de explotación generalmente desconocen qué es la Geología de Explotación, qué información se obtiene de un estudio de este tipo y cómo afecta a los resultados de sus propios estudios; por lo que se recomienda que dichos ingenieros adquieran el conocimiento necesario sobre estos aspectos. Una forma, relativamente rápida es que asistan a pláticas o cursos donde se presente lo relativo a la Geología de Explotación y se den a conocer cuáles son los datos que se obtienen, pero principalmente cómo afectan a sus resultados.

5. Una parte muy importante de la información que se utiliza en la simulación numérica de los yacimientos corresponde a la geología, por lo que se recomienda que el ingeniero geólogo conozca con cierta precisión cómo se utilizan sus datos y cómo afecta a los resultados obtenidos de la simulación, con lo cual podrá definir si la información que se proporciona es suficiente y también si su presentación es la correcta. Por otro lado es también recomendable que conozca en qué consisten las pruebas de presión en pozos, así como las mediciones, que sobre núcleos, se hacen en el laboratorio. Asimismo el ingeniero debe tener conocimiento de cuál es la información geológica que necesita y cómo afecta en sus estudios.

6. Una buena descripción geológica de un yacimiento incluye el conocimiento de las características y propiedades de la roca almacenadora, por lo que se recomienda que en el estudio se incluya la determinación del ambiente de depósito

de los sedimentos, con lo cual se podrá definir el patrón de distribución de facies almacenadoras; aspecto muy importante para la descripción geológica ya que el ambiente de depósito controla las características litológicas de la roca y el patrón de distribución de las propiedades petrofísicas.

7. Debido a la diferente información que se utiliza en un estudio de ingeniería de yacimientos se recomienda que estos estudios se desarrollen en forma sinérgica. Es decir combinando disciplinas y participen ingenieros de yacimientos, de evaluación, de geología, de geofísica.

8. Dada la necesidad de contar con información geológica suficiente y oportuna para apoyar las diferentes etapas de la explotación de un campo petrolero, es indispensable que empresas responsables de la explotación de yacimientos petrolíferos, como es el caso de PEMEX y el IMP,

cuenten con una unidad de trabajo que se dedique exclusivamente a la realización de estudios detallados de geología de explotación.

REFERENCIAS

1. Martínez Ríos M.—Sistematización de los trabajos de Geología de Explotación para estudios de yacimientos.—Ingeniería Petrolera, Vol. 3 No. 2, Julio 1962.
2. Chilingarian, G. U. and Wolf, K. H.: "Compaction of Coarse-Grained Sediments 1". Developments in Sedimentology 18A, Chapter 7; Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam Oxford New York, 1975.
3. Basanov E. A. y otros "Gas and oil-Bearing Provinces of Siberia, P. D. No. 2 (3) 7o. Congreso Mundial del Petróleo, México. 1967.
4. Dickey A. P. and Sarmiento R. "Advanced Reservoir Geology" Maiden head. England. August. 1981.
5. Dickey A. P. "Petroleum Development Geology", University of Tulsa. Division of Petroleum Publishing Co. Tulsa, OK. 74101.

