

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE PETROLEO

TRAMPAS PETROLIFERAS

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE

BACHILLER

EN INGENIERIA DE PETROLEO

MANUEL ERNESTO BERMEJO SALAS

PROMOCION 1958

LIMA - PERU

A la memoria de mi Padre

INDICE

I.	INTRODUCCION.	.....	1 .
II.	GENERALIDADES. TEORIA ANTICLINAL. LA TRAMPA COMO UN CONCEPTO. ACERCA DE LA CLASIFICACION DE LAS TRAMPAS		2 .
III.	TRAMPAS ESTRUCTURALES: GENERALIDADES. UBICACION. CLASIFICACION: Plegamientos-Fallamientos-Fracturamientos ..		6 .
IV.	TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS: GENERALIDADES. CLASIFICACION: PRIMARIAS: Lentes y cambios de facies en Rocas Clásticas e Igneas-Lentes y cambios de facies en Rocas de Origen Químico. SECUNDARIAS. LOCALIZACION DE LAS TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS.	.....	17 .
V.	TRAMPAS COMBINADAS. DOMOS DE SAL: Distribución-Origen-Salt Core y Cap Rock-Influencia de los domos de sal en la formación de trampas.	.....	25 .
VI.	TRAMPAS PETROLIFERAS EN EL PERU.	.....	34 .
VII.	CONCLUSIONES.	.....	36 .
VIII.	BIBLIOGRAFIA/	.....	37 .

I. INTRODUCCION:

El conocimiento de todo lo relacionado con las trampas petrolíferas es muy importante en la Industria de Petroleo, particularmente en la Geología de Petroleo, ya que ellas constituyen uno de los elementos esenciales e indispensables para la existencia de un reservorio de petroleo.

En este trabajo monográfico he tratado de poner en forma clara y sencilla a la vez que compacta los diversos conceptos y teorías emitidos por diferentes autores y que he tenido oportunidad de conocer durante el desarrollo del curso de Geología de Yacimientos.

En primer lugar he expuesto generalidades sobre las trampas así como las diversas clasificaciones que se han propuesto para explicar las trampas petrolíferas existentes. Luego he pasado a examinar en forma escueta cada tipo siguiendo la clasificación de C.W. Sanders(1943), colocando algunos gráficos de trampas típicas. También hago mención de una manera general de los tipos de trampas que ocurren en el Perú no entrando en muchos detalles en este aspecto.

Espero que la presente monografía, a pesar de su sencillez pueda dar luces acerca del tema estudiado a los alumnos de esta Facultad, si tal sucediera se habría justificado su presentación.

Tengo que manifestar mi especial agradecimiento al Dr. Werner Rüegg, Catedrático del Curso de Geología de Yacimientos , quien ha tenido la gentileza de revisar y corregir este trabajo , sirviendo de guía en su confección.

Lima, Diciembre de 1958

II. GENERALIDADES. TEORIA ANTICLINAL. LA TRAMPA COMO UN CONCEPTO.
ACERCA DE LA CLASIFICACION DE LAS TRAMPAS.

GENERALIDADES:

Está aceptado que los elementos indispensables para la existencia de un reservorio de petróleo y/o gas estriban en las siguientes propiedades:

- 1) Una roca reservorio con espacio poroso interconectado;
- 2) Una disposición adecuada, ó trampa, para acumular y preservar el hidrocarburo.

Las rocas más apropiadas para reunir y almacenar hidrocarburos son toda clase de arenas, hasta conglomeráticas, y aún sus compactaciones como areniscas, areniscas arcillosas y arenolutitas. Son también de importancia ciertos tipos de calizas, especialmente las dolomitizadas. Ahora bien, el petróleo y el gas tienden a migrar y fluir con preferencia en dirección hacia arriba, por lo que es necesario la existencia de una roca techo que evite el escape de los hidrocarburos. Generalmente esa roca techo puede ser arcilla, lutita, marga ó caliza impermeable.

Por consiguiente se debe entonces afirmar, que una trampa es el elemento que capta y retiene el petróleo y gas, impidiendo su migración a otros lugares ó pérdida definitiva. Este acomodo casi siempre consiste de una cobertura ó vestimenta de roca impermeable que protege a la roca recipiente porosa y su contenido en aceite y gas. El límite inferior del reservorio puede estar compuesto en parte ó en su totalidad de roca impermeable ó estar constituido por el agua acompañante del petróleo. Esta agua actúa como soporte del pool de gas y petróleo y la presión que ejerce empuja al hidrocarburo

contra los bordes de la trampa. Este límite con el agua infrayacente es llamado contacto aceite-agua ó gas-agua.

La prospección petrolera está encaminada en primer lugar hacia la búsqueda de secuencias ideales provistas de trampas en las rocas reservorios, ya que las trampas son los ambientes precisos donde el aceite y gas se están acumulando para constituir el pool. La parte de la trampa en que está localizado el pool, como unidad más simple de ocurrencia comercial, es el llamado reservorio petrolífero.

El volumen del reservorio petrolífero estará definido por la intersección del contacto petroleo-gas con la roca techo de la trampa. La cantidad de petroleo que guarde dependerá de su volumen y porosidad efectiva, de su presión y temperatura y de las proporciones de su contenido de gas, petroleo y agua.

TEORIA ANTICLINAL:

La manera más común y frecuente para que una entidad litológica ó formación permeable llegue a formar una trampa, es que se torcione, flexione ó se pliegue, y que tome la disposición ó diseño tipo anticlinal. Es precisamente, debido al hallazgo de esta clase de conformaciones, que en los comienzos de la industria petrolera, se creó y propagó la teoría anticlinal. Por ésta se entiende que toda acumulación de hidrocarburo está relacionada con la presencia de estratos delineados como estructura combada ó anticlinal, de suerte que los geólogos conducían sus esfuerzos en la búsqueda de anticlinales, domos y abovedamientos de esta naturaleza, desconociendo y dejando de lado otros factores geológicos que también pueden constituir trampas.

Una de las primeras referencias de la relación existente entre los anticlinales y la producción de petróleo

entre los anticlinales y la presencia de petróleo fué hecha cuando Sir William Logan describió en 1844 las manifestaciones de aceite cerca de Gaspé en el Canadá Oriental, las que afirmó ocurrían en anticlinales. Otros pioneros en este mismo campo han sido el Dr. Oldham, que en 1855 hizo las observaciones al respecto, en Birmania y sobre todo T. Sterry Hunt, quién en 1861, después de vastas investigaciones en Ontario occidental, comprobó la exactitud de este concepto, siendo él con toda razón el verdadero fundador de la teoría anticlinal. No faltaron otros promotores y pruebas, entre los cuales podemos mencionar a J. S. Newberry, J. P. Lesley, y sobre todo J. C. White cuyas conclusiones fueron ratificadas por el gran Eduardo Orton - que entre 1870 y 1880 llegó hasta el medio Huallaga - con la frase que perpetuó el concepto anticlinal: "Donde el plegamiento dispuso un patrón anticlinal de estratos petrolíferos, puede considerarse como comprobado que éste tuvo influencia determinante en toda acumulación posterior de petróleo y gas" (1886 y 1889). La teoría logró corroborarse con las conclusiones obtenidas por los geólogos alemanes Höfer, Paul y Tietze, quienes, en forma independiente hicieron observaciones análogas en Galicia, Bokowina, Canadá, Ohio y Virginia.

Esta teoría, si bien ha perdido algo de su aceptación universal, sigue representando como un tipo verdadero de trampa, a toda estructuración anticlinal-domal, aunque no reconocía en el tiempo de su auge el valor de muchas otras condiciones especiales que también llegan a producir trampas, como las trampas atectónicas ó estratigráficas, de las cuales se tratará después.

LA TRAMPA COMO UN CONCEPTO:

El término trampa fué introducido por E. H. Mc Collough

en 1934, y es aplicado a depósitos tan diversos en caracter como aquellos que se deben a lentes, variaciones de la porosidad local, truncamiento y traslapo, los formados por plegamiento, rotura y diapirismo, hasta los yacimientos establecidos por sello de asfalto.

Debido a que la deformación estructural es solamente uno de los patrones principales que determinan la formación de trampas y que muchos pools se han acumulado en otros tantos diversos tipos de trampas, se ha hecho necesario utilizar un término más amplio, del que permitía la teoría anticlinal. Por consiguiente, el término "teoría trampa" ó trampa simplemente, es en la actualidad más comúnmente empleado, con el que se entiende un medio alguno que encierre el aceite y gas, cualquiera que sea su forma y origen.

ACERCA DE LA CLASIFICACION DE LAS TRAMPAS:

Se han propuesto diversas clasificaciones de las trampas petrolíferas existentes. Prestigiosos geólogos han expuesto sus puntos de vista tratando de explicar adecuadamente los diferentes tipos de trampas. Así tenemos:

F.G. Clapp hizo en 1910 la primera clasificación detallada, modificándola en 1917. Finalmente en 1929 presentó la siguiente clasificación:

- I. Estructuras anticlinales:
 - A- Anticlinales normales
 - B- Pliegues anticlinales anchos
 - C- Pliegues sobrepuestos
- II. Estructuras sinclinales:
- III. Estructuras homoclinales:
 - A- Terrazas-flexuras estructurales
 - B- Narices homoclinales
 - C- "Ravines" homoclinales
- IV. Estructuras quaquaversales:
 - A- Domos en anticlinales
 - B- Domos en homoclinales y monoclinales
 - C- Domos de sal cerrados
 - D- Domos de sal abiertos

- E- Estructuras domales causadas por intrusiones ígneas
- V. Discordancias
- VI. Arenas lenticulares
- VII. Cavidades y fisuras:
 - A- En calizas y dolomitas
 - B- En margas y lutitas
 - C- En rocas ígneas
- VIII. Estructuras por fallamiento:
 - A- En el ala superior y en el ala inferior
 - B- Sobrepujes, sobrescurrimientos
 - C- Bloques fallados

En 1934, W.B. Wilson dió a publicidad una clasificación más lógica y mejor organizada que la de Clapp, basada en la deformación local de los estratos, en los cambios de porosidad de las rocas, y en la combinación de los factores mencionados. La clasificación es la siguiente:

- I. Reservorios cerrados
- II. Reservorios abiertos

I. Reservorios cerrados:

- A- Reservorios cerrados por deformación local de los estratos:
 - 1- Por plegamientos
 - 2- Por erosión de los estratos
 - 3- Desarrollados por fallas
 - 4- Por combinación de plegamientos y fallas
 - 5- Por intrusiones tanto salinas como ígneas
- B- Reservorios cerrados debido al cambio de porosidad de las rocas:
 - 1- Reservorios en areniscas causados por lentes de arena ó variación de su porosidad
 - 2- Zonas porosas lenticulares, en calizas y dolomitas
 - 3- Zonas lenticulares en rocas ígneas y metamórficas
 - 4- En estratos truncados y sellados:
 - a) Sobre ó entre deposición de rocas impermeables
 - b) Cerrados por sellos de hidrocarburos pesados
- C- Reservorios cerrados por combinación de plegamientos y variaciones de la porosidad
- D- Reservorios cerrados por combinación de fallamiento y cambio de la porosidad

II. Reservorios abiertos: no tienen mayor importancia comercial

Clasificación de K.C. Heald, 1940:

- I. Formados por deformación local de los estratos
- II. Formados por la variación de la permeabilidad de la roca

Clasificación de W.B. Heroy, 1941:

- I. Depositionales
- II. Diagenéticas
- III. Por deformación
- IV. Por combinación de las anteriores

Clasificación de C.W. Sanders, 1943:

- I. Estructurales
- II. Estratigráficas
- III. Combinadas

Clasificación de O. Wilhem, 1945:

- I. Convexas
- II. Por cambio de permeabilidad
- III. Por adelgazamiento de los estratos (pinch out)
- IV. Por diapirismo
- V. Por fallamiento

Como se puede apreciar existen muchas maneras de clasificar las trampas. En este trabajo se ha tomado como la más adecuada la de C.W. Sanders, que no solamente es sencilla sino también completa, ya que incluye todos los tipos de trampas posibles en solo una triple división. Por consiguiente a continuación se hará un estudio de los tipos de trampas que contempla Sanders, a saber: Estructurales, Estratigráficas y Combinadas.

.....

III. TRAMPAS ESTRUCTURALES: GENERALIDADES. UBICACION. CLASIFICACION: Plegamientos - Fallamientos - Fracturamientos.

GENERALIDADES:

Las trampas estructurales también son llamadas tectónicas, debido a que en su formación intervienen procesos tectónicos tales como plegamientos, fallas, fracturación en general, intrusiones y toda clase de accidentes endógenos.

Algunas trampas estructurales vistas desde abajo presentan una concavidad debido a una deformación local producida por tectonismo; otras no revelan este aspecto. Los límites de un pool contenido en una trampa estructural están determinados parcial ó totalmente por la intersección del contacto agua-aceite con la roca techo, es decir con la roca impermeable que cubre la roca reservorio.

Por ser las trampas estructurales las más fáciles de observar y mapear siendo las que brindan la mejor ayuda para el descubrimiento de petróleo y gas, los geólogos les han dedicado preferente atención como lo indica la costumbre general de designar como "estructura" cualquier tipo de trampa proveniente de la deformación de la secuencia rocosa.

Un rasgo importante de las estructuras, en especial en los anticlinales, es que se extienden verticalmente a través de un gran espesor de formaciones ocasionando la gestación de una continua sucesión de trampas en toda la potencia afectada. Debido a esto, es un indicio de por sí favorable el perforar una trampa estructural que afecte un gran espesor de sedimentos, aunque se desconozca todavía las características de la roca reservorio, como ejemplo de

este caso tenemos el campo de Santa Fe Springs en California, en el cual un domo circular ha originado trampas en 25 rocas almacenadoras estratigraficamente diferentes, trampas conteniendo cada una un pool de petroleo separado.

UBICACION DE ESTRUCTURAS:

Como la "estructura" es a menudo una trampa, incumbe pues localizar esta estructura. Se llega a su ubicación mediante los métodos ó procedimientos que enumeramos a continuación:

1) Mapeo Superficial: muchos plegamientos y perturbaciones acompañantes se extienden desde la roca reservorio hasta la superficie, donde bajo condiciones favorables pueden presentarse facilmente mapeables.

2) Muestreo: La toma de muestras a través de perforaciones poco profundas es de gran ayuda cuando los sedimentos estratificados están cubiertos por aluviones u otros materiales no consolidados.

2) Mapeo del subsuelo: se realiza a mayor profundidad, utilizándose diversos registros de pozos, tales como eléctricos, de rayos gama, neutron, de perforación, de muestras tanto litológicas como paleontológicas, de análisis de cores y del lodo, de temperatura, dipmeter (que determinan el dip de las formaciones alrededor del pozo) etc.

El grado de veracidad de los mapas obtenidos con los registros, depende del número de pozos a través de los cuales se han tomado las observaciones y la mayor ó menor exactitud de dichas informaciones.

Se pueden emplear además otros métodos geofísicos:

1) El magnético: que mide la intensidad magnética de las rocas

Como ejemplo se presentan diversos valores de susceptibilidad magnética para algunas rocas:

anhídrita	....	-1×10^{-6}	a	-10×10^{-6}
caliza	....	3.8×10^{-6}		
arenisca	....	5×10^{-6}		
arcilla	....	15×10^{-6}	a	40×10^{-6}
carbón	....	debajo de 2×10^{-6}		

Este método emplea los magnetómetros vertical i horizontal.

2) El gravimétrico: determina las estructuras mediante la densidad de las rocas.

Tabla de densidad de algunas rocas:

lutitas	...	1.43
areniscas	...	2.00 - 2.70
calizas	...	2.60 - 2.84
sal	...	2.17
rocas ígneas ácidas	...	2.60 - 2.80
rocas ígneas básicas	...	2.80 - 3.40

Este método utiliza como instrumentos : péndulos tanto simples, compuestos y de doble suspensión , balanza de torsión y gravímetro. El gravímetro es el más usado dando solo el valor relativo de la gravedad, mientras la balanza de torsión da el valor absoluto: dirección y magnitud.

Existe un paralelismo entre el método gravimétrico y el magnético:

- No hay control en profundidad.
- Solo denuncian la presencia de estructuras.
- Es necesario aplicar método adicional para determinar el tipo y profundidad de la estructura.
- Las curvas de anomalía son semejantes.
- Ambos son rápidos y de no muy alto costo.

3) El sísmico: la exploración sísmica depende fundamentalmente de la propagación de las ondas en un medio elástico. Los impactos producidos en la superficie por las cargas explosivas, producen vibraciones que son recogidas por unos sismómetros de diseño especial y son registradas en los sismogramas.

CLASIFICACION:

De acuerdo a las causas que las originan , las trampas pueden ser:

1. Por plegamiento
2. Por fallamiento
3. Por fracturamiento
4. Por intrusión, generalmente de sal
5. Por combinación de las anteriores

1. Por plegamiento:

Los plegamientos provienen, en general, de movimientos horizontales y verticales de la corteza terrestre.

Los pliegues en las grandes fajas orogénicas se pueden explicar como debidas a :

- a. Compresión horizontal
 - b. Un par de fuerzas horizontales
 - c. Difusión de corriente
- Algunos pliegues, usualmente los de forma de domo se deben a:
- d. Fuerzas verticales: intrusión ígnea, intrusión de sal etc.
- En menor escala se consideran:
- e. Compactación diferencial de los sedimentos

Las trampas que se han producido por plegamientos abarcan una gama de estructuras primarias y toda una caravana de estructuras secundarias y accesorias, por lo que suelen formarse trampas de toda índole con respecto a conformación, capacidad, tamaño y valor práctico. Estas propiedades, más bien muy individuales, no las tocamos en más detalle en la presente memoria, ya que cada uno de estos rasgos tiene un aspecto diferente que cambia de trampa a trampa. Lo que a primera vista es de importancia fundamental de una trampa es la particularidad de su cierre estructural, presentándose como de menor importancia las características tales como el espesor de la roca reservorio, la porosidad efectiva, la presión del reservorio y las condiciones de flujo a través de la roca de retención.

Se ha constatado que existen indicios y señales defini -

das de plegamientos en considerable cantidad de trampas , unas veces en mayor escala, otras veces en menor grado. Sin embargo cabe mencionar aquí que ocurre también plegamiento atectónico, producido por solifluxión, derección intramarina, "slumping" etc., generalmente durante los procesos diagenéticos, por lo que son combinados con la depositación. En todo caso, si la gestación de la trampa es el plegamiento, entonces éste da el nombre al medio así formado.

Una trampa realizada por plegamiento está raras veces libre de fallas, y a no ser que la falla ó fallamiento minúsculo pueda ser observado en la superficie, será muy difícil localizarlo con los métodos de mapeo de subsuelo-especialmente en el caso de rechazos pequeños- , siendo preciso que alguna perforación lo atraviese.

Muchos pliegues y estructuras concomitantes cambian de forma, tamaño y amplitud al aumentarse la profundidad, ó se desplazan lateralmente en el pase de la superficie al reservorio, también sucede que el pliegue a mayores profundidades no se mantiene paralelo al pliegue desarrollado superficialmente. Todas estas circunstancias pueden afectar enormemente la posición de los pools y los puntos de perforación favorables, de manera que un pozo localizado en la culminación superficial de un pliegue ideal puede encontrar escasa ó ninguna evidencia de plegamiento en el nivel de la roca reservorio ó sea en el supuesto pool. Semejantes discrepancias se deben a las siguientes causas:

- a. Convergencia del conjunto de los estratos que intervienen; es un caso bastante frecuente.
- b. Plegamiento repetido en el transcurso de los tiempos, afectando las entidades stratigráficas en forma desigual; observado a menudo: campo Erath, Louisiana; Oklahoma City fold; Venezuela oriental; Zagros-Irán suroccidental.
- c. Plegamiento paralelo, agudizándose el cierre en profundidad, con posible desaparición del anticlinal en suficiente profundidad.

- d. Plegamiento discordante y diapírico; Caúcaso; Cárpatos; muchos campos en el Medio Oriente; Rusia Central y Siberia.
- e. Cerros enterrados; muy frecuente: Baja California; Ozarks; Persia.
- f. Plegamiento asimétrico; muy a menudo: en casi todo país productor.
- g. Existencia de otra deformación en profundidad ocultada por discordancia sepultada; frecuente: Kansas; Nebraska; Oklahoma; Medio Oriente.
- h. Sobrescurrimiento cabalgando encima estructura diferente infrapuesta; relativamente frecuente: California; Rumanía; Iran.
- i. Solución y erosión del subsuelo de evaporitas, etc., que por "slumping", colapso, etc., producen en la superficie toda clase de estructuras fantasmas, pseudo estructuras, estructuras erráticas, que muy a menudo están completamente en desacuerdo con las estructuras más profundas; Texas occidental; Persia.

2. Por Fallamiento:

Las fallas son interrupciones de la continuidad y constituyen roturas a lo largo de las cuales las paredes y alas opuestas se han movido con relación al plano de la dislocación.

El carácter esencial de una falla es su tipo, si es normal ó inversa, también hay fallas compuestas, complejas y aún manojos, enjambres, zonas y grupos de fallas, etc. No consideramos que este sea el lugar más adecuado para entrar en detalle en este tema. Sin embargo es bien conocido el hecho que los movimientos causantes de estos accidentes engendran cuadros tanto simples y ordenados como heterogéneos e intrincados, que a la postre resultan con bastante frecuencia generadores de la formación de trampas productivas.

Según enseña la práctica, el fallamiento constituye a veces la única causa del origen de la trampa, pero no rara vez se combina con otros factores, tanto estructurales como estratigráficos, para establecerla. Donde las fallas no ofrecen un sello completo, pueden servir de vehículo a toda clase de hidrocarburos, aguas mineralizadas, etc., provocando así en la superficie las diferentes

manifestaciones petrolíferas.

Los pools encontrados en trampas y que han sido realizadas por fallas normales, casi siempre están en el lado superior, ó mejor expresado debajo de la falla. Las rocas en el lado inferior de la falla se encuentran soportando una mayor presión que antes del fallamiento, lo cual puede explicar la carencia de petróleo y gas ya que estos se desplazan con la gradiente de presiones. Las trampas en las cuales el aceite y gas han sido atrapados en el lado inferior de la falla son relativamente raras, y su ocurrencia se explica por una combinación de fallas secundarias, variaciones de permeabilidad, plegamientos a lo largo de dicho lado inferior. Muchos de los pools en la costa del Golfo, en la parte sur de Texas y Louisiana se encuentran en el lado inferior de las fallas normales, ó sea encima de las superficies de rotura.

Las trampas formadas por fallas inversas y las "thrust faults" pueden estar situadas arriba ó debajo del plano de falla. La trampa puede encontrarse limitada en un lado por la falla, pero frecuentemente está formada por plegamiento asociado con "thrust faulting" ó una combinación de dos fallas inversas en forma de cuchillada, como se nos demuestra la estructuración del campo de Turner Valley. Alberta- Canadá.

En todo caso es de importancia cardinal poder reconstruir el cuadro original, paleogeográfico, es decir indicar la posición del hidrocarburo en tiempo del fallamiento y/ó thrusting, y la forma de la trampa efectuada en aquellas primeras convulsiones, para de allí inferir acerca de la migración, pérdida y acumulación restante, durante y al final de los eventos geocronológicos totales. Entre los muchos pools situados en trampas causadas por fallas podemos citar: Richland pool, Navarro County-Texas; pools en Pennsylvania; NW del Perú; Rumanía; Caucaso; Polonia; Sumatra; Borneo etc.

3. Por Fracturamiento-Quebrajamiento:

Ocurre a menudo que rocas frágiles y quebradizas tales como son en general las rocas almacenadoras, se están rompiendo, desmenuzando y hasta triturando "in situ" por causas y fuerzas internas diferentes. Este fenómeno no tiene que estar necesariamente en relación con plegaduras ó cambios litológicos dentro del reservorio. Sin embargo sucede que el fracturamiento puede ser causado por fallamiento ó por plegamiento. En el caso de plegamientos la zona fracturada puede ocupar espacios grandes, mientras que en el caso de fallamiento la roca rota y triturada presenta una producción limitada a una faja angosta alrededor de la falla.

Las rocas reservorios fracturadas deben estar seguidas por rocas sin fracturamiento, de otra manera el petróleo y el gas escaparían.

Las mejores condiciones estratigráficas para la producción en este tipo de trampas ocurren cuando las fracturas se han producido en rocas duras y quebradizas tales como calizas, dolomitas, etc y si éstas se encuentran cubiertas por una roca de diferente competencia ó sea plásticas y suaves como son las pizarras. Sin embargo se tiene por regla general que en grandes potencias de calizas solo se fracturan ciertos horizontes y sobre cierta distancia.

Las trampas formadas por fracturamiento y que contienen aceite y gas, varían en su tamaño, número y distribución. Ocurre así que en campos con rocas poco deformadas, las fracturas son pocas y bastante espaciadas, dando lugar a una buena cantidad de pozos secos; mientras que cuando las rocas son frágiles y bastante deformadas, el quebrajamiento y despedazamiento son mayores y más juntos y suelen producir con mayor frecuencia.

La producción en este tipo de trampas tiene características especiales:

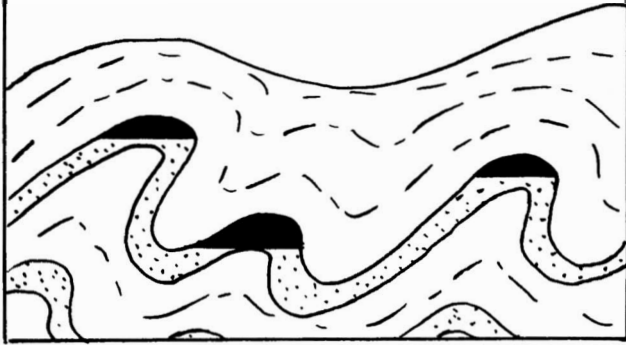
- a- La producción aumenta repentinamente;
- b- Las muestras de la roca reservorio no presentan signos de porosidad, solamente se observan fracturas, ó un enjambre de frstcturas; si la roca es porosa, la permeabilidad es muy baja;
- c- La producción se encuentra a diferentes profundidades en el mismo horizonte petrolífero;
- d- En el desarrollo de sus areas puede tenerse muchos pozos secos;
- e- Los pozos cercanos y en ek mismo horizonte pueden tener diversa producción y no interferirse entre ellos;
- f- Así mismo algunos pozos pueden afectar la producción de otros a pesar que se encuentran muy lejos de ellos;
- g- Es muy difícil, en trampas de ests clase, determinar la porosidad y el espesor del horizonte productivo, así como sus reservas.

Como ejemplo de este tipo de trampas tenemos el campo de Florence (Colorado) en el cual el petroleo se encuentra en la porción fracturada de la Pierre Shale (Cretácico). Está roca no presenta plegamiento ni tampoco ocurre cambio litológico en su despliegue; en la parte donde termina el fracturamiento, finaliza también toda acumulación ó producción.

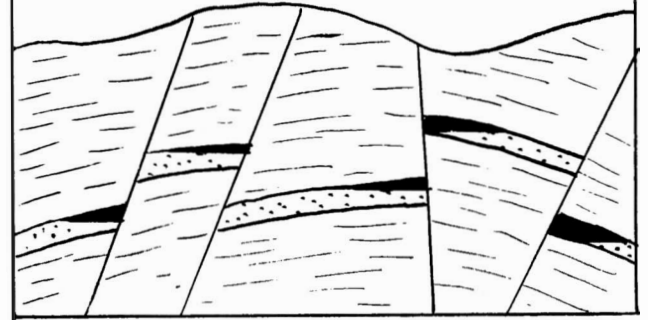
.....

TRAMPAS ESTRUCTURALES

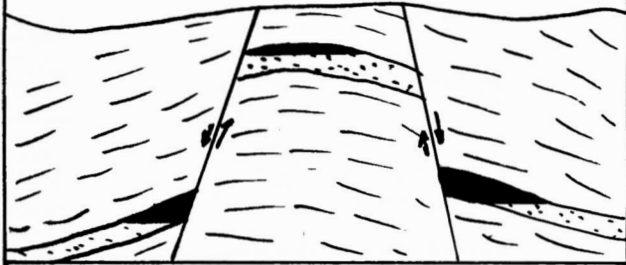
Por plegamiento



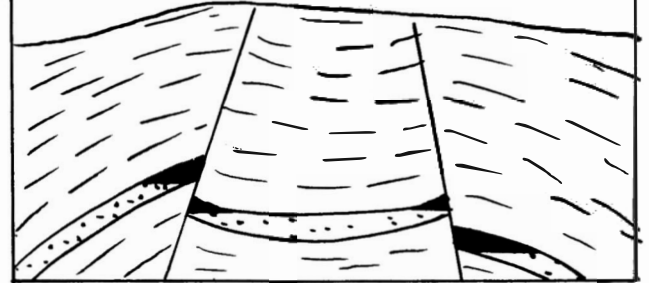
Por Fallamiento



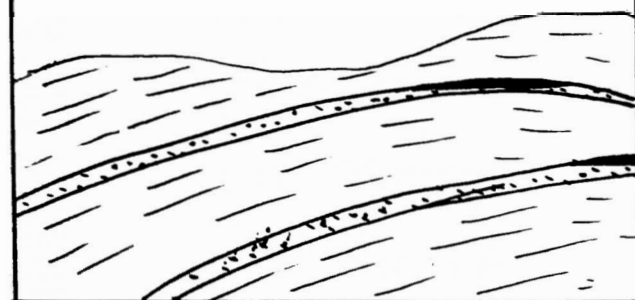
Por pleg. y fallam.



Por pleg. y fallam.



Convergencia de estratos



Por fracturamiento



IV. TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS: GENERALIDADES. CLASIFICACION:PRIMA -
RIAS: Lentes y cambios de facies en Rocas Clásticas e Igneas -
Lentes y cambios de facies en Rocas de Origen Químico.SECUNDA-
RIAS.LOCALIZACION DE LAS TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS.

GENERALIDADES:

El nombre trampas estratigráficas define un tipo de trampa originada por una variación lateral ó vertical en la litología de la roca reservorio ó una interrupción en su continuidad.

El límite entre ambas rocas, la permeable i la impermeable determinarán la extensión del reservorio; puede ser brusco y gradual, en este caso el límite consta más bien de una transición. Esta condición semejante puede ser local ó regional en extensión, y el cambio en la permeabilidad puede ser parcial ó totalmente responsable de la formación de la trampa.

Muchas trampas estratigráficas presentan elementos estructurales excepto aquellas en forma de lentes y arrecifes orgánicos en posición original.

Ya que es difícil definir una demarcación exacta entre las trampas estructurales y las estratigráficas y en vista que muchas trampas estan determinadas por causas estructurales como estratigráficas por igual, por lo tanto se le consideran como combinadas:

Las trampas estratigráficas se dividen en dos clases:

1. Primarias
2. Secundarias

L. TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS PRIMARIAS:

Este tipo de trampas es el resultado directo de la depo -

sición ambiental, es decir, del carácter del material de la roca reservorio y de las condiciones bajo las cuales se acumuló dicho material.

La superficie del límite superior impermeable de estas trampas, así como la porosidad efectiva de la roca reservorio es esencialmente el producto de procesos sedimentarios primarios; de manera que esta clase de trampas son llamadas también deposicionales-diagenéticas.

Las trampas primarias se pueden dividir en dos grupos generales:

- a. Lentes y cambios de facies en rocas clásticas e ígneas.
- b. Lentes y cambios de facies en rocas de origen químico.

a. Lentes y cambios de facies en Rocas Clásticas e Igneas:

Uno de los tipos más comunes de trampas puramente estratigráficas lo constituyen los llamados lentes de areniscas. Este término indica aquellas areniscas que por las condiciones de sedimentación particulares, se depositaron en cuerpos distintos y separados, cada uno de ellos rodeado completamente de materiales impermeables, generalmente de lutitas; resulta entonces que estas conformaciones son cuerpos lenticulares de roca porosa y permeable rodeados de sedimentos impermeables.

Las arenas lenticulares varían en su forma y tamaño desde depósitos de arenas largos y angostos llamados shoestring sands, hasta lentes de forma sumamente irregular.

Está muy generalizada la idea que este tipo de lentes son, unos, relleno de canales (channel fillings), y otros, los denominados "offshore sand bars".

Las características principales del relleno de canales

son:

1. El depósito presenta base convexa vista desde abajo, debido a que la arena llena un valle pre existente;
2. Los depósitos están constituidos por una gran variedad de materiales y por lo tanto la textura, composición y tamaño de los granos varían considerablemente;
3. Los depósitos muestran, en plano, una forma sinuosa.

Como ejemplo podemos mencionar el Campo Maikop en Rusia contiene pools en arenas y conglomerados del Terciario, depositados en canales que se extienden alrededor de ocho kilómetros.

Las características principales de los offshore bars son:

1. Presentan una base plana mientras que su superficie superior es cóncava, vista desde abajo;
2. Los depósitos individuales poseen flancos rectos;
3. En el lado opuesto a la playa - hacia el mar - el contacto entre las arenas y las lutitas generalmente es definido y marcado, mientras que en el lado que da a la playa - hacia el continente -, las arenas pasan a lutitas y mudstones;
4. Los contornos que unen puntos de igual litología se encuentran paralelos a los lados del depósito;
5. El arreglo ó sea la selección es más uniforme que en los depósitos de relleno de canales;
6. La producción es más uniforme.

Como ejemplo se nombrarán los shoestring sand pools de Greenwood y Butler Counties en Kansas que son considerados como offshore sand bars depositados a lo largo de la costa oeste del mar Chesapeake (del Pennsylvaniano). En la parte central de la península sur de Michigan se encuentran grandes reservas de gas en un grupo de pools situados en lentes de arenas que representan offshore bars depositados por el mar del Mississipiano; la roca reservorio es la arena Michigan "Stray" situada sobre la formación Marshall Superior. El Music Mountain pool al noroeste de Pennsylvania, se encuentra en un offshore bar del Devónico Superior.

La práctica ha demostrado que la exploración de shoestring pools presenta bastantes dificultades debido a que su localización

es independiente de la deformación ó plegamiento de las formaciones suprayacentes; de tal manera se requieren muchos pozos de pruebas para tener una exploración fructífera.

Cambios de facies: Un cambio de facies es una gradación lateral (también puede ser un cambio brusco, aunque ésto es más raro) , dentro de una formación ó grupo de rocas. Este cambio es el resultado de la deposición contemporánea de rocas de diferente carácter. Si la diferencia es litológica tendremos un cambio de litofacies y si la diferencia estriba ó se refiere al contenido fosilífero estaremos en el caso de un cambio de biofacies. El paso gradual de una litofacies de roca permeable a otra impermeable es la causa de muchas trampas.

Citaré como ejemplos el campo Bryson-Texas que posee trampas formadas por la gradación de areniscas a lutitas y silstone. En el campo Benton en Illinois, aunque la causa principal de la trampa es un anticlinal, también interviene un cambio de facies de arenisca a lutita en la parte noreste del campo, completando el cierre necesario para la acumulación de petróleo. Un grupo de pools han sido encontrados en el interior de la llanura costanera de Texas en el cual la trampa productiva consiste en masas de rocas ígneas de forma lenticular encerradas dentro de los sedimentos del Cretácico Superior. En el pool de Jatibonia en Santa Clara en Cuba se presentan lentes productivos hasta dentro de serpentina.

b. Lentes y cambios de facies en rocas de origen químico:

En las rocas de origen químico se presentan dos casos:

1. Facies carbonatadas porosas: el tipo más común en esta naturaleza consiste en la dolomitización de las calizas. El carbonato de magnesio al igual como la doble sal de carbonato de magnesio

y calcio poseen un volumen menor que el del carbonato de calcio , por lo tanto al convertirse la caliza en dolomita resulta una roca con mayor porosidad y permeabilidad.

Aquí tenemos que considerar también los biostroms, es decir lentes tabulares compuestos de residuos orgánicos carbonatados, ya que llegan a formar estructuras tipo trampas lentes, muchas veces productivas.

Como ejemplo de facies porosa carbonatada tenemos la conocida y muy productiva Caliza de Trenton (del Ordovícico Medio) en Ohio y Virginia.

2. Arrecifes orgánicos (BIOHERMS): Estas edificaciones han sido definidos por Wilson como agregados de roca sedimentaria , compuestos de residuos de colonias de organismos, que viven cerca ó debajo de la superficie del agua , principalmente en ambiente marino. Los organismos son por lo general algas y corales. Los arrecifes se desarrollan adoptando diversas formas. Materiales clásticos, ó precipitados químicos pueden formar parte de los arrecifes, pero no son constituyentes distintivos de ellos.

Los arrecifes están muy distribuidos en el tiempo y en el espacio. Los modernos arrecifes de corales y lithotamios están limitados geográficamente por las temperaturas del agua, siendo confinados a los mares que tengan temperatura mínima de 20 °C. En el pasado parece que la distribución geográfica fué mayor debido a la existencia de mares con temperaturas relativamente altas.

La razón principal por la cual muchos arrecifes presentan una gran producción de petróleo estriba en la cuantiosa y gran porosidad y permeabilidad que posee esta roca reservorio. Todos los arre-

cifes productivos son masas rocosas muy porosas y permeables rodeadas por finos sedimentos que gradan hacia impermeables.

Las acumulaciones en los arrecifes presentan la misma sucesión que en los anticlinales: en la parte superior gas, en la inferior agua y al centro petroleo.

En el oeste y centro de Texas y en el sureste de New Mexico existen numerosos pools contenidos en arrecifes orgánicos del Mississippiano, Pennsylvaniano y Pérmico. El más interesante es el Captain Barrier Reef al oeste de Texas y sureste de New Mexico. Son de gran fama los arrecifes enormes pertenecientes al Devónico en los campos Leduc, Golden Spike y Redwater en Canadá. Además el Bioherm de Norman Wells (Devónico Superior) al noroeste del Canadá y cerca al Artico que también contiene un gran pool productivo. En Golden Lane (México) se han producido más de un billón de barriles de petroleo acumulados en un arrecife del Cretácico Medio.

.....

2. TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS SECUNDARIAS:

Estas trampas son el producto de una anomalía ó variación estratigráfica ocurrida después de la deposición y diagénesis de la roca reservorio. Casi siempre están asociadas con discordancias y por consiguiente pueden ser llamadas trampas por discordancia.

Las discordancias juegan un rol importante en la acumulación y retención del petróleo y gas. En muchos casos la discordancia forma la trampa ó contribuye a su formación creando condiciones favorables para que ello ocurra.

Una discordancia es una superficie de erosión ó no deposición, que se encuentra separando dos grupos de estratos. Existen dos clases: paralela, cuando los estratos situados a ambos lados del plano discordante, son paralelos; angular, cuando los estratos mencionados están formando cierto ángulo, es decir que el grupo de estratos antiguos han sido deformados y erosionados antes de la deposición del grupo reciente.

Una gran cantidad de pools de aceite y gas, de una u otra manera, están asociadas íntimamente con discordancias y por lo tanto éstas son de suma importancia en la geología de petróleo.

Una superficie discordante puede marcar la separación entre una formación permeable y una impermeable, y además, formar el límite superior ó inferior del reservorio.

Como ejemplos de este tipo de trampas citaré los siguientes: en el campo Guirequire, en la cubeta de Maturín (Venezuela), una discordancia ha originado una trampa en las arenas plio pleistocénicas, este campo es uno de los más productores en Sudamérica,

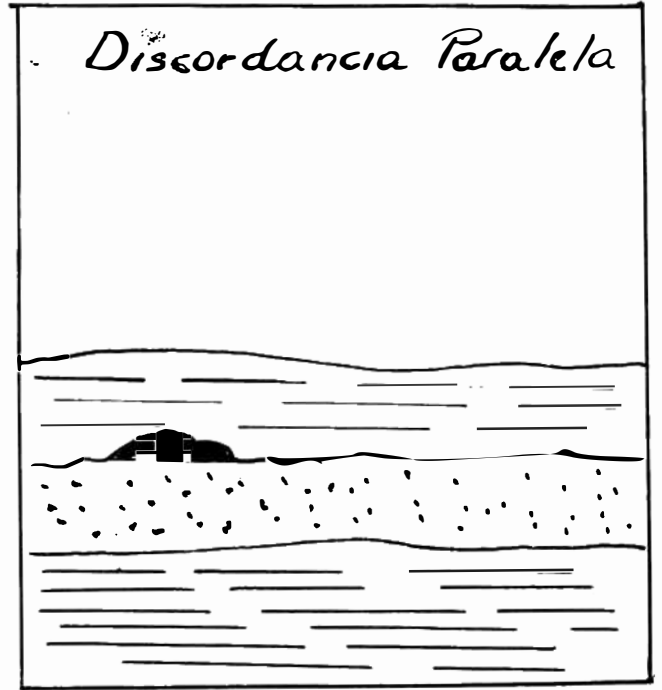
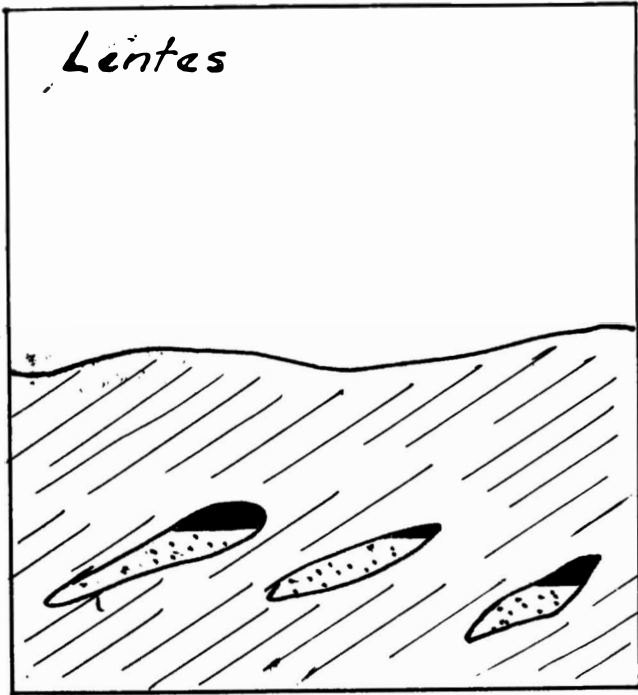
habiéndose extraído de él más de 400 millones de barriles de aceite. El pool Apco en Pecos County (Texas) está localizado en la intersección de dos discordancias. El pool Delhi en Louisiana septentrional posee más de 200 millones de barriles atrapados por una discordancia. El pool Santa María es tal vez uno de los más interesantes ejemplos de trampas causadas por discordancias. El pool Todd en el Midland Basin de Texas occidental. En el área Buchivacoa en Venezuela se hallan tres pools ocasionados por discordancias: Mene, Media y Hombre Pintado.

LOCALIZACION DE LAS TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS;

Este tipo de trampas no muestran manifestaciones superficiales de su presencia, de manera que la única técnica para encontrarlas es usando la geología de subsuelo. Solo con un estudio interpretativo muy detallado y seguro de la Paleogeología, Paleogeografía y Sedimentología puede determinarse su presencia.

.....

TRAMPAS ESTRATIGRAFICAS



IV. TRAMPAS COMBINADAS. DOMOS DE SAL : Distribución - Origen - Salt Core y Cap Rock - Influencia de los domos de sal en la formación de trampas.

TRAMPAS COMBINADAS:

Trampas de esta clase combinan elementos estructurales con otros estratigráficos en proporción más ó menos igual. Una trampa combinada se compone entonces de dos etapas ó fases:

a. Una fase en que participa un elemento estratigráfico, que originó la terminación ó borde de la roca reservorio en forma porosa y sobre todo permeable.

b. Una fase en que participa un elemento estructural, que finalizó la trampa por deformación.

Ninguno de los dos elementos bastaron por sí solos para permitir la formación de los reservorios respectivos y la siguiente acumulación y preservación del petróleo y gas. El elemento estratigráfico puede haberse formado durante la deposición y procesos diagenéticos de la roca, ó más tarde por eventos propicios. El elemento estructural constituir procesos de plegamiento, sobrepuje, rotura y fallamiento, ó una combinación de los mismos que suelen haber intervenido generalmente después de la operación efectuada por el elemento estratigráfico.

Como ejemplos de este tipo de trampas citamos:

El Campo Montebello en Los Angeles County, un campo de múltiples arenas, en el cual se hallan numerosos pools en trampas combinadas que se componen de arenas Terciarias, lenticulares, en acuñamiento, plegadas y falladas. El Campo Rodessa del Noreste de Texas, que representa una trampa combinada muy productiva, forma-

da por la intersección de la caliza infracretácea en forma y posición "pinch-out up-dip" con una falla. El Campo Carthage de Panola County en Texas oriental, con una trampa análoga a la anterior-a acuífero con pérdida gradual de la porosidad de la caliza oolítica infracretácea en dirección up-dip, afectada con abovedamiento y menores fallas, estimado de contener 5 trillones de pies cúbicos de gas. El Campo Poza Rica de México, como el Campo Mene Grande de Venezuela, cuyas colosales cifras de producción se conocen y cuya geología del subsuelo ilustra inmejorablemente el efecto benéfico de las trampas combinadas en base de terminación up-dip de la permeabilidad y subsiguiente alabeo y fallamiento.

DOMOS DE SAL:

Los geólogos siempre han prestado un gran interés a los domos de sal, no solamente por su contundente aporte económico, sino también por sus especiales características y origen.

Los domos de sal intervienen en la formación de una vasta variedad de trampas ya sean estratigráficas, estructurales como combinadas. Merced a las portentosas cantidades de gas y petróleo que se han producido de dichas trampas, es innegable la importancia que tienen estos domos en la industria petrolera.

Los domos no son otra cosa que intrusiones ó inyecciones de rocas salinas en los conjuntos deposicionales superpuestos; y si bien las estructuraciones domales también pueden ser delineadas por intrusiones de rocas ígneas, son muchos más importantes las formadas por el emplazamiento de evaporitas, debido a que la gran mayoría de las trampas producidas por intrusiones se encuentran en sedimentos asociados con chimeneas ó "stocks" de sal.

Distribución:

Los domos de sal ~~se~~ presentan una amplia distribución a

través de ambos hemisferios. Ocurren así desde el Istmo de Tehuantepec en México a lo largo del Golfo hasta Texas, Louisiana y Mississippi y también se les conoce en Utah, Wyoming y Colorado, en su totalidad, productores muy apreciables. Cuellos y diapiros de sal localmente ocupando enorme escala existen en España, Francia, pero particularmente en Alemania, Galicia, Rumanía, Rusia Meridional y en vastas áreas alrededor del Golfo de Persia, en la plataforma árabe iraní, con trampas y producciones estupendas.

Origen:

Ha sido siempre objeto de mucho interés el origen de la sal y la gestación de los domos salinos. Teorías ya antiguas, incluyendo la intrusión volcánica y la cristalización de la sal no fueron suficientes para ofrecer una explicación llana, comprensiva e integral de las combaduras domales de sal. Tan solo la teoría del flujo plástico ha sido considerada adecuada para explicar las características siguientes:

- a. La intrusión de sal en los techos fracturados de los anticlinales, como son típicas en Alemania y Rumanía.
- b. El levantamiento y el truncamiento de los estratos sedimentarios que se encuentran suprayaciendo a la sal, como ocurre en la costa del Golfo.
- c. La presencia de las cap-rocks como sucede casi sin excepción.
- d. El bandamiento ó textura cinteada de las masas salinas.

Esta teoría tiene como premisa básica el comportamiento de la sal como líquido muy viscoso ó como sustancia plástica muy capaz de fluir. Muchos investigadores han demostrado hasta en el laboratorio, que la sal puede fluir plásticamente, H. Stille, K. Krejci-Graf, D.C. Barton, L.L. Nettleton y más recientemente R. Balk han estudiado el mecanismo del flujo de la sal, aplicado especialmente a la génesis de las estructuras diapíricas salinas de

Alemania, Rumanía y de la costa del Golfo.

La combinación de la plasticidad y de la baja gravedad específica permite el flujo hacia arriba, de la sal, intrusionando en los sedimentos suprayacentes.

La sal, en condiciones normales, posee una gravedad específica de 2.2, este valor se mantiene constante aunque se aumente la presión por causa de la profundidad. Ahora bien, los sedimentos, en especial los de la costa del Golfo, si bien en condiciones normales tienen una gravedad específica algo menor que la de la sal, ese valor aumenta con la profundidad alcanzando 2.4 a la profundidad de 3000 metros.

Algunas combinaciones de las condiciones críticas tienen a darle más plasticidad a la sal ocasionando el flujo de ella hacia zonas de menor presión. Dichas condiciones dependen de varios factores:

- a. Composición, carácter, espesor y relación estratigráfica de la formación salina.
- b. La temperatura de la formación salina, la que aumenta 1 °C por cada 32 metros de profundidad.
- v c. La presión de la formación salina la que aumenta 1 psi por cada 0.30 metros de profundidad.
- d. El contenido de agua de la formación salina y de las rocas adyacentes.

Una ojeada al historial del origen de los domos de sal de la costa del Golfo da el siguiente cuadro:

- a. En el Pérmico ó en el Jurásico se acumuló la sal en depósitos formacionales de evaporitas.
- b. Durante la sedimentación de las formaciones del Terciario, comenzaron movimientos horizontales.
- c. La formación salina tenía una superficie superior irregular debido a que la intrusión resultó desigual y no coincidía con la forma del plegamiento pre-existente a dicha intrusión.
- d. Ligeras intrusiones de sal de baja densidad en los sedimentos superiores de mayor densidad, producen una presión diferencial hacia la sal, la cual junto con el aumento de

temperatura , vencen la resistencia de la sal ocasionando un flujo hacia arriba en forma de masa plástica. El proceso se repitió algunas veces durante el Terciario

e. El movimiento continúa hasta que se alcance el equilibrio.

Salt Core - Cap Rock:

Todos los domos de sal contienen una masa central de sal que ha intrusionado en los sedimentos suprayacentes.

En muchos de los domos salinos de la costa del Golfo , los núcleos de sal tienen un diámetro de 1.5 a 6.5 km.; en el Irak el diámetro promedio es 6.5 km.

La profundidad del tope del tapón ó plug de sal es muy variable y de acuerdo a esta profundidad se puede hacer una clasificación aproximada de los domos salinos:

- a. De la superficie hasta 600 metros: tipo piercement ó diapir aflorante, (los que atraviesan totalmente los estratos encima de ellos).
- b. De 600 metros hasta 1800 metros: domos intermedios.
- c. Más de 1800 metros : domos profundos.

También se les puede clasificar de acuerdo a la edad:

- a. Jóvenes: caracterizados por anticlinales y domos con core núcleo de sal infrayacente.
- b. Maduros: núcleos de sal con paredes verticales, y en los cuales se ha comenzado a depositar el cap rock.
- c. Viejos: en éstos se ha formado un cap rock bastante grueso generalmente con overhang ó colgaduras.

El núcleo de sal está constituido en un 90 a 95 % de halita (Cl Na) y una cantidad variable de material insoluble (5 a 10 %); la anhidrita ($\text{SO}_4 \text{Ca}$) forma en una gran mayoría este material, encontrándose en menor cantidad dolomita, calcita, cuarzo etc. Raras veces se hallan fragmentos de areniscas, lutitas etc. El núcleo de sal presenta textura bandeada "estratificada" por la fluxión. Las formaciones situadas al lado ó encima de los tapones de sal, están cortadas y hasta muy transtornadas por numerosas fallas, excepto en el caso

de los piercement domes que ya están estrujados hasta la superficie.

En los domos de la costa del Golfo y en los de Alemania se encuentra presente una capa rocosa encima del tapón de sal, que es el llamado cap rock. Su espesor puede llegar hasta 300 metros, pero generalmente tiene un espesor promedio de 75 a 120 metros.

La composición del cap rock varía a lo largo de su potencia. En su base, descansando directamente sobre el tapón de sal, se halla una capa de anhidrita, seguida por una zona en la que el yeso y la anhidrita están mezclados; en el tope está localizada la calcita. La zona de anhidrita es la más potente. En los domos que poseen una capa bastante gruesa de calcita, se encuentra encima de ella, cantidades comerciales de azufre proveniente, verosímilmente, de la destrucción de la anhidrita; también existe azufre en la zona de transición entre el yeso y la calcita, sin embargo, azufre libre rara vez ocurre en la masa compacta de sal es decir en el núcleo.

En muchos lugares de la costa del Golfo, las lutitas, arenas y arcillas que se encuentran encima del cap rock, a menudo se hallan cementadas, sirviendo como cemento en carbonato de calcio, de manera que forman una roca dura denominada "false cap" ó falso cap rock. A veces los perforadores confunden este falso cap rock con el verdadero. Se distingue la falsa capa por su mayor contenido de materiales clásticos.

El origen del cap rock fué discutido por varios geólogos así tenemos M.A. Hanna, "Geology of Gulf Coast Salt Domes" Problems of Petroleum Geology (Am. Assoc. Petrol. Geol., 1934). R.E. Taylor, "Origin of Cap Rock of Louisiana Salt Domes", La. Geol. Survey, Bull. 11 (1938).

L.S. Brown, "Cap Rock Petrography" Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., Vol 15 (May 1931).
M.L. Goldman, "Origin of the Anhydrite Cap Rock of American Salt Domes", U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 175 (1933).

Las dos teorías más importantes acerca de la génesis del cap rock son: el cap rock fué una formación de anhidrita y caliza que reposa sobre la formación de sal. Cuando se produjo la intrusión del tapón, éste levantó la formación superpuesta, formándose una patena en el tope del tapón. Esta teoría no ha sido muy aceptada debido a que no existe deposición sedimentaria en el cap rock; si fuera cierta la teoría, debería presentarse la deposición mencionada.

La otra teoría, más aceptada, dice que el cap rock es una concentración de los constituyentes insolubles de la formación salina, tales como la anhidrita y carbonatos.

En algunos domos, la sal se proyecta formando colgaduras de sal, adoptando la forma de hongos. En estos casos, cantidades apreciables de petróleo se encuentran en los sedimentos situados debajo de las colgaduras, atrapadas en recipientes a menudo muy complejos.

Influencia de los domos de sal en la formación de trampas petrolíferas:

Cuando los tapones de sal en las relativamente blandas e incompetentes lutitas y areniscas arcillosas del Terciario, tal como sucede por ejemplo en la costa del Golfo, ellos afectan la secuencia y disposición de los sedimentos comprometidos dando lugar a la formación de una gran cantidad de trampas.

Al atravesar el tapón de sal se producen evoluciones neo-estructurales: plegamientos primarios y secundarios, fallamientos, fracturas; hasta fundamentales cambios estratigráficos. Todos

estos accidentes y convulsiones son capaces de originar características idóneas para la acumulación del petróleo y gas. Por consiguiente en una región donde existen domos de sal se pueden encontrar muchos pools separados.

Las acumulaciones de petróleo relacionadas con estos domos presentan las características siguientes:

- a. La acumulación se produce en trampas muy variadas:
en cap rock porosas,
en areniscas suprayacentes plegadas,
en areniscas de los flancos.
- b. La producción es a menudo muy rica.
- c. Se requiere gran precisión en la ubicación y mucha destreza técnica al perforar los pozos debido a que los pools tienen áreas pequeñas y a la dificultad que ofrece la sal a la perforación.
- d. Las presiones son anormalmente altas en proporción con las que deberían ser de acuerdo a la profundidad.
- e. La perforación resulta bastante cara y a veces arriesgada y difícil.
- f. El petróleo es de baja gravedad API.
- g. La producción del cap rock se obtiene totalmente de la capa de calcita la cual ha aumentado su porosidad y permeabilidad por efecto del fracturamiento.
En los campos Spindletop, Soar Lake, Batson y Humble se han producido 189 millones de barriles de petróleo del cap rock. De acuerdo con A. Deussen, "Oil Producing Horizons of the Gulf Coast in Texas and Luisiana", Gulf Coast Oil Fields (Am. Assoc. Petrol. Geol. 1936), todos los campos en los cuales se produce del cap rock, fueron descubiertos entre los años de 1901 y 1905.
- h. La producción de los pools situados en los flancos del domo es bastante alta, lo cual es debido al espesor de las areniscas productoras y al gran número de areniscas que producen.
- i. La producción en las areniscas plegadas por efecto de los domos es mucho más importante que las que se tiene en el cap rock y en los flancos.

Además de los domos de sal de la costa del Golfo, existen otras vastas zonas que presentan pools muy productivos relacionados con domos de sal. Así por ejemplo: en el distrito de Emba, al norte del mar Caspio, en Rusia, han sido determinados 300 domos de sal. La sal ocurre sobre un área de 500 Km² y se supone que sea del Pérmico. La producción de petróleo proviene de las areniscas jurásicas

que se encuentran en los flancos de los domos. También la inmensa mayoría de la producción actual de Alemania proviene de domos salinos de diferente estructuración y muy diferente tipo de trampa así creadas; esto ha sido demostrado en los trabajos y resúmenes de los últimos años del jefe de la industria petrolera alemana, Prof. A. Bentz.

.....

TRAMPAS COMBINADAS

Pleg. más discordancia



Domo salino



Pleg. más discordancia



Domo salino



VI. TRAMPAS PETROLIFERAS EN EL PERU:

En las zonas petroleras conocidas del Perú predominan las trampas del tipo estructural.

EN LA REGION NOROESTE, es decir en la zona más productiva del país ya que proporciona casi la totalidad del petróleo que se extrae en el Perú. Podemos decir:

a. Esta región está caracterizada por un intenso fallamiento en especial, fallamiento normal.

b. Las acumulaciones de petróleo y gas ocurren en un sistema de bloques individuales, formando de esta manera un sinnúmero de reservorios también individuales.

c. Esta estructura se debe al levantamiento vertical de núcleos antiguos, el cual ha actuado en forma contraria al peso de los sedimentos ocasionando movimientos y deslizamientos, en ángulos muy variados en la masa de sedimentos, en especial los del Terciario. Estos levantamientos se han producido periódicamente interponiéndose a los períodos de erosión y deposición.

d. Existe una gran variación en el tamaño de los bloques así como en las profundidades a las cuales se encuentran bloques del mismo horizonte productivo.

EN LA REGION ORIENTAL están en mayoría las "estructuras" particularmente los plegamientos que se traducen en la existencia de anticlinales y domos, así mismo hay trampas del tipo estructural estratigráfico es decir combinadas. Conforme progresa la exploración y se obtengan más datos se podrán determinar las trampas puramente estratigráficas.

EN LA REGION DE PIRIN (andina), cuya tectónica es muy compleja puede existir estructuras favorables para la acumulación

del petroleo, así el campo petrolífero de Mirín estuvo produciendo de una trampa formada por una falla que corta al Terciario.

.....

VII. CONCLUSIONES:

1. Una trampa es el medio que capta, reúne y retiene el petróleo y el gas.
2. Existen diversas clasificaciones de las trampas petrolíferas siendo la más lógica y adecuada la de C.W. Sanders que en 1943 propuso una triple división: ESTRUCTURALES, ESTRATIGRAFICAS Y COMBINADAS , en la cual incluye todos los tipos de trampas posibles.
3. Hay una gran variedad de factores geológicos capaces de causar la formación de una trampa, presentando cada una condiciones únicas de combinación de dichos factores.
4. Las trampas estructurales están relacionadas íntimamente con el grado de deformación de la roca reservorio, mientras que las estratigráficas resultan principalmente de los cambios de facies.
5. Las mayores acumulaciones de petróleo y gas ocurren en las trampas estructurales.
6. Las dos características más importantes de las trampas estructurales son : el gran número de condiciones estructurales que puede ocasionar trampas y el hecho de que las trampas puedan extenderse verticalmente a través de un gran espesor de rocas potencialmente productivas.
7. Las trampas estratigráficas presentan problemas de exploración muy diferentes a los que presentan las estructurales.

.....

VIII. BIBLIOGRAFIA;

- Landes K.K. "PETROLEUM GEOLOGY", John Wiley and Son Co., New York (1951)., pp:207-316.
- Levorsen A.I. "GEOLOGY OF PETROLEUM", W.H. Freeman and Co., San Francisco (1956)., pp:139-282.
- LeRoy L.W. "SUBSURFACE GEOLOGIC METHODS", Colorado School of Mines (Department of Publications)., Colorado (1951) pp:55-67.
- Pflücker E. "ESTUDIO DE UNA ZONA DE FILIACION PETROLIFERA", Bol. de la Soc. Nac. de Minería y Petroleo N^o 36., Lima (1954)., pp:56-59.
- Pirson S.J. "ELEMENTS OF OIL RESERVOIR ENGINEERING", Mc Graw-Hill Book., New York (1950)., pp:76-79.
- Rüegg W. "GEOLOGIA Y PETROLEO EN LA FAJA SUB ANDINA PERUANA", Symposium sobre Yacimientos de Petroleo y Gas tomo IV (América del Sur y Antillas)., México (1956) pp:129-130.
- Russell L. "PRINCIPLES OF PETROLEUM GEOLOGY", Mc Graw-Hill Book Co., New York (1951)., pp:109-151, 307-335.
- Uren L.C. "PETROLEUM PRODUCTIN ENGINEERING-OIL FIELD DEVELOPMENT", Mc Graw-Hill., New York (1956) pp:16-25.
- Ver Wiebe W.A. "HOW OIL IS FOUND", Edwards Brothers Inc., Wichita Kansas (1956)., pp:59-80, 128-202.

AMPLIACION DEL CAPITULO "TRAMPAS PETROLIFERAS EN EL PERU"

En las zonas petroleras conocidas en el Perú predominan las trampas del tipo estructural.

Región Noroeste:

La región noroeste , es decir la zona más productiva del país se caracteriza por los siguientes rasgos:

- a) Por un intenso fallamiento, en especial fallamiento normal.
- b) Ea ocurrencia de petroleo y gas en un sistema de bloques individuales, formando de esta manera un sinnúmero de reservorios también individuales.
- c) Este tipo de estructura se debe al levantamiento vertical de núcleos antiguos, el cual ha actuado en forma contraria al peso de los sedimentos ocasionando movimientos y deslizamientos, en ángulos muy variados en la masa de de sedimentos, en especial los del Terciario. Estos levantamientos se han producido periodicamente interponiéndose a los períodos de erosión y deposición.
- d) Entre los bloques existe una gran variación en el tamaño y/o extensión del area acumulativa, como en las profundidades en las cuales se encuentran horizontes productivos correlativos.

Es así que la concesión La Brea y Pariñas representa el prototipo de trampas originadas por fallamiento. En lo que respecta a la historia de este cuadro tectónico se puede decir: en esta concesión existen tres levantamientos principales :

- a) El levantamiento de La Brea y Negritos, que causa la exposición a la superficie de las rocas sedimentarias más antiguas del Terciario ó sea la Formación Negritos; el area afectada por este levantamiento está cruzada por un sistema complejo de fallas

b) La gran falla de Lagunitos que limita la zona productora por el sur.

c) El levantamiento de Jabonillal en el cual afloran sedimentos de la Formación PaleGreda; está cortado hacia el suroeste por una serie de fallas escalonadas que forman reservorios esporádicos de petróleo cada vez más profundos.

En el área de la concesión La Brea y Pariñas solo existen sistemas de bloques fallados entre sí, y no se ofrecen otra clase de estructuras, tales como plegamientos formando anticlinales ó sinclinales, etc. Además de lo intrincado que son los sistemas de fallas se tienen otros factores que aumentan las dificultades, esto es, las discordancias y el rejuvenecimiento de las fallas quizás por efecto del peso de los sedimentos más recientes. Como ejemplo de semejante ocurrencia, tenemos la arenisca Pariñas la cual, después de haberse depositado, fué quebrada en infinidad de bloques los que luego fueron levantados y desplazados. De todo esto resultó que los bloques más altos quedaban expuestos a la erosión por lo que ha sido removida parte ó toda la arenisca antes de la deposición de las formaciones más nuevas. Al continuarse la sedimentación, la arenisca remanente fué cubierta por formaciones nuevas cuyo peso habría ocasionado el rejuvenecimiento de las fallas antiguas originándose un proceso de desplazamiento continuo.

La producción comercial de este campo proviene prácticamente del Eoceno, en efecto: el 70% se obtiene de la arenisca Pariñas, 21% de la formación Salinas, 7% de las arenas de Verdún, 2% de las formaciones Talara y PaleGreda. Las entidades de Pariñas, Salinas y PaleGreda pertenecen al Eoceno Inferior, la Formación Talara constituye parte del Eoceno Medio, mientras que la For-

mación Verdún pertenece al Eoceno Superior. La arenisca Pariñas es la más productora debido a su elevada porosidad y permeabilidad promedio y por la mayor cantidad de arena neta saturada.

En términos generales, en esta concesión, el petróleo se encuentra acumulado en las crestas y flancos de los principales levantamientos particularmente en las partes elevadas de los diferentes bloques.

En la concesión Patria (campo Los Organos) las formaciones Talara Medio y Ñuro comprenden un adelgazamiento por fenómeno estratigráfico, de suerte que originalmente se tuvo una gran trampa estratigráfica -representada por dicho adelgazamiento-. Más tarde el petróleo migró y saturó la trampa, produciéndose el acomodo gravitacional de los fluidos; posteriormente por acción tectónica llegan a fallarse los lentes de la trampa, y se sellan, formándose un reservorio en bloques con una tendencia a desaparecer en determinada dirección debido a los "Pinch out".

Las principales fallas de subsuelo en este campo de Los Organos, son la falla de La Pampa con 200 m. de salto, buzando 60° al NW; la falla de Los Organos que es visible en la superficie y limita el campo hacia el NW, con un salto de 150 m. siendo su buzamiento de 60 a 70° hacia el NW; también aflora la falla Constancia que tiene gran importancia debido a que confina un bloque productivo de la Formación Ñuro, su rechazo se estima en unos 100m; luego la falla Tablazo también bastante visible afectando el Miembro Patria de la Formación Chacra(?); existen otras dislocaduras con saltos menores pero que tienen no menor importancia ya que cau-

san limitaciones de ls bloques productivos.

Los reservorios en explotación de la Concesión Patria están cōstituidos por areniscas porosas y permeables pertenecientes a las formaciones de Talara Medio y Ñuro que integran parte del Eoceno Medio y al Miembro Patria que constituye parte del Eoceno Inferior.

Hasta Diciembre de 1956 se habían extraído de esta Concesión 3'712,437 bbl. de petroleo, siendo la formación más productiva la de Talara Medio con una producción acumulativa de 2'945,206 bbl. de petroleo. Según F. Zevallos (Geología Superficial y del Subsuelo de Concesión Patria, 1957), las reservas probadas en esta región es de 3'810,822 bbl. siendo las reservas probables de 49'194000 bbl. de petroleo.

La región de Coyonitas también presenta la característica predominante en el NW peruano , es decir un intenso fallamiento normal.

Región Oriental:

En el Oriente peruano , los numerosos plegamientos traducidos en la existencia de anticlinales, domos y accidentes relacionados con ellos , son altamente capaces de almacenar y retener el petroleo. Otras disposiciones favorables para la concentración y retención del aceite y gas lo constituyen la gran cantidad de discordancias existentes, particularmente las angulares.

El cinturón subandino limitado al oeste por Los Andes y por el este por el río Ucayali , está formado por estructuras originadas ó engendradas por plegamientos elongados con orientación NW-SE. Los plegamientos individuales son anticlinales asimétricos siendo sus dips suaves en las alas , tendidos y empinados en los

en los flancos erguidos, estos anticlinales son algunas veces sobrepujados; también ocurre la intrusión de evaporitas originando una disposición arquitectónica muy especial con la probable formación de trampas en los flancos del núcleo salino. Los principales elementos estructurales en estas áreas subandinas son: el domo de Ganso Azul que se encuentra en el margen occidental de la gran llanura amazónica. El campo petrolífera de Ganso Azul, descubierto por los geólogos R.M. Morán y D. Fyfe en 1928 - se reconoció la estructura domal desde un avión - produce de una serie de areniscas y arcillas esquistosas con intercalación de arcilla multicolor (Cretáceo Inferior). Su producción fue en 1957 de 780,330 bbl. de petróleo, y abastece el consumo interno de la zona del oriente peruano; el anticlinal de Aguaytía; el domo de Pisqui; el anticlinal de Cushabatay; los domos del Huallaga Medio y Tarapoto; el anticlinal de Yurimaguas.

En la región comprendida entre el valle del Ucayali y el Brasil tenemos como estructuras principales el levantamiento de Contamana constituido por un anticlinal largo, muy asimétrico y corrido por fallas "en echelon"; el domo de Contaya, bastante deformado (el área de Contaya presenta dos ciclos principales de plegamientos); el anticlinal de "Aquia", llamado antiguamente anticlinal de Cachiyacu, estructura secundaria entre el Ucayali y el levantamiento principal de Contamana. La compañía El Oriente ha encontrado petróleo en dicha estructura, los primeros tres pozos situados en la cresta han producido 500 bbl. diarios de petróleo de 38 API, en la arenisca de Azúcar del Supracretáceo.

En la zona ó cuenca del Madre de Dios existen muchos anticlinales con buenas indicaciones de petróleo. Dichas estructuras tanto largas y angostas como cortas y anchas, algunas aparentemente con cuellos de sal, tipo diapirosque constituyen trampas tectónicas y de combinación. En la actualidad estas delineaciones estructurales no reciben la debida atención por su relativa inaccesibilidad y lejanía.

Región de Pirín:

En la región de Pirín (andina), cuya tectónica es muy compleja, puede quizás existir trampas favorables para la acumulación de petróleo, pero se requiere una investigación minuciosa para determinarlas.

El antiguo campo petrolífero está situado entre los 3850 y 4000 m. y al lado de los afloramientos naturales de hidrocarburos. La concentración de éstos se relaciona aparentemente con la falla - ó fallas- que tapa un supuesto horizonte petrolífero del Cretáceo.