

## SECCION DE PETROLEOS

# APUNTES SOBRE EXPLORACION GEOLOGICA DEL PETROLEO

Bernardo Taborda A.  
Ingo. de Geología y Petróleos

La exploración geológica del petróleo comprende 3 formas:

- A) Exploración geológica superficial
- B) Exploración geológica aérea
- C) Exploración geológica del subsuelo.

### A) Exploración geológica Superficial.

Como su nombre lo indica tiene por objeto, investigar en superficie todos y cada uno de los rasgos geológicos que en ella se presentan. Se deduce de lo anterior que es necesario encontrar el suficiente número de afloramientos de los sedimentos para delinear las estructuras que, según sean sus características, puedan llegar a ser abundantísimas fuentes de explotación petrolífera. También algunos fenómenos geológicos como las fallas y las inconformidades.

Dada pues la necesidad de hallar el máximo posible de afloramientos o exposición de los sedimentos, se ve que hay ciertos medios que nos proporcionan aquellos mejor que otros. Estos son: los ríos, arroyos, carreteras y caminos.

### Sistema de operación

En este capítulo, aprovechando la poca experiencia que tengo, explicaré someramente el sistema seguido por las compañías extranjeras en nuestro país.

Acordado por los jefes del Departamento de Explotación, el levantamiento geológico de una determinada región, se procede a elaborar el costo de ella, teniendo en cuenta las condiciones reinantes en



el área a estudiar. La apropiación para gastos de una comisión geológica se toma del presupuesto de gastos de exploración en el año que corre.

Hay dos clases de gastos en una comisión geológica:

- a) Costo directo; y
- b) Costo total.

El primero es calculado por los jefes del Depto. teniendo en cuenta la extensión del área, el personal y el tiempo necesarios para terminar el estudio.

El costo total o costo último es el que se obtiene una vez terminada la comisión y en él se incluye, además, el sueldo devengado por los empleados que hayan intervenido en el trabajo, bien sea de campo o de oficina.

Verificados todos los trámites y autorizada la comisión, se procede a seleccionar el equipo de campo necesario como son: vehículos, equipo de tolda, de cocina, etc. Si en el área que se va a estudiar, hay una buena red de carreteras, de tal modo que la mayor parte del trabajo se puede sacar de su estudio, es conveniente proveerse del suficiente número de vehículos, al menos tres. Si el trabajo se verifica en lugares donde hay pocas carreteras y muchos caminos, hay necesidad de proveerse entonces de un número grande de mulas para verificar el transporte del campamento a los lugares claves desde los cuales se pueda operar con el máximo de rendimiento en el centro del área.

El personal de empleados de una comisión, se reduce más o menos al siguiente: Un geólogo jefe de comisión, un geólogo ayudante al jefe de comisión y uno o dos operadores de plancheta que verifican el levantamiento de las líneas básicas y colocan en ellas mojones o puntos de referencia, desde los cuales los geólogos pueden hacer líneas transversales de levantamiento geológico, trabajar las secciones de los ríos que crucen las vías, de las quebradas, caminos, etc. El personal de obreros se reduce a: un capataz, dos cocineros (uno para los empleados y otro para los trabajadores) y la cuadrilla de trabajadores a razón de más o menos de tres por cada geólogo u operador.

Una vez preparado el equipo de campo, se procede al traslado al sitio de operaciones. Generalmente conviene seleccionar lo que pudiéramos llamar el centro de gravedad del área o el sitio desde el cual se pueda operar con el máximo de rendimiento en el trabajo dada la cercanía a que de él se esté. Puede darse el caso y es muy común tener



una especie de depósito principal en una ciudad grande si acaso la hay, para guardar allí el campamento principal y salir en comisiones de 15 o 20 días con campamentos apropiados, para tal duración.

### Reconocimiento

Es indispensable y desde todo punto de vista importante el reconocimiento si no de toda, de gran parte del área. En el caso de poseer información de otras personas acerca del área, se procede a verificar el reconocimiento de las secciones tipo, ya sean de una edad o de otra y comenzar a fijar los puntos de vista personales. Es importante antes de salir a terreno, proveerse de un máximo de información acerca del área porque con ella se puede muchas veces economizar tiempo. En esta cuestión hay necesidad de guardar cierta discreción y no aferrarse a las opiniones de los demás, así sea su origen.

### Instrumentos de medida y coordenadas

Los instrumentos de Ingeniería usados en exploración geológica son: la plancheta, el tránsito, la brújula de mano, el contador de pasos, la cinta metálica, el telémetro y el barómetro. De éstos, el tránsito y el telémetro, tienen relativamente poco uso. El instrumento de mayor aplicación en la exploración es la plancheta, pues con ella se pueden verificar simultáneamente los trabajos de localización, nivelación, topografía y además muchos rasgos geológicos de interés posterior. La brújula de mano y la cinta se usan en los casos de arroyos y caminos que por su sinuosidad y estrechez, no puede usarse la plancheta eficientemente. La brújula y el contador se usan para casos de muy difícil acceso y en los cuales el uso de la cinta aún no resulta económico. El barómetro tiene aplicación muy limitada, dada la poca precisión en sus lecturas y sólo en casos de trabajos con brújula tiene cierto uso para el control de elevaciones en los puntos iniciales y finales de las poligonales y a veces en ciertos puntos intermedios.

El sistema coordenadas generalmente usado en todos estos trabajos, tiene su origen en Bogotá, donde cada uno de sus ejes tiene como valor 1.000.000. A partir de este origen, se han calculado las coordenadas para las capitales de departamento y demás puntos importantes que han de servir para nuevos trabajos.

### Escalas

Se usan las que se desen aunque para el trabajo de las líneas de control, se usa 1/20.000, de esta escala y teniendo un buen sistema de triangulaciones, se puede elaborar un mapa de las líneas a una escala de 1/50.000 para que con el instrumento colocado en un punto do-



minante se pueda controlar buena parte de la topografía. En los lugares donde existen las **secciones tipo**, se usa la escala apropiada al detalle con que se quiera obtener. Cuando éstas sean muy buenas y se halla tomado un buen número de muestras acompañadas de bastante información litológica, conviene usar escalas grandes para que al elaborar las correspondientes columnas estratigráficas, se puede colocar en ellas el máximo de información. Cuando el área es lo suficiente grande, se usan escalas de 1/50.000 para elaborar los mapas finales que han de figurar en el informe. Escalas más reducidas se usan en trabajos de compilación dado que éstos abarcan áreas mayores.

### Muestreo

Cuando el geólogo sale a terreno, recibe un determinado intervalo de numeración, del cual hace uso para la enumeración de sus muestras. La localización de estas en las hojas de plancheta debe hacerse colocando miras en los puntos donde se tomen para que al verificar las secciones queden colocadas éstas en su verdadera altura. Al tomar las muestras es indispensable hacer una buena descripción litológica de las capas de donde se extraen, anotando su relación con los estratos superiores e inferiores. Hay que anotar además el nombre de la formación de la cual proceden y en el caso de no estar seguro hay necesidad de hacer la correspondiente observación. Siempre que se tome una muestra y sea posible, debe anotarse la dirección e inclinación del estrato.

Cuando en el área que se estudia, se presenta una misma formación en diversos lugares, hay necesidad de estudiarla en cada uno de ellos, anotando sus variaciones laterales, las cuales se mostrarían mediante el uso de cartas de correlación.

En la exploración es muy frecuente el caso de encontrar áreas de afloramientos escasos o muy pobres. Esto es muy común en los valles de los ríos, hacia las costas y en las llanuras y puede tener dos causas principales: la presencia de sedimentos muy recientes que por su misma edad no suministran buenas actitudes o la presencia de una capa aluvial que oculta las capas más viejas. En este último caso hay necesidad de emprender un programa de perforaciones, bien sea con taladros de mano que extraen los núcleos a los cuales se les puede tomar dirección, inclinación e información litológica; también pueden perforarse huecos de 1 mt. cuadrado de sección, en las paredes de los cuales se puede obtener buena información. Aunque a primera vista parece un poco laboriosa la cuestión, no lo es en extremo, pues esto ocu-



re con formaciones muy arcillosas y deleznales, ya que las formaciones duras resisten más la acción de los agentes erosivos y por tanto sus actitudes son mejores.

### Nomenclatura y litología

La nomenclatura en la exploración geológica es una cuestión fundamental e importante. La primera persona encargada de hacer el levantamiento de una determinada área, tendrá que adoptar una nomenclatura que tradicionalmente tiene relación con nombres de ríos, localidades, etc. en el área estudiada. Se deduce de lo anterior que hay necesidad de una acertada política de compilación y correlación a fin de eliminar en cuanto sea posible el máximo de nombres, pues de lo contrario resultaría un exceso de éstos que lejos de aclarar la geología regional, servirían para hacerla más confusa y difícil. Este problema sigue en pie como consecuencia del afán de las compañías de mantener en el máximo secreto sus estudios geológicos.

También es importante hacer cierto estudio de las rocas que sirven de basamento, determinando si es el caso las distintas provincias ígneas y metamórficas, así como los minerales pesados contenidos en ellas y sus relaciones con los mismos en los sedimentos, para establecer hasta qué punto fueron las primeras fuentes de clásticos para los segundos. Al adoptar determinados nombres, se han de basar ellos en características litológicas definidas, de tal modo que en los contactos sean colocados rasgos más salientes de la sección a la vez que observar si esos contactos son conformes o nó.

Es muy importante en todo trabajo anotar el máximo de nombres de veredas, ríos, arroyos, etc. ya que ellos pueden servir con posterioridad como referencia a la información geológica obtenida. También es conveniente obtener el máximo de fotos ilustrativas de la geología regional y local.

### Trabajo de oficina

Terminado el trabajo de campo y prácticamente liquidada la comisión, se regresa a la oficina central para seguir con el trabajo de oficina, que a la vez sirve de descanso para el personal de comisión. La primera fase del trabajo de Oficina consiste en verificar una reducción del trabajo hecho a la escala conveniente. El sistema de reducción es el fotográfico dada su rapidez y precisión. Verificada la reducción, se procede a la ordenación del correspondiente mapa geológico, el cual se elabora en **formatos tipo**. Hechos los mapas geológicos, se procede



a la elaboración de las secciones verticales, de las cuales si se tiene el verdadero control obtendremos los correspondientes espesores de las formaciones, los cuales se compararán con los calculados por el geólogo en el terreno. Cuando se tiene suficiente y cuidadosa información, las secciones verticales se hacen por el método geométrico o de Busk, aunque la expresión resultante de la elaboración por este método, es conveniente compararla con la correspondiente interpretación que a la geología regional se haya dado. Esto último es muy importante y por eso el buen geólogo le busca a los problemas geológicos el máximo posible de interpretaciones para ver cuál de ellas se acomoda mejor a la realidad.

El número de secciones verticales debe ser suficiente para mostrar los rasgos geológicos más importantes. El máximo número de secciones verticales se hace cuando en el área estudiada hay estructuras importantes desde el punto de vista petrolífero, casos en los cuales es muy importante la elaboración de un mapa estructural con el cual se definen todas las características de la estructura, como son: cierre, profundidad de perforación para alcanzar las arenas petrolíferas u horizontes, de los cuales se espera producción, reservas de las estructuras etc. con las cuales se puede deducir si es conveniente la inversión de más dinero en ellas.

Elaboradas las secciones verticales y definidos los espesores de las formaciones se procede a la elaboración de las columnas estratigráficas, cuyo detalle depende del obtenido en el terreno y del cual a su vez depende la escala que ha de usarse. Después de elaboradas las columnas estratigráficas, se procede a elaborar las cartas de correlación de las formaciones que uno haya obtenido con otras formaciones de áreas cercanas o distantes a la estudiada por uno. Esto es muy importante ya que de ella depende la eliminación de muchos nombres al adoptarse una nomenclatura general.

Otros trabajos de oficina menos importantes son los mapas isopáquicos, cartas de espesores y mapas paleogeográficos, los cuales en muy contados casos se incluyen en los informes.

Terminado el trabajo de dibujo de los empleados de la comisión, ésta envía su trabajo al Departamento de dibujo para su elaboración en papel especial para reproducción fotográfica y así poder obtener todas las copias que se deseen, una de las cuales será la que acompañará al informe final.



### **Informe final**

El informe es la última fase de la comisión y quizá lo más importante de ella. La manera como se ha de presentar el informe obedece a reglas ya establecidas al respecto, no obstante en el caso que contemplamos hay capítulos que tienen su interés más saliente como son los siguientes:

#### **a) Historia geológica de las región**

En este capítulo hay necesidad de hacer un análisis histórico de todo lo sucedido desde la formación de las rocas basales, o sea las que sirven de asiento a los sedimentos, siguiendo luego con las que de éste tipo se depositaron primero poniendo de presente la forma como ha ido ocurriendo el diastrofismo hasta alcanzar la época presente.

#### **b) Estructura**

En este capítulo el más importante hay necesidad de describir cada una de las estructuras y rasgos geológicos presentes en el área como son los anticlinales, sinclinales, fallas, superficies de erosión que provoquen las trampas estratigráficas y condiciones favorables a la acumulación, etc.

#### **c) Conclusiones y recomendaciones**

En este capítulo bastante delicado desde el punto de vista de la responsabilidad personal, el geólogo después de estudiar detenidamente las posibilidades petrolíferas de la región, debe emitir su concepto discreto y sereno sin encerrar demasiado optimismo en sus afirmaciones, ya que de ellas dependen futuras inversiones de la Cía. a la cual presta sus servicios. Tampoco debe ser demasiado pesimista por lo cual no debe desperdiciar ningún rasgo importante por minúsculo que sea, ya que podría tener relaciones con otro u otros y hacer la cuestión aún más importante de lo que se supone.

#### **B). Exploración geológica aérea**

Esta forma de exploración relativamente reciente, ha tomado en los últimos tiempos una importancia considerable. Se puede decir que hasta cierto punto es el complemento de la exploración superficial, pues este sistema se ha visto considerablemente impulsado con el uso de las fotografías aéreas las cuales reducen casi en su totalidad el trabajo de medida, pues éste queda reducido a unas cuantas líneas cuyo objeto principal es verificar el control de las elevaciones, para así definir los va-



lores de los contornos topográficos. Fue por medio de este sistema como se descubrieron las grandes estructuras del Medio Oriente, en donde las vastas extensiones de territorio completamente desértico, hacían bastante difícil y costoso el trabajo de una comisión geológica. Aprovechando las excelsas ventajas que proporcionan las fotografías aéreas en terrenos desprovistos totalmente de vegetación, se puede obtener de ellas la delimitación completa de estructuras geológicas. En los lugares donde se presente algo de vegetación, es un gran auxiliar de la exploración superficial, ya que disponiendo de las fotografías, antes de salir a terreno se alabora de las fotos un mapa del drenaje y de las carreteras con lo cual se reduce considerablemente el trabajo, ya que disponiendo de tal mapa, todo se reduce a estudiar en él las mejores líneas de control y colocar en el mapa la información geológica obtenida. En Colombia salvo lugares especiales, las comisiones geológicas operan sobre mapas tomados de fotografías aéreas.

### C) Exploración geológica del subsuelo

La exploración geológica del subsuelo comprende dos fases principales:

- a) Fase extractiva o de perforación con taladro.
- b) Fase interpretativa o exploración geofísica.

#### a) Fase de perforación

Pudiéramos decir que es la culminación de los estudios tanto de superficie como de subsuelo, ya que ella tiene como fundamento el trabajo de perforación con taladro y la extracción continua de corazones o núcleos que han de revelar las características litológicas de la columna estratigráfica en el sitio de la perforación. La mayor importancia de este sistema de exploración ocurre en los casos en que las estructuras hallan sido el resultado de estudios geofísicos y los estudios superficiales hayan revelado poca o ninguna información litológica. El procedimiento a seguir en éstos casos, consiste en extraer sucesivamente los núcleos y prepararlos para pruebas físicas, químicas, microscópicas y paleontológicas, con las cuales se prepara una columna bastante precisa acerca de los sedimentos presentes en el lugar. La exploración en estos casos se termina cuando el taladro haya alcanzado las rocas que forman el basamento o cuando se ha alcanzado los horizontes que se presume sean productivos. Terminada la perforación se hace el registro eléctrico del pozo que no es más que un chequeo de la columna obtenida mediante la extracción de núcleos a la vez que sirve



para completar esta última en los casos de posibles pérdidas de parte de la sección así como para determinar posibles superficies de erosión, arenas petrolíferas, horizontes de aguas subterráneas, etc.

### b) Fase interpretativa o exploración geofísica

Hay varios métodos de exploración geofísica a saber:

- a) Método gravimétrico
- b) " magnetométrico
- c) " sísmico
- d) " eléctrico
- e) " geotármico
- f) " radioactivo, según se trate de medir las gradientes de gravedad, magnetismo, elasticidad, conductividad eléctrica o variaciones de temperatura y de radioactividad.

De estos métodos los más importantes y que han dado los mejores resultados hasta el presente son gravimétrico y el sísmico; el método magnético o magnetométrico tiene también su importancia y ya comienza a ser usado en Colombia por las compañías extranjeras. Generalmente en todos estos métodos la parte correspondiente a la lectura de los instrumentos no encierra ninguna dificultad, ocurriendo lo contrario con la parte de la verdadera interpretación que requiere considerable experiencia a la vez que ciertos conocimientos de geología, para así llegar a conclusiones más acertadas, resultado de comparar los resultados obtenidos con los rasgos que en superficie se puedan observar.

### a) Método gravimétrico

Este método se lleva a cabo mediante el uso de dos instrumentos principales que son: la balanza de torsión y el gravímetro que registran el valor de la gravedad. En el primer caso la unidad de medida es el Eötvös o sea un aumento de  $1 \times 10^{-2}$  el valor de la gravedad y por cada centímetro horizontal. En el segundo caso o sea con el uso del gravímetro, los resultados se obtienen en una unidad llamada la milidina o fuerza de intensidad equivalente a la milésima de una dyna. A la unidad anterior se le da también el nombre de miligal.

En cuanto a personal las comisiones de gravímetro son más numerosas que las superficiales; disponen por lo general de un jefe de comisión que generalmente permanece en el campamento verificando las interpretaciones a partir de las lecturas obtenidas por los ayudantes, además, disponen por lo general de tres o cuatro operadores de plan-



cheta que verifican la medida de todas las líneas en las cuales dejan a determinada distancia, mojones o puntos de referencia en donde se ha de hacer más tarde una lectura con el gravímetro. El método gravimétrico generalmente es bastante susceptible a los cambios topográficos a causa de los cuales hay necesidad de hacer cierta corrección. Esta ha sido la causa por la cual la balanza de torsión ha caído en desuso dada su gran sensibilidad.

#### b) Método magnetométrico

El instrumento en esta clase de exploración es el magnetómetro llamado también variómetro. Este instrumento ha tenido últimamente importancia considerable en el descubrimiento de ciertas anomalías geológicas como intrusiones ígneas y depósitos minerales, anomalías de las cuales se ha sospechado que existen, merced a ciertas relaciones laterales descubiertas y cuya comprobación eficiente requiere el uso del magnetómetro. Mediante el uso de este instrumento se obtiene el valor de las variaciones en la intensidad magnética tanto horizontal como vertical para lo cual se usan los tipos horizontal y vertical respectivamente. La unidad de medida que expresa esta variación en la intensidad del magnetismo se denomina el gauss o sea (Field Geology by Frederic H. Lahee) la intensidad que posee un campo magnético que actúa sobre un polo magnético unidad con la fuerza de una dyna. El polo magnético unidad es el que a la distancia de un centímetro, actúa sobre otro igual con la fuerza de una dyna. La unidad más frecuentemente usada es el gama que es equivalente a  $1/100.000$  gauss.

La exploración magnética generalmente se hace simultáneamente con el gravímetro, con lo cual se controlan mejor los resultados.

#### c) Método sísmico

El método sísmico es el más importante de todos los métodos geofísicos y es ampliamente usado para la exploración del subsuelo y en especial para descubrir estructuras petrolíferas depósitos minerales, forma y distribución de la superficie del basamento en terrenos sedimentarios.

El instrumento usado en esta clase de trabajos es el sismógrafo, instrumento que en esencia se compone de una masa que tiende a permanecer estacionaria cuando su soporte se mueve. El movimiento de la masa se provoca, mediante la explosión de cargas de dinamita colocadas a cierta profundidad (5 a 100') y los movimientos relativos de ella y su soporte; se utilizan para hacer mover una bobina dentro de



un campo magnético. Por este movimiento se induce una corriente en el arrollamiento, aunque de pequeña intensidad, es amplificada hasta 30.000 veces y transmitida luego a un oscilógrafo en donde actúa sobre un galvanómetro cuyos movimientos son impresos en papel fotográfico, obteniéndose así el sismograma de cuyo estudio se pueden hacer las interpretaciones correspondientes. La explosión de la dinamita nos produce ondas que viajan bien por superficie o bien por el interior. Estas últimas al encontrar los planos de estratificación de los sedimentos, puede sufrir reflexión o refracción antes de salir a superficie a actuar sobre el instrumento de recepción, el cual si se quiere que registre las unas o las otras se tendrá exploración por reflexión o por refracción, las cuales si bien operan bajo el mismo principio hay en ellas ciertas diferencias en cuanto a disposición y número de las estaciones de origen y recepción de ondas.

Una de las características fundamentales de las ondas en la exploración geológica, es la velocidad de propagación, conocida de la cual se pueden deducir las características litológicas de la roca por la cual se transmitió y conociendo el tiempo transcurrido desde la explosión hasta la recepción, se puede obtener la profundidad de aquella. Económicamente la exploración con sismógrafo es la más costosa. Se han constituido en N. A., una serie de compañías dedicadas a contratar con las compañías petroleras la exploración geofísica para lo cual disponen en todo el mundo una red considerable de comisiones de sismógrafos. En cuanto al sistema de trabajo y número de personas que intervienen en una comisión de esta naturaleza, el autor de este artículo, tuvo la oportunidad de observar bien de cerca el funcionamiento de una de ellas y obtener datos como los siguientes: número de obreros 80; camiones para transportes de personal 15; bulldozers, tractores arranca-cepas, etc. 6; carros tanques para aprovisionamiento de agua 3; taladros portátiles para perforar pozos de agua y extraer núcleos 2; estación portátil de radio para comunicación con la oficina central de exploración; jeeps 2; pick-up 2; refrigeradoras 2; etc. El costo de operación, esto es sin contar salarios de ninguna clase, era en promedio de 1.500 pesos diarios; costo de 3.000 lbs. de dinamita que se hacían explotar diariamente \$ 1.500.

---