

Capítulo 2

Exploración

Indice	Página
I. Los Comienzos	57
• La teoría anticlinal	58
• Geología aplicada	58
II. Configuración de los Yacimientos Petrolíferos	60
• Características de las rocas petrolíferas	60
• Rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias	61
• Propiedades físicas de las rocas	63
• Capacidad de almacenamiento de las rocas	63
• Medición de la porosidad	65
III. Metodos Geofísicos de Exploración	65
• El gravímetro	65
• El magnetómetro	66
• El sismógrafo	67
• La sismología de refracción	67
• La sismología de reflexión	67
• Adelantos en procedimientos y técnicas de exploración	68
IV. Métodos Eléctricos de Exploración	70
• Distintos caminos para encontrar petróleo	72
V. Métodos Petrofísicos Modernos	72
VI. Geoquímica	73
VII. Exploración Aérea y Espacial	74
VIII. Exploración Costafuera	75
IX. Aplicación de Métodos de Exploración en Venezuela	76
Referencias Bibliográficas	81

I. Los Comienzos

Desde tiempos inmemoriales las gentes utilizaron los rezumaderos de hidrocarburos como fuentes de aprovisionamiento para varios menesteres. El gas incendiado en el mismo sitio de su aparición sirvió para alumbrar en muchos lugares de la Tierra. El primer gasducto, hecho de troncos huecos de madera, para llevar gas a Fredonia, estado de Nueva York, se construyó en 1825. El petróleo se utilizó para alumbrado por antorcheros; para calafatear embarcaciones; como impermeabilizante; como cemento o pega en las construcciones y hasta en aplicaciones medicinales.

Siglos atrás, los chinos desarrollaron métodos y experticia para hacer pozos en busca de sal y de agua. Sin embargo, se da como punto de partida del esfuerzo por establecer la industria petrolera comercial y formal, el pozo terminado como productor el 28 de agosto de 1859 por el coronel Edwin L. Drake. Este pozo, ubicado en las inmediaciones del pueblo de Titusville, condado de Crawford, estado de



Fig. 2-2. Reproducción del primer pozo que dio inicio a la industria petrolera en Titusville, Pennsylvania, el 28 de agosto de 1859, perforado por Edwin L. Drake.

Pennsylvania, llegó a la profundidad de 21,2 metros y por bombeo produjo 25 barriles diarios. Para esa fecha el precio del crudo era de \$16 por barril.



Fig. 2-1. Desde tiempos inmemoriales, los chinos abrieron pozos en busca de sal y agua, pero el hallazgo de estratos petrolíferos someros perturbaba sus intenciones.

El primer esfuerzo exploratorio formal compensó las gestiones de la Pennsylvania Rock Oil Company, empresa creada el 30 de diciembre de 1854 para perforar y buscar petróleo en Pennsylvania, a cargo de su superintendente de operaciones Edwin L. Drake.

En los comienzos de la industria, las técnicas de exploración para ubicar los pozos se basaban en la creencia general de que el petróleo seguía el curso de las aguas. Por tanto, valles y lechos de riachuelos y ríos eran sitios favoritos para perforar.

La harta frecuencia con que se logró el descubrimiento de yacimientos petrolíferos, ubicando pozos por las señas de reflejos irizados de petróleo que flotaban sobre el agua, influyó mucho en el ánimo de los primeros exploradores para no valerse desde un principio de la aplicación de conocimientos y técnicas geológicas disponibles.

La teoría anticlinal

El auge exploratorio con taladro que se perfilaba en Pennsylvania a principios de 1860 se vio fortalecido por la audacia de algunos exploradores que con éxito ubicaron sus pozos en sitios más altos y cimas de colinas.

En 1860 el profesor canadiense Henry D. Rogers hizo observaciones sobre la posición estructural del pozo terminado por Drake. En 1861 otro canadiense, T. Sterry Hunt, presentó amplios y claros conceptos sobre la teoría anticlinal.

El anticlinal es un pliegue arqueado de rocas estratificadas cuyos estratos se inclinan en direcciones opuestas desde la cresta o eje del pliegue para formar una estructura domal o bóveda.

Durante la década de 1860, y a medida que los pozos se hacían más profundos y el ritmo de las actividades de exploración se intensificaba en la cuenca de las montañas de Apalache, se empezó a complicar la interpreta-

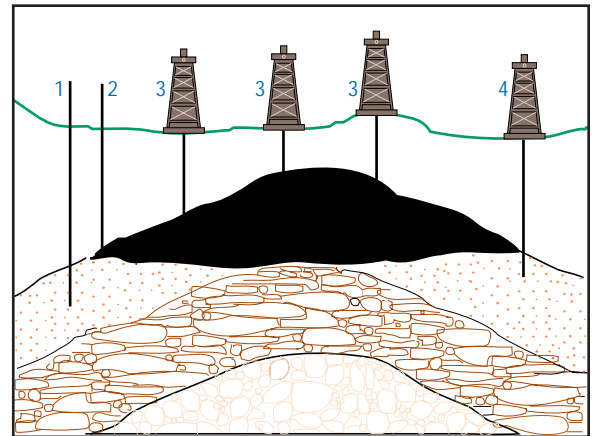


Fig. 2-3. Anticlinal: 1) Acuífero. 2) Contacto agua-petróleo. 3) Pozos terminados. 4) Pozo productor de agua.

ción de muestras de los sedimentos extraídos de los pozos, la correlación entre pozos y la determinación de factores que permitiesen tener mayor control sobre el pozo mismo y sus objetivos.

Como se trabajaba y aplicaban conocimientos prácticos sobre la marcha, los estudiosos y expertos empezaron a ofrecer sus conocimientos y servicios. La teoría anticlinal rindió sus frutos al revelar las razones de los éxitos de la perforación en tierras altas.

Geología aplicada

Como parte de las Ciencias de la Tierra, la Geología de Superficie fue la primera utilizada para ayudar a la naciente industria a interpretar las manifestaciones e indicaciones de la naturaleza sobre las posibilidades de encontrar depósitos petrolíferos.

Por observaciones y estudios de la topografía del área se asentaban los rasgos remanentes de la erosión; el afloramiento de estratos y sus características; el curso y lecho de los ríos; la apariencia y tipos de rocas; descripción de fósiles recogidos; aspecto y variedad de la vegetación; rezumaderos petrolíferos y todo un sinnúmero de detalles que finalmente aparecían en láminas y mapas del informe de evaluación, preparado para los interesados.

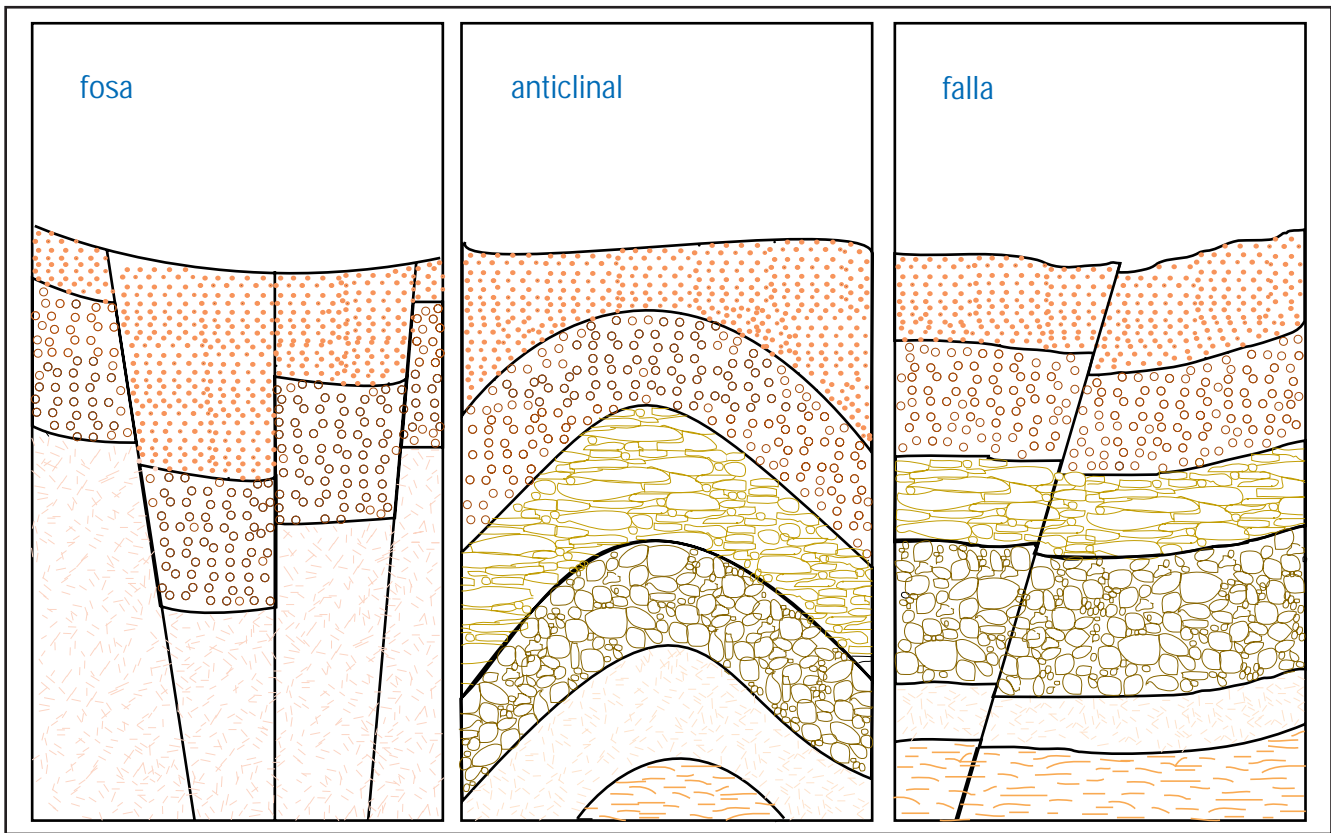


Fig. 2-4. Las fuerzas de la dinámica terrestre que perturban los estratos originan una variedad de accidentes geológicos (fosas, anticlinales, sinclinales, fallas, discordancias, etc.) y trampas que favorecen la retención de las acumulaciones petrolíferas.

Toda esta información, aunada a la que se recogía de la perforación, servía entonces para correlacionar el suelo con el subsuelo y aplicar así conocimientos para proyectar futuras operaciones.

Al correr de los años se expandió la aplicación de las diferentes ramas de la Geología a la exploración para esclarecer las incógnitas del subsuelo. Entraron a formar parte de las herramientas del explorador las geologías Física, Histórica y Estructural; la Paleontología, la Palinología, la Petrografía, la Geomorfología, la Mineralogía, la Sedimentología y la Estratigrafía.

Durante el resto del siglo XIX, las geologías de Superficie y de Subsuelo sirvieron extensamente al explorador para la proyección de estudios locales y regionales en búsqueda de nuevos depósitos. De toda la información

recopilada y estudios realizados, se llegó a apreciar cuánto podía saberse entonces acerca del subsuelo. Faltaba todavía la aplicación de otros métodos y conocimientos científicos que antes de la perforación ofreciesen al explorador información anticipada acerca de las formaciones, su distribución, posición, profundidad, espesor y otros detalles que ayudarían a programar con más certeza las campañas de exploración.

Esta técnica complementaria -Geofísica, representada por la Gravimetría, la Magnetometría y la Reflexión Sísmica- se desarrollaría muchos años más tarde, como también otras que se aplicaron bastante después -Fotogeología Aérea, Geoquímica y más recientemente, a partir de la década de los sesenta, la Computación y la Sismografía Digitalizada. Todas estas técnicas son ahora más efectivas,

gracias a mejores procedimientos de adquisición, procesamiento e interpretación de datos, los cuales son transmitidos con asombrosa velocidad y nitidez de un sitio a otro mediante modernos sistemas de comunicación: satélites, televisión, fax, celular, télex e impresoras con una increíble capacidad y selección de tipografía a color.



Fig. 2-5. Durante los estudios geológicos de campo, la mensura del terreno es parte importante de los levantamientos. En las exploraciones geológicas de superficie, cada pedazo de roca es para el geólogo fuente de información insustituible de la historia geológica de los sitios observados.

II. Configuración de los Yacimientos Petrolíferos

De toda la información y experiencia obtenida de la perforación de pozos en los primeros años de la industria, se empezó a catalogar la forma o configuración estructural de las formaciones y estratos geológicos que conforman el depósito natural o yacimiento petrolífero.

La estructura anticlinal empezó a entenderse en todos sus aspectos y detalles de simetría o asimetría. La conformación domal de

las estructuras que aparecieron sirvió para estudiar y apreciar las dimensiones, inclinación de los flancos y formas de este tipo de configuración. Apareció el sinclinal, cuyos flancos convergen hacia la parte inferior o fondo de la estructura, con forma de un anticlinal invertido. Se detectaron domos salinos, que muestran acumulaciones petrolíferas en las formaciones sobre su tope y/o en los flancos. Discontinuidades en la secuencia de deposición de los estratos. Lentes de arenas petrolíferas enterrados en los estratos, por cuyas características forman trampas estratigráficas.

Muchas de estas trampas mostraron fallas, o sea cortes o deslizamientos en los estratos, debido a las fuerzas naturales actuantes que pliegan a los estratos. Estas fallas por su dirección, desplazamientos y constitución de los estratos, ejercen influencia sobre el confinamiento o la fuga del petróleo. Su magnitud puede ser grande, ocasionando discontinuidad apreciable del yacimiento, lo cual hace que en la zona de falla aparezca un área improductiva.

Características de las rocas petrolíferas

A medida que ante la vista de los expertos académicos y de operaciones de campo se dibujaba la penetración de la corteza terrestre por la barrena, se empezaron a entender las respuestas a muchas preguntas y también surgieron muchas que tendrían que esperar adelantos científicos y aplicaciones tecnológicas novedosas.

Se avanzó mucho en la apreciación sobre los agentes mecánicos y químicos responsables por el origen, desintegración y transporte de las rocas, sus características físicas y composición. Fueron identificados aspectos y agentes influyentes sobre la deposición de los sedimentos, su estratificación y compactación. Se empezó a apreciar la transformación de la materia orgánica vegetal y animal en hidrocarburos y las condiciones necesarias para

esa transformación: volumen de material orgánico, bajo las acciones de presión, temperatura y tiempo, su origen, estabilidad, desplazamiento y final atrapado del petróleo en su depósito o yacimiento natural definitivo.

Se constató que el petróleo proviene de formaciones o estratos de diferentes edades geológicas. Algunas formaciones de ciertas edades son improductivas y formaciones de otras edades muy prolíficas. En la Tabla 2-1, El tiempo geológico y la columna de las formaciones, se anotan sucesivamente incidentes fundamentales que marcan la evolución de nuestro planeta. Particularmente importante en el proceso evolutivo de la vida vegetal y animal durante todo el desarrollo del planeta Tierra. Respecto a los hidrocarburos, es interesante el hecho de que en varias partes del mundo, formaciones de la era Paleozoica han contribuido con significativas acumulaciones y volúmenes de producción de gas y petróleo, por ejemplo muchos yacimientos en los Estados Unidos. Aquí en Venezuela, los yacimientos de edad geológica más antigua y muy prolíficos son del Mesozoico, específicamente el período Cretácico. También son muy abundantes y extensos, tanto en el oriente como en el occidente de Venezuela, yacimientos de los períodos Eoceno, Oligoceno y Mioceno.

Rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias

La Tierra está compuesta de estas tres clases de rocas. Todas son de interés geológico y están comprendidas en todo estudio geológico general. El interés del explorador petrolero está centrado en las rocas sedimentarias.

Las ígneas son rocas formadas por el enfriamiento y solidificación de la masa ígnea en fusión en las entrañas de la Tierra. Son del tipo intrusivas o plutónicas y extrusivas o volcánicas. Son del tipo intrusivas, entre otras, el granito, la granodiorita y la sienita. Estas rocas tienen una estructura de tipo granítico muy

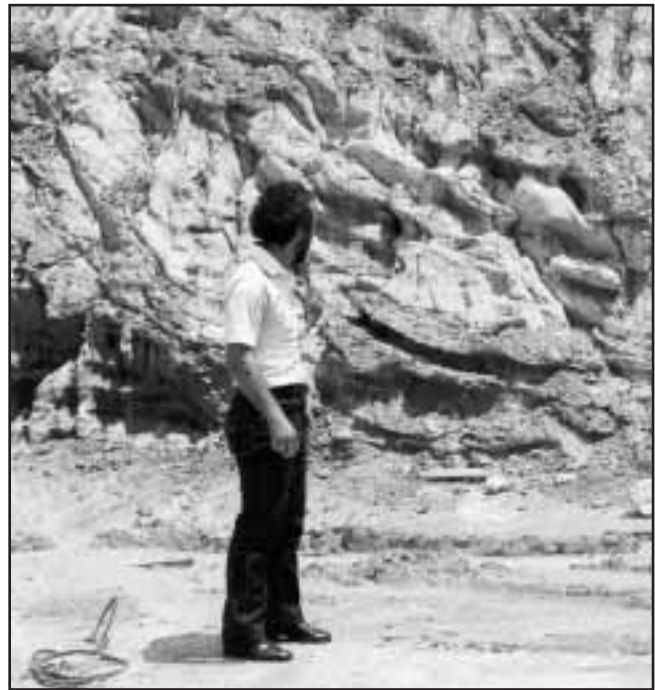


Fig. 2-6. La erosión, por el viento o las corrientes de agua, afecta la estabilidad de los estratos y cambia con el tiempo el aspecto del panorama terrestre. Observador geólogo Orlando Méndez.

bien definida. Entre las extrusivas o volcánicas, se cuentan las pómez, las bombas volcánicas, el lodo volcánico, la lava y la lapilli.

Las rocas sedimentarias, por ejemplo, están representadas por gravas, conglomerados, arena, arenisca, arcilla, lutita, caliza, dolomita, yeso, anhidrita y sal gema. Estas rocas se derivan de las rocas ígneas y de las metamórficas por medio de la acción desintegradora de varios agentes como el viento, el agua, los cambios de temperatura, organismos, las corrientes de agua, las olas, y por acción de sustancias químicas disueltas en el agua.

En general, las rocas sedimentarias son las de mayor importancia desde el punto de vista petrolero. Ellas constituyen las grandes cuencas donde se han descubierto los yacimientos y campos petrolíferos del mundo. Por su capacidad como almacenadoras y extensión geográfica y geológica como rocas productoras sobresalen las arenas, las areniscas, las calizas y dolomitas; aunque también constituyen fuen-

Tabla 2-1. El tiempo geológico y la columna de las formaciones

Eras	Períodos de tiempo Serie de rocas	Epocas de tiempo o serie de rocas	Tiempo aproximado en años desde el comienzo de cada una	Características físicas y biológicas
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	50.000	Desarrollo del hombre moderno.
		PLEISTOCENO	1.000.000	Capas de nieve cubren a Europa y a Norteamérica; aparición del hombre primitivo.
	TERCIARIO	PLIOCENO	12.000.000	Desarrollo de las plantas modernas y animales; formación de las montañas occidentales en Norteamérica.
		MIOCENO	30.000.000	Óptimo desarrollo de los mamíferos gigantes; formación de montañas, que incluye a los Alpes, los Andes y los Himalayas.
		OLIGOCENO	10.000.000	Desarrollo de los mamíferos superiores.
		EOCENO Y PALEOCENO	60.000.000	Desarrollo y preeminencia de los mamíferos; aparición del caballo ancestral y de los simios.
MESOZOICO	CRETACICO		120.000.000	Extinción de los dinosaurios; desarrollo de los mamíferos primarios y de las plantas florales; aparición de estratos de creta (tiza).
	JURASICO		155.000.000	Aparición de los reptiles voladores y de los pájaros; predominio de los dinosaurios; aparición de los mamíferos; abundancia de árboles y plantas coníferas.
	TRIASICO		190.000.000	Aparición de los dinosaurios; predominio de los reptiles; aparición de las palmeras.
PALEOZOICO	PERMICO		215.000.000	Desarrollo de los reptiles; declinación de las grandes plantas del Carbonífero.
	CARBONIFERO (Pennsylvaniano Mississippiano)		300.000.000	Edad del carbón; formación de estratos carboníferos a partir de plantas exuberantes de lagunas y pantanos cálidos; aparición de árboles tipo helecho; aparición de las coníferas; abundancia de insectos; primera aparición de los reptiles; desarrollo de los anfibios.
	DEVONIANO		350.000.000	Edad de los peces; aparición de los anfibios primitivos; desarrollo de la vida vegetal en continentes secos.
	SILURIANO		390.000.000	Aparición de los escorpiones, primeros animales que viven en tierra firme; extensos arrecifes.
	ORDOVICIANO		480.000.000	Inundaciones y recesiones de mares poco profundos; deposición de caliza; plomo y zinc; abundancia de vida marina invertebrada; aparición de algunos primitivos invertebrados parecidos a los peces.
	CAMBRICO		550.000.000	Mares de poca profundidad cubren casi toda la Tierra; formación de las rocas sedimentarias; desarrollo de la vida invertebrada, incluso los braquiópodos, las esponjas, los trilobitos y los gasterópodos.
PRECAMBRICO	PROTOZOICO		1.200.000.000	Formación de montañas, depósitos de mineral de hierro, abundancia de algas que excretan cal; aparición de las esponjas.
	ARQUEOZOICO		2.000.000.000	Gran actividad volcánica; formación de rocas ígneas; aparición de algas microscópicas; probable presencia de vida protozoa.

tes de producción, en ciertas partes del mundo, las lutitas fracturadas, la arcosa, los neis, la serpentina y el basalto.

Las rocas metamórficas se forman de las ígneas y sedimentarias que sufren transformación por la acción del calor, por efectos de la presión o por acción química para producir rocas de composición similar pero de estructura, textura y proporciones mineralógicas diferentes. Por tanto, la caliza puede transformarse en mármol, la lutita en pizarra, la pizarra en esquistos, la arena cuarzosa en cuarcita o la arena arcósica en neis.

Propiedades físicas de las rocas

De la acumulación de datos teóricos y aplicaciones prácticas, tanto en el laboratorio como en trabajos de campo, se ha logrado catalogar una variedad de propiedades, de constantes y de relaciones acerca de las rocas que componen los estratos geológicos. Ejemplo:

- La aplicación de la sismología depende de la propagación de ondas, gracias a la elasticidad del medio donde se propagan. Por ejemplo, la velocidad longitudinal, en metros/seg de ondas en algunos tipos de rocas, puede ser variable debido a que las rocas no son perfectamente elásticas: aluvión: 300 - 610; arcillas, arcillas-arenosas: 1.830 - 2.440; lutitas: 1.830 - 3.960; arenisca: 2.400 - 3.960; caliza: 4.880 - 6.400; granitos: 5.030 - 5.950.

- La proporcionalidad (Ley de Hooke) que existe entre la fuerza (por unidad de área) que causa desplazamiento elástico y la fuerza (por unidad de longitud o por unidad de volumen) que causa deformación, es aplicable a los estratos. Por tanto, se puede indagar si los estratos resisten, se elongan, comprimen o deforman, según fuerzas de tensión, de compresión, de presión, de cimbra, de cizalla.

- Es importante conocer, además, el origen de las rocas, la edad geológica, su estructura, composición, granulometría, caracte-

rísticas externas, densidad, propiedades mecánicas y todo cuanto pueda abundar para interrelacionar mejor las deducciones geológicas y geofísicas que conduzcan en definitiva al descubrimiento de acumulaciones comerciales de hidrocarburos.

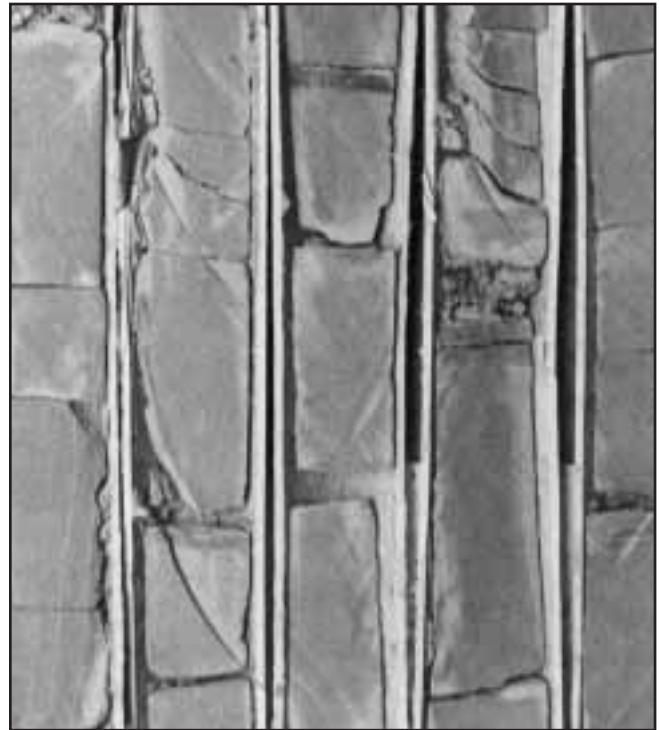


Fig. 2-7. Los núcleos sirven para obtener información geológica y petrofísica de inestimable valor en cuanto a evaluar las perspectivas de acumulaciones petrolíferas.

Capacidad de almacenamiento de las rocas

Cuando el pozo de Drake empezó a producir a bomba, la gente se formó la idea de que el petróleo se extraía de una corriente subterránea como la de un río. Aún hoy, ciertas personas piensan que es así.

La naciente industria llamó poderosamente la atención de los geólogos y profesionales afines, quienes acostumbrados a la minería de roca dura empezaban a presenciar el desarrollo de la exploración petrolera y a participar en la aplicación de sus conocimientos geológicos a este nuevo tipo de operaciones. Los retos eran bastantes y estimulantes.

Así como los antes nombrados Henry D. Rogers y T. Sterry Hunt, vocearon sus conceptos sobre la Teoría Anticlinal y su aplicación al pozo de Drake, Alexander Mitchel llamó la atención de los petroleros hacia la porosidad de los estratos, especialmente las arenas y areniscas, en el sentido de que el espacio creado por los granos en contacto era suficiente para almacenar grandes volúmenes de petróleo.

Este concepto de porosidad y volumen es básico en la estimación de reservas. Tiene sus fundamentos en la configuración de los granos, la manera como están en contacto, el material que los une, el volumen que representa esa masa y el espacio creado, el cual puede traducirse a números.

Por ejemplo, si se toma un envase cilíndrico cuya capacidad es de un litro, se puede llenar con un litro de líquido. Pero si se llena con arena de granos sueltos y más o me-

nos uniformes, aparentemente se ha copado el volumen del envase. Sin embargo, si cuidadosamente se vierte agua u otro líquido sobre la arena hasta copar el envase, se verá que el líquido se ha depositado en los poros formados por los granos en contacto. Si el volumen de líquido vaciado fue de 150 cc, entonces el volumen real de los granos de arena representa 850 cc. Los dos equivalen al volumen total del envase, 1.000 cc.

$$\text{Porosidad} = \frac{150}{1.000} = 0,15 = 15\%$$

Si el ejemplo fuese un envase de un metro cúbico (1.000 litros) lleno de esa arena y de la misma porosidad, entonces podría almacenar $1.000 \times 0,15 = 150$ litros.

Matemáticamente se puede demostrar que si los granos son perfectamente redondos (esferas) y están apilados rectangularmente uno sobre otro, esta configuración da la máxima porosidad de 47,64 %. Ejemplo:

Diámetro de la esfera: 1 cm

Número de esferas: 216

Volumen de la esfera: $r^3 \frac{4}{3} \pi$

Volumen total de esferas:

$$(0,5)^3 \times \frac{4}{3} \pi \times 216 = 113,1 \text{ cm}^3$$

Volumen de la caja = $6^3 = 216 \text{ cm}^3$

Volumen de poros = $216 - 113,1 = 102,9 \text{ cm}^3$

Porosidad = $102,9 / 216 = 0,476388 = 47,64\%$

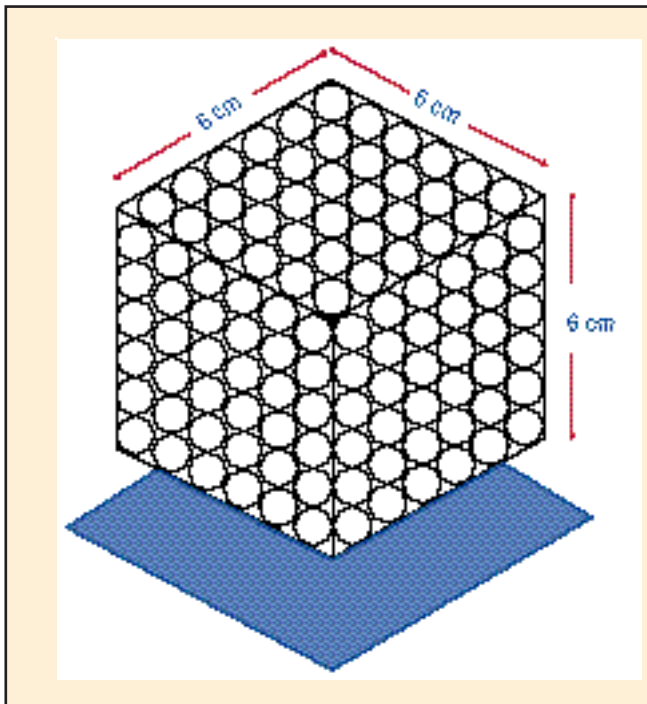


Fig. 2-8. Esta caja de 6 cm de lado contiene 216 esferas de 1 cm de diámetro cada una, apiladas una sobre otra. El volumen de la caja menos el volumen total de las esferas deja un espacio vacío que representa los poros creados por las esferas en contacto.

De igual manera si las esferas se dispusieran en una configuración hexagonal se obtendría la porosidad mínima de 25,95 %.

En la práctica, debido a la forma de los granos, a la compactación, cementación que los une y a otros factores, la porosidad medida en laboratorio o por otros métodos analíticos de campo da una variedad de valores para determinado espesor de estrato, sección o formación. Sólo la recopilación de datos y estadísticas dan el valor promedio de porosidad, que es el empleado en la práctica para cómputos. La porosidad de las rocas petrolíferas puede acusar, generalmente, entre 10 y 25 %.

Medición de la porosidad

En el laboratorio se utilizan procedimientos e instrumentos, porosímetros, para medir la porosidad. Los núcleos de las formaciones o muestras del ripio que se obtienen en el curso de la perforación de un pozo son traídos al laboratorio, donde son debidamente identificados y catalogados para medirles el volumen total, el volumen que representan sus granos y el volumen de los poros. Mediante la aplicación de métodos analíticos se obtienen dos valores muy importantes: la porosidad total y la porosidad efectiva. La porosidad total permite apreciar la configuración irregular de los granos de las muestras y llegar a la determinación del volumen efectivo de poros, lo que se traduce en:

$$\text{Porosidad efectiva, \%} = \frac{\text{Volumen efectivo de poros}}{\text{Volumen total de la muestra}} \times 100$$

Más adelante veremos los adelantos en la medición directa y continua de ciertas características de las formaciones. Se utilizan instrumentos que dentro del hoyo y mediante las propiedades del fluido de perforación captan de abajo hacia arriba, a lo largo de toda la profundidad, el flujo de corrientes de fuerzas electromotivas que quedan plasmadas como curvas en un registro o perfil para luego ser interpretadas cualitativa y/o cuantitativamente para evaluar, en

primer término, las posibilidades de producción de hidrocarburos de las formaciones. También hay registros o perfiles que permiten interpretar los resultados de trabajos que se hacen durante la perforación y la terminación del pozo o posteriormente en las tareas de limpieza, rehabilitación o reterminación del pozo en sus años de vida productiva hasta abandonarlo.

III. Métodos Geofísicos de Exploración

Los métodos y equipos geofísicos empezaron a formar parte de los recursos técnicos disponibles al explorador petrolero en la segunda década del siglo XX. Sus aplicaciones en la resolución de la posible presencia de estructuras favorables a la acumulación de petróleo en el subsuelo han servido para completar el aporte de los estudios geológicos regionales de superficie.

El gravímetro

El objetivo principal de los estudios de gravimetría es medir la atracción gravitacional que ejerce la Tierra sobre un cuerpo de masa determinada. Pero como la Tierra no es una esfera perfecta y no está en reposo ni es homogénea y tiene movimientos de rotación y de traslación, la fuerza de gravedad que ejerce no es constante.

Por tanto, las medidas gravimétricas en exploración son representación de anomalías en las que entran la densidad de los diferentes tipos de rocas: sedimentos no consolidados, areniscas, sal gema, calizas, granito, etc.

En representación esquemática, el instrumento consta de una masa metálica que, suspendida de un resorte supersensible, registra la elongación del resorte debido a la atracción producida por lo denso de la masa de las rocas subterráneas. Las medidas son anotadas y posteriormente se confeccionan mapas que representan la configuración lograda.

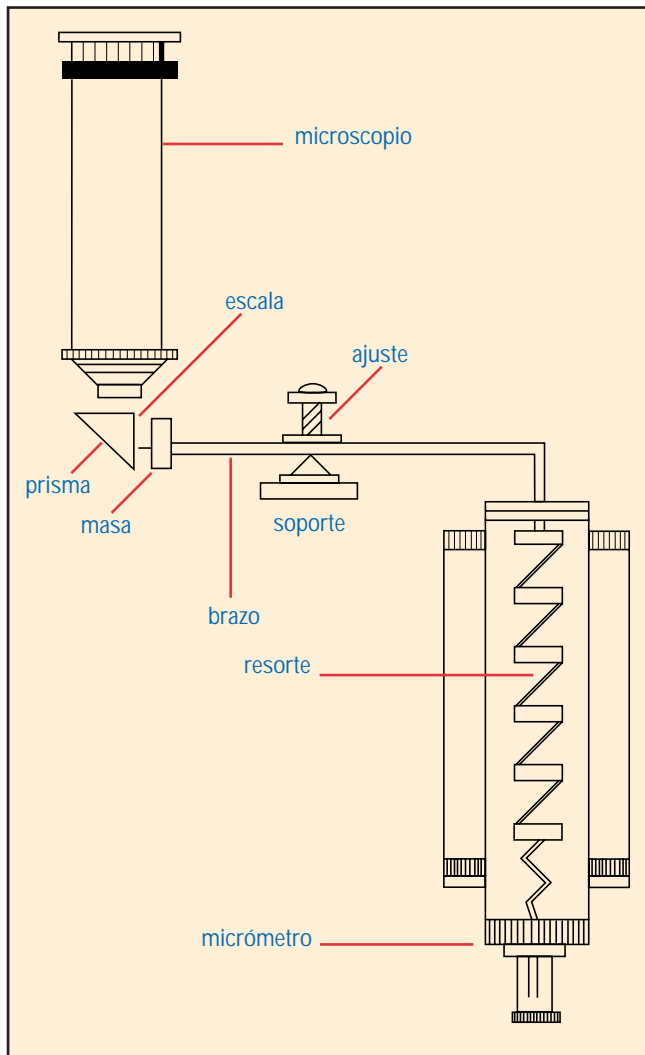


Fig. 2-9. Gravímetro Thyssen: disposición de sus elementos. El desplazamiento de la masa, por la atracción de la Tierra, se lee en la escala ubicada en el extremo de la masa.

La unidad gravimétrica terrestre, en honor a Galileo Galilei, es el GAL, y se expresa en $\text{cm}/\text{seg}/\text{seg}$ o cm/seg^2 . También puede ser expresado en submúltiplos como el miligal (10^{-3} GAL) o el microgal (10^{-6} GAL).

El gravímetro de los tipos de balanza de torsión y péndulo se empezó a utilizar en la industria petrolera a principios del siglo XX para la detección de domos salinos, fallas, intrusiones, estructuras del tipo anticlinal, rumbo y continuidad de las estructuras.

El magnetómetro

Aprovechando la fuerza de atracción que tiene el campo magnético de la Tierra, es posible medir esa fuerza por medio de aparatos especialmente contruidos que portan magnetos o agujas magnéticas, magnetómetros, para detectar las propiedades magnéticas de las rocas.

La unidad de medida magnética es el Gauss, en honor al matemático alemán Karl Friedrich Gauss. En la práctica se usa la gamma, medida que es 100.000 veces menor que el Gauss. Un Gauss es equivalente a la fuerza necesaria de una dina para mantener una unidad magnética polar en posición en un punto definido.

El levantamiento magnetométrico se hace tomando medidas de gammas en sitios dispuestos sobre el terreno. Luego las medidas son indicadas en un mapa y los puntos de igual intensidad son unidos por curvas isogamas que representan la configuración y detalles detectados. El magnetómetro se ha utiliza-

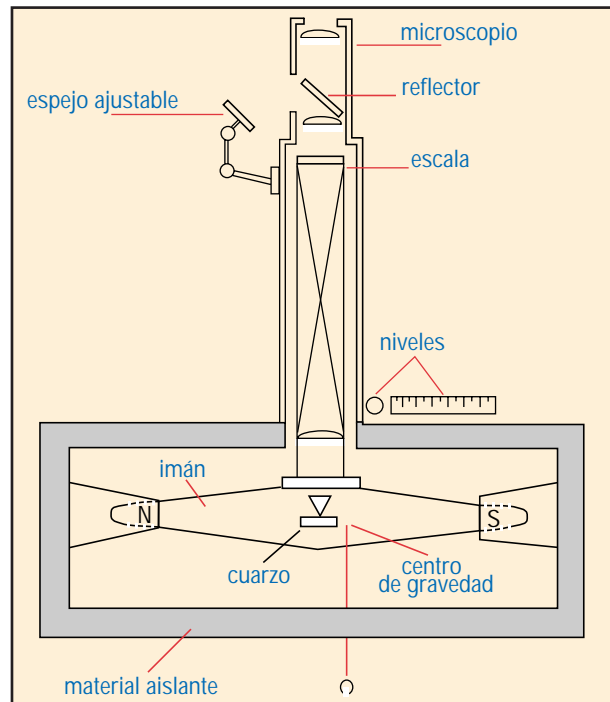


Fig. 2-10. Componentes básicos de un magnetómetro.

do ventajosamente para detectar estructuras, fallas e intrusiones.

Durante el proceso y desarrollo del equipo se ha logrado mucho perfeccionamiento en sus aplicaciones. El uso del magnetómetro aéreo ha facilitado la cobertura de grandes extensiones, mucho más rápidamente que el levantamiento hecho sobre el propio terreno. Además, la mensura magnetométrica aérea no es afectada por campos magnéticos creados por instalaciones de líneas eléctricas, oleoductos y gasductos y otras construcciones metálicas.

El sismógrafo

El sismógrafo es un aparato de variado diseño y construcción empleado para medir y registrar las vibraciones terrestres a niveles someros o profundos que puedan producirse por hechos naturales como temblores y terremotos o explosiones inducidas intencionalmente o por perturbaciones atmosféricas, como en el caso de disparos de artillería.

Su elemento principal consiste en un dispositivo muy bien balanceado y en suspensión que puede oscilar con gran sensibilidad bajo el impulso de vibraciones externas. En un extremo, el dispositivo lleva una plumilla que marca sobre papel especial las oscilaciones. El

papel va dispuesto sobre un elemento que gira accionado por un mecanismo de reloj.

Los estudios y aplicaciones del sismógrafo para medir la propagación de ondas artificiales en la investigación de las características de las rocas de la corteza terrestre se originaron a mediados del siglo XIX en Europa. Científicos ingleses y alemanes fueron pioneros en medir la relación velocidad-tiempo de las ondas y sus variaciones con respecto a la profundidad de las rocas.

En Estados Unidos se publicaron resultados de estudios y aplicaciones de sismología en 1878. La adaptación de esta nueva tecnología a los estudios geológicos y exploración petrolera comenzó en la segunda década del siglo XX en Europa y Estados Unidos. Para la década de los treinta, la sismología había ganado ya suficiente aceptación como técnica de exploración y su desarrollo y alcances teóricos y prácticos han estado desde entonces hasta ahora en continua evolución.

La sismología de refracción

El fundamento físico de funcionamiento de refracción sismológica está asociado a la teoría óptica. La propagación de la onda cambia de dirección cuando hay un cambio de propiedades físicas en la masa que recorre.

La geometría de los rayos sigue las reglas que controlan la propagación de la luz, Figura 2-12.

Hasta los años treinta se utilizó el sismógrafo de refracción con buen éxito en la detección, principalmente, de domos salinos, aunque también se aplicó para delinear anticlinales y fallas, pero poco a poco empezó a imponerse el método de reflexión.

La sismología de reflexión

El principio básico de la sismología de reflexión semeja al cálculo de la distancia a que se encuentra un cañón, si se mide el tiem-



Fig. 2-11. Vehículos de diseño y tracción especial se emplean en las tareas de exploración sismográfica petrolera.

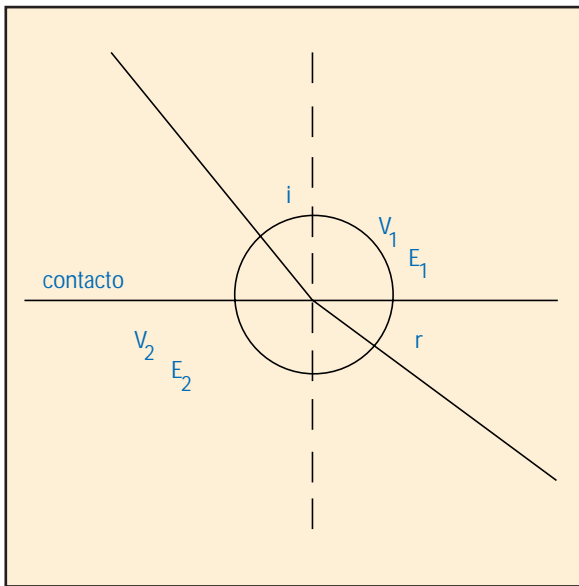


Fig. 2-12. Se aprecia:

- i = ángulo de incidencia
- r = ángulo de refracción
- V_1 = velocidad en estrato E_1
- V_2 = velocidad en estrato E_2

cionar una mejor interpretación del subsuelo que cualquier otro método de prospección.

En la práctica, como muestra la Figura 2-14, se dispone de una fuente de ondas inducidas que se proyectan en profundidad y al rebotar son recogidas en la superficie por geófonos dispuestos a distancias críticas. Las señales son registradas en la superficie. La relación velocidad-tiempo-profundidad es interpretada para deducir de la malla de líneas levantadas sobre el terreno las correlaciones obtenidas de las secciones y finalmente producir mapas del subsuelo.

po en que se ve el fogonazo y se oye el sonido del disparo y se toma como base para el cálculo la velocidad del sonido, 300 metros/seg.

Sin embargo, la semejanza se complica y conlleva dificultades técnicas porque las ondas inducidas desde la superficie viajan a través de un medio complejo como son las rocas y se reflejan como un eco al haber cambio de continuidad en los estratos. No obstante, los adelantos técnicos han logrado que este método se haya refinado al extremo de propor-

Adelantos en procedimientos y técnicas de exploración

Originalmente, la propagación intencional de ondas sísmicas en la corteza terrestre se hacía mediante la detonación de cartuchos de dinamita que se explotaban en hoyos someros ubicados y abiertos para tales propósitos. Adquirir, transportar y custodiar di-



Fig. 2-13. El intervalo de observación entre el fogonazo y la percepción del sonido del disparo de un cañón está relacionado con la velocidad del sonido, 300 metros/seg., y, por tanto, el observador puede estimar la distancia a la cual se encuentra el cañón.

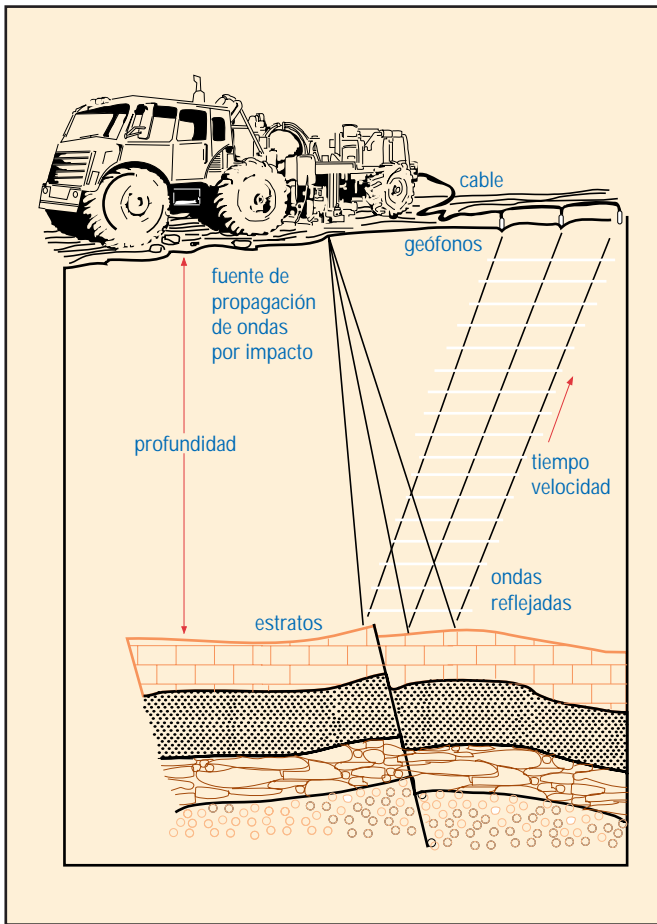


Fig. 2-14. La detección del tiempo transcurrido, desde que el sonido inducido en la superficie hace su recorrido hacia los estratos y regresa luego a la superficie, es un aspecto básico para estimar la profundidad de los estratos. La propagación del sonido en los estratos depende de la composición y características de éstos.

namita para tales trabajos requería cumplir con una variedad de tramitaciones ante las autoridades venezolanas, además de las medidas de seguridad durante el uso en el campo. Las detonaciones espantaban a la fauna terrestre y cuando se hacían levantamientos sísmicos en aguas, las detonaciones ocasionaban la muerte de muchos peces.

Después de la Segunda Guerra Mundial, el auge inusitado en la exploración petrolera promovió a lo largo de los años adelantos e innovaciones en las operaciones de campo. Fue eliminada la dinamita y en su lugar se desarrolló la pistola para detonar aire comprimi-

do y se fabricó, como parte integral de los nuevos vehículos automotores para trabajos de sismografía, un potente pisón que al caer sobre la superficie terrestre induce las ondas para determinar después la profundidad de las formaciones, mediante las relaciones tiempo, velocidad del sonido y características/propiedades de las rocas. (Ver Figuras 2-13 y 2-14).

Los nuevos equipos y técnicas de sismografía han sido rediseñados y han mejorado significativamente la adquisición, el procesamiento y la interpretación de datos, haciendo que el factor tiempo y la calidad total de las tareas sean más efectivas, desde el comienzo del levantamiento hasta el informe final de los resultados.

La electrónica y la computación, con su casi ilimitada capacidad de procesamiento de datos, permite que los resultados de los levantamientos sísmicos se tengan en muchísimo menor tiempo que lo acostumbrado en años atrás, cuando geofísicos, geólogos e ingenieros requerían meses cotejando, verificando, correlacionando y ajustando datos utilizando la regla de cálculo o calculadoras mecánicas manuales para luego elaborar los planos o mapas del subsuelo de las áreas estudiadas. Además, la nueva tecnología ha permitido reestudiar y reinterpretar información sismográfica antigua de áreas que en el pasado no fueron catalogadas como atractivas y, en muchos casos, los nuevos resultados han sido sorprendentes.

Otra contribución técnica de nitidez y rapidez es la elaboración en blanco y negro o a color de los planos o mapas del subsuelo mediante las procesadoras o copiadoras electrónicas programadas específicamente para tales labores. Anteriormente este proceso requería dibujantes especializados y la preparación de los dibujos a color requería mucho más tiempo. Hoy, la diferencia en productividad es notable.

La idea de sobreponer información de los registros o perfiles petrofísicos a los datos sismográficos de los levantamientos o a la sísmica adquiridos específicamente en un pozo amplió la cobertura de correlación. Los resultados de esta técnica han sido fructíferos, mediante la aplicación de procesos y programas computarizados.



Fig. 2-15. Muestra de una sección sísmica levantada y procesada con nueva tecnología.

Sin embargo, es oportuno mencionar que todas las técnicas y herramientas de exploración en la búsqueda de acumulaciones de hidrocarburos (reservas) no son infalibles. La interpretación de los datos y de los resultados obtenidos conducen a predecir el grado de probabilidad (alto, medio, bajo) de las condiciones y características del subsuelo conducentes a la existencia de acumulaciones comerciales de hidrocarburos. En la industria existe un dicho que decisivamente abarca todas las expectativas y es: “**La barrena dirá**”.

IV. Métodos Eléctricos de Exploración

En la búsqueda y aplicación de métodos para detectar las posibles acumulaciones de minerales e hidrocarburos, los científicos e investigadores no cesan en sus estudios de las propiedades naturales de la Tierra.

Con este fin han investigado las corrientes telúricas, producto de variaciones mag-

néticas terrestres. O han inducido artificialmente en la tierra corrientes eléctricas, alternas o directas, para medir las propiedades físicas de las rocas.

De todos estos intentos, el de más éxito data de 1929, realizado en Francia por los hermanos Conrad y Marcel Schlumberger, conocido genéricamente hoy como registros o perfiles eléctricos de pozos, que forman parte esencial de los estudios y evaluaciones de petrofísica, aplicables primordialmente durante la perforación y terminación de pozos.

Básicamente el principio y sistema de registros de pozos originalmente propuesto por los Schlumberger consiste en introducir en el pozo una sonda que lleva tres electrodos (A, M, N), como muestra la Figura 2-16. Los electrodos superiores M y N están espaciados levemente y el tercero, A, que transmite corriente a la pared del hoyo, está ubicado a cierta distancia, hoyo abajo, de los otros dos. Los electrodos cuelgan de un solo cable de tres elementos que va enrollado en un tambor o malacate que sirve para meter y sacar la sonda del pozo, y a la vez registrar las medidas de profundidad y dos características de las formaciones: el potencial espontáneo que da idea de la porosidad y la resistividad que indica la presencia de fluidos en los poros de la roca.

La corriente eléctrica que sale de A se desplaza a través de las formaciones hacia un punto de tierra, que en este caso es la tubería (revestidor) que recubre la parte superior de la pared del pozo. El potencial eléctrico entre los electrodos M y N es el producto de la corriente que fluye de A y la resistencia (R) entre los puntos M y N.

La influencia del fluido de perforación que está en el hoyo varía según la distancia entre M y N. Si la distancia es varias veces el diámetro del hoyo, la influencia queda mitigada y la resistividad medida es en esencia la resistividad de la roca en el tramo representado.

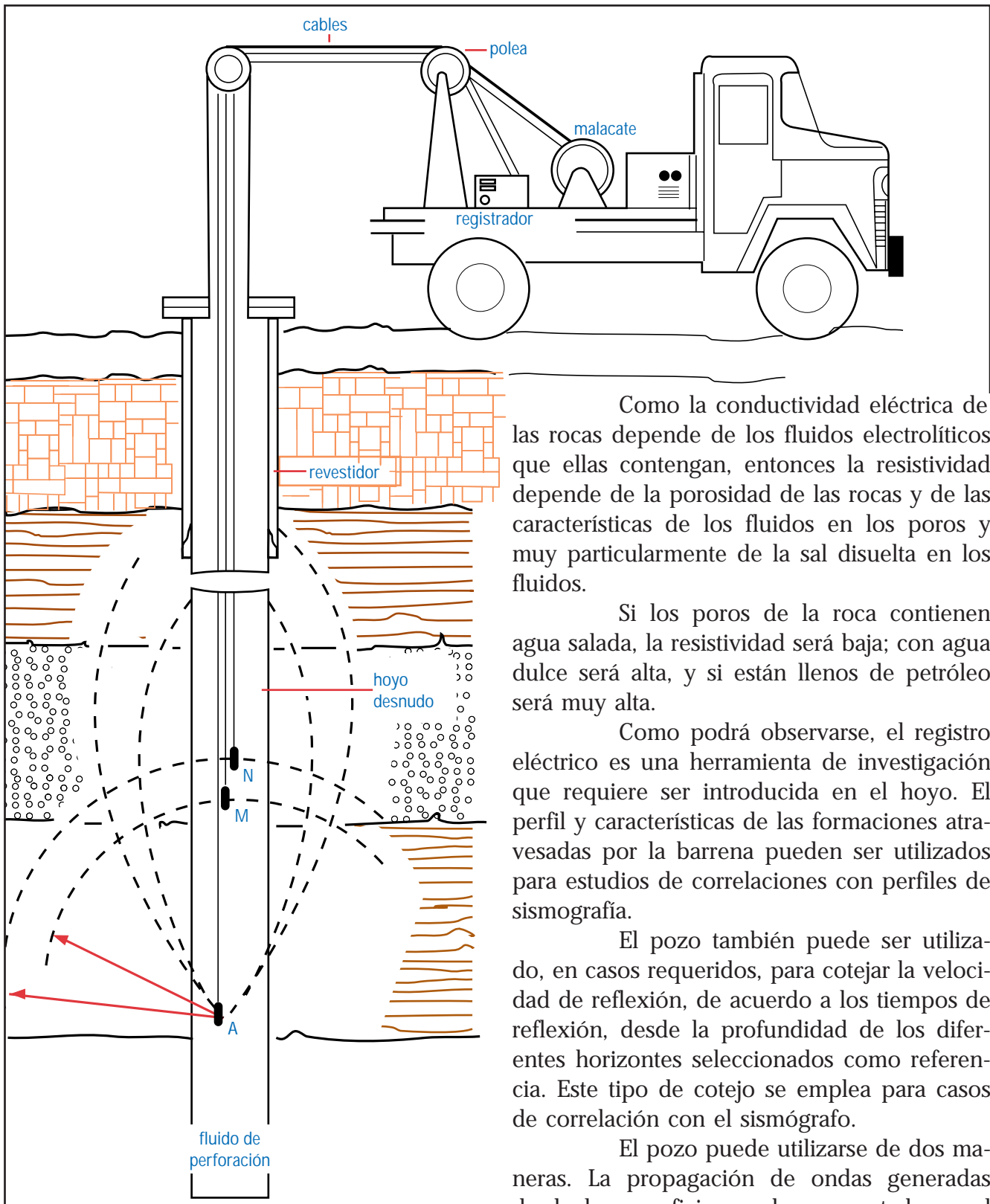


Fig. 2-16. Representación esquemática de los componentes del primer equipo de registro eléctrico de pozos, inventado por los hermanos Conrad y Marcel Schlumberger.

Como la conductividad eléctrica de las rocas depende de los fluidos electrolíticos que ellas contengan, entonces la resistividad depende de la porosidad de las rocas y de las características de los fluidos en los poros y muy particularmente de la sal disuelta en los fluidos.

Si los poros de la roca contienen agua salada, la resistividad será baja; con agua dulce será alta, y si están llenos de petróleo será muy alta.

Como podrá observarse, el registro eléctrico es una herramienta de investigación que requiere ser introducida en el hoyo. El perfil y características de las formaciones atravesadas por la barrena pueden ser utilizados para estudios de correlaciones con perfiles de sismografía.

El pozo también puede ser utilizado, en casos requeridos, para cotejar la velocidad de reflexión, de acuerdo a los tiempos de reflexión, desde la profundidad de los diferentes horizontes seleccionados como referencia. Este tipo de cotejo se emplea para casos de correlación con el sismógrafo.

El pozo puede utilizarse de dos maneras. La propagación de ondas generadas desde la superficie puede ser captada en el pozo o la propagación hecha desde el pozo puede ser captada en la superficie.

Distintos caminos para encontrar petróleo

Con el correr de los años se han experimentado cambios fundamentales en las tareas de exploración petrolera, los cuales han propiciado una mayor seguridad y comodidad para los técnicos que se dedican a estas labores, han ocasionado menos lesiones a la naturaleza y dieron lugar a una forma más rápida y eficiente para encontrar hidrocarburos.



Fig. 2-17. Los primeros exploradores se desplazaron a pie o sobre el lomo de bestias, manera todavía útil. Nada los detuvo ayer y menos hoy. En Venezuela, la curiara (A) ha sido parte esencial de las actividades de exploración, lo mismo que las mulas, el caballo y el burro. A principios del siglo XIX, el desarrollo de la industria automotriz contribuyó con el automóvil (B) a las tareas de exploración. Años más tarde, se fabricaron camiones modernos (C) y vehículos acuáticos especiales (D) para aumentar la capacidad de movilidad de prospección de los exploradores.

V. Métodos Petrofísicos Modernos

El desarrollo y los adelantos hasta ahora logrados, tanto teóricos como prácticos, en la toma de perfiles de los pozos han acrecentado enormemente el poder de investigación de los geólogos, geofísicos e ingenieros petroleros para interpretar las características de las rocas y los fluidos depositados en sus entrañas, desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo.

Esta parte de la Geofísica, por sus fundamentos científicos y tecnológicos, se ha convertido en una rama especializada que en la industria se le denomina Petrofísica. Tiene aplicación en muchos aspectos de los estudios y trabajos de campo de exploración, perforación y producción.

“Petrofísica es la ciencia que se dedica a la descripción y medida directa y/o analógica de las propiedades físicas de las rocas, incluyendo los efectos que puedan producir los fluidos contenidos en ellas o en sus alrededores” (H. León, 1982).

La variedad de instrumentos disponibles para hacer perfiles o registros de pozos permite que puedan hacerse en hoyos desnudos o en pozos entubados totalmente, gracias a que no sólo se dispone de los registros eléctricos sino también del tipo nuclear.

En resumen, la Petrofísica ofrece la posibilidad de estudios y verificación de una cantidad de datos fundamentales para las operaciones. Ejemplos:

- Control de profundidad del pozo.
- Verificación de velocidades de reflexión de los estratos.
- Determinación del tope y base (espesor) de un estrato.
- Medición del potencial espontáneo y resistividad de las rocas y fluidos.
- Deducción de valores de porosidad, saturación y permeabilidad de las rocas.
- Deducción de la presencia de fluidos en las rocas: gas, petróleo, agua.
- Perfil de la circularidad del hoyo (diámetro).
- Registros de temperatura.
- Registros de efectividad de la cementación de revestidores (temperatura).
- Registros de buzamiento.
- Registros de presiones.
- Toma de muestras de formación (roca).



Fig. 2-18. Fotografía al microscopio electrónico de un poro formado por granos de cuarzo recubiertos por una delgada capa de arcillas caolínicas y alojando en el poro una esfera (framboide) de pirita (disulfuro de hierro). Área de Cerro Negro, formación Oficina, Faja del Orinoco. La barra horizontal blanca del lado inferior derecho representa 0,010 mm y las pequeñas 0,001 mm. “Asesoría a la Gerencia”, Departamento de Geología de Lagoven S.A., por H. León, 14-10-1985.

- Toma de muestras de fondo (fluidos).
- Registros de densidad (roca).
- Detección de fallas.
- Detección de discordancias.
- Detección de fracturas.
- Correlaciones pozo a pozo, local y regional (litología).
- Control de dirección y profundidad desviada y vertical del pozo (perforación direccional u horizontal).

VI. Geoquímica

El análisis químico de muestras del suelo, con el propósito de detectar la presencia de hidrocarburos, ha sido empleado como herramienta de exploración.

La teoría se basa en que emanaciones de hidrocarburos no visibles en la superficie pueden manifestarse en concentraciones que, aunque muy pequeñas, son susceptibles al análisis químico micrométrico para detectar gas (metano, etano, propano o butano) y residuos de hidrocarburos más pesados.

Muestras de suelo, obtenidas muy cuidadosamente a profundidades de 1,50 a 5 metros, son examinadas y procesadas en el laboratorio por métodos especiales. Con la información obtenida se preparan tablas, curvas y mapas de las concentraciones y residuos detectados.

Los especímenes de aguas, gases, betunes y suelos para tales fines son sometidos a análisis cualitativos y cuantitativos por medio de la fluorescencia, luminiscencia, espectrografía, geobotánica, hidrogeoquímica, bioquímica o bacteriología, con el fin de indagar sobre la generación, migración, presencia, entrapamiento y acumulaciones petrolíferas en tierra o áreas submarinas.

Aunque la geoquímica no ha constituido un método preponderante de exploración, ha sido utilizado esporádicamente en la búsqueda de hidrocarburos y ha dado resultados en algunos casos.

VII. Exploración Aérea y Espacial

El avión se utiliza ventajosamente para cubrir grandes extensiones en poco tiempo y obtener, mediante la fotografía aérea, ma-

pas generales que facilitan la selección de áreas determinadas que luego podrían ser objeto de estudios más minuciosos.

La combinación del avión y la fotografía permite retratar y obtener una vista panorámica de la topografía, cuyos rasgos y detalles geológicos pueden apreciarse ventajosamente, ahorrando así tiempo para seleccionar lotes de mayor interés.



Fig. 2-19. La exploración aérea facilita la cobertura de grandes extensiones que luego permiten escoger áreas más pequeñas para estudios más detallados.

Naturalmente, la eficacia de la utilización de la aerofotogeología depende mucho de las buenas condiciones atmosféricas para realizar los vuelos. El avión también se utiliza para hacer estudios aéreogravimétricos y aéromagnetométricos, ahorrando así tiempo en la consecución de este tipo de estudios.

Sin embargo, los adelantos logrados hasta hoy por la ciencia y tecnología del espacio han facilitado con los satélites, cohetes y naves espaciales transbordadoras la toma de fotografías nítidas y a color desde altitudes antes inimaginables.

VIII. Exploración Costafuera

Afortunadamente para la industria, los métodos de prospección geofísica usados en tierra pueden utilizarse costafuera. Y entre los métodos disponibles, el más empleado ha sido el sismógrafo.

Naturalmente, trabajar en aguas llanas, semiprofundas o profundas, cerca o lejos de las costas o en mar abierto, conlleva enfrentarse a un medio ambiente distinto a tierra firme.

A través de los años, la ciencia y la tecnología para la exploración costafuera han evolucionado acordes con las exigencias. Los equipos para la adquisición de datos han sido objeto de rediseños e innovaciones para ser instalados permanentemente en gabarras, lanchones o barcos especialmente construidos al efecto.

Los dispositivos para la propagación y captación de ondas son producto de técnicas avanzadas, inocuas a la vida marina. No se emplean explosivos como antes, cuya detonación era perjudicial para los peces.

El procesamiento de datos y su interpretación se realiza por computadoras en el mismo barco y son transmitidos vía satélite a centros de mayor capacidad de resolución.

Sin embargo, la realización continua de operaciones costafuera siempre está sujeta a cambios del tiempo, pero gracias también a los adelantos obtenidos en las técnicas meteorológicas, la programación de la navegación puede hacerse hoy en base a los boletines de pronóstico del tiempo que emiten los centros y estaciones de observación ubicadas en tantas partes del mundo. Por otra parte, el radar, (ra-

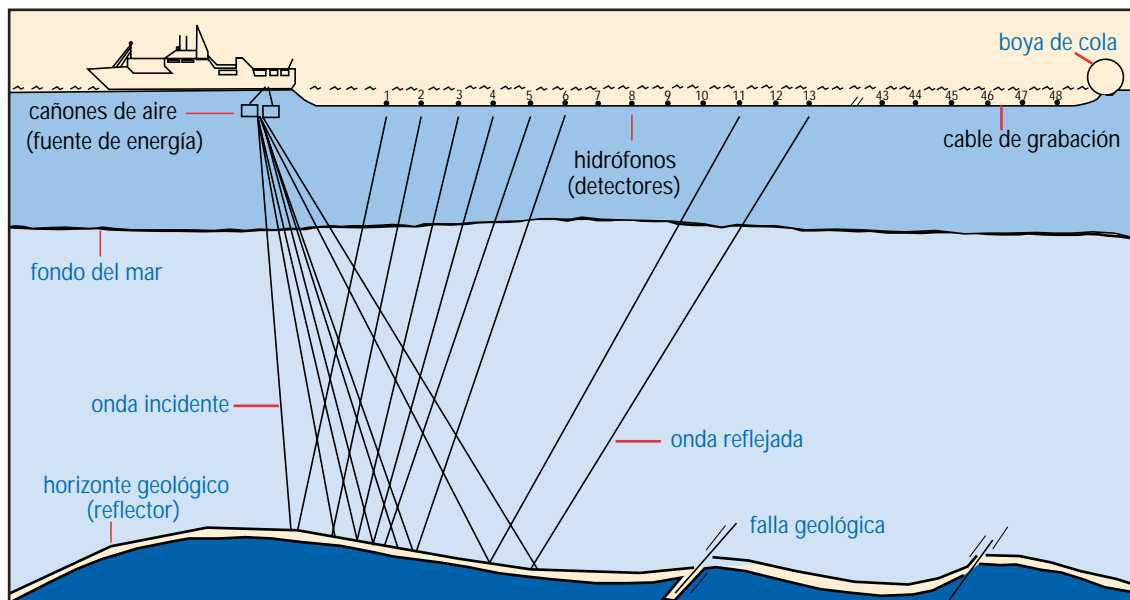


Fig. 2-20. Esquema de un levantamiento sísmico costafuera.

dio detecting and ranging/detección por rumbo y distancia por radio), permite que la navegación, aérea o marítima, sea más segura, ya que anticipadamente pueden verificarse las condiciones atmosféricas a distancia durante el viaje y tomar las precauciones debidas.

IX. Aplicación de Métodos de Exploración en Venezuela

La siguiente muestra de descubrimientos de campos petroleros en el territorio nacional se presenta para dar una idea sobre cuál o cuáles indicadores o métodos se emplearon para lograr el hallazgo.

No obstante los avances científicos y tecnológicos en las Ciencias de la Tierra y sus aplicaciones, la búsqueda de hidrocarburos involucra riesgos calculados. Esos riesgos ineludibles, de pequeña, mediana o mayor magnitud, representan inversiones de dinero de manera concomitante con la cuantía de reservas probadas en cartera, tipos y volúmenes de crudos requeridos y la posición futura de la empresa en el negocio.

La presencia del riesgo se debe al hecho de que ningún método de exploración



Fig. 2-21. En los años veinte, las operaciones petroleras representaban enfrentarse a la naturaleza sin los recursos y la tecnología disponibles hoy. Obsérvese el reventón del pozo Barroso-2, a profundidad de 457 metros, en La Rosa, estado Zulia, el 14-12-1922, el cual atrajo la atención mundial hacia Venezuela.



Fig. 2-22. Remembranzas de las operaciones de la Compañía Petrolía del Táchira, en La Alquitrana, cerca de Rubio, a 15 km al suroeste de San Cristóbal, primera empresa venezolana de petróleo fundada en 1878 por don Manuel Antonio Pulido, el general José Antonio Baldó y otros accionistas.



Fig. 2-23. El riesgo de un reventón estuvo siempre presente cuando se abrían pozos utilizando el método de perforación a percusión. Con las innovaciones de equipos, fluido de perforación y control del hoyo inherentes al método de perforación rotatoria, el riesgo ha sido casi eliminado.

garantiza plenamente la existencia de las acumulaciones petrolíferas comerciales deseadas. Hasta ahora, cada método, dentro de su técnica y expectativas de resolución, lo que ofrece es una opción para indicar que las condiciones y posibilidades que ofrece el subsuelo para el entrapamiento de hidrocarburos son halagadoras en mayor o menor grado. La confirmación definitiva de esas posibilidades la dará la barrena de perforación y la evaluación económica del descubrimiento se encargará de decir si es negocio desarrollar las acumulaciones de gas y/o petróleo encontradas.

Si la exploración fuera infalible no habría pozos secos y el hallazgo de acumula-

ciones petrolíferas sería fácil, pero la naturaleza es caprichosa, algunas veces, y tratándose de petróleo, muy caprichosa.

Prácticamente, todos los métodos de prospección petrolera han sido utilizados en el país, desde el más elemental (observación de menes) hasta los más modernos y sofisticados. En los últimos veinte años, los adelantos en diseño y construcción de sismógrafos, como también la adquisición, el procesamiento y la interpretación de datos obtenidos mediante este método, han hecho que ésta sea la herramienta más utilizada en la prospección de yacimientos petrolíferos en casi todo el mundo.

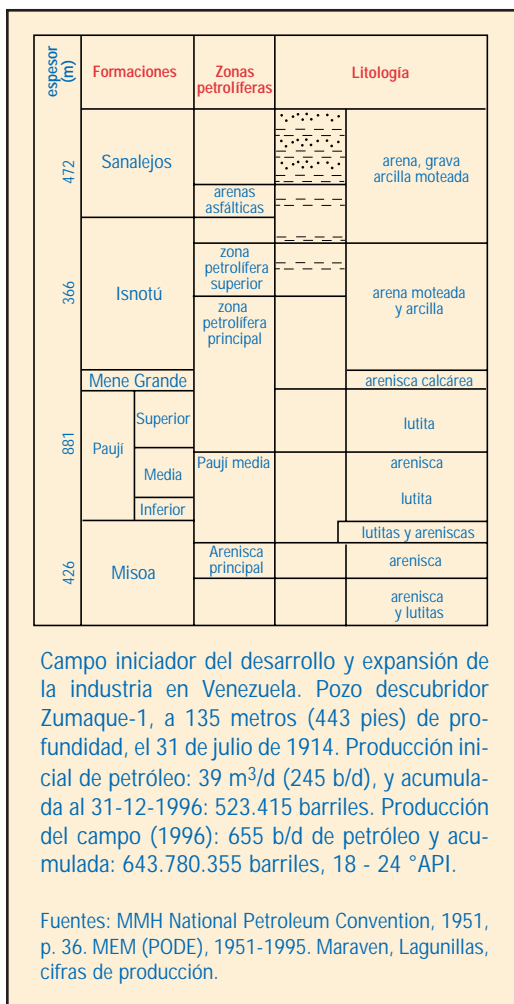


Fig. 2-25. Transporte de equipo en los años veinte y quizás podría ser igual hoy en sitios muy lejos de la civilización.

Fig. 2-24. Columna estratigráfica, campo Mene Grande, estado Zulia.

Tabla 2-2. Ejemplos de descubrimientos petrolíferos y métodos de exploración utilizados

Año	Campo, estado	Profundidad metros	Método
1878	La Petrolia, Táchira	38	Menes
1891-1912	Guanoco, Sucre	187-750	Menes - Geología de Superficie
1914	Mene Grande, Zulia	135	Menes
1916	Tarra, Zulia	267	Geología de Superficie
1917	La Rosa (Cabimas), Zulia	712	Menes de Gas
1918	Los Barrosos, Zulia	302	Menes
1923	La Paz, Zulia	229	Menes, Geologías de Superficie y Subsuelo
1925	La Concepción, Zulia	1.058	Geología de Superficie
	El Menito, Zulia	932	Menes
1926	Lagunillas, Zulia	1.064	Pozo de Avanzada
	Mene Grande, Zulia	552	Geología de Subsuelo
	Tía Juana, Zulia	756	Pozo de Avanzada
1927	Los Manueles, Zulia	1.055	Geología de Superficie
1928	Quiriquire, Monagas	549	Geología de Superficie
1929	Netick, Zulia	1.755	Geología de Subsuelo, Geofísica
1930	Bachaquero, Zulia	1.237	Pozo de Avanzada
1931	Cumarebo, Falcón	600	Geología de Superficie
1933	Orocual, Monagas	915	Geología de Subsuelo
	Pedernales, Delta Amacuro	479	Menes
1934	Areo, Anzoátegui	1.365	Sismógrafo
1937	Merey, Anzoátegui	1.646	Sismógrafo
	Oficina, Anzoátegui	1.799	Balanza de Torsión
	Pilón, Monagas	1.027	Sismógrafo
	Santa Ana, Anzoátegui	2.591	Geología de Superficie
	Uracoa, Monagas	1.310	Sismógrafo
	Yopales, Anzoátegui	1.402	Sismógrafo
1938	Jusepin, Monagas	1.300	Geofísica
	Leona, Anzoátegui	670	Sismógrafo
1939	Pueblo Viejo, Zulia	1.220	Gravímetro, Geología de Subsuelo
	Lago de Maracaibo, Zulia	1.504	Geología de Subsuelo
	El Roble, Anzoátegui	1.067	Geología de Superficie
	San Joaquín, Anzoátegui	1.997	Geología de Superficie
1940	Los Caritos, Monagas	1.720	Sismógrafo
	Socorro, Anzoátegui	2.181	Geología de Superficie, Sismógrafo
1941	Guara, Anzoátegui	1.524	Sismógrafo
	Las Mercedes, Guárico	1.372	Sismógrafo
	Mulata, Monagas	1.400	Geología de Subsuelo
	Santa Bárbara, Monagas	1.530	Geología de Subsuelo
	Santa Rosa, Anzoátegui	2.591	Sismógrafo
1942	Las Ollas, Guárico	2.250	Sismógrafo
	Quiamare, Anzoátegui	1.950	Geología de Superficie
1944	Güico, Anzoátegui	1.372	Perforación Estructural, Sismógrafo
	La Paz, Zulia	1.355	Geología de Subsuelo, Sismógrafo
	Jusepin, Monagas	1.559	Geología de Subsuelo, Sísmica
1945	Mara, Zulia	1.833	Geología, Sismógrafo
	Capacho, Monagas	1.350	Geología de Subsuelo
	Nípa, Anzoátegui	1.829	Sismógrafo, Perforación Estructural
	Pirital (Avípa), Anzoátegui	750	Geología de Subsuelo
	Tucupita, Delta Amacuro	1.710	Sismógrafo
1946	Boscán, Zulia	2.926	Sismógrafo
	Ensenada, Zulia	2.998	Sismógrafo
	Caico Seco, Anzoátegui	1.982	Aerofotogeología, Perforación Estructural, Sismógrafo
	Güico, Anzoátegui	2.881	Sismógrafo
	Mata Grande, Anzoátegui	1.400	Geología
	Palacio, Anzoátegui	1.036	Sismógrafo
	Tucupido-Tamán, Guárico	854-1.707	Gravímetro, Sismógrafo
	Quiriquire, Monagas	854	Geología de Subsuelo
1947	Macoa, Zulia	3.518	Geologías de Superficie y Subsuelo, Sísmico

Tabla 2-2 continuación

Año	Campo, estado	Profundidad metros	Método
1947	West Tarra, Zulia	2.796	Geología, Sismógrafo
	La Fría, Anzoátegui	(Cretáceo) 1.700	
	Pelayo, Anzoátegui	2.027	
1948	Sabán, Guárico	1.743	Sismógrafo, Perforación Estructural Gravímetro, Sismógrafo Geología de Superficie Sismógrafo, Perforación Estructural Sismógrafo, Perforación Estructural Sismógrafo Sismógrafo, Perforación Estructural
	Chimire, Anzoátegui	2.134	
	El Toco, Anzoátegui	2.423	
	Guavinita, Guárico	1.220	
	Inca, Anzoátegui	2.165	
	Silvestre, Barinas	2.701	
	Sibucara, Zulia	4.101	
1949	La Concepción, Zulia	(Cretáceo) 3.684	Geología de Superficie Sismógrafo, Geología de Subsuelo Sismico Geología de Superficie Geología de Superficie, Sismógrafo Geología de Superficie, Sismógrafo Sismógrafo, Perforación Estructural Sismógrafo, Perforación Estructural Sismógrafo, Perforación Estructural Sismógrafo, Perforación Estructural Gravímetro, Sismógrafo Sismógrafo Sismógrafo, Perforación Estructural
	San José, Zulia	3.498	
	Abundancia, Falcón	1.072	
	Aragua, Guárico	2.292	
	Cachicamo, Anzoátegui	1.524	
	Freites, Anzoátegui	3.354	
	Mapiri, Anzoátegui	2.896	
	Moriche, Anzoátegui	2.378	
	Piragua, Guárico	1.119	
	Pradera, Anzoátegui	1.960	
	Ruiz, Guárico	1.372	
	San Roque, Anzoátegui	2.591	
	Silván, Barinas	3.311	
Soto, Anzoátegui	2.896		
1950	Alturitas, Zulia	5.195	Sismico
1951	West Tarra, Zulia	1.466	Geología de Subsuelo, Petrofísica Geología de Subsuelo, Sismico
	Quiriquire, Monagas	2.409	
1952	Mara, Zulia	(Eoceno) 1.707	Geología de Subsuelo Sismico
	Motatán, Zulia	2.880	
1953	La Paz, Zulia	2.710	Geología de Subsuelo Ingeniería de Yacimientos
	Mara, Zulia	(Basamento) 3.255	
1954	Manresa, Monagas	(Basamento) 793	Sismico
1955	Urdaneta, Zulia	3.499	Sismico, Geología de Subsuelo
1957	Lama, Zulia	2.546	Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico
	Ceuta, Zulia	4.288	
	Centro, Zulia	3.896	
	Los Claros, Zulia	2.859	
	Barúa, Zulia	3.662	
1958	Orocual, Monagas	4.177	Geología de Subsuelo, Sismico Sismico Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico Geología de Subsuelo, Sismico
	San José, Zulia	4.950	
	Lamar, Zulia	(Cretáceo) 3.964	
	Rosario, Zulia	(Cretáceo) 4.341	
	Acema, Anzoátegui	(Cretáceo) 3.820	
	Acema, Monagas	3.820	
	La Ceibita, Anzoátegui	3.011	
1963	Páez, Barinas	2.854	Sismico Sismico
	Hato, Barinas	2.911	
1965	Hato, Barinas	2.911	Geología, Sismico

Tabla 2-2 continuación

Año	Campo, estado	Profundidad metros	Método
1966	Acema, Monagas	3.628 - 3.689	Sísmico, Geología
1967	Mingo, Barinas	2.850	Sísmico, Geología
	Caípe, Barinas	3.484	Sísmico, Geología
1971	Onado, Monagas	4.690	Sísmico, Geología
1972	Acema-Casma, Monagas	3.658	Sísmico, Geología
	Miranda, Falcón	2.396	Sísmico
1973	SLA-6-2X, Zulia	4.725	Sísmico
1974	Melones, Anzoátegui	1.410	Sísmico, Geología
1976	Cachicamo, Anzoátegui	1.526	Sísmico
1979	Patao, Sucre	2.124 - 2.268	Sísmico, Geología (Costafuera)
1980	San Julián, Zulia	5.640	Sísmico, Geología
	Mejillones, Sucre	2.234	Sísmico, Geología (Costafuera)
	Dragón, Sucre	3.760	Sísmico
	Bare, Anzoátegui	1.158	Geología
	Totumo, Zulia	3.628 - 4.268	Sísmico, Geología
1981	Machiques, Zulia	4.116	Sísmico, Geología
	Río Caribe, Sucre	2.331	Sísmico, Geología (Costafuera)
1982	Lorán, Delta Amacuro	827	Sísmico, Geología (Costafuera)
	Cocuina, Delta Amacuro	1.347	Sísmico, Geología
1984	Guafita, Apure	2.747	Sísmico, Geología
	La Victoria, Apure	3.328	Sísmico, Geología
1986	El Furrial, Monagas	4.056 - 5.015	Sísmico, Geología, Núcleos
1987	La Victoria, Barinas	3.323	Sísmico, Geología
1988	Carito Norte, Monagas	4.880	Sísmico, Geología
1990	Amarilis, Monagas	4.848	Sísmico, Geología
1993	Torunos, Barinas	3.533	Sísmico, Geología
1994	Borburata, Barinas	3.838	Sísmico, Geología
	Sipororo 1X*, Zulia	3.098	Sísmico
	Guasimito 1X*, Zulia	3.786	Sísmico
	Piedritas, Monagas	4.941	Sísmico
1995	RUS 1X**, Guárico	1.434	Sísmico
	ATN 1X**, Guárico	2.188	Sísmico
1996	Jusepín-476X***, Monagas	5.620	Sísmico
1997	Las Lomas 1X****, Zulia	3.658	Sísmico
	Guaraní 1X****, Zulia	3.019	Sísmico

* Pozo de exploración, descubridor de nuevos yacimientos; en espera de desarrollo.

** Pozo descubridor en profundidad, convenio operativo Guárico Este; en producción.

*** Pozo descubridor en profundidad, convenio operativo; en etapa de delineación y desarrollo.

**** Pozo descubridor, en espera de desarrollo.

Referencias Bibliográficas

1. A.I.M.E. (American Institute of Mining and Metallurgical Engineers): **Transactions**, Vol. 110, Geophysical Prospecting, 1934.
2. ARNOLD, R.; MACCREADY, G.A.; BARRINGTON, T.W.: **The First Big Oil Hunt, Venezuela, 1911-1916**, Vantage Press, New York, 1960.
3. ARNOLD, R.; KEMNITZER, William J.: **Petroleum in the United States and Possessions**, Harper and Brothers Publishers, New York, 1931.
4. BARBERII, Efraín E.: **Petróleo Aquí y Allá**, Monte Avila Editores, Caracas, 1976.
5. BLESA, Jorge; ALLAIS, Alfredo: **Expectativas de estudio sísmico en Maturín Este**, Publicación: "Lagoven Hoy", N° 5, julio 1992.
6. CHIQUITO, Freddy; MENDEZ, Orlando: **El Cretáceo de la Cuenca de Maracaibo**, XLV Reunión de Arpel, México, 17 al 20 de mayo de 1982.
7. ELWOOD O., Nestvold; NELSON, P.H.H.: "Explorers still hope to improve on 3-D Seismic's wealth of data", en: **Oil and Gas Journal**, March 16, 1992, p. 55.
8. GONZALEZ DE JUANA, Clemente et al.: **Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas**, Tomos I y II, Ediciones Foninves, Caracas, 1980.
9. H. ROICE, Nelson Jr.: **New Technologies in Exploration Geophysics**, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1983.
10. HAGER, Dorsey: **Practical Oil Geology**, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1940.
11. HEILAND, C.A.: **Geophysical Exploration**, Prentice-Hall Inc., New York, 1940.

12. JARCHOW, Craig M.; CATCHINGS, Rufus D.; LUTER, William J.: "How Washington crew got good, thrifty seismic in bad data area", en: **Oil and Gas Journal**, June 17, 1991, p. 54.
13. **Journal of Petroleum Technology**: "Seismic Technology: New Trends for New Demands", January 1996, pp. 22 - 30.
14. KARTSEV, A.A. et al.: **Geochemical Methods of Prospecting and Exploration for Petroleum and Natural Gas**, University of California Press, 1959.
15. LAHEE, Frederic H.: **Field Geology**, McGraw-Hil Book Company, Inc., New York, 1941.
16. NETTLETON, Lewis L.: **Geophysical Prospecting for Oil**, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1940.
17. **Oil and Gas Journal Special**:
 - A. "Annual Geophysical Report", Sept. 17, 1990, pp. 49 - 67; November 4, 1991, pp. 51-70.
 - B. "Surface Exploration Technology", June 6, 1994, pp. 47 - 76.
 - C. "Applied Geophysics", October 24, 1994, pp. 43 - 79.
18. PRATT, Wallace; GOOD, Dorothy: **World Geography of Petroleum**, Princeton University Press, 1950.
19. SCHLUMBERGER - SURENCO S.A.: **Evaluación de Formaciones en Venezuela**, Caracas, mayo 1980.
20. SMALES, A.A.; WAGER, L.R.: **Methods in Geochemistry**, Interscience Publishers Inc., New York, 1960.
21. UREN, Lester C.: **Petroleum Production Engineering and Oil Field Development**, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1956.
22. WHEELER, Robert R.; WHITE, Maurine: **Oil - From Prospect to Pipeline**, Gulf Publishing Company, Houston, 1958.