

Capítulo 1

---

# ¿Qué es el Petróleo?

**Indice** **Página**

**Introducción** 35

---

**I. Origen** 36

---

- Teorías inorgánicas 36
  - La teoría del carburo 36
  - La teoría a base de carbonato de calcio, sulfato de calcio y agua caliente 36
- Teorías orgánicas 36
  - La teoría vegetal 37
  - La teoría del carbón 37
- Información de campo 38
  - Las huellas del pasado 38
  - Generación del petróleo en la naturaleza 38

**II. Composición Química del Petróleo** 40

---

- Maravillosas combinaciones de carbono e hidrógeno 41
- Características físicas y químicas del petróleo 42
  - Color 42
  - Olor 42
  - Densidad 42
  - Sabor 44
  - Índice de refracción 44
  - Coefficiente de expansión 44
  - Punto de ebullición 44
  - Punto de congelación 44
  - Punto de deflagración 44
  - Punto de quema 44
  - Poder calorífico 44
  - Calor específico 44
  - Calor latente de vaporización 44
  - Viscosidad 44
    - Viscosidad relativa 45
    - Viscosidad cinemática 45
    - Viscosidad Universal Saybolt 45

<b>III. Rendimiento de los Crudos</b>	45
• Los crudos venezolanos, Tabla 1-2	49
<b>Referencias Bibliográficas</b>	50

## Introducción

La etimología de la palabra **petróleo**, **petro**=roca y **oleum**=aceite, gramaticalmente significa **aceite de roca**. Si este aceite se analiza para verificar su constitución química-orgánica, por contener el elemento carbono (C) en sus moléculas, se encontrará una extensa variedad de compuestos formados con el hidrógeno (H) denominados **hidrocarburos**. Los hidrocarburos son gaseosos, líquidos, semisólidos y sólidos, como aparecen en sitios de la superficie terrestre, o gaseosos y líquidos en las formaciones geológicas en el subsuelo.



Fig. 1-1A. La presencia de burbujas de gas y la iridescencia y fluidez del petróleo indican que el **mene** está activo. Desde las entrañas de la Tierra, por fisuras, grietas y fallas de las formaciones, los hidrocarburos llegan a la superficie.

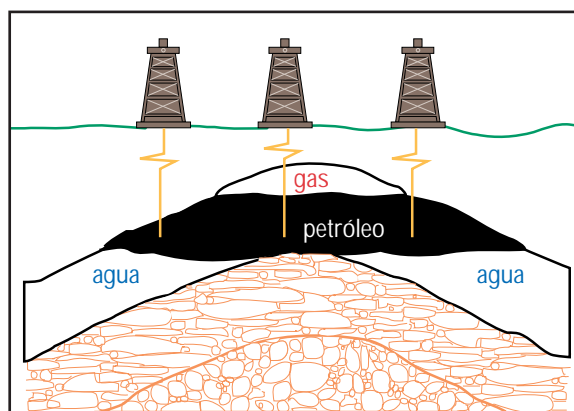


Fig. 1-1B. Mediante las actividades de **exploración** y **perforación** la industria petrolera estudia la corteza terrestre y el subsuelo para buscar, ubicar, cuantificar y producir yacimientos de gas y/o petróleo con fines comerciales.

Desde el principio, las emanaciones de hidrocarburos se designaron con nombres del idioma vernáculo donde aparecían. La Sagrada Biblia contiene referencias al petróleo en su forma más cruda y se le menciona como brea, asfalto o aceite de piedra. Ejemplos Génesis: VI-14, XI-3, XIV-10; Job: XXIX-6; Deuteronomio: XXXII-13:13; 2; Macabeo I (19-22). Muchas emanaciones fueron o son todavía extensas. En las riberas del mar Muerto eran tan abundantes que los romanos lo designaron **Lacus Asphaltitus**. Bien conocidos son los depósitos de asfalto ubicados en la isla de Trinidad y el lago venezolano de asfalto de Guanoco, en el estado Sucre. A las emanaciones petrolíferas las llamaron los egipcios **mumiya** (árabe), es decir, betún para embalsamar. Los persas le decían **mum**, lo que identificó a la palabra momia con el asfalto o betún.

Los indios precolombinos mexicanos las llamaban **chapapoter**, y de allí **chapapote** para nombrar el petróleo. Los colonos de los hoy Estados Unidos las denominaron **seepages**. Los incas **copey**. Aquí en Venezuela, **mene**, que dio origen posteriormente a nombres de campos petroleros como **Mene Grande**, en el estado Zulia, y **Mene Mauroa**, en el estado Falcón.

Puede decirse que, en mayor o menor escala, en muy variados sitios de la Tierra existen emanaciones o rezumaderos que atrajeron la atención de los exploradores en busca de posibles acumulaciones petrolíferas comerciales.

Los recientes adelantos científicos y tecnológicos empleados en exploraciones costafuera han permitido detectar emanaciones petrolíferas en el fondo de los mares. Tal es el caso de hallazgos hechos frente a las costas de California en el océano Pacífico y en las de Louisiana y Texas en el golfo de México.



Fig. 1-2. Es de presumirse que nuestros indios aprovecharon las emanaciones petrolíferas (**menes**) para utilizar el petróleo, la brea, betún o asfalto en diferentes actividades de su vida cotidiana. Probablemente, el gran almirante Cristóbal Colón se percató de la existencia de los rezumaderos de petróleo durante su recorrido, agosto de 1498, por las costas del golfo de Paria y el delta del Orinoco.

## I. Origen

Desde los comienzos de la explotación del petróleo (1859) como negocio internacional integrado, los geólogos, químicos e ingenieros han dedicado tiempo a estudiar e investigar los elementos y procesos responsables del origen, constitución, características, peculiaridades de desplazamiento, acumulación y entrapamiento de los hidrocarburos en las cuencas sedimentarias. Durante casi catorce décadas de estudios científicos, técnicos y de campo se ha acumulado una valiosa y extensa información sobre las teorías y diferentes aspectos del origen del petróleo. Los esfuerzos continúan en pos de esta interminable tarea que cada día anima más el espíritu del investigador.

### Teorías inorgánicas

Según estas teorías, el petróleo se forma por reacciones netamente químicas, es decir, sin la intervención de agentes vegetales

y/o animales. Entre estas teorías se mencionan como principales:

#### *La teoría del carburo*

Se fundamentó en experimentos de laboratorio mediante los cuales carburos de calcio, hierro y varios otros elementos en la presencia del agua producían hidrocarburos.

Se presumía que la existencia subterránea de grandes cantidades de calcio, hierro, aluminio y otros elementos producirían carburos a grandes profundidades al entrar en contacto con el agua caliente, y que a través de las grietas de la tierra los compuestos de hidrocarburos así formados llegaban a la superficie en forma de gas y/o líquido.

Esta teoría tuvo, o tiene, sus más acendrados defensores entre los químicos pero no es aceptada por la gran mayoría de los geólogos.

#### *La teoría a base de carbonato de calcio, sulfato de calcio y agua caliente*

Algunos investigadores propusieron esta teoría apoyados en la idea de que los dos compuestos  $\text{Ca CO}_3$  y  $\text{Ca SO}_4 \cdot 2 (\text{H}_2\text{O})$ , de gran abundancia y asociación en la naturaleza, eran capaces de producir los constituyentes del petróleo en la presencia de agua caliente. Por medio de esta teoría no se pudo explicar convincentemente el proceso químico propuesto.

### Teorías orgánicas

Las teorías orgánicas se basan en la participación de residuos vegetales o de animales en el proceso químico bacteriano o de descomposición.

Hay científicos que proponen que la formación del petróleo es de origen animal y otros que su origen es vegetal. Sin embargo, se ha concluido que puede ser uno u otro o quizás los dos combinados.

En síntesis, las teorías orgánicas contienen las siguientes argumentaciones:

#### *La teoría vegetal*

Bajo esta clasificación aparecen varias fuentes que se indican como contribuyentes a la formación del petróleo. La inmensa abundancia de algas y otras plantas marinas en la costas, mares y océanos representa suficiente material para formar petróleo si se procesan adecuadamente.

Además, partiendo de la formación del carbón, se ha concebido que las **plantas terrestres** son tan abundantes en las bahías cerradas, lagunas y pantanos, que tienen todos los ingredientes para transformarse en petróleo, bajo condiciones adecuadas de deposición y enterramiento de sus restos, a presión y temperatura durante el tiempo geológico necesario. Aunque la mayoría de los depósitos petrolíferos se encuentran en estratos marinos, también hay depósitos que se forman en sedimentos acumulados en aguas salobres.

También han sido consideradas las **plantas diatomeas** como fuente del origen y formación del petróleo. Estas son algas unicelulares que viven en el mar, en agua dulce o en tierra húmeda en cantidades asombrosas. Su abundante presencia en muchos estratos lutíticos bituminosos de las edades geológicas sugiere que estos organismos microscópicos tienen parte en el origen del petróleo.

#### *La teoría del carbón*

Por experimentos de laboratorio se ha determinado que por destilación de tipos de carbón lignítico y bituminoso se obtienen hidrocarburos equivalentes a los componentes del petróleo. De estos experimentos se ha formulado la idea de que resultados similares se obtienen en la naturaleza cuando grandes volúmenes de carbón son sometidos a presiones y temperaturas adecuadas.

Esta teoría tiene un buen grado de validez si se considera que en muchos campos petrolíferos del mundo existen estratos de car-



Fig. 1-3. De los estudios e investigaciones sobre el origen de los hidrocarburos se derivaron las teorías inorgánicas y orgánicas. La descomposición y la transformación de restos de vida animal y vegetal, depositados y enterrados durante los tiempos geológicos milenarios, bajo la acción de la sedimentación y compactación de los estratos, sometidos además a presión y temperatura en el subsuelo, a determinadas profundidades, son todos factores que contribuyeron a la generación del gas natural y/o petróleo (hidrocarburos).

bón. Sin embargo, nada tajante puede establecerse de estas observaciones.

### Información de campo

En la búsqueda de los ingredientes y condiciones que contribuyen al origen y formación del petróleo, son muy reveladores los estudios e información que, a través de los años, los estudiosos de la materia han obtenido de las muestras de ripio o núcleos de los estratos geológicos penetrados durante la perforación, de las lutitas o arenas petrolíferas a cielo abierto, o de los afloramientos de estratos en muchas partes del mundo.

En primer término, se ha concluido que la descomposición de la materia animal y/o vegetal, depositada y enterrada en los estratos geológicos, sufre alteraciones por la acción de bacterias, de la presión y de la temperatura.

El material grasoso y ceroso (kerógeno) que se deriva de la descomposición de plantas y animales puede ser fuente de la generación de acumulaciones petrolíferas en los estratos sedimentarios. Estratos de lutita, ricos en kerógeno, se encuentran en muchas partes del mundo. Este aspecto apunta que las lutitas ciertamente pueden ser fuente principal del origen de la formación del petróleo.

Generalmente, todas las rocas de las formaciones de los campos petroleros contienen fósiles. Estudios de microscopía de estas rocas señalan una gran abundancia de plancton, es decir, animales y plantas que flotan o nadan en el mar.

### Las huellas del pasado

Entre las ramas del saber con que cuentan los petroleros dedicados a las Ciencias de la Tierra, la Paleontología cubre el estudio de los restos fósiles de animales y plantas y enseña acerca de la vida pasada durante los períodos geológicos y, por ende, sobre la

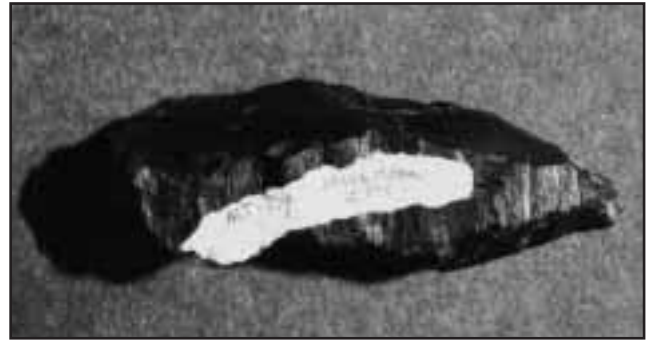


Fig. 1-4. La presencia de mantos de carbón en la columna geológica sirve de referencia para las correlaciones entre pozos, entre áreas y posiblemente mayores extensiones. La muestra fue extraída de la formación Marcelina (Eoceno-Paleoceno), a la profundidad de 3.262 metros, distrito Perijá, estado Zulia, pozo Alturitas-10.

evolución cronológica de la historia geológica de la Tierra. Por tanto, es una materia esencial para descifrar la evolución de la vida animal/vegetal en las cuencas sedimentarias e interpretar las circunstancias y episodios geológicos conducentes a la presencia o falta de acumulaciones petrolíferas.

### Generación del petróleo en la naturaleza

El famoso geólogo e investigador estadounidense Parker Davies Trask ofrece un interesante ejercicio numérico acerca de la generación del petróleo en las formaciones geológicas, tomando como base datos de laboratorio acerca del contenido del material orgánico en lutitas (para este ejemplo se usan unidades métricas). Si una lutita contiene 2 % de materia orgánica y 5 % de esa materia, se transforma en petróleo; entonces el porcentaje convertido es igual a:  $0,02 \times 0,05 = 0,001$  o una milésima parte (1/1.000).

Si se considera un bloque de sedimentos de una hectárea de extensión y un metro de espesor, el volumen es de  $10.000 \text{ m}^3$  de sedimentos.

Si la densidad de estos sedimentos es de 2,1 entonces el peso del bloque será:

$$10.000 \times 2,1 \times 1.000 = 21.000.000 \text{ kilos}$$

Pero como el peso del bloque está representado por 1/1.000 partes de petróleo, entonces el bloque tiene 21.000 kilos de petróleo.

Si ese petróleo (por ejemplo, tipo Boscán) pesa 0,86 kilos por litro, equivalente a un petróleo de 11,4 °API, entonces el bloque contiene:

$$\frac{21.000}{0,86} = 24.418,6 \text{ litros (24,4186 m}^3\text{)}$$

Extendiendo este ejemplo a mayores dimensiones, como si fuese una concesión



Fig. 1-5. Los cortes en las carreteras (A) son buenos sitios para observar la inclinación y el rumbo de los estratos que forma la corteza terrestre, como también afloramientos y discontinuidad de las formaciones (B).



por la que existe interés comercial, y sea el caso de un área de 10.000 hectáreas y 100 metros de espesor, entonces el volumen de petróleo contenido **in situ** es muy apreciable.

$$10.000 \times 100 \times 24,4186 = 24.418.600 \text{ m}^3 \text{ (153.585.000 barriles)}$$

Es muy importante la expresión **in situ** (en sitio) porque no todo el volumen de hidrocarburos contenido en la formación o yacimiento puede ser producido. El volumen extraíble dependerá de otros factores, tales como: la porosidad, que expresa porcentualmente el volumen del espacio disponible para almacenar hidrocarburos; el porcentaje de saturación de petróleo (también de gas y agua) existente en el yacimiento; la presión original



Fig. 1-6. La presencia o impresiones de fósiles en las muestras de las rocas sirven para tener idea del ambiente geológico correspondiente y de la edad de las formaciones. (A) representa una **ammonoidea** muy abundante en el Paleozoico Superior, menos abundante en el Jurásico y se extinguió al final del Cretáceo. (B) los peces aparecieron en el periodo Devoniano que duró 350 millones de años durante la era del Paleozoico.





en el yacimiento y la presión de burbujeo del gas disuelto en el petróleo; los contactos gas natural-petróleo-agua en el yacimiento; la permeabilidad de la roca, con respecto al gas, petróleo y agua; las relaciones de producción gas/petróleo, petróleo/agua; las características y propiedades del gas natural y del petróleo producibles; la evolución del tipo de empuje natural de extracción o mecanismo inducido que impele a los hidrocarburos en el yacimiento a fluir hacia el pozo y hacia la superficie (empuje por gas natural, por gas disuelto, por agua, o por gravedad o por combinación de éstos) o por bombeo mecánico o inyección de fluidos; proyección del comportamiento del yacimiento durante las etapas primaria, secundaria y terciaria de producción respecto a las perspectivas económicas (ingresos netos) y comercialización de las reservas probadas de hidrocarburos en el yacimiento.

## II. Composición Química del Petróleo

Genéricamente hablando, la palabra **petróleo** se emplea para designar cada uno de los compuestos químicos **líquidos** resultantes de la combinación del carbono (C) con el hidrógeno (H), Tabla 1-1.

En la industria petrolera, la palabra **hidrocarburos** abarca estos compuestos en sus cuatro estados: gaseoso, líquido, semisólido y sólido.

En la naturaleza hay acumulaciones que son puro gas. El gas puede ser seco o húmedo, según la impregnación de hidrocarburos líquidos que contenga. En estado líquido se presentan los petróleos livianos, medianos y pesados. Sin embargo, algunos petróleos pesados y extrapesados son líquidos o semilíquidos en el yacimiento, debido a la temperatura. Estos petróleos tienden a ser semisólidos, o sea de muy poca fluidez o alta viscosidad en la superficie.

En las emanaciones o **menes**, debido al enfriamiento, al contacto con el aire, a la acción del sol y de las aguas, los hidrocarburos más livianos se evaporan paulatinamente y el petróleo se torna semisólido o sólido, según la severidad de la acción de los elementos del ambiente.

Estas combinaciones de carbono e hidrógeno en su forma natural (petróleo, petróleo crudo, o crudos) son sometidas a procesos de transformación (refinación) que rinden centenares de derivados (productos).

Una extensa gama de estos productos tiene un alto contenido de hidrógeno y son líquidos a temperaturas ambientales y también son susceptibles a la vaporización. Ciertos productos, mezclados con aire, forman carburantes (ejemplo: las gasolinas para el parque automotor) cuyo poder calorífico promedio es de 10.555 kilocalorías/kilo (19.000 BTU/libra).

El alto poder calorífico de los carburantes se debe al hidrógeno, cuyo poder es de 28.886 kilocalorías/kilo (52.000 BTU/libra), por una parte, y por la otra al carbono cuyo poder calorífico de combustión es de 8.055 kilocalorías/kilo (14.000 BTU/libra).

Es muy interesante, física-química-mente hablando, cómo estos dos elementos, uno gas y el otro sólido, se combinan en la naturaleza para formar tan extensa variedad de

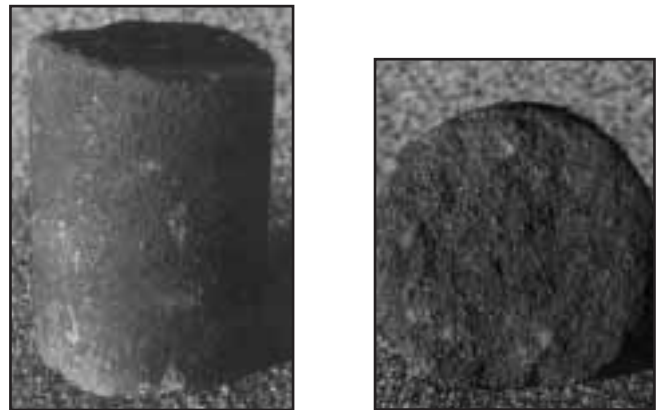


Fig. 1-7. Los núcleos extraídos de las formaciones revelan características de la composición de las rocas y del petróleo dentro de sus poros.

hidrocarburos. Además, aparte de los elementos radiactivos, estos dos tienen más poder calorífico individual de combustión directa que el resto de los elementos.

Si se quisiera utilizar el hidrógeno solo como carburante para aprovechar su alto poder calorífico de combustión (por ejemplo, en un automóvil), la intención se frustraría por lo siguiente: el tanque o la bolsa requerida para depositar el hidrógeno equivalente a un litro de gasolina sería casi la tercera parte del tamaño del carro. El hidrógeno puede ser comprimido pero se necesita un cilindro (tanque) muy fuerte, cuya construcción requeriría, aproximadamente, 275 kilos de acero por cada kilo de hidrógeno.

Si se quisiera utilizar el carbono solo como combustible en una máquina de combustión interna, también habría obstáculos: es sólido y no puede ser vaporizado apreciablemente sino a temperaturas por encima de 3.482 °C (6.300 °F).

Notará el lector el uso del Sistema Métrico y el Sistema Angloamericano. Esto se debe a que, por razones obvias, internacionalmente la industria petrolera maneja ambos sistemas, según las exigencias. Además, la fuente preponderante de publicaciones petroleras la constituye los Estados Unidos de América.

### Maravillosas combinaciones de carbono e hidrógeno

Antes de que se hicieran los primeros intentos (1859) por establecer formalmente la industria petrolera, promotores estadounidenses solicitaron al profesor Benjamin Silliman hijo, del Colegio Yale, que hiciese (1855) el primer análisis de destilación de petróleo crudo para apreciar las posibilidades comerciales y perspectivas de utilización de los derivados.

Los resultados, observaciones y recomendaciones del profesor Silliman fueron tan

halagadores que sus clientes desplegaron los mejores esfuerzos para convertirse en los iniciadores de lo que es hoy la industria petrolera.

Aquí en Venezuela, como dato interesante, la Secretaría de Estado del Despacho de Hacienda y Relaciones Exteriores envió al doctor José María Vargas, el 17 de septiembre de 1839, una muestra de asfalto de Pedernales, Cantón del Bajo Orinoco, para que la examinase. El 3 de octubre de 1839, el doctor Vargas contestó a dicha solicitud explicando las apariencias y características físicas de la muestra y los usos de la materia en la conservación de maderas, preparación de barnices, como cemento impermeable en la construcción y otras aplicaciones. El doctor Vargas se manifestó muy halagado por lo que el asfalto como riqueza podría representar para el país y urgió al gobierno a cerciorarse de las modalidades de su aparición, estado, extensión y otros detalles. Consideró que se trataba de una riqueza que con creces sobrepasaba muchas otras del país.

De esa fecha acá, en universidades, en laboratorios privados y en la industria se ha proseguido con la investigación y el análisis científico y tecnológico aplicado de las miles de combinaciones maravillosas que se producen por estos dos elementos en la constitución de los hidrocarburos. Muchos investigadores y autores estiman que más de 3.000 compuestos del carbono y el hidrógeno pueden existir en el petróleo. Por tanto, la química petrolera todavía representa un extenso campo de estudio e investigación.

La Tabla 1-1 muestra los hidrocarburos individuales de mayor ocurrencia en los diferentes tipos de petróleos, cubiertos por esas seis series. Sin embargo, en las otras doce series no esquematizadas ( $C_nH_{2n-8}$ ;  $C_nH_{2n-10}$ ;  $C_nH_{2n-12}$  hasta  $C_nH_{2n-32}$ ) algunos hidrocarburos individuales aparecen rarísimas veces y eso en muy pequeñas cantidades.

## Características físicas y químicas del petróleo

Todos los petróleos: livianos, medianos, pesados y extrapesados, generalmente llamados crudos en la jerga diaria petrolera, tienen características y propiedades físicas y químicas que a la vista sirven para distinguir y apreciar unos de otros. Otras características tienen que ser determinadas por análisis de laboratorio.

### Color

Generalmente se piensa que todos los crudos son de color negro, lo cual ha dado origen a cierta sinonimia y calificativos: “oro negro”, “más negro que petróleo crudo”. Sin embargo, por transmisión de la luz, los crudos pueden tener color amarillo pálido, tonos de rojo y marrón hasta llegar a negro. Por reflexión de la luz pueden aparecer verdes, amarillos con tonos de azul, rojo, marrón o negro. Los crudos pesados y extrapesados son negros casi en su totalidad. Crudos con altísimo contenido de cera son livianos y de color amarillo; por la noche al bajar bastante la temperatura tienden a solidificarse notablemente y durante el día, cuando arreceja el sol, muestran cierto hervor en el tanque. El crudo más liviano o



El doctor José María Vargas, médico, nació en La Guaira el 10 de marzo de 1786. Científico, catedrático, escritor. Rector de la Universidad Central de Venezuela, 1827-1830. Presidente de la República, 1835-1836, pero renunció irrevocablemente. Luego se dedicó exclusivamente a la educación. Viajó a Estados Unidos en 1853, y murió en Nueva York el 13 de junio de 1854. Sus restos fueron traídos al Panteón Nacional en 1877.

**condensado** llega a tener un color blanquecino, lechoso y a veces se usa en el campo como gasolina cruda.

### Olor

El olor de los crudos es aromático como el de la gasolina, del querosén u otros derivados. Si el crudo contiene azufre tiene un olor fuerte y hasta repugnante, como huevo podrido. Si contiene sulfuro de hidrógeno, los vapores son irritantes, tóxicos y hasta mortíferos.

Para atestiguar la buena o rancia calidad de los crudos es común en la industria designarlos como **dulces** o **agrios**. Esta clasificación tiene un significado determinante entre petroleros vendedores y compradores de crudos porque inmediatamente enfoca ciertas características fundamentales del tipo de petróleo objeto de posible negociación.

### Densidad

Los crudos pueden pesar menos que el agua (livianos y medianos) o tanto o más que el agua (pesados y extrapesados). De allí que la densidad pueda tener un valor de 0,75 a 1,1. Estos dos rangos equivalen a 57,2 y -3 °API.

La densidad, la gravedad específica o los grados API (API es la abreviatura de **American Petroleum Institute**) denotan la relación correspondiente de peso específico y de fluidez de los crudos con respecto al agua. La industria petrolera internacional adoptó hace ya más de setenta años la fórmula elaborada por el API el 4 de mayo de 1922, la cual consiste en la modificación de las dos fórmulas que llevan el nombre del químico francés

Antoine Baumé (†1804), usadas para comparar la densidad de líquidos más livianos o más pesados que el agua. Las dos fórmulas Baumé son:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{140}{130 + n}$$

$$\text{Gravedad específica} = \frac{145}{145 - n}$$

En las que *n* representa la lectura en grados indicada por el hidrómetro Baumé inmerso en el líquido, cuya temperatura debe ser 15,5 °C. Por ejemplo, si se sustituye *n*=10 en la primera ecuación se obtendrá que la gravedad específica =1 corresponde a la del agua; en la segunda ecuación se obtiene gravedad específica = 1,07 mayor que la del agua.

La ecuación general del API es como sigue:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{141,5}{[a \text{ } 60^{\circ}\text{F}, (15,5^{\circ}\text{C})] \quad 131,5 + ^{\circ}\text{API}}$$

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141,5}{\text{Gravedad específica}} - 131,5$$

El hidrómetro API se basa en la densidad o gravedad específica de los crudos con respecto al agua. Un crudo de 10 °API tiene la misma gravedad específica que el agua.

La clasificación de crudos por rango de gravedad °API utilizada en la industria venezolana de los hidrocarburos, a 15,5 ° (60 °F) es como sigue:

Extrapesados, menos de	16 °
Pesados, menos de	21,9 °
Medianos	22,0 - 29,9 °
Livianos	30 ° - y más

Los líquidos condensados son producto de condensación de un vapor o del gas natural. En el yacimiento la sustancia puede existir en estado gaseoso y su gravedad puede ser bastante alta. Al respecto, la definición conjunta de los ministerios de Hacienda y de Energía y Minas, sobre **petróleos crudos condensados naturales**, indica lo siguiente: “Se consideran petróleos crudos condensados naturales aquellos hidrocarburos líquidos bajo condiciones atmosféricas, que se caracterizan por estar en estado gaseoso bajo las condiciones originales del yacimiento y no ser obtenidos por procesos de absorción, adsorción, compresión, refrigeración o combinación de tales procesos y que tienen una gravedad mayor de 40,9 °API a 15,56 °C (60 °F)”. (Fuente: Gaceta Oficial de la República de Venezuela, Año XCIX - Mes III. Caracas: martes 28 de diciembre de 1971, Número 29.695, p. 222.117).

En las negociaciones de compra-venta, intercambio, reconstitución y mezcla de crudos, el precio del metro cúbico o del barril de crudo está atado a la escala de gravedad °API correspondiente. La décima de gravedad (°API) se paga aplicando la fracción de precio que corresponda, según la calidad del crudo.



Fig. 1-8. En el laboratorio, profesionales en diferentes especialidades científicas y tecnológicas se dedican a la evaluación cualitativa y cuantitativa de las diferentes características de los crudos para determinar su rendimiento de productos mediante procesos de comercialización en las diferentes plantas de procesos químicos, petroquímicos, refinación y manufactura.

### *Sabor*

El sabor de un crudo es una propiedad que se torna importante cuando el contenido de sal es bastante alto. Esta circunstancia requiere que el crudo sea tratado adecuadamente en las instalaciones de producción del campo para ajustarle la sal al mínimo (gramos por metro cúbico) aceptable por compradores y las refinerías.

### *Índice de refracción*

Medido con un refractómetro, los hidrocarburos acusan valores de 1,39 a 1,49. Se define como la relación de la velocidad de la luz al pasar de uno a otro cuerpo.

### *Coefficiente de expansión*

Varía ente 0,00036 y 0,00096. (Temperatura, °C por volumen).

### *Punto de ebullición*

No es constante. Debido a sus constituyentes varía algo menos que la temperatura atmosférica hasta la temperatura igual o por encima de 300 °C.

### *Punto de congelación*

Varía desde 15,5 °C hasta la temperatura de -45 °C. Depende de las propiedades y características de cada crudo o derivado. Este factor es de importancia al considerar el transporte de los hidrocarburos y las estaciones, principalmente el invierno y las tierras gélidas.

### *Punto de deflagración*

Varía desde -12 °C hasta 110 °C. Reacción vigorosa que produce calor acompañado de llamas y/o chispas.

### *Punto de quema*

Varía desde 2 °C hasta 155 °C.

### *Poder calorífico*

Puede ser entre 8.500 a 11.350 calorías/gramo. En BTU/libra puede ser de 15.350 a 22.000. (BTU es la Unidad Térmica Británica).

### *Calor específico*

Varía entre 0,40 y 0,52. El promedio de la mayoría de los crudos es de 0,45. Es la relación de la cantidad de calor requerida para elevar su temperatura un grado respecto a la requerida para elevar un grado la temperatura de igual volumen o masa de agua.

### *Calor latente de vaporización*

Para la mayoría de los hidrocarburos parafínicos y metilenos acusa entre 70 a 90 kilocalorías/kilogramo o 130 a 160 BTU/libra.

### *Viscosidad*

La viscosidad es una de las características más importantes de los hidrocarburos en los aspectos operacionales de producción, transporte, refinación y petroquímica. La viscosidad, que indica la resistencia que opone el crudo al flujo interno, se obtiene por varios métodos y se le designa por varios valores de medición. El **poise** o **centipoise** (0,01 **poise**) se define como la fuerza requerida en dinas para mover un plano de un centímetro cuadrado de área, sobre otro de igual área y separado un centímetro de distancia entre sí y con el espacio relleno del líquido investigado, para obtener un desplazamiento de un centímetro en un segundo.

La viscosidad de los crudos en el yacimiento puede tener 0,2 hasta más de 1.000 centipoise. Es muy importante el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de los crudos, en el yacimiento o en la superficie, especialmente concerniente a crudos pesados y extra-pesados.

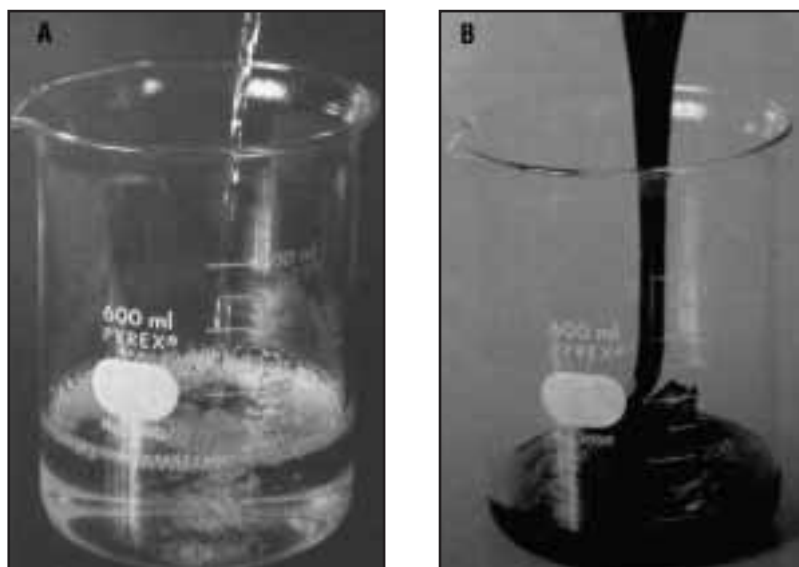


Fig. 1-9. (A) petróleo muy liviano que muestra la facilidad con que fluye y la calidad de su transparencia. (B) petróleo muy pesado cuya fluidez es casi imperceptible y de transparencia nula.

**Viscosidad relativa** es la relación de la viscosidad del fluido respecto a la del agua. A 20 °C la viscosidad del agua pura es 1,002 centipoise.

**Viscosidad cinemática** es equivalente a la viscosidad expresada en centipoises dividida por la gravedad específica, a la misma temperatura. Se designa en Stokes o Centistokes.

**Viscosidad Universal Saybolt** representa el tiempo en segundos para que un flujo de 60 centímetros cúbicos salga de un recipiente tubular por medio de un orificio, debidamente calibrado y dispuesto en el fondo del recipiente, el cual se ha mantenido a temperatura constante.

### III. Rendimiento de los Crudos

El valor definitivo de los crudos está representado por el rendimiento y clase de productos que se obtengan a través de los procesos de refinación y/o petroquímica (Fig. 1-10). Todo crudo es útil. Cada crudo puede ser procesado, para obtener determinados derivados, pero habrá un derivado preponderante que constituirá la esencia de su calidad como materia prima y su precio, según el mercado.

Los crudos venezolanos dan una extensa serie de derivados: gasolinas, naftas, querosén, combustibles pesados, combustibles diesel y gasóleo, lubricantes, asfaltos, turbo fuel, parafinas, gas de refinación, coque, azufre y ciertos metales, como níquel y vanadio que se encuentran en los crudos pesados y extrapesados.

La Tabla 1-2 presenta ejemplos de análisis de crudos venezolanos que muestran sus características y contenido. Estos ejemplos tienen el propósito de llamar la atención sobre ciertos factores y sus correlaciones con otros. Por ejemplo: la gravedad °API vs. % de azufre, vs. viscosidad. ¿Qué puede obtenerse de la comparación de otros factores entre sí?

Sobre análisis de crudos es importante tomar en cuenta la fecha cuando se hizo, debido a que si es de fecha muy remota quizá no representa la realidad actual de las características del crudo. Con el tiempo, a medida que los yacimientos se agotan, ciertas características pueden cambiar debido a la extracción del petróleo y/o la aplicación de métodos secundarios o terciarios de explotación económica. Por tanto, lo que se acostumbra es tener un análisis reciente. En las refinaciones, los crudos son analizados periódicamente en el laboratorio para mantener un registro de sus caracte-

terísticas y rendimiento y también para cotejar el funcionamiento y eficiencia de los procesos/plantas a escala comercial.

El factor de caracterización, según Watson, Nelson y Murphy (Tabla 1-2) se define así:

$$K = \frac{\sqrt[3]{T_B}}{S}$$

en la que:

$T_B$  representa el promedio del punto de ebullición ( $^{\circ}\text{F}$  absolutos) molal y  $S$  la gravedad específica a  $60^{\circ}\text{F}$ . Esta fórmula tiene la particularidad de aplicación múltiple ya que todos los factores que contiene (numerador y

denominador), punto de ebullición y gravedad específica, son aplicables a todos los crudos y sus propios derivados. Por tanto, en los laboratorios y en las refinerías se utiliza para hacer evaluaciones, comparaciones y correlaciones.

La Figura 1-10 es una presentación muy sencilla y esquemática de los procesos que, bajo presión y temperatura mediante diferentes etapas, producen determinados tipos de derivados que sirven para usos domésticos y/o industriales. En próximos capítulos se cubren ampliamente aspectos técnicos y operacionales básicos sobre la producción y transformación de los hidrocarburos en sustancias comerciales útiles.

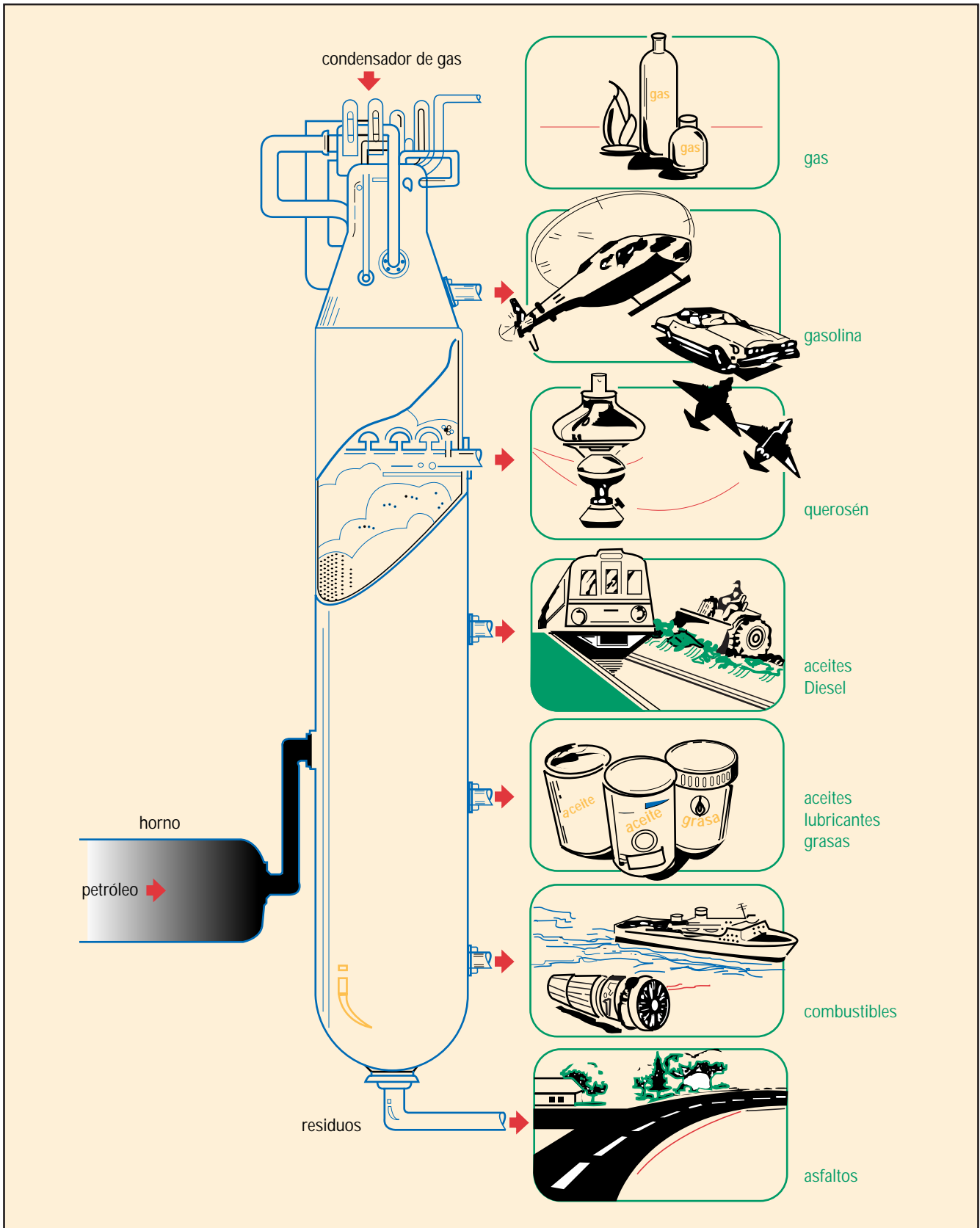


Fig. 1-10. Torre de destilación.



Tabla 1-1. Composición química de los hidrocarburos

Nombre y fórmula del grupo de series	Nombre	Fórmula	Estado	Notas
<b>Parafinas</b> $C_nH_{2n+2}$	METANO	$CH_4$	Gas	Estos hidrocarburos pueden subdividirse aún más en cierto número de la serie isómera: parafinas primarias, secundarias y terciarias, que aunque tienen igual porcentaje de composición, difieren en propiedades físicas debido a las diferencias de arreglos atómicos internos en sus moléculas. Esta serie está presente prácticamente en todos los petróleos pero es preponderante en los de "base parafínica". Los componentes más livianos de la serie -gases y líquidos- están generalmente asociados con petróleos de base asfáltica. Los gases arrastran vapores de la forma líquida todo el tiempo. El gas natural está compuesto exclusivamente de los hidrocarburos más livianos (gases) de esta serie. Los hidrocarburos de esta serie contienen el más alto porcentaje de hidrógeno y son los más estables.
	ETANO	$C_2H_6$	Gas	
	PROPANO	$C_3H_8$	Gas	
	BUTANO	$C_4H_{10}$	Gas	
	PENTANO	$C_5H_{12}$	Líquido	
	HEXANO	$C_6H_{14}$	Líquido	
	HEPTANO	$C_7H_{16}$	Líquido	
	OCTANO	$C_8H_{18}$	Líquido	
	a			
	HEXADECANO	$C_{16}H_{34}$	Líquido	
	HEXAOCCTANO	$C_{18}H_{38}$	Sólido	
	EICOSANO	$C_{20}H_{42}$	Sólido	
	a			
PENTATRICONTANO	$C_{35}H_{72}$	Sólido		
<b>Olefinas</b> $C_nH_{2n}$ ; <b>Polimetilenos</b> $(C_nH_{2n})_x$ (Originalmente llamados naftenos)	ETILENO	$C_2H_4$	Gas	Estos hidrocarburos son relativamente de poca saturación y constituyen la llamada cadena de "anillos abiertos". Incluyen varias series independientes, diferentes en características físicas y químicas, aunque son idénticas en su porcentaje de composición. Una de ellas, la serie de las olefinas, es relativamente inestable.
	PROPILENO	$C_3H_6$	Gas	
	BUTILENO	$C_4H_8$	Gas	
	AMILENO	$C_5H_{10}$	Líquido	
	HEXILENO	$C_6H_{12}$	Líquido	
	EICOSILENO	$C_{20}H_{40}$	Líquido	
	CEROLENO	$C_{27}H_{54}$	Sólido	
	MOLENO	$C_{30}H_{60}$	Sólido	
<b>Acetilenos</b> $C_nH_{2n-2}$		$C_{12}H_{22}$		Los de rango inferior de esta serie no se han encontrado en el petróleo. Pero los de rango superior son característicos de muchos crudos.
		$C_{14}H_{26}$		
		$C_{16}H_{30}$		
		$C_{19}H_{36}$		
		$C_{21}H_{40}$		
		$C_{22}H_{42}$		
<b>Tarpenos</b> $C_nH_{2n-4}$		$C_{23}H_{42}$		Los compuestos superiores de esta serie se encuentran generalmente en pequeñas cantidades en todos los crudos de alta densidad.
		$C_{24}H_{44}$		
		$C_{25}H_{46}$		
<b>Bencenos</b> $C_nH_{2n-6}$ (Hidrocarburos aromáticos)	BENCENO	$C_6H_6$		Se encuentran en pequeñas cantidades en todos los petróleos.
	TOLUENO	$C_7H_8$		
	XILENO	$C_8H_{10}$		
	CUMENO	$C_9H_{12}$		
	CIMENO, etc.	$C_{10}H_{14}$		

**Tabla 1-2. Los crudos venezolanos**

Los siguientes ejemplos de análisis de crudos venezolanos dan idea de sus características, contenido y rendimiento.

<b>Nombre Estado</b>	<b>Boscán Zulia</b>	<b>Boscán Zulia</b>	<b>Lagunillas Zulia</b>	<b>Guara Anzoátegui</b>	<b>Ruiz Guárico</b>	<b>Piritál Monagas</b>	<b>Sta. Rosa Anzoátegui</b>
Origen del dato	Richmond	Richmond	Mene G.	Fomento	Atlantic	Fomento	Fomento
Gravedad °API	9,5	10,1	18,0	24,5	29,6	33,2	45,0
% azufre	5,25	5,48	2,06	1,5	0,90	0,80	0,10
Visc. SSU a 100 °F	-	90.000	1.000	188	52	49,3	34,0
Fecha	3-3-48	1956	1942-45	30-11-42	1957	1945	1942
Factor de caracterización							
a 250 °F	12,20	11,75	11,27	11,70	11,59	11,85	11,65
a 450 °F	11,60	11,38	11,40	11,50	11,66	11,65	11,65
a 550 °F	11,40	11,30	-	11,50	11,69	11,65	11,75
a 750 °F	11,40	11,35	-	11,60	11,88	11,90	12,35
Promedio	11,65	11,40	-	11,57	11,70	11,76	11,83
Base	I	IN	-	I	I	I	IP
Pérdida % Gasolina	-	-	0	-	0,5	0,9	1,0
% a 300 °F	1,6	1,8	4,0	15,0	11,0	18,7	37,8
Claro N° de octanaje	-	-	71,0	66,0	62,0	64,0	68,0
N° oct. 3cc TEL	-	-	86,3	84,0	81,0	82,0	85,0
% a 400 °F	3,8	4,0	9,2	24,5	20,5	27,1	49,0
Claro N° de octanaje	42,0	57,7	65,5	61,0	53,0	55,0	62,0
N° oct. 3cc TEL	66,0	66,6	81,90	80,0	74,0	78,0	80,0
% a 450 °F	5,2	5,7	11,20	29,6	26,5	32,4	53,3
Calidad	-	-	buena	buena	-	buena	excelente
Resid. reform. O.N.	85,2	89,0	96,0	89,5	88,0	84,0	87,0
<b>Material de propulsión</b>	<b>Boscán</b>	<b>Boscán</b>	<b>Lagunillas</b>	<b>Guara</b>	<b>Ruiz</b>	<b>Piritál</b>	<b>Sta. Rosa</b>
% a 550 °F	10,0	10,7	19,0	38,0	40,0	44,0	64,3
Gravedad °API	44,5	35,6	-	42,5	40,0	47,7	55,7
Calidad	-	-	-	buena	buena	buena	buena
<b>Querosén destilado</b>							
% 375-500 °F							
Gravedad °API	39,2	34,5	36,2	37,7	38,7	39,9	39,9
Punto de humo	19,2	15,0	15,7	16,7	18,0	18,6	18,6
% de azufre	3,0	3,0	alto	0,27	0,12	0,14	bajo
Calidad	-	-	-	-	-	regular	buena
<b>Dest. o combustible Diesel</b>							
% 400-700 °F	16,0	16,5	29,6	24,9	40,0	32,7	27,0
Indice Diesel	26,0	31,0	-	47,0	51,0	52,0	53,0
Punto de fluidez	-35,0	-15,0	-	-10	17,0	10,0	5,0
% de azufre	3,3	4,4	1,03	0,72	0,43	0,50	0,10
Calidad	-	-	-	buena	-	buena	excelente
<b>Material desint. (Diesel)</b>							
% 400-900 °F	28,8	30,3	47,0	47,0	60,0	53,0	42,0
N° de octanaje (Térmico)	73,0	73,0	-	71,4	69,4	69,2	66,2
Gravedad °API	21,0	23,7	-	27,7	29,1	28,0	31,8
Calidad (térmico)	-	-	-	buena	buena	buena	-
Calidad (catalítico)	-	-	-	-	buena	buena	excelente
<b>Material desint. (residuo)</b>							
% arriba 550 °F	90,0	89,0	81,0	62,0	59,0	55,1	34,7
Gravedad °API	6,5	7,5	-	15,3	22,6	22,3	30,0
°API com. desintegrado	-	-	-	4,9	5,9	6,2	10,4
% de gasolina (en abastec.)	-	-	-	36,5	49,5	48,5	58,5
% de gasolina (en crudo)	-	-	-	22,6	29,4	26,8	20,3
<b>Lubricantes destil. (descerados)</b>							
% 700-900 °F	12,8	13,8	17,4	22,1	20,0	20,3	15,0
Punto de fluidez	55,0	60,0	-	-10,0	105,0	95,0	12,0
Indice de viscosidad	25,0	50,0	-	43,0	85,0	80,0	135,0
% de azufre	4,3	4,7	1,95	1,65	0,98	1,0	0,20
Residuo % más 900 °F	67,4	65,7	43,8	28,0	18,0	19,0	8,0
Calidad de asfalto	excelente	excelente	excelente	buena	-	-	-

## Referencias Bibliográficas

---

1. AALUND, Leo R.: "Guide to Export Crudes for the '80s", 13 artículos, en: **Oil and Gas Journal**, 11-4-1983 al 19-12-1983.
2. BARBERII, Efraín E.: **Petróleo Aquí y Allá**, Monte Avila Editores, Caracas, 1976.
3. FAIRBRIDGE, RHODES W.; JABLONSKI, David: **The Encyclopedia of Paleontology**, Dowdew, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania, 1979.
4. FRICK, Thomas C.; TAYLOR, William R.: **Reservoir Engineering**, Vol. II, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1962.
5. FUNDACION POLAR, **Diccionario de Historia de Venezuela**, Doctor José María Vargas, Caracas, 1988, pp. 838-841.
6. HAGER, Dorsey: **Practical Oil Geology**, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1951.
7. Ministerio de Energía y Minas: **Petróleo y Otros Datos Estadísticos**, Caracas, 1979.
8. MOORE, Carl A.: "The occurrence of oil in sedimentary basins", Parts 1 and 2, en: **World Oil**, January 1969, p. 69; February 1969, p. 46.
9. NELSON, Wilbur L.: **Petroleum Refinery Engineering**, fourth edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1958.
10. NELSON, W.L.; THERY FOMBONA, G.; NORIEGA SALAZAR, D.: **Petróleos Crudos de Venezuela y Otros Países**, segunda edición, Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Caracas, 1959.
11. **Oil and Gas Journal**: "Heavy Crudes Seen as Target for Resid Processes", 7-1-1980.

12. PRATT WALLACE, E.; GOOD, Dorothy: **World Geography of Petroleum**, American Geographical Society, Special Publication N° 31, Princeton University Press, 1950.
13. TRASK, Parker Davies: **Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum**, Gulf Publishing Co., Houston, 1932.
14. UREN, Lester C.: **Petroleum Production Engineering Development**, fourth edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1956.
15. WHEELER, Robert R.; WHITE, Maurine: **Oil-From Prospect to Pipeline**, Gulf Publishing Co., Houston, 1958.
16. WILSON, Robert E.; ROBERTS, J.K.: **Petroleum and Natural Gas; Uses and Possible Replacements**, Anniversary Volume, Seventy-Five Years of Progress in the Mineral Industry, AIME, New York, 1947.