



EL PETRÓLEO



Unos amigos me piden que les hable sobre el Petróleo, y mientras preparo la información para esta charla informal he decidido escribir un pequeño estudio, para no técnicos, sobre este asunto, que será el núcleo de la presentación que me han pedido. Por ello este trabajo se desvía del contenido normal de mis estudios sobre historia, geografía, literatura, leyendas, etc. Este es un trabajo con fuerte contenido técnico.

Lo escribo con un sentir agridulce. Por una parte es un placer que alguien se interese por el objeto básico de mi vida profesional, ya que durante más de cuarenta años ejerciendo mi profesión, y varios más una vez ya jubilado, mi trabajo se ha centrado en el Petróleo, sobre todo en su procesamiento y utilización. Mi tesis doctoral se basó en la utilización de derivados del petróleo en la fabricación del etileno, base de una gran parte de la Industria Petroquímica. Trabajé unos años en una refinería de petróleo en el Golfo Pérsico, fui Director de la Refinería de La Rábida (hoy propiedad de CEPSA), dirigí durante algunos años, entre otras áreas, los centros de investigación de Repsol en Cartagena y Madrid, e ideé y planifiqué, en su día, la refinería más moderna del momento, por corto tiempo, la de Tarragona. Con esto quiero indicar sólo mi razonable competencia para hablar sobre este asunto, y, como no, darme un poco de importancia.

El trabajo tiene también un ligero sabor agrio, pues a mis ochenta años, probablemente es la última vez en que alguien se interesará por mis conocimientos profesionales, y podré hablar o escribir sobre ellos, pero como dijo Horacio “Nil Desesperandum”, seguiré trabajando “mientras el cuerpo aguante”.

1. INTRODUCCIÓN.

La industria del petróleo es la mayor del mundo. La posesión de campos de producción de crudo de petróleo es una bendición para los países desarrollados (por ejemplo, Estados Unidos, Gran Bretaña, Noruega, etc.), y una desgracia para los países subdesarrollados (los ejemplos son innumerables, el más reciente es el de Sudán del Sur hoy en medio de una cruel guerra civil). El escritor venezolano Uslar Pietri (1906 – 2001), por ejemplo, ataca en sus numerosos escritos la total dependencia de Venezuela de sus reservas petroleras, que ha coartado profundamente el desarrollo del país.

Este trabajo sobre el Petróleo va a ser dividido en seis capítulos, de los cuales tengo experiencia directa en los tres últimos, y amplios conocimientos sobre los otros como resultado de mi curiosidad insaciable.

1. Origen del petróleo.
2. Exploración y producción.
3. Transporte.
4. Almacenamiento.
5. Refino.
6. Utilización.

En primer lugar es de notar que el petróleo es un producto mineral líquido, en este sentido es prácticamente único, pues en la naturaleza sólo se encuentra en esta forma, a veces, el mercurio (también llamado plata líquida o hidrargirio) en la minas del mineral cinabrio, el cual es, a su vez, sulfuro de mercurio.

El petróleo es fundamentalmente una mezcla de compuestos formados por carbono e hidrógeno, con pequeñas cantidades de otros elementos (azufre, oxígeno, nitrógeno, etc.).

En la naturaleza se encuentra otro mineral con una composición similar, el carbón, sólido, con una gran proporción de carbono, y con variantes que van desde las casi formadas por carbono puro (antracita) a otras con cantidades mayores de hidrógeno (turba). Su origen es la fosilización de bosques enormes, y no es el objeto de este trabajo.

Sólo el petróleo, y otro conjunto de hidrocarburos que constituyen el llamado gas natural, íntimamente relacionado con el petróleo, son el objeto

de este trabajo. El gas natural es un subproducto de la producción del petróleo, pero también aparece en otras formas, como gas grisú en las minas de carbón, o por sí mismo en campos específicos. En este último caso, como veremos, se trata de un petróleo muy antiguo, que ha sufrido una total transformación.

El petróleo es un antiguo conocido del hombre. Aparece desde su historia más antigua en los lagos de Mesopotamia, como betún de Judea en el Mar Muerto o Asfaltites, como lo llamaban los griegos, y se ha utilizado como impermeabilizante por indios, egipcios o chinos, o para la iluminación, en sustitución del aceite de ballena, en los países occidentales. Recuerdo que durante una de mis estancias en Jordania, visité el Mar Muerto, y recuerdo las gotas de asfalto que flotaban en sus aguas.

A todo autor le gusta autocitarse, por ello, diré que en mi *Reina de Saba* refiero que según el *Targum Seni*, un libro judío escrito según unos autores en los siglos III o IV DC, según otros antes del siglo VII, o incluso tan tarde como el siglo X, pero desde luego compuesto en la tierra de Israel, según muestra el lenguaje arameo utilizado en el texto, se habla del petróleo. La reina de Saba, según este documento, durante su legendaria visita a Jerusalén le dijo al rey Salomón que iba a hacerle sólo tres preguntas, y que si las contestaba correctamente lo reconocería como un sabio si fallaba la prueba lo consideraría como a un hombre igual a los demás. Las preguntas difieren, por supuesto, de unos textos a otros.

La que nos interesa es la segunda pregunta según el *Targum Sheni*, que dice:

*Como el polvo viene de la tierra,
Se alimenta del polvo de la tierra,
Fluye igual que el agua,
Ilumina la casa*

La respuesta inmediata del Rey fue que se trataba de la nafta (o sea del petróleo).

Esto nos muestra la familiaridad de las gentes hacia este producto natural, en tiempos antiguos.

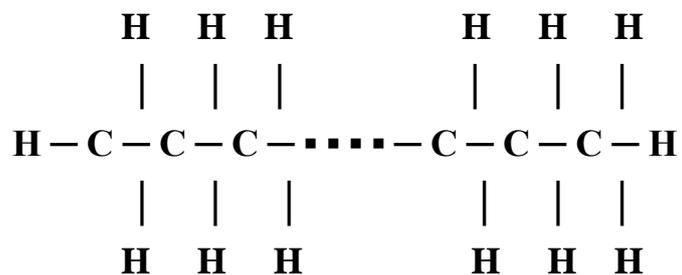
El petróleo es, pues, un producto natural, mezcla fundamentalmente de hidrocarburos, junto con compuestos orgánicos de azufre, nitrógeno, oxígeno, metales, etc. que se encuentra en la naturaleza en forma líquida o en forma de sólidos fácilmente fusibles. Su composición es muy variable y, en peso por cien, es: carbono 84 – 87%, hidrógeno 11 – 14%, azufre 0 – 2%, nitrógeno 0,2 %. Su densidad oscila entre 0,75 g/cm³ para los crudos

ligeros, hasta 0,95 para los muy pesados. Desde el punto de vista físico sus componentes puros son gaseosos hasta los cuatro átomos de carbono, líquidos hasta los 20, y sólidos por encima.

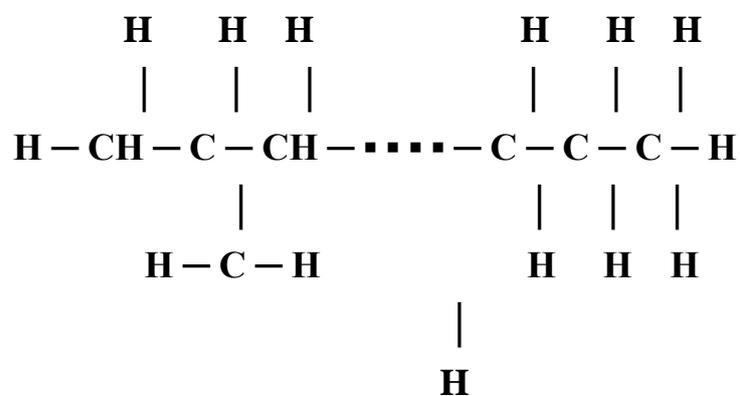
Es conveniente recordar que no sólo el petróleo, sino la existencia misma de seres vivos, se basa en las excepcionales características químicas de un elemento: el carbono. El carbono tiene cuatro valencias, según los químicos, lo cual significa que puede unirse a otros cuatro átomos, entre ellos a uno o unos de su mismo tipo, estos enlaces son débiles (llamados covalentes) y le permiten formar largas y sofisticadas cadenas, o anillos, que participan con facilidad en reacciones químicas acompañadas de una baja variación energética.

A título de recordatorio en la FIGURA 1, se muestran de forma simplificada la estructura de los hidrocarburos fundamentales, utilizando líneas, que significan los enlaces.

PARAFINAS



ISOPARAFINAS



OLEFINAS

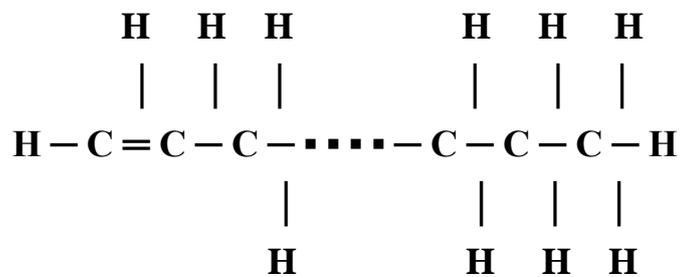


FIGURA 1 A

TIPOS DE HIDROCARBUROS

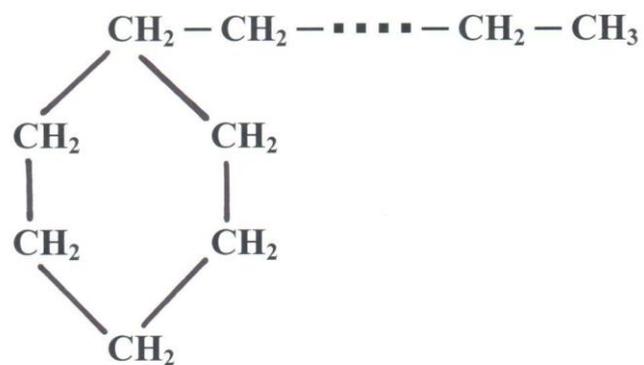
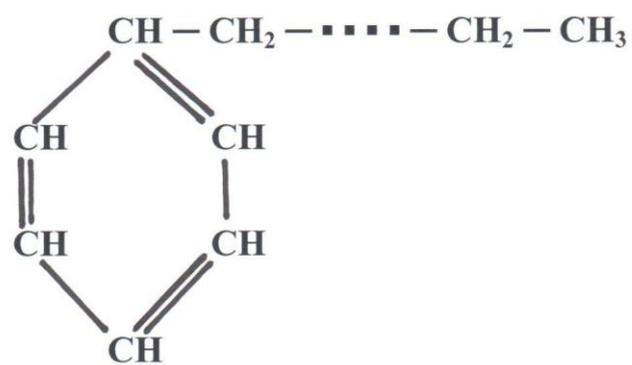
NAFTENOS O CICLOPARAFINAS**AROMÁTICOS**

FIGURA 1B
TIPOS DE HIDROCARBUROS

1. ORIGEN DEL PETRÓLEO

El conocimiento actual profundo de los innumerables componentes del petróleo crudo indican que muchas de sus estructuras son similares a las de los seres vivos, así aparecen moléculas semejantes a las de la hemoglobina y clorofila, y algunos de sus componentes muestran actividad óptica, que aparece sólo en los componentes de los seres vivos, pues cuando se intentan producir estos mismos compuestos en el laboratorio dan lugar a mezclas iguales de los dos posibles isómeros ópticos (racémicas) que hacen que el producto sea ópticamente inactivo.

Todo ello indica que **el petróleo se ha originado a partir de residuos orgánicos**, fundamentalmente procedentes de las eras geológicas llamadas Secundaria o Paleozóica que se extendió en el periodo comprendido desde hace 570 a 240 millones de años, y Terciaria o Mesozóica desde hace 240 a 66 millones de años. No se han encontrado crudos más antiguos, ya que si se formaron han sido destruidos por el mismo mecanismo de transformación de los restos orgánicos en petróleo, que indicaremos posteriormente. Actualmente sigue generándose petróleo, pero a una velocidad infinitamente inferior a la de extracción.

Los residuos orgánicos que originaron el petróleo son el **plancton**. Se denomina plancton (del griego *πλαγκτός* [*plagktós*], ‘errantes’) al conjunto de organismos, principalmente microscópicos, que flotan en aguas saladas o dulces, hasta los 200 metros de profundidad, aproximadamente. Es muy abundante en las aguas tranquilas en las desembocadura de los ríos al mar a los lagos, lugares ricos en componentes alimenticios.

El fitoplancton (vegetal) es el alimento del zooplancton (animal). Éste, sirve a su vez como alimento a equinodermos, crustáceos y peces en estado larvario. Incluso las ballenas barbadas se alimentan de ingentes cantidades de plancton.

Una fotografía del plancton se muestra en la FIGURA 2.

Cuando estos seres mueren caen al fondo marino y pasan a formar parte de los barros del fondo. Durante este descenso los restos orgánicos son atacados por las bacterias aerobias, o sea las que viven en ambientes con oxígeno, las cuales los utilizan como alimentos. Los restos que consiguen llegar al fondo se incorporan a los barros y allí siguen su proceso de descomposición por acción de la bacterias anaerobias, o sea las que viven en ambientes sin oxígeno. Los restos orgánicos finales, el llamado kerógeno, se adhieren a estos barros, que poco a poco se compactan, y constituyen las llamadas rocas madres. Este mecanismo se muestra en la FIGURA 3.



FIGURA 2
PLANCTON

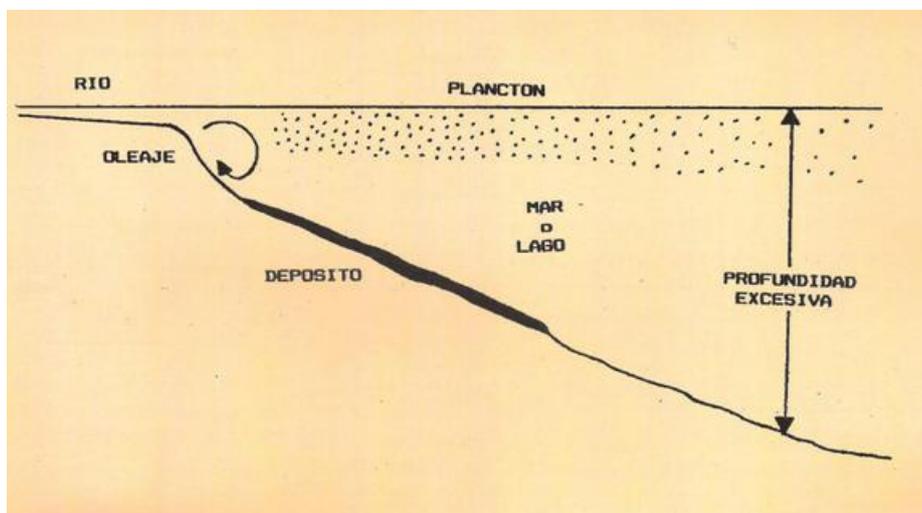


FIGURA 3
FASE INICIAL DE LA FORMACIÓN DEL PETRÓLEO

Estas rocas madres por acción de la presión a que están sometidas al formarse capas nuevas sobre ellas o por efecto de movimientos geológicos,

expulsan agua que arrastra los componentes orgánicos (kerógeno), del mismo modo que al oprimir una esponja ésta expulsa el agua que contiene. Este fenómeno es llamado migración primaria. El líquido expulsado se mueve muy lentamente a través de estructuras permeables hasta llegar a estructuras porosas rodeadas de estructuras impermeables (arcillas, domos de sal, etc.), que detienen la migración. Este fenómeno es llamado migración secundaria. En los poros de estas rocas finales el agua, petróleo y gas natural son adsorbidos, y reciben el nombre de rocas almacén o reservoir, y son las que constituyen un campo productor de petróleo. El fenómeno de migración se muestra en la FIGURA 4.

Durante el largo y lento camino las partículas orgánicas son sometidas a la acción de la presión, la temperatura y el efecto catalítico de los metales que forman parte de las rocas y sufren una serie de reacciones químicas muy lentas. Tras **millones de años** las estructuras orgánicas que permanecen son las más estables posibles. El destino final es la formación de metano (o gas natural) y carbón. Incluso cuando el crudo llega a las rocas almacén, sigue su lenta conversión.

Así un petróleo pesado con estructuras próximas a las de los seres vivos, es un petróleo joven, los petróleos ligeros son muy viejos. El fin último es, pues, la formación de un campo de gas natural.

El petróleo y el gas natural se encuentran en los microscópicos poros de las rocas almacén, junto con agua, pero nunca en cavernas.

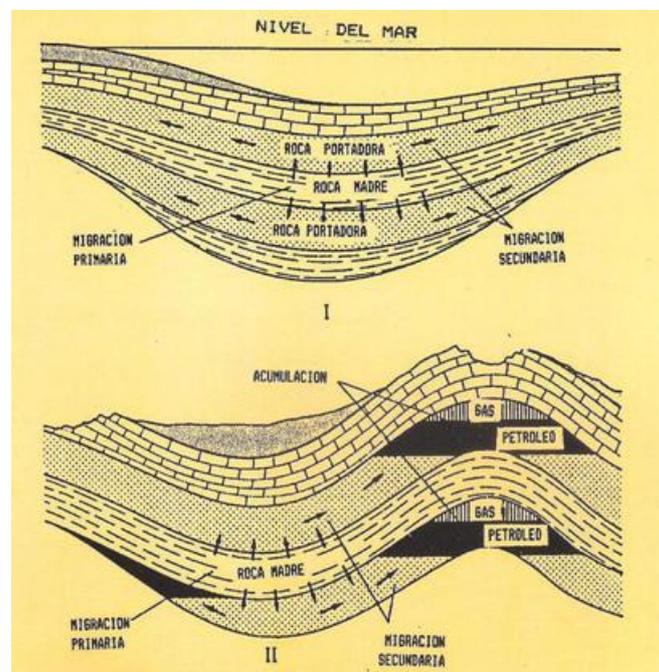


FIGURA 4

MIGRACIÓN DEL PETRÓLEO 2. EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN.

El petróleo natural, aquel que surge de la tierra de forma espontánea, tiene su origen en un **campo o reservoir**, que ha perdido una de las capas impermeables, y es expulsado por la presión propia del campo. A fines del siglo XIX en Oklahoma se conocía la existencia de arroyos, cuya aguas estaban contaminadas con manchas de petróleo. Éste podía recolectarse en las fisuras por las que salía, pero su cantidad era pequeña y no lo hacía un producto comercialmente interesante. Esta situación es similar a la ya citada del Mar Muerto, o de otros lugares similares.

La creación de la industria petrolera tiene su origen, en uno de esos individuos emprendedores, típicamente americanos, en este caso Edwin Laurentine “Coronel” Drake (1819 – 1880). Este hombre había sido oficinista, agente de correos, conductor de ferrocarril, etc., y se le llamaba “Coronel” por su carácter autoritario, pues nunca estuvo en el ejército. Creó una empresa llamada la Seneca Oil, cuyo objetivo era perforar un pozo en Oil Creek (Arrollo del Petróleo), Titusville, Pensilvania, lugar conocido por las apariciones de petróleo “natural”, de ahí su nombre. Su objetivo era perforar un pozo pero para obtener petróleo, no agua, como era lo normal en aquellos tiempos; para ello empleó el método de percusión, abrir el pozo mediante un pesado cincel que, en su caída, golpeaba y pulverizaba las rocas. Tuvo dificultades económicas, pero las superó y el 27 de agosto de 1859, al alcanzar una profundidad de 20 metros, comenzó a manar petróleo del pozo. La capacidad de producción era de 30 barriles/día (4800 litros/día), cifra hoy irrisoria, pero entonces impresionante. En la FIGURA 5 se muestra el derrick o torre de perforación de madera de Drake, con una fotografía de él mismo. Un derrick original de madera. similar a éste, puede verse actualmente en el centro de investigación de la Chevron, cerca de Los Ángeles.

Originalmente el producto se transportaba a los lugares de consumo en barriles de 159 litros, equivalentes a 42 galones americanos, por medio carros y vagones de ferrocarril. Esta es la razón por la que la producción de petróleo crudo se mida, aún hoy, en barriles.

Posteriormente y por impulso de John D. Rockefeller, creador de la Standard Oil, se comenzaron a utilizar los oleoductos. Este personaje fue el auténtico creador de la industria del petróleo. Llegó a ser tan poderoso que un tribunal americano en 1911 obligó a dividir su compañía, la Standard Oil, en treinta y cuatro compañías independientes para así destruir su monopolio. En la FIGURA 6 hay una fotografía de este gran personaje.

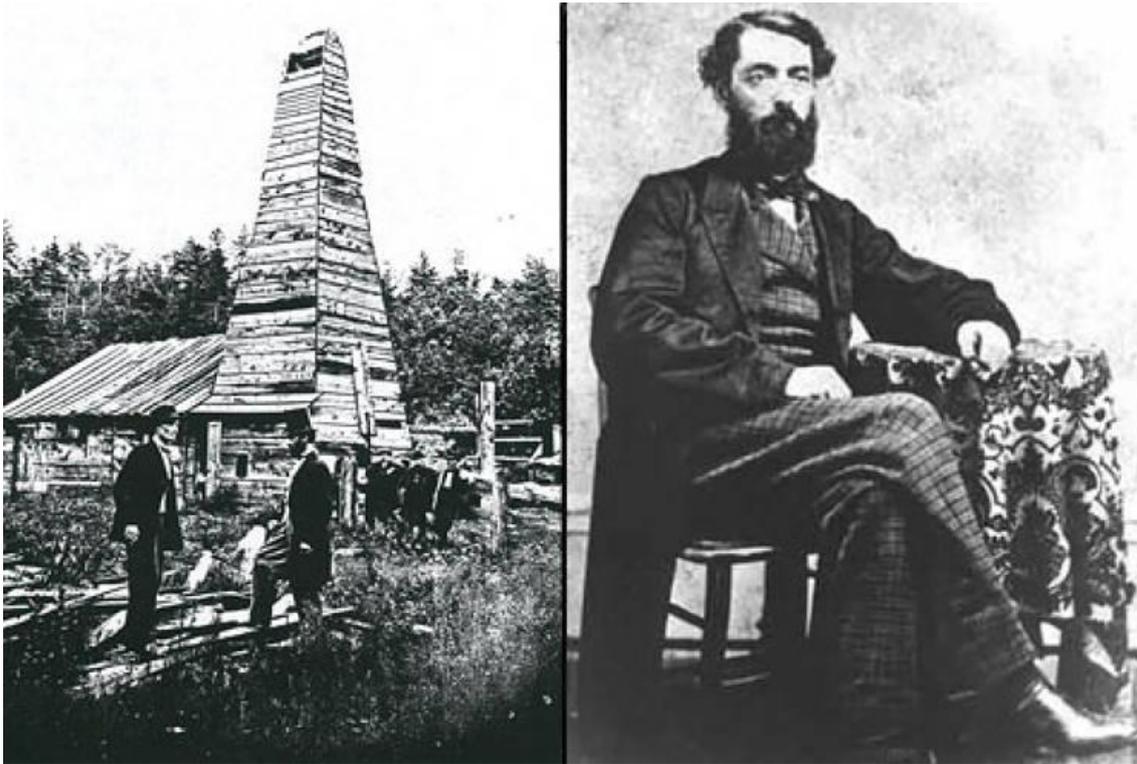


FIGURA 5
DERRICK Y FOTOGRAFÍA DE DRAKE

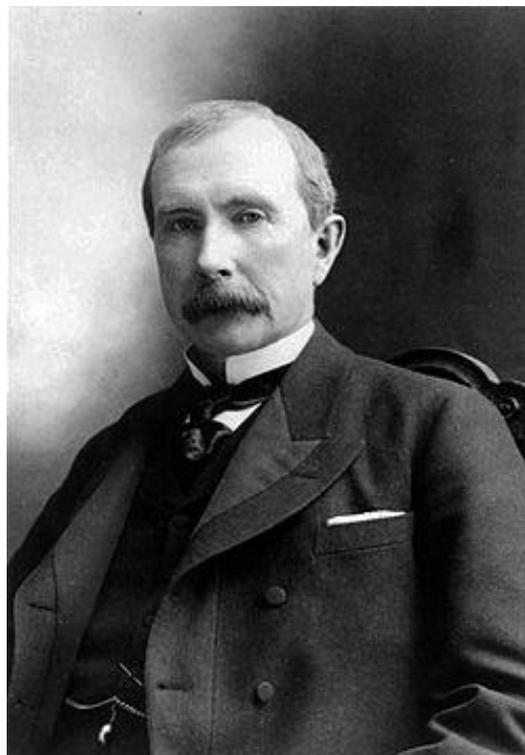


FIGURA 6
JOHN D.ROCKEFELLER

Inicialmente la búsqueda de petróleo se basaba en la experiencia y en la intuición. En los lugares que parecían idóneos se perforaba un pozo de exploración o “wild cut”, y si tenía éxito se perforaban a su alrededor otros pozos productores.

Actualmente con todos los conocimientos sobre la formación del petróleo, la búsqueda se basa en profundos estudios geológicos del terreno. En principio el lugar debe ser de tipo sedimentario y no volcánico o metamórfico, pues durante la formación de este tipo de rocas se rompe las rocas almacén. Por ello, en España no hay petróleo, únicamente se han explotado unos pequeños pozos en Ayoluengo, Burgos, y otros en la costa de Tarragona.

Actualmente existen numerosos y complejos métodos de exploración, el más utilizado es el sísmico. Se produce un terremoto artificial, inicialmente por una explosión, hoy utilizando la descarga a través de una válvula de aire a alta presión. La zona bajo análisis está rodeada por una enorme cantidad de sensores, que permiten analizar las ondas reflejadas, como se muestra en la FIGURA 7, en el caso de una exploración del fondo marino. Unos sofisticados métodos de cálculo permiten realizar un mapa geológico detallados de la zona. Si existen posibles rocas almacén se perfora un “wild cut”, para confirmar la existencia de petróleo y valorar el potencial del campo.

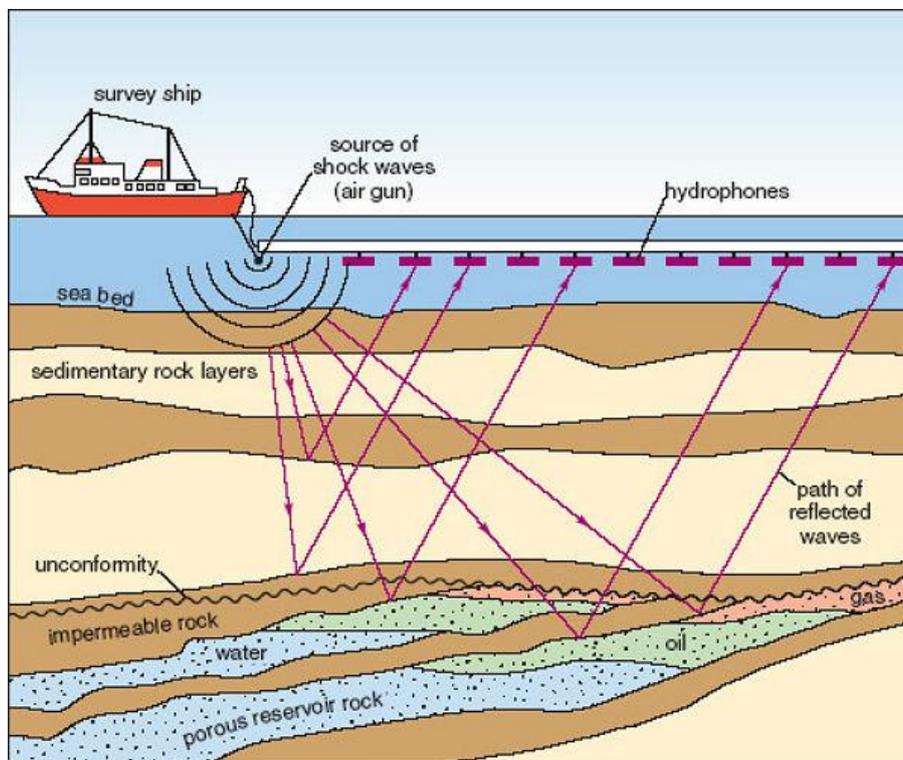


FIGURA 7
EXPLORACIÓN SÍSMICA EN EL MAR

Para realizar la perforación se utiliza el “derrick”, una torre, originalmente de madera, pero que hoy es metálica, la cual soporta todo el equipo necesario. El método inicial de percusión se abandonó muy pronto, y se comenzó a utilizar la llamada mesa rotativa. El funcionamiento de esta técnica se muestra en las FIGURAS 8 y 9.

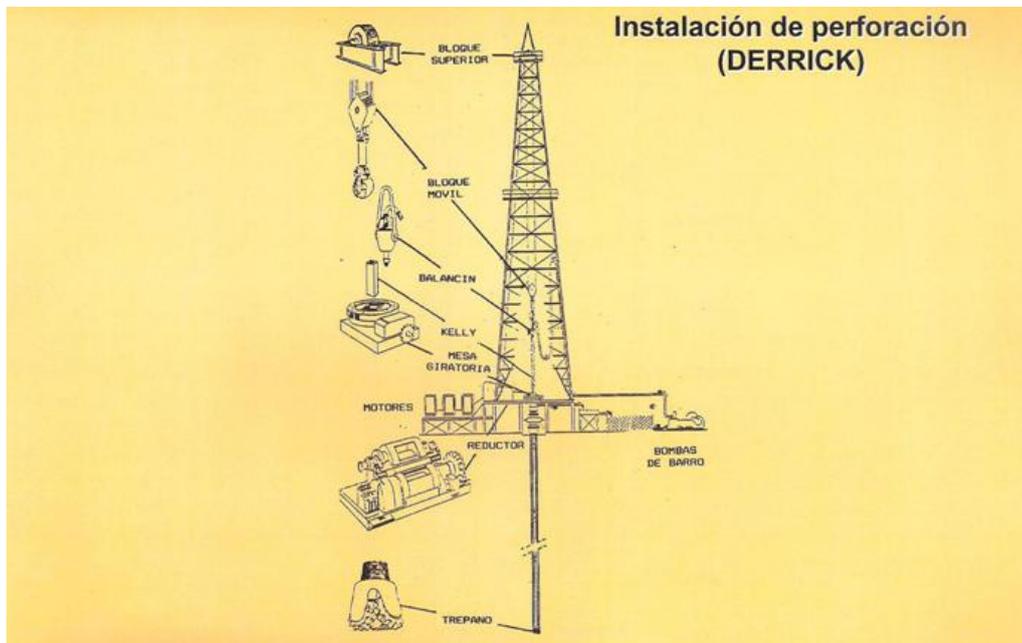


FIGURA 8
INSTALACIÓN DE PERFORACIÓN (DERRICK)

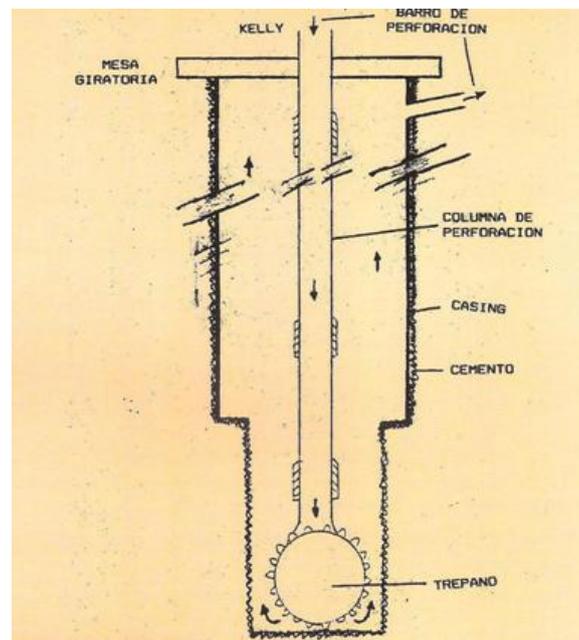


FIGURA 9
PERFORACIÓN DE UN POZO

La perforación se realiza por medio de una columna de tubos muy resistentes, de unos 10 metros de longitud, roscados, en cuyo extremo inferior hay una cabeza perforadora dura o trépano, cubierta de diamantes industriales, como se muestra en la FIGURA 10. Esta columna se hace girar por medio de una mesa rotativa. Una pieza cuadrada o hexagonal (Kelly), situada en la parte superior de la columna y perforada, que forma parte de la columna, se hace girar por la acción de un motor muy potente. Por el interior de la columna se inyecta un barro formado por agua con productos químicos adecuados, que desciende por la columna, y sale al exterior por los orificios que posee el trépano, y finalmente asciende a la superficie por el hueco del pozo ya perforado, entre la pared rocosa y la columna. El barro tiene una doble finalidad, en primer lugar refrigera la cabeza perforadora, y por otra lleva los residuos a la superficie. Los geólogos analizan estos residuos y así saben a que profundidad están las estructuras productoras. El barro extraído se reacondiciona, filtra, enfría y se reinyecta, de nuevo.



FIGURA 10
CABEZA PERFORADORA O TRÉPANO

De tiempo en tiempo hay que cambiar el trépano, para ello se saca la columna completa, se separan las secciones roscadas, los tubos se apoyan en el “derrick”. Se introduce un tubo de acero de mayor diámetro que la

columna de perforación (casing) y que constituirá la pared del pozo final y evitará posibles desplomes del terreno durante el período de producción. Se cambia la cabeza perforadora, se reconstruye la columna y se continúa perforando hasta la profundidad deseada.

La longitud de la columna de perforación y del “casing” puede ser de varios kilómetros, y es normal que atravesase varias estructuras productoras, y otras molestas (acuíferos).

Cuando se llega a la profundidad deseada se extrae la columna de perforación y se completa el tubo final o “casing.” Se inyecta entonces cemento por el interior del tubo, este regresa hasta la superficie exterior a lo largo del exterior del tubo, y se espera a que fragüe. Se introduce entonces una “pistola” que lanza bolas de acero contra el tubo y lo perfora en los niveles adecuados, donde se sabe que existen estructuras productoras, y el pozo está ya dispuesto para iniciar la producción.

Si la presión de la estructura productora es muy elevada, se produce un “gusher”, el petróleo sale en forma de una columna, y, a veces, durante la perforación puede llegar a expulsar la columna de perforación. Un amigo de Repsol me mostró la fotografía de uno de estos “gushers” durante una perforación en la costa egipcia del Mar Rojo; en lo alto aparecía la columna de perforación que asemejaba un spaghetti cocido. Lo más normal es, sin embargo, que el petróleo fluya y llegue a la superficie, para ser enviado a la planta de procesamiento.



FIGURA 11
ÁRBOL DE NAVIDAD

Una vez el pozo está acabado y dispuesto para la producción se desmonta el “derrick”, ya innecesario, y se monta en la cabeza del pozo un conjunto de válvulas y tuberías, que se conoce como “árbol de Navidad”, y que permite operar el campo. Un árbol de Navidad típico, se muestra en la FIGURA 11. Corresponde al pozo conocido como Jebal ad-Duhan (Montaña del Humo), número 1. Está situado en la isla de Bahrain, en el Golfo Pérsico, y es el primer pozo que se perforó en la Península Arábiga. Durante nuestra estancia en Bahrain este pozo se encontraba a unos centenares de metros de nuestra casa.

Si la presión de las estructuras es suficiente el petróleo fluye mansamente hasta la superficie, pero cuando ésta es insuficiente es necesario acudir a los sistemas llamados de producción secundaria.

Un método directo muy utilizado son las bombas alternativas o “burritos”, que bombean el petróleo hasta la superficie. Es muy utilizado, y, por ejemplo, dentro de la ciudad de Los Ángeles hay descampados en los cuales operan estos “burritos”. Un grupo de estas bombas se muestra en la FIGURA 12.



FIGURA 12
EXTRACCIÓN SECUNDARIA. “BURRITOS”

Un método indirecto es aumentar artificialmente la presión del campo, por inyección de agua con aditivos o gas natural, como se muestra en la FIGURA 13. Se utilizan algunos de los pozos para realizar la inyección mientras que el resto continúan la producción.

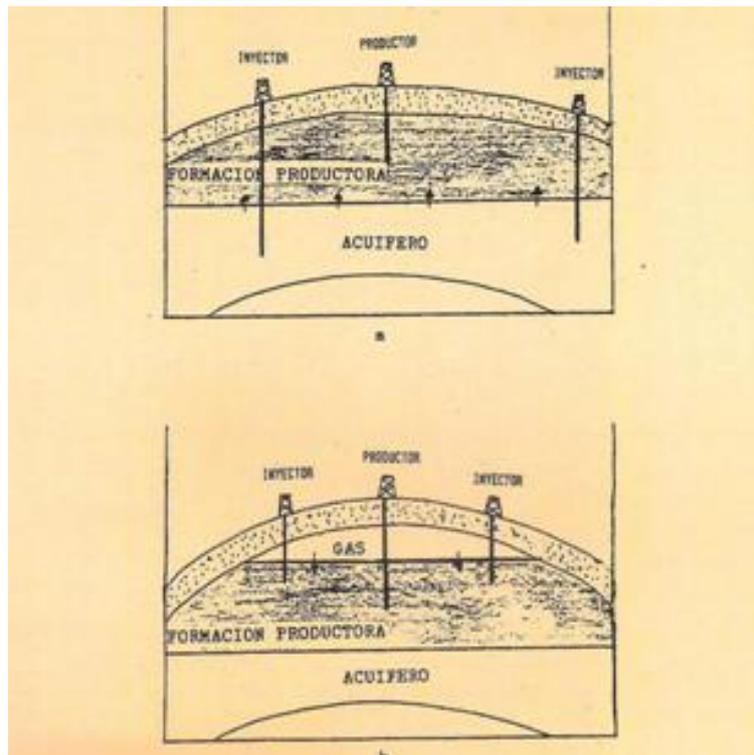


FIGURA 13

EXTRACCIÓN SECUNDARIA POR INYECCIÓN

Métodos más extremos son provocar una combustión en el interior del pozo para disminuir la viscosidad del crudo, y así mejorar la productividad, o incluso pulverizar la estructura por medio de explosiones controladas.

En los pozos actuales la producción se inicia desde el primer momento con técnicas de extracción secundaria, para mejorar el rendimiento final del campo.

La perforación y explotación de pozos petrolíferos se complica si el lugar de perforación es el suelo marino. La existencia de una capa de agua complica el trabajo.

Existen técnicas ya desarrolladas que varían según la profundidad a que se encuentra el suelo marino, y que utilizan en principio plataformas unas pilotadas para pequeñas profundidades, otras ancladas para aguas más profundas, y finalmente se utilizan barcos de posicionamiento dinámico para muy grandes profundidades, como se muestra en las FIGURAS 14 y 15.

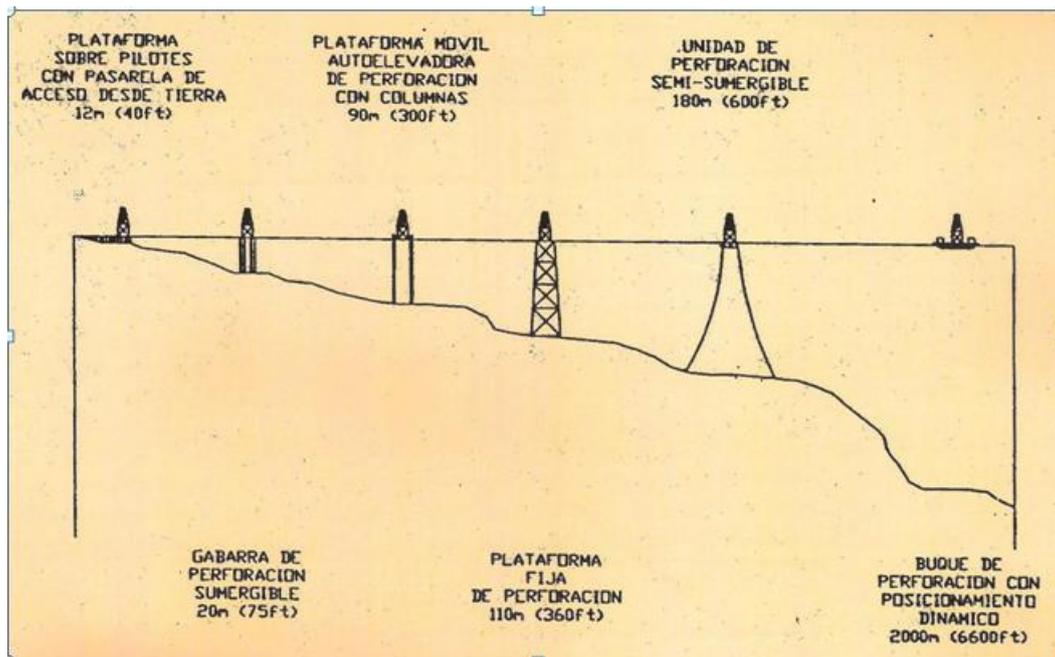


FIGURA 14
PERFORACIÓN EN EL MAR



FIGURA 15
PLATAFORMA DE PERFORACIÓN

Impresionante es la tecnología de los barcos de posicionamiento dinámico, que permite perforar en láminas de agua de gran espesor. El barco permanece estable, por medio de una serie de hélices situadas alrededor del mismo, que se accionan gracias a una toma de datos exhaustiva y un sistema predictivo, que anticipa los movimientos del barco, y lo obliga a permanecer estacionario.

Para aumentar aún más la productividad de un campo, se han elaborado técnicas que permiten doblar el tubo y perforar pozos horizontales. Esta técnica unida a la de fracturación de las estructuras productoras por medio de agua a presión, forman la tecnología del “fracking” que permite aumentar la recuperación y activar estructuras con crudos pesados. Estas técnicas se muestran en las FIGURAS 16 y 17.

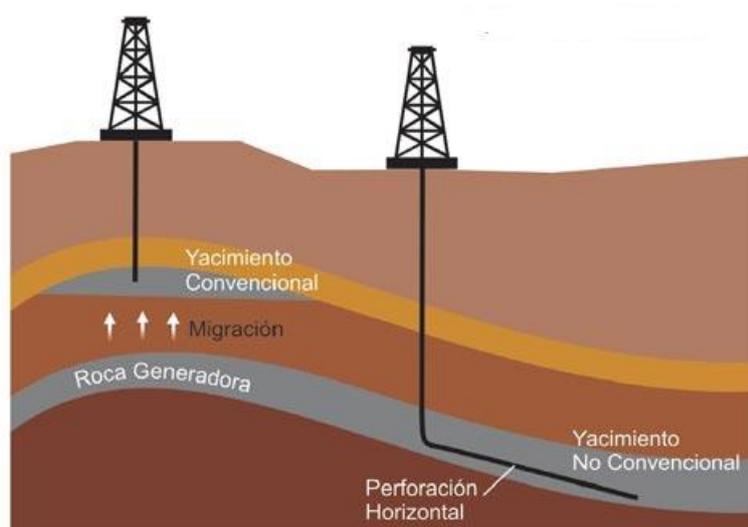


FIGURA 16
POZOS HORIZONTALES

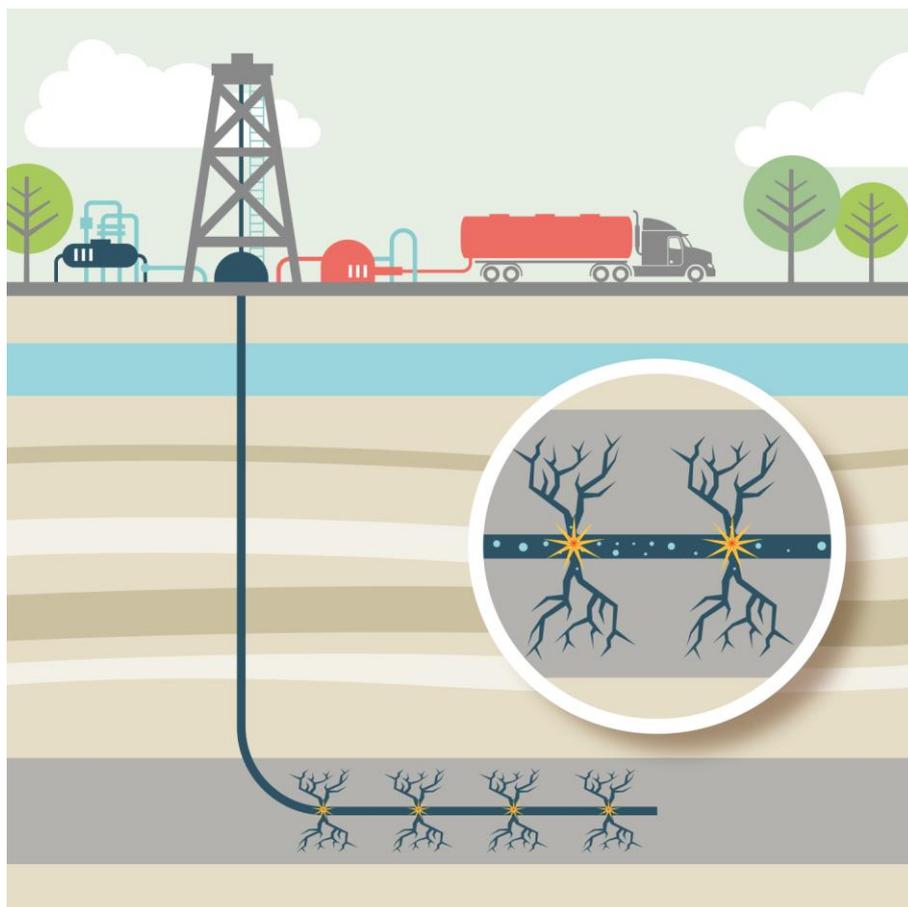


FIGURA 17
FRACKING

Debido a su origen, pero sobre todo a su tiempo de “maduración”, la calidad de los crudos es muy variable, incluso dentro de un mismo pozo con varias estructuras productoras, la calidad del crudo varía de unas a otras. Las empresas productoras controlan y mezclan los crudos de varios campos para producir mezclas con una calidad relativamente constante. Estas son las llamadas mezclas comerciales, tales como la Saharan Blend, el crudo Arabian Light, la Midcontinent Blend, y muchas otras.

Antes de poder transportar el crudo y procesarlo debe de ser acondicionado. Lo que sale del pozo es una mezcla de crudo, con gas natural, agua procedente de la estructura productora, y de los barros de perforación, junto con los productos químicos inyectados, y arenas. La planta acondicionadora que procesa el crudo de un gran número de pozos consiste en una serie de separadores y columnas de destilación, que permiten producir un crudo limpio y estable. Por una parte se elimina el agua, junto a los residuos sólidos. La primera se utiliza normalmente como inyección al “reservoir” durante la producción secundaria. El gas natural,

según su cantidad, puede también reinyectarse como tal o venderse como gas natural. Una planta acondicionadora se muestra en la FIGURA 18.

El crudo final tiene niveles muy bajos de agua y sedimentos y una presión de vapor, que permite manejarlo sin peligro de incendio.

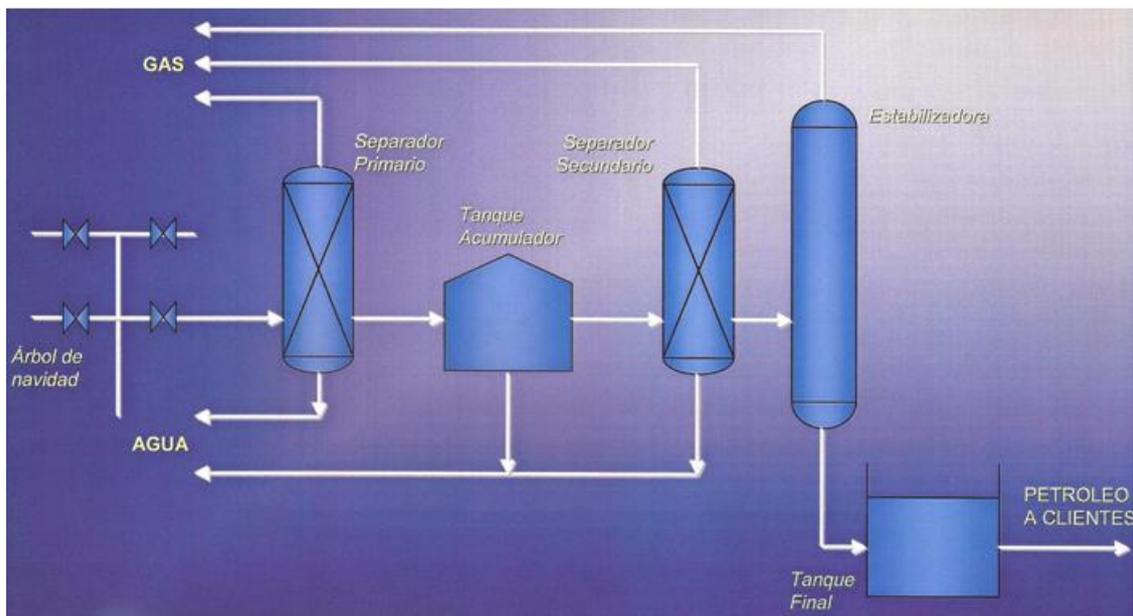


FIGURA 18
PLANTA ACONDICIONADORA DE CRUDO

3. TRANSPORTE

Una vez producido y estabilizado el crudo tiene que ser enviado a los clientes para su procesamiento y utilización.

Inicialmente el crudo se transportaba desde los campos a los clientes en bidones por medio de carros o del ferrocarril, pero estos métodos eran poco efectivos cuando se trataba de manejar enormes cantidades de crudo. Actualmente existen dos métodos de gran eficacia para resolver el problema, el transporte por oleoductos y el transporte marítimo, a veces combinados.

El transporte por oleoducto comenzó a utilizarse ya a fines del siglo XIX. El crudo se introduce en una tubería y gracias a la presión proporcionada por unas bombas se le hace circular hasta su destino final, refinería o terminal de carga.

El diseño de un oleoducto (también utilizado actualmente para el transporte de productos acabados) es complejo; hay que tener en cuenta la viscosidad del líquido y la distancia. Si la distancia es larga, para evitar la utilización de tubos de gran espesor y bombas de muy alta presión de descarga, se construyen estaciones intermedias en las cuales el crudo se saca de la tubería y se inyecta al siguiente tramo por medio de un nuevo grupo de bombas. Si la viscosidad es alta debido a la calidad del crudo o la baja temperatura ambiental, las tuberías se aíslan y calientan por medio de sistemas eléctricos o con camisas con vapor de agua.

Aunque los oleoductos pueden instalarse dentro de zanjas, para disminuir la corrosión y facilitar el acceso y mantenimiento, generalmente se montan sobre el terreno, en soportes más o menos elevados, como se muestra en la FIGURA 19.



FIGURA 19
OLEODUCTO

El transporte por oleoducto se complementa con el transporte marítimo, por medio de barcos especiales conocidos como petroleros (tankers).

La bodega de estos barcos está formada por compartimentos estancos, en los cuales se introduce el crudo, se transporta y posteriormente se bombea al terminal de recepción. La FIGURA 20 muestra un esquema de un petrolero, la FIGURA 21, el aspecto de un superpetrolero.

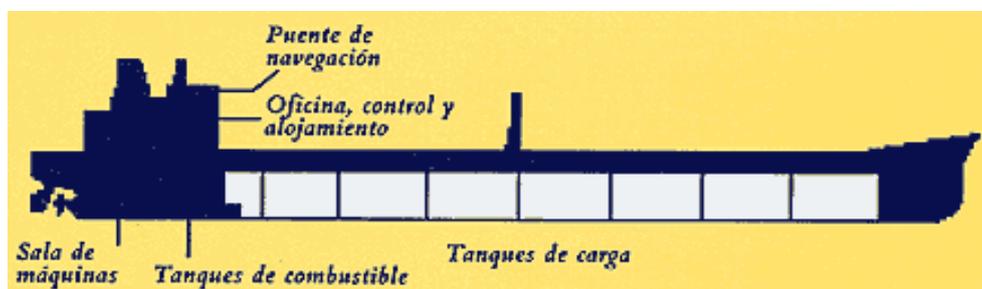


FIGURA 20
ESQUEMA ELEMENTAL DE UN PETROLERO



FIGURA 21
SUPERPETROLERO

Para disminuir el coste del transporte el tamaño de los barcos ha ido creciendo desde los barcos iniciales T2 de la Segunda Guerra Mundial de 12000 TM, a los Ultra Large Crude Tanker (ULCC) de más de 500000 TM.

El tamaño de un petrolero es fijado por la economía de su operación, la seguridad y por la limitación de tamaño en el paso por ciertos puntos críticos (canal de Panamá, canal de Suez y estrecho de Malaca).

El canal de Panamá permite pasar barcos del rango de 50000 a 79000 TM de peso muerto. Este tamaño recibe el nombre de Panamax

El canal de Suez permite hasta 125000 a 200000 TM de peso muerto. Este tamaño se conoce como Suezmax.

El estrecho de Malaca lo limita hasta 80000 a 120000 TM de peso muerto, tamaño de los Malacamax.

Para disminuir el coste de transporte se construyeron grandes superpetroleros, de tamaños muy superiores a los antes indicados, por lo que al no poder utilizar estos canales o estrechos era obligado que doblasen los cabos de Hornos o de Buena Esperanza para llegar a su destino final. Un problema adicional era que debido a su gran tamaño, no podían amarrar en los puertos, y se cargaban alejados de la costa en monoboyas especializadas y descargaban en destino en otras instalaciones similares. En su operación nunca entraban en los puertos.

Había puertos especializados como, por ejemplo, Bantry Bay en Irlanda que descargaba los grandes petroleros y transfería el crudo a barcos convencionales (no barcasas), para su distribución en los puertos europeos.

Por un cierto número de razones hoy ya no se utilizan los superpetroleros. Muchos están amarrados, sin máquinas y son utilizados como depósitos flotantes.

Originalmente los petroleros tenían un sólo casco, pero después de producirse diferentes accidentes que produjeron graves derrames, se obligó a que los barcos se diseñasen con un doble casco, aumentando su coste, pero disminuyendo el peligro ecológico.

Los puertos petroleros, tanto de carga como de descarga, consisten en unas instalaciones de amarre para los barcos, bombas de carga y descarga del producto y del lastre, y tanques de almacenamiento.

En los casos en que los barcos no puedan físicamente amarrar en un puerto el crudo se carga y descarga en plataformas o monoboys, conectadas a tierra por tuberías submarinas, y con mangueras flexibles que se conectan al barco, como se muestra en la FIGURA 22.

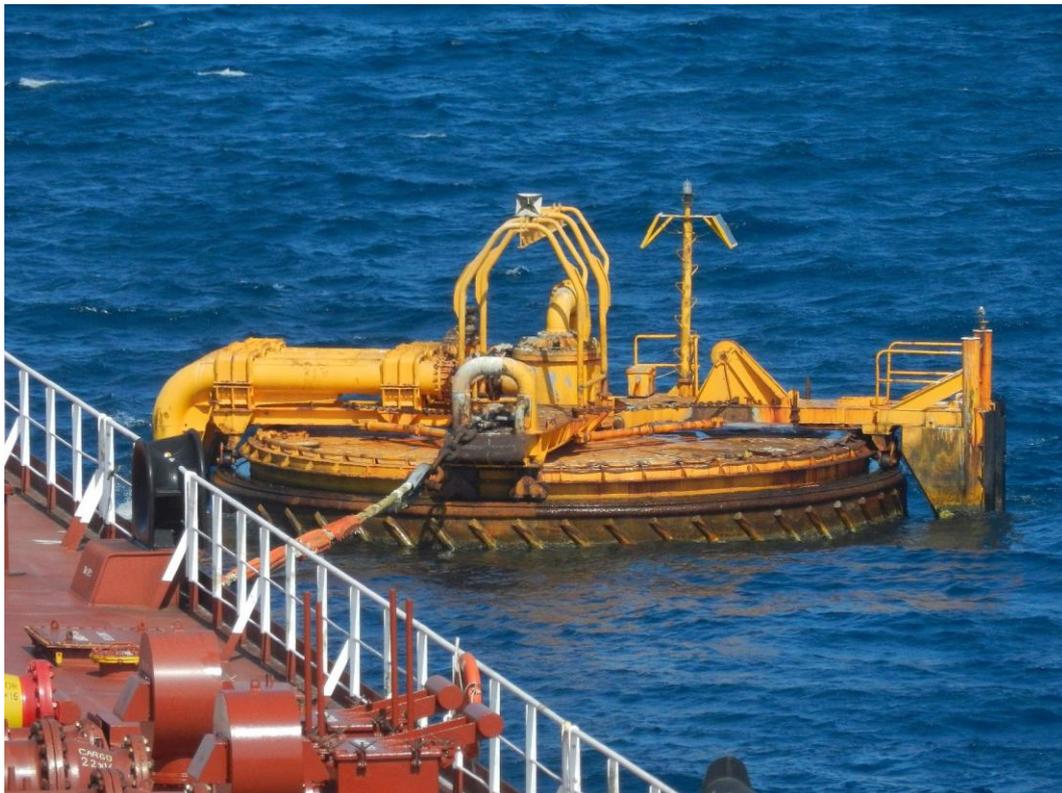


FIGURA 22
MONOBOYA

4. ALMACENAMIENTO

Tanto el petróleo como sus productos se almacenan en una serie de enormes tanques, cuyo diseño depende del producto, fundamentalmente de su presión de vapor, y de las condiciones de almacenamiento.

Para productos petrolíferos de elevada presión de vapor, gaseosos a temperatura ambiente (propano y butano) se utilizan recipientes a presión, para lograr que el producto esté almacenado en estado líquido a temperatura ambiente. Son cilindros horizontales con cabezas hemisféricas y diseñados con un espesor de sus paredes adecuado para soportar la presión del producto. Son costosos y su capacidad de almacenamiento relativamente pequeña. Estos “pepinos” o “cigarros” como se llaman en las refinerías se muestran en FIGURA 23.



FIGURA 23

ALMACENAMIENTO DE GASES A PRESIÓN

En la industria del petróleo se prefiere, en general, almacenar los productos a una presión ligeramente superior a la atmosférica. Por ello, los gases (propano, butano) se almacenan a temperatura por debajo de la ambiente, para que estén en estado líquido, en esferas, aisladas, elevadas sobre pilotes, con una válvula de seguridad para eliminar los gases producidos por el calentamiento. Estos gases se extraen, comprimen, condensan y reinyectan a la esfera, para evitar las pérdidas. Una de estas esferas se muestra en la FIGURA 24.



FIGURA 24

ESFERA DE ALMACENAMIENTO DE GASES

Los productos líquidos a temperatura ambiente y el crudo se almacenan en tanques cilíndricos de gran tamaño, de los cuales hay varios tipos.

Los tanques de techo fijo son cilindros muy anchos con un techo cónico o hemisférico, y un suelo de hormigón, en forma de cono invertido para poder drenar el agua que pueda acumularse en el tanque. Están dotados, entre muchos aparatos, de una válvula de seguridad que permite equilibrar la presión en el interior. Cuando el tanque se llena, los gases que ocupaban el tanque se comprimen, y la válvula de seguridad se abre y los elimina, evitando así una sobrepresión. Cuando el tanque se vacía, se produce un vacío en su interior, de nuevo, la válvula se abre y permite la entrada de aire, y por consiguiente evita que se cree un vacío. Si el producto es muy ligero las pérdidas son elevadas y puede haber además peligro de explosión. Por ello, los tanques de techo fijo se utilizan sólo para gas oil y productos más pesados. Un esquema básico de este tipo de tanques se muestra en la FIGURA 25 y el aspecto exterior en la FIGURA 26.

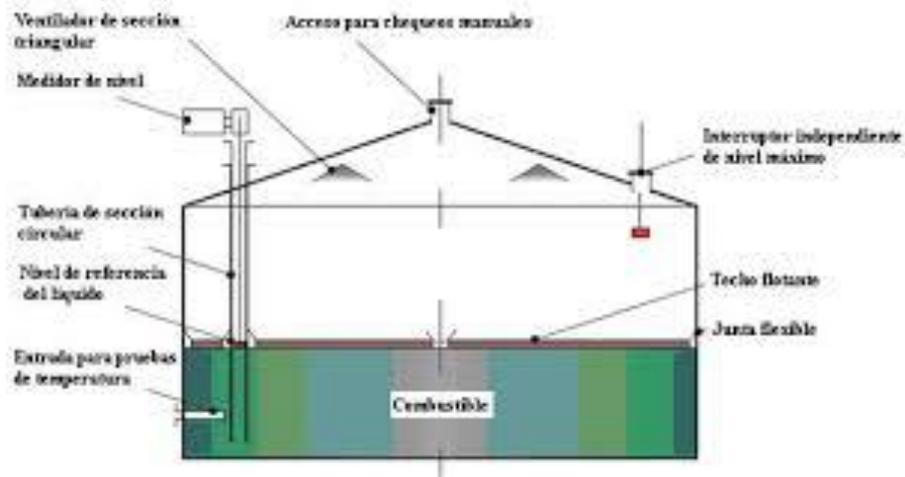


FIGURA 25
ESQUEMA DE UN TANQUE DE TECHO FIJO



FIGURA 26
TANQUE DE TECHO FIJO

Para evitar las pérdidas y peligros de explosión cuando se almacenan productos más ligeros o el mismo crudo, que tiene una cierta presión de vapor, se utilizan tanques de techo flotante. Son similares a los anteriores pero el techo flota sobre el líquido, y lleva un cierre flexible a lo largo del perímetro, para disminuir las pérdidas. El techo sube y baja durante la operación del tanque. No hay cámara, con lo cual se disminuyen las pérdidas y los peligros de incendio y explosión. Se usan, pues, para crudo, gasolina y queroseno. Un grupo de tanques de este tipo se muestra en la FIGURA 27.



FIGURA 27

TANQUES DE TECHO FLOTANTE

El parque de tanques de una refinería (tank farm) Incluye un gran número de tanques de todos los tipos, como se muestra en la FIGURA 28.



FIGURA 28
PARQUE DE TANQUES (TANK FARM)

5. REFINO

Una vez obtenido el petróleo, como hemos dicho una mezcla de innumerables compuestos orgánicos, es necesario convertirlo en una serie de productos, claramente definidos, destinados a su venta al público. Esto se consigue por medio de unas fábricas muy complejas, llamadas refinerías de petróleo, que por medio de unos procesos físicos y químicos convierten el crudo en los productos deseados. Las FIGURAS 29 a 31 nos muestran diversas vistas de una refinería de petróleo.



FIGURA 29
REFINERÍA DE PETRÓLEO

Una refinería actual consta de cientos de kilómetros de tuberías, de cables eléctricos o de instrumentos, recipientes, hornos, sistemas de refrigeración, estructuras metálicas o de hormigón, zapatas de cemento para soportar equipos, bombas, compresores, turbinas, etc. Funcionan continuamente durante años, y sólo interrumpen su producción para reparar equipos o realizar las sustituciones necesarias. El personal directo de control es muy reducido, ya que están altamente automatizadas, y con impresionantes sistemas de seguridad.



FIGURA 30
REFINERÍA DE PETRÓLEO



FIGURA 31
REFINERÍA DE PETRÓLEO DE NOCHE

Inicialmente cada unidad disponía de su sala de control, pero muy pronto se redujo el personal necesario montando salas de control únicas, presurizadas, con cientos de conexiones a los instrumentos críticos.

En la FIGURA 32 se muestra una sala de control actual, en la se reciben cientos de señales de los instrumentos críticos, cuya información se alimenta a una serie de ordenadores que permiten visualizar los datos, y asesorar a los operadores de control o incluso controlar la propia operación. La primera refinería española diseñada desde el principio para operar con control o supervisión con ordenador fue la de Tarragona, a su vez una de las primeras del mundo en utilizar esta técnica.



FIGURA 32

SALA DE CONTROL DE UNA REFINERÍA MODERNA

Para dar una idea de su envergadura podemos indicar que una refinería de petróleo consume más agua que petróleo, que alrededor de un 5% del crudo se autoconsume en la operación, el coste de una instalación moderna para una refinería de tamaño mediano (una refinería capaz de procesar unos 4 millones de TM de crudo al año), es superior a los 2000 millones de €. El personal necesario para su operación directa oscila entre 300 y 500 personas, incluyendo el personal directo de operación y los servicios de apoyo. El personal indirectamente relacionado con la refinería es muy grande, de tiempo en tiempo, durante las paradas programadas, miles de obreros especializados participan en las reparaciones necesarias. En el día a día cientos de trabajadores dan servicio a la instalación.

La estructura de refino actual no es por supuesto la de las instalaciones antiguas de principios del siglo XX.

La fase inicial del proceso del crudo es siempre una destilación, el crudo se calienta, y los vapores se condensan para producir ciertos cortes con rangos de destilación estrechos, que forman la base de los productos finales.

Inicialmente sólo se deseaba fabricar ciertos productos de gran interés, tales como el queroseno utilizado en iluminación en sustitución del aceite o “esperma” de ballena. El resto de componentes no era utilizable.

Posteriormente con el advenimiento del automóvil, el corte más ligero que el queroseno, la nafta comenzó a crecer en importancia.

De este modo, al crecer las posibles aplicaciones de otras fracciones del crudo, la complejidad del refino creció.

Las más antiguas refinerías, del principio del siglo XX, destilaban el crudo, y utilizaban sus productos destilados, pero se generaban enormes cantidades de residuo de salida difícil, con lo cual en ciertos lugares existen enormes lagos artificiales de residuos oxidados y solidificados. Por ejemplo, los hay en Bahrain (Golfo Pérsico) y Aruba (Mar Caribe). La propietaria de esta última, la Exxon (Standard Oil of New Jersey), en cierto momento, vendía esta moderna y compleja refinería por 1\$, si el comprador se hacía cargo de los daños ecológicos. La refinería, por supuesto, por razones logísticas y económicas está parada. En la refinería de Bahrain el problema no existe, pues, en su día, fue nacionalizada.

El paso siguiente fue la mejora de la calidad de los productos, así, la nafta de bajo índice de octano, se mejoraba por medio de un proceso conocido como Reformado Catalítico a gasolina de alto índice de octano.

Al no coincidir la estructura natural del crudo, con la estructura de productos, como se muestra en la Figura 33, para el mercado español, y evitar el exceso de residuos de difícil salida, se acudió a los procesos de “cracking”, que permitían romper las moléculas más largas en otras más cortas, ricas en olefinas. Dada la baja calidad e inestabilidad de estas moléculas, se cambió a procesos en los que el cracking se realiza con hidrógeno, para convertirlas en hidrocarburos saturados. **El efecto global de las actuales refinerías es aumentar, en el conjunto de productos, el contenido de hidrógeno con respecto al carbono del crudo inicial.**

Las refinerías de petróleo constan de tres áreas distintas:

Las plantas de proceso cuya misión es separar las distintas fracciones naturales del crudo, convertir las excedentarias en las deseadas, y controlar su calidad.

Las plantas de servicios, dedicadas a generar vapor, electricidad, enfriar el agua caliente, suministrar aire a presión, dar un servicio contra incendios, etc. La refinería puede recibir o enviar energía eléctrica a la red.

Las plantas dedicadas a evitar la contaminación ambiental, fundamentalmente plantas de tratamiento de efluentes, pero también desulfuración de gases, como por ejemplo, las plantas productoras de azufre.

Composición de un crudo típico, frente a la Estructura de la demanda en España, % peso

Demanda = 53 MMTons/año

Fracciones	<u>Crudo, %</u>	<u>Demanda, %</u>	<i>Productos</i>
Gases	2	4	<i>GPL</i>
Nafta	17	12	<i>Gasolinas</i>
Queroseno	6	13	<i>Combustible Jet</i>
Gasóleo	35	52	<i>Diésel</i>
Residuo	40	19	<i>Fuel Oil</i>

FIGURA 33

DIFERENCIA ENTRE PRODUCCION DIRECTA DEL CRUDO Y DEMANDA

Cada unidad de proceso es una estructura industrial tremendamente compleja, con numerosos equipos, y que en los diagramas simplificados se representan por simples rectángulos.

Estas unidades pueden ser de dos tipos, las que separan el petróleo sin modificarlo por medios físicos, generalmente por destilación, aunque también pueden utilizarse otras técnicas, como cristalización, adsorción, absorción, disolución, etc. Las que modifican la estructura del petróleo al someterlo a unas reacciones químicas, normalmente realizadas sobre reactores llenos de catalizador, pero a veces simplemente por medio de reacciones a temperatura elevada, superior a la descomposición de los componentes del petróleo. Es normal que estos procesos “químicos” vayan

unidos a instalaciones de separación que preparan la carga y fraccionan los productos resultantes.

La primera operación a la que es sometido el crudo es una destilación para separar selectivamente las diferentes fracciones.

La destilación que se realiza de forma continua consiste en calentar la carga a una temperatura suficiente, pero inferior a la de su descomposición (unos 375 °C). Se introduce ésta en una columna y mientras los vapores ascienden por ella están en contacto con un líquido formado por componentes más pesados. De esta manera los vapores se enriquecen con los productos más ligeros y el líquido descendente con los más pesados. Para maximizar el contacto entre las dos fases se emplean platos de destilación, tal como se muestra en la FIGURA 34.

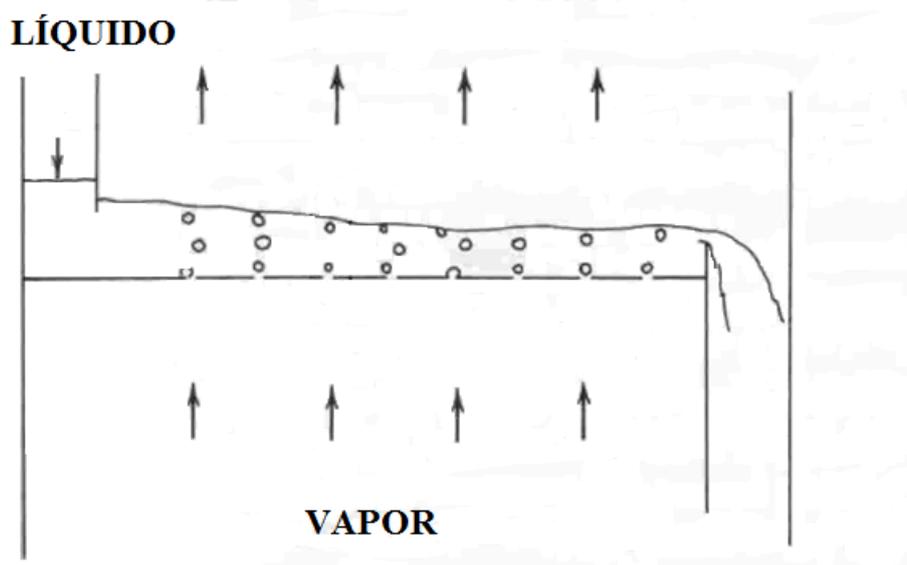


FIGURA 34

PLATO DE DESTILACION

El plato instalado dentro de la columna es circular y perforado, caso de la figura, o con ciertos aditamentos. A ambos lados existe una placa vertical que va de uno a otro plato para permitir que la fase líquida descienda. La parte superior, por la que desciende, tiene una pequeña pared de presa para forzar a que el líquido tenga un cierto espesor en el plato. El vapor burbujea a través de las perforaciones del plato e intercambia componentes con el líquido. El número de platos es variable depende de lo fina que se quiere que sea la separación de componentes, y de la diferencia de puntos de ebullición. Por ejemplo, una columna de destilación de crudo tiene entre veinte y cuarenta platos. Una de separación de productos químicos muy similares, por ejemplo, una separadora de isobutano y

butano se aproxima al centenar. El diámetro de la columna depende de la capacidad, así la de destilación de crudo tiene diámetros de poco más de un metro, para refinerías pequeñas, o más de una decena para las grandes refinerías, aunque para evitar grandes tamaños, las grandes refinerías disponen de varias unidades de destilación.

Para aumentar la flexibilidad de operación se han substituido los platos perforados por platos con pequeñas campanas o válvulas, como se muestra en la FIGURA 35. Estas últimas se abren cuando la carga de vapor es alta, y cierran cuando es baja para evitar que el líquido caiga al plato inferior.

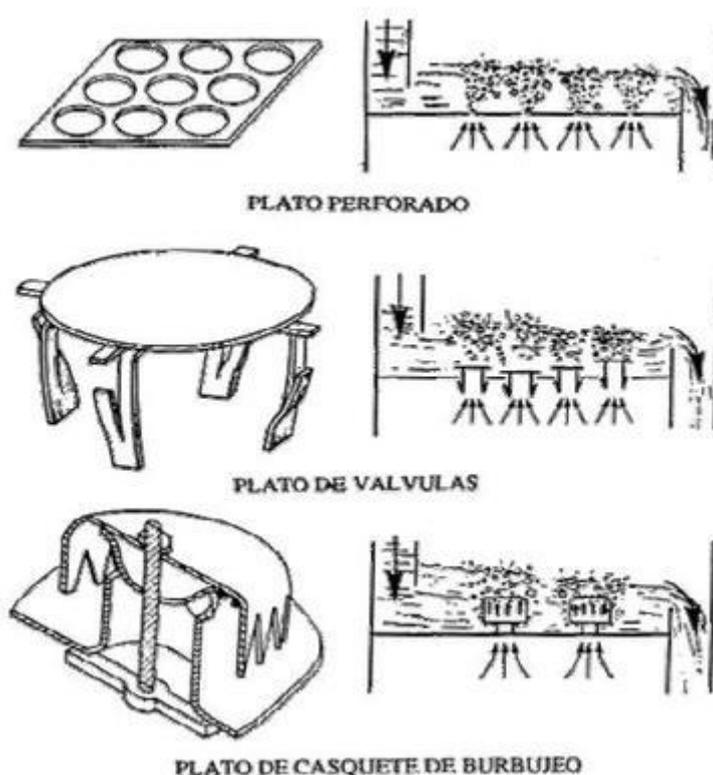


FIGURA 35
TIPOS DE PLATO

El primer paso, pues, en el tratamiento del crudo en una refinería es su destilación para separarlo en fracciones con un rango estrecho de puntos de ebullición. Según el tipo de crudo y la complejidad de la refinería, éste puede destilarse en una, dos o tres etapas (preflash, atmosférica o topping, y vacío). Lo más frecuente es que el primer paso sea una destilación a presión atmosférica.

En la unidad de destilación atmosférica el crudo se bombea desde el tanque de almacenamiento, se calienta intercambiando calor con los productos, primero, para ahorrar energía, y luego en un horno. La temperatura de salida la fija la posible descomposición térmica. Se introduce en una inmensa columna vertical, los vapores ascienden e intercambian materia con los líquidos en los platos para lograr que por cabeza salgan los productos ligeros, y por el fondo el residuo no destilable. En puntos intermedios se extraen diversas fracciones y para facilitar la operación global se inyecta vapor de agua. Cada corriente intermedia se trata en pequeñas columnas (strippers) para eliminar los componentes más ligeros, que se devuelven a la columna principal. Los vapores de cabeza se condensan, el condensado se extrae en parte como producto, y el resto se envía al plato de cabeza en forma líquida para facilitar la destilación, como se muestra en la FIGURA 36, de un modo muy simplificado.

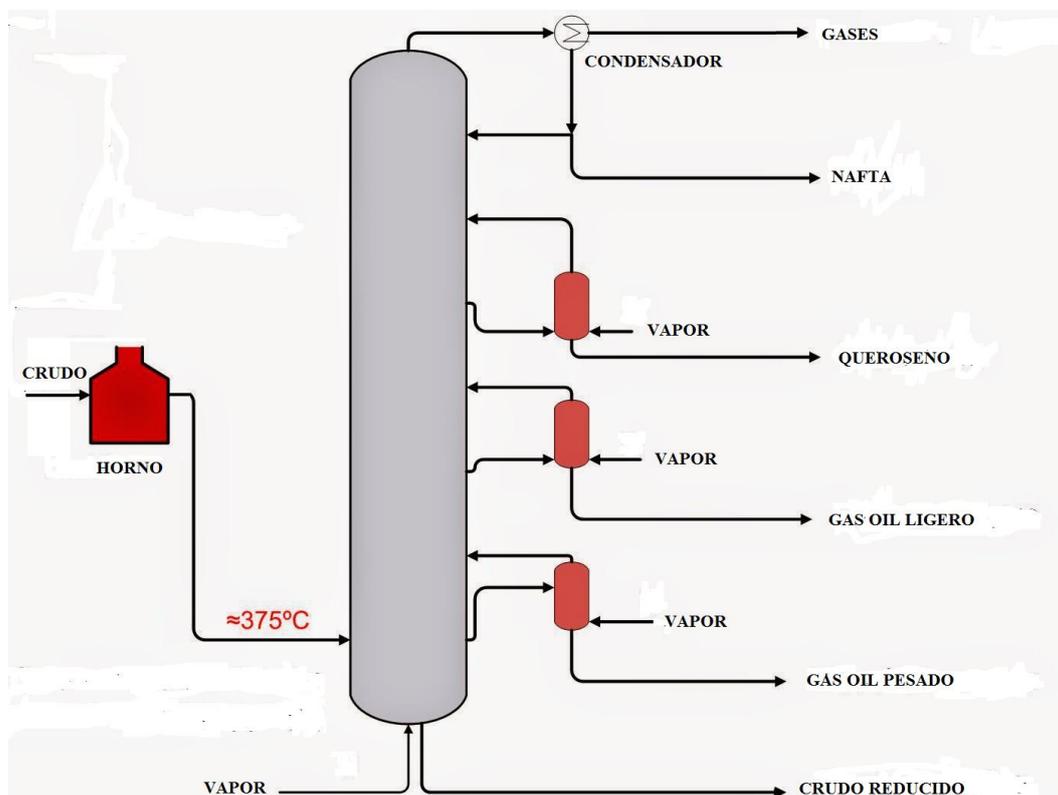


FIGURA 36
DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DE CRUDO

Cuando se quiere realizar un uso más exhaustivo del crudo, el residuo se envía a una segunda columna de destilación, similar a la de crudo pero que funciona a vacío gracias a unos eyectores de vapor situados en la cabeza, para poder obtener fracciones adicionales sin que se produzca

una descomposición térmica, como se muestra de nuevo de una forma simplificada en la Figura 37.

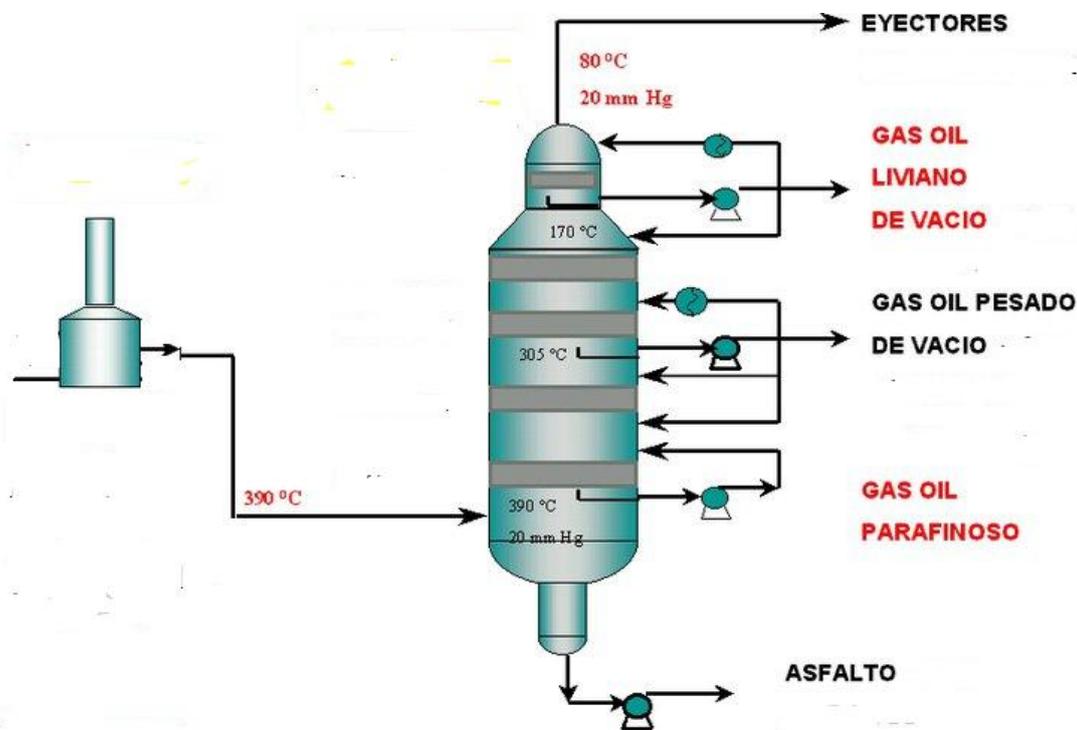


FIGURA 37
UNIDAD DE DESTILACIÓN A VACÍO DE CRUDO

Utilizando como base estas unidades el esquema de refino se complica por adición de otras que tienen dos objetivos, limpiar los productos de componentes no deseados, y cambiar su estructura para mejorar ciertas propiedades o incluso variar la longitud de las cadenas de hidrocarburos.

Así, por ejemplo, existe una unidad separadora de los gases de cabeza de la columna atmosférica; por fraccionamiento se separan el propano y el butano utilizados para usos domésticos, de la nafta, cuyo destino es: o alimentar plantas petroquímicas (fabricación de etileno o hidrocarburos aromáticos), o la producción de gasolina.

Sin embargo, la nafta producida a partir de la destilación de crudo tiene un índice de octano, del orden de 50 a 60, y los fabricantes de automóviles exigen, para aumentar la eficiencia energética de sus motores, índices mayores, hoy es normal la gasolina de 96 de índice de octano.

Ello hace necesario introducir una nueva unidad, el Reformado Catalítico, que convierte los naftenos y parafinas de bajo índice de octano en productos aromáticos e isoparafinas de alto índice de octano. La carga precalentada y mezclada con hidrógeno subproducto de la misma operación pasa a través de unos lechos de catalizador, que utiliza platino como principio activo, y en los que se realiza la conversión deseada. Del efluente se separa en primer lugar el hidrógeno, que se recircula a la carga, y el líquido se destila para separar el propano y el butano, subproductos de la operación, que se envían a la planta separadora de gases antes citada, y como fondo de columna, el llamado “reformado catalítico” base de la formulación de gasolinas o de la fabricación de productos aromáticos para la petroquímica. Un esquema de esta unidad se encuentra de la FIGURA 38.

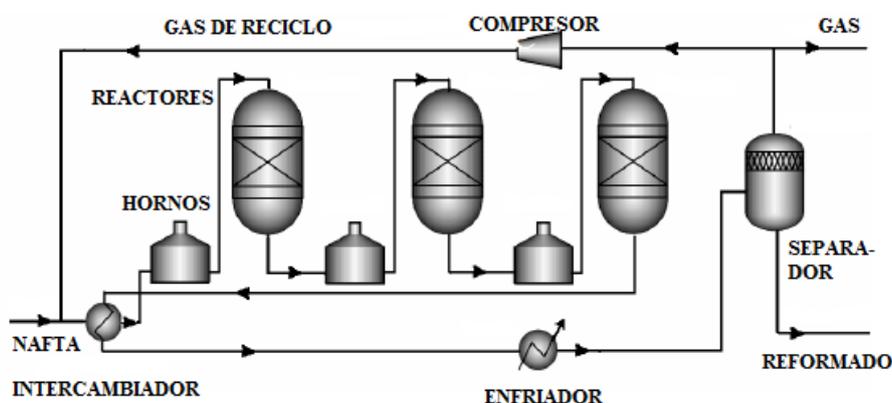


FIGURA 38
REFORMADO CATALÍTICO

La primera extracción de la columna de crudo es normalmente queroseno, inicialmente el producto estrella utilizado para la iluminación a fines del siglo XIX, con un período menos brillante posteriormente como combustible de tractores, y, hoy de nuevo, en el candelero, como combustible para reactores de aviación. Casi todos los aviones actuales, sean turbo reactores, o de hélice, consumen queroseno para su funcionamiento. Por supuesto, antes de su venta el producto es hidrotratado para eliminar azufre, olefinas y otros productos que podrían afectar el funcionamiento de las turbinas. De nuevo, la unidad tiene un reactor con un catalizador adecuado, por el cual pasa la carga precalentada y mezclada con hidrógeno. El producto se estabiliza en una columna de destilación, y se envía a los tanques finales, como se muestra en la FIGURA 39.

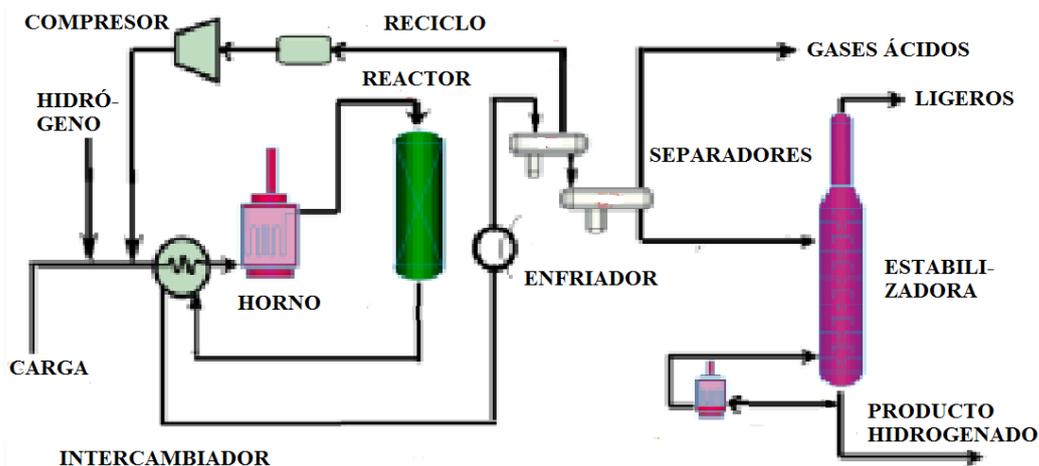


FIGURA 39
PLANTA DE HIDROTRATAMIENTO

La siguiente (o fracciones siguientes), constituyen el gas oil que es hidrotratado en una unidad de hidrogenación idéntica a la utilizada para el queroseno, y es utilizado como combustible en motores diesel o como combustible doméstico.

El residuo de la destilación atmosférica era inicialmente utilizado como combustible en las calderas de los barcos y en generación eléctrica, pero debido a la demanda de productos ligeros y el exceso de residuo, se comenzó a procesar en las columnas a vacío antes indicadas. Los productos destilados o extraídos del residuo sirven para producir aceites lubricantes, parafinas y asfalto, pero como el uso de estos productos es limitado, los destilados a vacío se alimentan hoy a unidades que rompen las moléculas, las unidades de “cracking”.

Los procesos de “cracking” más antiguos consistían en romper las moléculas simplemente por acción del calor, así podemos citar el cracking térmico, el “visbreaking” y la coquización, aún utilizados hoy para reducir el volumen de residuos pesados, pero el gran avance en el “cracking” fueron las unidades de cracking en lecho fluidizado (FCC). El gas oil pesado caliente se inyecta en un lecho de catalizador en estado fluidizado, allí se rompen las moléculas y generan un crudo artificial rico en olefinas, que se destila para obtener las fracciones deseadas. El catalizador se desactiva rápidamente al ser recubierto por el coque generado en la reacción, y se reactiva en un regenerador por combustión con aire. Un esquema de esta unidad se muestra en la FIGURA 40.

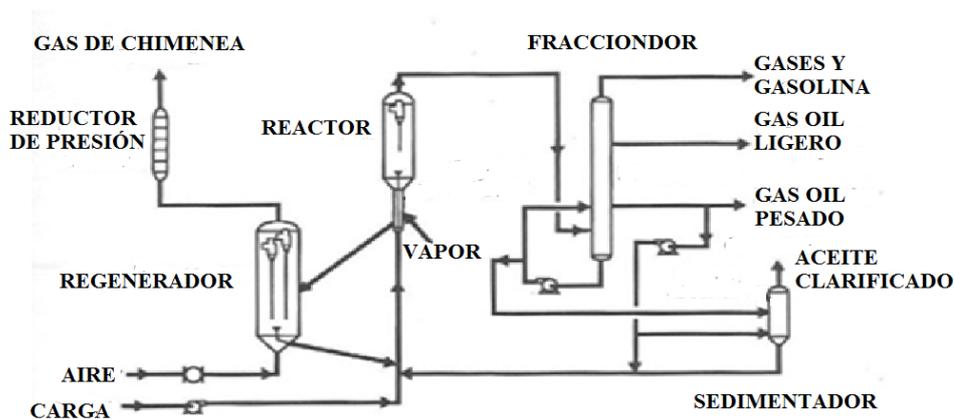


FIGURA 40

UNIDAD DE CRACKING EN LECHO FLUIDIZADO (FCC)

Un inconveniente de los productos del FCC es que contiene olefinas, las cuales son inestables y producen degradación de los productos. Una solución es hidrogenar los productos para eliminar los dobles enlaces y eliminar los contaminantes, pero actualmente se utilizan cada vez más unidades de “Hydrocracking” en las cuales la reacción se realiza en presencia de hidrógeno y a alta presión. La carga mezclada con hidrógeno se desulfura en un primer reactor y se somete a “cracking” en un segundo reactor. Un diagrama de esta unidad se muestra en la FIGURA 41.

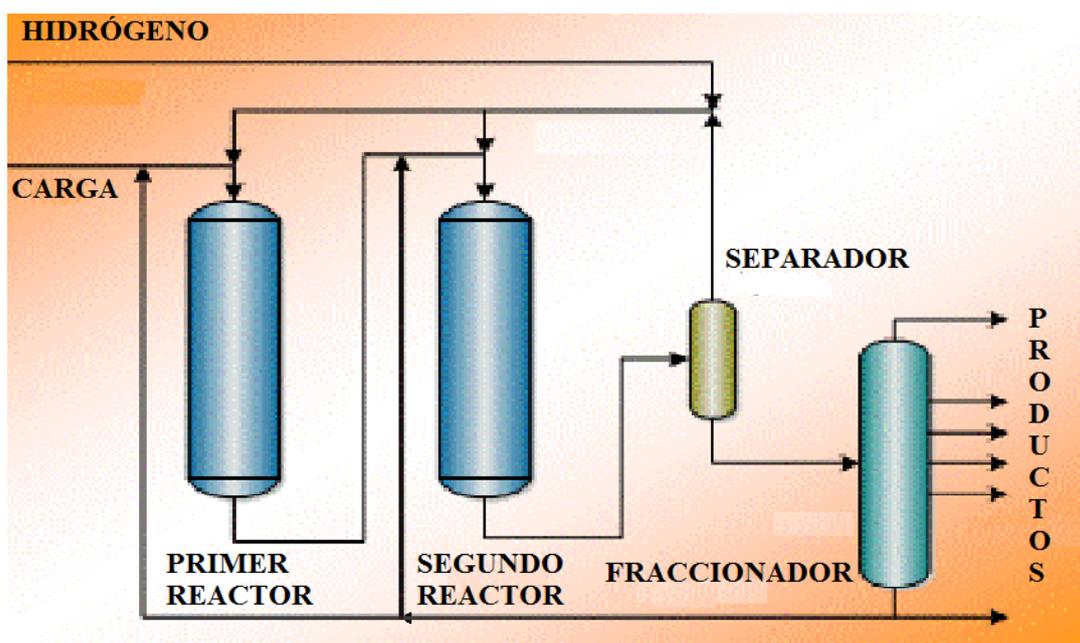


FIGURA 41

HYDROCRACKER

Una refinera moderna incluye numerosas unidades de menor cuantía dise~nadas para mejorar la calidad de los productos o reducir la contaminaci3n ambiental. Un esquema sencillo de una refinera compleja se muestra de la FIGURA 42.

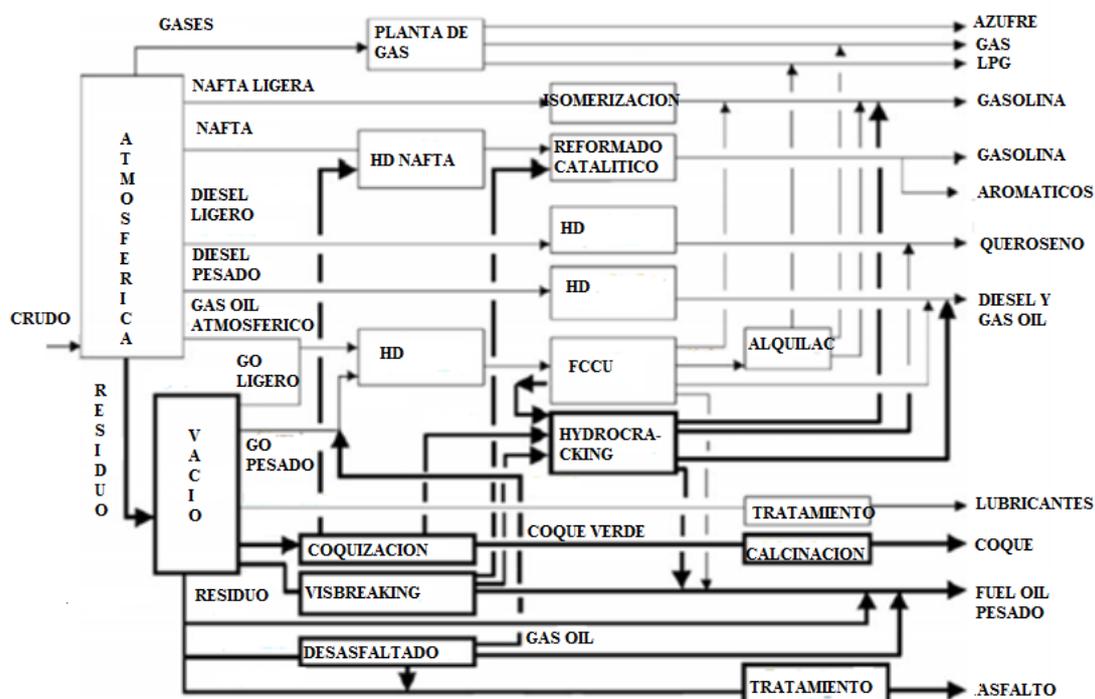


FIGURA 42
REFINERÍA DE PETR3LEO

La situaci3n de la industria de refino del petr3leo en Espa~na se muestra en la FIGURA 43, tres compa~nias son propietarias de las refineras espa~nolas, REPSOL de cinco (La Coru~na, Bilbao, Puertollano, Tarragona y Cartagena), CEPSA de tres (Algeciras, Huelva y Tenerife) y BP de una, la refinera de Castell3n. Recientemente, por razones ecol3gicas, CEPSA ha cerrado la refinera de Tenerife. De todas ellas parten una red de oleoductos destinados a enviar los productos a los centros de consumo. Un oleoducto suministra el crudo a la refinera de Puertollano. Inicialmente partía del puerto de Málaga, pero hoy su cabecera est1 en Cartagena, de nuevo por razones ecol3gicas

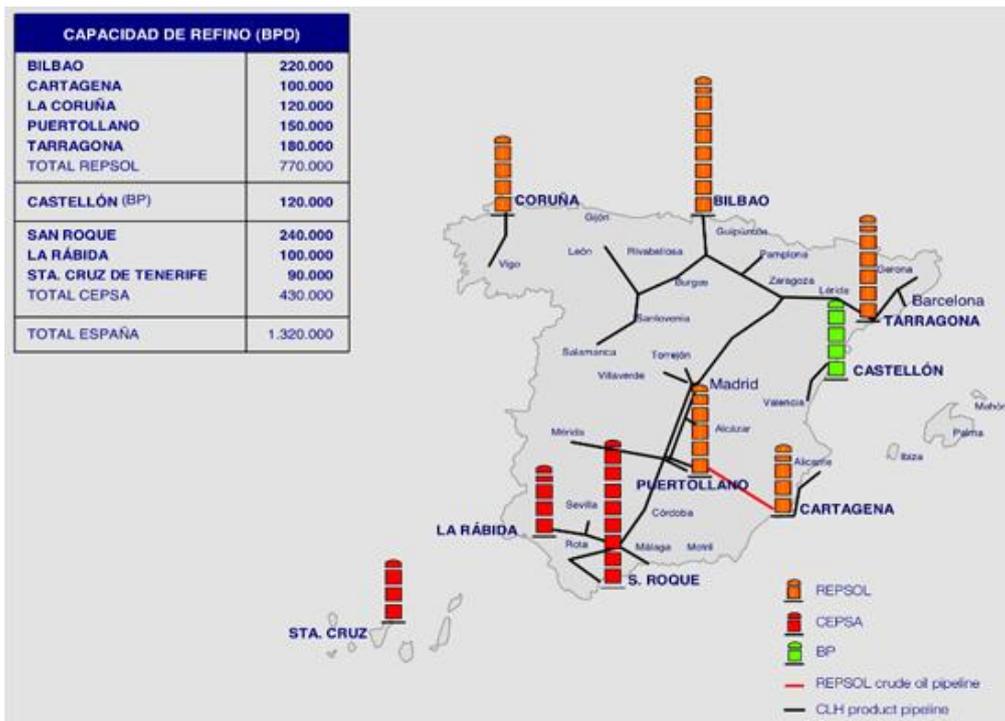


FIGURA 43
EL REFINO EN ESPAÑA

6. UTILIZACIÓN

El petróleo es actualmente la base de la civilización occidental, no sólo por su utilización como combustible, sino sobre todo por ser la base de una inmensa industria petroquímica.

Los productos de las diferentes unidades, antes citadas, se mezclan en las proporciones adecuadas para que los productos finales cumplan las especificaciones deseadas. Esto puede realizarse moviendo fracciones almacenadas en tanques intermedios a los tanques finales y procediendo a su homogeneización. Actualmente la mezcla de los productos más voluminosos se produce en línea con instrumentos que monitorizan la mezcla y son controlados por un ordenador. A veces es necesario el ajuste del producto final, antes de su expedición, añadiendo pequeñas cantidades de algún componente.

Los productos más importantes son:

LPG

Está formado por los gases licuables de petróleo, propano y butano. Proceden del tratamiento del crudo a pie de pozo, y se producen en diversas unidades de proceso durante el refinado (unidad de destilación atmosférica, reformado catalítico, cracking). Se utilizan fundamentalmente para usos domésticos.

GASOLINAS

Se fabrican a partir de las naftas producidas en la unidad de destilación atmosférica y en las operaciones de cracking, una vez procesadas para adquirir el número de octano adecuado (reformado catalítico, isomerización, alquilación). Se utilizan como carburantes en los motores de combustión interna.

QUEROSENO

Se produce en la unidad de destilación de crudo y como producto de hydrocracking. Es un producto que debe de ser tratado cuidadosamente, pues sus especificaciones son muy severas. Se utiliza como combustible de las turbinas a reacción.

GAS OIL

Se produce a partir de las fracciones obtenidas en la unidad de destilación de crudo o por cracking. Debe de ser desulfurado y desnitrificado para poder ser utilizado en automoción. Una parte se usa como combustible para calefacción doméstica.

FUEL OIL

En las refinerías modernas su producción es muy reducida ya que tiene pocas aplicaciones, sólo como combustible naval en barcos antiguos o en generación eléctrica. Se produce en la destilación a vacío. Los barcos actuales usan una mezcla de gas oil con componentes residuales en sus motores diesel.

ASFALTO

Se produce como fondo de la unidad de vacío y como subproducto en la fabricación de aceites lubricantes.

LUBRICANTES

Se obtienen tras ser procesados en varias unidades altamente especializadas. Aparte de los aceites lubricantes para automoción o engrasado de máquinas, estas unidades producen asfalto y parafinas.

PETROQUÍMICA. ETILENO Y BENCENO

La inmensa industria petroquímica se basa en dos moléculas químicas, el etileno, producido por cracking de la nafta del petróleo o del etano separado del gas natural, y el benceno, subproducto del refino de petróleo, pues se fabrica a partir del producto del reformado catalítico.

A partir de estos elementos se producen plásticos, caucho, pinturas, fibras, pinturas, etc.