

A PROXIMACIÓN A LA REFINACIÓN DE PETRÓLEO

¹María Ysabel Vilchez Pérez

Palabras Clave:

Refinación, Refinería, Petróleo, Plantas de Procesos, Esquema de Refinación, Margen de Refinación, Destilación, Conversión, Tratamiento, Ambiente.

Introducción

El petróleo es uno de los recursos naturales de mayor impacto en el desarrollo de los países. A pesar de ser un combustible fósil no renovable y que genera una importante contaminación a nivel global, sigue siendo una de las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad.

El petróleo es un compuesto químico constituido fundamentalmente por átomos de carbono e hidrógeno. Infinidad de productos pueden obtenerse a partir del mismo, sin embargo para conseguirlos es necesario transformar este insumo desde su estado natural a otro en el que pueda ser utilizado. Entre los usos más comunes del hidrocarburo, se destacan:

- Como combustible² : gas natural, GLP (Gas Licuado del Petróleo), gasolina, diesel, jet fuel, coke, residual (heating oil), etc
- Como materia prima³ : para la obtención de monómeros y compuestos que dan origen a un cúmulo de productos que forman parte de la vida cotidiana actual tales como, envases y objetos plásticos, contenedores para la industria manufacturera, fertilizantes, textiles, cosméticos, medicinas, etc.

Si bien la extracción y acondicionamiento del petróleo contenido en los yacimientos conlleva toda una tecnología de alta complejidad y severidad, la transformación del petróleo en combustibles e insumos para petroquímica es aún más complejo, intensivo y severo. Este proceso de transformación se llama Refinación.

Desarrollo

Refinar petróleo es transformar una mezcla compleja de hidrocarburos en varios productos con alto valor comercial a través de operaciones de separación y cambio de estructura molecular.

El petróleo, también llamado en el argot refinero "crudo", es una mezcla de moléculas de carbono e hidrógeno de diferente longitud, y por ende, diferente peso molecular y punto de ebullición, algunas de las cuales pueden estar asociadas con átomos de nitrógeno, oxígeno, azufre y contener metales tales como vanadio, níquel, hierro, etc, que por lo general se consideran impurezas y deben ser removidos. Ver Tabla 1

¹ Ingeniero Químico egresada de la Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela, con Maestría en Refinación, Gas y Petroquímica de la Universidad Metropolitana en convenio con el Instituto Francés del Petróleo, Caracas. Más de 28 años de experiencia en el sector energético, específicamente en refinerías de petróleo, mejoradores de crudo y consultoras de ingeniería para el desarrollo y coordinación de proyectos del área petrolera.

² ENSPM Formation Industrie citado por J.P.Wauquier. (1995) pp 8 y 9

³ Portal "tu gobierno en un solo punto" (2006) Petroquímica pp 3; J.P.Wauquier (1995) pp 8

La calidad de un crudo depende en gran medida de su origen⁴, en función de este sus características varían: gravedad API⁵, color, viscosidad⁶, contenido de azufre, punto de fluidez, concentración de diversos metales, etc.

Por lo general los crudos más livianos (con mayor gravedad API⁴) son más fáciles de procesar porque requieren menos energía para separar los compuestos valiosos que él contiene y porque poseen menor cantidad de contaminantes que deben ser removidos.

En la **Tabla 1** se muestran los rangos típicos de la composición elemental de un crudo que alimenta a una refinería.

Elemento	%pp (% peso/peso)
Carbono	83 – 87
Hidrógeno	10 – 14
Azufre	0.05 – 6.0
Nitrógeno	0.1 – 2.0
Oxígeno	0.05 – 1.5
Metales (Níquel, Vanadio, Calcio, etc.)	ppm (partes por millón)

Tabla 1 Composición elemental típica de un crudo⁷

Como se indicó anteriormente, hay una gran variabilidad en las características físicas y químicas de los crudos de un campo de producción a otro, e incluso, dentro de un mismo yacimiento. Esto se debe a que, aunque están constituidos por pocos elementos químicos (Tabla 1), la configuración de las múltiples moléculas que se pueden formar con esos pocos átomos genera diferentes tipos y rendimientos de productos que se obtienen de la destilación del petróleo en función del intervalo de temperaturas de la fracción y del número medio de átomos de carbono que la componen. Ver **Figura 1**

Figura 1

Entre las moléculas de hidrocarburo que están presentes en los crudos se encuentran:

- Parafinas (cadenas lineales saturadas de hidrocarburos)
- Naftenos (cadenas cíclicas y saturadas de hidrocarburos)
- Aromáticos (cadenas cíclicas e insaturadas de hidrocarburos)
- Mixtos / Combinados (Ver Figura 2)

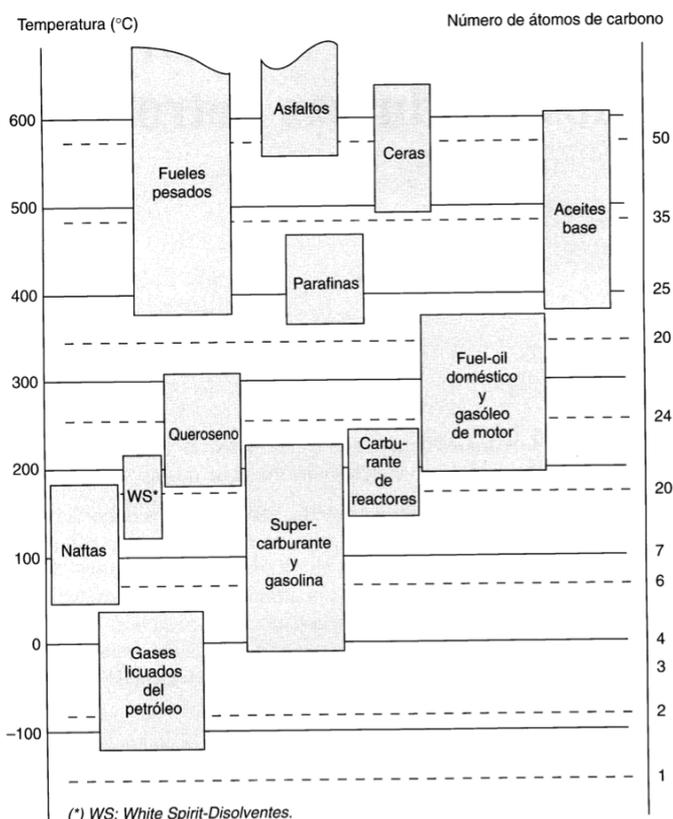


Figura 1 Principales Productos Petrolíferos, intervalos de temperatura de ebullición y de número de átomos de carbono⁸

⁷ Beicip - Cepet (1992) pp 5

⁸ ENSPM Formation Industrie citado por J.P.Wauquier. (1995) pp 2

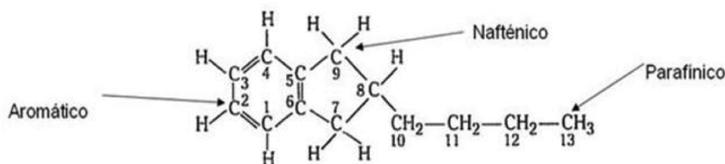


Figura 2 Estructura de moléculas de hidrocarburos⁹

De esta manera, dado que el crudo es una mezcla de cadenas de hidrocarburos de diferentes configuraciones y longitudes con diversos tipos y concentración de contaminantes, la función de una refinería es extraer de él los compuestos valiosos (mediante procesos de separación), transformar los compuestos menos valiosos en compuestos de mayor calidad (mediante procesos de conversión media y profunda), eliminar de todos los cortes los contaminantes o mejorar su calidad (mediante procesos de hidrotreatmento, endulzamiento, reformación, isomerización) y asegurar la protección del medio ambiente (desalación, deshidratación y manejo de subproductos y desechos en general tales como gases ácidos, lodos petrolizados y aguas aceitosas)¹⁰. Adicionalmente las operaciones de mezcla, almacenamiento y despacho de los insumos y los productos son parte integral de las actividades que se desarrollan en una Refinería.

Para realizar las tareas antes descritas se requieren diversos procesos industriales algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- Separación en diferentes cortes,
 - Destilación Atmosférica
 - Destilación al Vacío
 - Desafaltado
- Transformación de compuestos menos valiosos en cortes de mejor calidad (conversión media y profunda),
 - Craqueo catalítico en lecho fluido (FCC)
 - Hidrocraqueo
 - Coquificación Retardada (Delayed Coker)
- Mejoramiento de la calidad de los cortes,
 - Reformador Catalítico
 - Isomerización
 - Hidrotreatmento (desulfurización)
 - Tratamiento Merox
 - Alquilación
- Protección del medio ambiente
 - Sistema de tratamiento de gases ácidos
 - Sistema de recuperación de azufre
 - Sistema de tratamiento de efluentes de procesos y de lodos petrolizados
- Mezcla y despacho

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS TÍPICOS DE UNA REFINERÍA¹¹

Separación en diferentes cortes

Destilación Atmosférica

Es el primer proceso al que se somete el crudo en una Refinería. Antes de introducirlo al horno para elevar su temperatura, pasa por un desalador / deshidratador para removerle sales y agua que producen inconvenientes aguas abajo del proceso. Posteriormente, la corriente caliente es bombeada a la torre de destilación que opera a presión atmosférica. La alta temperatura y el diferencial de presión que se genera cuando la corriente ingresa a la torre, provoca una separación flash (instantánea) que permite, mediante salidas laterales de la destiladora y un adecuado perfil de presión y temperatura en ella, obtener los diferentes cortes o fracciones de acuerdo a las temperaturas de ebullición características. Es así como se consiguen las corrientes de gas, naftas, diesel, kerosene, gasóleos y residuales.

Destilación al vacío

Este proceso suele complementar el anterior y se le parece, solo que la presión de operación en la torre es menor a la atmosférica por lo se favorece la extracción de los destilados pesados que pudiera contener el residual de la destilación atmosférica. Estos destilados se mejoran y se incorporan a los "pool" de mezclas de productos finales. El residual de vacío contiene la mayoría de los contaminantes y es utilizado para la fabricación de asfalto o como carga para otros procesos de transformación.

Desafaltado

Es una operación de extracción líquido-líquido que permite recu-

⁹ J.P.Wauquier (1995) pp 40

¹⁰ J.P.Wauquier (1995) pp 362

¹¹ J.P.Wauquier (1995) Cap 10 pp 361-408

perar del residuo de vacío los últimos hidrocarburos que aún son fácilmente transformables en productos de mayor valor. El asfalto es el residuo de esta operación y concentra la mayor parte de los contaminantes del crudo.

Transformación de cortes pesados en cortes de mejor calidad

Craqueo Catalítico en lecho fluido (FCC)¹²

La reacción en esta unidad se lleva a cabo en fase gaseosa y baja presión, se utiliza el catalizador como portador de calor. El objetivo de este proceso es transformar los cortes de gasóleo atmosférico y de vacío en gasolinas y diesel (productos de mayor valor). Como subproducto del proceso de craqueo (o ruptura de enlaces moleculares) que ocurre, se generan olefinas las cuales son fuente de alimentación de las plantas de Alquilación.

Hidrocraqueo¹³

Es el proceso por excelencia para la producción de destilados y gasóleos de alta calidad a partir de las corrientes de gasóleo pesado de vacío, entre otras. La combinación de hidrógeno, catalizador y condiciones de operación, permiten convertir gasóleos de baja calidad procedentes de otras operaciones de craqueo o de la torre de vacío en destilados de buena calidad y gasolina.

Coquificación retardada

(Delayed Coking):¹⁴

Este proceso, también llamado "del fondo del barril", permite convertir los residuales de crudos pesados y con alto contenido de azufre en combustibles, mediante craqueo térmico.

Mejoramiento de la calidad de los cortes

Reformación catalítica¹⁵

La alimentación a un reformador catalítico es normalmente la nafta pesada procedente de la destilación atmosférica la cual contiene mayoritariamente parafinas y naftenos. La función de la unidad de reformación catalítica es convertir estos compuestos en aromáticos, los cuales incrementan el octanaje de la gasolina y por ende su valor. La reacción se lleva a cabo en presencia de un catalizador y genera hidrógeno que puede ser utilizado en otros procesos que lo requieren, como el hidrotratamiento

Isomerización¹⁶

El proceso de isomerización permite la conversión de los cortes de C5 y C6 (pentanos y hexanos presentes en el corte de nafta liviana de destilación atmosférica) en sus isómeros, los cuales poseen un mejor octanaje. Por ejemplo, si el n-pentano tiene un octanaje de 62, el isopentano puede llegar a 92. El proceso se lleva a cabo en presencia de un catalizador.

Hidrotratamiento¹⁸

Es una unidad que elimina contaminantes en las corrientes que alimentan a otras plantas de refinación y/o en las corrientes que van a despacho y venta. Básicamente el proceso consiste en elevar la temperatura del corte a ser tratado en presencia de hidrógeno y de un catalizador para lograr:

- El desprendimiento del azufre y del nitrógeno (contaminantes reglamentados en las corrientes de gasolina y diesel)
- El depósito de metales (contaminantes de los catalizadores utilizados en procesos aguas abajo tales como isomerización, reformación, etc)
- Saturación de olefinas, naftenos y aromáticos (que son regulados en los cortes de

gasolinas o interfieren en las calidades de las corrientes de diesel)

Tratamiento Merox¹⁹

El tratamiento UOP* Merox* es un proceso catalítico para el mejoramiento de las fracciones del petróleo al remover el azufre presente como mercaptano (extracción Merox) o convertir los mercaptanos en disulfuros (endulzamiento Merox). Se utiliza para tratar el LPG, los líquidos del gas natural, naftas, gasolinas, kerosenes, diesel, entre otros cortes.

Alquilación²⁰

La planta de alquilación promueve la reacción entre el isobutano y las olefinas procedentes del craqueo catalítico (FCC) para producir isoparafinas de alto octanaje. Esta reacción ocurre en presencia del ácido fluorhídrico (HF) que se desempeña como catalizador.

Protección del Medio Ambiente²¹

Los gases ácidos conformados principalmente por sulfuro de hidrógeno (H₂S) proceden fundamentalmente de las unidades de hidrotratamiento, aunque también provienen de las unidades de craqueo. Estos gases pasan a la unidad de tratamiento con aminas

Tratamiento de Gases Ácidos:

Lavado con aminas

En esta unidad los gases, antes de su utilización como gas com-

¹² J.P.Wauquier (1995) Cap 10 pp 378

¹³ Leffer, W. (1979) pp 81-83

¹⁴ Meyer, R. (2004) Cap 12.2

¹⁵ Leffer, W. (1979) pp 66

¹⁶ Leffer, W. (1979) pp 121

¹⁷ Isómeros: compuestos que tienen la misma fórmula molecular, pero diferente estructura química por lo que presentan diferentes propiedades.

¹⁸ Leffer, W. (1979) pp 113; J.P.Wauquier. (1995) pp 398

¹⁹ Meyer, R. (2004) pp 11.31

²⁰ Meyer, R. (2004) pp 1.34

²¹ J.P.Wauquier. (1995) pp 400

bustible, pasan por un lavado con aminas (MEA, DEA) para extraerle el H₂S a la fase gas. La amina rica en H₂S es regenerada y enviada de nuevo a los absorbedores. El H₂S se envía a la unidad de recuperación de azufre (Proceso Claus).

Recuperación de Azufre: Unidad Claus

Mediante un proceso de combustión, el H₂S en presencia de un catalizador y por medio de la reacción de Claus se transforma en azufre. El azufre en fase vapor se condensa y almacena en forma líquida o sólida para su venta.

Tratamiento de efluentes de procesos y lodos petrolizados

Las aguas procedentes de las operaciones que se realizan en la refinería se colectan mediante un sistema exclusivo y se dirigen a la planta de tratamiento para su acondicionamiento a los estándares ambientales antes de su disposición final. En esta unidad se separan los lodos petrolizados arrastrados en las corrientes mediante separadores API, equipos de flotación con aire disuelto (DAF), tanques de floculación, aireación y clarificación. Los lodos petrolizados se someten a centrifugación, estabilización y solidificación para reducir al mínimo su volumen y facilitar su disposición final en lechos de relleno.

Mezcla y Despacho

Un proceso de igual importancia al resto de las operaciones unitarias es el almacenamiento de los cortes y la realización de la mezcla de los diversos componentes de manera de obtener los productos finales para la venta en concordancia con las calidades pactadas con el cliente. En los patios de tanques (tank farm) de las refinerías se almacenan los cru-

dos e insumos que alimentan las unidades, los cortes intermedios y los productos finales para la venta tales como diesel, residual, gasolina, LPG, gas combustible, coque, azufre, entre otros.

ESQUEMA DE PROCESO DE UNA REFINERÍA TÍPICA²²

Cada refinería exhibe su propio esquema de proceso dado que factores de diversa índole influyen en su diseño, por ejemplo, tipo de crudo que tienen disponible para su procesamiento (crudo liviano, mediano o pesado), factores económicos (disponibilidad de financiamiento para las elevadas inversiones requeridas), geográficos (cercanía a centros de producción y despacho), estratégicos (facilidad para establecer sinergias de corrientes con otras instalaciones petroleras), ambientales (zonas protegidas, turísticas, pobladas, etc), entre otras consideraciones. A manera de ejemplo, en la Figura 3 se muestra el esquema de una Refinería y a continuación se describe la secuencia de operaciones unitarias que pudieran conformarla.

1. El crudo procedente del patio de tanques de la Refinería tiene un contenido de agua y sedimentos inferior al 1% p/p, sin embargo, antes de ingresar al horno de la destiladora atmosférica debe pasar por un desalador para llevar la cantidad de agua y sales a niveles inferiores a 10 ppm de forma de evitar daño a los equipos en las siguientes fases del proceso. Luego de ser desalado y deshidratado se bombea al horno para calentarlo a una temperatura que permita la separación de sus componentes livianos, intermedios y pesados en una torre de destilación que opera a

presión atmosférica.

2. Los componentes livianos (C1 a C4) se envían a unidades que les retiran los elementos contaminantes antes de disponer la corriente a venta:

- Los gases C1 (metano) y C2 (etano) se dirigen a las plantas de aminas para retirarle los compuestos de azufre (H₂S). La corriente rica en H₂S va a la planta de tratamiento de gases ácidos (Claus) para el endulzamiento del gas y la recuperación del azufre.
- El LPG (C3 -propano- y C4 -butano-) se envía a la planta de merox para el retiro de los compuestos azufrados.

3. Los cortes de nafta liviana y pesada se dirigen a hidrotatamiento para eliminar compuestos azufrados y nitrogenados (mercaptanos, tiofenos, aminas, etc) que son contaminantes cuyas concentraciones máximas están sometidas a regulaciones ambientales, adicionalmente muchos de esos contaminantes desactivan los catalizadores utilizados en los procesos que posteriormente reciben estos cortes, tales como isomerización y reformación. En la unidad de hidrotatamiento se sustituye el azufre y/o nitrógeno por hidrógeno y en otros casos, como en la nafta catalítica, además de lo anterior, se eliminan dobles enlaces dobles (diolefinas,

²² J.P.Wauquier. (1995) Cap 10 pp 361-408; Beicip - Cepet (1992) Cap 2 Petroleum & Petroleum Cuts Characteristics; Leffer, W. (1979) Cap III,IV,VI,VIII,IX,XI,XV,XVI, pp 23, 64; Meyer, R. (2004) Caps 1, 3, 4, 8, 9, 11.

las cuales son muy inestables y tienden a polimerizar) mediante inyección de hidrógeno (convertir di-olefinas en olefinas). Para que los procesos antes descritos ocurran es necesaria la presencia de catalizadores y de condiciones operacionales especiales.

Una vez que las naftas livianas y pesadas procedentes de la destilación atmosférica salen del hidrotreamiento, continúan hacia procesos para mejorar el octanaje de las corrientes. La nafta liviana (C5) es bombeada hacia la planta de isomerización donde se convierten parafinas (n-C5: n-pentano), que tienen un octanaje alrededor de 60, en iso parafinas (i-C5, iso-pentano) con octanaje alrededor de 90. La nafta pesada se dirige a la planta de reformación catalítica. El objetivo de esta unidad es transformar molecularmente la nafta pesada con bajo octanaje en un componente de alto octanaje para la gasolina. Allí se convierten las n-parafinas (n-C7) en i-parafinas, aromáticos o nafténicos para incrementar el octanaje del corte. Como este proceso genera hidrógeno como sub-producto, esa corriente de H₂ es utilizada en hidrotreamiento para la sustitución del azufre por H₂ bajo un concepto de integración energética y de corrientes.

4. Los cortes de jet y diesel se envían a tratamiento merox e hidrotreamiento respectivamente para retirarles los compuestos azufrados y otros contaminantes de forma de alcanzar la calidad re-

querida antes de disponer la corriente a venta.

5. Los cortes de gasoil atmosférico y de vacío se desvían a la planta de fraccionamiento catalítico FCC (Fluid catalytic cracking) para convertirse, mediante craqueo, en productos más livianos, tales como nafta y gasoil catalítico. La corriente de gasolina es de menor calidad que las procedentes de la destilación, pero luego de pasar por las unidades de hidrotreamiento es mejorada mediante retiro de los compuestos azufrados e hidrogenación de las diolefinas a fin de lograr la especificación requerida para integrarse al pool de gasolinas y contribuir a los cargamentos finales destinados a venta. La corriente de olefinas que se obtiene como subproducto en este proceso, se une a la corriente de isobutano (que en el caso de la Figura 3 se importa, aunque también podría obtenerse parte de ella del hidrocraqueo) para alimentar la unidad de Alquilación.

6. La corriente de residual atmosférico, se dirige a la destilación al vacío para continuar la separación de cortes de hidrocarburo de acuerdo a su punto de ebullición, solo que, por efectuarse a una presión menor a la atmosférica, se pueden recuperar nuevas corrientes de destilados que se integran con las corrientes atmosféricas para los procesos de conversión media, tales como FCC e Hidrocraqueo catalítico. El residual de vacío se dirige a procesos

más severos, en este caso el Delayed Coker, para obtener productos más valiosos.

7. Las corrientes de nafta y diesel que salen del Delayed Coker se integran al pool de naftas y gasolinas luego de hidrotreatarlas. El subproducto de este proceso, el coque, puede ser vendido.

8. En la planta de Alquilación, el iso-butano y las olefinas se transforman en alquilato (iso-octano e iso-heptano) El alquilato es un producto de elevado octanaje y bajo rvp (reid vapor pressure)²³ por lo cual es muy apreciado por mejorar la calidad del pool de gasolinas con poco volumen.

En la Figura 3 se puede apreciar la sinergia, ya descrita, que se genera entre las distintas unidades. Esta integración de corrientes permite optimizar el proceso mediante varios factores:

- Minimizar la demanda energética por cuanto en algunos casos se aprovecha la presión de salida de la unidad productora de la corriente o la carga calórica que posee,
- Disminuir la demanda de espacio para el almacenamiento de productos,
- Minimizar el espacio requerido haciendo más intensivo el uso del terreno

Sin embargo, no todas las refinarias disponen de todas las plantas para esta integración de corrientes. En ese caso se importan los componentes de otras instalaciones (por ejemplo, iso-butano, gasóleo de vacío, etc) o se exportan

²³ rvp (presión de vapor Reid): es la presión mínima que se debe ejercer en la superficie de un líquido a 100F para evitar su evaporación.

componentes intermedios para procesos posteriores en otras instalaciones (por ejemplo gasóleo atmosférico, residual atmosférico).

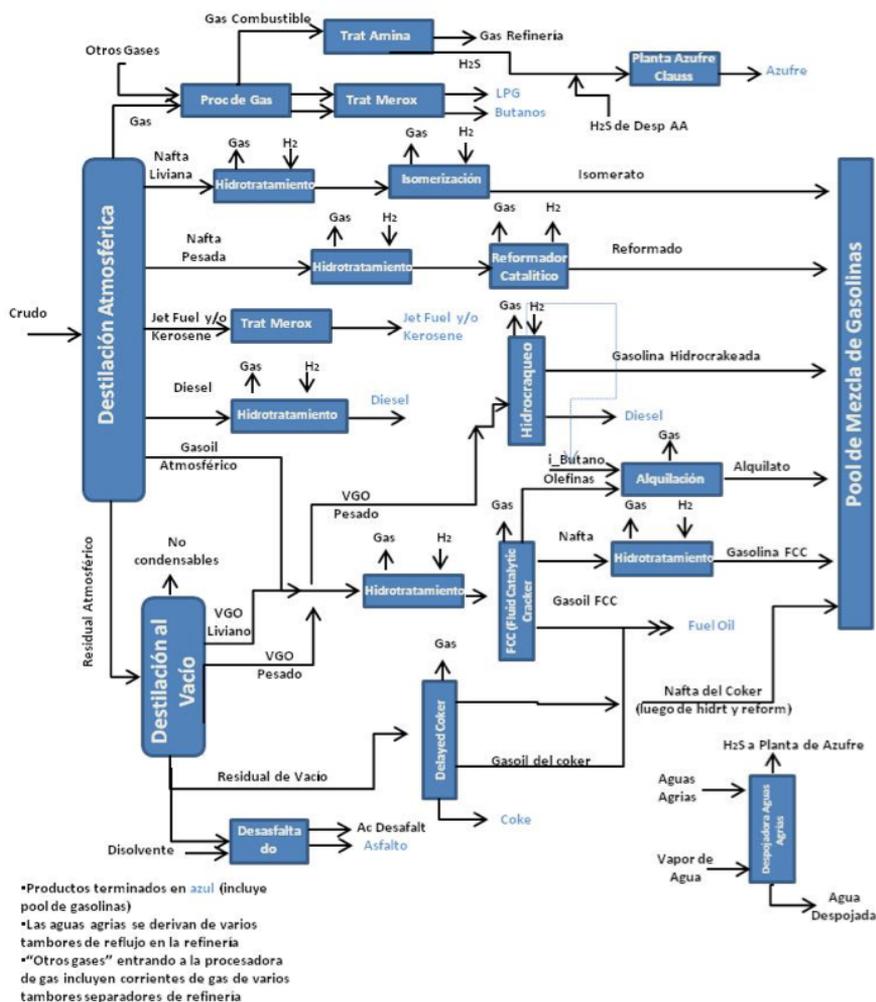


Figura 3 Operaciones unitarias típicas de una refinería²⁴

EL MARGEN DE REFINACIÓN²⁵

El margen de refinación o ganancia obtenida por la operación de la refinería, se expresa generalmente en US\$/barril y depende de la complejidad de la misma y de los precios internacionales del crudo y sus derivados. A grandes rasgos, se consigue restando a las ganancias obtenidas por la venta de los diferentes productos, los costos de operación. Los costos de operación incluyen el valor del crudo a las puertas de la refinería. En algunos casos, los márgenes de refinación suelen ser mucho menores a los márgenes de producción de petróleo, es por ello que a primera vista luce más rentable producir y vender el petróleo que refinarlo. No obstante,

considerando que la única forma en que se le puede dar uso práctico al crudo es extrayendo de él los productos que contiene, tales como combustibles, lubricantes, parafinas e insumos para petroquímica, se comprende que es necesario hacer un análisis técnico-económico para determinar la forma correcta de proceder en cada caso particular. Este análisis debe considerar el tipo de crudo disponible, las ne-

²⁴ Este esquema toma como referencia J.P.Wauquier. (1995) pp 407; Meyer, R. (2004) Cap 11.3 (UOP Merox Process) e instalaciones existentes donde laboró la autora.

²⁵ Lluch Urpí, José (2011) Cap 8.

cesidades y oportunidades del mercado, las sinergias potenciales con otras instalaciones petroleras, los costos de inversión (que generalmente son muy elevados y requieren financiamientos), los costos de operación, las fuertes regulaciones a las que deben ajustarse las instalaciones petroleras para mitigar el impacto ambiental, aspectos sociales, mercantiles y muchas otras consideraciones particulares de cada caso que inciden al momento de establecer la forma correcta de proceder.

Conclusiones

El petróleo es una de las fuentes de energía más utilizadas en la actualidad. Comúnmente la naturaleza lo presenta en un estado que no permite su uso práctico, es por ello que debe ser sometido a una primera transformación mediante procesos de separación, conversión y depuración para obtener combustibles e insumos que forman parte esencial de la vida actual. Esos procesos a los que se somete el crudo se llevan a cabo en una Refinería. La rentabilidad de la misma (margen de refinación) está vinculada, entre otros factores, a un diseño y operación óptimos y a la oscilación de los precios en el mercado de los hidrocarburos.

Referencias

- J.P.Wauquier. (1995). El Refino del Petróleo. Madrid. Ediciones Díaz De Santos. Instituto Superior de la Energía (ISE) (Versión en inglés por el Instituto Francés del Petróleo).
- Leffer, W. (1979). Petroleum Refining for non technical person. Tulsa Oklahoma: PennWell Book.
- Meyer, R. (2004). Handbook of Petroleum Refining Processes Third Edition. New York and others: McGraw-Hill.
- Beicip - Cepet (1992). PostGraduate Cycle - Oil Refining, Gas and Petrochemicals
- ENSPM Formation Industrie (filial Instituto Francés del Petróleo)
- Lluch Urpí, José (2011). Tecnología y Margen de Refino del Petróleo. Madrid. Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Portal "tu gobierno en un solo punto" (2006) Petroquímica https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/6970/Petroquimica_final.pdf [consulta nov 2018]
- Sener (2015). Prospectiva de petróleo y petrolíferos 2015 - 2029 Secretaría de Energía de México.
- Sener (2007). Conoce sobre el proceso de Refinación del Petróleo. Secretaría de Energía.
- Felder Rousseau (2004). Principios elementales de los procesos químicos. México. Editorial Limusa.