REFINACIÓN DE PETRÓLEO: CARACTERÍSTICAS GENERALES Y PRINCIPALES PRODUCTOS DEL ESQUEMA *HYDROSKIMMING*

Ing. Heydi L. Rivero Gutiérrez [1], Ing. Laura Calzadilla León[2], Ing. Yaisys de la C. Yamaret Fernández[3], Ing. Roberto A. Lugo Martínez[1], Dr.C Jesús D. Luis Orozco[1], Dr.C. Yoney López Hervis[1]

1. Universidad de Matanzas – Sede "Camilo Cienfuegos", Vía Blanca Km.3,5. Matanzas, Cuba. yoney.lopez@umcc.cu

2. Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas, Zona Industrial Km. 4,3, Matanzas, Cuba

3. UEB Jesús Rabí, Calimete, Matanzas, Cuba

CD de Monografías 2016
(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Resumen

En el trabajo actual se realiza una descripción de la estructura y características de funcionamiento de las refinerías de petróleo. Se declaran los productos derivados que en estas se obtienen, sus requisitos de calidad y las especificaciones correspondientes. De igual forma, se explican las etapas fundamentales que tienen lugar durante la refinación de petróleo, las cuales tienen por objetivo: convertir el crudo a productos de elevado valor agregado mediante transformaciones físicas y químicas. Se describen los esquemas de refinación, donde se plantea que cada refinería tiene una estructura física diferente, así como determinadas características operacionales. El esquema de refino *hydroskimming*, es el más antiguo y simple, limitado a destilar el crudo y tratar los productos para que cumplan con especificaciones particulares. La destilación atmosférica, la unidad de reformado y las de hidrotratamiento, se describen de forma detallada, debido a que representan la base principal de los esquemas *hydroskimming*.

Palabras claves*: Refinación; Petróleo; Hydroskimming.*

Introducción

La humanidad depende de la energía para su desarrollo, y el suministro energético para un país dado es el resultado del balance de su producción doméstica, exportaciones e importaciones. En la mayoría de los casos el petróleo y sus productos derivados constituyen las principales fuentes de energía sobre las cuales descansa la confiabilidad del suministro energético (Visbal y Proaño, 2014).

Se plantea que nuestro futuro no depende de una solución única, sino de diversas medidas, entre las que debe destacar la mejora de la eficiencia energética, que consiste en reducir los consumos de energía para un mismo servicio prestado (Pontoni, 2004).

La energía es imprescindible para potenciar el bienestar social y económico y, en la mayoría de los casos, es indispensable para generar la riqueza industrial y comercial. Es una condición imprescindible para aliviar la pobreza, generalizar la protección social y elevar el nivel de vida (Rodríguez, 2012).

El sector energético es crucial y estratégico para el desarrollo socio-económico de cualquier país o región. Su relevancia radica en que se extiende desde la extracción de crudo y gas hasta la refinación, la petroquímica y la generación de electricidad, los productos de estas industrias son insumos de otras. En la actualidad, ninguna actividad económica moderna puede subsistir o competir sin el suministro de energía.

La demanda energética crece de forma continua, especialmente en productos derivados del petróleo, y se aprecia una disminución del aporte de la energía nuclear y del carbón,

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

mientras que cobran importancia el gas natural y las energías renovables, aunque estas últimas de manera menos acentuada.

En la Figura 1 se muestra cómo están distribuidos los consumos de combustibles fósiles y de recursos renovables, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2015), expresados como porcentaje de la reserva mundial total:

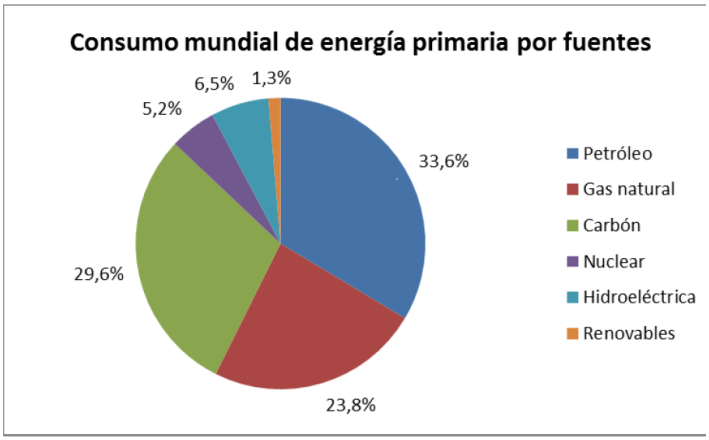

Figura 1: Distribución del consumo mundial por fuentes de energía. **Fuente:** *International Energy Agency*, 2015

El precio del crudo se eleva sensiblemente desde el año 2004. Además, manifiesta variaciones en tiempos de escasez y sobreoferta, y sobre estas fluctuaciones inciden aspectos como la percepción de escasez, los desastres naturales, los conflictos políticos en países productores, o el aumento en los precios de los productos combustibles. La demanda de productos derivados del petróleo, sin embargo, es inelástica al precio; muestra de ello es que actualmente los precios se muestran a la baja como pocas veces en la historia (Castillo, 2014).

En la actualidad existe total acuerdo en que la justificación social del petróleo deriva de su utilización como carburante de automoción o materia prima para la industria petroquímica y la generación de electricidad, aplicaciones de difícil sustitución. Consumir derivados del petróleo donde se pueden reemplazar con facilidad por carbón, gas natural, biomasa y energía solar, parece desaprovechar un recurso que, por desgracia, es agotable (Grupo Alfonso Gallardo, 2007).

Resulta por ello de vital importancia el ahorro de este recurso natural y el empleo de tecnologías más eficientes para obtener sus derivados.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

1.1. Refinerías de crudos

Con respecto a las plantas de refinación de crudos se plantean las características del mismo como materia prima, los principales productos derivados, la importancia del proceso y sus etapas, así como los esquemas fundamentales de refinación.

En la actualidad, existen más de 660 refinerías en 116 países, que superan los 85 millones de barriles de productos refinados por día (CEPAL, 2013). Los factores que marca la refinación de petróleo en el siglo XX se determinan en respuesta a la constante presión social por mejorar su calidad de vida y se impulsan, en gran parte, por la industria automotriz y la industria aeronáutica (ICCT, 2011).

Para Berger y Anderson (1978), las refinerías son plantas de producción de gran densidad de capital, con sistemas de procesamiento extremadamente complejos. En ellas se convierte el petróleo crudo y otros flujos de entrada en diversos subproductos refinados, mediante la separación del crudo en diferentes fracciones (cada una con un punto de ebullición y distribución de la cantidad de carbono únicos).

Mientras, Kraus (2013) ofrece una explicación más detallada, cuando plantea que el proceso de refinación de hidrocarburos consiste en el empleo de sustancias químicas, catalizadores, calor y presión para separar y combinar los tipos básicos de moléculas de hidrocarburos que se hallan de forma natural en el petróleo crudo, transformándolos en grupos de moléculas similares. Es decir, se reorganizan las estructuras y los modelos de enlaces de las moléculas básicas y se convierten en moléculas y compuestos de hidrocarburos con mayor valor.

Para AIP (2015), una refinería de crudo es un arreglo organizado y coordinado de procesos de fabricación, diseñado para producir cambios físicos y químicos en el crudo, con el objetivo de convertirlo a productos comercializables; los procesos que la integran se han desarrollado en respuesta a las exigencias cambiantes del mercado. El procesamiento de estas fracciones en productos terminados se realiza mediante transformaciones físicas y químicas (Gary *et al.*, 2007).

La industria del petróleo está en constante evolución (Guinea, 2006). La refinación del crudo es un eslabón único y fundamental de la cadena de suministro de petróleo desde el pozo hasta la bomba. El resto de las operaciones le agregan valor, principalmente mediante su traslado y almacenamiento (extracción del petróleo crudo a la superficie, traslado desde el yacimiento petrolífero a los depósitos y luego a las refinerías, traslado de los productos refinados desde las refinerías a las terminales de despacho e instalaciones de productos de consumo final, entre otros) (Boyce *et al.*, 2008). Sin embargo, la refinación lo hace mediante la conversión del petróleo crudo en productos refinados. El principal objetivo económico del proceso es maximizar el valor agregado en la conversión del petróleo crudo en productos terminados (ICCT, 2011).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

La estructura de una refinería y sus características de funcionamiento se determinan por su ubicación, antigüedad, disponibilidad de fondos para inversiones de capital, petróleos crudos disponibles, demanda del producto (de los mercados locales y/o de exportación), requisitos de calidad del producto, normativa y estándares ambientales, así como las especificaciones y requisitos del mercado para los productos refinados (ICCT, 2011).

En la industria de refinación de crudo existen varias magnitudes críticas a tener en cuenta: la energía, la economía de escala, el personal y el mantenimiento (Guinea, 2006).

1.1.1. El crudo. Principales productos derivados

Según AIP (2015), el petróleo es una mezcla compleja de líquidos orgánicos y gas natural, que se encuentra naturalmente en la tierra formado hace millones de años. Es un compuesto más denso que el agua, de un olor fuerte y característico. En numerosas ocasiones se utiliza la palabra "crudo" para denominar al petróleo sin refinar. El crudo varía de un yacimiento petrolífero a otro en cuanto a la composición y el color, el cual puede ir de un líquido amarillo pálido de baja viscosidad hasta uno pesado de color negro. Se extrae de la superficie terrestre y después es almacenado en grandes depósitos y enviado mediante oleoductos (vía terrestre) o por los grandes barcos petrolíferos (vía marítima) a las partes del mundo donde es necesario (Alcorta, 2011).

Se conoce que está formado por miles de moléculas diferentes, pero varía en composición en las diferentes partes del mundo en dependencia de la edad y las condiciones de su formación. Lluch (2008) considera que se compone fundamentalmente de carbono (84-87%) e hidrógeno (11-14%), con un pequeño porcentaje de otros elementos como azufre (0-5%), nitrógeno (0-0,2%) y metales integrados en hidrocarburos de estructuras más o menos complejas. Cepero (2013) afirma también que las moléculas de hidrocarburos que lo componen son más complejas a medida que aumenta el punto de ebullición de las mismas, y desde el punto de vista estructural están presentes, en mayor o menor proporción, hidrocarburos parafínicos, aromáticos y nafténicos. Como su formación ha tenido lugar en una atmósfera reductora, anaeróbica, no se encuentran hidrocarburos olefínicos en su composición. Según AIP (2015), el crudo está constituido por una mezcla de hidrocarburos y cantidades relativamente pequeñas de otros materiales como oxígeno, nitrógeno, azufre, sal y agua. Además, reafirma la gran proporción de compuestos hidrogenocarbonados al agregar que algunos crudos contienen hasta un 98% de hidrocarburos, y coincide con Lluch (2008) en cuanto a la presencia de oxígeno y especifica que los metales presentes en la mezcla son el níquel, el hierro y el vanadio.

El petróleo en su estado natural no puede utilizarse prácticamente en ninguna aplicación, debido a que requiere de altas temperaturas para arder. Con el objetivo de poder aprovecharlo como fuente de energía o materia prima es necesario separarlo en fracciones adecuadas para preparar, a partir de ellas, los productos para las diferentes aplicaciones que requiere el mercado, por lo que es necesario transformarlo en productos de mayor valor agregado (Hernández, 2008). Por esta razón se emplea como materia prima en la industria

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

de refino, y las unidades de tratamiento se diseñan en función de un tipo de crudo específico (Lluch, 2008). En la Figura 2 se muestra el esquema general de una refinería de petróleo.

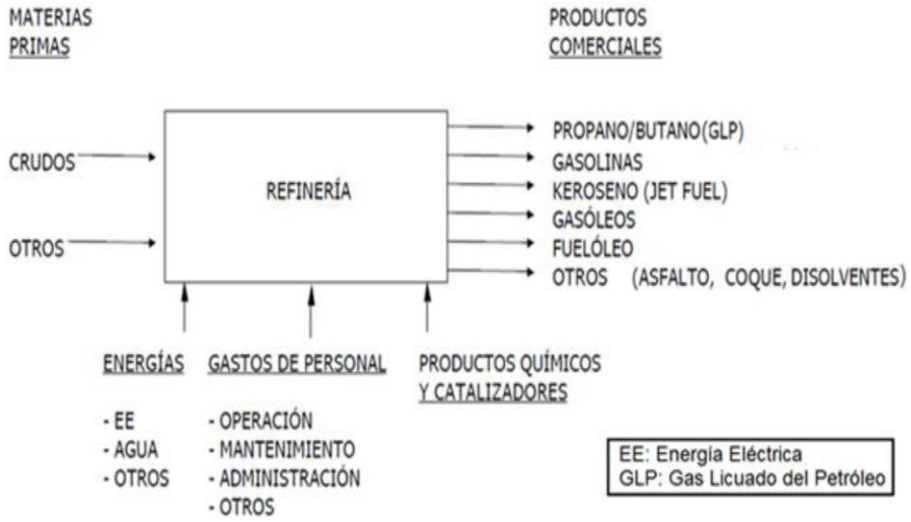

Figura 2: Esquema general de refinación de petróleo. **Fuente:** Hernández (2003)

1.1.2. Etapas del proceso de refinación

El petróleo, una vez en la refinería, es almacenado en depósitos de gran tamaño, donde generalmente se separan los crudos en función de su contenido de azufre. El refino del petróleo se lleva a cabo en instalaciones específicas diseñadas para obtener el máximo rendimiento en cada una de ellas, denominadas “unidades”. Estas se clasifican en: unidades de proceso, de servicios auxiliares y de operaciones fuera del proceso (Grupo Alfonso Gallardo, 2007). Según Kraus (2013) dichas unidades de proceso se clasifican básicamente en: separación, conversión, tratamiento, formulación y mezcla.

En el proceso de separación física no se altera la estructura molecular (Guerra, 2013). El crudo se hace pasar por un horno, donde se calienta y una parte se convierte en vapor, y luego continúa hacia las torres de destilación atmosférica y de vacío (PDVSA, 2011), donde se separa mediante fraccionamiento en grupos de moléculas de hidrocarburos con diferentes intervalos de temperaturas de ebullición, denominados “fracciones” (Kraus, 2013). La destilación del crudo es el punto de partida de cualquier refinería, más allá de su tamaño o configuración total. Es una función específica que afecta a todos los procesos de refinación, desde su origen (ICCT, 2011).

Según Kraus (2013) y AFPM (2015), los procesos de conversión más utilizados para modificar el tamaño y/o la estructura de las moléculas de hidrocarburos son los siguientes: descomposición (división) mediante hidrocraqueo, craqueo térmico y catalítico, coquización y ruptura de la viscosidad; unificación (combinación) mediante alquilación y

(c) 2016, Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

polimerización; alteración (rectificación) con isomerización y reformación catalítica; y tratamiento.

Una sección muy importante dentro del proceso la constituye la planta Merox, que tiene como objetivo el tratamiento de disolventes, queroseno, gasolina de la unidad de destilación atmosférica y de vacío, viscorreducción y craqueo catalítico, lo cual permite controlar los compuestos azufrados convirtiéndolos en elementos no corrosivos (Garrido, 2010). Los procesos involucrados son: neutralización de ácidos nafténicos, separación del agua, reacción con oxígeno en presencia de catalizador (organometálico de cobalto sobre carbón activado en medio alcalino), separación de la soda, lavado, filtrado y secado (ANCAP, 2013).

Una refinería moderna debe contar con infraestructura suficiente para mantener la continuidad de su operación (Pemex, 2013). Según Romero (2011), las operaciones más habituales de soporte al procesamiento de hidrocarburos son: la generación de calor y energía, la recuperación de residuos ligeros, la eliminación del agua amarga, el tratamiento de residuos sólidos, aguas residuales y de proceso, la producción de hidrógeno, la recuperación de azufre, el tratamiento de gases ácidos y gas residual, el movimiento de productos, el almacenamiento en depósitos, la expedición y manipulación, las llamas y sistemas de descarga de presión, los hornos y calentadores, las alarmas y sensores, entre otros. Kraus (2013) plantea que entre las instalaciones y sistemas que no forman parte del proceso están los sistemas de lucha contra incendios, de abastecimiento de agua y de protección, controles de ruido y contaminación, laboratorios, salas de control, almacenes, e instalaciones de mantenimiento y administrativas.

Un esquema del proceso de refinación de crudo, ofrecido por Walas *et al.* (2010), se puede observar en la Figura 3.

Al criterio de Pemex (2013) la refinación de petróleo requiere una serie de insumos adicionales, tales como: gas natural, energía eléctrica, agua (que se emplea básicamente como un medio de enfriamiento en los procesos y como suministro a las calderas generadoras de vapor), isobutano (materia prima de las plantas de alquilación), ácidos (para catalizar las plantas de alquilación) y ácido sulfúrico y sosa cáustica como materias primas para la obtención de agua desmineralizada en la generación de vapor.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

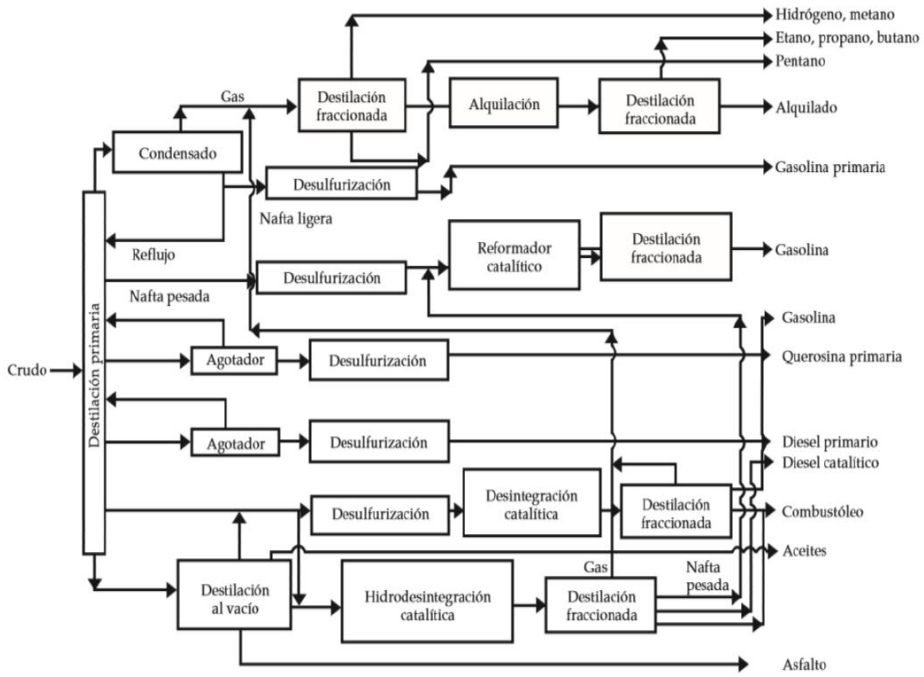

Figura 3: Esquema de refinación de una Refinería de Petróleo. **Fuente:** Walas *et al.* (2010)

1.1.3. Esquemas de refinación

ICCT (2011) plantea que cada refinería tiene una estructura física diferente, así como determinadas características operativas y una economía particular. Para Romero (2011) se denomina "esquema de refino" al conjunto de procesos que constituyen una refinería de petróleo y opina que el mismo puede variar de unas refinerías a otras en función del tipo de crudo o crudos a tratar, las especificaciones exigidas por el mercado, la demanda de los productos, la tecnología disponible y la flexibilidad requerida.

1. Las refinerías con unidades de destilación atmosférica o *topping* sólo realizan la destilación del crudo y ciertas operaciones de apoyo esenciales.

2. Las refinerías con esquema de *hydroskimming* no sólo incluyen la destilación del crudo y los servicios de apoyo, sino que agregan el reformado catalítico, diferentes unidades de hidrotratamiento y mezcla de productos. Estos procesos permiten controlar el contenido de azufre de los productos refinados.

3. Las refinerías de conversión media (o craqueo) incluyen no sólo todos los procesos presentes en las que poseen esquema de *hydroskimming*, sino también, y lo que es más importante, el craqueo catalítico y/o hidrocraqueo. Estas tienen la capacidad de mejorar los patrones de rendimiento natural de los crudos que procesan.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

4. Las refinerías de conversión profunda (o coquización) son, según lo indica su nombre, una clase especial de refinerías de conversión, donde se incorpora la coquización. Las que poseen suficiente capacidad de coquización destruyen básicamente todo el aceite residual de sus crudos para refinación y los convierten en productos livianos.

Autores como Wauquier (1995) y Decoopman (2001) concuerdan en que las refinerías que presentan el esquema *Hydroskimming* son las más simples y se limitan a destilar el crudo y tratar los productos así obtenidos para que cumplan con las especificaciones exigidas. Este esquema es el más antiguo y se adapta a un mercado con alta demanda de fuelóleos y especificaciones poco rigurosas. Hoy en día tienden a desaparecer y su existencia se justifica en situaciones especiales.

Por otra parte Lluch (2008) describe el esquema *Hydroskimming* como un conjunto formado por la Destilación atmosférica, la Unidad de Reformado y los Hidrotratamientos. En la Figura 4 se muestra el esquema *Hydroskimming*.

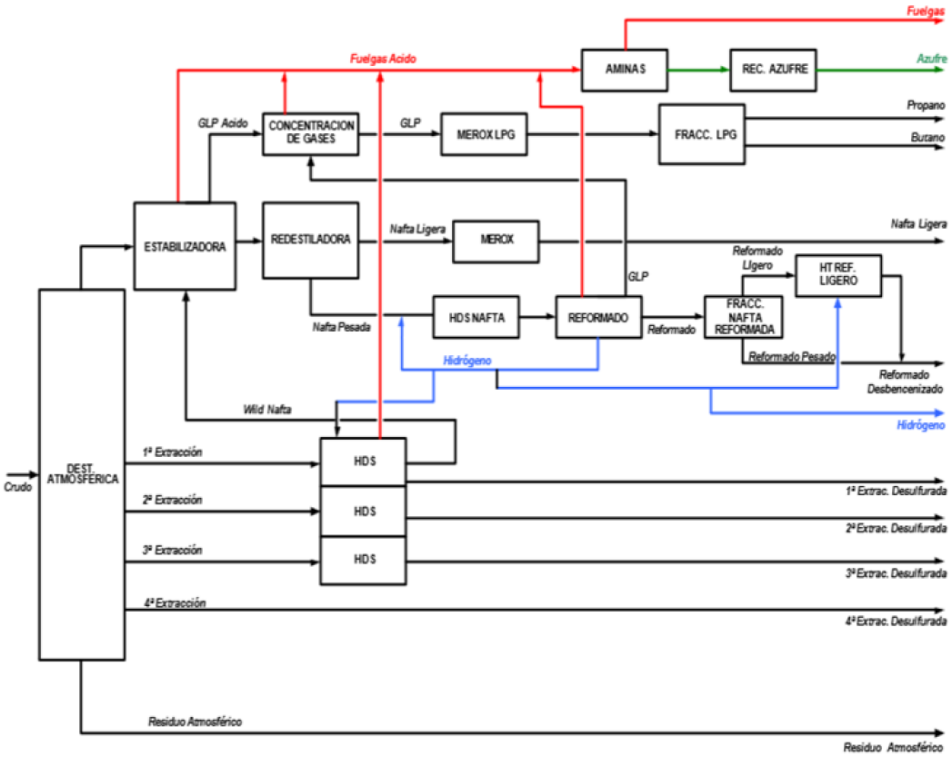

Figura 4: Esquema de una refinería de petróleo tipo *Hydroskimmnig*. **Fuente:** Lluch (2008)

En los Estados Unidos y otros países, como: Brasil, China, India y México, las refinerías de conversión media y de conversión profunda representan más del 95% de la capacidad total de producción de crudo (ICCT, 2011).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

1.2 Productos de la refinación. Características generales

Tanto ICCT (2011), como Barberi (2012) y Pemex (2013) coinciden en que entre los derivados se encuentran: gas licuado de petróleo (GLP) (el cual se utiliza como combustible doméstico e industrial), gasolina (para consumo en los vehículos automotores de combustión interna, entre otros usos), combustible pesado (para hornos y calderas industriales), queroseno (para iluminación y calefacción), combustible diesel (de uso común en camiones y autobuses), materias primas de petroquímicos (como bencina industrial, disolventes alifáticos, polietileno, alquitrán aromático, ácido nafténico, benceno, ciclohexano, tolueno, xilenos mezclados, alquilbenceno, ortoxileno), aceites lubricantes y ceras (materia prima para la producción de velas y similares, ceras para pisos, fósforos, papel parafinado, vaselinas y otros), aceite combustible (para generación de energía eléctrica, combustible marino, calefacción industrial y urbana) y asfalto (para pavimentación, techado y como material sellante en la industria de la construcción). Barberi (2012) agrega como subproductos al turbocombustible o turbosina (gasolina para aviones jet, también conocida como Jet Fuel) y a la gasolina de aviación (para uso en aviones con motores de combustión interna).

El Grupo Alfonso Gallardo (2007) y Romero (2011) consideran que otro de los productos típicos de las refinerías es el azufre líquido (que según Hernández (2008) sirve para la vulcanización del caucho, fabricación de algunos tipos de acero y preparación de ácido sulfúrico). Mientras, Guerra (2013) refiere que los gases obtenidos al inicio del proceso (metano y etano) también tienen aplicación como combustible en hornos y calderas.

Entre los subproductos mencionados, los combustibles para transporte son los de mayor valor, mientras que los aceites combustibles y el asfalto son los menos valiosos. Muchos productos refinados, como la gasolina, se producen en diferentes grados, para cumplir con diversas especificaciones y estándares (por ejemplo: índices de octano o contenido de azufre) (ICCT, 2011).

1.2.1 Propiedades principales de los productos de la refinación

- **Destilación ASTM-D86**

Es una prueba rápida, no costosa, para evaluar el rango de destilación de la fracción destilada. Se lleva a cabo en condiciones atmosféricas y un considerable craqueo de la muestra ocurre cuando se alcanza una temperatura de 343°C. En este método se destila una muestra de 100 mL en las condiciones especificadas, se realizan observaciones sistemáticas de las temperaturas y los volúmenes de condensado recogido. Las temperaturas no necesariamente corresponden al punto inicial de ebullición del material en la mezcla. El punto final es más bajo que el del material más pesado de la misma (Ortíz, 2003).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

- **Presión de Vapor Reid**

La Presión de Vapor Reid, en lo adelante RVP, no es más que la presión relativa desarrollada por los vapores desprendidos por una muestra de combustible encerrada en un recipiente metálico a 37,8°C. Este análisis es realizado únicamente a los productos ligeros, GLP, naftas y gasolinas, mediante las normas ASTM D-323 y ASTM D-1267 (Ortiz, 2003).

- **Número de Octano**

Es la característica esencial de las gasolinas utilizadas en los motores de encendido por bujía. Determina las cualidades de combustión de hidrocarburos y sus condiciones óptimas de utilización, y está, estrechamente asociada a la noción de rendimiento (Ortiz, 2003).

El comportamiento antidetonante de las gasolinas se define con el término "número de octano" y los compuestos de referencia son: Heptano, número de octano cero; Iso-octano, número de octano 100. Dado que la tendencia a la detonación depende de las condiciones de funcionamiento.

Existen dos números de octano, el Número de Octano por el método Motor (MON), que reproduce las condiciones de circulación en carretera y Número de Octano Research (RON), que representa estas mismas condiciones de circulación en ciudad. Según Hsu y Robinson (2006) constituye la principal especificación medida a las gasolinas y varía para cada componente; por ejemplo, el RON Y MON de los butanos son de 97 y 95 respectivamente, de la gasolina B-95 son 95 y 85, respectivamente y de los componentes reformados son de 100,5 y 89,5 respectivamente.

- **Punto de Inflamación**

El Punto de inflamación mide la temperatura mínima a la que una llama produce la inflamación de los gases producidos por la evaporación superficial del combustible confinado en un vaso abierto o cerrado. Ofrece una indicación de las condiciones de seguridad que deben adoptarse en la utilización del combustible para prevenir accidentes (Lluch, 2000).

1.3 Destilación atmosférica de crudos

El proceso de destilación atmosférica representa una etapa clave e imprescindible en la refinación (Kunt, 2010). La destilación atmosférica es el primer proceso que ocurre en una refinería de petróleo, a la vez que resulta ser la etapa fundamental en este tipo de industrias.

Las unidades de destilación son grandes consumidoras de energía calorífica y, de hecho, representan el mayor consumo energético en las refinerías, donde intervienen cuatro

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

elementos fundamentales: los intercambiadores de calor, los hornos, la columna de fraccionamiento y las columnas despojadoras (Heredia, 2008).

Para una mejor comprensión del proceso de destilación atmosférica se presentan a continuación los fundamentos del proceso, los equipos tecnológicos involucrados, las variables fundamentales, la descripción general de dicho proceso de separación y sus principales limitaciones.

1.3.1. Fundamentos del proceso de destilación atmosférica

La destilación es un proceso fundamental en la industria de refinación del petróleo, debido a que permite hacer una separación de los hidrocarburos aprovechando las propiedades físico-químicas de las materias primas para separarlas en fracciones de diferentes características, sin introducir cambios en la estructura química original de los componentes (IMP, 2014).

Seader y Henley (1998) y Parkash (2003) mencionan que la destilación como proceso de separación de mezclas líquidas es el más difundido a nivel industrial, al ser el más estudiado, el más económico y por tanto, el más desarrollado tecnológicamente. Mientras, Morlote (2012) plantea que el empleo de calor como medio de separación hace que el estudio de la destilación sea relativamente sencillo.

Para Kunt (2010) la destilación atmosférica es el primer proceso de refino al que es sometido un crudo (luego del tratamiento previo) y representa una etapa clave e imprescindible en la refinación. La destilación de un crudo en cualquiera de sus fracciones no genera compuestos puros sino grupos de estos, denominados indistintamente cortes y fracciones.

Este proceso se basa en las diferencias de volatilidades, porque se realiza aprovechando los diferentes puntos de ebullición de los componentes del crudo. Es por esta razón que en las columnas fraccionadoras se facilitan las condiciones termodinámicas para obtener o condensar los combustibles perfectamente especificados (Cabrera *et al.*, 2012).

El objetivo de la sección o unidad de destilación atmosférica es extraer los componentes hidrogenocarbonados presentes en el crudo de forma natural, donde se obtienen combustibles terminados y cortes de hidrocarburos que serán procesados en otras unidades para convertirlos en productos más valiosos. Para que se produzca la separación o fraccionamiento de los cortes se debe alcanzar el equilibrio entre la fase líquida y la fase vapor, de modo que los componentes más livianos o de menor peso molecular se concentren en la fase vapor y los más pesados en la líquida. Las unidades se diseñan para que dicho equilibrio se establezca de forma controlada y durante el tiempo necesario para obtener los productos deseados (Gerardo, 2010).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

El equilibrio depende principalmente de los parámetros termodinámicos presión y temperatura del sistema, razón por la cual se consideran como variables del proceso todas aquellas que puedan afectarlo. Según Martínez (2007), las mismas son:

- Temperatura de salida de crudo del horno
- Temperatura en la zona flash
- Presión en el tope de la torre
- Temperatura en los platos de retiro
- Temperatura en el tope
- Temperatura en el fondo de la torre
- Nivel de líquido en tambor acumulador de tope
- Nivel de líquido en el fondo de la torre
- Vapor de despojamiento

1.3.2. Equipos involucrados en el proceso de fraccionamiento

La unidad donde se lleva a cabo la destilación atmosférica es una enorme columna que puede medir hasta 60 metros de altura. El interior de la misma se divide en una serie de platos agujereados y colocados en posición horizontal (Repsol, 2012). En la sección de tope (o de condensación) los vapores de tope son condensados en un intercambiador de calor que utiliza agua como medio de enfriamiento, mientras que la sección de fondo (o de despojamiento) posee un re-hervidor que introduce calor en el fondo de la torre mediante el uso de parte de la corriente que sale del fondo y que es regresado a la columna (Cabrera *et al.*, 2012). Su misión es conseguir que las corrientes ascendentes de vapor y las descendentes de líquido entren en contacto y se produzca una mejor separación (Repsol, 2012). Frente a otras operaciones de transferencia de masa, la destilación presenta la gran ventaja de que no necesita la adición de otros componentes para efectuar la separación (Polledo, 2011).

Según PDVSA (2007), el crudo debe ser sometido a un proceso de calentamiento aprovechando el calor contenido en las corrientes de productos, por lo cual es necesario el uso de intercambiadores de calor, así como de hornos capaces de suministrar suficiente energía calórica faltante bajo un estricto control de temperatura antes de hacer su entrada a la torre de fraccionamiento. También deben protegerse los equipos de la corrosión debida a las sales que posee el crudo, para lo cual existen ciertos equipos que remueven sales y agua (desaladores). Dichas impurezas podrían acortar o interrumpir las operaciones, dañar los

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

catalizadores, taponear y corroer los condensadores de tope, entre otros; incluso (yendo más allá de la refinería) podrían llegar a inutilizar los equipos que usan combustibles o lubricantes contaminados. Al precalentar la carga se logra un mejor funcionamiento de los desaladores y un ahorro de combustible en el horno. De igual manera se necesita un tanque de alimentación, debido a que en una torre de destilación la carga debe cumplir con los requisitos establecidos en el diseño de la misma y debe ser de constitución homogénea.

1.3.3. Descripción general del proceso de destilación atmosférica

A la torre de destilación atmosférica (o unidad de *topping*) entra el crudo libre de agua y otras impurezas (como sales) que se eliminan previamente, y calentado hasta una temperatura de 643 K (Repsol, 2012).

La presión de trabajo es 101,3 kPa (Gerardo, 2010). No obstante, Díaz (2011) aclara que la temperatura es variable de acuerdo al tipo de crudo, rendimiento de destilados, presión de operación, y su intervalo máximo de operación limitada es de 623–723 K. Indica también que se debe trabajar con presiones no mayores de 5 atm, mientras que Guerra (2015) plantea que la presión debe oscilar entre 40,5 y 557,3 kPa.

Según PDVSA (2011), en estas torres los vapores suben desde la parte inferior hasta llegar a las bandejas, ubicadas en distintos niveles. Al subir los vapores, se van enfriando (perdiendo calor), hasta que se depositan en sus respectivos platos. En estos, cada sustancia tiene su lugar determinado, mientras que el resto del petróleo que no se evaporó queda en la base. Cada plato actúa como una barrera al paso del vapor hacia la parte superior de la columna (Cabrera *et al.*, 2012).

La vaporización o fase vapor se produce en el horno y zona de carga de la columna fraccionadora. En el primero se transfiere la energía térmica necesaria para que se produzca el cambio de fase, mientras que en la llamada zona de carga se reduce la presión del sistema, lo que ocasiona la vaporización instantánea de la carga y se obtiene la vaporización definitiva (Gerardo, 2010).

Cabrera *et al*. (2012) explican que el grado de separación depende del número de platos que tiene la columna. La misma opera con varias salidas laterales para extraer la fracción condensada correspondiente y obtener el producto con una determinada calidad.

En este proceso de separación física se obtienen individualmente las distintas fracciones que forman el crudo, cada una con un intervalo de puntos de ebullición diferente (Repsol, 2012). Según Martínez (2007), dichas fracciones se mencionan a continuación:

1. Gas Combustible (Fuel Gas): Constituido por metano, etano y etileno. Por el contenido de mercaptanos se envía a la unidad de Merox. El punto de ebullición es de 273 K.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

2. GLP o Gas Licuado de Petróleo: Constituido por propano y butano. Pueden ser separados para la comercialización de los productos en forma individual. Intervalo de ebullición de 231 a 273 K.

3. Gasolina o Nafta Liviana: Constituida por cadenas de hidrocarburos de cinco y seis átomos de carbono. Intervalo de ebullición de 305 a 361 K. Se envía a la unidad de isomerización.

4. Gasolina o Nafta Pesada: Constituida por cadenas de hidrocarburos de siete a 11 átomos de carbono. Intervalo de ebullición de 361 a 466 K. Se envía al reformador catalítico.

5. Queroseno o Jet Fuel: Constituido por cadenas de hidrocarburos de diez a catorce átomos de carbono. Intervalo de ebullición de 466 a 544 K. Se envía a la unidad de Merox.

6. Gasoil Liviano: Constituido por cadenas de hidrocarburos de 13 a 24 átomos de carbono. Intervalo de ebullición de 544 a 594 K. Se envía a hidrotratamiento o hidrodesulfuración.

7. Gasoil Mediano: Constituido por cadenas de hidrocarburos de 13 a 24 átomos de carbono. Intervalo de ebullición de 594 a 700 K. Se envía a hidrotratamiento o craqueo catalítico.

8. Residuo Atmosférico: Constituido por cadenas de hidrocarburos mayores de 25 átomos de carbono. Intervalo de ebullición superior a 700 K. Se envía a destilación al vacío.

Estos intervalos de puntos de ebullición de los componentes en la mezcla no son exactos. Por ejemplo, Guerra (2015) menciona valores distintos para algunos de ellos, aunque no se encuentran demasiado distantes:

- Gasolina: 333-453 K
- Queroseno: 433-533 K
- Gasoil liviano 523-583 K
- Gasoil pesado: 573-653 K
- Residuo largo: mayor que 643 K

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Se debe tener en cuenta que tales imprecisiones pueden estar influenciadas por los parámetros citados al inicio por Díaz (2011), relacionados fundamentalmente con la presión de operación y el tipo de crudo.

1.3.4. Limitaciones de la destilación atmosférica

La unidad de destilación atmosférica (y de destilación en general) constituye el mayor consumidor de energía de una refinería de crudo, según Barker (2007) y Castillo (2014). Además, no es posible destilar en ella los crudos pesados. Gran parte del crudo procesado en la torre de destilación atmosférica no se vaporiza, ya que para ello se necesitaría elevar la temperatura de trabajo por encima del umbral de descomposición térmica. Es decir que dicho residuo no se puede destilar en condiciones normales porque se descompone, por lo que es necesario enviarlo a otra columna de destilación, esta vez al vacío, la cual permite separar distintos compuestos (Repsol, 2012).

El denominado "crudo reducido", se bombea a la unidad de vacío donde se reduce la presión a 2,6 kPa, lo que permite destilar a mayores temperaturas sin descomponer la estructura molecular (Gerardo, 2010).

Los diseños internos de algunas torres de vacío se diferencian de los de las torres atmosféricas, pues en lugar de platos se utiliza relleno al azar (Cabrera *et al.*, 2012).

1.4 Métodos de mejoramiento de octanaje

1.4.1 Reformación catalítica

La reformación catalítica es un proceso químico utilizado en la refinación del petróleo. Es fundamental en la producción de gasolina. Su objetivo es aumentar el número de octano de la nafta pesada obtenida de la destilación atmosférica del crudo. Se consigue mediante la transformación de hidrocarburos parafínicos y nafténicos en iso-parafínicos y aromáticos. Estas reacciones producen también hidrógeno, un subproducto valioso que se aprovecha en otros procesos de refinación. Para ello, se utilizan altas temperaturas, presiones moderadas y catalizadores sólidos de platino y otros metales nobles soportados sobre alúmina (Lluch, 2008).

1.4.2 Alquilación

La alquilación es un proceso que permite obtener componentes de gasolina a partir de hidrocarburos insaturados en en el tercero y cuarto átomo de carbono. Consiste, en la adición de iso-butano a compuestos: olefínicos, butenos (especialmente n-buteno), propileno y también amilenos (Hsu y Robinson, 2006).

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

1.4.3 Isomerización

La isomerización pertenece a los procesos catalíticos selectivos, ya que reorganiza las moléculas de hidrocarburo, pero sólo convierte las cadenas rectas de los hidrocarburos parafínicos normales en una cadena ramificada (iso-parafinas). Por destilación se separa la corriente de nafta en dos cortes: ligero y pesado; el ligero, que corresponde a moléculas de cinco y seis átomos de carbono se alimenta al proceso de isomerización, mientras que el pesado, con moléculas de siete a once átomos de carbono, es la carga al proceso de reformación antes descrito. En este proceso se convierte n-butano, n-pentano y n-hexano en sus respectivos isómeros ramificados. Los dos procesos de isomerización claramente diferenciados son: isomerización de butano que produce materia prima para la alquilación y la isomerización del pentano-hexano que incrementa el valor agregado a las corrientes de naftas livianas de tope y se obtiene una nafta isomerizada de mayor octanaje que se utiliza para elevar el índice de octano.

1.5 Procesos de reformación catalítica e hidrofinación de naftas pesadas

La reformación catalítica se define como el proceso mediante el cual se convierte una nafta pesada de seis y a veces hasta de 12 átomos de carbono, por un reordenamiento de las parafinas y naftenos en hidrocarburos aromáticos, en nafta de alto octanaje en presencia de un catalizador específico y en condiciones de temperatura y presión adecuadas.

Dada la presencia de catalizador en este proceso, la nafta alimentada debe cumplir una serie de requerimientos en cuanto al contenido de azufre ($S \leq 0{,}5$ mg/L), nitrógeno ($N_2 \leq 0{,}5$ mg/L), metales pesados ($Pb < 5$ mg/L) para evitar su envenenamiento (Antos y Aitani, 2004).

Los contenidos de azufre en las naftas oscilan entre 0 – 5 mg/L, su presencia da mal olor y desestabiliza las naftas en el proceso de reformación catalítica. Este elemento se encuentra formando los mercaptanos, sulfuros, disulfuros y tiofenos.

En los crudos el contenido de azufre puede estar alrededor de 8 000 mg/L (Carrillo, et al, 2004); mientras que Lluch (2008) plantea que no debe superar las 13 000 mg/L por lo que el contenido de azufre en la nafta es proporcional a esta composición inicial del crudo. Por su parte los compuestos nitrogenados provienen de los productos químicos empleados en los procesos de destilación. De aquí la importancia de tratar previamente la nafta a su alimentación en el reformador. Uno de los procesos más eficientes y frecuentemente usados es el de hidrofinación.

La hidrofinación catalítica se define como el proceso de tratamiento con hidrógeno de las fracciones del petróleo, en presencia de catalizador y bajo condiciones específicas de operación, con el objetivo de reducir su contenido de azufre, nitrógeno y metales pesados. Se garantiza el cumplimiento de los requerimientos, referidos anteriormente, en cuanto al

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

contenido de estos compuestos en la nafta de alimentación al reformador (contenido de azufre y nitrógeno inferior o igual a 0,5 mg/L).

Se caracteriza por ser un proceso de desulfurización con un catalizador específico de Cobalto-Molibdeno (Co-Mo) en base de alúmina. En el inyecto a esta unidad es necesario observar el contenido de sílice, sodio y sulfuro de hierro debido a que pueden provocar la desactivación permanente del catalizador, otros como el coque y las gomas la producen pero de forma temporal (Carrillo et al, 2004).

Según Carrillo et al (2004) desde el punto de vista tecnológico la hidrofinación se puede describir como el proceso en el cual se mezcla una corriente de nafta pesada (fracción 70-180ºC) con una corriente de gas rico en hidrógeno (85%vol de pureza) de 17 000 a 22 000 Nm^3/h y se hacen reaccionar en presencia de un catalizador de Co-Mo en base de alúmina a una temperatura entre 265-310ºC y una presión de 35 kPa.

Durante las reacciones químicas se consume hidrógeno por lo que se realiza una reposición de gas fresco de 1 000 a 17 000 Nm^3/h (6-77% del flujo de hidrógeno inicial) que garantiza mantener la pureza de hidrógeno y evita la coquificación del catalizador. Luego, en la etapa de separación se obtiene la corriente de gas de reciclo por la parte superior del separador y la nafta hidrofinada inestable por la parte inferior, posteriormente se realiza la estabilización de esta nafta donde se separan los gases más ligeros y el sulfuro de hidrógeno de la nafta hidrofinada. En este proceso debe ocurrir la disminución de la humedad hasta un 3% vol.

1.6 Proceso de Hidrofinación de diesel

En un estudio realizado en la refinería de petróleo Bahía Blanca, ubicada en Argentina, Passini (2010) se comenta que la legislación de distintos países revela una tendencia a nivel mundial a la reducción progresiva del contenido de azufre en los combustibles líquidos, ya sea en naftas como en diesel. Esto se efectúa con el objetivo de alcanzar las 10 mg/L en masa para dar lugar a los combustibles denominados gasolina de muy bajo contenido de azufre (ULSG por sus siglas en inglés) y diesel de muy bajo contenido de azufre (ULSD por sus siglas en inglés).

Poma (2004) asegura que estos contaminantes, si no se eliminan de las fracciones de petróleo, a medida que fluyen a través de las unidades de procesamiento de la refinería, pueden ocasionar efectos perjudiciales en los equipos (corrosión, rotura, mal funcionamiento), los catalizadores y la calidad del producto terminado (incumplimiento de las normas de calidad requeridas). En ese sentido González (2008) argumenta que para eliminar contaminantes como el nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales presentes en el petróleo se emplean los procesos de hidrotratamiento.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

GPSA (2004) y Lluch (2008) ratifican lo anteriormente dicho al añadir que los procesos de hidrorrefinación tienen como función separar los elementos o compuestos no deseables mediante hidrogenación selectiva.

De forma general Saavedra (2015) identifica el término hidrotratamiento como un amplio grupo de procesos en los cuales se utiliza el hidrógeno como reactante; puntualiza además que en la industria de la refinación del petróleo, se define como el contacto de una alimentación de hidrocarburos con hidrógeno, en presencia de un catalizador y condiciones de operación específicas.

Los procesos de hidrotratamiento pueden utilizarse para:

1. Eliminar azufre (hidrodesulfuración, HDS)

2. Eliminar nitrógeno (hidrodesnitrificación, HDN)

3. Saturación de olefinas.

4. Saturación de aromáticos (hidrodesaromatización, HDA)

En una refinería *Hydroskimming* estas unidades se emplean para:

- Pretratar la nafta de alimentación al reformador catalítico. Eliminación de azufre y nitrógeno; la concentración de estos elementos debe ser inferior a 0,5 mg/L para evitar el envenenamiento del catalizador.

- Hidrodesulfurar la gasolina y gasóleos para cumplir la especificación de azufre, actualmente de 150 y 350 mg/L respectivamente, a 30 mg/L a partir del año 2005 y 10 mg/L a partir del año 2009 para los dos productos.

- Eliminar el azufre y la corrosión por keroseno.

Conclusiones

1. La refinación de petróleo es el principal proceso en la cadena de suministro que permite la conversión a productos refinados, el resto de las operaciones le agregan valor mediante transformaciones físicas y químicas.
2. Los esquemas de refinación de petróleo pueden variar de una refinería a otra, los cuales se clasifican en: esquemas de *topping*, de *hydroskimming*, de conversión media y de conversión profunda.
3. La destilación atmosférica es el primer proceso que ocurre en una refinería de petróleo, a la vez que representa el mayor consumo energético.
4. La reformación catalítica es un proceso químico utilizado en la refinación del petróleo como método de mejoramiento de octanaje.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

5. Los procesos de hidrotratamiento eliminan contaminantes (nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales) presentes en el petróleo, que pueden ocasionar efectos perjudiciales en los equipos, los catalizadores y la calidad del producto terminado.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Bibliografía

Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP). (2013). Refinación de petróleo y economía del proceso. Uruguay.

Alcorta, D. R. (2011). Descripción del funcionamiento de la nueva torre de destilación atmosférica instalada en la refinería "Ñico López" haciendo uso del simulador profesional HYSYS. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE). La Habana, Cuba.

American Fuel and Petrochemical Manufacturers (AFPM) (2015). The Refining Process. Washington, DC.

Australian Institute of Petroleum (AIP) (2015). Refining of petroleum. Canberra, Australia.

Barberi, E. (2012). El Pozo Ilustrado I. Ediciones PDVSA. Caracas, Venezuela.

Barker, C. (2007). Petroleum technology. Volume 1. John Wiley & Sons. University of Tulsa. Oklahoma, USA.

Berger, B. D. y Anderson, K. E. (1978) Modern Petroleum, a Basic Primer of the Industry. Oil & Gas Journal Books.

Boyce, M. P.; Edwards, V. H. y Cowley, T. W. (2008). Transport and storage of fluids. Perry´s Chemical Engineers. 8va Ed. New York: McGraw-Hill. Section 6.

Cabrera, L. *et al.* (2012). Elaboración teórica para la destilación de crudo pesado mediante la destilación atmosférica y de vacío. Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

Carrillo, J. A. *et al*. (2004). Procesamiento térmico de crudos pesados. Refino. Instituto colombiano del petróleo. Universidad Industrial de Santander. [en línea]; [Consultado: 13 de diciembre del 2015]. Disponible en: http:// Scholar.Google.com/.

Castillo, R. (2014). Análisis de la gestión de la energía en la planta de destilación atmosférica de la refinería "Camilo Cienfuegos". Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodriguez". Cienfuegos, Cuba.

Cepero, L. (2013). Recuperación de hidrocarburos en la emulsión de la sosa agotada aplicando desemulsionantes en la planta de endulzamiento de Jet A-1. Trabajo final en opción al Título Académico de Especialista en Tecnologías de Refinación de Petróleo. Facultad de Ingenierías, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Matanzas, Cuba.

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2013). Anuario Estadístico de América Latina y el Caribe.

Decoopman.F. (2001). Petroluem Conversion Processes. Paris. France: Pierre Leprince. Editions TECHNIP.

Díaz, M. A. (2011). Introducción a la refinación de petróleo. Universidad de Los Andes. Publicaciones. Venezuela.

Garrido, M. F. (2010). Simulación estacionaria de plantas de FCCU (Fluid Cracking Catalitic Unit) e integración energética. ENAP Refinerías Aconcagua. Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes. Chile.

Gary, J. H.; Handwerk, G. E. y Kaiser, M. J. (2007). Petroleum Refining Technology and Economics, 5th Ed. CRC Press.

Gerardo, H. (2010). Procesos de destilación atmosférica de crudos y al vacío. [en línea]; [Consultado: 24 de enero del 2016]. Disponible en: http://www.scribd.com/doc/41740415/PROCESOS-DE-DESTILACION-ATMOSFERICA-DE-CRUDOS-Y-AL-VACIO#scribd

González; Y. K. (2008). Caracterización de las corrientes del reactor del proceso de hidrotratamiento de gasóleo para su aplicación a un nuevo modelo cinético predictivo. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre Venezuela. Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente.

GPSA. (2004). Engineering data Book. USA: Gas Processors Suppliers Association (GPSA). USA: GPSA, 12th Edition.

Grupo Alfonso Gallardo (2007). Proyecto para la instalación de una Refinería de Petróleo en Extremadura (Refinería Balboa). España.

Guerra, O. (2013). Introducción al procesamiento de hidrocarburos. Universidad de Oriente. Venezuela.

Guerra, O. (2015). Procesamiento de hidrocarburos. Fundamentos teóricos de fraccionamiento. Curso de destilación.

Guinea, J. (2006). Los retos actuales de la refinación y la logística. Repsol YPF. Argentina.

Heredia, Y. O. (2008). Evaluación y rediseño en la red de intercambio de la unidad de destilación de la Refinería “Camilo Cienfuegos”. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (ISPJAE). La Habana, Cuba.

(c) 2016, Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Hernández, R. B. (2008). Refinación del petróleo. [en línea]; [Consultado: 20 de enero del 2016]. Disponible en: http://www.pdvsa.com/trabajos36/refinacion-petroleo

Hsu, Chang S. y Robinson, Paul R. (2006). Practical Advances in Petrolium Proccesing, vol 1. Louisiana, 51 p.

Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) (2014). Refinación. Secretaría de Energía (SENER). San Bartolo Atepehuacan, México D.F.

International Council on Clean Transportation (ICCT) (2011). Introducción a la refinación del petróleo y producción de gasolina y diesel con contenido ultra bajo de azufre. Bethesda, Maryland.

International Energy Agency (IEA) (2015). World Energy Outlook. [en línea]; [Consultado: 19 de enero del 2016]. Disponible en: http://www.iea.org./

Kraus, R. S. (2013). Industrias Químicas. Petróleo y gas natural. Proceso de refino del petróleo. Enciclopedia de salud y seguridad. Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales. Madrid, España.

Kunt, H. (2010). Principales procesos de refinación. Refinación y destilación de petróleo. Universidad Central de Venezuela. Publicaciones.

Lluch, J. (2008). Tecnología y margen de refino. Ediciones Díaz de Santos. España.

Martínez, O. (2007). Destilación atmosférica y al vacío. CONAQUIM. Margarita, Venezuela.

Parkash, S. (2003). Refining Processes Handbook. 1st Ed. Gulf Professional Publishing. ISBN-13: 978-0750677219.

Passini; L. (2010). Hidrotratamiento de nafta y diesel en Refinería Bahía Blanca: atendiendo a los futuros límites del azufre. Petrobras Argentina S.A.

PDVSA (2007). Destilación fraccionada. Manual del participante. CIED. Puerto La Cruz, Venezuela.

PDVSA (2011). La Refinería. Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Venezuela.

Pemex (2013). Principales insumos de una refinería. [en línea]; [Consultado: 23 de enero del 2016]. Disponible en:

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X

Polledo, A. (2011). Diseño preliminar de una columna de destilación multicomponente. Tesis presentada en opción al título de Ingeniera Química. Facultad de Ingenierías, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Matanzas, Cuba.

Poma, K. L. (2004). Evaluación de la calidad del Diésel basado en sus Propiedades Cetánicas. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero Petroquímico. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería de Petróleo. Lima – Perú.

Pontoni, A. (2004). El Futuro del Petróleo y Fósiles Energéticos. [en línea]; [Consultado: 21 de enero del 2016]. Disponible en: http://www.econlink.com.ar/energetico

Repsol (2012) Los secretos mejor guardados de la destilación atmosférica. [en línea]; [Consultado: 21 de enero del 2016]. Disponible en: http://blogs.repsol.com/innovacion/los-secretos-mejor-guardados-de-la-destilacion-atmosferica/

Rodríguez, B. S. (2012). Conjunto de Indicadores de Desempeño energético para benchmarking del sector industrial y su uso en las aplicaciones de la norma ISO 50001. Cienfuegos. Cuba.

Romero, K. (2011). Clasificación de las refinerías. Petroleoamérica. [en línea]; [Consultado: 21 de enero del 2016]. Disponible en: http://www.petroleoamerica.com

Saavedra, N. (2015). Propuesta de un sistema de lavado y remoción de sales en el proceso de Hidrotratamiento del Diésel. Proyecto Parcial del Diplomado Tecnologías de refinación de petróleo. Especialidad en Tecnologías de refinación de petróleo. Matanzas.

Seader, D. y Henley, J. (1998). Separation Process Principles. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Visbal, E. J. y Proaño, J. F. (2014). Análisis de integración energética por el método Pinch de la unidad de destilación primaria de la refinería de Talara, Perú. Especialización en ingeniería de proceso de refinación de petróleo y petroquímicos básicos. Facultad de Ingenierías, Arquitectura, Artes y Diseño; Universidad de San Buenaventura. Cartagena, Colombia

Walas, S. M. *et al*. (2010) Chemical process equipment. Selection and design. 2nd Ed. Elsevier.

Wauquier, J. (1995). Petroleum refining, crude oil, petroleum products, process flowsheets. Éditions Technip. Institut Français du Pétrole. París, Francia

(c) 2016, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos"
ISBN: XXX-XXX-XX-XXXX-X