

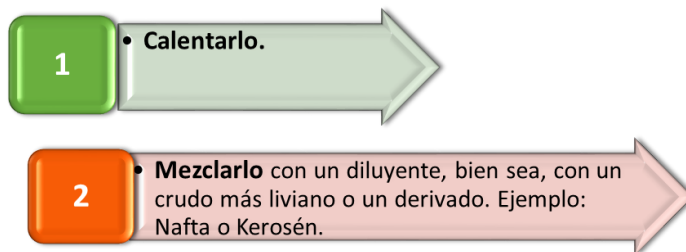
Tema IV. Transporte y Mejoramiento de los crudos pesados

Luego que los crudos pesados, extra pesados y bituminosos son extraídos del subsuelo al entrar en contacto con la superficie a la temperatura ambiental y a la presión atmosférica, se vuelve pastosos, es decir, más viscosos.

Es por ello, que para lograr transportarlos hacia las estaciones de flujo y posteriormente a las “Plantas Mejoradoras” requieren de sistemas que permitan lograr la fluidez mientras son transportados.

La Plantas Mejoradoras tiene como propósito transformar estos crudos en uno de mejor calidad, es decir, de menor °API, antes de ser enviados a una refinería o bien, exportados.

A continuación conoceremos los procesos o métodos que aplica la industria para transportar los crudos viscosos. Tradicionalmente existes dos formas de mantener la fluidez de los crudos viscosos.



CALENTAMIENTO

A nivel de superficie la temperatura del crudo disminuye causando el incremento de su viscosidad, el objetivo del calentamiento del crudo pesado es disminuir su viscosidad y así facilitar su manipulación, evitando presiones excesivas en las líneas y bombas, disminuyendo los costos de transporte y almacenamiento del diluyente.

Este proceso puede ocurrir en las estaciones recolectoras, en los patios de tanques o en las estaciones de re-bombeo, se realiza a través de calentadores que causan un incremento de temperatura sin que ocurra un cambio de fase.

El calentamiento puede ser activo o pasivo dependerá principalmente de las condiciones de superficie que exista en el campo y las características del crudo.

El calentamiento activo puede ser mediante:

- Calentadores a fuego directo.
- Calentadores a fuego indirecto.
- Calentadores eléctricos.
- Intercambiadores de Calor.
- Entre otros.

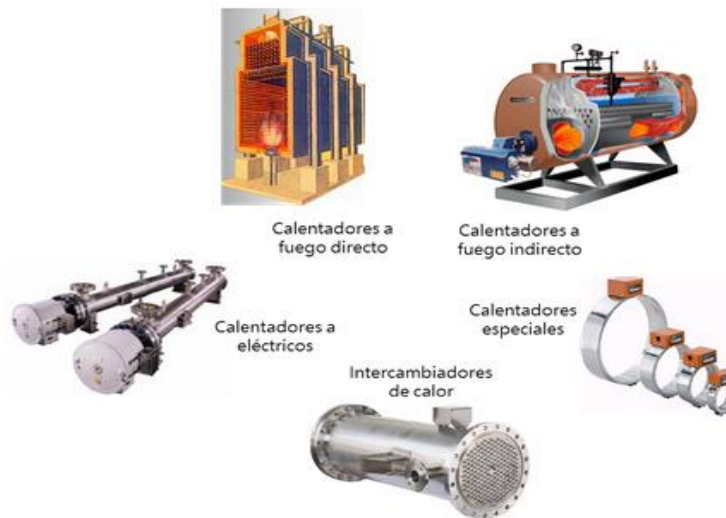


Figura 1. Tipos de calentadores.

Calentamiento Pasivo

Se basa en el control térmico de ductos, utilizando diversos materiales aislantes (concreto, neopreno, polietileno, polipropileno, espumas, etc.) (figura 2) que recubren la superficie de la tubería minimizando la transferencia de calor entre el sistema y sus alrededores, una de las características térmicas más importantes es la conductividad térmica, puesto que mientras más bajo sea este valor, la transferencia de calor será menor.

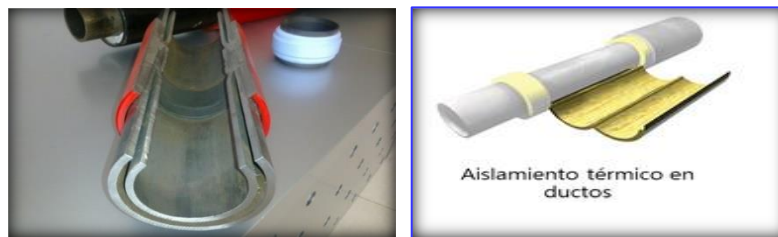


Figura 2. Tuberías aisladas.

Otro método pasivo es la adición de calor a las líneas para reducir la viscosidad del fluido calentándolas por medio de energía eléctrica (figura 3), este proceso se puede dar de dos formas.

- **Directa:** consiste en que una corriente eléctrica fluya a través de la tubería.
- **Indirecta:** se colocan conductores eléctricos (trazas eléctricas) alrededor del ducto haciendo pasar una corriente eléctrica los cuales funcionan como resistencias que incrementan su temperatura y la transfieren por medio de conducción hacia las paredes del ducto.



Figura 3. Trazas Eléctricas utilizadas para el calentamiento pasivo.

Hidrotransporte

Este proceso consiste en formar un anillo de agua alrededor del ducto, haciendo que el seno de petróleo resbale por el interior de este, de esta manera se logran reducir las pérdidas de fricción en la tubería debido a que el fluido que interactúa con las paredes del ducto es el agua (figura 4).

Sin embargo se debe tener especial cuidado en la velocidad del fluido, pues el esfuerzo de corte puede hacer que el agua penetre el seno de aceite formando emulsiones directas que pueden ocasionar mayores pérdidas de presión por los altos valores de viscosidad que trae como consecuencia este tipo de emulsión.

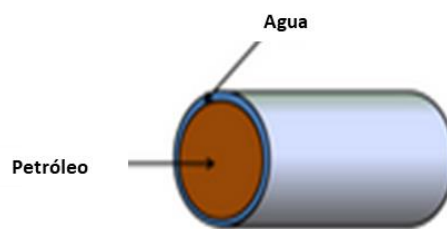


Figura 4. Hidrotransporte.

Productos Químicos

Este proceso consiste en la inyección continua o intermitente de un surfactante según demande el sistema de transporte. El surfactante actúa como un fluido que envuelve la interfaz del crudo (figura 5), reduciendo las pérdidas de presión en las líneas de transporte.



Figura 5. Función de los productos químicos en el transporte de crudos.

Los productos químicos que se utilizan como mejoradores de flujo contienen elementos activos que mejoran no sólo la viscosidad, sino también el punto de escurrimiento, pueden tener propiedades dispersantes de parafinas y asfáltenos.

Su inyección es continua o intermitente según las características y condiciones que se pretendan alcanzar. Las concentraciones son diferentes para cada tipo de crudo y producto que se desee utilizar. Los productos químicos mejoradores de flujo con frecuencia están disueltos en algún disolvente y podemos encontrar productos químicos mejoradores de flujo base agua y base aceite.

INYECCIÓN DE DILUYENTES

Otro de los métodos utilizado para mejorar la fluidez en superficie de los crudos viscosos es la Inyección de diluyente.

El método de dilución consiste en mezclar crudo pesado, extra pesado o bitúmenes con hidrocarburos medianos, livianos o con cortes de petróleo como el kerosen o nafta, en una proporción tal, que permita su movimiento a través de tuberías en condiciones económicamente aceptables: esto es: diluirlo hasta conseguir una mezcla operacionalmente manejable desde el punto de vista de su fluidez.

Al diluir el crudo se logra:

- Reducir el consumo de energía eléctrica.
- Mejorar el desplazamiento de fluidez en las líneas de producción.

MEJORAMIENTO DE LOS CRUDOS PESADOS, EXTRA PESADOS Y BITUMINOSOS

Tal como se mencionó al inicio del tema el objetivo del mejoramiento del crudo es elevar su calidad para así aumentar la rentabilidad de sus productos y subproductos que este contiene. Para ello, se aplican procesos que permiten incrementar la gravedad °API, generando así un "Crudo Sintético", con características de calidad superiores al crudo original.

Las plantas mejoradoras son adaptaciones de procesos ya utilizados en refinerías convencionales para convertir los residuos de refinación en productos ligeros más valiosos. Como regla general se puede decir, que para convertir los crudos pesados en livianos se deben retirar átomos de carbono o agregar átomos de hidrógeno a los compuestos insaturados para mejorar su relación Hidrógeno - Carbono.

La diferencia entre las refinerías y los llamados "Mejoradores" es que las primeras procesan el crudo para obtener productos tales como: GLP, nafta, diesel, asfalto, entre otros (ver figura 6).

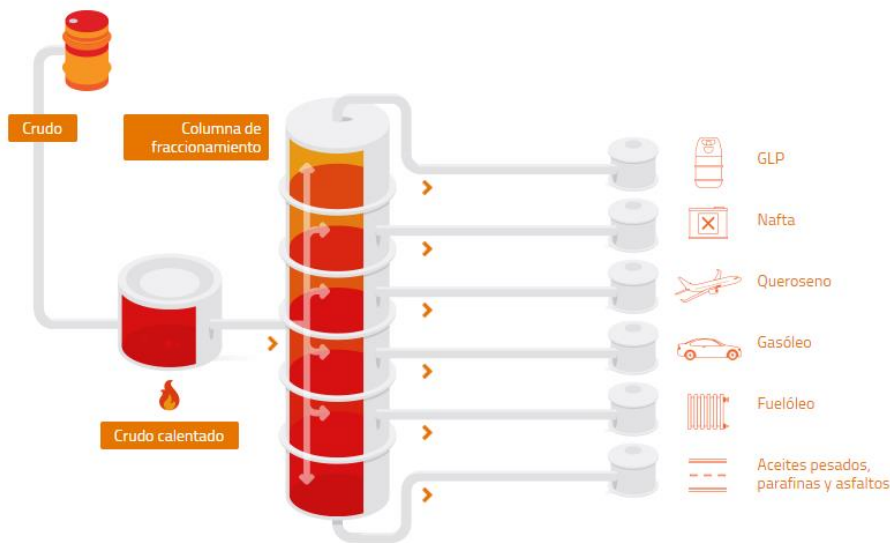


Figura.6. Productos que se obtienen de la refinación del crudo.

En cambio, las Plantas Mejoradoras sólo están para procesar el crudo pesado o extra pesado y convertirlo en uno más liviano sintético (Ver figura. 7). El mejoramiento es el paso previo a la refinación del crudo. Para poder refinar un crudo extra pesado se requiere de tecnología e inversión económica, es más costoso refinar un crudo extra pesado que uno liviano, es por eso que nace el mejorador como la tecnología necesaria para obtener un crudo liviano para venta y para refinación.

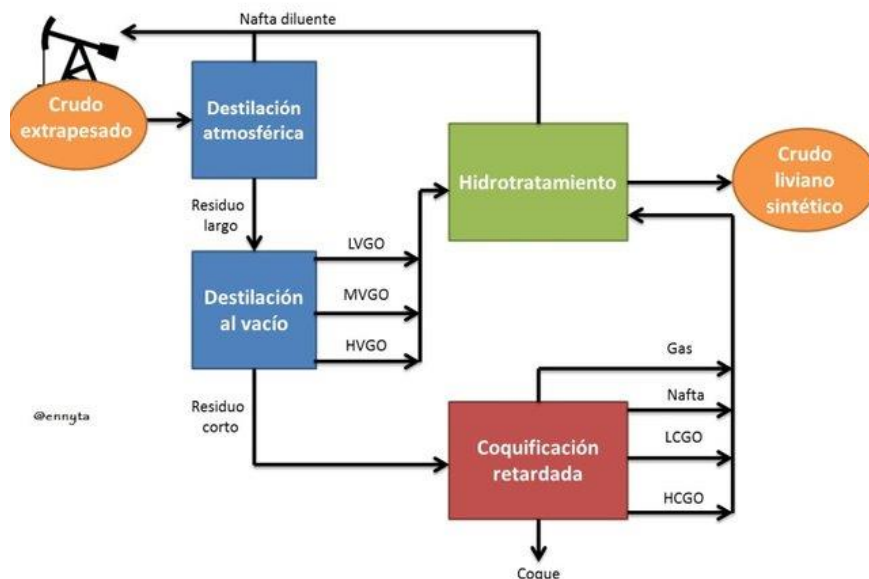


Figura. 7. Esquema de las unidades que conforman un mejorador de crudo extrapesado [Imagen creada por el autor @ennyta]

Objetivos del mejoramiento de crudos pesados y extrapesados

Entre sus principales objetivos está mejorar el proceso de transporte de crudo y la obtención de un crudo de mejor calidad:

- Producir un crudo que pueda ser transportado por las líneas (oleoductos).
- Disminuir la viscosidad del crudo y con ello reducir los costos de transporte.
- Ayuda a optimizar propiedades como el contenido de sólidos, agua y sedimentos, azufre y nitrógeno, metales y carbón de Conradson.
- Crear un crudo estable para almacenamiento en los tanques con el fin de evitar sedimentación.
- Producir un crudo de mayor gravedad API (crudo liviano sintético).
- Aumentar la relación Carbono-Hidrógeno.
- Aumentar la carga de crudo hacia las refinerías.

TIPOS DE MEJORAMIENTO DE LOS CRUDOS

Las plantas mejoradoras de crudo según la complejidad de los procesos, la tecnología aplicada y los productos que se desean obtener, pueden ser:

1. Mejoramiento básico

Es el tipo de mejoramiento más económico, puesto que las inversiones son bajas para el producto que se desea obtener y de baja capacidad de producción. Este mejorador se encarga de producir un crudo de calidad que simplemente cumpla con las especificaciones de transporte, por lo tanto, la gravedad API del crudo es de 16^º aproximadamente.

Este tipo de mejoramiento sólo consta de 3 procesos, el primero que es el proceso de separación llevado a cabo en la unidad de destilación atmosférica para obtener el diluyente y retornarlo al campo de producción para diluir el crudo extra pesado para que pueda alcanzar las especificaciones de transporte.

El segundo proceso es el de conversión constituido por la unidad de coquificación retardada empleada para el rechazo de carbono y obtener coque como resultado y el tercer proceso es el hidrotratamiento donde por inyección de hidrógeno se mejora el corte de nafta y crudo liviano buscando eliminar impurezas como azufre, aromáticos y oleofinas.

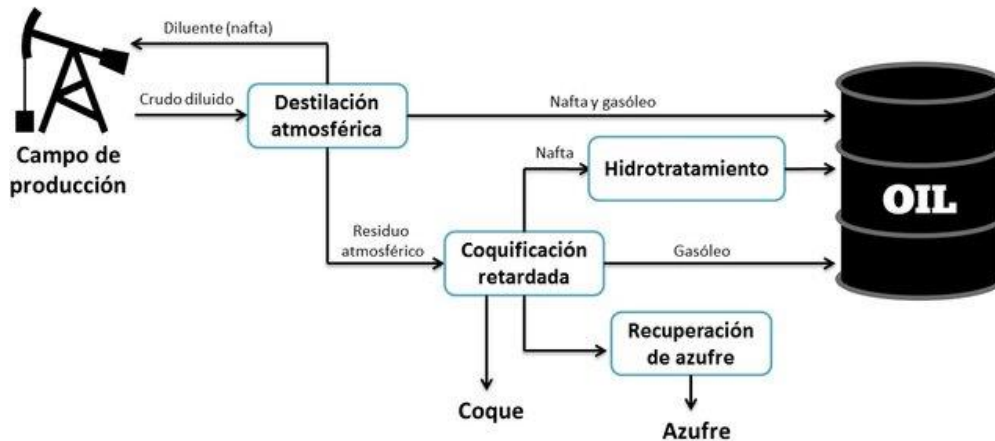


Figura 8. Representación esquemática de un mejorador de crudo básico [Imagen creada por el autor @ennyta. Imagen de [barril de petróleo](#) tomada desde publicdomainvectors, imagen de dominio público.

2. Mejoramiento complejo

En este tipo de mejoramiento se produce un crudo de mejor calidad que el obtenido en el mejoramiento básico. Es lógico pensar que requiere de una mayor inversión, aunque la inversión es rentable puesto que el crudo producido es de mejor valor económico. Similar al mejoramiento básico consta de los procesos de separación, conversión y de hidrotratamiento, sólo que ahora se añaden unos procesos más: la destilación al vacío y el hidrocrqueo de los gasóleo pesados, en este proceso se hace uso de la inyección de hidrógeno y catalizadores con el objetivo de obtener un producto de mejor calidad. En este tipo de mejoramiento se producen crudos de 22 a 28° API aproximadamente.

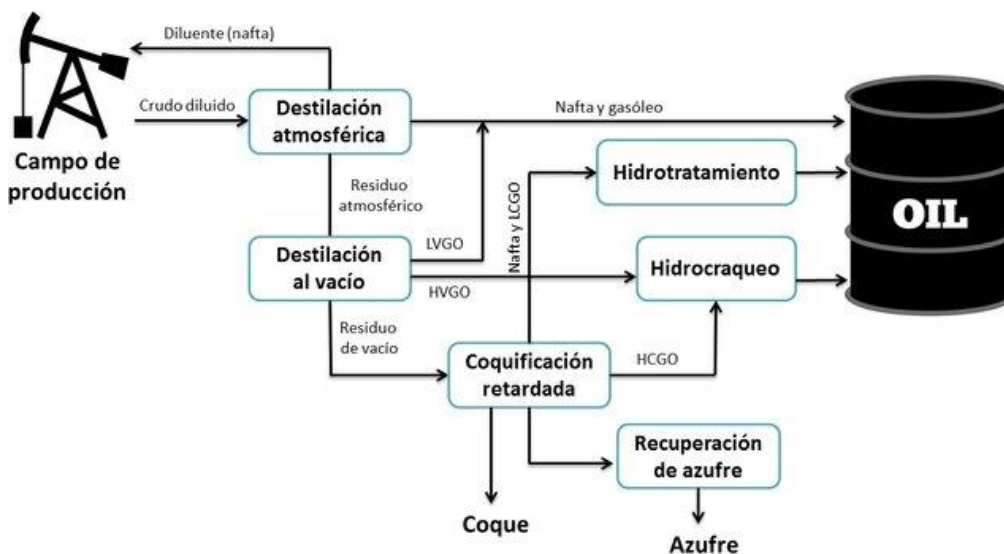


Figura 9. Representación esquemática de un mejorador de crudo complejo [Imagen creada por el autor @ennyta. Imagen de [barril de petróleo](#) tomada desde publicdomainvectors, imagen de dominio público]

3. Mejoramiento ultra-complejo

Este tipo de mejoramiento es de mayor inversión y tecnología, consiste en la integración tanto de un mejorador como de una refinería, ambas instalaciones funcionando en el mismo complejo.

Este tipo de mejoramiento también cuenta con los 3 procesos básicos de mejoramiento: separación, conversión e hidrot ratamiento, aunque la conversión se amplía en la obtención de productos, además que este juega un papel importante en el mejoramiento con las nuevas características de alimentación, esto se conoce como conversión profunda. Se añaden nuevos procedimientos propios de las refinerías como, por ejemplo: la isomerización, reformación, viscoreductores, entre otras tecnologías propias de cada país.

PROCESOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL CRUDO

Los procesos que normalmente se aplican durante el mejoramiento de crudos extrapesados están relacionados con el fraccionamiento (destilación atmosférica y al vacío), conversión (coquificación retardada) e hidrot ratamiento.

- **Destilación atmosférica y al vacío**

Luego de ser extraído el crudo del yacimiento y diluido con nafta llega hasta la columna de destilación atmosférica con el objetivo de fraccionar el crudo en diferentes cortes y así recuperar una parte de la nafta usada como diluyente para ser retornada al campo de producción.

El principio de la destilación es separar los componentes de una mezcla según el punto de ebullición de los elementos que la componen, en la destilación atmosférica tiene la particularidad de operar con una presión igual a 1 atm. Estas fracciones son gases livianos, naftas, gasóleos y residuos pesados.

Por otra parte, la destilación al vacío, tal como lo denota su nombre trabaja a una presión de vacío para reducir la temperatura de ebullición de los componentes del crudo y poder lograr su separación sin descomponer térmicamente su estructura molecular. La alimentación a esta columna se constituye principalmente de los residuos pesados dejados por la destilación atmosférica, esto se conoce como "residuo largo". Los productos obtenidos del proceso son gasóleo ligero, gasóleo pesado, aceites lubricantes, asfalto y residuo de vacío, conocido como "residuo corto", el cual será la alimentación del próximo proceso.

- **Coquificación Retardada**

La Coquificación básicamente consiste en calentar la carga proveniente de la destilación al vacío, hasta superar 480°C [900°F] en los hornos de precalentamiento de la carga. La temperatura es suficientemente elevada y el tiempo de residencia en los hornos suficientemente prolongado para que se produzca el craqueo termal de la carga a medida que la descarga ingresa en los cilindros de coquificación.

Aproximadamente un 70% del producto craqueado termalmente se vaporiza; y el gas sale del cilindro de coquificación y se envía a la torre de fraccionamiento de productos. El 30% restante experimenta reacciones de condensación y se transforma en un coque sólido, rico en contenido de carbono, que debido a varios procesos finalmente llena el cilindro.

Los productos obtenidos durante este proceso en la torre fraccionadora y en el tambor de coquificación son: gas, nafta de coque, gasóleo liviano de coque (LCGO), gasóleo pesado de coque (HCGO) y coque.

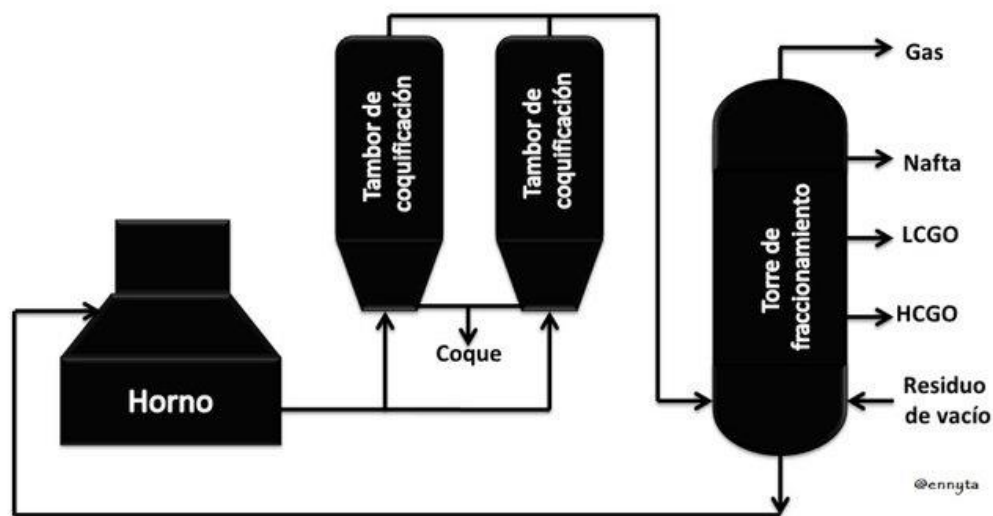


Figura 10. Representación de los equipos involucrados en el proceso de coquificación retardada [Imagen creada por el autor [@ennyta](#)]

- **Hidrotratamiento**

La unidad de hidrotratamiento tiene como objetivo la hidrogenación de los gasóleos obtenido como producto en el proceso de coquificación retardada con el fin aumentar la relación hidrógeno-carbono y obtener un producto de mejor calidad, además de eliminar impurezas como azufre, nitrógeno, metales y otros que causan problemas durante el proceso y al medio ambiente.

Durante el hidrotratamiento ocurren complejas reacciones de hidrogenación como, por ejemplo:

- **Hidrodesulfurización:** Este proceso se realiza con el fin de eliminar los componentes sulfurados del producto y así evitar el envenamiento de los catalizadores durante los procesos de hidrotratamiento, además que reduce la corrosión y mejora el olor de los productos.

- **Hidrogenación:** Este proceso se lleva a cabo con el fin de aumentar en número de cetatos en el gasóleo para alcanzar mejor estabilidad y evitar la formación de gomas.
- **Hidrodesnitrogenación:** Este proceso ayuda a la eliminación de nitrógeno de los gasóleos el cual contribuye al envenenamiento de los catalizadores.
- **Hidrodesmetalización:** En este proceso se extraen los metales que forman parte de la composición del producto lo cual disminuye la calidad del mismo. Este proceso se lleva a cabo para evitar la desactivación o envenenamiento de los catalizadores usados en procesos posteriores, además para cumplir con las regulaciones ambientales.

OTROS PROCESOS UTILIZADOS PARA MEJORAR LOS CRUDOS PESADOS Y EXTRA PESADOS

- **Viscoreducción**

En el proceso se involucra un mecanismo basado en la ruptura de los enlaces carbono-carbono que permiten liberar los sistemas poli-condensados aromáticos, reduciéndose radicales libres que generan reacciones en cadena, responsables de disminuir considerablemente las energías de activación del proceso. Las reacciones de ruptura en posición beta respecto al radical libre, generan las olefinas y liberan hidrógeno que posteriormente saturan los radicales libres formados.

Su principal producto es el fuel oil, mezcla de residuos que requiere ser diluido con subproductos livianos de mayor valor, que pueden ser enviados a otros procesos de conversión y así obtener un mayor valor agregado. Dentro de sus principales objetivos se encuentra disminuir el consumo de diluyente que es mezclado con el combustible residual, con el fin de lograr las especificaciones de dicho producto.

La viscorreducción es uno de los procesos más simples y económicos utilizados para la disminución de residuales. Aunque, en promedio, con la viscorreducción se obtiene el 20% de productos livianos y el restante (80%) de combustibles pesados, siendo este último un producto que ha perdido mercado a nivel mundial.

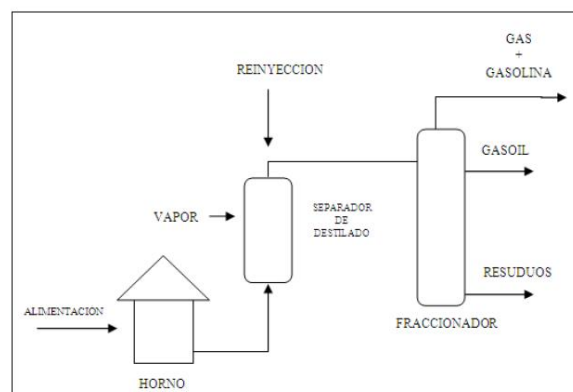


Figura 11. Diagrama esquemático de unidad del viscorreductor.

A continuación se presentarán algunas de las tecnologías desarrolladas por la industria de Petróleo de Venezuela PDVSA, las cuales han implementado para mejorar los crudos pesados y extra pesados.

- **Hidroconversión Catalítica**

Es un proceso de Hidroconversión Catalítica de residuos de vacío desarrollado por PDVSA INTEVEP. Consiste en que el residuo en presencia de hidrógeno, un aditivo sólido y un catalizador se transforma en fracciones livianas de mayor valor comercial.

El catalizador usado en el proceso son metales convencionales dispersos en el residuo a través de emulsiones catalíticas, y el aditivo es un material de diferente naturaleza preparado por molienda y tratamiento térmico para control de la fluido-dinámica de los reactores.

Puede procesar cargas provenientes del residuo de vacío independientemente del contenido de azufre, metales, asfáltenos. Este proceso tiene lugar en reactores trifásicos del tipo columna de burbujeo de flujo ascendente. Con este método se logra una conversión entre el 85-93%.

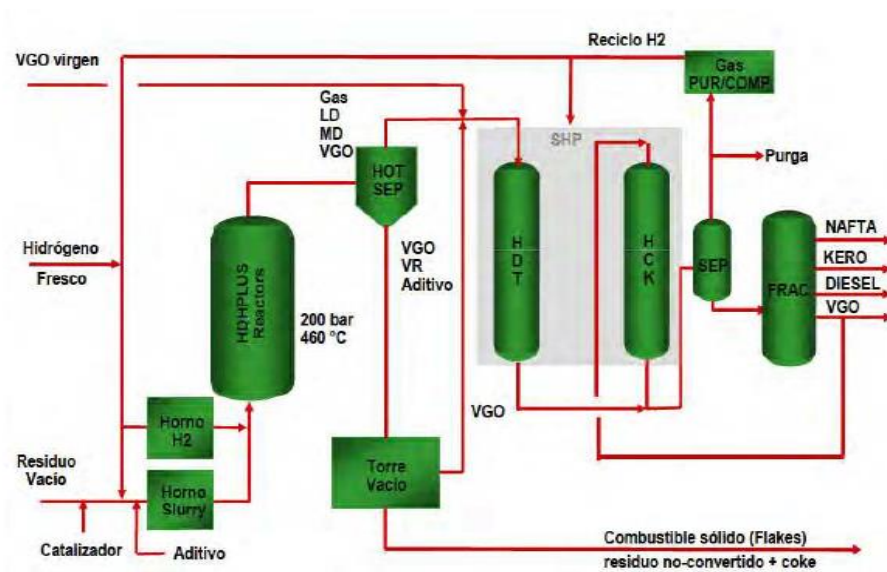


Figura 12. Diagrama del proceso HDHPLUS/SHP.

Fuente: Cedeño Velásquez, 2010.

Características:

- Flexibilidad para procesar cargas pesadas refractarias, con alto contenido de metales y azufre.
- Presenta una operación estable controlada sobre la velocidad del gas.
- Bajo rendimiento a gas (8 - 10%p).
- Elevada remoción de azufre y nitrógeno con Hidro proceso Secuencial, SHP (>90%).
- Minimiza el manejo de sólidos y subproductos en refinería: residuo remanente se convierte en flakes (combustible sólido, no procesado) que pueden ser mezclados con coque.
- Todos los productos tienen un uso definido.

- **Aquaconversión**

Es una tecnología venezolana desarrollada por PDVSA INTEVEP desde el año 1991. Es un proceso de conversión moderada (hasta 50%) de crudos pesados y residuales de alto peso molecular, elevado contenido de metales y azufre. Este proceso se realiza a partir de un catalizador soluble y vapor de agua. Es capaz de transferir hidrógeno del vapor de agua a los residuos de vacío, aumentando su estabilidad, evitando la formación de poli-condensados que son precursores de coque.

La Aquaconversión tiene dos aplicaciones bien definidas: la aplicación en cabezal para obtener crudo mejorado transportables y la aplicación en refinerías para reducir la producción de residuos pesado. La reducción de la producción de combustible pesado es económicamente atractiva porque permite mayor obtención de productos procesados de alto valor tales como: gasolina, jet y combustible diesel.

Las principales reacciones involucradas en el proceso empiezan con el conocido mecanismo de craqueo térmico para producir radicales libres de hidrocarburos, seguido por la formación catalítica de radicales libres de hidrógeno, así como la adición de hidrógeno a los radicales libres de hidrocarburos para evitar la formación de compuestos policondensados o reacciones de polimerización.

La Aquaconversión es una extensión del proceso Viscorreductor, ya que uno de los requerimientos del proceso es que el crudo sintético sea estable, por ello, esta tecnología impulsa al máximo el nivel de conversión dentro de la especificación de estabilidad por la adición de un catalizador homogéneo en presencia de vapor de agua en la entrada de la planta de Aquaconversión ubicada en la superficie del campo de producción.

La carga típica al igual que el método Viscorreductor son los residuos atmosféricos y de vacío, y las condiciones de operación en términos de tasa de flujo, temperatura y presión también son similares. La principal diferencia es que la Aquaconversión requiere la adición de vapor de agua y la presencia de los componentes catalíticos que se agregan como aditivos químicos homogéneos, su respectiva unidad de preparación, además de la sección de recuperación del catalizador.

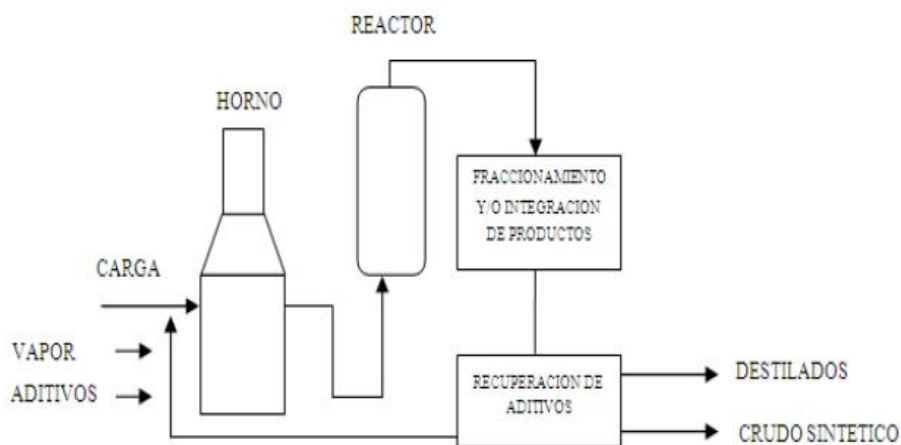


Figura 13. Diagrama esquemático de unidad de Aquaconversión.
Fuente: Elia José Khayat Chawa, 2004.

Referencias Bibliográficas

- CEDEÑO, V y otros. (2010) Factibilidad de la aplicación del proceso Aquaconversión para la conversión de residuales de vacío a nivel de refinería. Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero Petróleo. Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas.
- Fernández, R. Lárez, D. Pérez, L. Descripción de los procesos de mejoramiento de los crudos pesados y extrapesados a nivel de superficie aplicados en la Faja Petrolífera del Orinoco. Departamento de Ingeniería de Petróleo. Universidad de Oriente. Venezuela (2012).
- Harraka, C. Modelaje de un Mejorador de crudo extrapesado con programa lineal utilizando Aspen Pims. Trabajo de Grado no publicado. Coordinación de Ingeniería Química. Universidad Simón Bolívar. Venezuela (2016).
- Medrano, J. López, Y. Sánchez, J. Procesos para el mejoramiento y refinación de crudos extrapesados venezolanos. Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia. Venezuela, (2014).
- Muñoz, S. Mejoramiento de crudo extrapesado con actividad bacteriológica. Trabajo de Grado no publicado. Departamento de Ingeniería de Petróleo. Universidad Central de Venezuela. Venezuela (2004).
- KHAYAT E. y MORENO C. (2004). Factibilidad de aplicación del proceso de Aquaconversión para el mejoramiento en sitio de crudos pesados y extrapesados en el yacimiento Morichal. Tesis de Grado para optar al título de Ingeniero Petróleo. Universidad de Oriente. Núcleo de Monagas.
- Revisión de las tecnologías de mejoramiento de crudo pesado. Primer Congreso Internacional de Crudo Pesado Maturín – Venezuela. (2008) [Página web en línea] consultada el 5 de mayo 2012 en: www.es.scribd.com/doc/31366560/revision-de-tecnologias-de-mejoramiento-de-crudos-pesados.
- PEREIRA P., MACHIN I., SALERNO G., COTTE E., HIGUERAY I., ADRIOLLO A., CORDOVA J., ZACARIAS L., MARZIN R. y Rivas G. (1999). La investigación y desarrollo en mejoramiento de crudos extra pesados en pdvsa-intevep: Aquaconversion. Acta científica venezolana [Revista en línea], 50:48-53. www.scribd.com/.../Mejoramiento-de-Crudos-Pesados-y-Extrapesados.