

## **PROCESO PARA LA SEGREGACIÓN GRAVITACIONAL CON AGUA DE ASFÁLTENOS A LOS CRUDOS, Y EQUIPOS PARA SU IMPLEMENTACIÓN**

### **Campo técnico de la invención**

La invención se relaciona con un proceso para la remoción in situ de asfáltenos presentes en crudos, particularmente crudos pesados y extrapesados, mediante segregación gravitacional de los asfáltenos con agua. La invención también se relaciona con los equipos para la puesta en marcha del proceso de la invención.

### **Antecedentes de la invención**

La siempre creciente demanda de energía, tanto en la producción Industrial, como en los consumos domésticos, registrada especialmente desde la revolución industrial, ha incorporado a la canasta mundial las más variadas fuentes de energía; desde los combustibles de origen vegetal, como la leña, el alcohol y el biodiesel, pasando por los combustibles de origen fósil como el carbón, el petróleo, el gas natural y las arenas bituminosas; así como la energía eléctrica de origen hidráulico, térmico y nuclear; y toda fuente alternativa que se descubra, como la eólica y la solar. De todas ellas, desde finales del siglo XIX, el mundo demanda en forma constante y creciente del petróleo y su participación en la canasta de energía lo tiene como el factor económico, geopolítico y estratégico más importante de la economía mundial.

Durante toda la historia de la Industria petrolera, la etapa de refinación en la cadena de valor se orientó hacia maximizar la producción de combustibles blancos; es decir, maximizar los márgenes económicos al reducir la producción del combustóleo (fuel oil en inglés), por considerar a este último como el derivado de menor valor comercial; dada su difícil combustión. A esta estrategia se la denominó “reducir el fondo del barril”.

Los retos para la refinación crecieron en la medida en que se redujo la disponibilidad de crudos livianos y medianos en las cargas de refinerías; fenómeno que se empezó a registrar desde mediados de los años 70's, cuando se empezó a contemplar los crudos pesados y extrapesados para atender las necesidades de carga a las refinerías y las demandas de combustibles.

Con la mayor producción de estas materias primas, se registraron nuevos retos, tanto en los campos de producción, como en su logística y transporte, así como en la mayor contaminación por el incremento de sólidos en los gases de combustión, todo lo cual crecía en dificultades y costos.

En la medida en que a las cargas de las refinerías se les incrementó la participación de crudos pesados y extrapesados, la industria se obligó a modificar los esquemas de refinación, los cuales crecieron en complejidad y costo, a fin de contrarrestar la tendencia

relativa de disminución en la producción de combustibles blancos y el incremento de combustóleo.

Para el caso de la refinación, la tendencia del incremento en la producción de combustóleo es consecuencia directa de la mayor presencia y rendimiento de las fracciones pesadas, en especial el asfalteno, un verdadero dolor de cabeza en la industria; pues aumentó su presencia desde las profundidades del pozo hasta las refinerías, pasando por las facilidades de producción, oleoductos, buques cisterna, tanques de almacenamiento y demás equipos y procesos.

En la actualidad, del total de las reservas mundiales de petróleo, el 30% de estas corresponde a crudo convencional y el 70% a no convencional, de este último el 25% son crudos pesados y 45% crudos extrapesados. Venezuela es el país de la región con las mayores reservas de crudo pesado con el 87,2%, le siguen México con el 7,4%, Ecuador con el 2,7%, Brasil con el 1,1%, Colombia en el quinto lugar con el 0,6%, Argentina con el 0,5% y Perú con el 0,4%.

Ahora bien, el transporte de estos crudos desde los campos de producción hasta las refinerías obliga a recorrer grandes distancias, para lograrlo, la mejor opción es mediante oleoductos, sin embargo, el transporte por oleoducto exige cumplir con ciertos requerimientos del fluido que ha de ser transportado, a saber: una viscosidad menor a los 300 cSt (3 cm/s), una gravedad API mayor a 18° y un contenido de agua inferior a 0,5%.

Para llevar los crudos pesados y extrapesados a las especificaciones de bombeo, con las variables de viscosidad y gravedad API antes señaladas, se requiere la aplicación de algún proceso de mejoramiento del crudo que reduzca el impacto por su alto contenido de asfaltenos; por lo pronto, la industria utiliza la dilución con nafta virgen y se piensa en procesos como el desasfaltado, en los campos de producción.

Si bien, la dilución con naftas vírgenes viabiliza su transporte, esta operación resulta compleja y aún costosa, por los niveles de inversión y los sobre costos derivados por la recuperación de las naftas y su transporte de regreso al campo de producción.

Por otra parte, las actuales tecnologías disponibles para lograr el desasfaltado exigen costosas inversiones y altos costos de operación, que tan sólo se justifican, en la medida en que las producciones logren las economías de escala que las amorticen.

### **Los asfaltenos el dolor de cabeza**

Los asfaltenos se han definido como la fracción del crudo insoluble en disolventes alifáticos como el heptano y soluble en disolventes aromáticos como el tolueno. Sin embargo, a pesar de los numerosos estudios, su composición no se ha definido adecuadamente sobre una base molecular; la comprensión es que su principal característica es su aromaticidad. Pueden estar representados por compuestos de entre cinco y diez anillos aromáticos fusionados que llevan heteroátomos como nitrógeno,

oxígeno, azufre. Sus anillos tienen la capacidad de auto asociarse y formar agregados supra moleculares, que a su vez pueden atrapar compuestos de menor peso molecular solubles en solventes alifáticos.

Según la espectrometría de masas de resonancia de iones ciclotrón (FTICR MS) los asfáltenos tienen una amplia variabilidad composicional con alto número de átomos de carbonos y anillos poliaromáticos con contenidos de azufre y metales, como el níquel y el vanadio, los cuales envenenan y desactivan los catalizadores que se utilizan en los procesos de ruptura catalítica. Adicionalmente, su alta viscosidad es la responsable del incremento en la dificultad operacional de su manejo y en el mayor costo del transporte por oleoducto de los crudos pesados y extrapesados.

Al retirar los asfáltenos del crudo, se reduce su viscosidad, así como su contenido de metales y azufre; lo que, además de mejorar la calidad del crudo y su precio, elimina muchos problemas en la cadena de valor de la Industria, pues facilita el transporte por oleoducto, reducen los problemas de corrosión, permite reducir la temperatura del proceso en la de destilación atmosférica, incluso podría eliminar la necesidad de la destilación al vacío. Por lo tanto, reduce la complejidad de los esquemas de refinación y por consiguiente los costos de Inversión y operación.

Si bien se han desarrollado en el arte diferentes tecnologías para el desasfaltado de los crudos, su implementación hasta ahora en los campos de producción es compleja, costosa e intensiva en inversiones para su procesamiento, lo que impide su viabilidad por la economía de escala que se manejan.

Retirados los asfáltenos en el campo, pueden ser manejados en tres alternativas: primero como materia prima en procesos químicos que permitan obtener más combustibles livianos, como combustible para cogeneración eléctrica o en la producción de emulsiones asfálticas; todas ellas se constituyen en una oferta importante en los campos de producción, por ser normalmente zonas no interconectadas a la oferta de energía eléctrica y ser regiones despobladas con pobre viabilidad.

### **Ejemplos de proceso existentes**

Por ejemplo, la Patente US 4.125.459, se relaciona con un tratamiento de hidrocarburos de material bituminoso con solventes y describe un proceso para desasfaltar hidrocarburos provenientes de material bituminoso mediante el desasfaltado combinado con propano y pentano, que también puede ser obtenido al desasfaltar solo con propano o con pentano. El material bituminoso es primero desasfaltado con pentano para producir una fracción liviana que contiene el aceite y las resinas y luego a esa fracción liviana y a un residuo, compuesto de una parte de la fracción de resinas obtenidas del segundo desasfaltado, se le aplica un proceso de desasfaltado con propano. El proceso también puede primero desasfaltar con propano y luego con pentano y recicla una parte de la

fracción liviana obtenida al proceso de desasfaltado con propano. Según los autores el aceite así obtenido es de mayor calidad y mayor rendimiento.

La Patente US 4.191.639, describe un proceso para desasfaltar con una mezcla de al menos dos de los siguientes compuestos: sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono e hidrocarburos livianos, que pueden ser propano, butano, pentano o sus mezclas. Cada uno de los componentes debe estar presente en al menos 10% de lo que se llama solvente. El proceso se realiza a temperatura por debajo de la crítica y a presión por encima de la crítica del solvente. La relación hidrocarburo/solvente puede ir desde 1/1 hasta 1/20. El aceite desasfaltado se caracteriza porque tiene menor contenido de metales y azufre y puede ser utilizado como carga a los procesos de rompimiento catalítico fluido o procesos de hidro-rompimiento.

La Patente US 4.324.651, describe un proceso para desasfaltar un aceite mineral que contiene asfaltos, a temperatura por encima de los 80°C (preferiblemente 175 - 225°C) y a elevada presión (500 - 1200 Psig (3447,38 a 8273,71 KPag)), utilizando metanol como solvente para desasfaltar. El proceso produce dos fases, una rica en asfalto y otra rica en metanol. Mediante el enfriamiento de la fase rica en metanol a una temperatura por debajo de los 80°C y con un tiempo de asentamiento se producen dos fases una rica en aceite y otra rica en metanol.

La Patente US 4.514.287, relaciona un proceso para el desasfaltado con solvente de hidrocarburos con contenido de asfáltenos, el proceso se desarrolla mezclando un solvente, más un compuesto metálico de sulfato de aluminio o titanio, y alcoholes. El proceso utiliza para crudos reducidos de destilación atmosférica y se aplica para un residuo proveniente de un crudo liviano árabe y con contenidos de asfáltenos menores al 5%.

La Patente US 4.634.520, describe un proceso en baches a nivel de laboratorio para deshidratar y des asfaltar simultáneamente emulsiones de crudos pesados, empleando como solvente el petrol-éter. Una vez que mezclan el crudo con el solvente esperan un tiempo para la decantación de las fases, posteriormente retiran la fase liviana que contiene el crudo desasfaltado y la mayor parte del solvente. Los asfáltenos son lavados dos veces más con solvente y posteriormente introducidos en un baño de agua caliente, para producir aglomerados de asfáltenos, se espera un lapso para que se presente la separación de fases y luego se toma la fase asentada (asfáltenos y agua) y se lleva a un baño caliente para que los asfáltenos formen aglomerados. Luego los asfáltenos aglomerados son removidos del agua caliente.

Patente US 4.915.819, describe un tratamiento para la deshidratación, desasfaltado y desparafinado en baches que se realiza a un crudo en forma de emulsión. El proceso reduce la viscosidad de crudos pesados al remover asfáltenos y metales pesados, tales como níquel y vanadio en el caso de crudos pesados y ceras en el caso de crudos livianos. Describe un método para remover asfáltenos y/o ceras del crudo, en donde el método comprende los pasos de contactar el crudo con un solvente orgánico para disolver el

crudo y precipitar asfáltenos y/o ceras, separar los asfáltenos y/o ceras del crudo y solvente, y separar el solvente del crudo desasfaltado. Se recupera el solvente para usos posteriores. La recuperación de asfáltenos se realiza poniéndolos en contacto con agua.

Solicitud de patente US 2005/0167333 o solicitud PCT WO 2005/074440, titulada "Proceso de conversión súper crítica para hidrocarburos", describe un proceso que se aplica para convertir hidrocarburos con punto de ebullición superiores a 538°C a condiciones supercríticas, mediante la utilización de un solvente en una relación solvente/hidrocarburo de 2/1 y a condiciones por encima de la temperatura crítica (371 - 593°C) y la presión crítica (715 - 2015 Psia (4929.75 -13892.94 KPa)) del solvente en presencia de un lecho sólido fluidizado y caliente. El hidrocarburo Ingresa a la zona de reacción a una temperatura más baja que la que tiene el lecho sólido fluidizado. La suspensión sólidos hidrocarburo tiene una temperatura de equilibrio correspondiente a la temperatura de reacción. Esta conversión presenta altas remociones de azufre, nitrógeno y metales y produce un hidrocarburo de menor peso molecular, con mayor conversión para nafta y menor formación de coque. Según la solicitud en mención, se plantean que este proceso supercrítico puede remplazar los procesos de destilación primaria y de vacío, el desasfaltado con solvente, la coquización, el hidro-rompimiento, el hidrotratamiento y el rompimiento catalítico, o puede usarse en paralelo con estos procesos.

Solicitud de Patente Colombiana No. 97-48663, titulada "Proceso de desasfaltado de hidrocarburos pesados con alto contenido de asfáltenos a condiciones bajas de presión y temperatura", describe un proceso continuo de extracción en línea, a baja presión y temperatura, de alto rendimiento y de mínimo mantenimiento, para desasfaltar, desmetalizar y desulfurar parcialmente mezclas de hidrocarburos asfáltenos, tales como crudos pesados asfáltenos y residuos pesados provenientes de destilación primaria o al vacío, bien sea en su estado original o en forma de emulsiones inversas, hidrocarburo en agua. El proceso mencionado en la solicitud 97-48663 se realiza en una sola etapa, donde inicialmente se realiza el descabezado para la separación de las fracciones más pesadas del hidrocarburo, luego el hidrocarburo en forma deshidratada o de emulsión inversa se mezcla con solvente y pasa a un recipiente para hacer la separación de los asfáltenos del crudo mejorado y el solvente en una sola etapa. El solvente se recupera y se recircula al proceso. Finalmente, se separa el solvente arrastrado en la parte asfáltica.

Los procesos de las publicaciones mencionadas son esencialmente procesos en los cuales se retiran los asfáltenos a los residuos asfálticos y emplean solventes orgánicos, compuestos metálicos y mezclas de alcoholes; es decir, requieren procesos previos para ser aplicados, lo que exigen mayores inversiones, posibles para economías de escala con altas cargas de crudo, lo cual dificulta la economía para ser implementados en los campos de producción de crudos. Adicionalmente, emplean condiciones de temperatura y presión elevadas.

Asimismo, se han reportado en el arte previo tecnologías para la remoción de asfáltenos que implican la formación de emulsiones aceite en agua, tal como la divulgada en el documento US8,932,450 B2. Esta publicación enseña el procesamiento de emulsiones

crudo/agua, provenientes de pozo, o de emulsiones formadas por la adición de agua con el fin de tener un contenido de agua de por lo menos 5%; no obstante, para la separación del crudo de los asfáltenos se requiere la adición de un agente descontaminante, en donde el agente descontaminante comprende hidrocarburos ligeros de 7 átomos de carbono o menos. El acondicionamiento de la emulsión por la adición de un agente descontaminante se realiza a una temperatura desde 70°C a 200°C. Como resultado de la adición del agente descontaminante se forma una fase de crudo libre de asfáltenos y una fase de asfalteno/agua.

El documento US 8,147,678 B2, por su parte, divulga un proceso para remover asfáltenos y/o metales del crudo, esta separación se logra por la mezcla de agua de lavado con crudo para formar una emulsión agua/crudo y la adición de químicos al agua de lavado, crudo o emulsión agua/crudo para aumentar el tamaño de una fase intermedia formada en la interface crudo/agua. Este proceso comprende también separar la emulsión de agua/crudo en una unidad desalinizadora para formar una primera fase acuosa que comprende agua y sales solubles en agua, una fase intermedia que comprende asfáltenos y/o metales junto con agua y una fase de hidrocarburos que comprende crudo desalinizado, desasfaltado o reducido. Este documento no menciona temperaturas de operación particulares y únicamente hace una amplia referencia a temperaturas de operación de los aparatos y métodos de la invención, las cuales pueden variar desde 0°C a más de 150°C.

Estos procesos, en los que interviene la adición de agua para formar emulsiones, también requieren la adición de solventes o de acondicionadores de emulsión para provocar y mejorar la separación del crudo, las cuales deben ser llevadas y suministradas en los campos de producción para su aplicación.

Como tal no existe una tecnología de remoción de asfáltenos en el campo que sea de conveniente aplicación, sin que requiera llevar al campo solventes u otros agentes de separación y que no requiera de equipos complejos de instalación y operación, como tampoco de temperaturas y presiones elevadas.

### **Descripción de la Invención**

El proceso que se presenta para su reconocimiento como innovación, ofrece la posibilidad de retirar los asfáltenos del crudo en forma intencional, directa, sencilla y sin antecedentes en los campos de producción. Hasta el momento, la industria petrolera no dispone de un proceso que le permita retirar los asfáltenos en el campo mismo de producción, de manera efectiva, con un bajo nivel de inversión y a costos de operación razonables, que permita su recuperación en tiempos y costos viables.

Por lo tanto, el proceso de la presente invención se constituye en una oportunidad para hacer viable y competitiva la producción y comercialización de los crudos pesados y extrapesados; además, al hacer viable el retiro de los asfáltenos en los campos de producción se estarán eliminando muchos de los problemas generados por los asfáltenos

en la cadena de valor de la industria, reducir sus consumos de energía, así como los impactos ambientales derivados de los eventuales derrames de crudo sobre cuerpos de agua, contribuir a reducir los efectos del cambio climático y ofrecer un valor agregado en la zona de influencia del campo productor, lo que permite mejorar las oportunidades a las poblaciones vecinas y ofrecer alternativas que contribuyen a su desarrollo socioeconómico, lo que garantiza una mayor justicia y equidad con las zonas productoras.

El proceso que se propone ofrece retirar los asfáltenos del crudo (de toda clase de crudos) a partir de las siguientes cuatro características físicas: a) el carácter inmiscible del agua con los hidrocarburos, b) el carácter inmiscible del asfaleno en los hidrocarburos parafínicos livianos, c) la diferencia de gravedades específicas entre el agua y los hidrocarburos y d) el carácter polar que la presencia de los heteroátomos le aportan a algunas sub-fracciones de los asfáltenos y de allí su condición de surfactante natural del agua.

Adicionalmente, el fenómeno de expansión volumétrica que se registra con el agua, al momento de pasar del estado sólido al estado líquido, cuando su gravedad específica pasa de 1,0 a 0,92, permite disponer de un rango de gravedades específicas entre 0,92 hasta 1,0, en el rango de 0°C a 32°C, en fase líquida, y hacer del carácter insoluble de los hidrocarburos en el agua el agente de segregación gravitacional que permite hacer flocular al asfaleno del crudo.

Ahora bien, la variada mezcla de hidrocarburos que contienen los crudos, especialmente en las fracciones pesadas de resinas y asfáltenos, nos permite afirmar que no existen crudos, ni asfáltenos iguales; máxime al contener, estos últimos, una presencia de heteroátomos en sus estructuras moleculares, la cual confiere a estos compuestos características polares e hidrofílicas, que favorecen la producción de emulsiones de los hidrocarburos con el agua; por lo anterior, la segregación gravitacional se constituye en una interesante oportunidad.

Para lograrlo, el proceso que se presenta para reconocimiento como patente, utiliza al agua como un apropiado agente segregador, que, al aplicar una combinación de factores desestabilizadores de los asfáltenos en el crudo, los segrega de los demás hidrocarburos y los coloca, agua de por medio, mientras los asfáltenos precipitan y los demás hidrocarburos sobrenadan.

Para lograr una más efectiva separación se promueve una fuerte perturbación a las condiciones termodinámicas del crudo, así se desestabilizan sus asfáltenos, se propicia el rompimiento de sus agregados moleculares, con el consecuente desprendimiento de las resinas y los demás hidrocarburos, momento en el cual, los asfáltenos precipitan, dada su gravedad específica mayor a 1,0.

El objetivo que permite flocular y separar los asfáltenos del crudo se logra, con el proceso propuesto, al utilizar de manera intencional y pertinente los siguientes factores que afectan su estabilidad en el crudo y favorecen su separación, a saber:

a) Propiciar variaciones en la composición de hidrocarburos del crudo procesado, mediante la recirculación de corrientes de hidrocarburos livianos de carácter parafínico, obtenidas del crudo mismo aguas abajo dentro del proceso; se busca con ello, crear la segregación de dos grupos de hidrocarburos: por un lado el asfalteno, inmiscible en heptano y con gravedad específica mayor a 1,0, que precipitará, y por el otro, los miscibles en hidrocarburos parafínicos livianos, a los cuales se les reduce más su gravedad específica a fin de lograr que sobrenaden con mayor facilidad sobre el agua.

b) Adicionar agua a diferentes temperaturas, en cada una de las fases del proceso, con diferentes relaciones volumétricas respecto a los hidrocarburos tratados, utilizar su carácter inmiscible con los dos grupos de mezclas moleculares de hidrocarburos, así como el carácter de surfactante natural del agua, que tiene el asfalteno, son factores que se utilizará para estimular su floculación.

c) Aplicar perturbaciones termodinámicas de manera tal, que permitan formar temporales emulsiones directas e inversas, a fin de que facilitar la segregación gravitacional y una más rápida separación.

d) Establecer perfiles de temperatura, tanto del agua como de los hidrocarburos, en las diferentes fases del proceso, que garanticen el rompimiento de las emulsiones temporales. e) Emplear arreglos pertinentes que produzcan cambios cinéticos, a lo largo del proceso, con los cuales se asegure el rompimiento de los agregados asfalteno-resinas, así como una mayor facilidad para precipitar los asfáltenos y lograr la flotación de la mezcla liviana de hidrocarburos.

Para ello, el proceso se realiza en tres (3) fases fundamentales, a saber:

- Fase 1 : Desestabilización de los Asfáltenos en el crudo
- Fase 2: Segregación Gravitacional Primaria
- Fase 3: Rectificación de Productos

Las fases anteriores son suficientes para crudos intermedios, pesados y extrapesados, en los que predominen los hidrocarburos aromáticos y no se encuentren cantidades significativas de ceras parafínicas.

Sin embargo, ante las variadas composiciones posibles de crudos y fracciones pesadas, a las fases anteriores se le incluye de manera opcional una fase adicional con las cuales se busca cubrir las necesidades operacionales que requieren los crudos medianos y livianos, con contenidos significativos de ceras parafínicas.

Dicha fase adicional, necesaria para complementar el proceso en el caso de crudos Intermedios y livianos, consiste en una fase secundaria de segregación gravitacional, en la cual se procesan cada una de las corrientes de hidrocarburos livianos y de residuos asfálténicos, obtenidas en la segregación gravitacional primaria; esta fase opcional se

actúa en sus correspondientes torres de segregación gravitacional, después de la segregación gravitacional primaria y antes de la fase de rectificación de productos.

### **Fase 1 : Desestabilización de los Asfáltenos en el crudo**

Tiene como objetivo fundamental romper los agregados moleculares que forman los asfáltenos; predominantemente con las resinas e incluso con otros hidrocarburos más livianos, de manera tal que, al quedar libres los asfáltenos, se facilite la formación de sus emulsiones con el agua y floculen espontáneamente.

Lo anterior se logra mediante la utilización de cuatro (4) de los seis (6) factores de desestabilización, mencionados anteriormente. Como primer factor, a) se busca un cambio en

la composición del crudo, lo que se logra al mezclarlo con de unas corrientes de hidrocarburos livianos, parafínicos de 5 y 6 átomos de carbono, obtenidos del crudo mismo, aguas abajo en el proceso, con las cuales se logra reducir significativamente la gravedad específica de los hidrocarburos diferentes al asfalto, lo que facilita su segregación gravitacional.

Como segundo factor, (b) se adiciona agua, la cual actuará como agente segregador de los hidrocarburos; el tercer factor, (c) contempla atomizar la mezcla (crudo, hidrocarburos livianos y agua) con los mezcladores estáticos de alta intensidad hasta lograr una emulsión y como cuarto factor, (d) se controla una temperatura de la emulsión entre los 10°C y los 50°C, según las necesidades de la carga.

Vale la pena destacar que, al inicio de la puesta en operación, el crudo ingresa al proceso sin la mezcla de los hidrocarburos parafínicos C5 y C6, los cuales se le podrán adicionar de manera gradual y creciente en una válvula mezcladora de crudo (VMC), hasta lograr la proporción óptima en relación con el crudo, una vez se produzcan en la sección superior de la torre gravitacional primaria.

### **Fase 2: Segregación Gravitacional Primaria**

La emulsión del crudo obtenida en la fase anterior es la carga a la Fase de Segregación Gravitacional primaria, a partir de la cual se realiza la separación de hidrocarburos en sus fracciones miscibles e inmiscibles en hidrocarburos parafínicos livianos y en la que el agua actúa como el agente de segregación de las dos corrientes; la primera será precursora del crudo mejorado y la segunda de los asfáltenos.

En esta Fase se registra, además, la producción gaseosa y su posterior condensación, de la fracción de hidrocarburos parafínicos, correspondientes a compuestos livianos cuyo punto de ebullición es inferior a los 110°C, predominan pentanos y hexanos, los cuales se recircularán a la carga, con el objeto de modificar la composición del crudo, como ya se mencionó en la Fase 1 ; se evita la fase gaseosa del n heptano, porque con dichos gases se producen benceno, en el cual se diluyen los asfáltenos. Enriquecer el crudo con

hidrocarburos saturados livianos, exclusivamente, en los cuales el asfalto es insoluble, busca disminuir la gravedad específica de la mezcla de los hidrocarburos miscibles en condensados parafínicos, a fin de lograr que dicha mezcla logre sobrenadar con mayor facilidad sobre el agua.

El agua adicionada es la variable fundamental en esta Fase, sus proporciones volumétricas y las condiciones de temperatura determinan la producción de la emulsión y su temperatura, por lo tanto, varían de crudo a crudo y estarán determinadas en función del contenido de las diferentes estructuras químicas existentes en el crudo, según los análisis SARA (Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfáltenos); el contenido de ceras parafínicas, especialmente en las fracciones con rangos de destilación superiores a los 350°C, los contenidos de heteroátomos, los análisis PONA (Parafinas, Olefinas, Naftenos y Aromáticos) y PIANO (n-Parafinas, Iso-parafinas, Aromáticos, Naftenos y Olefinas); el factor de caracterización UOPK, así como los contenidos de S, N, O, metales pesados, entre otros. Con base en las técnicas conocidas para la caracterización de los crudos, el versado en la materia está en capacidad de realizar los análisis correspondientes de la carga a alimentar en el proceso de la presente invención; por lo tanto, dichos análisis previos a la conducción del método de la presente invención no hacen parte del alcance de la protección solicitada.

Adicional a lo anterior, las condiciones de temperatura y presión, así como los factores mecánicos como la agitación y mezcla logran producir una emulsión temporal de crudo en el agua (O/W), la emulsión de los hidrocarburos livianos se rompe rápidamente en la torre de segregación gravitacional primaria y se separa de las eventuales emulsiones remanentes de los residuos asfálticos, preservada por la temperatura y el carácter polar de los asfáltenos, mediando los excesos del agua.

En la torre de segregación gravitacional primaria, se establece un perfil de temperatura entre el fondo y la cima, así: el fondo, como variable dependiente de los flujos de agua y la recirculación de las corrientes provenientes de las torres rectificadoras se encontrará a una temperatura entre 10°C - 50°C y en la cima, como variable independiente se debe controlar una temperatura entre 60°C - 110°C, rango de ebullición de los hidrocarburos livianos presentes en el crudo que se utilizarán como solvente de la fracción precursora del crudo mejorado; bajo estas condiciones se busca generar una condición termodinámica diferente, capaz de estimular y facilitar la segregación gravitacional entre los residuos asfálticos y los hidrocarburos miscibles en solventes parafínicos livianos.

### **Fase 3: Rectificación de Productos**

Ya consolidada la corriente de hidrocarburos miscibles en solventes parafínicos, esta se constituye en precursora del crudo mejorado, y la de residuos asfálticos, como precursora del asfalto; las dos se someten a un proceso de rectificación a fin de retirarles los eventuales arrastres de asfalto en la primera e hidrocarburos deseables para el crudo mejorado, en la segunda.

Las torres de rectificación hacen parte fundamental de la efectividad para lograr la segregación gravitacional, toda vez que, las corrientes que retiran los eventuales arrastres se recirculan a la torre de segregación gravitacional primaria, y contribuyen a establecer el perfil térmico requerido en esta última. Para tal efecto, el proceso podrá comprender por lo menos una torre de rectificación de livianos y por lo menos una torre de rectificación de pesados, según las necesidades del proceso, ya que la rectificación podrá replicarse siendo necesaria más de una torre de rectificación de livianos y más de una torre de rectificación de pesados.

### **Fase Opcional de Segregación Gravitacional**

Ahora bien, un alto contenido de ceras parafínicas en el crudo, en el rango de las fracciones de los destilados con punto de ebullición superiores a 350°C, requiere la inclusión de la fase opcional, con el objetivo fundamental de evitar la producción de agregados moleculares que se pudiesen formar entre las ceras parafínicas y los asfáltenos, situación que dificultaría la eficiente precipitación de estos últimos.

Con el objeto de profundizar en el retiro de residuos de la corriente de hidrocarburos livianos, así como de los hidrocarburos saturados, aromáticos livianos y resinas de la corriente de residuos, cuando se trata de una carga de crudos livianos y extra-livianos, con alto contenido de ceras parafínicas, que tienden a solidificarse a temperaturas inferiores a los 45-50°C, la temperatura de carga a la torre de segregación gravitacional primaria debe ser mayor a los 45-50°C, llegando a exceder las condiciones de temperatura de la carga para la operación de la torre de segregación gravitacional primaria; por lo tanto, para el objeto de la presente Invención, se hace necesaria la fase opcional de modo que se remuevan ceras parafínicas remanentes en la corriente precursora de los asfáltenos.

Al disponer de la fase opcional para el procesamiento de este tipo de crudos, la torre de segregación gravitacional primaria puede trabajar con una temperatura ubicada en los valores superiores del rango considerado para el fondo de la torre, que, con la adición de solventes parafínicos, busca mantener líquidas las ceras parafínicas. Esta fase opcional culmina el proceso de floculación de asfáltenos.

En el caso de un bajo contenido de ceras parafínicas, la sola dilución con el solvente parafínico podría llegar a mantener en estado líquido las ceras, a temperaturas inferiores a la de solidificación y por lo tanto se podría operar con una temperatura más baja en la carga a la torre de segregación gravitacional primaria; por lo tanto, la fase opcional de segregación gravitacional secundarla no sería requerida.

Como quiera que el proceso es eminentemente físico, una Planta Piloto, que incluya la fase opcional, permite efectuar una investigación operacional del comportamiento de crudos complejos y buscar el perfil óptimo de temperatura en las torres de segregación gravitacional, así como el comportamiento y la óptima relación solvente a carga de crudo procesado. Las corridas de investigación operacional se deben realizar antes del diseño detallado de proceso, de manera tal que garanticen la necesidad o no de la fase opcional.

Con base en las condiciones encontradas en la investigación operacional con la planta piloto, se concentra la atención en el impacto producido por la modificación en la composición del crudo mediante un hidrocarburo liviano, de carácter parafínico, y el efecto de segregación gravitacional que ofrece el agua, una vez se rompa la emulsión producida en la primera fase de desestabilización del asfalteno.

En esta fase opcional, las corrientes, que salen de la torre de segregación gravitacional primaria, se someten, cada una de ellas, a un nuevo proceso de emulsión con agua y a una nueva segregación gravitacional; para el caso denominada secundaria. Cada una de las corrientes precursoras; la de crudo mejorado y la de asfalteno; requiere su respectiva torre segregadora.

Las emulsiones con agua, en esta segunda oportunidad serán con temperaturas del agua superiores a los 50°C, preferiblemente entre 50°C y 90°C, para la corriente de carga de la torre de residuos asfálticos, e inferiores a los 10°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, con adiciones opcionales de agua granizada, para las corrientes de hidrocarburos livianos.

### **Otros elementos del proceso**

Por otra parte, el proceso contempla un par de circuitos para el agua de proceso, los cuales operan con temperaturas diferentes; uno lo hace con temperaturas superiores a 90°C, sin alcanzar el punto de ebullición del agua, y el otro con temperaturas para el agua inferiores a los 5°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, con adición opcional de agua tipo granizado. De estos circuitos se toman las corrientes que se utilizan en cada uno de los puntos señalados en el diagrama del proceso, las cuales pueden tener una temperatura diferente a las anteriores, siempre intermedia a ellas, las cuales se obtienen mediante una mezcla pertinente de aguas tomadas de cada circuito.

Las aguas se retiran de las secciones inferiores (secciones A) de las torres de segregación gravitacional y se retornan a los tanques de almacenamiento, cada uno tiene un sistema de filtración al retorno, mediante el cual se retiran los asfáltenos en suspensión. El cuerpo filtrante con los asfáltenos retirados se convertirán en arenas asfaltadas, que tienen un valor comercial como agregado para la construcción de carreteras.

Ahora bien, el asfalteno es una solución molecular compleja, que registra fluctuaciones dinámicas en la concentración de fracciones de diferentes estructuras moleculares de hidrocarburos y compuestos poliaromáticos. A nivel de laboratorio, los investigadores han logrado obtener fracciones de asfalteno, unas solubles y otras insolubles en compuestos como el paranitrofenol.

Además, en el campo, a lo largo de la cadena de valor, se han obtenido muestras de asfáltenos diferentes provenientes de un mismo crudo, tomadas a depósitos de asfáltenos encontrados en el pozo, en la superficie, en tanques de almacenamiento, en diferentes

puntos del oleoducto, que han arrojado estructuras químicas variadas, con presencia de asfáltenos de los denominados tipo archipiélago y tipo continental.

Los Asfáltenos así obtenidos, mediante el proceso que se somete a reconocimiento, se pueden considerar como un “Asfalteno Virgen”, en la medida que conserva las cadenas alifáticas, producto del procesamiento térmico de los procesos tradicionales, lo que aumenta su potencial económico, pues permite, además de ser empleado en la cogeneración eléctrica o como materia prima para la producción de emulsiones asfálticas, en constituirse en una nueva materia prima de alto valor petroquímico mediante nuevos procesos que escalen, a nivel industrial, la producción de variadas fracciones derivadas de los asfáltenos, algunas identificadas ya en laboratorio.

El proceso que se somete a reconocimiento permite, por lo tanto, la obtención en los campos de producción del crudo mejorado, a unas condiciones de temperatura y presión cercanas a las ambientales, con menores viscosidad y contenido de heteroátomos y metales; por lo tanto, con un mayor valor comercial.

Si bien es deseable que este proceso se efectúe desde el campo mismo de producción, en el caso de los crudos intermedios y livianos, el proceso se puede efectuar en centros de acopio de crudos, previo envío a los puertos de despacho, o en las refinerías, previo a la destilación primaria.

Al retirar la mayor cantidad los asfáltenos del crudo y con ellos los metales como el Níquel y el Vanadio, se puede reducir la temperatura de las unidades de destilación atmosférica e incluso suprimir la etapa al vacío en las plantas de destilación primaria de las refinerías; lo que representa una importante reducción de sus efectos contaminantes y del calentamiento global.

El resultado de su implementación propiciará, por lo tanto, un importante replanteamiento de la industria petrolera, en especial en la logística de producción, transporte y refinación del crudo, toda vez que se reducen e incluso se eliminan los problemas ocasionados por los asfáltenos, así como los impactos ambientales ocasionados por derrames que contaminen los cuerpos de agua.

En la actualidad, la logística de la industria petrolera encuentra un claro incentivo económico para adoptar los esquemas de refinación del crudo en ubicaciones geográficas cercanas a los centros de consumo de combustibles, lo que ha significado el transporte del crudo a sitios lejanos desde el lugar en los cuales se encontró el petróleo.

Al introducir en la industria el proceso que se somete a reconocimiento, surge un incentivo económico importante para efectuar esta operación de mejoramiento de crudos en los campos de producción, lo que genera un importante agregado económico en las zonas de influencia, que contribuirá a un desarrollo económico y social, circunstancia que hace justicia con las poblaciones residentes, afectadas por la explotación petrolera.

La teoría moderna de las soluciones moleculares da cuenta que, en estas, se registran fluctuaciones dinámicas de concentración (FDC); fenómeno que explica lo encontrado en el laboratorio y en la industria con la mezclas de hidrocarburos en los crudos, justamente una mezcla compleja de vahadas estructuras moleculares; por lo anterior, al momento de separarse por propiedades como la gravedad o la volatilidad, con frecuencia, co-precipitan o arrastran en la evaporación, moléculas de otros componentes. En el caso de las fracciones pesadas del crudo, cuando se separan los asfáltenos co-precipitan resinas, aromáticos, e incluso parafinas saturadas de menor gravedad específica.

Lo anterior sugiere que, al acometer el diseño de una planta para la recuperación de asfáltenos se hace necesario efectuar, para cada crudo, una investigación operacional, a nivel piloto, previa al diseño final de cualquier planta industrial de proceso, con la cual se pueda simular con mayor definición la necesidad de la fase opcional de segregación gravitacional secundaria, el real comportamiento de los residuos del crudo, los cuales podrían variar significativamente, según el contenido de ceras, así como la estabilidad de las emulsiones asfálticas que se reporten de crudo a crudo.

Lo anterior es determinante para lograr el mejor diseño conceptual y detallado para su procesamiento, en especial si requiere la fase de segregación gravitacional secundaria, antes de escalar la capacidad de la planta al nivel requerido por las necesidades industriales de producción del campo.

Por lo tanto, el diseño del proceso, que se describe a continuación, permite la obtención de información confiable, básica para determinar las dimensiones y las variables de operación, toda vez que procesa volúmenes suficientes al nivel de planta piloto del proceso que se reivindica y tiene la capacidad para determinar la necesidad o no de la fase opcional de segregación gravitacional, requeridas por el crudo que se desea procesar; lo que hace de esta planta piloto, parte de las reivindicaciones de la presente solicitud de patente.

## **BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS**

Figura 1. Muestra una representación de un proceso ejemplar de la presente invención, aplicable para una Planta Piloto orientada a la investigación operacional y para una Planta Industrial que procesará un crudo que requiera la fase opcional de segregación secundaria. La Figura 1 presenta la Fase opcional de segregación secundaria, posterior a la Segregación Gravitacional Primaria y previa a la fase rectificación, representadas en el proceso básico de la invención que se muestra en la Figura 2. Dicha fase opcional se aplica a las corrientes precursoras del crudo mejorado y de los asfáltenos, efluentes de la fase de segregación gravitacional primaria; para cada una de ellas se dispone de la correspondiente torre de segregación gravitacional.

Figura 2. Muestra una representación de un proceso básico ejemplar de la presente invención, que comprende las tres (3) fases básicas del proceso: una fase fundamental de Segregación Gravitacional Primaria, la cual se realiza en la Torre de Segregación

Gravitacional Primaria TSG-A, y que se complementa con dos fases, a saber: la correspondiente a la fase de Desestabilización de los Asfáltenos del crudo y la fase de Rectificación de los Productos. La primera de ellas se realiza previa a la Segregación Gravitacional Primaria, y se desarrolla entre las válvulas VMC, VMI-1 ; la segunda, de rectificación de productos se efectúa, después de la fase de Segregación Gravitacional Primaria, en las torres de rectificación.

Figura 3. Ilustra la representación ejemplar de las Torres de Segregación Gravitacional Primaria TSG-A y Secundarias TSG-B y TSG-C de conformidad con la presente invención.

Figura 4. Muestra una representación ejemplar de las torres de Rectificación de Livianos y Pesados, TRL y TRP, de conformidad con la presente invención.

## DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Se describe la invención con referencia a las figuras adjuntas, para lo cual en la Tabla 1 se relacionan los Equipos y Accesorios principales, con sus respectivas nomenclatura y aplicación, así como las diferentes corrientes del proceso, según se presentan en las Figuras 1 y 2.

| <p><b>Tabla 1</b></p> <p><b>Relación de los Equipos y Accesorios Principales</b></p> |                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>EQUIPO</b>                                                                        | <b>APLICACIÓN</b>                              |
| TSG-A                                                                                | Torre de segregación gravitacional primaria    |
| TSG-B y TSG-C                                                                        | Torres de segregación gravitacional (opcional) |
| TRP                                                                                  | Torre de Rectificación de Pesados              |
| TRL                                                                                  | Torre de Rectificación de Livianos             |
| Tk- C, Tk- CM y Tk- As                                                               | Tanques de Crudo, Crudo Mejorado y Asfalteno   |
| Tk- A1 (Fría) y Tk- A2 (Caliente)                                                    | Tanques de Agua para los circuitos de agua     |
| VMI-1, VMI-2, VMI-3,                                                                 | Válvulas Mezcladoras de Alta Intensidad        |

|                                   |                                  |                                          |                              |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| VMI-4, VMI-5, VMI-6               |                                  |                                          |                              |
| VMC                               |                                  | Válvula Mezcladora de Crudo              |                              |
| FA-1, FA-2                        |                                  | Filtros de Arena para el Agua de Proceso |                              |
| Relación de Corrientes de Proceso |                                  |                                          |                              |
| No.                               | Descripción                      | No.                                      | Descripción                  |
| 1                                 | Carga de Crudo al Proceso        | 13                                       | Flujo Lateral TRL            |
| 2                                 | Crudo emulsionado carga TSG-A    | 14                                       | Agua de Proceso VMI-1        |
| 3                                 | Fondos de la TSG-A               | 15                                       | Agua de Proceso VMI-2        |
| 4                                 | Flujo Lateral TSG-A, Sección B   | 16                                       | Agua de Proceso VMI-3        |
| 5                                 | Cima TSG-A, Sección A            | 17                                       | Agua de Proceso VMI-4        |
| 6 y 6A                            | Flujo Cima y Lateral TSG-B       | 18                                       | Agua de Proceso VMI-5        |
| 7                                 | Fondos TSG-B                     | 19                                       | Agua de Proceso VMI-6        |
| 8                                 | Flujo Lateral TRP Crudo Mejorado | 20                                       | Agua de Proceso a TSG-B      |
| 9                                 | Fondos TRP                       | 21                                       | Agua de Proceso a TSG-C      |
| 10                                | Cima TSG-C                       | 22                                       | Retiro Agua de Proceso TSG-A |
| 11                                | Fondos TSG-C                     | 23                                       | Retiro Agua de Proceso TSG-B |
| 12                                | Fondos TRL Asfaltenos            | 24                                       | Retiro Agua de Proceso TSG-C |

En la Figura 1 se describe el proceso de la Planta Piloto, el cual incluye, además de las fases básicas, representadas en la Figura 2, la Fase Opcional. Lo anterior permite disponer del esquema completo, que permite efectuar corridas de investigación operacional para cualquier tipo de crudos.

La siguiente descripción, basada en el proceso representado en la figura 2, tiene inmerso el proceso básico de la invención, en el que no intervendrán las corrientes de alimentación y recirculación hacia y provenientes de las torres de segregación secundaria TSG-B y TSG-C; por lo tanto, el versado en la materia comprenderá la operación del proceso representado en la Figura 1, cuando las características del crudo no hagan necesaria una fase adicional de segregación gravitacional secundaria.

La puesta en marcha del proceso se inicia a partir del tanque de almacenamiento de crudo (Tk-C), de donde se toman las cantidades de materia prima que se procesarán (corriente (1)); dicha corriente de materia prima se hace pasar por la una válvula mezcladora de crudo (VMC) y seguidamente por la válvula mezcladora de alta intensidad VMI-1 , en la cual se adiciona agua de proceso (corriente (14)), en las cantidades y especificaciones requeridas según la caracterización del crudo. La temperatura T1 del agua de proceso en la válvula mezcladora de alta intensidad VMI-1 podrá oscilar entre 0°C y 90°C, sin que alcance el punto de congelamiento, ni de ebullición, y la temperatura del crudo será superior a los 25°C, preferiblemente estará entre 25°C y 50°C, hasta lograr la emulsión de la mezcla.

Como parte de la puesta en marcha del proceso, la emulsión de crudo en agua se alimenta a la torre de segregación gravitacional primaria TSG-A, en donde las fracciones de

hidrocarburos livianos presentes en el crudo se retiran en fase gaseosa como corriente de cima, al alcanzar su temperatura de ebullición. Dichos hidrocarburos livianos provenientes del mismo crudo, (corriente (5)) se condensan, y como parte de la fase de desestabilización de asfáltenos, se recirculan al paso en la válvula mezcladora de crudo (VMC). De esta manera se completan los factores que dan inicio a la fase de desestabilización de los asfáltenos presentes en el crudo, mediante el cambio de composición del crudo, la adición de agua, agitación de la mezcla en el mezclador estático de alta intensidad y control de temperatura de la emulsión.

Las proporciones de crudo, hidrocarburos livianos y agua en la mezcla, así como la temperatura, estarán determinadas por la caracterización del crudo que se procesa, la cual se emulsiona al ser sometida a una fuerte energía mecánica o de contacto en la válvula VMM, hasta lograr una suficiente y homogénea atomización de los hidrocarburos y el agua. En particular, la relación de hidrocarburos livianos a carga debe buscar una reducción en la gravedad específica de la corriente precursora del crudo mejorado, de modo que sea inferior a 0,8, a fin de asegurar una más fácil y rápida segregación de los asfáltenos.

El objetivo de esta fase es perturbar termodinámicamente al crudo, disminuir su viscosidad, variar su temperatura y facilitar el contacto y agregación de los asfáltenos con el agua. Para fines de esta descripción, las válvulas VMI corresponden a mezcladores estáticos de alta intensidad, colocados en línea, de manera tal que formen emulsiones para el proceso.

La emulsión así formada se envía a la Torre de Segregación Gravitacional TSG-A, en la cual se controlan las siguientes condiciones operacionales. En el fondo de la torre se debe controlar una temperatura entre 10°C y 50°C y en la parte superior de la torre entre 60°C y la temperatura de ebullición de los hidrocarburos livianos presentes en el crudo, particularmente entre 60°C y 110°C, de preferencia entre 60°C y 80°C. Bajo estas condiciones, se producen tres corrientes de hidrocarburos: los residuos más pesados que el agua que precipitarán, estimulados por el agua, y se separarán de los demás hidrocarburos, más livianos que el agua, que contiene el crudo; estos corresponden a dos corrientes: una de ellas de hidrocarburos con puntos de ebullición inferior a los 110°C, preferiblemente inferior a 80°C; la otra corriente corresponde a hidrocarburos con punto de ebullición mayores que se mantienen en estado líquido, y que contiene saturados, aromáticos y algunas resinas.

La primera, de hidrocarburos en fase gaseosa, con predominio de hidrocarburos parafínicos, sale por la cima (corriente (5)) y pasa a un condensador para ser recirculada a la carga en la válvula VMC; esta corriente cumple un papel fundamental para lograr un cambio en la composición del crudo procesado, al enriquecerlo con hidrocarburos saturados livianos, en los cuales los asfáltenos son insolubles; por tanto, este solvente parafínico obtenido del mismo crudo, reduce la gravedad específica de los hidrocarburos precursores del crudo mejorado; la corriente (5) crecerá en la medida en que es recirculada y se procese más crudo, llegará un momento en el cual se logra la mayor

efectividad para flocular asfáltenos; a partir del cual la operación se estabiliza y los excedentes se podrán enviar, bien a la corriente de residuos asfálténicos (corriente (3)) que ingresa a la torre TSG-C, o bien se envían a la torre de rectificación de pesados TRP, para enriquecer la producción del crudo mejorado.

La segunda corriente (corriente (4)), de hidrocarburos livianos, se acumula en el plato colector cóncavo (29), ubicado en la bota colectora (31) de la primera sección intermedia (sección C) de la torre TSG-A; de donde se retira por la corriente lateral de cima, de la torre TSG-A, (corriente (4)) como carga de la torre de rectificación de pesados TRP; y, cuando se requiera la fase opcional de segregación gravitacional, se mezcla con agua de proceso (corriente (15)) a una temperatura, T2, inferior a los 10°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, en la válvula mezcladora VMI-2, con una intensidad de mezcla tal que forme una emulsión y se ingresa a la torre de Segregación Gravitacional TSG-B; esta torre dispone de una inyección de agua a temperatura, T3, inferior a los 10°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, con adición opcional de hielo granizado, (corriente (20)), en un punto superior al ingreso de la alimentación de los hidrocarburos livianos a esta torre TSG-B, lo que contribuye a la floculación de los arrastres de residuos pesados remanentes en esta corriente. En la operación de la torre de segregación gravitacional TSG-B se controla la temperatura de fondo en un rango de entre 0°C y 30°C.

Por la cima de la torre de segregación gravitacional secundaria TSG-B se retiran los gases de hidrocarburos livianos, los cuales se condensarán y se constituyen en la corriente (6). Del plato colector cóncavo (29), bota colectora (31), ubicado en la sección C de la torre TSG-B, se retira una corriente (6A) de hidrocarburos livianos que tiene dos destinos posibles, a saber: como recirculación a la válvula mezcladora con la carga de condensados (corriente (5)), VMC, o como alimentación a la Torre de Rectificación de Pesados TRP, (corriente (6)). De esta última torre TRP, en la bota colectora (40) se obtiene Crudo Mejorado (corriente (8)), tal y como se ilustra en la Figura 1. En la operación de la Torre de rectificación de pesados TRP se controla una temperatura de 20°C a 30°C en la cima y de 0°C a 10°C en el fondo.

Del fondo de la torre TSG-B se retira una corriente (7) de residuos asfálténicos con arrastres de hidrocarburos livianos, la cual se mezcla con agua de proceso, (corriente (16)), a una temperatura T3, inferior a 10°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, con adición opcional de hielo granizado, en la válvula mezcladora VMI-3, con una intensidad de mezcla tal, que forme una emulsión. Así emulsionados se recirculan a la Torre de Segregación Gravitacional primaria, TSG-A, por un punto superior a la corriente de carga y a las corrientes (10A y 13) provenientes de la cima de las torres TSG-C y TRL.

Cuando se procesa un crudo que no requiere de la fase opcional de segregación gravitacional secundaria, la corriente lateral de cima de la torre TSG-A, (corriente (4)), se envía directamente como carga de la torre de rectificación de pesados TRP, como se ilustra en la Figura 2.

Los hidrocarburos que se acumulan en el plato colector cóncavo (43), de la bota colectora (40), ubicada en la parte superior de la TRP, corresponden al Crudo Mejorado (corriente (8)) y los fondos de la torre TRP, arrastres de residuos asfálticos, se recirculan (corriente (9)) a la torre TSG-A, previa mezcla y emulsión con agua de proceso (corriente (17)) a una temperatura, T3, inferior a 10°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, con adición opcional de hielo granizado, al paso en la válvula mezcladora VMI-4, en un punto por encima del punto de alimentación del crudo a la torre TSG-A.

Los residuos pesados que se extraen por el fondo de la torre de segregación gravitacional TSG-A (corriente (3)), que corresponden a flóculos de asfalto, con eventuales resinas y otros hidrocarburos, se mezclan con agua de proceso (corriente (18)), al paso en VMI-5, a una temperatura T5, superior a 60°C, preferiblemente entre 60°C y 90°C, con una intensidad de mezcla tal que forme una emulsión, e ingresa a la torre de Segregación Gravitacional TSG-C. A la corriente (3) se le adiciona el solvente parafínico de las corrientes (5 y 6) producido en las torres TSG-A y TSG-B, en una proporción volumétrica de solvente respecto de la corriente de residuos asfálticos, determinada por las características del crudo procesado, de manera tal que asegure la óptima floculación de los asfáltenos. Para fines de la operación, en la cima de la torre de segregación gravitacional TSG-C se controla una temperatura igual o superior a 75°C, preferiblemente entre 75°C y 80°C.

Igualmente, a la corriente (3) se le puede unir las corrientes (7 y 9), provenientes de los fondos de la torre de segregación gravitacional TSG-B y de la torre de rectificación de pesados TRP, respectivamente, antes de su ingreso a la torre TSG-C. Esta última torre también dispone de una inyección opcional de agua (corriente (21)) a temperatura, T3, inferior a los 10°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, con adición opcional de hielo granizado, en un punto superior al ingreso de la alimentación de los residuos pesados provenientes de la torre TSG-A; todo lo anterior con el propósito de lograr una nueva segregación gravitacional de los hidrocarburos livianos existentes en esta corriente.

Como consecuencia de la segregación gravitacional ocurrida en la torre TSG-C, en el plato colector cóncavo (29), de la bota colectora (31) en la sección C de esta torre, se retiran los hidrocarburos livianos (corriente (10A)) que se recirculan a la torre TSG-A y por el fondo se retiran los asfáltenos, con agua y eventuales arrastres de hidrocarburos livianos (corriente (11)).

Los fondos de la torre de segregación gravitacional TSG-C (corriente (11)) se mezclan con agua de proceso (corriente (19)) a una temperatura, T4, entre 70°C y 90°C, en la válvula de mezcla, VMI-6, en una relación asfalto-agua según las necesidades generadas por las características del crudo procesado y con una intensidad de mezcla tal, que permita la emulsión del asfalto y se logre el rompimiento de los agregados moleculares del asfalto con otros hidrocarburos atrapados; la corriente (11) así tratada ingresa a la Torre de Rectificación de Livianos TRL, en la cual sobrenadarán los hidrocarburos más livianos que el agua, los cuales son acumulados en el colector interno en la cima de la torre y retirados con eventuales arrastres de agua por la cima, para ser recirculados a la

torre de TSG-A (corriente (13)). En la operación de la torre de rectificación de livianos se controla, de acuerdo con las características del crudo tratado, a una temperatura igual o superior a 80°C en la cima, sin que se presente evaporación de agua, y entre 20°C a 60°C en el fondo, esta última una variable dependiente, cuyo valor resultante depende de otras variables del proceso.

Los asfáltenos, libres de hidrocarburos livianos, se retiran por el fondo de la torre de rectificación de livianos TRL (corriente (12)); se pueden destinar como combustible para cogeneración de energía eléctrica, como materia prima para las emulsiones asfálticas o como carga a otros procesos que permitan su conversión a productos de mayor utilidad comercial.

Cuando se procesa un crudo que no requiere de la fase opcional de segregación gravitacional secundaria, la corriente de fondos de la torre TSG-A, (corriente (3)), se envía directamente como carga de la torre de rectificación de livianos TRL, como se ilustra en la Figura 2.

El crudo mejorado (corriente (8)) saldrá con un contenido de agua dentro de las especificaciones deseadas, < 0,05%; con incremento en su gravedad API y una reducción de su viscosidad, así como de los contenidos de azufre, níquel y vanadio.

Tanto el retorno de la corriente (9) proveniente de la torre rectificadora de pesados, TRP, como el de la corriente (13) de la torre rectificadora de livianos, TRL, contribuyen a establecer el perfil térmico de la torre de segregación gravitacional TSG-A, lo que ayuda a la segregación gravitacional, por lo tanto, el agua de proceso que se le adiciona a cada una de estas corrientes debe ser tal que cumpla con este propósito.

Así las cosas, el Crudo Mejorado, obtenido de un crudo pesado o extrapesado mediante este proceso, se encuentra dentro de las especificaciones requeridas para ser transportado por oleoductos a las refinerías o a los puertos de exportación, sin necesidad de corregirle su viscosidad con diluyentes como la nafta.

Por ser el agua el agente fundamental para la segregación gravitacional de los hidrocarburos, el proceso cuenta con dos circuitos cerrados de agua, uno a temperaturas inferiores a 5°C, sin alcanzar el punto de congelamiento, y el otro a temperaturas superiores a 90°C, sin alcanzar el punto de ebullición del agua, con las facilidades de mezcla para producir valores intermedios de temperatura, según las necesidades del proceso y la corriente de agua de proceso que se esté atendiendo.

En una realización ejemplar de la presente invención, los circuitos cerrados cuentan con seis (6) inyecciones de agua a las diferentes torres de segregación gravitacional y de rectificación (las corrientes 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21) y tres (3) retiros de agua (las corrientes 22, 23 y 24) en cada una de las tres torres de segregación gravitacional; no obstante, el número de puntos de inyección y retiro de agua podrá variar según lo

determinen las condiciones de operación, y corresponderá a un aspecto de diseño que está al alcance del técnico medio.

Lo anterior, ofrece la posibilidad de circular el agua con un mayor caudal relativo al de las corrientes de hidrocarburos y residuos, oportunidad que favorece la intensidad de la segregación gravitacional del crudo en sus componentes de Crudo mejorado y Asfáltenos, permitiendo al mismo tiempo establecer la gradualidad del retiro de asfáltenos a la mayor conveniencia para las necesidades económicas del mercado y/o destinación de los asfáltenos.

Los circuitos de agua requieren unos filtros, FA-1 y FA-2, instalados antes de los retornos a los tanques de abastecimiento de agua, los cuales deben ser sometidos a inspección, mantenimiento y limpieza con la frecuencia establecida según las necesidades operacionales.

Al garantizar el retiro óptimo de asfáltenos al crudo y lograr un crudo mejorado, con menor viscosidad, se reduce también la cantidad de heteroátomos como el azufre, el níquel y el vanadio, contaminantes de catalizadores y promotores de corrosión.

El proceso en su conjunto se desarrolla a condiciones moderadas de presión y temperatura en un rango de presión de 30-60psig (414 - 444 KPa) y de temperatura de 0 a 110°C (273 -383°K)). Lo que estimula y facilita los fenómenos físicos y evita las transformaciones químicas, no convenientes en esta etapa de los agregados económicos de la industria petrolera.

Las torres de segregación gravitacional contienen arreglos internos, como se presentan en las figuras 1, 2, 3 y 4, que permiten la floculación de los residuos asfálténicos y el asfalteno mismo; estos arreglos internos buscan evitar la turbulencia y permiten la segregación y recuperación de los productos con mayor eficiencia.

Adicionalmente, al proceso descrito también son objeto de la presente invención los diseños de las torres de segregación gravitacional y de rectificación de pesados y livianos, según se describe a continuación con referencia a las figuras 3 y 4, respectivamente.

La Figura 3, representa el diseño de las Torres de Segregación Gravitacional. Primaria TSG-A y Secundarias TSG-B y TSG-C, con sus arreglos internos desarrollados por el inventor, para su implementación en el proceso de segregación gravitacional que se reclama. Los diseños internos tienen como propósito modificar las condiciones cinéticas de los fluidos, a fin de estimular y facilitar la operación de segregación; así como evaporar los hidrocarburos livianos de carácter parafínico, que serán utilizados para modificar la composición del crudo y desestabilizar los asfáltenos.

En los diseños propuestos por el inventor, la torre de segregación gravitacional tiene cuatro secciones (las secciones A, B, C y D), las cuales cumplen los siguientes propósitos: Sección D. la correspondiente a la sección superior de la torre; necesaria para el manejo

de los gases de aquellos hidrocarburos con puntos de ebullición inferiores a 80°C, los cuales salen por la boquilla (25), y corresponden a hidrocarburos parafínicos C6 y menos, los cuales se evaporan en la primera sección intermedia (Sección C) de la torre, por acción de un serpentín de calentamiento (26), con boquilla de ingreso del fluido caliente (27) y de salida (28), el cual está dispuesto dentro de esta sección C. Dicha primera sección intermedia (sección C) está ubicada de manera adyacente a la sección superior y por debajo de esta.

Los fluidos que ascienden en las secciones C de las torres de segregación, que no se evaporan, son colectados por un plato recolector cóncavo (29), tipo embudo, ubicado en la parte inferior de un ducto interior (30) que en conjunto forman una bota colectora (31), por el cual se extrae la corriente generadora del crudo mejorado, mediante la boquilla (32); estas facilidades dentro de las torres segregadoras hacen que las corrientes de ascenso y descenso presenten flujos laminares y facilita el manejo de una corriente lateral superior, con muy bajo contenido de arrastres de asfáltenos.

A continuación de la primera sección intermedia (sección C) se encuentra la segunda sección intermedia (Sección B), de alimentación a la torre, ubicada de manera adyacente a la primera sección intermedia y por debajo de esta, en cuya parte central se encuentra la boquilla (33) de alimentación de carga; así como las boquillas de ingreso de las recirculaciones de las torres rectificadoras TRP, boquilla (34), y TRL, boquilla (35), este arreglo ayuda a romper las emulsiones y propicia la desagregación molecular de los asfáltenos a fin de retirarle los hidrocarburos que enriquecerán la corriente del crudo mejorado.

Respecto a la cuarta sección (Sección A), correspondiente a la sección inferior de la torre, ésta tiene un arreglo interno en forma cónica (36), con un ángulo de inclinación superior al ángulo de reposo de los asfáltenos (70°), siempre y cuando la condición del arreglo interno en forma cónica (36) no bloquee el paso a través de la boquilla (37). Adicionalmente, dicho arreglo interno en forma cónica (36) tiene una superficie lisa a fin de minimizar la adherencia de los asfáltenos a la pared del segregador.

La Sección A tiene dos boquillas, a saber: la boquilla (37) para el retiro de los excedentes de agua, con la que se cierran circuitos de agua de proceso, y la boquilla (38) por donde se extraen las corrientes de fondo, relacionados con el asfalteno.

Estas cuatro secciones con sus arreglos internos, en la torre de segregación gravitacional, no se encuentra reportado en ninguna de las patentes revisadas en el estado del arte, al igual que las torres de rectificación.

Ahora, con referencia a la Figura 4, se describe una representación ejemplar de las torres de Rectificación de Livianos y Pesados, TRL y TRP. En esta figura se presentan las torres que se utilizan en la fase de rectificación de productos, que tiene como función retirar los arrastres de hidrocarburos no deseados en los productos. En el caso de la rectificación de pesados, se busca retirar de la corriente de crudo mejorado los residuos pesados de

carácter asfáltico que hubiese arrastrado y, en el caso de la rectificación de livianos, se busca retirar de la corriente de asfáltenos, los hidrocarburos livianos, que son de interés para la corriente de crudo mejorado.

Como se muestra en la figura 4, las torres de rectificación poseen una sección externa (39) y un arreglo interno consistente en una bota colectora (40) construida con cuatro componentes fundamentales: i) una canasta perforada (41) soportada contra las paredes internas de la sección externa (39); ii) un tubo cilíndrico (42) con un diámetro interno igual o inferior a  $1/3$  del diámetro de la torre, siempre que permita el flujo ascendente de hidrocarburos más livianos que el agua hacia la canasta perforada, y la cabeza de succión necesaria de la válvula (no mostrada) de remoción de producto sea suficiente para el retiro el mismo; iii) un plato cóncavo recolector (43) con una perforación inferior conectada a iv) una boquilla (44) para el retiro de la corriente liviana. En el caso de la TRP será la de crudo mejorado y en el caso de la TRL la de recirculación de livianos a la torre de segregación gravitacional.

La sección externa (39) de la torre de rectificación cuenta con tres boquillas; una boquilla de alimentación (45), una boquilla de suministro de agua de proceso (46) y una boquilla de retiro de la corriente de fondo (47).

Una vez aplicado el proceso como se describe en la presente invención, el crudo mejorado se envía a los tanques de carga para continuar su proceso de refinación o para los tanques de despacho a refinerías; los asfáltenos se envían a su disposición final, bien como combustible para la cogeneración eléctrica de energía; o como materia prima en nuevos procesos que mejoren su aprovechamiento o en la producción de emulsiones asfálticas.

Los asfáltenos producidos son enviados, a un proceso para producir emulsiones asfálticas o a uno de secado y posterior alimentación a una caldera de lecho fluidizado para la generación de vapor y el consiguiente proceso de cogeneración eléctrica. Los requerimientos de energía para la producción de vapor y electricidad de los procesos de deshidratación y desasfaltado son obtenidos del asfalteno.

El presente proceso se realiza en boca de pozo, es autosuficiente en cuanto a que el crudo mismo suministra las corrientes requeridas para su procesamiento y no utiliza químicos, ni aditivos desmulsificantes.

En el estado del arte revisado, se encuentra que estas condiciones de operación son diferentes a las aquí propuestas. La adición de agua para desasfaltenizar se realiza gradualmente y para su homogenización se utilizan mezcladores estáticos. Lo cual permite obtener tamaños de partícula de los asfáltenos mayores que facilitan su floculación, lo que representan menores tiempos para la sedimentación.

Debido a la inmiscibilidad del agua y el aceite, así como de los asfáltenos en los hidrocarburos alifáticos livianos, la corriente que asciende lo hace a velocidades

superiores a los 0.6 cm/s, lo cual permite, junto con la diferencia de densidades entre las fases, que los asfáltenos floculen y se precipiten al fondo del segregador.

La presente invención puede eliminar el tradicional proceso de deshidratación, pues el agua que contiene el crudo que llega del campo se combina con la del agua de proceso del crudo y al retirar de los asfáltenos el crudo mejorado, sin los compuestos más pesados, viscosos y polares, cumplirá con facilidad las especificaciones de viscosidad y contenido de agua inferior a 0,05%.

## EJEMPLOS DE SEGREGACIÓN GRAVITACIONAL

Con el fin de ilustrar la aplicación de la invención, en la Tabla No. 5, se presentan las características de cuatro diferentes cargas de crudos seleccionadas, correspondientes al tipo liviano (30-40 °API), intermedio (20-30 °API), pesado (10-20 °API) y extrapesado (< 10 °API). Estas cargas ejemplifican la realización del proceso reclamado empleando crudos de diferentes caracterizaciones: liviano, intermedio, pesado y extrapesado, los cuales se escogieron para ilustrar las condiciones de procesamiento requeridas en cada etapa del proceso.

| <b>Tabla 5</b><br><b>Características principales de los crudos</b> |                |                   |               |                    |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------|---------------|--------------------|
|                                                                    | <b>Liviano</b> | <b>Intermedio</b> | <b>Pesado</b> | <b>Extrapesado</b> |
| ° API                                                              | 32,08          | 24,01             | 12,89         | 8,74               |
| Densidad @ 15°C kg/m <sup>3</sup>                                  | 865            | 909,9             | 980           | 1009,0             |
| Viscosidad a 50°C cSt                                              | 95             | 210               | 971,9         | 320 (**)           |
| Insolubles en N Heptano                                            | 6,12           | 11,56             | 21,37         | 28,71              |
| C. Conradson, % peso                                               | 5,17           | 10,01             | 18,76         | 25,89              |
| Azufre, % peso                                                     | 0,80           | 1,20              | 2,16          | 5,16               |
| Níquel, ppm                                                        | 27             | 53                | 78            | 140                |
| Vanadio, ppm                                                       | 133            | 223               | 312           | 450                |

(\*\*) Pa.s @ 30°C

Cada una de las cargas de crudo citados se sometieron al proceso descrito y reclamado en la presente invención. A continuación, se presenta por separado cada una de las cargas consideradas y los temas a destacar, tanto de la operación, como de los resultados alcanzados.

Para cada una de ellas se presentan las condiciones operacionales de las variables más importantes del proceso que se deben controlar, las cuales se determinan según las propiedades físicas y químicas de sus estructuras moleculares más significativas.

Igualmente se presentan los rendimientos de crudo mejorado y asfalteno de cada una de las cargas, así como las especificaciones de interés del primero y su impacto en la logística de la industria, para su manejo de cada caso.

### Caso de procesamiento Crudo Liviano

Iniciamos el análisis operacional con el caso de un Crudo liviano, que contienen unas estructuras moleculares dentro de las cuales predominan los hidrocarburos parafínicos y entre ellos las ceras en las fracciones pesadas. Por tal motivo, su procesamiento ofrece un reto particular, en la medida en que dichas ceras pueden producir indeseables agregados moleculares con los asfáltenos y dificultar su segregación.

Con base en los comportamientos observados en la simulación, en la Tabla 6 se presentan las condiciones operacionales, bajo las cuales, un crudo liviano con un destacado contenido de ceras parafínicas en la carga puede ser procesado:

| <b>Tabla 6</b><br><b>Condiciones operacionales para el caso de un Crudo Liviano</b> |              |              |              |            |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
|                                                                                     | <b>TSG-A</b> | <b>TSG-B</b> | <b>TSG-C</b> | <b>TRP</b> | <b>TRL</b> |
| <b>T Carga °C</b>                                                                   | 45           | 65           | 45           | 30         | 40         |
| <b>T Cima °C</b>                                                                    | 65           | 50-65(*)     | 80           | 20-30(*)   | 80         |
| <b>T Fondo °C</b>                                                                   | 25-45(*)     | 10           | 40-60(*)     | 10         | 50-60(*)   |
| <b>Presión, psig</b>                                                                | 30           | 30           | 30           | 30         | 30         |
| <b>Relación HCL: Carga</b>                                                          | 1:1          | 1:1          | 3:1          | NA         | NA         |
| <b>Relación Agua:<br/>Carga</b>                                                     | 1:1          | 3:1          | 2:1          | 1:1        | 1:1        |
| <b>T Agua de proceso<br/>°C</b>                                                     | 50           | 5            | 90           | 5          | 90         |

(\*) Variable dependiente, valor resultante durante la operación

Este tipo de crudos contienen una importante fracción de hidrocarburos livianos, C5 y C6, razón por la cual se trabaja con una condición más baja de temperatura en la cima de la torre de segregación gravitacional primaria, a fin de obtener de manera selectiva el corte del solvente livianos que se utilizan para la extracción, los hidrocarburos C5, pentanos, iso-pentanos y ciclopentanos, cuyos puntos de ebullición son inferiores a los 65°C.

Este corte de hidrocarburos permite obtener a su vez, una mayor extracción de asfáltenos, al reducir de manera significativa, y con menos volumen, la gravedad específica de la corriente precursora del crudo mejorado; además, este corte es altamente segregador del asfalteno, toda vez que son insolubles entre sí.

## Caso de procesamiento de Crudo Intermedio

En la Tabla 7 se presentan las condiciones operacionales correspondiente a una corrida con crudo tipo Intermedio, es decir, con gravedades API que varían entre 20 y 30 °API. En estos rangos de gravedad específica es frecuente encontrar un equilibrio en las proporciones presentes de las estructuras moleculares de hidrocarburos parafínicos y aromáticos, con bajo contenido de ceras parafínicas y un suficiente contenido de hidrocarburos livianos, características que permiten una operación sin mayores complicaciones.

| <b>Tabla 7</b>                                                       |              |              |              |            |            |
|----------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
| <b>Condiciones operacionales para el caso de un Crudo Intermedio</b> |              |              |              |            |            |
|                                                                      | <b>TSG-A</b> | <b>TSG-B</b> | <b>TSG-C</b> | <b>TRP</b> | <b>TRL</b> |
| <b>T Carga °C</b>                                                    | 30           | NA           | NA           | 40         | 60         |
| <b>T Cima °C</b>                                                     | 80           | NA           | NA           | 20-30(*)   | 80         |
| <b>T Fondo °C</b>                                                    | 20-30(*)     | NA           | NA           | 10         | 20-50(*)   |
| <b>Presión, psig</b>                                                 | 30           | NA           | NA           | 30         | 30         |
| <b>Relación HCL: Carga crudo</b>                                     | 2:1          | NA           | NA           | NA         | NA         |
| <b>Relación HCL: Residuos asfálténicos</b>                           | NA           | NA           | NA           | NA         | NA         |
| <b>Relación Agua: Carga</b>                                          | 1:1          | NA           | NA           | 2:1        | 1:1        |
| <b>T Agua de proceso °C</b>                                          | 15           | NA           | NA           | 5          | 90         |

(\*) Variable dependiente, valor resultante durante la operación

Este ejemplo muestra que en el procesamiento de crudos intermedios no se requiere la fase opcional de segregación Gravitacional Secundaria. La torre TSG-A en este ejemplo se operó a una temperatura ejemplar de 80°C en la cima; no obstante, vale la pena destacar, que la temperatura de cima para la operación de la TSG-A puede variar dentro del rango propuesto por el inventor, ya que está sujeta al contenido de hidrocarburos C5 en el crudo; de contarse con un importante contenido de C5, la temperatura de cima se debe controlar cercana al valor de 60°C.

## Caso de procesamiento de Crudo Pesado

En la Tabla 8 se presentan las condiciones operacionales correspondientes a una corrida con crudo tipo pesado, es decir, con gravedades API que varían entre 10 y 20 °API. Este tipo de crudos se caracteriza por contener bajas cantidades de gases, notables cantidades de resinas y una presencia de asfáltenos que afecta sensiblemente la viscosidad del crudo.

| <b>Tabla 8</b><br><b>Condiciones operacionales para el caso de un Crudo Pesado</b> |              |              |              |            |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
|                                                                                    | <b>TSG-A</b> | <b>TSG-B</b> | <b>TSG-C</b> | <b>TRP</b> | <b>TRL</b> |
| <b>T Carga °C</b>                                                                  | 40           | NA           | NA           | 30         | 40         |
| <b>T Cima °C</b>                                                                   | 80           | NA           | NA           | 20-        | 80         |

|                                            |          |    |    |       |          |
|--------------------------------------------|----------|----|----|-------|----------|
|                                            |          |    |    | 30(*) |          |
| <b>T Fondo °C</b>                          | 20-30(*) | NA | NA | 10    | 30-50(*) |
| <b>Presión, psig</b>                       | 30       | NA | NA | 30    | 30       |
| <b>Relación HCL: Carga crudo</b>           | 3:1      | NA | NA | NA    | NA       |
| <b>Relación HCL: Residuos asfálténicos</b> | NA       | NA | NA | NA    | NA       |
| <b>Relación Agua: Carga</b>                | 1:1      | NA | NA | 2:1   | 2:1      |
| <b>T Agua de proceso °C</b>                | 15       | NA | NA | 5     | 90       |

(\*) Variable dependiente, valor resultante durante la operación

Para el procesamiento de crudos pesados no se requiere la fase opcional de segregación Gravitacional Secundaria. Se destaca el hecho de trabajar con una temperatura de cima de 80°C en la TSG-A, a fin de buscar obtener en la corriente de gases los hidrocarburos C5 y C6 de carácter parafínico.

## Caso de procesamiento de Crudo Extrapesado

En la Tabla 9 se presentan las condiciones operacionales correspondiente a una corrida con crudo tipo extrapesado, es decir, con gravedades API inferiores a los 10 °API, los cuales se caracterizan por su bajo contenido de hidrocarburos livianos, razón por la cual, las condiciones de una operación estabilizada tomarán más tiempo. Para el procesamiento de crudos extrapesados no se requiere la fase opcional de segregación Gravitacional Secundaria.

| <b>Tabla 9</b><br><b>Condiciones operacionales para el caso de un Crudo Extrapesado</b> |              |              |              |            |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|
|                                                                                         | <b>TSG-A</b> | <b>TSG-B</b> | <b>TSG-C</b> | <b>TRP</b> | <b>TRL</b> |
| T Carga °C                                                                              | 40           | NA           | NA           | 40         | 40         |
| T Cima °C                                                                               | 80           | NA           | NA           | 20-30(*)   | 80         |
| T Fondo °C                                                                              | 20-30(*)     | NA           | NA           | 10         | 40-60(*)   |
| Presión, psig                                                                           | 30           | NA           | NA           | 30         | 30         |
| Relación HCL: Carga crudo                                                               | 4:1          | NA           | NA           | NA         | NA         |
| Relación HCL: Residuos<br>asfálticos                                                    | NA           | NA           | NA           | NA         | 2:1        |
| Relación Agua: Carga                                                                    | 2:1          | NA           | NA           | 2:1        | 2:1        |
| T Agua de proceso °C                                                                    | 10           | NA           | NA           | 5          | 90         |

(\*) Variable dependiente, valor resultante durante la operación

Al igual que en los crudos pesados, se trabajó con una temperatura de cima de 80°C en la TSG-A, a fin de buscar obtener en la corriente de gases los hidrocarburos C5 y C6 de carácter parafínico.

### **Resultados del procesamiento**

En la Tabla 10 se presentan los resultados del procesamiento de los cuatro tipos de crudo, en los cuales se destaca el incremento en la gravedad API de los crudos mejorados sobre las cargas procesadas, con un contenido de agua con valores inferiores a 0,05%, menor contenido de azufre y metales, así como una significativa en la viscosidad, que le permite ser transportable por oleoducto sin necesidad de utilizar diluyentes como naftas o similares.

| <p><b>Tabla 10</b><br/><b>Resultado del Procesamiento de los Crudos</b></p>                |                |           |                   |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------|-------------------|-----------|
|                                                                                            | Crudo Liviano  |           | Crudo Intermedio  |           |
|                                                                                            | Crudo Mejorado | Asfalteno | Crudo Mejorado    | Asfalteno |
| Gravedad °API                                                                              | 33,94          | 2,32      | 26,54             | 0,71      |
| Rendimiento, % peso                                                                        | 92,42          | 7,58      | 87,89             | 12,11     |
| Rendimiento, % volumen                                                                     | 93,8           | 6,2       | 89,7              | 10,3      |
| Viscosidad, Pa.s @ 30°C                                                                    | 0,01           |           | 0,03              |           |
| Azufre, % peso                                                                             | 0,35           | 6,33      | 0,55              | 9,5       |
| Níquel, ppm                                                                                | 9              | 249       | 17                | 489       |
| Vanadio, ppm                                                                               | 43             | 1228      | 72                | 2060      |
| <p><b>Tabla 10 (Continuación)</b><br/><b>Resultado del Procesamiento de los Crudos</b></p> |                |           |                   |           |
|                                                                                            | Crudo Pesado   |           | Crudo Extrapesado |           |
|                                                                                            | Crudo Mejorado | Asfalteno | Crudo Mejorado    | Asfalteno |
| Gravedad °API                                                                              | 18,04          | -3,76     | 16,44             | -8,18     |
| Rendimiento, % peso                                                                        | 75,31          | 24,69     | 68,73             | 31,27     |
| Rendimiento, % volumen                                                                     | 78,0           | 22,0      | 72,5              | 27,5      |
| Viscosidad, Pa.s @ 30°C                                                                    | 0,07           |           | 1,9               |           |
| Azufre, % peso                                                                             | 1,15           | 17,1      | 3,0               | 40,84     |
| Níquel, ppm                                                                                | 78             | 720       | 45                | 1293      |
| Vanadio, ppm                                                                               | 101            | 2882      | 146               | 4156      |

Para el caso del crudo extrapesado la investigación operacional con la planta piloto resulta Imperativa, dado que existe una posibilidad de maniobra que permita obtener un crudo mejorado de mayor gravedad API y menor viscosidad.

En el análisis de los datos de las simulaciones, nos permite visualizar con mayor claridad el efecto combinado de las mezclas del crudo con el solvente parafínico y con el agua; el primero como reductor de las gravedades específicas de los hidrocarburos y el segundo por la capacidad segregadora de hidrocarburos.

Aunque la invención se ha descrito en detalle con respecto a la modalidad específica de esta, aquellos con experiencia en la materia apreciarán que, a partir de la anterior descripción de las fases y condiciones del proceso, así como de la configuración de las torres de segregación gravitacional y torres de rectificación, apreciarán fácilmente alteraciones, variaciones, y equivalentes de las modalidades descritas en la presente solicitud, todas estas formando parte de la presente invención. En consecuencia, el alcance de la presente invención debe evaluarse como el de las reivindicaciones adjuntas y cualquier equivalente de ellas. Además, también se contemplan todas las combinaciones

y/o su combinación de las modalidades, intervalos, ejemplos, y alternativas descritas, máxime en la medida en que no existen crudos iguales y mucho menos asfáltenos iguales.