

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ALTERNO DE DESNATACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL EFLUENTE FINAL EN SEPARADORES API

L. E. ORTIZ*, R. RESTREPO, C. A. ARENAS† y O. BOHADA‡

Ecopetrol - Instituto Colombiano del Petróleo, A.A. 4185 Bucaramanga, Santander, Colombia

‡Universidad Industrial de Santander, A.A. 678 Bucaramanga, Santander, Colombia

Se presentan y analizan los resultados de pruebas a nivel piloto de un sistema para optimizar la eficiencia de los separadores agua-aceite tipo API, para la remoción de crudo y producto liviano (ACPM). El sistema experimental consta de dos fases: la primera propone el empleo de un desnatador que utiliza bandas oleofílicas como alternativa al tradicional desnatador tipo "flauta". La segunda fase consiste en la optimización de la calidad del efluente final del separador a través de la utilización de filtros naturales adsorbentes basados en fibras vegetales. Se escogieron cuatro tipos de fibras: fique, jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), aserrín del tipo viruta y fibra de hoja de piña. El desnatador diseñado para las pruebas está accionado por un motor neumático que hace girar unos rodillos sobre los que se apoya una banda oleofílica. A medida que la banda gira retira por adherencia el hidrocarburo que flota en el agua residual que entra al separador. Durante la fase experimental se variaron las condiciones de operación (ángulo de la banda respecto a la horizontal y velocidad de recolección de la banda). De acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas, el sistema experimental propuesto es efectivo en la remoción de hidrocarburos flotantes, tanto crudos como refinados, en medios acuosos y puede ser fácilmente adaptado a unidades de tratamiento de aguas residuales aceitosas, ya sean éstas existentes o proyectadas.

This article presents and analyzes a series of pilot plant test results of a system for optimizing the efficiency of API type separators in the recovery of crude oils and light hydrocarbons (fuel oil) from wastewater. The system consists of two phases: the first being a new skimming device, as an alternative to the traditional slotted pipe skimmer, that employs an oleophilic band. In the second phase the quality of the separator effluent is improved by using natural adsorbent filters based on vegetal fibers. Four types of fibers were chosen: fique, water hyacinth, sawdust, and pineapple leave fiber. The skimmer is operated by means of a pneumatic engine that spins a series of rollers which serve as support for an oleophilic band. As the band rotates, it removes by adherence the hydrocarbon floating in the water. During the experimental phase the variables were: type of band material, velocity of band rotation and angle of band inclination with regard to that of the water surface. According to the results of the different tests the experimental system is effective in removing floating hydrocarbons, in the form of crude oil or as a refined product, from an aqueous media. The system can easily be adapted to oily wastewater treatment units, existing or projected.

Palabras claves: *bandas oleofílicas, fibras adsorbentes, tratamiento aguas aceitosas, separadores API.*

* A quien debe ser enviada la correspondencia

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento de nuestra economía, que lleva a la creación de nuevos desarrollos e industrias y la intensifican en los procesos de producción, implica una mayor generación de desechos y un mayor potencial de contaminación. Esto es especialmente cierto en el sector energético, en el cual la creciente demanda ha originado un gran crecimiento y expansión en los campos de producción, refinación, transporte y almacenamiento de hidrocarburos.

La proliferación de plantas de refinación, estaciones de bombeo y servicio, oleoductos y demás facilidades asociadas con la industria del petróleo, en combinación con los crecientes requerimientos en cuanto a la calidad de los residuos que éstas vierten, han llevado a resaltar la gran importancia de desarrollar u optimizar la tecnología tendiente a minimizar el impacto negativo que este tipo de residuos pueda ocasionar en el entorno. En adición a su potencial como contaminantes, el vertimiento indiscriminado de las aguas aceitosas se convierte en una pérdida innecesaria de producto.

En la mayoría de las instalaciones petroleras que cuentan con algún sistema de tratamiento, éste es del tipo físico (primario) ya sea por gravedad, con ayuda de aire, con centrifugación o con filtración.

El separador API ha sido el equipo de separación por gravedad más usado en la industria del petróleo.

Separadores API

El equipo convencional consiste de una piscina a través de la cual el agua aceitosa fluye en forma suficientemente lenta para darle tiempo a las gotas de aceite de ascender hasta la superficie, donde se unen con la película de aceite formada, la cual es retenida por un baffle y removida con un desnatador. El equipo está provisto también de un sistema de remoción de los sólidos que puedan sedimentarse en el separador. En la Figura 1 se puede ver un esquema del equipo.

El diámetro mínimo de gota de 0,015 cm, ha sido determinado por experimentación y por datos de operación en planta como el óptimo para obtener una remoción satisfactoria de aceite (API, 1969).

El separador API consta de dos secciones básicas: la sección de entrada y las cámaras de separación aceite-agua (Figura 1). La sección de entrada es una zona donde se reducen la velocidad de flujo y la turbulencia, y se retienen todos los desechos y basuras de gran

tamaño como palos, piedras, entre otros. Luego se distribuye la corriente de entrada a las cámaras de separación.

Desnatadores

Cumplen la función de retirar el aceite que flota en los separadores colocándose al final del canal de separación. Los desnatadores tipo "flauta" son los más conocidos en los sistemas de separación agua-aceite. Operan como un vertedero móvil que se desplaza hacia adelante o hacia atrás para ajustarse a los cambios de nivel de la película de hidrocarburo.

Las ventajas que tienen estos desnatadores son su fácil mantenimiento, su economía y la remoción de sólidos flotantes además del aceite. Dentro de las desventajas está que requiere la intervención continua del operador, ya que el ajuste debe realizarse en forma manual, por el alto contenido de agua que presenta el aceite recuperado.

Adsorción

El fenómeno de adsorción consiste en la utilización de la capacidad de un adsorbente para remover ciertas sustancias de una solución. Este proceso se da en el caso del tratamiento de aguas residuales en la interfase sólido-líquido, siendo el carbón activado el adsorbente más utilizado por su capacidad de retener una gran variedad de compuestos orgánicos.

Como alternativa al carbón activado se han probado un sin número de resinas y fibras sintéticas para la remoción de sustancias orgánicas e inorgánicas de aguas residuales. Estas incluyen poliéster, polipropileno, nylon, polietileno y acetato, entre otras. Adicionalmente, se ha investigado el uso de material arcilloso hidrofóbico como bentonita, perlita o vermiculita para adsorber hidrocarburos y otros líquidos no polares.

Los principales inconvenientes, desde el punto de vista ambiental, de los materiales adsorbentes mencionados, tienen que ver con la disposición de los mismos. A pesar de que muchos de éstos son reutilizables, una vez agotada su capacidad se convierten en residuos sólidos que deben ser manejados convenientemente, lo cual se dificulta por tratarse de materiales no biodegradables.

A raíz de los problemas de disposición mencionados, se ha investigado la posibilidad de utilizar materiales adsorbentes naturales que, además de tener buenas capacidades de adsorción, son más fáciles de tratar por medios biológicos, tecnología que ha probado ser,

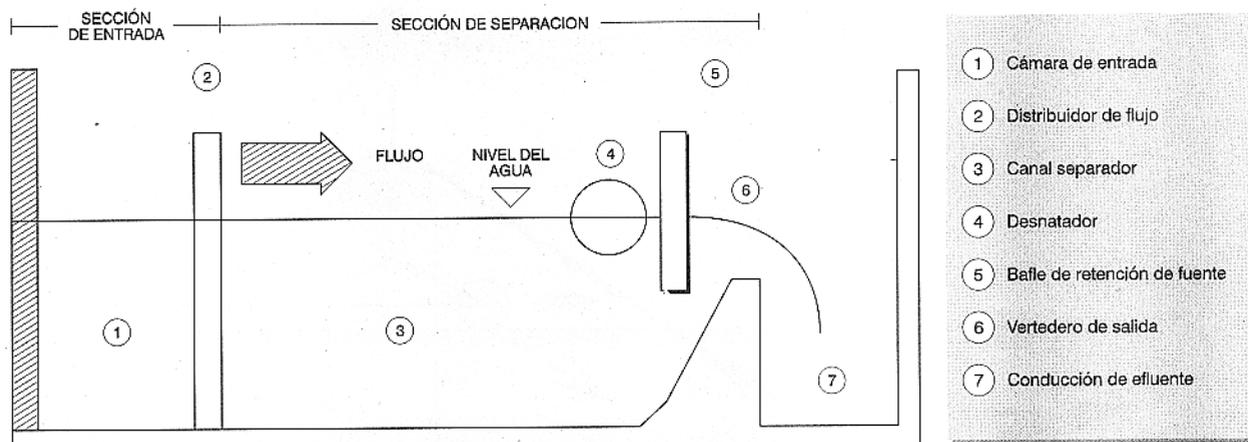


Figura 1. Esquema del Separador API

en muchos casos, la más ventajosa desde el punto de vista técnico y económico para disponer de residuos sólidos contaminados por hidrocarburos. Las tecnologías de tratamiento de residuos basadas en la acción de microorganismos son además de fácil aplicabilidad en países tropicales como Colombia.

Varias investigaciones reportan la utilización de musgo y materiales celulósicos (aserrín en polvo, cascarilla de arroz, algodón, pulpa de bambú, cáñamo) en la remoción de hidrocarburos y metales pesados de residuos acuosos (Chol y Cloud, 1992; D'Avila *et al.*, 1992; Gupta y Bhargava, 1988; Mathavan y Viraraghavan, 1988; Shukla y Sakhardande, 1991; Suzuki, 1991; Viraraghavan y Mathavan, 1989).

Por las razones mencionadas se consideró la utilización de estos materiales para el mejoramiento de la calidad del efluente de los separadores API.

PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES

El sistema propuesto consta de dos fases; en la primera se propone el empleo de un desnatador que utiliza bandas oleofílicas como alternativa al tradicional desnatador tipo "flauta" (Figura 2). Algunas de las ventajas del sistema propuesto respecto al desnatador tradicional son:

- No se requiere la presencia continua de un operario que maneje el sistema, ya que éste es mecanizado.
- El producto que ingresa al separador es recogido de manera continua y no se acumula en el mismo, como sucede en los separadores con desnatadores tipo "flauta", en los que de manera invariable se origina la acumulación y en algunos casos el escape

de producto, al no operarse continuamente el desnatador.

- La eficiencia del sistema de bandas no se ve afectada por el nivel del agua en el separador. En el caso del desnatador tipo "flauta", el cual es fijo, el proceso de recolección de producto depende del nivel de agua en el separador.

La segunda fase consiste en optimizar la calidad del efluente final del separador a través de la utilización de filtros naturales adsorbentes, basados en fibras vegetales. Esta metodología se puede aplicar también en otras unidades de tratamiento como piscinas de oxidación, o en estructuras de control antes del vertimiento de efluentes en instalaciones que manejan hidrocarburos o grasas y aceites.

Las diferentes pruebas realizadas tanto con el desnatador como con los filtros adsorbentes se llevaron a cabo en un separador API piloto fabricado enteramente en acrílico. Este material permite observar y medir de mejor manera los fenómenos asociados con el proceso de separación agua/aceite.

Fase 1. Desnatador de banda oleofílica

El desnatador diseñado para las pruebas está accionado por un motor neumático que hace girar unos rodillos sobre los que se apoya una banda oleofílica. A medida que la banda gira, retira por adherencia el hidrocarburo que flota en el agua residual que entra al separador. El ángulo de inclinación de la banda se puede modificar mediante un mecanismo de tornillo. El hidrocarburo que se adhiere a la banda se retira con ayuda de un raspador y se envía a un canal que conduce el aceite a un tanque de almacenamiento.

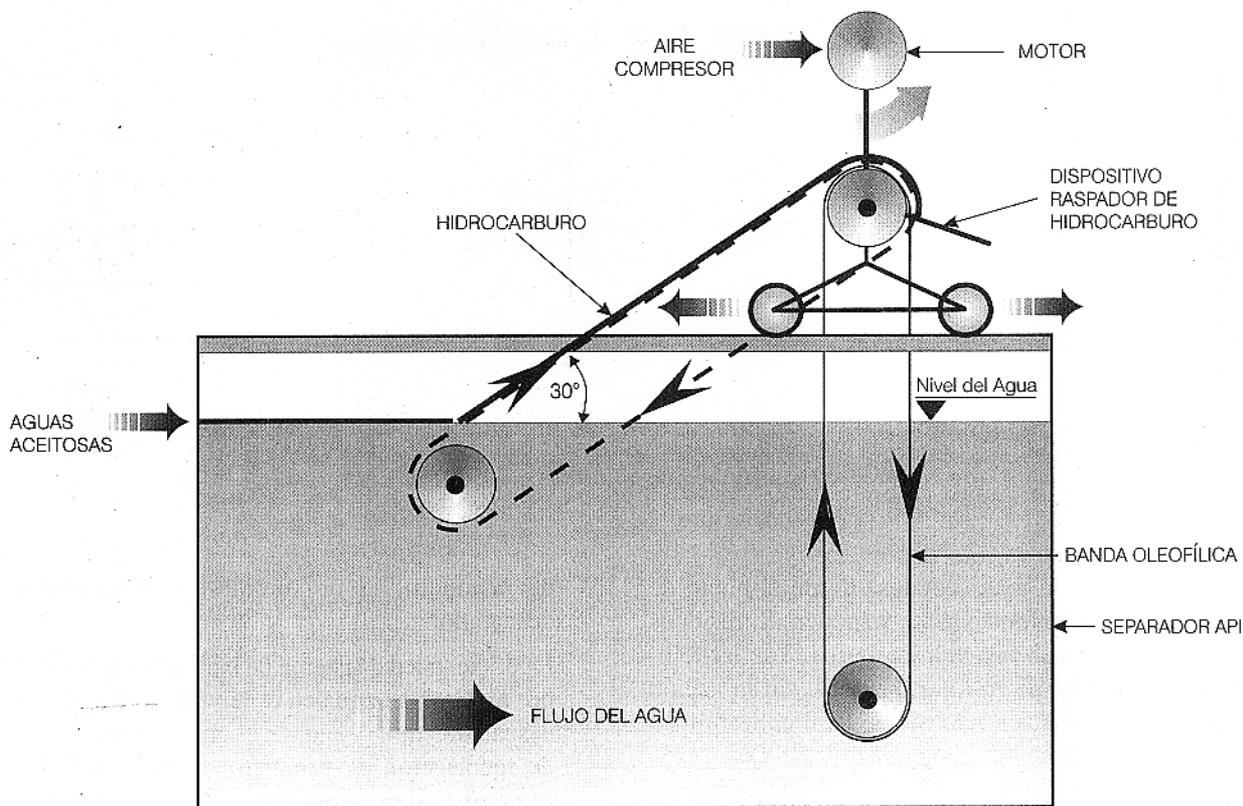


Figura 2. Desnatador de Banda

La cuchilla raspadora que se utiliza para remover el aceite adherido a la superficie de la banda es una platina de 5 cm x 40 cm de 6 mm, fabricada en material termo-plástico rígido.

Para la realización de las pruebas se seleccionaron tres bandas oleofílicas con propiedades físicas adecuadas para cumplir el trabajo de desnatación, y además poseen una buena resistencia que les garantiza una mayor durabilidad en un ambiente de trabajo pesado. Estas son:

Banda de butadieno acrilnitrilo (NBR). Banda de nylon recubierta en caucho butadieno acrilnitrilo (NBR) marca Habasit.

Banda de poliuretano termoplástico (PT). Banda de malla en poliéster inextensible recubierta en poliuretano termoplástico marca Habasit.

Banda de PVC. Banda de poliuretano con cobertura en PVC, marca Chiorino.

Fase 2. Sistema de depuración del efluente

El sistema propuesto se basa en la utilización de fibras naturales producidas en nuestro medio como

alternativa para utilizarlas como filtros adsorbentes en el tratamiento de aguas residuales aceitosas.

Se escogieron cuatro tipos de fibras naturales: fique, jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), aserrín del tipo viruta y fibra de la hoja de la piña. Las siguientes son algunas de las ventajas de los materiales escogidos.

Las cuatro fibras son de fácil adquisición en nuestro país y se dan en abundancia. Según la literatura recopilada en investigaciones realizadas en otros países, fibras similares se han comportado bastante bien como adsorbentes en el tratamiento de aguas residuales. Algunas son material de desecho, por consiguiente son de bajo costo. En el caso del fique se le dará otra alternativa de uso diferente de la tradicional, lo que estimulará su producción.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Pruebas en el desnatador

El objetivo de estas pruebas fue medir la cantidad de hidrocarburo removido en el separador API utilizando las diferentes bandas oleofílicas, y observar cómo variaba la eficiencia del proceso con diferentes condiciones de operación (ángulo de la banda respecto

a la horizontal y velocidad de recolección de la banda). Se utilizó una banda de PVC que tenía un uso de seis meses para comparar su rendimiento con la banda de PVC nueva.

Para la ejecución de las pruebas se emplearon velocidades de 6 cms^{-1} , 12 cms^{-1} , y 18 cms^{-1} , con ángulos de 30° , 45° y 60° .

Durante las pruebas, se utilizaron dos clases de hidrocarburos para observar la eficiencia del sistema: Crudo Liebre 2 con una gravedad API de 28,6 grados y producto refinado (ACPM) con una gravedad API de 32,6.

Para simular condiciones de flujo en el separador se utilizó una bomba de diafragma de tipo neumático marca Sand Piper de 1/2 caballo de fuerza con mangueras de succión y descarga de 3,7 cm (1 1/2"), que succionaba agua de la cámara previa al vertedero final y la llevaba hacia el inicio de la cámara de separación.

Prueba de desnatación

Se vertieron dos litros de hidrocarburo (Crudo o ACPM) para formar una capa de 10 mm de espesor y se inició el proceso de recirculación de agua para simular el flujo.

El caudal en cada prueba fue de 200 cm^3 . En seguida se puso a funcionar el desnatador con las velocidades y ángulos de inclinación de la banda, correspondientes a la prueba específica. El crudo retirado por el desnatador fue recogido en cubos en acrílico aforados durante media hora. Cuando la primera gota de producto desnatado cayó en el cubo se empezó a tomar el tiempo de la prueba, registrándose luego lecturas parciales, cada cinco minutos, del volumen de producto (hidrocarburo+agua) recogido. El producto recogido en el recipiente se pasó a una(s) probeta(s) aforada(s) de 1.000 cm^3 de capacidad y se llevó al laboratorio.

Cuantificación del hidrocarburo y agua recogidos

Una vez en el laboratorio, la probeta se colocó en un baño caliente, en plancha de calentamiento Haake Fisons modelo E8, a una temperatura de 348 K durante una hora, con el fin de facilitar la separación de las fases agua/aceite y poder medir los volúmenes respectivos.

Para el caso de las pruebas realizadas con ACPM y debido a que la cantidad de agua recogida fue muy baja, se retiró la mayor parte del hidrocarburo puro luego de someter la mezcla a calentamiento, y se midió la cantidad de agua separada utilizando probetas

pequeñas (100 cm^3 , 50 cm^3 , 20 cm^3). En una de cada 6 pruebas se hizo separación por destilación al hidrocarburo puro (después de calentamiento) con el fin de observar si se presentaba agua emulsionada.

Pruebas a filtros naturales

Para evaluar el rendimiento de las fibras escogidas se realizaron pruebas de adsorción con hidrocarburos puros y con hidrocarburos en agua (en el separador). Es de anotar que estas pruebas fueron diseñadas sólo para evaluar si existía capacidad de adsorber hidrocarburo por parte de las fibras y establecer cuál de éstas era más efectiva.

Los hidrocarburos que se utilizaron fueron los mismos empleados para las pruebas de desnatación: Liebre 2 y ACPM. Las diferentes muestras fueron tomadas por duplicado para análisis del contenido de hidrocarburos. Adicionalmente, se tomó con cada prueba un blanco control consistente en una muestra de la fibra empleada antes de someterla a las pruebas de adsorción y ser enviada al laboratorio para determinar contenido de aceite y humedad natural.

Pruebas con hidrocarburo puro en vasos de precipitado

Estas pruebas tuvieron como objeto medir la cantidad de hidrocarburo puro (crudo y ACPM) que las diferentes fibras podían adsorber luego de 5 y 24 h de estar sumergidas en el mismo. Se hicieron un total de 16 pruebas, ocho con cada tipo de hidrocarburo. Al final del tiempo de prueba se tomaron muestras por duplicado, se empacaron en papel aluminio, y se determinó el contenido de hidrocarburos totales, mediante la técnica soxhlet (Standard Methods 503 C).

Pruebas de remoción de película de hidrocarburo en el separador

Estas pruebas se realizaron con el objeto de observar el comportamiento de las fibras en el separador, simular las condiciones que se pueden presentar en sistemas de tratamiento reales en los que el agua puede ser adsorbida por la fibra y competir de este modo con el hidrocarburo por la superficie disponible para adsorción en las fibras naturales.

En total se realizaron ocho pruebas de 5 h, y ocho de 24 h de duración para un total de 16. De manera similar a lo acontecido en las pruebas de las bandas oleofílicas, se simuló el flujo en el separador utilizando la bomba de diafragma antes mencionada con una

presión de 0,41 MPag (60 psig) para obtener un flujo de $700 \text{ cm}^3\text{s}^{-1}$. Una vez cumplido el tiempo de la prueba se retiró la canastilla del separador, se tomaron por duplicado muestras del centro de la canastilla impregnadas con hidrocarburo, y se empacaron en papel aluminio antes de su envío al laboratorio para el análisis de hidrocarburos totales.

RESULTADOS

Fase 1. Desnatación con banda oleofílica

En las Tablas 1 y 2 se muestran, para cada banda, las condiciones de velocidad y ángulo de inclinación con los que se obtienen la mayor y la menor recuperación de aceite y de agua.

Tanto en las pruebas con crudo como en las pruebas con ACPM no se halló presencia de agua emulsionada con el hidrocarburo. Toda el agua medida se presentó como una fase separada.

Fase 2. Pruebas de adsorción

En las Tablas 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos durante las pruebas de adsorción.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fase 1. Remoción de crudo

La banda que es más efectiva en la remoción de crudo es la de Poliuretano Termoplástico (PT) (78% del crudo recogido) y es la recomendada para su utilización en desnataores en el campo, debido a su resistencia mecánica y al hecho de que el porcentaje de agua asociado al producto recuperado ($<15\%$) es relativamente bajo si se le compara con el de la banda de PVC. Las condiciones ideales de operación, en la utilización de la banda PT, para la desnatación de crudo, incluyen un ángulo de recolección de 30 grados y una velocidad de rotación de 12 cms^{-1} .

El rendimiento de la banda de PVC usada disminuyó en un 46%, aumentándose los porcentajes de agua recogidos respecto al rendimiento de la banda de PVC nueva, con las condiciones de recolección (ángulo y velocidad) más efectivas.

Influencia del ángulo de inclinación de la banda

Para las diferentes bandas empleadas, al aumentar el ángulo de inclinación de la banda disminuye la

Tabla 1. Variables operativas de las pruebas de bandas oleofílicas con crudo

BANDA	Mayor Recuperación de Aceite		Menor Recuperación de Aceite		Mayor Recuperación de Agua		Menor Recuperación de Agua	
	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}
PVC Nueva	30	18	60	12	30	18	60	12
PVC Usada	30	18	60	12	45	18	45	6
PT	30	12	60	12	60	18	60	6
NBR	30	12	60	18	30	18	30	6

Tabla 2. Variables operativas de las pruebas de bandas oleofílicas con ACPM

BANDA	Mayor Recuperación de Aceite		Menor Recuperación de Aceite		Mayor Recuperación de Agua		Menor Recuperación de Agua	
	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}	Angulo de Inclinación	Velocidad cms^{-1}
PVC Nueva	45	6	60	18	60	6	30	12
PVC Usada	45	12	60	18	30	12	60	18
PT	45	6	60	18	45	6	45	12
NBR	45	18	60	18	30	18	30	12

Tabla 3. Resultados de las pruebas de adsorción en vasos de precipitados con crudo y ACPM con diferentes tiempos de exposición.

FILTRO		Hidrocarburo Adsorbido (%)		Gramo hidrocarburo/ Gramo adsorbente		Humedad del adsorbente (%)	
		5 h	24 h	5 h	24 h	5 h	24 h
Aserrín	Crudo	44,4	68,9	0,8	2,2	20	22
	ACPM	37,9	56,1	0,6	1,3	22,6	22,6
Fique	Crudo	60,2	77,2	1,5	3,4	19,7	21,6
	ACPM	55,9	71,9	1,3	2,6	29,8	29,8
Taruya	Crudo	53,3	54,6	1,1	1,2	12,6	11,2
	ACPM	51,8	59	1,1	1,4	25,8	25,8
Fibra Piña	Crudo	59,8	72,3	1,5	2,6	16,1	20,5
	ACPM	54	69	1,2	2,2	37	37

Tabla 4. Resultados de las pruebas de adsorción en separador API con crudo y ACPM con diferentes tiempos de exposición.

FILTRO		Hidrocarburo Adsorbido (%)		Gramo hidrocarburo/ Gramo adsorbente		Humedad del adsorbente (%)	
		5 h	24 h	5 h	24 h	5 h	24 h
Aserrín	Crudo	25,5	36,7	0,34	0,61	55,6	49,8
	ACPM	3,9	12,7	0,04	0,15	49,8	66,4
Fique	Crudo	41,1	54,6	0,7	1,21	47,3	48,3
	ACPM	16,1	36,4	0,2	0,6	43,1	60,9
Taruya	Crudo	19	28	0,24	0,39	66,2	60,1
	ACPM	12,8	16,5	0,15	0,20	75,3	79,8
Fibra Piña	Crudo	30,4	57,3	0,44	1,34	58,5	51,5
	ACPM	25,9	28,3	0,35	0,4	64	68,7

cantidad de producto (agua y crudo) e hidrocarburo recogidos.

Para las bandas estudiadas, el ángulo de recolección de hidrocarburo más efectivo, a cualquier velocidad de banda, es de 30 grados.

El ángulo de recolección con el que menos cantidad de hidrocarburo se recogió fue el de 60 grados para todas las bandas y velocidades de rotación empleadas.

Influencia de la velocidad de la banda

En la mayoría de las pruebas, para las diferentes bandas estudiadas, al aumentar la velocidad de rotación de la banda aumenta el porcentaje de agua recogido con el hidrocarburo.

Remoción de ACPM

Las bandas pudieron remover el ACPM en grados de efectividad diferentes. Los porcentajes de agua removidos son, en general, muy bajos y van del 0,15 al 3,1% a diferencia de lo observado en la recolección de crudo, debido quizá a que las bandas presentan una afinidad hacia el hidrocarburo refinado que contrarresta el efecto de adsorción del agua. Este fenómeno no es tan determinante cuando el hidrocarburo desnatado es crudo.

La banda NBR es la más efectiva en la remoción de ACPM (79%). Su empleo se recomienda sólo si se utiliza un calibre superior al empleado en la presente investigación por presentar problemas de deformación mecánica. En vista de esto se recomienda el empleo de

la banda PT (74% de hidrocarburo removido) con una inclinación de 45 grados y una velocidad de recolección de 6 cms⁻¹. Alternativamente se puede utilizar la banda de PVC con las mismas condiciones de operación ya que su eficiencia de remoción de ACPM es muy similar. La banda de PVC usada disminuye su eficiencia de remoción en un 25% respecto al rendimiento de la banda PVC nueva, en las condiciones más favorables.

Influencia del ángulo de inclinación de la banda

Para las diferentes bandas empleadas el ángulo de inclinación con el que se logró una mayor recolección de producto y ACPM fue el de 45 grados. El aumento de la cantidad de producto recogido no está directamente relacionado con el cambio en el ángulo de inclinación de la banda, como se observó en las pruebas con crudo. Las bandas presentaron una menor eficiencia de recolección, especialmente las bandas PT y NBR, cuando el ángulo de inclinación era de 60 grados.

Influencia de la velocidad de la banda

Al igual que en el caso del ángulo de inclinación, el cambio en la cantidad de producto recogido no presenta una relación directa con la velocidad de recolección de las bandas estudiadas.

La cantidad de hidrocarburo (crudo o ACPM) adsorbida con las fibras naturales estudiadas, aumenta con el tiempo de exposición de la fibra al hidrocarburo.

Fase 2. Adsorción de hidrocarburo crudo y ACPM

De las fibras utilizadas en el presente estudio, las que mejor rendimiento tienen como adsorbentes de hidrocarburo crudo y ACPM, son las de fique y hoja de piña tanto en las pruebas en vasos de precipitado (producto puro) como en el separador API.

En la totalidad de las pruebas se obtuvo una mayor adsorción del hidrocarburo al aumentar el tiempo de exposición de la fibra. La cantidad de hidrocarburo adsorbido, para todas las fibras, fué mayor en las pruebas en el vaso de precipitado que en las del separador por la cantidad de agua que permanece en el separador.

En cuanto a los tipos de hidrocarburo adsorbido, en todos los casos las fibras probadas adsorbieron una mayor cantidad (en peso) de hidrocarburo crudo que de ACPM.

En términos generales, las fibras menos efectivas fueron las de aserrín y taruya.

CONCLUSIONES

- De acuerdo con los resultados de las pruebas realizadas, el sistema experimental propuesto es efectivo en la remoción de hidrocarburos flotantes, tanto crudos como refinados, en medios acuosos.
- La cantidad de hidrocarburo y la tasa de recolección durante la fase 1 (desnatación) dependen del tipo de banda, la velocidad de rotación de la misma, su ángulo de inclinación con respecto a la horizontal y el tipo de hidrocarburo recuperado.
- La banda más efectiva para la remoción de crudo es la de poliuretano termoplástico; esta misma banda es la que se recomienda utilizar cuando el hidrocarburo por separar es de tipo liviano (ACPM o similar).
- Una gran ventaja del sistema de bandas recomendado es que recoge volúmenes de agua menores al 15% del producto desnataado en el caso del crudo (<1% de agua con el ACPM), significativamente inferiores a los obtenidos utilizando un desnataador tipo flauta. En este sistema, es normal que el hidrocarburo desnataado contenga un porcentaje de agua superior al 50%.
- Los resultados de la presente investigación indican que el sistema de desnatación utilizado es más eficiente que el sistema de desnatación tradicional tipo "flauta", empleado en casi la totalidad de los separadores API que operan en Colombia, por las razones expuestas anteriormente.
- Todas las fibras utilizadas adsorben hidrocarburos en algún grado. La cantidad de hidrocarburo adsorbido depende del tipo de fibra y el tiempo de exposición. Para la construcción de filtros se recomienda la utilización de fibras de fique o piña.
- Como era de esperarse, se presentaron menores porcentajes de hidrocarburo adsorbidos en las pruebas en el separador, que los obtenidos en las pruebas en vasos de precipitado, ya que la presencia de agua en el separador compite con el crudo por parte de la superficie de adsorción en las fibras naturales.

REFERENCIAS

- API, 1969. *Manual on disposal of refinery wastes volume on liquid wastes*, Chapter 5, Oil separator process design. 18 pp.

- Chol, H. M. y Cloud, R. M., 1992. "Natural sorbents in oil spill cleanup", *Environm. Sci. Tech.*, 26 (4): 772 - 776.
- D'Avila, J. S., Matos, C. M. y Cavalcanti, M. R., 1992. "Heavy metals removal from wastewater by using activated peat", *Wat. Sci. Tech.*, 26 (9 - 11): 2309.
- Gupta, M. S. y Bhargava, D. S., 1988. "Removal of cadmium from waste through adsorption on sawdust", *J. Ins. Eng.*, 68 (3): 69 - 72.
- Mathavan, G. N. y Viraraghavan, T., 1988. "Use of peat in the treatment of oily waters", *Fac. Eng. Univ. Regina, Canada*.
- Shukla, S. R. y Sakhardande, V. D., 1991. *Dyestuff for improved metal adsorption from effluents*, Dep. Chem. Tech. Univ. Bombay, India.
- Suzuki, M., 1991. "Application of fiber absorbents in water treatment", *Wat. Sci. Tech.*, 23 (12): 1649 - 1658.
- Viraghanan, T. y Mathavan, G. N., 1989. "Use of peat in removal of oil from produced waters", *Environm. Tech. Let.*, 10: 385 - 394.