

Alternativas tecnológicas para el manejo de crudos pesados de alta viscosidad y residuales de petróleo

Ramón Sánchez S., M. Vita Peralta M., José M. González S., J. Ramón Herrera V., Alejandro M. Arriola M., Emilio Manzanares P., César A. Romo M. y Elvia M. Palacios L.

Introducción

Desde hace algunos años, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha desarrollado una línea de investigación orientada a la emulsión de aceites pesados en agua. El alcance ha sido tal en dicha línea de investigación que se ha logrado el desarrollo de una tecnología propia para la elaboración de dichas emulsiones (Peralta et al., 2001b).

Debe mencionarse que en el año 2000 se prepararon las primeras emulsiones de residuos de petróleo en agua (Peralta et al., 2001a) con la finalidad de obtener un combustible alternativo al combustóleo, que ya se utiliza en las plantas termoeléctricas. Estos trabajos de investigación, han sido fundamentales para la adaptación y desarrollo de tecnologías alternas que pueden ser aplicadas en el manejo de crudos pesados de alta viscosidad y residuales de petróleo. Ya sea emulsionando los aceites pesados para facilitar su manejo o bien, a través de técnicas de flujo lubricado, que no requieren de emulsiones para ser transportados por tuberías.

Cabe señalar que las emulsiones de residuales de aceite en agua están formadas por una fase continua de agua, en la que se dispersan las gotas de aceite; y es en la interfase agua-aceite donde actúa un tenso-activo. Estas emulsiones se prepararon, inicialmente, en lotes y, posteriormente, se hicieron en un sistema en continuo a nivel laboratorio (Sánchez et al., 2002). Actualmente, se preparan en continuo a nivel planta piloto como se muestra esquemáticamente en la Figura 1.

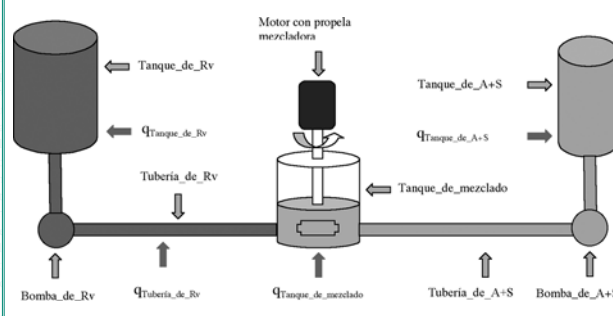
Este trabajo presenta la capacidad tecnológica que, a través de los años, el IIE ha desarrollado en la preparación de emulsiones de aceites pesados en agua; así como el potencial de aplicación que tiene dicha tecnología en el sector eléctrico y la reducción de problemas durante la extracción y manejo de aceites pesados de alta viscosidad.

Capacidad del IIE para preparar emulsiones de aceites pesados en agua

Preparación de emulsiones en lote, modelo y planta piloto en continuo

Las primeras emulsiones de residuos de petróleo preparadas en el IIE, se hicieron en lotes con un tenso-activo no-iónico similar al utilizado en la preparación de las orimulsiones—emulsiones de bitumen en agua—nonil-fenol-etoxilado (Chirinos et al., 1990; Cárdenas et al., 1996). Durante la preparación de dichas emulsiones se ajustaron los porcentajes de residuales de petróleo,

Figura 1. Representación esquemática de la planta piloto.



abril-junio del 2006

agua y tenso-activo, así como la temperatura de la mezcla, el tipo de propela y la velocidad de rotación del mezclador.

Es importante hacer notar, que el uso del nonilfenol está prohibido en algunos países, por lo que fue necesario desarrollar otro tenso-activo base alcohol el cual no tiene restricción alguna en su uso y del cual el IIE ha ya realizado su solicitud de patente.

Una vez controlado el proceso para la formación de emulsiones en lotes, se diseñó e instaló un sistema de laboratorio modelo para preparación de emulsiones en continuo con las mismas características que las preparadas en lotes, es decir, con la misma composición y distribución del tamaño de gota.

En este modelo se establecieron y controlaron las temperaturas y los flujos másicos de los componentes para obtener, en el tanque de mezclado (reactor), las mismas condiciones que en el proceso de preparación de las emul-

siones en lotes. Dicho modelo fue creado para producir 12 L/h de emulsión; posteriormente, al modificar los tiempos de residencia de formación de la emulsión, la producción alcanzó valores de hasta 30 L/h. El modelo se puede visualizar en la Figura 2.

Una vez lograda la producción de emulsiones residuales de petróleo en el modelo, se llevó a cabo el escalamiento del sistema para preparar emulsiones con la misma distribución del tamaño de gota en un sistema con mayor capacidad (planta piloto). En ese escalamiento se propuso incrementar la producción alrededor de ocho veces la producción de 12 L/h.

Actualmente, el IIE cuenta con una planta piloto para producir emulsiones con capacidad de 100 L/h; pero a través de pruebas de escalamiento se ha logrado duplicar la capacidad de producción al reducir el tiempo de residencia. En esta planta se pueden preparar emulsiones de residuos de vacío en agua, con proporciones de 70-80 % de Rv y 30-20 % de agua y tenso-activo. La planta piloto se muestra en la Figura 3.

Pruebas de almacenamiento y bombeo de las emulsiones

El siguiente paso que se adoptó en el desarrollo de tecnología de emulsiones de residuales de petróleo, fue el diseño y construcción de sistemas experimentales para ejecutar las pruebas de estabilidad *estática* y *dinámica* (Cárdenas et al., 1997). Debido a la necesidad de largos periodos de almacenamiento (estabilidad *estática*), se consideró la factibilidad de utilizarlas como un combustible alternativo en las plantas termoelectricas.

Para ello, se requiere que las emulsiones toleren las condiciones de alto esfuerzo cortante (estabilidad *dinámica*) a que son sometidas durante el transporte o el bombeo hacia los quemadores de las calderas.

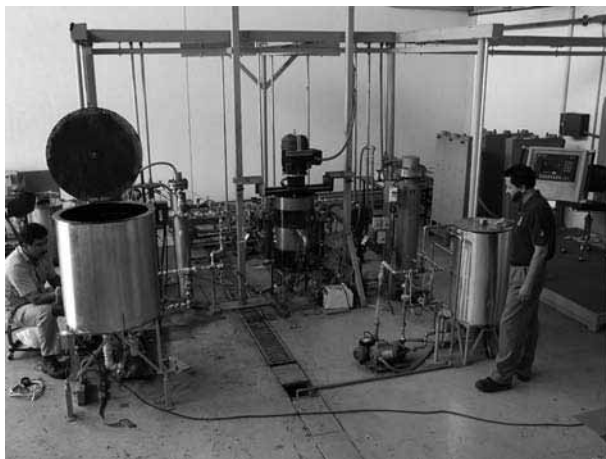
En el laboratorio de emulsiones del IIE se han realizado pruebas de almacenamiento de emulsiones y se ha analizado la *estabilidad estática* bajo diferentes condiciones:

- **Almacenamiento en tanque sin agitación.** La emulsión contenida en el tanque se encuentra en observación y el parámetro a seguir es el tamaño de gota. Si el tamaño de gota de la emulsión no crece significativamente y no presenta coalescencia, la emulsión es estable. Se han hecho pruebas bajo dos condiciones: en la primera, la temperatura del recipiente que contiene la emulsión, corresponde

Figura 2. Sistema para emulsionar en el laboratorio (modelo).



Figura 3. Planta piloto.



a la temperatura ambiente; para la segunda prueba, la temperatura del tanque es controlada durante el tiempo de duración de la prueba.

- **Almacenamiento en tanque con agitación mecánica.** La emulsión se agita periódicamente con una propela, de este modo se mantiene la fase dispersa (gotas de aceite) uniformemente distribuida.
- **Almacenamiento en tanque con flujo burbujeante.** La emulsión es sometida, periódicamente, a un flujo burbujeante. Para ello, se inyecta aire a presión en el fondo del tanque mediante tubos con orificios para generar las burbujas. Éstas ascienden a través de la emulsión arrastrando la fase dispersa, de este modo se logra homogeneizarla.

Con los resultados de las pruebas anteriores se ha demostrado que las emulsiones de residuales de petróleo presentan una *estabilidad estática* adecuada durante tiempos de almacenamiento superiores a los seis meses. En la Figura 4 se muestra un sistema para el análisis de estabilidad estática en el que se pueden analizar tres tipos de emulsiones con temperatura controlada.

Por otro lado, para completar las pruebas de manejo de emulsiones de residuales de petróleo, se llevaron a cabo pruebas de bombeo. En éstas, las emulsiones se someten a esfuerzos de corte altos que pueden provocar el rompimiento de la emulsión; evento que puede sucederse mientras la emulsión pasa a través de una bomba de desplazamiento positivo que la conduce hacia los quemadores.

Para realizar las pruebas de *estabilidad dinámica*, se diseñó e instaló un banco de pruebas donde la emulsión es sometida a diferentes esfuerzos de corte al utilizar bombas de engrane, tornillo y diafragma. Las pruebas realizadas en este sistema se pueden agrupar de la siguiente manera:

- **Pruebas de corte con un sólo paso.** La emulsión es sometida a esfuerzo cortante al pasar por la bomba; misma que cuenta con inversor de frecuencia para controlar la velocidad de rotación y, por consiguiente, el esfuerzo cortante. En estas pruebas, la emulsión se hace pasar una sola vez a través de la bomba. Conviene mencionar que el sistema cuenta con temperatura controlada. Una vez que la emulsión ha pasado a través de la bomba, se toman muestras para analizar la distribución del tamaño de gota y compararlo con la que tenía la emulsión antes de someterla al esfuerzo cortante, con esto se valora la estabilidad dinámica.
- **Pruebas de corte cíclicas.** La emulsión es sometida a esfuerzos de corte cíclico, es decir, la emulsión pasa varias veces a través de la bomba. Una vez completado cierto número de ciclos, se toman muestras para valorar la tolerancia de la emulsión al esfuerzo cortante. La Figura 5 muestra el sistema para análisis de estabilidad dinámica.

Capacidad para emulsionar aceites pesados

La acumulación de conocimientos en la preparación de emulsiones de residuales de petróleo, desde su formación en lote, la producción en un sistema en continuo en el laboratorio, hasta el escalamiento y elaboración de dichas emulsiones en la planta piloto, han proporcionado al IIE la capacidad para preparar

Figura 4. Sistema para análisis de estabilidad estática.

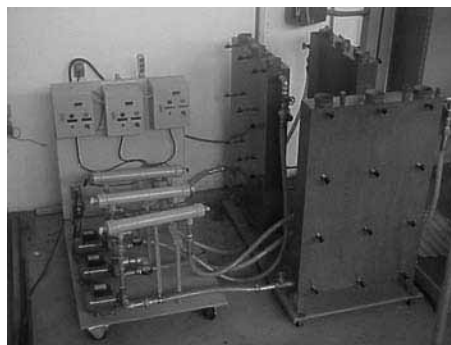
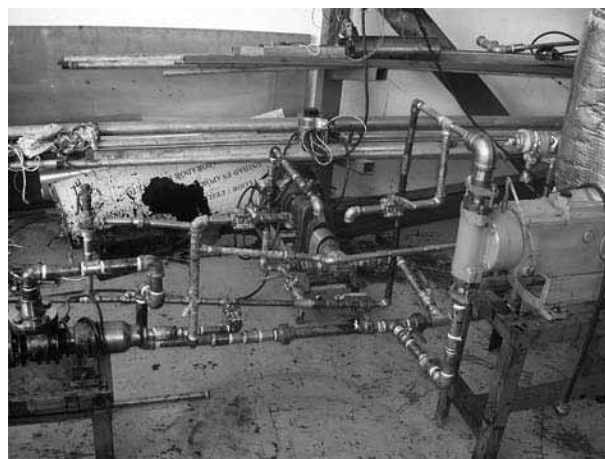


Figura 5. Sistema para análisis de estabilidad dinámica.



abril-junio del 2006

emulsiones de otros aceites pesados, además de los residuales de petróleo, tales como los crudos pesados de alta viscosidad.

Es necesario resaltar que se cuenta con una infraestructura sólida que incluye laboratorios para preparar emulsiones, determinar las distribuciones del tamaño de gota, la viscosidad y la tensión interfacial de los componentes de la emulsión, principalmente.

En este sentido, es importante mencionar que—tanto en el modelo como en la planta piloto—existe la posibilidad de preparar emulsiones a diferentes condiciones de temperatura; además de proporciones variables de residuales de petróleo y agua. Ello se debe a que se tiene control de las variables principales en los tanques de residuales, mezclador, agua y tenso-activo, así como en la tubería de alimentación de los componentes de la emulsión.

De este modo, la versatilidad en el proceso y los equipos que integran el modelo, aunados a la experiencia acumulada en la preparación y manejo de emulsiones de residuales, diseño y construcción de los sistemas, hacen factible la preparación de emulsiones de otro tipo de aceites, que incluye, en caso necesario, el manejo y la combustión de los mismos.

Combustión de emulsiones de residuales de petróleo

Con la finalidad de complementar el desarrollo de la tecnología de emulsiones de residuales de petróleo en agua para ser utilizadas como sustituto del combustóleo, ha sido necesario realizar pruebas de quemado de la emulsión en la cámara de combustión del IIE (horno experimental).

A continuación se describe, en forma breve, una de las pruebas realizadas con algunas de las emulsiones preparadas en el laboratorio. En dicho experimento, se pretendía medir los productos de combustión: exceso de oxígeno (O_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas no quemadas (PST).

Como actividad inicial se registraron los principales parámetros operativos y de comportamiento del horno experimental: presiones y temperaturas del combustible, aire de combustión, registro de las temperaturas de pared del horno y gases de combustión en línea base (combustóleo) y emulsión.

La cámara de combustión se calentó con combustóleo hasta una temperatura cercana a los 1330 grados centígrados. Posteriormente, se inició el bombeo de la emulsión hasta el

cañón de atomización y se utilizó la bomba de desplazamiento positivo para controlar el flujo de dicha emulsión. El rango de temperatura de bombeo de la emulsión se determinó mediante las pruebas de estabilidad dinámica realizadas anteriormente.

El quemado de la emulsión se realizó durante varias horas y se variaba el exceso de oxígeno para la combustión, desde 2.73 % hasta 0.6 %. Se observó que la temperatura del hogar de la cámara se mantuvo cercana a los 1280 grados durante todo el tiempo de quemado, esto es, 50 grados por debajo de la temperatura obtenida con el combustóleo.

Con base en los resultados de las pruebas de quemado en el horno experimental, es pertinente apuntar que el IIE tiene capacidad suficiente para realizar pruebas de combustión en una caldera pequeña; lo que le permite llevar a cabo los ajustes pertinentes entre las emulsiones preparadas en la planta piloto y los requerimientos de la emulsión para ser quemada en una caldera. De esta forma, el IIE avanza hacia la consolidación de la tecnología de emulsiones de residuales de petróleo como una alternativa económicamente rentable para sustituir al combustóleo.

Alternativas de aplicación de la tecnología de emulsiones

Como ya se mencionó, el desarrollo de una tecnología propia para preparación y quemado de emulsiones de residuales de petróleo en agua, permite utilizar los residuales como un combustible alternativo al combustóleo.

Un resultado del desarrollo de la tecnología de emulsiones de residuales de petróleo es que el IIE posee la capacidad para resolver algunos de los problemas que se tienen en la industria petrolera o bien, que podrían presentarse en los próximos años. A continuación, se mencionan algunos:

- **Extracción y transporte de crudos pesados de alta viscosidad.** En este caso, es posible emulsionar los crudos pesados para transportarlos hasta las refinerías o centros de venta.
- **Manejo de residuales de vacío en plantas de gasificación.** Los residuales de petróleo, pueden emulsionarse y transportarse hasta el reactor de gasificación en dichas plantas, mismas que desempeñarán un papel importante en los próximos años.

Con respecto a la extracción y transporte de crudos pesados de alta viscosidad, el IIE

cuenta con los conocimientos fundamentales para la extracción y transporte de dichos aceites por medio de flujo lubricado combinado con otras técnicas, como pueden ser la inyección de gas o solventes. En este sentido, en el laboratorio de emulsiones del IIE se han realizado pruebas exitosas para el transporte de residuos de vacío por medio de flujo lubricado.

Otra posible aplicación de la tecnología de emulsiones consiste en emulsionar los crudos pesados de alta viscosidad y utilizarlos como combustible en la industria cementera, donde el alto contenido de azufre en el combustible no es un problema. Con esto, las cementeras contarían con un combustible a un costo competitivo.

Comentarios y conclusiones

El IIE cuenta con la capacidad para producir, manejar y quemar emulsiones de residuales de petróleo en agua, ya sea dentro de un laboratorio como de una planta piloto. De igual modo, posee la infraestructura básica para producir, manejar y quemar emulsiones de aceites pesados de alta viscosidad.

Para el IIE es posible llevar a cabo estudios de factibilidad de extracción y manejo de crudos de alta viscosidad, ya sea para transportarlos a las refinерías, centros de venta o para su combustión en plantas generadoras y hornos de industrias como la cementera. Esto incluye, como alternativa, la selección del tenso-activo adecuado para la formación de la emulsión, si es necesario o, el transporte lubricado del aceite pesado.

Referencias

Cárdenas, Antonio et al. "Estabilidad de emulsiones de bitumen en agua. Parte II. Floculación de emulsiones estabilizadas con surfactantes no-iónicos" en: *Visión Tecnológica*, vol. 4, no. 1, 1996.

Antonio Cárdenas, Sylvia Rossi, Dolores Pazos y Hercilio Rivas. "Estabilidad de emulsiones de bitumen en agua. Parte III. Coalescencia", *Visión Tecnológica*, vol. 4, no. 1, 1997.

Chirinos, María et al. *Preparation of HIPREmulsions and Transportation Thereof*, United States Patent, número 4,934,398, 19/junio/1990.

Peralta, Vita et al. *Nueva tecnología para la emulsificación de residuales del petróleo en agua*, México: Boletín IIE, vol. 25, núm. 3, 2001a.

Vita Peralta Martínez, Ramón Sánchez Sánchez, Alejandro Arriola Medellín, José González Santaló, César Romo Millares. *Procedimiento para la elaboración de un combustible emulsificado en agua para centrales termoeléctricas a partir de residuos de la refinación del petróleo y el combustible resultante*, Patente en trámite, 29/marzo/2001b.

Sánchez, Ramón et al. *Sistema emulsificador de residuos de vacío en agua*, XXIII Taller Internacional de Capacitación en Calderas, Recipientes a Presión, Temas Afines y Exposición Industrial, septiembre de 2002.

Streeter, L. V. et al, *Mecánica de Fluidos*, México: McGraw-Hill, Novena edición, 2000.

Tatterson G. B., *Scale-up and design of industrial mixing processes*, EE. UU.: McGraw-Hill, 1994.

Ramón Sánchez Sánchez

Maestro en ciencias computacionales por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (1993). Ingeniero mecánico por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (1983). Su área de investigación se orienta a la mecánica de fluidos y análisis numérico computacional.

Pertenece al IIE desde 1985. Desde entonces, ha trabajado en el desarrollo de modelos matemáticos y *software* para el análisis de fenómenos transitorios en centrales hidroeléctricas y sistemas de bombeo así como en proyectos relacionados con el análisis

abril-junio del 2006

de indicadores del comportamiento de generación eléctrica.

De 2001 a la fecha ha participado en proyectos relacionados con la preparación y estabilización de emulsiones de residuos de vacío en agua. Tiene una solicitud de patente sobre la elaboración de un combustible emulsificado en agua para centrales termoeléctricas a partir de residuos de la refinación del petróleo y el combustible resultante.

rsanchez@iie.org.mx

María Vita Peralta Martínez

Ingeniera química por el Instituto Tecnológico de Zacatepec (1991). Doctora en ciencias por el Imperial College of Science, Technology and Medicine de la Universidad de Londres Inglaterra en el área de fluidos del departamento de ingeniería química con el tema conductividad térmica de metales líquidos (2000).

Ingresó al IIE en 1991 en el Departamento de Físico-Química Aplicada, desde entonces, ha participado en proyectos de infraestructura. Tras realizar estudios de posgrado en el 2000, reingresó al IIE incorporándose a la Gerencia de Procesos Térmicos. A la fecha ha dirigido tres proyectos bajo contrato, participado en once congresos a nivel internacional, cuenta con varias publicaciones, tiene un registro en derechos de autor y solicitud de patente. Actualmente es miembro del SNI.

vperalta@iie.org.mx

José Miguel González Santaló

Ingeniero mecánico electricista por la UNAM (1968). Maestro en Ingeniería Mecánica egresado del Massachusetts Institute of Technology (1969); institución educativa donde también obtuvo su doctorado en Ingeniería Mecánica (1971).

Desde 1997 ha sido el director de la División de Sistemas Mecánicos del IIE. Paralelamente, ha desarrollado diversas actividades relacionadas con su campo y es investigador nacional Nivel III en el Sistema Nacional de Investigadores.

gsantaló@iie.org.mx

Alejandro M. Arriola Medellán

Físico por la Universidad Nacional Autónoma de México. Doctor en física de reactores nucleares por la Universidad de Orsay, Francia. Su línea de investigación está orientada al uso eficiente de la energía, cogeneración y emulsiones combustibles.

Desde 1994 es investigador en la Gerencia de Procesos Térmicos del IIE donde ha trabajado en los siguientes proyectos: Diseño de sistemas de cogeneración, Optimización energética de plantas de proceso y Desarrollo y evaluación de emulsiones combustible aceite en agua para el uso de residuos de vacío de las refinerías.

aarriola@iie.org.mx

Emilio Manzanera Papayanopoulos

Ingeniero químico y de sistemas por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Doctor por la Universidad de Sheffield, Inglaterra, en el Departamento de Química en el área de fisico-química en líquidos.

A lo largo de su vida profesional se ha desempeñado como catedrático en la Facultad de Ciencias Químicas e Industriales de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (1992-1995); investigador en el Departamento de Físicoquímica Aplicada colaborando en proyectos relacionados con el análisis térmico en generadores de vapor (1991-1995).

Es investigador del IIE desde octubre del 2000 en la Gerencia de Procesos Térmicos colaborando en proyectos relacionados con la tecnología de emulsiones de aceites pesados en agua.

emp@iie.org.mx

César Alfredo Romo Millares

Ingeniero mecánico electricista egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con mención honorífica (1984); cursó estudios de maestría (1985-1987) también en la UNAM para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Energética. En el año de 1988 obtuvo el grado de Master of Science en Termofluidos por el Instituto de Tecnología de la Universidad de Manchester (UMIST). En 1992, se doctoró en el Imperial College de Londres, Inglaterra, en la especialidad de combustión.

Su área de especialidad está orientada al tema de la combustión, donde ha participado y dirigido proyectos tendientes a la modernización de equipos de combustión para el sector energético mexicano. En agosto de 1984 ingresó al IIE, donde se ha desempeñado como investigador, jefe de proyecto, coordinador de especialidad y desde febrero de 1999 como Gerente de Procesos Térmicos. Ha publicado más de 30 artículos sobre el tema de combustión en revistas y foros nacionales e internacionales. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores en los periodos 1993-2000 y 2003-2006.

caromo@iie.org.mx

Elvia María Palacios Lozano

Ingeniero Químico por el Instituto Tecnológico de Zacatepec (2001). Asesor en la Gerencia de Procesos Térmicos de la División de Sistemas Mecánicos (2001-2005), participó en el desarrollo y evaluación de emulsiones de residuos de vacío en agua y su combustión en los proyectos: Producción y combustión de emulsiones de residuo de vacío en agua, Optimización de la tecnología de preparación de emulsiones a nivel planta piloto y Diseño de una planta emulsificadora prototipo a nivel industrial y emulsificación de diferentes combustibles para transporte. En el 2006 ingresó al IIE como investigador de la Gerencia de Procesos Térmicos.

empl@iie.org.mx