

IMPACTO DE LOS ESTUDIOS REOLÓGICOS EN EL TRANSPORTE POR OLEODUCTO DE CRUDOS PARAFÍNICOS

L. RODRÍGUEZ*, H. VIDALES, M. CASTAÑEDA, G. LEAL, R. BARRERO, J. GARZÓN

Ecopetrol - Instituto Colombiano del Petróleo, A.A. 4185 Bucaramanga, Santander, Colombia
E-mail: lrodrig1@ecopetrol.com.co; E-mail: hvidales@ecopetrol.com.co,

Los resultados de esta investigación aplicada aportan elementos fundamentales para el manejo de crudos parafínicos (diseño y operación de oleoductos) y la optimización del uso de aditivos Depresores de Punto de Fluidez DPF. Los estudios reológicos soportan los análisis fluido-dinámicos que permiten predecir con mayor precisión la operación de transporte por oleoducto, a diferencia de tradicionales parámetros como punto de fluidez y punto de nube. Las evaluaciones de comportamiento reológico se llevaron a cabo en el nivel de laboratorio en viscosímetros concéntricos y se escalaron en el nivel de planta piloto en un Circuito de Pruebas Fluido-dinámicas CPF en tuberías con diámetros entre 1,27 y 15,24 cm (1/2 y 6"), donde se logró confirmar lo observado a escala laboratorio. Las pruebas se realizaron a temperatura y condiciones de velocidad de deformación similares a las presentadas en la operación de oleoductos y líneas de flujo de campos de producción. Igualmente, se estimó la viabilidad de reiniciar el bombeo después de una parada prolongada con temperaturas extremas, evaluando el esfuerzo de fluencia. El estudio ha permitido transportar en forma segregada el crudo Cupiagua sin aditivo DPF, demostrando que a pesar de su alto punto de fluidez, 300K (27 °C), en condiciones dinámicas similares a las que se tienen en un oleoducto, el crudo fluye a temperaturas cercanas a 283K (10 °C) sin compromiso para la integridad del tubo y dentro de las restricciones operativas y de equipos de la compañía que opera el oleoducto. Lo anterior ha generado ahorros significativos, tanto por el ahorro de aditivo, como también por la posibilidad de segregar los crudos que facilitan la operación de la planta de parafinas del Complejo Industrial Barrancabermeja.

Palabras clave: viscosidad, esfuerzo de fluencia, comportamiento reológico, reinicio de bombeo, crudos parafínicos, depresores de punto de fluidez, punto de nube, punto de fluidez.

* A quien debe ser enviada la correspondencia

The results of this applied research contribute fundamental elements for handling paraffinic crude oils (pipeline design and operation) and the optimization of the use of Pour Point Depressor additives. The rheological studies support the fluid-dynamic analyses that accurately predict the pipeline transport operation, unlike traditional parameters such as pour point and cloud point. The evaluation of rheological behavior was carried out at the laboratory level in concentric viscometers and were scaled at the pilot plant level in a fluid-dynamic test circuit in pipes with diameters from 1.27 to 15.24 cm (1/2 to 6 inches), where the laboratory scale was confirmed. The tests were performed under strain rate temperature and conditions similar to those of pipeline and flowline operation in production fields. Also, the viability to restart pumping after a prolonged shutdown with extreme temperatures was calculated, evaluating creep stress. The study has allowed us to transport Cupiagua crude oil without the PPD additive in a segregated manner, showing that despite its high pour point 300K (27 °C), in dynamic conditions similar to those in the pipeline, the crude oil flows at temperatures near 283K (10 °C) without putting the integrity of the pipe in danger and within operational and equipment restrictions for the company operating the pipeline. This has generated significant savings, due to the additive as well as the possibility to segregate the crude oils, which facilitates the operation of the paraffin plant at the Barrancabermeja Industrial Complex.

INTRODUCCIÓN

Una de las mayores dificultades encontradas en el transporte de crudos parafínicos es la reducción de la capacidad de bombeo debido a la precipitación y consecuente deposición de parafinas, lo que reduce el diámetro efectivo de oleoductos, líneas de flujo y equipos comprometidos en la operación, y aumenta los requerimientos de energía para vencer la fricción y los costos adicionales de mantenimiento (Sanjay *et al.*, 1995)

Sin embargo, los parámetros fluido dinámicos relacionados con el comportamiento de la viscosidad y el caudal para un diámetro determinado, así como la energía necesaria (esfuerzo de fluencia) para iniciar el movimiento cuando se está a temperaturas inferiores al punto de fluidez, normalmente no se reportan como hechos importantes y se pueden lograr disminuciones importantes en la viscosidad gracias a la reorientación y acomodamiento de los cristales de parafina generados.

Previo a transportar un crudo parafínico es necesario saber cómo se comportará reológicamente, es decir, conocer cuánta energía será requerida para dar inicio al bombeo en caso de que su temperatura esté por debajo del punto de fluidez y posea un comportamiento tipo Bingham, (Kumar *et al.*, 1995) lo que hace necesario relacionar los esfuerzos de fluencia τ con las diferentes temperaturas. Por otra parte, es importante correlacionar los Esfuerzos de Corte, $\tau = (\Delta P/4L)D$, que relacionan la caída de presión por unidad de longitud para un diámetro determinado con la Velocidad de Deformación $32Q/\pi D^3$ (Sanjay *et al.*, 1995), con el fin de conocer el Comportamiento Reológico (n) que tendrá el fluido, lo cual permite determinar si su comportamiento es pseudo plástico. Este se caracteriza por la disminución de la viscosidad con el aumento de la velocidad de deformación, o caudal por transportar, relacionados con la Ley de Potencia (Kumar *et al.*, 1995).

Los valores de esfuerzos de fluencia son convertibles en viscosidad inicial y viceversa. El uso de uno u otro valor depende de qué se va a analizar. Lo que se requiere es conocer si una línea de flujo está completamente bloqueada o, por el contrario, existe sólo bloqueo parcial. En el primer caso se usa el esfuerzo de fluencia para calcular la caída de presión requerida para desplazar a una velocidad muy baja inicial una sección taponada. El esfuerzo de fluencia y la caída de presión están relacionados por la ecuación: $\Delta P = 4\tau L/D$ (Vidales *et al.*, 1999)

Cuando la línea no está totalmente bloqueada existe un flujo inicial y el concepto de esfuerzo de fluencia no es aplicable, debido a que el flujo se establece sin que se requiera suministrar un esfuerzo inicial para comenzar un movimiento lento.

El estudio complementa trabajos preliminares de transporte de crudos parafínicos (Grosso *et al.*, 1987, Grosso *et al.*, 1989, Grosso *et al.*, 1990) ratificando la importancia de tener en cuenta las evaluaciones reológicas. Basados en los resultados de tales evaluaciones se ha podido escalar industrialmente el transporte de crudos de naturaleza parafínica, Cupiagua y Cusiana y mezclas de éstos, con y sin aditivo DPF, por el Oleoducto Central de los Llanos de Colombia. El Oleoducto en mención tiene diámetros de 76,32 y 91,54 cm (30" y 36") y temperaturas del ambiente que fluctúan entre 305 y 278 K (32 y 5°C).

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental se presenta en las Figuras 1 y 2, las cuales comprenden las pruebas efectuados a escala de laboratorio y de planta piloto que permitieron una simulación en un amplio rango de condiciones operacionales.

La determinación de las propiedades de Punto de Fluidez se efectuaron de acuerdo con las normas ASTM D97 y ASTM 5853. El Punto de Nube se realizó a partir de la metodología desarrollada por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP). La Gravedad API, mediante la norma ASTM D287, y el comportamiento reológico de crudos Cupiagua, Cusiana y mezclas de éstos se llevaron a cabo en viscosímetros rotacionales de cilindros coaxiales marca Haake, unidades VT550, RS150 y CV100 provisto de sistema de enfriamiento programable.

En la Figura 2 se presenta la metodología seguida para la simulación del proceso de escalado en el Circuito de Pruebas Fluido dinámicas CPF, el cual puede ser controlado manual, semi-automática o automáticamente con un conjunto de medidores de caudal, densidad, viscosidad, diferenciales de presión y temperatura.

El circuito está provisto de un sistema de enfriamiento, que envía líquido refrigerante a través del anillo de los tubos concéntricos, y permite condiciones térmicas entre 333 y 263 K (60°C y -10°C).

De acuerdo con los caudales operacionales entre

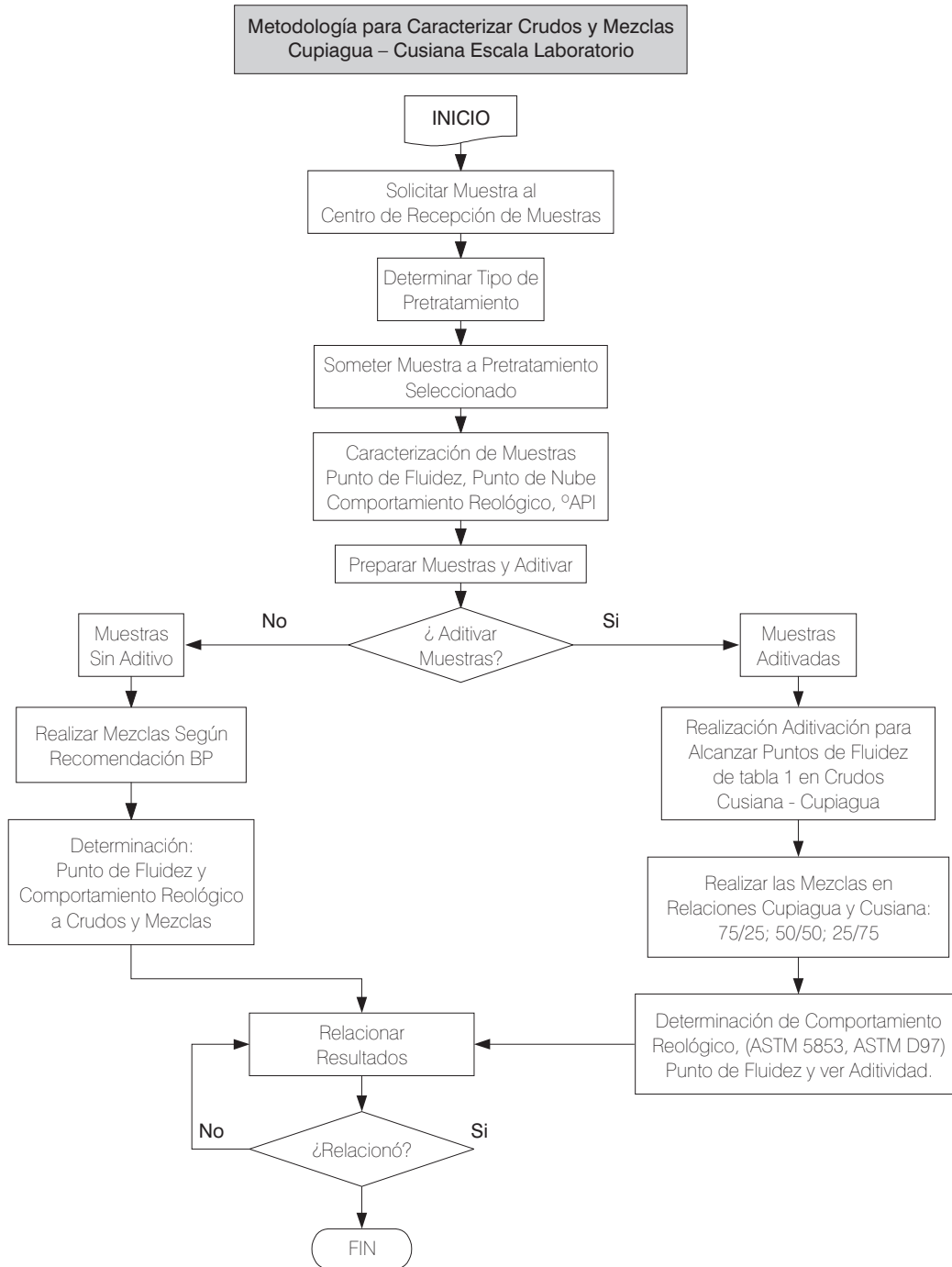


Figura 1. Metodología para las determinaciones de pruebas a escala laboratorio.

16.695 m³d⁻¹ y 79.485 m³d⁻¹ (105 y 500 KBPD) se establecieron las velocidades de deformación por utilizar en el circuito (caudales), midiendo la caída de presión en tramos de longitudes de tubería de 6, 12, 24 y

36 metros y con diámetros de 1,27; 2,54; 5,08; 10,16 y 15,24 cm (½, 1, 2, 4 y 6"), así como la presión de arranque requerida después de paradas prolongadas. Este proceso se efectuó para crudos y mezclas con y sin aditi-

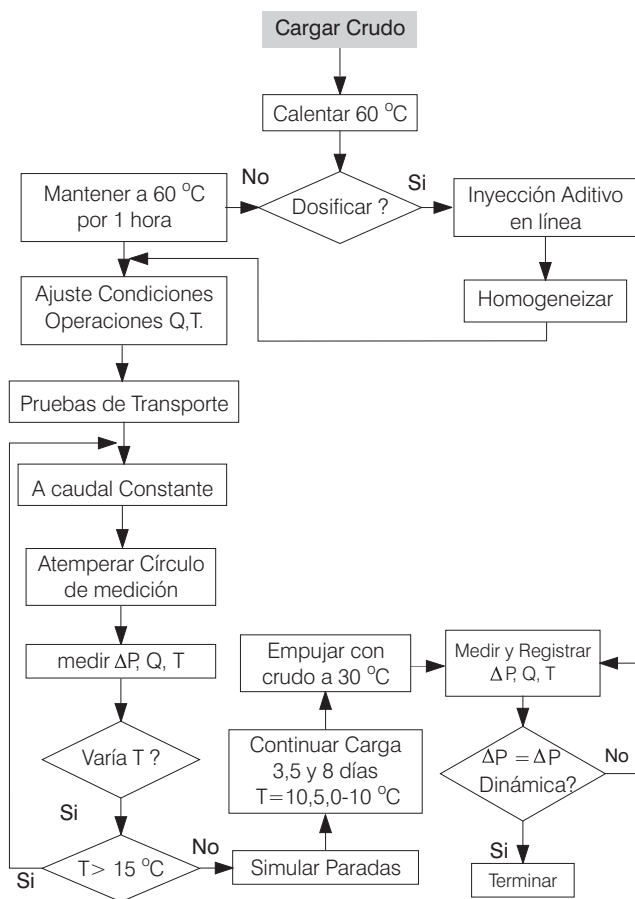


Figura 2. Metodología para evaluar transporte y parada prolongada en circuito de 1/2, 2,4 y 6 "

vos. La adquisición y el control de los datos se realizó mediante un Sistema de Control Distribuido (IA) de Foxboro WP- 30, Procesador CP-30.

Se analizaron parámetros de transporte variando el tiempo y temperatura de paradas prolongadas con el fin de asegurar tanto la operación normal del oleoducto como una situación no programada. Se seleccionaron períodos de tiempo de tres y ocho días. Igualmente se simularon condiciones extremas de temperatura para el manejo de estos crudos parafínicos o similares en escenarios de exportación.

Para cada una de las pruebas de transporte se observó:

- El cambio en la caída de presión en cada uno de los tramos
- Caudal controlado con medidor de flujo másico
- Presión y temperatura

Para evaluar la simulación de paradas prolongadas y reinicio de bombeo se realizaron pruebas con viscosímetros y en el circuito de pruebas fluido dinámicas.

Adicionalmente se simuló en condiciones similares a las industriales una parada prolongada en tubo de gran diámetro de 57,15 cm (22,5 pulgadas), Figura 3, con un sistema de enfriamiento que permitió inducir cambios de temperatura en el rango mencionado y medir de manera radial los perfiles de temperatura.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 1 se presentan los resultados de Punto de Fluidez para los crudos Cupiagua y Cusiana con y sin aditivo DPF. Para la realización de las pruebas se utilizaron los aditivos DPF empleados en campo. El crudo Cusiana fue tratado con aditivo A y el crudo Cupiagua con aditivo B. La tabla presenta la relación del consumo de aditivo DPF en el punto de fluidez.

Como puede observarse en la Tabla 1, debe buscarse una relación adecuada entre el tipo de crudo y aditivo pues el crudo Cupiagua utilizado en los análisis requiere de cantidades importantes, superiores a 800 gm⁻³ de un producto con ingrediente activo cercano al 80 %, para garantizar la no presencia de riesgos operacionales, con el respectivo incremento considerable de los costos operacionales, mientras que el Crudo Cusiana posee un Punto de Fluidez relativamente bajo, con muy baja dosificación, de un producto con una concentración de ingrediente activo tres veces menor que el utilizado para Cupiagua.

Los resultados hacen pensar en la posibilidad de utilizar mezcla de Cupiagua y Cusiana, este último dosi-

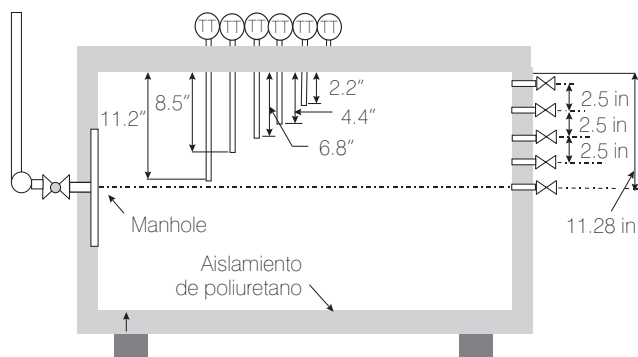


Figura 3. Simulador de paradas prolongadas en Tubo Corto de Gran Diámetro

Tabla 1. Relación Consumo Aditivo DPF y Punto de Fluidez

CRUDO CUPIAGUA		CRUDO CUSIANA	
Consumo de Producto Comercial Aditivo " B" (gm ³)	Punto de Fluidez K	Consumo de Producto Comercial Aditivo " A" (gm ³)	Punto de Fluidez K
0	300	0	280
200	294	13	270
300	288	25	243
400	281		
800	270		

ficado, para optimizar el transporte y uso de aditivos. Obsérvese que desde el enfoque sólo del Punto de Fluidez sería necesario el consumo de importantes cantidades de aditivo para tener especificaciones de transporte.

Efecto en el punto de fluidez final de mezclas Cupiagua - Cusiana.

En la Tabla 2 y Figura 4 se muestran los resultados obtenidos de punto de fluidez al mezclar corrientes de

Cupiagua y Cusiana en relaciones de mezcla 75/25, 50/50 y 25/75, con y sin aditivo. La aditivación para cada crudo se hizo de tal forma que se obtuvieran los puntos de fluidez de la Tabla 2 los cuales, al realizar mezclas en las proporciones mencionadas, generaron un efecto sinérgico entre los crudos y los aditivos una vez mezclados.

Como puede observarse tanto en la Figura 4 como en la Tabla 2, de acuerdo con los puntos de fluidez obtenidos de las mezclas, el crudo Cusiana ligeramente dosificado, permitiría ahorros importantes de aditivo. Debe resaltarse que el efecto del aditivo usado para Cusiana no tiene la misma influencia cuando se probó en el crudo Cupiagua, y se destaca el efecto de sinergia no sólo para los crudos sino también entre los aditivos, siendo más notoria la de estos últimos.

Lo anterior ratifica la importancia de la optimización del tipo y cantidad de aditivo, así como la naturaleza de los crudos puesto que algunos de ellos pueden realizar una función de diluyente facilitando la acción de los depresores y modificando los procesos de cristalización.

Comportamiento Reológico

De la información de las pruebas de comportamiento reológico que relaciona los Esfuerzos de Corte y las Velocidades de Deformación se obtienen los índices

Tabla 2. Puntos de fluidez de mezclas Cupiagua-Cusiana

Consumo de Aditivo (gm ³) y Punto de Fluidez obtenido (P.F.,K)				Mezclas Cupiagua-Cusiana		
Cupiagua		Cusiana		Punto de Fluidez Mezcla,K		
Consumo de Aditivo " B" gm ³	P.F. K	Consumo de Aditivo " A" gm ³	P.F. K	75/25	50/50	25/75
0	300	0	280	298	294	285
0	300	13	270	293	291	282
200	294	13	270	282	276	270
300	288	13	270	276	270	267
400	281	13	270	273	267	264
800	276	13	270	271	260	249
800	276	25	240	271	242	242

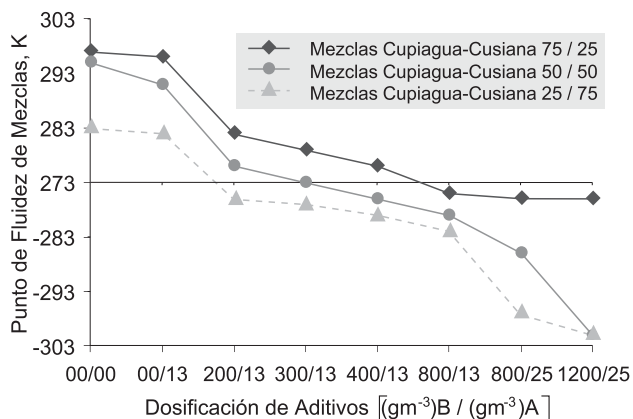


Figura 4. Efecto de la relación de mezcla y dosificación de aditivo en el punto de fluidéz.

de comportamiento reológico que se representan en la Figura 5. Esta muestra el carácter no-newtoniano de los crudos a temperaturas por debajo del punto de fluidéz y su tendencia a comportarse de fluido pseudo plástico $n < 1.0$ a newtoniano $n = 1.0$ en la medida en que se aumentan la temperatura y el contenido de Crudo Cusiana, que presenta un comportamiento más cercano a fluido newtoniano

Otro aspecto por resaltar es la tendencia de las mezclas y crudo Cupiagua a comportarse como newtoniano en la medida en que se sobrepase el punto de fluidéz y esté más cerca al punto de nube. Estas características favorecen la operación de los oleoductos, y en especial en condiciones de paradas prolongadas se requiere me-

nor energía por ser considerablemente sensible a disminuir su viscosidad una vez se vence el esfuerzo de fluencia (τ_0). Estos valores indican un comportamiento a la vez de fluido Bingham.(J. A. Ajiienka, 1994; J. Denis *et al.*,1991).

El carácter no newtoniano (pseudo plástico) generado por el efecto de la velocidad de deformación sobre las partículas (cristales de parafina ya formados) inicialmente en estado “desordenado”, se afectan deformándose, (orientándose o alineándose) en forma paralela unas con respecto a otras. Esto resulta en una reducción sustancial de la viscosidad. Por lo tanto, esta propiedad permite tener una alternativa para disminuir el impacto del enfriamiento y requerir menores cantidades de aditivo puesto que, como se observa en la Figura 6, al aumentar el caudal bombeado y en consecuencia la velocidad de deformación, se logra reducir apreciablemente la viscosidad, obteniéndose valores semejantes a los presentados alrededor de la temperatura correspondiente al punto de fluidéz. (Srivastava *et al.*, 1992; Agarwal *et al.*, 1990; Denis *et al.*, 1991; Rodríguez *et al.*,1999).

Con un leve incremento en la velocidad de deformación, como se observa en la Figura 6, se obtienen cambios importantes de viscosidad en los crudos y mezclas. En la medida en que se incrementa la velocidad de deformación, se observan viscosidades que caen prácticamente en el mismo rango, sin importar el porcentaje de diluyente. Esta tendencia se observó cuando a dichas mezclas se les adicionó aditivo DPF, ratifi-

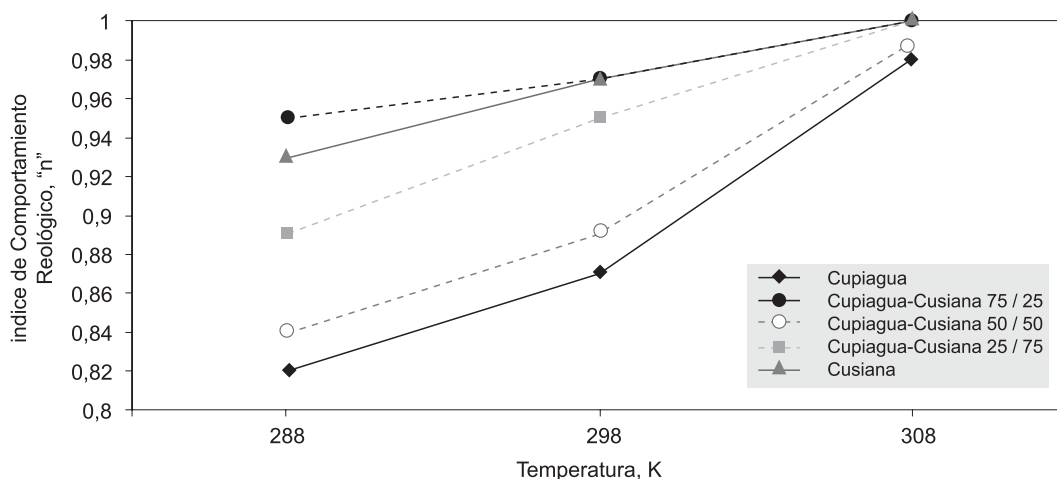


Figura 5. Efecto de la temperatura en el índice de comportamiento reológico de crudos Cupiagua y Cusiana y mezclas Cupiagua - Cusiana.

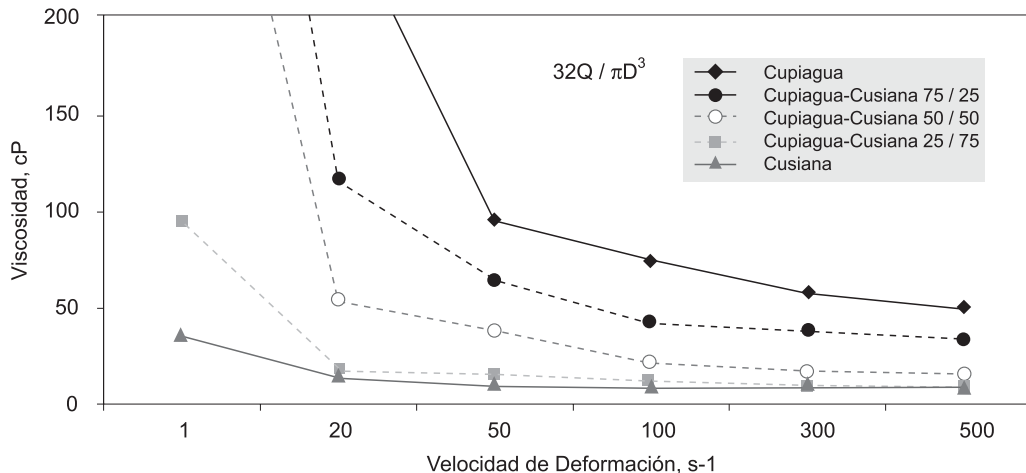


Figura 6. Efecto de la Velocidad de Deformación en la Viscosidad Crudos Segregados & Mezclas sin aditivo

cando que los efectos fluido dinámicos deben ser considerados en el momento de tomar decisiones para el tratamiento de los crudos que faciliten su transporte.

Simulación en viscosímetro de paradas prolongadas del oleoducto

Las presiones de arranque después de una parada prolongada, con enfriamiento lento durante ocho días, desde 305K a 283K (32 a 10°C), se representan en la Figura 7, mediante el esfuerzo de corte que realizó el sensor de medición del viscosímetro. Los crudos permanecieron confinados en los cilindros de medición tipo “abierto”. El esfuerzo de fluencia (τ_0) constituye el valor equivalente a la energía requerida al iniciar el flujo en oleoducto, en este caso después de la simulación de parada prolongada. Los valores obtenidos para el crudo Cupiagua y mezcla Cupiagua - Cusiana en relación 75/25, (V/V) fueron de 82 y 56 Pascales, respectivamente. Estos valores demuestran que se requiere una mínima energía para reiniciar el bombeo, y adicionalmente con pequeños incrementos de velocidad de deformación (caudal), los esfuerzos disminuyen sustancialmente y se mantienen constantes. La viscosidad decrece rápidamente a valores que permiten la operación normal del oleoducto sin necesidad de utilizar aditivos DPF. Los anteriores resultados fueron ratificados posteriormente tanto en las tuberías de 5.08, 10.16 y 15.24 cm (2,4 y 6") del CPF, como en el simulador con diámetro equivalente al oleoducto mencionado.

Los perfiles de temperatura obtenidos en el simula-

dor industrial relacionado en la Figura 3 demostraron que la pared del tubo de 57 cm (22,5") logra una temperatura de 278K (5°C) al cabo de los ocho días, mientras que en el centro del mismo se midió una temperatura de 283 K (10°C). Este hecho es muy ventajoso en términos de lo que sucede en el oleoducto real donde, debido al mayor diámetro, el gradiente de temperatura debe ser mayor, y por lo tanto el porcentaje de líquido remanente después del enfriamiento debe ser más alto. Al abrir la válvula fluyó el “crudo sin aditivo” que se encontraba en el núcleo dejando un depósito en las paredes, el cual descendió de inmediato debido a la gravedad y adquirió rápidamente la consistencia líquida.

Estas pruebas se efectuaron tanto para el Crudo Cupiagua como para mezclas de éste con Cusiana. Lo anterior demuestra que el punto de fluidez no debe ser el único parámetro por tomar en cuenta para predecir el comportamiento fluido dinámico de los crudos parafínicos.

Comportamiento reológico a escala planta piloto en circuito de pruebas fluido dinámicas

Los resultados del comportamiento reológico realizados a nivel de viscosímetros en el laboratorio fueron validados en el CPF, al mostrar un comportamiento similar.

La Figura 8 presenta las caídas de presión correspondientes a las pérdidas por fricción, ocasionadas al bombear las diferentes mezclas de crudos a través de

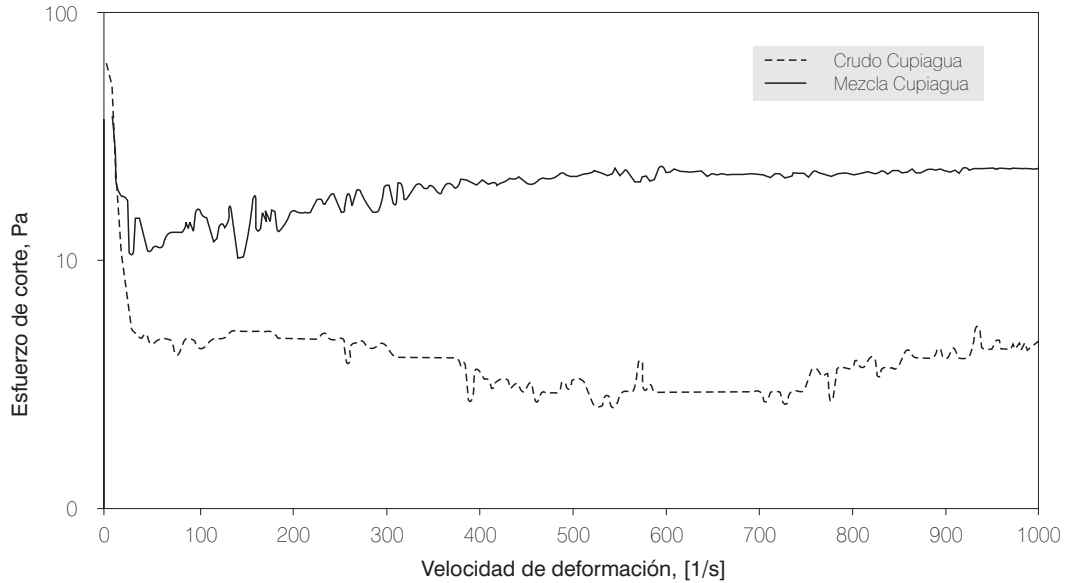


Figura 7. Prueba de parada prolongada con enfriamiento lento en viscosímetros.

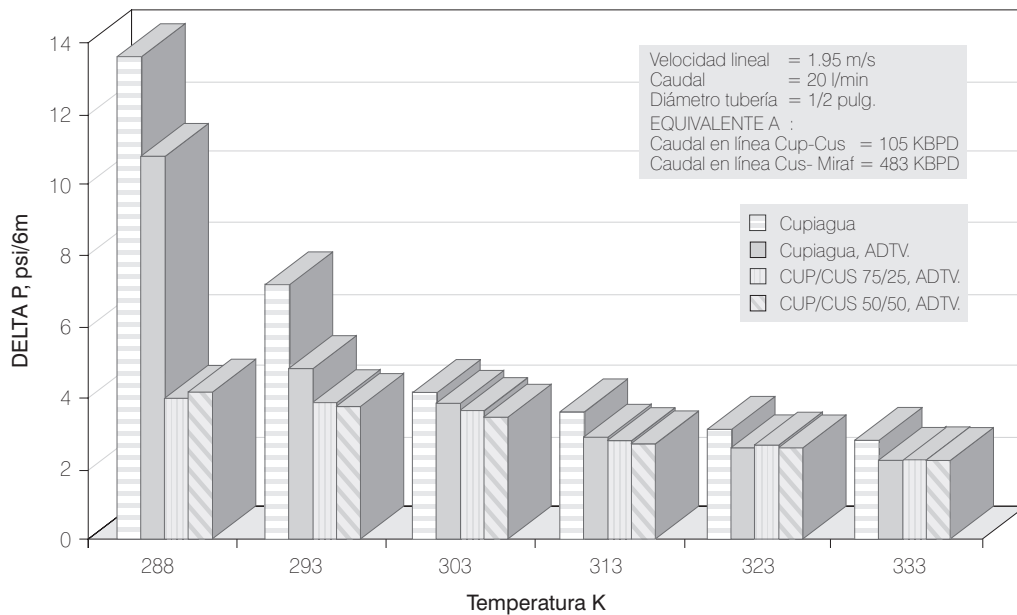


Figura 8. Variación de caída de presión con temperatura. Pruebas a nivel de planta piloto

tramos de 6 metros de tubería de 1,7 cm (1/2"). Las determinaciones fueron igualmente realizadas para otros tamaños de tubería y caudales (Vidales *et al.*, 1999). Los valores de las mediciones que indican estas pérdidas de presión son similares a los esfuerzos de corte obtenidos en los viscosímetros concéntricos, a las mismas condiciones de temperatura y velocidad de deformación.

Lo anterior indica que los estudios de comportamiento reológico a escala de laboratorio son confiables, reproducibles y económicos para evaluar la necesidad de usar o no aditivos DPF, utilizándose solo la infraestructura de planta piloto para casos complejos.

Como era de esperarse, el aditivo tiene mínima influencia en temperaturas por encima del punto de flui-

dez y su pequeño efecto en relación con la no dosificación es debida a su influencia como reductor de viscosidad a temperaturas superior al punto de fluencia.

CONCLUSIONES

El estudio permite concluir que:

- Los crudos y mezclas analizados presentaron comportamiento no-newtoniano, tipo Bingham - pseudo plástico, con temperaturas inferiores a sus puntos de fluidez.
- Adicionalmente a la determinación de las propiedades de Punto de Nube y Punto de Fluidez, el comportamiento reológico está más acorde con los requerimientos de las condiciones operacionales.
- Dependiendo de la naturaleza del fluido, el comportamiento reológico permite concluir para este caso el no-requerimiento de DPF por ser crudos pseudo plásticos altamente sensibles a la velocidad de deformación, o caudal por bombear
- Los resultados de estos estudios han sido implementados exitosamente a escala industrial reduciendo los costos operacionales y permitiendo contar con un crudo de buenas características para la planta de parafinas del Complejo Industrial de Barranca Bermeja.
- Debe ser tomada en cuenta la posibilidad de mezclar parcial o totalmente los crudos parafínicos para lograr una mayor sinergia y menores consumos de aditivos DPF.
- En los procesos de reinicio de bombeo no solamente son importantes los puntos iniciales de fluencia sino la respuesta del crudo a los cambios de caudal o velocidades de deformación.
- Las propiedades reológicas permitieron establecer la posibilidad de bombear crudo a temperaturas muy inferiores al punto de fluidez sin necesidad del uso de aditivos DPF.*
- La determinación del punto de nube y punto de fluidez no debe ser la única información por tomar en cuenta para la determinación de fluidez de crudos parafínicos.
- Las pruebas realizadas a escala laboratorio, banco

y planta piloto dieron como resultado la posibilidad de reducir los consumos de aditivo depresor de punto de fluidez, y además, de transportarlo en forma segregada y sin aditivo.

RECOMENDACIONES

- Considerar en los diseños y operación de oleoductos los aspectos reológicos de comportamiento no-newtoniano que presentan los crudos parafínicos, los cuales permitirán tener una mayor sensibilidad de los efectos de incrementos de caudal, consumos de energía y mantenimiento de líneas.
- Realizar un conjunto de estudios tendientes a correlacionar los fenómenos de transferencia de calor (perfiles de temperatura), en estados estacionarios y no estacionarios, debidos a la conducción y convección del transporte de crudos parafínicos a bajas y altas velocidades de flujo incluyendo los posibles efectos gravitacionales.
- Analizar en detalle la influencia de la naturaleza química de los crudos con y sin aditivo en los procesos de cristalización y relacionarlos con el comportamiento reológico.
- En la operación de reinicio del oleoducto es necesario analizar si la presión de descarga de la bombas es la suficiente para dar movimiento a la línea, en sitios que por su topografía (altitud), generan elevadas cabezas estáticas que sumadas a las pérdidas por fricción calculadas anteriormente, pueden ocasionar que la operación fracase.

AGRADECIMIENTOS

Se expresan especiales agradecimientos a los Ingenieros Francisco Duarte y Nelson Jaimes de la Vicepresidencia de Asociadas de ECOPETROL, así como al Ingeniero Jaime Muñoz de British Petroleum Company por su interés y respaldo demostrado durante la realización del proyecto "Estudio de Factibilidad de transporte del crudo parafínico Cupiagua".

Al personal del laboratorio de Fenómenos Interfaciales y Reología por su permanente colaboración y apoyo durante la ejecución de las pruebas y ensayos.

REFERENCIAS

- Agrawal, K. M. *et al.*, 1990. "Wax deposition of Bombay high crude oil under flowing conditions". *Fuel*, vol 69, June
- Agrawal, K. M., 1989. "Influence of waxes on the flow properties of Bombay high crude". *Fuel*, vol 68, July.
- Ajienka, J.A., 1994. "Criteria for the design of waxy crude oil pipelines: maximum pump (horsepower) pressure requirement". *PS&E*. Nov.
- ASTM Designation: D 5853 - 95, *Standard Test Method for Pour Point of Crude Oils*.
- ASTM Designation 287 *Standard Method <For API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method)*.
- Denis, J., Durand, J. P., 1991. "Modification of Wax Crystallization in Petroleum Products". *Instituto Francés del Petróleo*.
- Grosso, J.L., Castro, A. y Escalante, D. *et al.*, 1987. "Estudio para la Vicepresidencia de Transporte : Efecto de la dilución de crudos parafínicos y no parafínicos a transportar por el Oleoducto Central de los Llanos". Influencia en el comportamiento reológico y punto de fluidez . *Informe técnico Ecopetrol-ICP*.
- Grosso J.L., Rosero, G. y Rodríguez, L. *et al.*, 1989. "Influencia del Sistema de Mezclado en los Consumos de Aditivo Depresor de Punto de Fluidez para Transporte de Crudos Parafínicos por el Oleoducto Central de los Llanos". Efecto del Escalado. *Informe técnico Ecopetrol-ICP*.
- Grosso J.L., Rosero, G., Barrero, R. y Rodríguez, L., 1989. "Optimización del uso de aditivos Modificadores de Punto de Fluidez y Viscosidad en los crudos parafínicos". *Informe técnico Ecopetrol-ICP*.
- Grosso J.L., Barrero, R. y Rodríguez, L. *et al.*, 1990. "Estudio comparativo de la efectividad de Aditivos Modificadores de Punto de Fluidez para los crudos parafínicos". *Informe técnico Ecopetrol-ICP*.
- Kumar, S.R.K., Gandhi, V., Agrawal, N.K. and Patel, S.M., 1995. "Rheological Behaviour of Waxy Crude Oils for Transportation through Pipeline". *Petrotech*.
- Majeed, A. *et al.*, 1990. "Model calculates wax deposition for N. sea Oils". *Oil & Gas Journal*, June 18.
- Brown., 1995. Brief: "Measurement and Prediction of the Kinetics of Parafin Deposition". *SPE 30331, JPT* April.
- Rodríguez, L., Castañeda, M. y Garzón, J., 1999. "Fenómenos de Cristalización de parafinas y sus Efectos en las Propiedades de Flujo de Crudos Parafínicos". *Informe Proyecto Investigación Ecopetrol-Instituto Colombiano del Petróleo*.
- Sanjay, M. *et al.*, 1995. "Parafin problems in crude oil production and transportation: a review". *SPE Production & Facilities*, February.
- Srivastava, S. P. *et al.* 1992. "Crystallization Behaviour of n-Paraffins in Bombay High Middle - Distillate wax/gel". *Fuel*, vol 71, May.
- Svensen, J.A., 1993. "Mathematical Modeling of Wax Deposition in Oil Pipeline Systems". *AIC the Journal*, Vol 39, No. 8. Aug.
- Vidales, H., Leal, G., Barrero, R. y Rodríguez, L., 1998. "Caracterización Fluidodinámica para el transporte de crudos y mezclas Cupiagua y Cusiana-Pruebas Laboratorio y Planta Piloto". *Informe Técnico Ecopetrol-ICP*.
- Vidales, H., Ruiz, M., Leal, G., Barrero, R. y Rodríguez, L., *et al.*, 1999. "Estudio de Rearranque de Oleoducto simulando parada prolongada en el transporte de crudo parafínico Cupiagua y Cusiana". *Informe técnico Ecopetrol-ICP*.