

Magdalena París de Ferrer

Instituto de Investigaciones Petroleras
Universidad del Zulia
Maracaibo, Venezuela

Recobro de Crudos Pesados Venezolanos Usando Soluciones de Hidróxido de Sodio

(Recibido el 3 de Octubre, 1977; y la versión revisada el 3 de Febrero, 1978).

RESUMEN

Se estudió la posibilidad de usar soluciones de NaOH para el recobro de nueve crudos pesados venezolanos con gravedades API en el rango de 10.2 a 14.2. Se midieron tensiones interfaciales crudo-soluciones de NaOH, número ácido y coeficiente cáustico para petróleos provenientes de los Campos Boscán, Lagunillas, Tía Juana, Bachaquero y Melones. Además, se efectuaron pruebas de desplazamientos en núcleos lineales no consolidados conteniendo crudos de los campos Lagunillas, Tía Juana y Bachaquero. Se concluye de este estudio que los crudos Tía Juana, Bachaquero y dos crudos de Lagunillas son candidatos potenciales para responder favorablemente a la inyección de soluciones de NaOH siendo las concentraciones recomendadas de 0.1, 0.1, 0.03 y 0.05 por ciento en peso, respectivamente. La mayor recuperación de las pruebas de desplazamiento se obtuvo con el crudo Tía Juana, siendo un 54 por ciento del petróleo in situ y un 70 por ciento mayor que con agua.

SUMMARY

The possibility of using NaOH solutions for the recovery of nine kinds of heavy Venezuela Crude oils with API gravity ranging from 10.2 to 14.2 was studied. Surface tensions of crude oil - NaOH solutions, acid numbers, and caustic coefficients for petroleum taken from Boscán, Lagunillas, Tía Juana, Bachaquero, and Melones fields were measured. Experiments were also carried out to observe the displacement of unconsolidated linear nuclei containing the crude oils of Lagunillas, Tía Juana, and Bachaquero fields. It is concluded from these studies that the crude oils of Tía Juana, Bachaquero and two types of crude oils from Lagunillas might respond favourably to the injection of NaOH solutions. It is recommended that concentrations of 0.1, 0.1, 0.03 and 0.05 per cent by weight respectively be used. The biggest recovery of the crude oils was observed for the Tía Juana field, 54 per cent of the petroleum in situ, and 70 per cent greater than that with water.

INTRODUCCION

Venezuela posee extensos yacimientos con crudos pesados donde la recuperación primaria es por lo general baja, por lo que se requieren aplicar métodos de recobro secundario o terciario a fin de recuperar el

petróleo remanente. Recientemente¹ se ha presentado el uso de soluciones cáusticas como una posible alternativa para el recobro de los crudos pesados que posean características apropiadas tales como una acidez orgánica a un nivel que la reacción con dichas soluciones produzca los surfactantes necesarios para reducir la ten-

sión interfacial a valores que permitan un desplazamiento eficiente del petróleo. Así se presenta un trabajo experimental realizado para determinar los crudos venezolanos que podrían responder favorablemente a la inyección de soluciones de NaOH y las concentraciones más recomendables de este aditivo. Para cumplir este propósito se midió la actividad superficial de los crudos en presencia de las soluciones de NaOH y se efectuaron pruebas de desplazamiento con los crudos con las mejores propiedades.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Soluciones de Hidróxido de Sodio

Las soluciones cáusticas fueron preparadas añadiendo hidróxido de sodio al agua destilada del laboratorio. Se preparó una solución estándar del 10 por ciento en peso de NaOH. El pH se determinó usando un medidor de pH con escala expandida y las densidades fueron medidas con hidrómetros en el rango de 0.995-1.010 gr m/cc.

Análisis de los crudos

A los crudos se les determinó el contenido de agua. Aquellos que resultaron con un porcentaje mayor del 5 por ciento se sometieron a procesos de deshidratación y filtración. Las densidades fueron determinadas con hidrómetros en el rango de 0.950- 1.000 grm/cc. y las viscosidades con un viscosímetro capilar. El número ácido se calculó usando el procedimiento estándar, utilizándose una solución 0.1 normal de KOH. Los resultados de estas medidas se presentan en las Tablas 1 y 2.

Tensión Interfacial

Las medidas de tensión interfacial se llevaron a cabo usando el método de la gota colgante recomendado por Jennings². Detalles del método aplicado se presentan en las referencias 3 y 4. Todas las medidas de tensión interfacial se realizaron a condiciones normales de laboratorio. Un equipo más avanzado ha sido presentado por Schoettle y Jennings⁵ para medidas de tensiones interfaciales a presiones y temperaturas elevadas.

Pruebas de Desplazamiento

Para realizar las pruebas de desplazamiento se utilizó un tubo cilíndrico empacado con arena no consolidada retenida en tamices Tyler 20-40. Los fluidos se inyec-

taron con una bomba de desplazamiento positivo tipo Milroyal D.* El crudo se inyectó usando aire a 60 lpc. Las pruebas se realizaron a la temperatura del yacimiento para lo cual se circulaba agua caliente alrededor del portamúcleo usando un circulador Haake** . Un diagrama del equipo se muestra en la Figura 1. Antes de comenzar cada prueba se determinó la porosidad y permeabilidad del medio poroso, los detalles del procedimiento utilizado se describen en el trabajo de Parra y Vera⁶. Las características de los empaques realizados se presentan en la Tabla 3, y los resultados de las pruebas de desplazamiento se presentan en la Figura 6.

Prueba de Oxidación del Crudo

Para estudiar el efecto de la oxidación del crudo sobre el recobro se colocó una muestra del crudo proveniente del campo Tía Juana en un recipiente. Se le hizo burbujear aire a una presión de 5 lpc y se agitó constantemente. Cada hora se tomaron muestras representativas del crudo y a cada una de ellas se les midió la viscosidad y el número ácido. La prueba se continuó hasta que no se produjo cambio apreciable en las propiedades. El crudo oxidado se utilizó en una prueba de desplazamiento. Los resultados de esta prueba se presentan en la Figura 7.

RESULTADOS

Se midieron tensiones interfaciales entre las soluciones de NaOH y los crudos Boscán, Bachaquero, Tía Juana, Lagunillas, Laguna y Melones. Las características básicas de estos crudos se presentan en la Tabla 1. La figura 2 muestra en papel doble logarítmico las tensiones interfaciales como una función de la concentración de NaOH en la solución. Esto permite determinar cuantitativamente la actividad superficial de los crudos por medio del coeficiente cáustico, tal como ha sido presentado por Jennings². Se determinó la correlación existente entre el coeficiente cáustico y las propiedades del crudo: viscosidad, gravedad API y el número ácido, por medio de análisis de regresión⁷. Los resultados se presentan en las figuras 3, 4 y 5. Las características de los empaques usados en las pruebas de desplazamiento se presentan en la Tabla 3 y las propiedades de los crudos en la Tabla 1. Se efectuaron pruebas de desplazamiento con agua y soluciones a diferentes concentraciones de NaOH, de los crudos Lagunillas, Tía Juana y Bachaquero. Los resultados se presentan en las figuras 6 y 7.

DISCUSION DE RESULTADOS

Tensión Interfacial

Se obtuvieron valores de tensiones interfaciales en dinas/cm para los 9 crudos estudiados. Estos valores se representaron en papel doble logarítmico como una función de la concentración de NaOH en la solución. La

* Milton Roy Company, St. Petersburg, Florida, U.S.A.

** Haake Circulators, Modelo FJ. Saddle Brook, N.Y. 07662, U.S.A.

Figura 2 presenta las curvas obtenidas con crudos provenientes de Lagunillas, Bachaquero y Melones. Todas las medidas de tensión interfacial se realizaron a condiciones normales. Medidas de tensiones interfaciales a presiones y temperaturas elevadas pueden alterar los resultados.

Algunos crudos presentaron las mínimas tensiones interfaciales para un amplio rango de concentraciones de NaOH entre 0.01 y 0.20 por ciento en peso. Un ejemplo de este comportamiento lo muestra en la figura 2, el crudo 4 proveniente de Lagunillas. Este crudo también es típico de otros que mostraron el valor más bajo de tensión interfacial a una concentración fija de NaOH, usualmente 0.01 por ciento en peso. Como se observa en la Figura 2, los crudos de Bachaquero y Melones no presentaron medidas de tensión interfaciales en regiones de concentraciones tan amplias. Los crudos Boscán y Bachaquero presentaron las tensiones interfaciales mínimas de 0.029 y 0.056 dinas/cm para concentraciones de NaOH de 0.06 y 0.04 por ciento en peso, respectivamente. En la Figura 2 se presenta la curva obtenida con el crudo 7 proveniente de Bachaquero. Algunos crudos provenientes de los campos Boscán, Lagunillas y Melones presentaron dificultades en las mediciones de tensiones interfaciales debido a la liberación de gas en solución durante la prueba. En la Figura 2 se representa la curva obtenida con el crudo 9 proveniente del campo Melones. Todos los crudos estudiados se caracterizaron por mostrar reducciones apreciables de tensión interfacial para concentraciones de NaOH entre 0.05 y 0.2 por ciento en peso.

Actividad Superficial

Para analizar la influencia sobre la actividad superficial de variables como la gravedad, número ácido y viscosidad, se utilizó el concepto de coeficiente cáustico introducido por Jennings². Para facilitar este análisis, las curvas de concentración de NaOH tensión interfacial, fueron reducidas a un número denominado "Coeficiente Cáustico", el cual está relacionado con el área limitada por las curvas de tensión interfacial. Tal como se muestra en la Figura 2, el coeficiente cáustico es el número de ciclos cuadrados en un papel doble logarítmico limitado por las curvas de tensión interfacial entre valores de 0.1 a 10 dinas/cm y concentraciones de hidróxido de sodio entre 0.001 y 1.0 porcentaje en peso, por lo que el máximo valor del coeficiente cáustico será 6. El coeficiente cáustico fue determinado para todos los crudos usando un planímetro para medir el área definida por las curvas de concentración de cáustica-tensión interfacial. Estos números aparecen tabulados en la Tabla 2, en orden decreciente de coeficiente cáustico. La máxima actividad superficial la presentó el crudo Tía Juana con un coeficiente cáustico de 4.072, seguido por Bachaquero 4.045 y Laguna

3.896. Estos resultados señalan al yacimiento Tía Juana como el mejor candidato entre los crudos estudiados, para responder favorablemente a la inyección de soluciones cáusticas. Además, crudos provenientes de un mismo yacimiento pueden tener actividades superficiales diferentes. El crudo Boscán presenta un coeficiente cáustico de 2.9, el cual es bajo comparado con los crudos Tía Juana, Bachaquero y Laguna. Es de notar que en el campo Boscán se ha efectuado una prueba de inyección de NaOH sin éxito, lo cual corresponde con los resultados obtenidos en este trabajo. El coeficiente cáustico más bajo lo presentó el crudo proveniente del Campo Melones y fue 2.058.

Análisis de Regresión Lineal

Se efectuó un análisis de regresión lineal para analizar la influencia sobre el coeficiente cáustico de variables tales como número ácido, gravedad y viscosidad. (Véanse Figuras 3, 4, y 5). A pesar de contarse con un número reducido de datos para establecer una correlación confiable, el número ácido parece ser la variable más indicativa de la actividad superficial. El coeficiente de correlación número ácido coeficiente cáustico fue de 0.76, comparado con 0.23 y 0.42 que se obtuvieron con la viscosidad y la gravedad API, respectivamente.

Número Acido

Para cada uno de los crudos estudiados fue medido el número ácido. Los resultados se presentan en la Tabla 2. El máximo valor correspondió al crudo Tía Juana, siendo de 3.81. Este crudo fue el que presentó la mayor actividad superficial. El crudo Boscán fue el que presentó el menor número ácido siendo 1.12.

Pruebas de Desplazamiento

Se efectuaron pruebas de desplazamiento con crudos provenientes de los Campos Tía Juana, Bachaquero y Lagunillas, que fueron los que presentaron los mejores resultados en las pruebas de actividad superficial. Las pruebas se realizaron a la temperatura del yacimiento de donde provenían los crudos. Las recuperaciones con agua de los crudos utilizados en las pruebas de laboratorio fueron del orden del 30 por ciento del petróleo original. Este bajo recobro se explica por la razón de movilidad desfavorable, consecuencia de la elevada viscosidad de los crudos. La Figura 8 muestra los resultados de una de las pruebas de desplazamiento utilizando agua y soluciones de NaOH a diferentes concentraciones como fluido desplazante. Las máximas recuperaciones se obtuvieron con el crudo Tía Juana y soluciones de NaOH entre 0.05 y 0.1 por ciento en peso, variando el recobro entre 50 y 55 por ciento del petróleo original, para la inyección de un volumen de solución equivalente al 50 por ciento del volumen

poroso. Este rango de concentración de NaOH coincide con las medidas de tensiones interfaciales más bajas. Por encima de una concentración del 0.1 por ciento en peso, las recuperaciones fueron más bajas para todos los crudos analizados. La figura 6 presenta los resultados obtenidos con el crudo proveniente de Tía Juana.

Prueba de Desplazamiento con un Crudo Oxidado.

La oxidación produjo un aumento en la viscosidad y acidez del crudo. Tal como se observa en la Figura 7, la recuperación del crudo Tía Juana para este caso disminuyó a un 40% del petróleo original, pues la razón de movilidad se hizo desfavorable. También se comprobó que si las muestras de crudo se ponen en contacto con aire los resultados no son representativos.

CONCLUSIONES

En base a los resultados presentados en este trabajo es posible deducir lo siguiente:

1. Los crudos venezolanos Tía Juana, Bachaquero y Lagunillas reaccionan con NaOH en solución para originar una actividad superficial favorable para que se produzca un aumento apreciable del recobro con la inyección de soluciones de NaOH.
2. Existe correspondencia entre las medidas de actividad superficial con el recobro obtenido en pruebas de laboratorio.
3. Las perspectivas para que varios crudos pesados venezolanos puedan ser recuperados mediante la inyección de soluciones de NaOH son buenas.

RECONOCIMIENTO

A los estudiantes que han colaborado en esta investigación.

TABLA Nº 1

CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS CRUDOS ESTUDIADOS

Nº de Ident. del Crudo	Campo	Tacimiento de origen del crudo	Densidad a 70°F (gr/cm ³)	Gravedad API	Viscosidad a 110°F (cp)
1	Lagunillas	Lagunillas Inferior	0.8769	33.9	391.7
2	Lagunillas	Lagunillas Inferior	0.8741	34.2	389.9
3	Lagunillas	Lagunillas Inferior	0.8808	33.9	416.9
4	Lagunillas	Lagunillas Inferior	0.8811	33.7	433.3
5	Bachaco	Bachaco	0.8889	30.2	1052.0
6	Tía Juana	Tía Juana	0.8898	29.9	1101.0
7	Bachaquero	Post Encome	0.8867	31.3	290.7
8	Lagunillas	Lagunillas Superior Pasado	0.8884	30.2	1469.7
9	Bachaco	Bachaco	0.8713	34.3	451.2

TABLA Nº 2

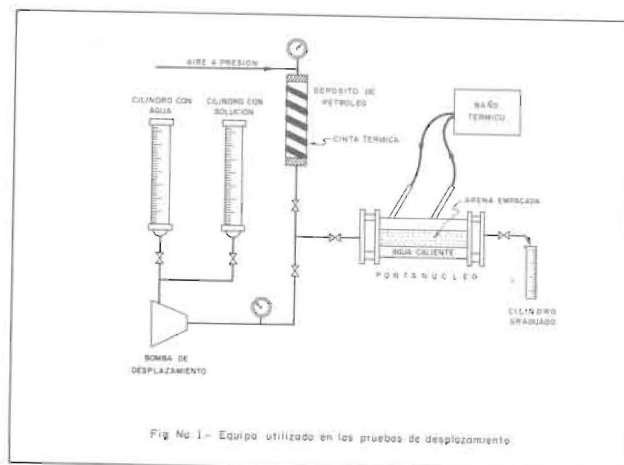
NUMERO ACIDO Y COEFICIENTE CAUSTICO MEDIDOS PARA LOS CRUDOS ESTUDIADOS

Nº de Identidad del Crudo	Tacimiento de origen del crudo	Acidez Total (agr. KOH por gr. de muestra)	Acidez Inorgánica (agr. KOH por gr. de muestra)	Acidez Orgánica o No-sus. Acido	Coefficiente Caustico
1	Tía Juana	2.81	0.00	2.81	4.072
2	Post Encome	3.33	0.00	3.33	4.045
3	Lagunillas Superior Pasado	1.75	0.00	1.75	3.996
4	Lagunillas Inferior	2.92	0.00	2.92	3.681
5	Lagunillas Inferior	3.73	0.00	3.73	3.593
6	Lagunillas Inferior	2.35	0.00	2.35	3.138
7	Bachaco	1.11	0.00	1.11	2.904
8	Lagunillas Inferior	1.73	0.00	1.73	2.702
9	Bachaco	1.29	0.00	1.29	2.088

TABLA Nº 3

CARACTERÍSTICAS DE LOS EMPAQUES UTILIZADOS EN LAS PRUEBAS DE DESPLAZAMIENTO

Crudo	Prueba Nº	Porosidad (%)	Permeabilidad (Darcy)	Saturación de Agua (%)	Saturación de Petróleo (%)
Lagunillas	1	36.1	17.4	7.95	92.05
	2	35.5	16.8	8.97	91.03
	3	35.9	16.5	8.13	91.87
	4	35.4	16.6	10.13	89.87
Tía Juana	1	36.8	15.9	7.97	92.03
	2	36.8	14.3	7.78	92.22
	3	36.0	14.3	7.85	92.15
	4	36.0	13.8	8.26	91.74
Tía Juana (Muestra 2)	1	36.8	17.0	7.92	92.08
	2	36.4	16.8	7.41	92.59
	3	36.4	14.6	7.95	92.05
	4	36.4	14.6	7.95	92.05
Bachaquero	1	35.4	15.4	8.75	91.25
	2	35.8	15.4	8.13	91.87
	3	36.0	16.8	8.36	91.64
	4	35.5	15.8	7.92	92.08



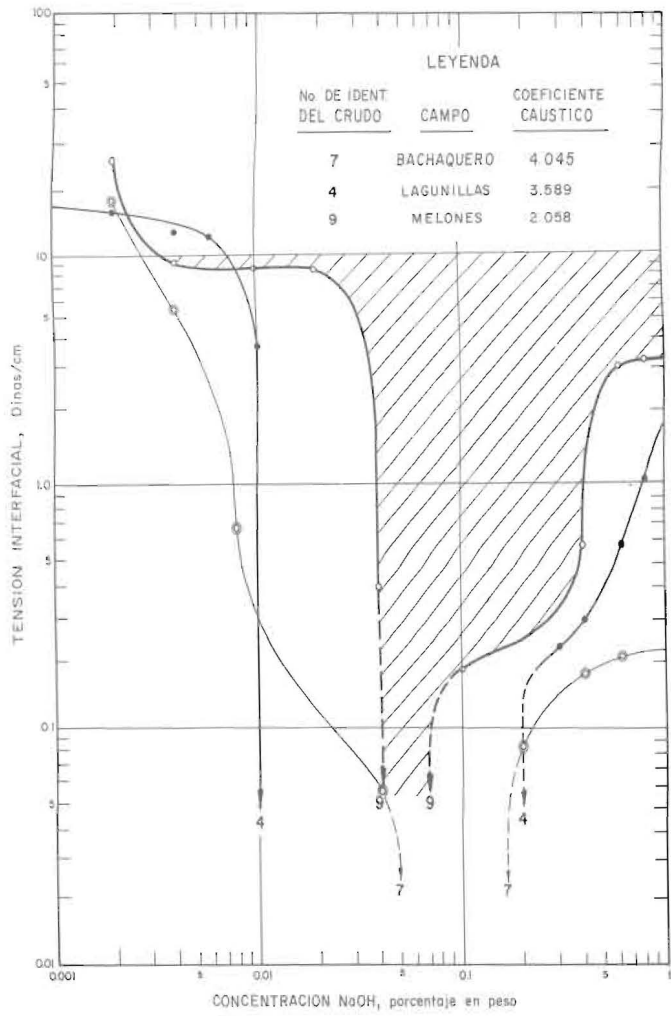


Fig. No. 2.- Tensión Interfacial en función de la concentración de NaOH.

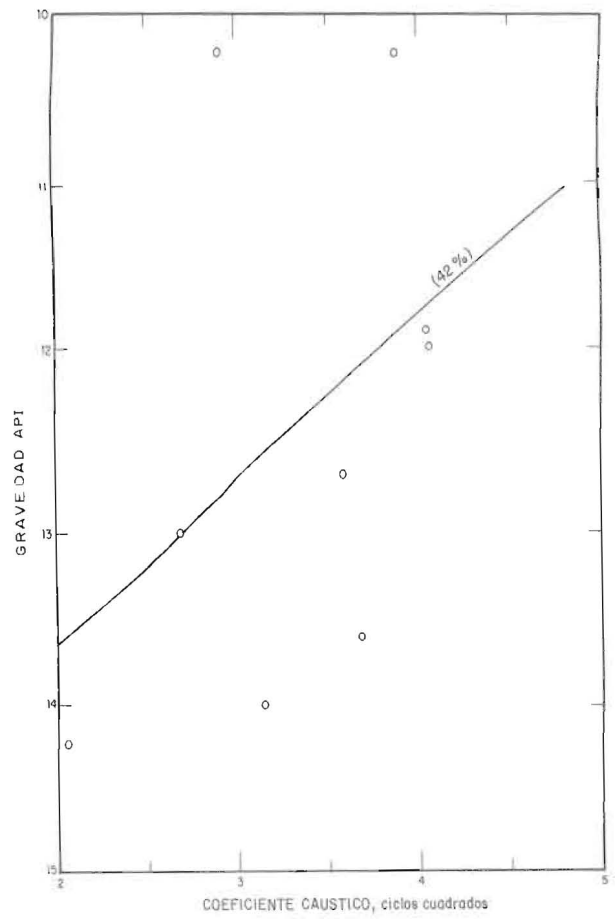


Fig. No. 4 - Correlación de la gravedad API del crudo con el coeficiente cáustico

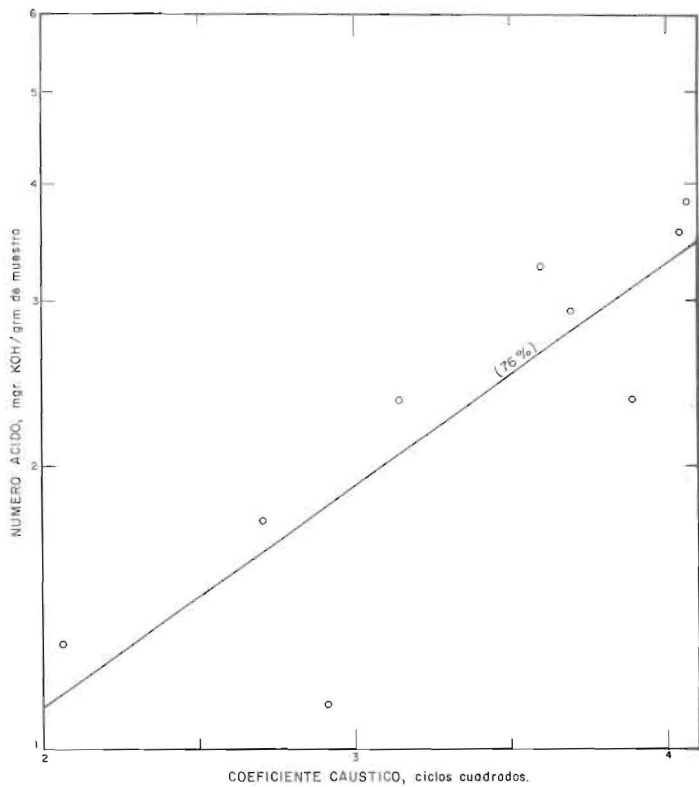


Fig. No. 3.- Correlación del logaritmo del número ácido del crudo con el coeficiente cáustico

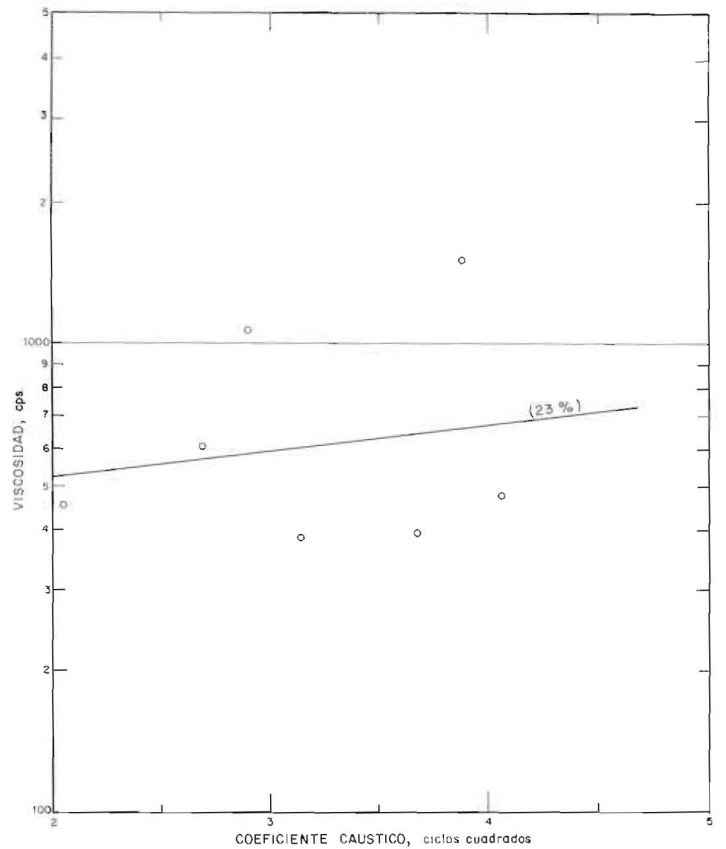


Fig. No. 5.- Correlación del logaritmo de la viscosidad del crudo con el coeficiente cáustico.

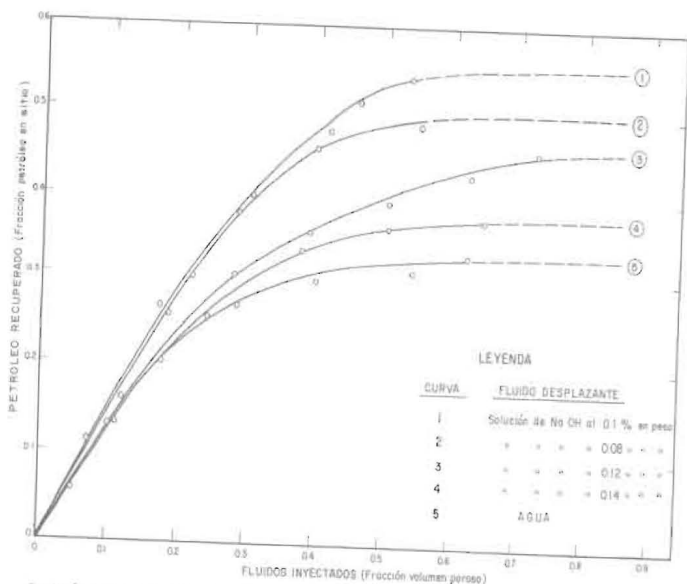


Fig No 6 - Recuperación del crudo Tiz Juaña con agua y soluciones de NaOH a diferentes concentraciones

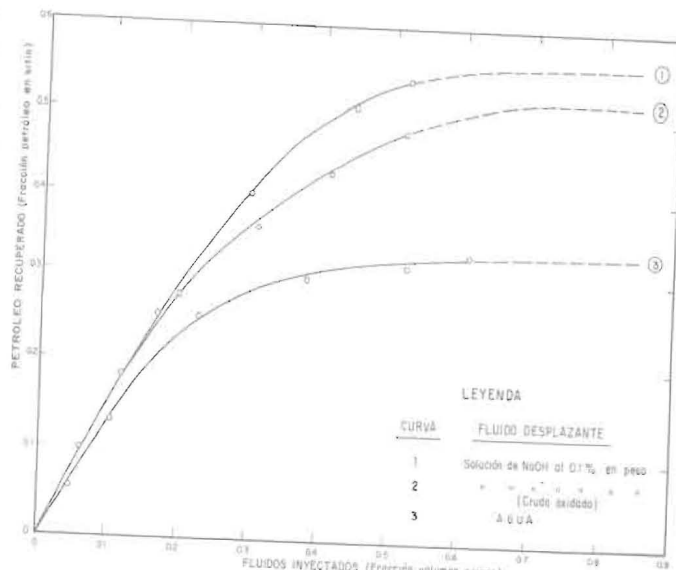


Fig No 7 - Efecto de la oxidación de los crudos sobre el recupero

BIBLIOGRAFIA

- Jennings, H. Y. Jr., Johnson, C.E. Jr., y Mc Auliffe, C.D., "A Caustic Waterflooding Process for Heavy Oils", J. Pet. Tech., Dic., 1974, pp. 1344-1352.
- Jennings, H. Y. Jr., "A Study of Caustic Solution Crude Oil Interfacial Tensions", Trabajo No. SPE 5049 presentado en la Reunión Anual No. 49 del AIME, celebrada en Houston, Oct. 6-9, 1974.
- Adamson, A.W., *Physical Chemistry of Surfaces*, Segunda Edición, Editorial Interscience Publishers, N.Y., 1967.
- Rangel, J., "Factibilidad de Inyección de Soluciones Caústicas en Algunos Crudos Venezolanos", *Trabajo de Grado*, Escuela de Petróleo, LUZ, Maracaibo, 1976.
- Schoettle, V., y Jennings, H. Y. Jr., "High-Pressure, High-Temperature Visual Cell for Interfacial Tension Measurements", *The Review of Scientific Instruments*, Vol. 39, N° 3, Marzo, 1968, pp. 386-388.
- Parra, E., y Vera, A., "Recuperaciones de Crudos Pesados de la Costa Bolívar Utilizando Soluciones de Hidróxido de Sodio", *Trabajo Especial de Grado*, Escuela de Petróleo, LUZ, Maracaibo, 1976.
- Draper, N. y Smith, H., "Applied Regression Analysis", Primera Edición, Editorial Wiley, N. Y., 1966.
- Boscanven, S.A., "Inyección de Solución de Hidróxido de Sodio y Agua en Campo Boscán", Simposio de Crudos Extra Pesados, Maracay, Venezuela, Oct. 13-16, 1976.
- Johnson, C.E. Jr., "Status of Caustic and Emulsions Methods", Trabajo N° SPE 5561, presentado en la Reunión Anual No. 50 del AIME, celebrada en Dallas, Texas, Sept. 28-Oct. 1, 1975.