

N. C. de Marcano  
L. Pirela

Instituto de Investigaciones Petroleras  
Universidad del Zulia  
Maracaibo, Venezuela

## Factibilidad del Uso de Solventes en el Recobro de Crudos Pesados

(Recibido el 3 de Octubre, 1977)

### RESUMEN

*En el presente trabajo, se analiza el comportamiento reológico de mezclas de solventes y crudos pesados venezolanos a diferentes proporciones y a diferentes temperaturas; la reducción de viscosidad en dichos crudos por efecto separado y combinado de temperatura y solvente y la factibilidad de su uso en el recobro y transporte de los mismos. Igualmente se discute la posibilidad de recuperar el solvente, por destilación de las mezclas, con miras a su reutilización, así como también la influencia del contenido de aromáticos de los solventes en la cantidad de precipitado que se obtiene al mezclarlos con los diferentes crudos utilizados.*

### SUMMARY

*In the present work the rheological behaviour of heavy Venezuelan Crude oils and solvent mixtures of different proportions at various temperatures is analyzed. Separate and combined effects of temperature and solvent in the reduction of viscosity and the feasibility of their use in the recovery and transportation of these crude oils is studied.*

*The possibility of recovering the solvent by distillation of the mixtures is discussed as well as the quantity of precipitation formed in these mixtures as a consequence of aromatics in the solvents.*

### INTRODUCCION

El gradual declinamiento de las reservas de crudos livianos y medianos en el mundo, ha hecho que la Industria Petrolera, para garantizar un nivel suficiente de suministro de energía proveniente de los Hidrocarburos, esté cada día dedicando más recursos y esfuerzos a mejorar las técnicas de producción existentes y experimentar nuevas, que permitan incrementar el recobro de los crudos medianos y livianos o permitan producir económicamente la mayor parte de las acumulaciones de crudos pesados de que dispone, lo cual con las técnicas conocidas no es posible hoy día.

En Venezuela esa necesidad se hace más evidente cada día, al comparar las actuales reservas de crudos medianos y livianos con las enormes acumulaciones de crudos pesados localizados en la denominada faja pe-

trolífera del Orinoco y en el campo costanero del Distrito Bolívar, las que en conjunto sobrepasan los  $700 \times 10^9$  millones de barriles.

Numerosos investigadores han atacado el problema de la producción y transporte de crudos pesados de formas diversas, pero con predominio de las técnicas de calentamiento bien sea, de las formaciones petrolíferas, del equipo de subsuelo o de las instalaciones superficiales. Sin embargo, relativamente poco esfuerzo se ha dedicado a la factibilidad del uso de solventes en el recobro de este tipo de crudos.

En el presente trabajo, se muestran los resultados parciales del estudio de dicha factibilidad utilizando solventes (diluentes) obtenidos en refinerías venezolanas con crudos pesados localizados en diversas regiones del país.

La investigación sigue en líneas generales el camino señalado por Heath y colaboradores (3) en lo que se refiere a los criterios y procedimientos empleados en las pruebas de compatibilidad solvente crudo, a los fines de su selección y posterior uso en las pruebas de desplazamiento de los crudos en núcleos de arena no consolidados. Adicionalmente se hace un intento de evaluar la recuperación de los solventes por destilación de sus mezclas con los crudos usados con miras a establecer la posibilidad y conveniencia de su reutilización en cualquiera de las operaciones de producción o transporte de crudos pesados.

Aunque en los actuales momentos se dispone de suficiente información relativa a la fase de selección de solventes con los diferentes crudos utilizados, las limitaciones de espacio y tiempo hacen imperativo el que se presenten y discutan solamente, en cada una de las pruebas anteriormente citadas, los resultados obtenidos con un par de solventes y un solo crudo. El Crudo Boscán y los solventes denominados Mezcla Comercial - 1 y Gasoil 1 fueron seleccionados para tal fin. No obstante, se presenta a título de ilustración, o para resaltar algún punto en particular, el comportamiento reológico de varios crudos pesados venezolanos, las principales características de los crudos y solventes utilizados así como también la variación de los primeros con la temperatura.

En las pruebas de desplazamiento presentadas no se han hecho consideraciones sobre el escalamiento modelo a prototipo, ni sobre la zona de transición formada entre el fluido inyectado y el fluido en sitio, ya que en esta fase de la investigación se pretende solamente establecer comparaciones entre el "rendimiento" de los distintos solventes al desplazar un determinado crudo pesado, desde un medio poroso similar, dejándose las consideraciones sobre los tópicos anotados para la fase final de dichas pruebas.

#### APARATOS Y PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES.

La mayoría de los aparatos y procedimientos usados en este trabajo son aquellos especificados en métodos ASTM. Por lo tanto, en esos casos, se indicará en cada tipo de prueba efectuado el método ASTM correspondiente señalando las modificaciones introducidas si las hubiere.

##### I.- Pruebas de Selección del Solvente.

- a. Gravedad API. Método ASTM D- 287
- b. Porcentaje de precipitado - Método ASTM - D-2042-66  
Se aumentó la temperatura para asegurar la completa evaporación del solvente.

- c. Viscosidad.- Determinada por medio de Viscosímetros Brookfield Synchro-Lectric.
- d. Porcentaje de Aromáticos en el Solvente. Determinado por Cromatografía; Cromatógrafo Hewlett-Packard 7620A.
- e. Porcentaje de Agua y Sedimentos. Métodos ASTM-D-95 y D-96

##### II. Pruebas de Extracción del Solvente de Mezclas.-

- a. Destilación.- Se siguió en líneas generales el método D-285-62, pero se usó, 500 ml de mezcla y extendió el tramo condensador.
- b. Identificación del Solvente.
  - i) Inicial.- Índice de Refracción (Refractómetro ABBE-3L Bausch & Lomb) y Densidad.
  - ii) Final.- Cromatografía, Espectroscopia (algunos casos). Espectrofotómetro Infrarrojo, Perkin Elmer 621.

##### III.- Pruebas de Desplazamiento.- El sistema de desplazamiento, se muestra en la figura 13. El portanúcleo fue "empacado" con arena no consolidada de 30 a 120 mesh.

Tanto los fluidos en el núcleo como los solventes y fluido desplazante empleado fueron calentados a la temperatura del yacimiento (178°F). Antes de comenzar el desplazamiento se obtuvo, en cada caso, la producción debida a la expansión térmica del petróleo.

#### DISCUSION DE RESULTADOS.

En las Tablas 1 y 2 se muestran las principales características o propiedades de los crudos y solventes utilizados. Estos fueron escogidos, inicialmente, de acuerdo al rango de ebullición, de manera que éste fuera lo suficientemente alto para impedir su evaporación durante las pruebas y lo suficientemente bajo que permitiera intentar recuperarlo, por destilación de las mezclas. Posteriormente, y a los fines de las pruebas de desplazamiento, se hizo una segunda selección escogiéndose aquellos solventes que además de cumplir la condición anterior dejaron al mezclarse con los crudos un porcentaje de precipitado menor del 2%. Esto último debido a la necesidad de prevenir taponamientos en el medio poroso.

Heath y colaboradores (3) concluyeron que el contenido de aromáticos del solvente debía ser mayor del 70% para que el porcentaje de precipitado fuera menor del 2%. Los resultados presentados en la tabla 4, contradicen la afirmación anterior y permiten establecer

que no hay relación entre el contenido de aromáticos del solvente y el porcentaje de precipitado que éste pueda dejar al mezclarse con un crudo y que aquel pareciera más bien depender de la composición particular de cada crudo y cada solvente.

El comportamiento reológico de los crudos, solventes y mezclas crudo solventes a diferentes temperaturas y concentración de solventes fue estudiado a partir de los reogramas construidos al graficar las Lecturas en el dial como función de las revoluciones por minuto (R.P.M.) correspondientes (9). Ejemplos de tales reogramas se muestran en las figuras 1, 1-a, 2,3,4 y 5.

La observación superficial de la figura 1 podría inducir a concluir de que, a pesar de sus altas viscosidades, los crudos estudiados presentaban un comportamiento newtoniano. No obstante, si se amplía dicha figura en la parte correspondiente a las mas bajas revoluciones, tal como se muestra en la figura 1-a, se observa que todos los crudos presentan un intercepción con el eje de las ordenadas, lo cual determina que sean clasificados como Bingham-Plásticos, aunque de puntos cedentes bajos. Comportamiento similar al antes anotado fue observado para mezclas crudo-solvente notándose una disminución del punto cedente a medida que la concentración del solvente en la mezcla y la temperatura se aumentaba debido a los bajos valores de los puntos cedentes, ya mencionados; no se ha realizado, todavía, un esfuerzo decisivo para determinar con exactitud el porcentaje de solvente, temperatura o combinación de ambos que permitiría clasificar una determinada mezcla crudo-solvente en estrictamente newtoniana, tal y como fueron clasificados los solventes usados en su preparación.

La variación con la temperatura de la viscosidad de los crudos y mezclas del crudo Boscán con solventes seleccionados, se muestran en las figuras 6, 7 y 8. En la figura 6 se puede observar que para todos los crudos considerados se produce una apreciable disminución de la viscosidad con el aumento de la temperatura, correspondiendo la mayor disminución absoluta de viscosidad al menor intervalo de incremento de temperatura (25°C a 40°C).

Asimismo se observa que esa disminución es mayor entre más pesado o viscoso sea el crudo. Similar comportamiento se notó en las mezclas crudo-solvente, en las cuales la mayor reducción de viscosidad correspondió a las mezclas con el menor porcentaje de solvente. Ejemplo de esto último es la columna correspondiente a la temperatura de 25°C en la tabla 5.

En esta tabla también puede observarse que es posible efectuar combinaciones adecuadas de temperatura y solvente para obtener una mezcla de viscosidad deseada.

La gravedad API de las mezclas aumentó con el porcentaje de solventes en la misma, obteniéndose variaciones de hasta 6,5 °API al 25% de solventes, para la mezcla (75%-25%) del crudo Boscán con el solvente denominado Mezcla Comercial 1.

La gravedad API de las mezclas del crudo Boscán con los diferentes porcentajes de los solventes presentados, así como la variación absoluta de dicha gravedad en relación a la gravedad del crudo se muestra en la tabla 3.

La destilación del crudo Boscán se presenta en la tabla 6 en la misma se observa, que la mayor cantidad de destilados se obtuvo en el rango de temperaturas comprendido entre 308° y 320°-C. También se muestran, en dicha tabla, las destilaciones de las mezclas Boscán-Mezcla Comercial 1 y Boscán - Gasoil 1, en ambos casos el volumen de fracciones destiladas, con relación al obtenido al destilar el crudo, fue mayor en casi todos los intervalos de temperatura considerados, con excepción del comprendido entre 308° y 320°C. Se presenta en las figuras 9 al 12 comparaciones de los espectrogramas corridos a las muestras. La similitud existente entre ellos permite establecer que al menos cualitativamente el solvente fue recuperado.

Las pruebas de desplazamiento cuyos resultados se muestran en la tabla 7, fueron efectuadas con los solventes Gasoil 1 y Mezcla Comercial -1 inyectados y desplazados en un mismo tipo de medio poroso, saturado con el crudo Boscán. Las condiciones bajo las cuales se efectuó el empaque, saturación del núcleo y el proceso de desplazamiento fueron similares. Por lo tanto la comparación de los resultados obtenidos con los solventes mencionados desplazando un determinado crudo, proporciona un medio para establecer la conveniencia de escoger un solvente sobre el otro para su posterior utilización en un proceso de desplazamiento real. A la luz de los resultados de la tabla 7, el Gasoil -1 en un desplazamiento tipo "banco o tapón" (slug) del crudo Boscán ofrece mejores perspectivas que la Mezcla Comercial 1, ya que teniendo menos crudo que desplazar y ser menor la cantidad del solvente inyectado, permitió una recuperación de 20 ml. adicionales o sea un 7% del petróleo en sitio (POES).

#### CONCLUSIONES:

Las relativamente bajas viscosidades de las mezclas formadas por los crudos pesados y solventes considerados, conjuntamente con la recuperación de estos últimos por destilación, permite establecer la alternativa válida del uso de solventes en el transporte de crudos pesados. Consideraciones de otra índole antes que técnicas deberán ser tomadas en cuenta en la de-

cisión para optar por otro medio de transporte de este tipo de crudos.

Los resultados preliminares de las pruebas de desplazamiento mantienen abierta la posibilidad de utilizar solventes para aumentar el recobro de crudos de baja gravedad API. No obstante, se hace necesario realizar mayores esfuerzos en investigación para obtener resultados definitivos en esta área.

La actual utilización de los solventes en los procesos comerciales de mejoramiento de crudos pesados, tales como procesos de extracción líquido-líquido, desafaltado, etc. abren la posibilidad de que, en un futuro in-

mediato, se logre conseguir solventes que, además de contribuir a una mayor recuperación de estos crudos y a facilitar su transporte hacia las Refinerías, puedan ser utilizados en procesos de mejoramiento, con lo cual se obtendría, por decirlo así, un aprovechamiento integral de los mismos y la optimización económica.

## RECONOCIMIENTO

Los autores desean expresar su reconocimiento a los estudiantes y al personal del Instituto de Investigaciones Petroleras de la Universidad del Zulia (IN-PELUZ) por su cooperación en la realización de este trabajo. Asimismo se desea dejar reconocimiento expreso a la ayuda financiera del FONINVES.

TABLA 1.- PROPIEDADES DE LOS CRUDOS UTILIZADOS

CRUDOS	GRAVEDAD API @ 60°F	VISCOSIDAD (cps) @ 77°F	Agua y Sedimento %
BACHAQUERO	11.9	8 800.0	0.0
BOSCAN	11.1	60 800.0	2.0
LAGUNA	10.7	65 777.0	10.7
TIA JUANA	12.3	17.233.0	0.4

TABLA 2.- PROPIEDADES DE LOS SOLVENTES UTILIZADOS

SOLVENTES	GRAVEDAD API @ 60°F	VISCOSIDAD (cps) @ 77°F	CONTENIDO AROMATICO %	RANGO DE EBULLICION °F
KEROSENE	36.4	3.0	0.0	362 → 867
MEZCLA COMER 1	37.5	12.5	37.4	228 → 315
MEZCLA COMER 2	47.8	1.0	18.0	318 → 395
MEZCLA COMER 3	34.1	0.9	62.4	266 → 318
GASOIL 1	35.5	3.9	0.0	420 → 630
GASOIL 2	31.0	9.5	0.0	480 → 720

TABLA 3.- GRAVEDAD API A 60°F DEL CRUDO BOSCAN Y SU VARIACION CON EL PORCENTAJE DE SOLVENTE EN LA MEZCLA.

GRAVEDAD API (BOSCAN)	SOLVENTES	PORCENTAJE DE SOLVENTE									
		5		10		15		20		25	
		API	V+	API	V+	API	V+	API	V+	API	V+
11.1	KEROSENE	11.9	0.8	12.3	1.2	13.7	2.6	15.2	4.1	15.8	4.7
	MEZCLA COMERC. 1	11.9	0.8	12.9	1.8	14.2	3.1	15.6	6.2	17.6	6.5
	MEZCLA COMERC. 2	12.3	1.2	13.8	2.7	15.1	4.0	16.9	5.8	17.5	6.4
	MEZCLA COMERC. 3	11.9	0.8	13.1	2.0	14.3	3.2	14.8	3.7	16.8	5.7
	GASOIL-1	12.2	2.1	13.4	2.3	14.4	3.3	15.2	4.1	16.0	4.9
	GASOIL-2	11.7	0.6	12.3	1.2	13.8	2.7	14.7	3.6	15.8	4.7

TABLA 4.- PORCENTAJE DE PRECIPITADO EN MEZCLAS CRUDO-SOLVENTE COMO FUNCION DEL CONTENIDO AROMATICO DEL SOLVENTE

DENOMINACION	S O L V E N T E S		% DE PRECIPITADO			
	RANGO DE EBULLICION °F	CONTENID AROMATICO %	BACHAQU.	BOSCAN	LAGUNA	TIA JUANA
KEROSENE	362 → 867	0.0	0.63	0.70	0.54	0.65
MEZCLA COMERC. 1	228 → 315	37.3	0.97	0.44	0.68	1.22
MEZCLA COMERC. 2	318 → 395	18.0	0.58	2.33	0.65	0.54
MEZCLA COMERC. 3	266 → 318	62.4	0.39	0.46	0.33	0.34
GASOIL-1	420 → 630	0.0	0.38	0.66	0.41	0.78
GASOIL-2	480 → 720	0.0	0.87	1.21	0.66	4.03

TABLA 5.- VARIACION DE LA VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS CRUDO-SOLVENTE CON LA TEMPERATURA Y EL PORCENTAJE DE SOLVENTE CON RESPECTO A LA VISCOSIDAD DEL CRUDO BOSCAN A 25°C

SOLVENTES		VISCOSIDAD (cps) a 5 R.P.M. VISC-B = 60.800 cps					
DENOMINACION	%	25°C	% Var.	40°C	65°C	100°C	% Var
KEROSENE	5	33333	45.2	6220	873	132	99.8
MEZCLA COMERC. 1		17152	72.0	4500	750	138	99.8
MEZCLA COMERC. 2		20800	65.8	5233	753	108	99.8
MEZCLA COMERC. 3		21467	64.7	4667	634	114	99.5
GASOIL 1		23535	61.3	10450	939	156	99.7
GASOIL 2		30540	49.8	14120	1037	196	99.7
KEROSENE	10	11067	81.8	2507	436	96	99.8
MEZCLA COMERC. 1		7600	87.5	1130	300	75	99.9
MEZCLA COMERC. 2		6800	88.9	2613	400	72	99.9
MEZCLA COMERC. 3		4600	92.4	1455	297	95	99.8
GASOIL-1		10335	83.0	3464	524	116	99.8
GASOIL-2		13270	78.2	6304	676	145	99.8
KEROSENE	15	5567	90.8	1531	307	67	99.9
MEZCLA COMERC. 1		2280	96.3	500	225	70	99.9
MEZCLA COMERC. 2		2973	95.1	1067	253	61	99.2
MEZCLA COMERC. 3		1625	97.3	627	173	57	99.9
GASOIL-1		4400	92.8	1688	300	71	99.9
GASOIL-2		6006	90.1	2852	504	104	99.8
KEROSENE	20	1960	96.8	632	155	42	99.9
MEZCLA COMERC. 1		460	99.2	113	100	38	99.9
MEZCLA COMERC. 2		1173	98.1	377	152	39	99.9
MEZCLA COMERC. 3		683	98.9	409	129	55	99.9
GASOIL-1		3420	94.4	1047	231	60	99.9
GASOIL-2		3550	94.2	1837	410	92	99.9
KEROSENE	25	1413	97.7	401	120	33	99.9
MEZCLA COMERC. 1		208	99.7	80	60	23	99.8
MEZCLA COMERC. 2		453	99.3	205	68	37	99.9
MEZCLA COMERC. 3		258	99.6	139	59	40	99.9
GASOIL-1		1619	97.3	698	169	40	99.9
GASOIL-2		2538	95.8	1050	218	65	99.9

TABLA 6.- DESTILADOS DE CRUDO Y MEZCLAS

TEMPER DE DESTIL °C	BOSCAN		BOSCAN - MEZCLA COMERC. 1		BOSCAN - GASOIL - 1	
	VOLUMEN DE FRACCIONES DESTILADAS (ml)					
75 - 160	21	30	22	22	22	22
160 - 171	5	62 *	15	15	15	15
171 - 308	45	45	81 *	81 *	81 *	81 *
308 - 320	235	41	101	101	101	101
320 - 325	30	130	47	47	47	47
325 - 332	-	-	97	97	97	97
RESIDUO	95.49 grm.	181.9 grm.	90.4 grm.	90.4 grm.	90.4 grm.	90.4 grm.

\* CONTIENE EL SOLVENTE RECUPERADO

TABLA 7.- DESPLAZAMIENTO DEL CRUDO BOSCAN EN NUCLEOS DE ARENA NO CONSOLIDADA

VOLUMEN POROSO (ml.)	PERMEABILIDAD (Darcy)	SATURACION INICIAL DE AGUA (Fracción)	SATURACION INICIAL DE PETR (Fracción)	PETROLEO EN SITIO (POES) (ml)	PRODUCTO POR EXPANSION (PEXP) (ml)	SOLVENTE INYECTADO (ml)	PRODUCTO TOTAL (ml)	PETROLEO EN SITIO (%)
300.0	0.41	0.13	0.87	260.0	94.0	41.5	129.5	49.81
300.0	0.41	0.13	0.87	260.0	98.0	40.5	153.5	59.04

\* 25% del (POES - PEXP) desplazado con agua a 178°F

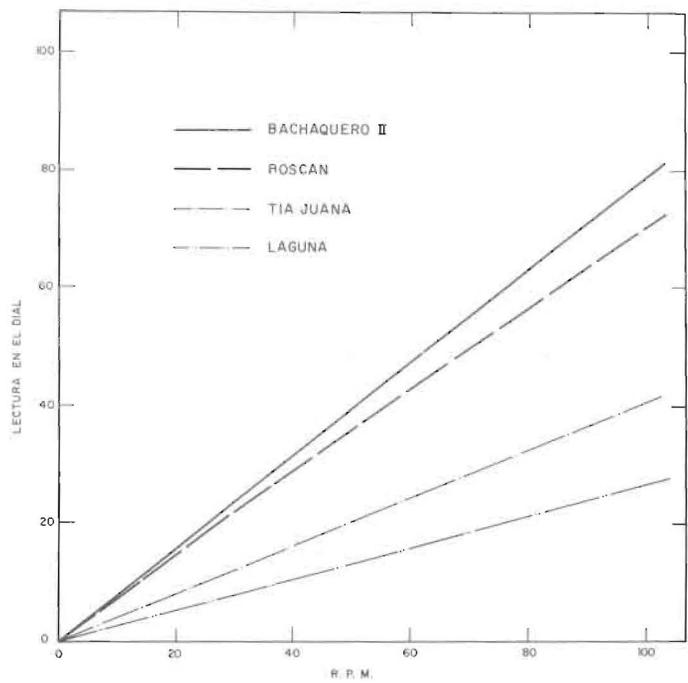


Fig No 1.- Comportamiento reológico a 77°F de los crudos utilizados.

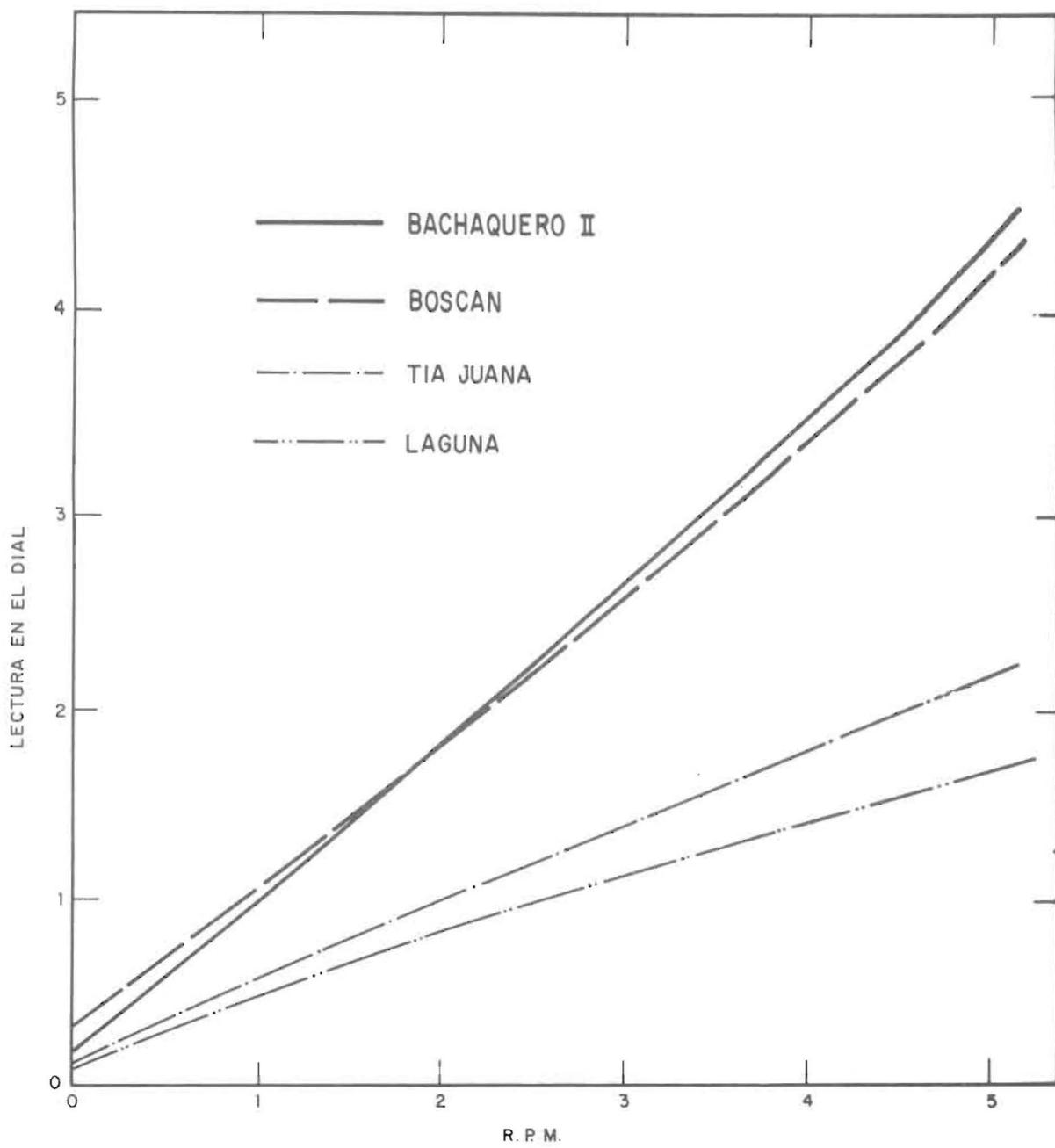


Fig. No. 1a.- Comportamiento reológico a 77 °F de los crudos utilizados

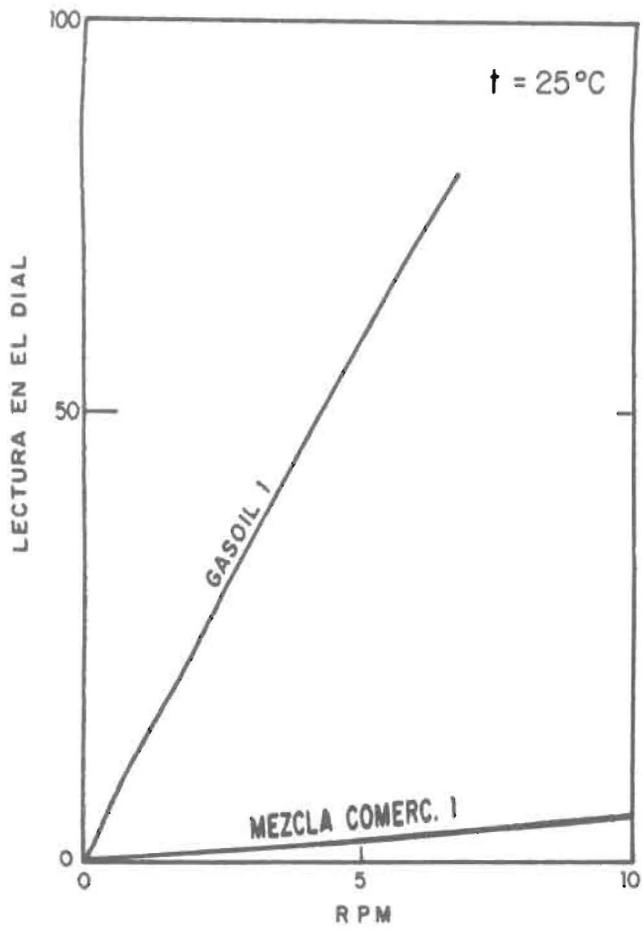


Fig. No. 2.- Comportamiento reológico de las mezclas de 95 % de crudo Boscán y 5% de Solvente

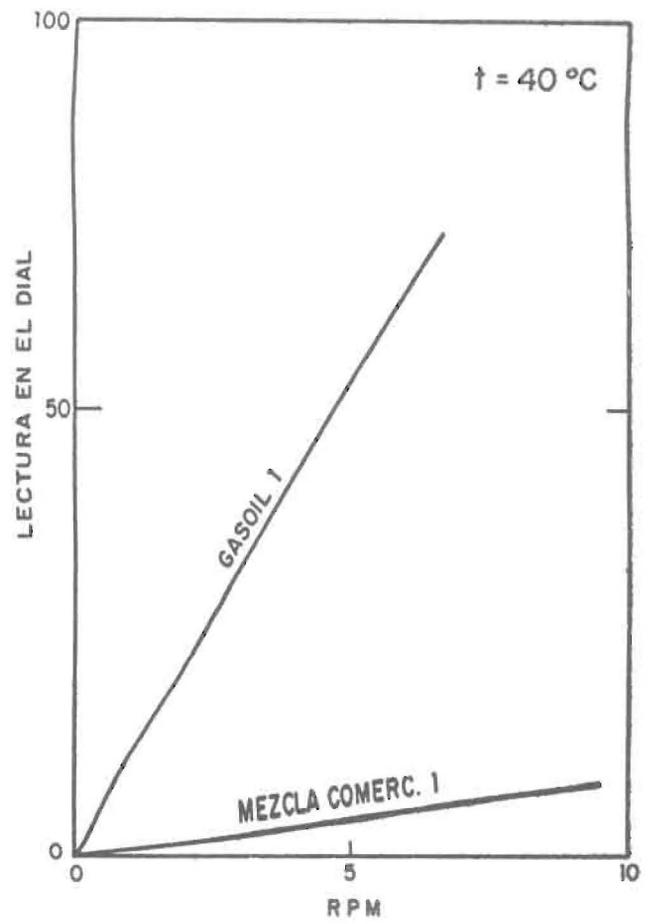


Fig.No.3.- Comportamiento reológico de las mezclas de 95% de crudo Boscán y 5% de Solvente

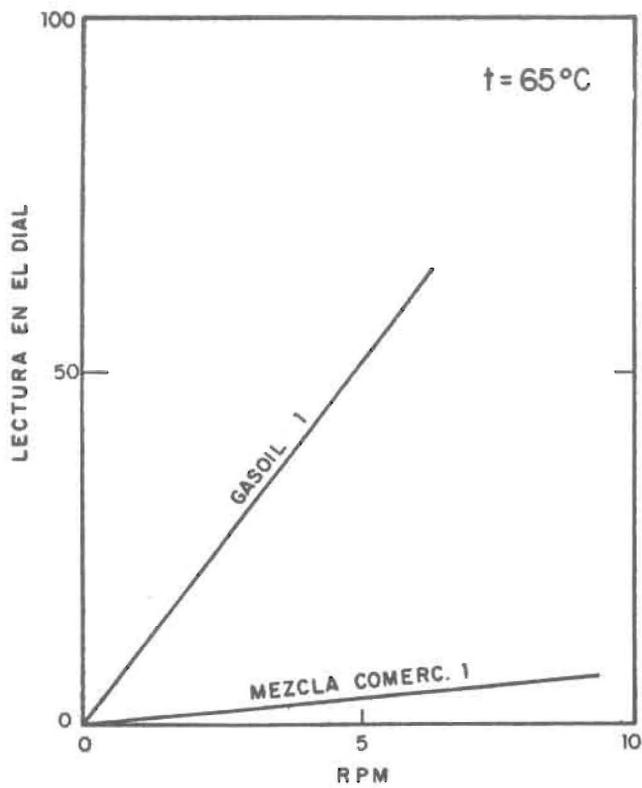


Fig. No. 4.- Comportamiento reológico de las mezclas de 95% de crudo Boscán y 5% de Solvente

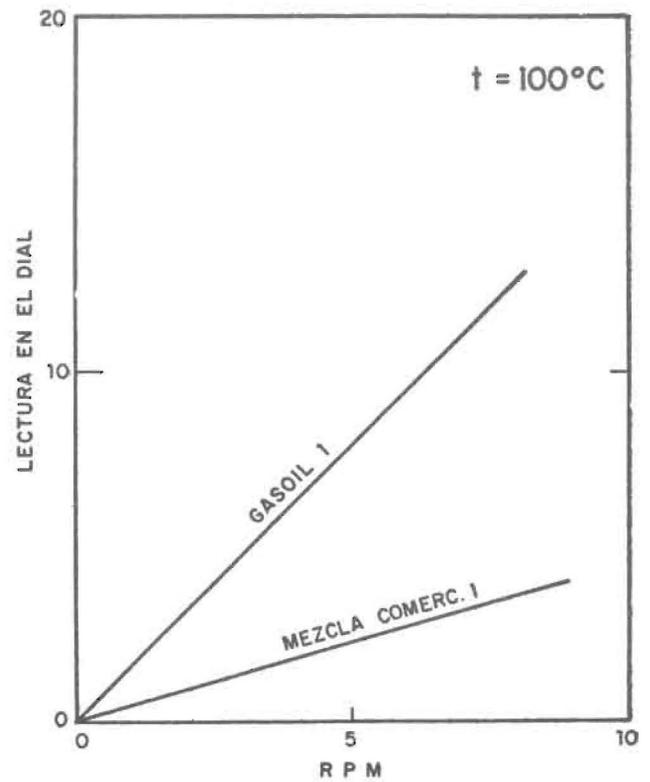


Fig.No.5.- Comportamiento reológico de las mezclas de 95% de crudo Boscan y 5% de Solvente.

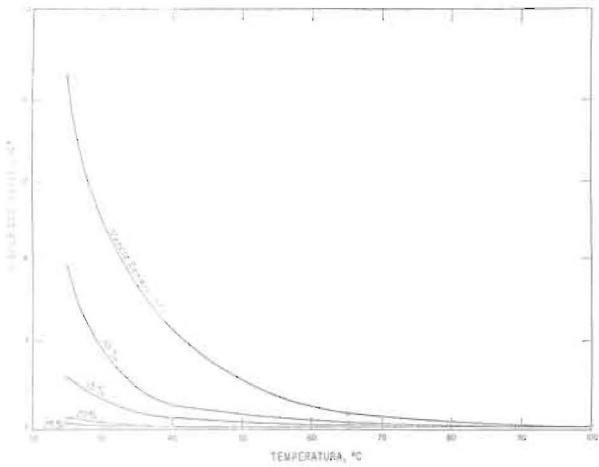


Fig No. 7 - Viscosidad como función de Temperatura para los mezclas del crudo Bascoñ con Mezcla Comercial 1 (la % en Solvente es constante)

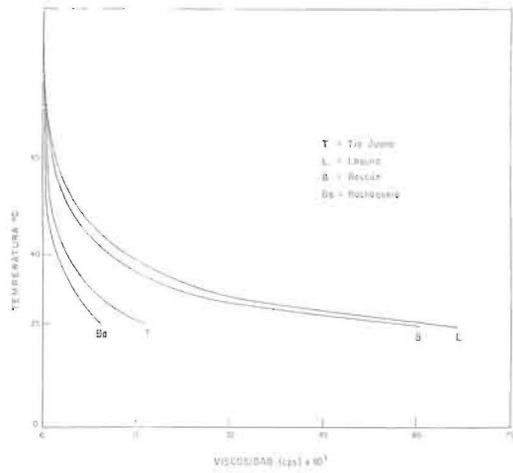


Fig No. 8 - Viscosidad de los crudos como función de la Temperatura

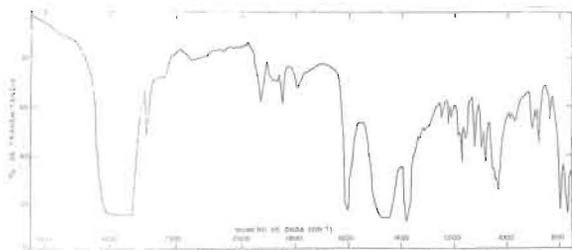


Fig No. 9 - Espectro infrarrojo del Solvente Mezcla Comercial 1, recuperado del crudo Bascoñ

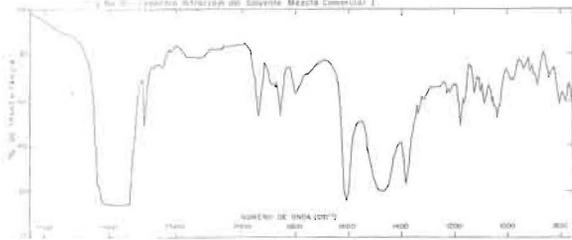


Fig No. 10 - Espectro infrarrojo del Solvente Mezcla Comercial 1

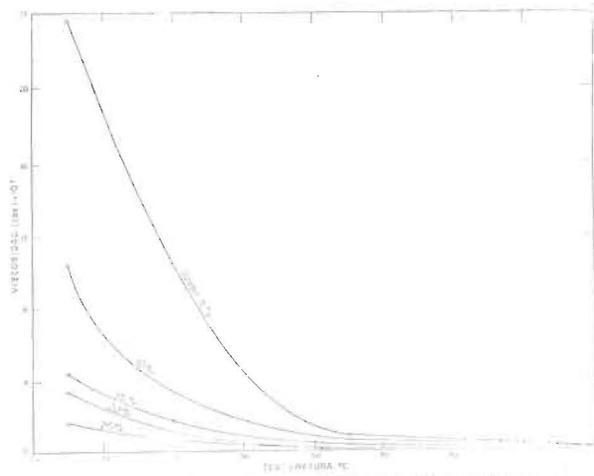


Fig No. 11 - Viscosidad como función de la temperatura para las mezclas del crudo Bascoñ con el Solvente Mezcla Comercial 1

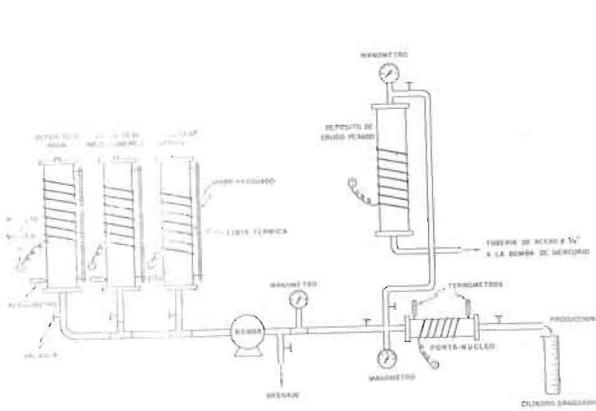


Fig No. 12 - Módulo utilizado durante las pruebas de Desplazamiento.

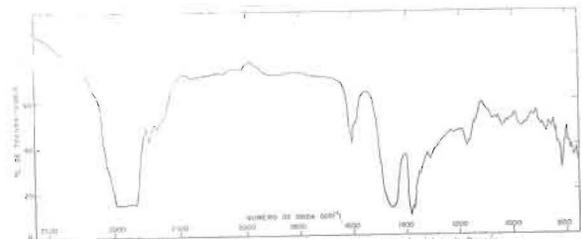


Fig No. 13 - Espectro infrarrojo del Solvente Comercial 1, recuperado del crudo Bascoñ

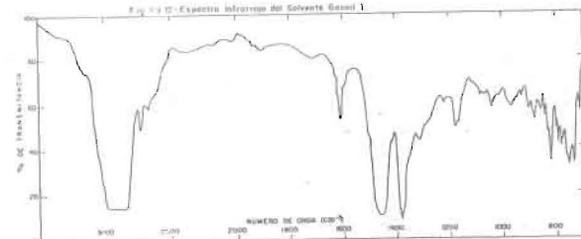


Fig No. 14 - Espectro infrarrojo del Solvente Comercial 1

## BIBLIOGRAFIA

1. Blackwell R.J., "Recovery of Oil by Displacements with Water Solventes Mixtures", *Trans. AIME*, Vol. 219, 1960, pp. 293.
2. Hall H., and Geffen, "A Laboratory Study of Solvent Flooding", *Pan American Petroleum Corp. Tulsa, Oklahoma, AIME*, 1957, Vol. 210, pp. 48.
3. Larman H., Johnson F., Miller J.S., "Solvents and Explosives to Recover Heavy Oil", *Bureau of Mines Petroleum Research Program*, Sept., 1972.
4. Holm L.W., Csaszar A.K., "Oil Recovery by Solvents Mutually Soluble in Oil and Water", *Petroleum Trans.*, Reprint N° 8, pp. 13-24.
5. Nelson W.L., *Refinación de Petróleos*, Editorial Reverté, S.A., Barcelona, 1958.
6. Oferinga and van der Poel, "Displacement of Oil from Porous Media by Miscible Liquids", *Petroleum Trans.*, Reprint N° 8, pp. 227-232.
7. Scudiero B., "Efecto de la Temperatura y Dilución Sobre el Comportamiento de varios Crudos de la Faja Petrolífera del Orinoco", *Tesis de Grado*, Escuela de Ing. de Petróleo, Universidad de Oriente, 1974.
8. Segundas Jornadas Venezolanas de Refinación, Tema 2, Tecnología, Procesamiento de crudos pesados, Puerto La Cruz, Noviembre, 1976.
9. "Solutions to Sticky Problems", *Brookfield Engineering Laboratories*, Mass.
10. Wazer V., Lyons R., Kim W., Cohvell K., "Viscosity and Flow Measurement a Laboratory Handbook of Rheology", *Monesanto Chemical Company*, St. Louis, Missouri.