

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



"EFECTO DE SOLVENTES Y TEMPERATURA SOBRE
LA VISCOSIDAD DE ALGUNOS CRUDOS DE
PETROLEOS MEXICANOS"

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRIA EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD FISICO QUIMICA

POR
ROMULO ANTONIO TINEO CARABALLO

MONTERREY, N. L.

1981

COPIES OF THE REPORTS OF THE COMMISSIONERS OF THE GENERAL LAND OFFICE FOR THE YEAR 1981
AVAILABLE FROM THE NATIONAL ARCHIVES



1080074512

FAC. CIENCIAS
QUIMICAS



RECTORADO
SUPERINTENDENCIA DE BIBLIOTECA

**INVENTARIADO
AUDITORIA
U. A. N. L.**

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES



PROF. ROMULO ANTONIO CARABALLO

"EFECTO DE SOLVENTES Y TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD DE ALGUNOS CRUDOS DE PETROLEO MEXICANO"

Ha sido aceptada como requisito parcial para optar al grado "EFECTO DE SOLVENTES Y TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD DE ALGUNOS CRUDOS DE PETROLEOS MEXICANOS"

Especialidad Físico - Química

En virtud de haber cumplido satisfactoriamente con el reglamento de tesis, se aprueba la tesis

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRIA EN CIENCIAS ESPECIALIDAD FISICO QUIMICA

POR ROMULO ANTONIO TINEO CARABALLO

MONTERREY, N. L.

1981

TM
TP691
T5



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES

Sr. Coordinador de la Maestría en Físico - Química

La Tesis elaborada por el:

PROF. ROMULO A. TINEO CARABALLO

Intitulada

"EFECTO DE SOLVENTES Y TEMPERATURA SOBRE LA
VISCOSIDAD DE ALGUNOS CRUDOS DE PETROLEO MEXICANO"

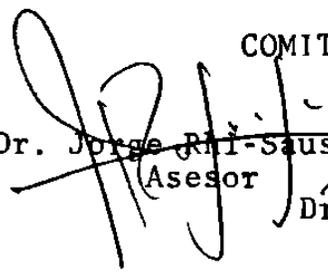
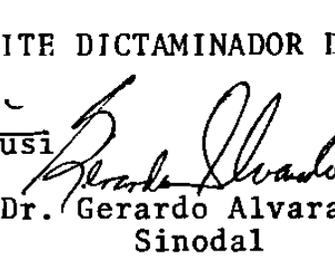
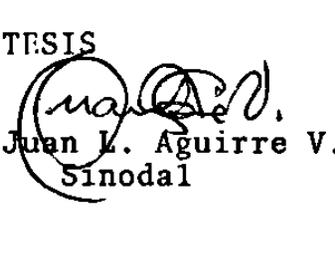
Ha sido aceptada como requisito parcial para optar al
grado académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Especialidad Físico - Química

En virtud de haber cumplido íntegramente con el reglamen-
to de tesis vigente y a la vez solicitamos a usted la -
aprobación final.

COMITE DICTAMINADOR DE LA TESIS

 Dr. Jorge Rivi-Sausi Asesor	 Dr. Gerardo Alvarado Sinodal	 Dr. Juan L. Aguirre V. Sinodal
---	--	---

Vo. Bo.


 Dr. Juan L. Aguirre V.
 Coordinador de la Maestría

A mis padres (q.e.p.d.)



A Anita y nuestros hijos:

Luis Alfonso, Moira y Rómulo

AGRADECIMIENTOS

El autor desea agradecer:

A LA DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS CULTURALES DE LA SECRETARIA DE RELACIONES EXTERIORES, al CENTRO DE INVESTIGACIONES EN QUIMICA, DIVISION DE ESTUDIOS SUPERIORES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, por la ayuda económica y material otorgada para la realización de esta tesis.

Al Dr. Gerardo Alvarado Profesor de la Maestría en Físico Química, U.A.N.L. y al Dr. Juan L. Aguirre V. Coordinador de la Maestría, a ambos por el tiempo dedicado a la revisión del contenido de esta tesis.

Especialmente al Dr. Jorge Rhi-Sausi Coordinador de la Maestría en Ingeniería Química por su valiosa y adecuada orientación recibida durante el desarrollo experimental de este trabajo, así como por la revisión y corrección de los primeros manuscritos de esta tesis.

Al amigo Rogelio Jaimes Lizcano por la paciencia en mecanografiar esta tesis, así como a todas las personas que de una forma u otra colaboraron para la culminación de la tesis.

R E S U M E N

Se estudiaron algunas características físicas de dos crudos de petróleo pesado Mexicano, y su comportamiento reológico de los crudos y las mezclas crudo-solventes. Los crudos estudiados fueron crudos pesados del norte y sur del país, con gravedad de 11.6 y - - 23.3°A P I respectivamente.

Mediante la combinación de temperatura y solventes se lograron reducciones de viscosidad hasta de 99.90%, a la temperatura de 60°C y 25% de solvente, respecto a la viscosidad del crudo a - 10°C.

La viscosidad de los crudos disminuye drásticamente a medida que se aumenta la temperatura. Además se observa que la viscosidad de las mezclas crudo-solvente, a temperatura constante, disminuye a medida que se incrementa el porcentaje de solvente.

Los crudos usados, y las mezclas crudo-solvente que se prepararon mostraron un comportamiento newtoniano.

TABLA DE CONTENIDO

T E M A	P A G I N A
RECOMEDACION Y AUTORIZACION	i
TITULO DE LA TESIS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
INTRODUCCION	
CAPITULO 1 ORIGEN DEL PETROLEO.	3
1.- Cuando la materia viva se fosi-	
liza.	4
2.- El kerógeno.	7
CAPITULO 2 CARACTERIZACION DE LOS CRUDOS DE - PETROLEO.	10
Introducción.	10
1.- Caracterización de crudos.	11
2.- Principales grupos de componen-	
tes en los crudos.	13
CAPITULO 3 PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA LA - CARACTERIZACION DE LOS CRUDOS PANU- CO Y MAYA.	15
Introducción.	15
Crudo Pánuco.	16
Crudo Maya.	16

	Procedimientos analíticos.	17
	a). Gravedad A.P.I.	18
	b). Porcentaje de precipitados.	18
	c). Porcentaje de agua y sedimentos.	22
	d). Punto de ebullición inicial y - final de los solventes.	23
	e). Preparación de las mezclas crudo solvente.	23
	f). Tensión superficial.	24
CAPITULO 4	EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y SOLVENTE SOBRE LA VISCOSIDAD DE LOS CRUDOS PA NUCO Y MAYA.	27
	Introducción.	27
	Fluídos Newtonianos.	27
	Fluídos no newtonianos.	28
	1.- Comportamiento reológico de los crudos y mezclas crudo-solvente.	30
	2.- Efecto de la temperatura sobre - la viscosidad absoluta de los - crudos y mezclas crudo-solvente.	31
	3.- Efecto de la concentración sobre la viscosidad absoluta de los - crudos y mezclas crudo-solvente.	35
	4.- Viscosidad de los crudos y mez-- clas crudo-solvente.	36
CAPITULO 5	EQUIPO EXPERIMENTAL.	38
	A). Aparatos.	38
	B). Materiales.	42
CAPITULO 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	44
BIBLIOGRAFIA		88
NOMENCLATURA		90

LISTA DE TABLAS

TABLAS		PAGINA
1	Propiedades de los crudos estudiados.	48
2	Propiedades de los solventes utilizados.	48
3	Porcentajes de precipitados de los crudos estudiados con los diferentes solventes.	49
4	Variación de la viscosidad en (cps) de los crudos estudiados con respecto a la temperatura de 10°C.	50
5	Viscosidad de las mezclas a diferentes temperaturas y su variación respecto a la del crudo Pánuco a 10°C.	51
6	Viscosidad de las mezclas a diferentes temperaturas y su variación respecto a la del crudo Maya a 10°C.	52
7	Lecturas en el registrador y viscosidad a diferentes temperaturas y r.p.m. de crudo Pánuco. Brookfield R.V.T.	53
8	Lecturas en el registrador y viscosidad a diferentes temperaturas y r.p.m. del crudo Maya. Brookfield Micro Viscometer "cono y plato" L.V.T.	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Formación del perfil de velocidad en estado estacionario para un fluido contenido entre dos láminas.	56
2	Comportamiento reológico de los fluidos - en flujo simple de corte.	57
3	Esquema del viscosímetro Brookfield Sincro-Eléctrico.	58
4	Esquema del equipo de destilación.	59
5	Respuesta de torque en geometría con cilindros coaxiales del crudo Pánuco a las temperaturas señaladas.	60
6	Respuesta de torque en geometría cono y plato para el crudo Maya a las temperaturas señaladas.	61
7	Viscosidad del crudo Pánuco como función de la temperatura en (°C).	62
8	Viscosidad del crudo Maya como función de la temperatura en (°C).	63
9	Viscosidad como función de la temperatura en (°C) para las mezclas del crudo Pánuco en el solvente: gasolina tratada.	64
10	Viscosidad como función de la temperatura en (°C) para las mezclas del crudo Pánuco en el solvente: kerosina.	65
11	Viscosidad como función de la temperatura en (°C) para las mezclas del crudo Pánuco en el solvente: gasóleo ligero.	66
12	Viscosidad del crudo Pánuco como función del porcentaje (%), para las mezclas en solvente: gasolina tratada.	67
13	Viscosidad del crudo Pánuco como función del porcentaje (%), para las mezclas en solvente: kerosina.	68

FIGURA		PAGINA
14	Viscosidad del crudo Pánuco como función del porcentaje (%), para las mezclas en solvente: gasóleo ligero.	69
15	Efecto de la concentración del solvente y la temperatura sobre la viscosidad en el crudo Pánuco.	70
16	Efecto de la concentración del solvente y la temperatura sobre la viscosidad en el crudo Pánuco.	71
17	Efecto de la concentración del solvente y la temperatura sobre la viscosidad en el crudo Pánuco.	72
18	Viscosidad de las mezclas crudo-gasolina tratada como función del inverso de la temperatura absoluta ($^{\circ}$ K).	73
19	Viscosidad de las mezclas crudo-kerosina como función del inverso de la temperatura absoluta ($^{\circ}$ K).	74
20	Viscosidad de las mezclas crudo-gasóleo ligero como función del inverso de la temperatura absoluta ($^{\circ}$ K).	75
21	Viscosidad como función de la temperatura para las mezclas del crudo Maya en el solvente: gasolina tratada.	76
22	Viscosidad como función de la temperatura para las mezclas del crudo Maya en el solvente: kerosina.	77
23	Viscosidad como función de la temperatura para las mezclas del crudo Maya en el solvente: gasóleo ligero.	78
24	Viscosidad del crudo Maya como función del porcentaje (%), para las mezclas en solvente: gasolina tratada.	79
25	Viscosidad del crudo Maya como función del porcentaje (%), para las mezclas en solvente: kerosina.	80

FIGURA

PAGINA

26	Viscosidad del crudo Maya como función - del porcentaje para las mezclas en sol--vente: gasóleo ligero.	81
27	Efecto de la concentración del solvente y la temperatura sobre la viscosidad en el crudo Maya.	82
28	Efecto de la concentración del solvente y la temperatura sobre la viscosidad en el crudo Maya.	83
29	Efecto de la concentración del solvente y la temperatura sobre la viscosidad en el crudo Maya.	84
30	Viscosidad de las mezclas crudo-gasolina tratada como función del inverso de la - temperatura absoluta (°K).	85
31	Viscosidad de las mezclas crudo-kerosina como función del inverso de la temperatu <u>r</u> a absoluta (°K).	86
32	Viscosidad de las mezclas crudo-gasóleo ligero como función del inverso de la - temperatura absoluta (°K).	87

INTRODUCCION

El continuo aumento de consumo de energía en el mundo ha traído como consecuencia una constante búsqueda de fuentes necesarias que satisfagan dicha demanda. El petróleo es la principal fuente de energía y hasta el momento la más económica, sin embargo, cada día las reservas se reducen y es necesario buscar una manera de aprovecharlas lo mejor posible.

Debido a las altas viscosidades de algunos crudos pesados, su extracción por métodos primarios y su transporte es bastante dificultoso. Las dificultades inherentes a la extracción de los crudos pesados de las formaciones, las han venido subsanando las compañías petroleras mediante métodos de suministro de energía suplementaria al yacimiento, como son las de recuperación térmica, tales como: inyección de vapor, combustión in-situ, bombeo hidráulico, etc.

A los fines de transporte de los mismos, se ha empleado el calentamiento de las tuberías, el bombeo de crudo con agua y su dilución en crudos livianos. Todos estos métodos tienen como finalidad disminuir la viscosidad del crudo, para facilitar su extracción, producción y transporte.

El objetivo de este trabajo consiste en presentar un estudio detallado de los efectos que produce la combinación

de temperatura y tres solventes provenientes de la refinería Cadereyta Jimenez, N.L. sobre la viscosidad de dos -- crudos pesados mexicanos con miras a determinar su futura aplicación en el recobro, producción y transporte de dichos crudos. Se comienza haciendo en el trabajo la descripción del origen del petróleo, los crudos y su composición, generalidades sobre viscosidad y el comportamiento reológico de los fluídos se presentan al igual que los equipos y materiales usados, haciendo una descripción detallada de los procedimientos.

En las figuras se presentan las gráficas: viscosidad contra temperatura para el crudo y las mezclas a los diferentes porcentajes de solventes, viscosidad de las mezclas crudo-solvente como función del inverso de la temperatura absoluta, respuesta de torque en geometría cono y plato y con cilindros coaxiales a diferentes velocidades angulares (rpm), logaritmo de la viscosidad contra la temperatura absoluta para los crudos y las mezclas.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones las cuales se espera sean de utilidad para futuras investigaciones.

CAPITULO 1

ORIGEN DEL PETROLEO

La materia orgánica sintetizada por los vegetales, de la cual una pequeña parte es preservada e introducida en los sedimentos, es el origen común de todos los combustibles fósiles: petróleo, gas natural, carbón, arenas y lutitas bituminosas. La síntesis clorofiliana permite a los vegetales fabricar los constituyentes de sus células, empleando para ello el agua y el gas carbónico del aire, si se trata de vegetales terrestres, o el disuelto en el agua si son organismos marinos. La glucosa es el más simple de los productos así formados y a partir de éste primer compuesto se sintetizan el almidón, la celulosa y todos los demás constituyentes de la célula, a condición de que las sales minerales indispensables estén presentes.

En la actualidad, el principal aporte orgánico es el de los vegetales superiores. Está regido por las condiciones geográficas y más particularmente por el clima (temperatura, lluvia, etc). En el mar, el fitoplancton es el -- productor primario más importante de materia orgánica. La presencia de la luz, necesaria para la fotosíntesis, y la abundancia de sales minerales controlan su productividad. El fitoplancton comprende principalmente los importantes grupos de algas, las diatomeas y los dinoflagelados, además los cocolitofóridos que forman el nivel trófico primario. El zooplancton, las bacterias y toda la fauna marina

se alimentan a partir de ellos, y constituyen una cadena alimenticia compleja. Sin embargo, las producciones más importantes de materia, desde el punto de vista cualitativo, son en primer lugar la del fitoplancton y después las del zooplancton y las bacterias.

1.- Cuando la Materia Viva se Fosiliza

Ciertas épocas geológicas fueron más favorables que otras para la producción de materia orgánica. En efecto, la iluminación desempeña un papel esencial en la fotosíntesis; por consiguiente, la mayor actividad se realiza en los primeros 80 metros de profundidad de los océanos y en raras ocasiones en los 200.

La naturaleza de los principales organismos, fuente de materias orgánicas fósiles, varía en el transcurso de las eras geológicas, a medida que aparecen y evolucionan las especies. Hasta el silúrico (hace 400 millones de años), el fitoplancton era el único productor primario notable de materia orgánica y los aportes a los sedimentos estaban constituidos sobre todo por algas y bacterias. A partir del silúrico, aparecen los vegetales terrestres, pero su contribución a la materia orgánica de los sedimentos no adquiere importancia más que progresiva o localmente por ejemplo, en la edad carbonífera en Europa Occidental. Las plantas terrestres constituyen, de manera general

una fuente muy importante a partir del cretáceo inferior. Esa época corresponde en efecto al desarrollo rápido y generalizado de las angiospermas.

La preservación de la materia orgánica sólo puede efectuarse en un medio acuático: lagos, mares u océanos. En todos los medios, la materia orgánica es presa de microorganismos tales como bacterias, hongos, etc, pero la degradación microbiológica en el medio aeróbico es la más severa: por ejemplo, en los suelos terrestres, subaéreos, el oxígeno molecular disponible permite una destrucción casi completa de la materia orgánica. Por el contrario, en los sedimentos finos depositados en un medio marino o lacustre, como los lodos arcillosos o los lodos calcáneos finos, el acceso del oxígeno molecular se vuelve imposible. El oxígeno disuelto dentro de las aguas intersticiales de los lodos se elimina fácilmente por la degradación microbiana de las partículas de materia orgánica y no es reemplazado: el medio se vuelve entonces anaeróbico. La actividad de los organismos anaeróbicos contribuye a modificar la composición de la materia orgánica restante, pero esta actividad cesa rápidamente.

Las proteínas, los lípidos, los glúcidos, además de la celulosa y la lignina, que forma parte de los vegetales superiores, constituyen la mayor parte de la materia orgánica viva. Durante la sedimentación, estos compuestos sufren importantes transformaciones que deciden, en cier-

ta manera, el destino de la materia orgánica. Los microorganismos, especialmente las bacterias, desempeñan un papel muy importante en estas transformaciones que se producen en condiciones de temperatura y de presión muy bajas. La nutrición de las bacterias se lleva a cabo por vía osmótica a través de la membrana de la célula; ésta procede primeramente a la destrucción, por vía enzimática, de los polímeros, las proteínas o los polisacáridos. Los monómeros individuales, como los aminoácidos y los azúcares simples son liberados. En ese momento pueden ser utilizados por los microorganismos, ya sea como fuente de energía (la materia orgánica se mineraliza y vuelve al estado de CO_2 y H_2O) o bien para sintetizar los constituyentes de su célula (la materia orgánica vuelve al ciclo biológico). Por último, se conserva una pequeña parte y precisamente esta "fuga" fuera del circuito principal constituye la fuente de la materia orgánica fósil. El porcentaje de conservación de la materia orgánica y de su incorporación en los sedimentos es pequeño. A escala geológica, puede evaluarse aproximadamente en 0.1%. En ciertos medios como el mar negro, donde el oxígeno disuelto desaparece a partir de los 200 metros de profundidad, con el establecimiento de un medio reductor rico en hidrógeno sulfurado, puede calcularse que se conserva alrededor del 4% de la materia orgánica producida. Eso representa un valor muy elevado.

El residuo de la actividad microbiana sufre en el se-

dimento una reorganización química con polimerización y condensación que forma productos cafés, semejantes a los ácidos húmicos y fúlvicos que se forman en los suelos. Estos productos son solubles en los álcalis gracias a un número elevado de grupos funcionales. Progresivamente, a medida que continúa la sedimentación, el sedimento es trasladado a profundidades de varias decenas o cientos de metros. Se observa entonces una eliminación parcial de los grupos funcionales que a la par con una policondensación creciente, se vuelve insoluble al residuo orgánico.)

2.- El Kerógeno:

Este término que se refiere a la materia orgánica de las lutitas bituminosas, se creó a principios de siglo, pero su estructura apenas comienza a conocerse gracias a los grandes progresos de los métodos físicos de estudio: infrarrojo, resonancia paramagnética, microdifracción de electrones.

El kerógeno, la forma más abundante de materia orgánica fósil, existe en forma dispersa en las rocas y es la fuente del petróleo y del gas, así como el constituyente orgánico de las lutitas bituminosas. Es sólido e insoluble en todos los solventes orgánicos comunes. Si se observa al microscopio, se aprecia que se encuentra formado por un gran número de pequeñas partículas, algunas de las cua

les conservan formas características del material de origen, algas, esporas, polen, tejidos vegetales pero cuya mayor parte se presenta en general con un aspecto amorfo. Numerosos tipos de partículas pueden coexistir en una roca y se sabe que el kerógeno es una mezcla heterogénea -- de constituyentes en la que la composición química puede variar de manera notable.

Se puede tener una idea esquemática del tipo de estructuras químicas que existen en el kerógeno, describiéndolas, como formadas por núcleos policíclicos (poliaromáticos ó heterociclos con contenido de nitrógeno o azufre) - unidos entre sí por cadenas alifáticas o enlaces heteroatómicos. Los núcleos y cadenas pueden además, incluir grupos funcionales. El conjunto núcleos-cadenas-grupos funcionales forma una macromolécula, tridimensional y reticulada, que no es propiamente un polímero, ya que no se encuentra formada por un mismo motivo estructural, ni siquiera por un pequeño número de motivos. Pero estadísticamente, la combinación es siempre la misma, con los mismos componentes. Puede hablarse de un geopolímero, en oposición a los biopolímeros que son las proteínas o los polisacáridos sintetizados por los organismos. En este conjunto, los núcleos poliaromáticos constituyen los ladrillos de la construcción, mientras que las cadenas y grupos funcionales son el cemento. Durante la evolución, los núcleos representarán la parte estable y relativamente inerte del

kerógeno, mientras que los grupos funcionales y las cadenas alifáticas se verán particularmente afectadas.

En una cuenca de sedimentación el depósito de nuevas capas continúa, en general, durante decenas o cientos de millones de años. Los sedimentos depositados con anterioridad son sepultados bajo cientos y miles de metros de depósitos posteriores. El incremento o gradiente geotérmico varía de 15 a 80°C/km; en un gran número de cuencas sedimentarias, un gradiente de 30°C/km representa un valor medio aceptable. El kerógeno, formado en condiciones de temperaturas templadas que rigen cerca del lodo de los mares o de los lagos, se encuentran en equilibrio metaestable.- Al ser sometido a temperaturas más elevadas, se encontrará fuera de equilibrio y sufrirá una reorganización progresiva en dirección del equilibrio termodinámico. Primero se observa una eliminación de los grupos oxigenados mediante el análisis elemental del kerógeno y por medio de la espectrometría infrarroja. Se obtienen gas carbónico, agua y productos oxigenados. En una segunda etapa, del contenido de hidrógeno disminuye: la relación H/C descende mientras que la relación O/C casi no se ve afectada. - En la espectrometría infrarroja las bandas de absorción ligadas a los grupos saturados CH₂, se eliminan progresivamente. Al alcanzar la zona de cracking, los productos que primero se liberan son los hidrocarburos líquidos y, posteriormente, los hidrocarburos ligeros gaseosos.

CARACTERIZACION DE LOS CRUDOS DE PETROLEO

Introducción

Muestras adecuadas de crudos, son esenciales para su caracterización. Un procedimiento satisfactorio sería para obtener una muestra de petróleo en fase única, en condiciones de presión cuando están en el depósito. Esto requiere del uso de calderas de presión y tanto costoso y sofisticado procedimiento de muestras.

Por lo tanto geoquímicos, usualmente tratan con muestras obtenidas en la fuente, bajo presión atmosférica; -- aunque los hidrocarburos ligeros son completa o parcialmente perdidos como función de su punto individual de ebullición.

Poulet y Roucaché (1970)⁽¹⁴⁾ han demostrado que el -- procedimiento en la fuente de la muestra es representativo, para las moléculas comprendidas entre 10 átomos de -- carbono o más. Para poder relacionar todas las concentraciones y propiedades del crudo a un estado estándar, no influenciado por condiciones de muestra, el crudo puede -- ser destilado a temperatura entre 160°- 210°C.

La composición del destilamiento ligero depende de -- las condiciones de la muestra y se deja como un indicador

lo abundante de la composición de la parte ligera del aceite, la fracción más pesada que por lo general comprende la porción principal del crudo, puede utilizarse confiablemente para describir su composición química y compararlo con otros crudos.

Sin embargo, debe tenerse en mente que los hidrocarburos más abundantes individuales son frecuentes en la fracción ligera. Por ejemplo, en la mayoría de los crudos la distribución n-alcanos disminuye después de n-decano. Similarmente entre moléculas aromáticas, benceno, tolueno y otras moléculas de bajo peso, alquil-bencenos son constituyentes abundantes.

1.- Caracterización de Crudos.

a).- Destilación de petróleo usando fracciones estrechas o amplias, es asociado con algunas medidas químicas o físicas de fracción, ejemplo; densidad, viscosidad, contenido de sulfuro, etc. Este procedimiento está directamente relacionado a los procesos utilizados en el refinamiento de crudos y se designa para dar información valiosa acerca del mejor uso de un nuevo crudo en plantas industriales.

Densidad, viscosidad, índice refractivo y otras propiedades de la física, dependen de las cantidades relativas de varios grupos de componentes químicos, alcanos, cicloalcanos, aromáticos, derivados del tiofeno, etc. en una frac

ción dada. Aunque es posible deducir por estas propiedades físicas, algunos aspectos de las composiciones químicas de un crudo. En conjunto, parafina, naftenos, aromáticos, (P.N.A.). Análisis pueden hacerse de algunas fracciones de la destilación para tomar en cuenta algunas regularidades de composición de crudos. De acuerdo con ASTM especificación D-2892.

b).- Los métodos basados en la separación cuantitativa de varias estructuras y en la determinación de la distribución molecular dentro de cada tipo, son muy útiles para propósitos geoquímicos. En particular, Ouidin en (1970)⁽¹⁶⁾ y Castex (1974)⁽¹⁵⁾ han propuesto una secuencia completa de procedimientos resultantes en evaluación cuantitativa de la estructura química de los crudos.

Los crudos, bitúmenes extraídos de piedras, se dividen en fracciones que corresponden al tipo de estructuras principales. Asfaltos se precipitan por n-hexano, luego hidrocarburos saturados, mono,- di,- poliaromáticos y resinas se separan con uso de cromatografía líquida.

En lugar de cromatografía líquida convencional en una columna, la presión elevada de los líquidos en cromatografía de capa fina, puede usarse. Entre cada grupo estructural, distribución por números de carbonos e identificación de componentes específicos, se obtiene por cromatografía

de gas y espectrometría de masa.

Las principales ventajas de este procedimiento es evitar cualquier destilación que pudiera destruir o alterar algunos constituyentes lábiles del petróleo. Por lo tanto el método es aplicable para cantidades pequeñas de bitumen extraído de "rock source" (100 mg de bitumen si se usa cromatografía líquida y algunos miligramos si se usa cromatografía de capa fina). Esto permite una base sólida para el aceite y su material de roca relacionado.

2.- Principales Grupos de Componentes en los Crudos.

La composición de un crudo puede definirse por el contenido de :Hidrocarburos saturados, hidrocarburos aromáticos, resinas y asfaltenos.

Los hidrocarburos saturados, comprendiendo los alcanos normales y ramificados (parafinas) y cicloalcanos (naftenos).

Los hidrocarburos aromáticos, incluyendo aromáticos puros, cicloalcanos aromáticos (naftenos-aromáticos) y componentes de sulfuro cíclicos, más frecuentemente derivados de benzotiofeno, el cuál puede evaluarse a través del contenido de sulfuro en la fracción de aromáticos.

Resinas y Asfaltenos, comprenden fracciones policíclicas de alto peso molecular y átomos de N, S, O. Los asfaltenos son insolubles en alcanos ligeros, aunque precipitan con n-hexano. Las resinas son más solubles pero también son más polares y se retienen en alúmina cuando se realiza cromatografía líquida.)

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTOS ANALITICOS PARA LA
CARACTERIZACION DE LOS CRUDOS PANUCO Y MAYAIntroducción.

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos de color, olor y viscosidad, densidad, tensión superficial, volatilidad y poder calorífico muy variables, y muchos diferentes compuestos de hidrocarburos de varias series distintas de hidrocarburos están normalmente presentes. Las propiedades físicas del petróleo, tal como existe dentro de las rocas del yacimiento a alta temperatura y presión, - con frecuencia con mucho gas natural disuelto, son bastante diferentes de aquellas con las que asociamos el producto después de llegar a la superficie. La viscosidad, tensión superficial y densidad del crudo son más bajas en el depósito y por ello, se mueve con más libertad a través - de los poros de la roca.

Para evaluar el petróleo es necesario efectuar un -- gran número de análisis de laboratorio, entre otros, gravedad API, destilación, contenido de metales, contenido de azufre. La gravedad de un crudo es una inspección muy significativa ya que generalmente se puede relacionar con la composición del petróleo; así vemos que valores altos para la gravedad A.P.I. (American Petroleum Institute) indican un rendimiento alto en nafta cuando el crudo se somete a destilación, mientras que valores intermedios y ba

jos significan una disminución progresiva de ese rendimiento, recuérdese que la nafta es una mezcla en la que predominan hidrocarburos de peso molecular relativamente bajo, o lo que es lo mismo, que contienen pocos átomos de carbono en su molécula.

Los crudos estudiados fueron el crudo Pánuco y el crudo Maya.

CRUDO PANUCO

Se localiza en el distrito de Pánuco-Ebano, al oeste de Tampico, donde se encuentran los campos más antiguos, pero a principios de la década de 1960, estudios realizados dieron por resultado el descubrimiento de una nueva zona fracturada en las formaciones cretáceas superiores. Así se localizó el campo Nuevo Limón, donde se encontró petróleo pesado en las mismas condiciones que en los yacimientos antiguos.

CRUDO MAYA

Es un crudo pesado, pertenece a la zona de Campeche y está ubicada en la parte occidental de la plataforma de Yucatán. A partir de su descubrimiento, el área de Campeche provocó un interés mayor que el área de Reforma en los estados de Tabasco y Chiapas, porque ofrece objetivos en el terciario, así como en el mesozoico.

El intervalo de prospección comienza en la parte superior del paleoceno a unos 1370 metros y se extiende a través del mesozoico hasta unos 4890 metros.

Procedimientos Analíticos.

Los procedimientos en este trabajo de investigación - que se utilizaron para la determinación de algunas de las características o propiedades de los crudos y mezclas crudo-solvente, fueron los siguientes:

- a). Gravedad A.P.I.
- b). Porcentaje de precipitados.
- c). Porcentaje de agua y sedimentos.
- d). Punto de ebullición inicial y final de los solventes.
- e). Preparación de las mezclas crudo-solvente.
- f). Tensión superficial.

Antes de determinarse las propiedades de los crudos - y mezclas crudo-solvente, dichos crudos fueron sometidos a deshidratación usando el efecto combinado de agentes -- desmulsificantes y temperatura. Para el crudo Pánuco y Maya se usó el desmulsificante IMP-RD-29 (12 cc por cada -- 4000 cc de crudo). Esto dió como resultado que los crudos luego de ser deshidratados, mostraron un porcentaje de - agua y sedimentos menor del 2%.

a). Gravedad A.P.I.

Este método está basado en el principio de que la gravedad de un líquido varía directamente con la profundidad de inmersión de un cuerpo flotando en él. La Gravedad API es leída, al observar el libre flotamiento del hidrómetro y notando la graduación con la horizontal que forma la superficie del líquido con la escala vertical del hidrómetro a la temperatura estudiada.

La gravedad API de los diferentes crudos y mezclas - crudo-solvente fué determinada por medio de hidrómetros, siguiendo el procedimiento descrito en el método ASTM-D-287, el cuál es como sigue:

Se vierte la muestra a analizar en un cilindro graduado de 500 cc, y se estabiliza la temperatura de la muestra, luego se introduce el hidrómetro, se lee el valor de la gravedad API y la temperatura, mediante una tabla (9) de conversión se lleva el valor de la gravedad API de la temperatura leída, a 60°F.

b). Porcentaje de precipitados.

Para la determinación del porcentaje de precipitados se siguió el método ASTM-D-2042, el cuál consiste en determinar la cantidad de bitumen que deja un determinado -

solvente al ser mezclado con un crudo. El procedimiento es el siguiente:

1.- Se prepara una solución de fibras de asbesto en 100 cc de agua destilada. Se recomienda que la cantidad de asbesto esté comprendida entre 0.5 y 0.6 grs..

2.- Se monta el crisol tipo gooch, previamente pesado, en el equipo de succión y filtrado.

3.- La solución preparada en el paso 1 se decanta lentamente a través del crisol, aplicando una ligera succión para retirar toda el agua posible hasta que quede una firme capa de asbesto en el fondo del crisol.

4.- Se lava detenidamente la capa de asbesto con agua destilada y luego se coloca el crisol en un horno de mufla a una temperatura comprendida entre 600 y 650°C durante un tiempo de 20 a 30 minutos.

5.- Se deja enfriar el crisol en un desecador durante 20 minutos y seguidamente se pesa.

6.- Se repite el calentamiento y enfriamiento hasta obtener un peso constante 0 ± 0.3 mgs. de diferencia entre pesadas consecutivas.

7.- Se guarda el crisol en el desecador hasta que se vaya a utilizar. Se debe señalar que la diferencia de peso entre el crisol vacío y con la capa de asbesto deberá estar entre 0.5 y 0.6 grs.

8.- Se transfieren aproximadamente 2 grs de crudo dentro de un frasco Erlenmeyer de 125 ml.

9.- Se le añaden en pequeñas porciones 100 ml de solvente específico al recipiente, agitando continuamente -- hasta que la mezcla se haga homogénea.

10.- Cuando no quede muestra insoluble adherida a las paredes del recipiente, se tapa y se permite asentar por lo menos durante 15 minutos.

11.- El crisol previamente pesado y preparado se coloca otra vez en el aparato de filtrado y se mola la capa de asbesto con una pequeña porción del solvente usado.

12.- Se decanta la solución obtenida en el paso 9 a través del asbesto del crisol. Puede o no ser necesaria una ligera succión.

13.- Cuando toda la solución haya sido drenada se lava el recipiente con una pequeña cantidad del solvente y dicho contenido se vierte en el crisol.

14.- Se lava el crisol también con el solvente hasta que el filtrado sea sustancialmente incoloro y entonces se aplica una fuerte succión hasta remover el resto de solvente remanente en el crisol.

15.- Se saca el crisol del equipo de succión y filtrado, se limpia el fondo de manera que quede libre de cualquier materia disuelta.

16.- Se coloca el crisol en un horno, el cuál debe estar a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo de 20 minutos como mínimo.

17.- Se enfría el crisol en un desecador durante un tiempo comprendido entre 20 y 30 minutos, luego se pesa.

18.- Se repiten los dos pasos anteriores hasta obtener un peso constante o con una diferencia máxima de -0.3 mgs.

19.- Se calcula el porcentaje de precipitado, restando los pesos obtenidos en los pasos 18 y 6, y dividiendo el resultado por la cantidad de crudo obtenido en el paso 8.

c). Determinación de Porcentaje de Agua y Sedimentos.

Con la finalidad de conocer la cantidad de agua y sedimentos en medios porosos, se siguió el método ASTM-D-95 el cual es como sigue:

- 1.- En una probeta de la centrífuga se vierten 50 cc de tolueno y 50 cc de crudo, se tapa la probeta con un tapón y se agita vigorosamente hasta que su contenido se -- mezcle homogéneamente.
- 2.- Se vierte la muestra en un matráz bola de 500 cc.
- 3.- Se coloca el matráz bola sobre la manta eléctrica.
- 4.- Se conecta la trampa de agua (ASTM) al matráz bola
- 5.- Se conecta el condensador a la trampa de agua -- (ASTM).
- 6.- Se enciende la manta eléctrica durante un determinado tiempo y luego se toma la lectura de agua y sedimentos dada en la trampa (ASTM).
- 7.- Se repite el procedimiento hasta obtener una lectura constante. Luego se multiplica esta lectura por cuatro, y se obtiene de esa manera el porcentaje de agua y sedimentos.

d). Punto de Ebullición Inicial y Final de los Solventes.

Para la determinación del punto de ebullición inicial y final de los solventes se usó el método ASTM-D-86.

- 1.- Equipo de destilación sencilla o destilación ASTM -D-86.
- 2.- Se toman 100 cc de solvente y se vierten en un matráz bola de 500 cc, en éste se introducen perlit^{tas} de vidrio a fin de disminuir la ebullición -- brusca de la muestra a destilar.
- 3.- Se acopla el matráz bola al condensador y se procede la destilación (véase figura 4).
- 4.- Se lee la temperatura al condensarse la primera + gota que el solvente muestra, siendo ésta el punto de ebullición inicial. Se continúa la destilación hasta caer la última gota, en ese instante - se toma lectura de la temperatura, la cuál corresponde al punto de ebullición final.

e). Preparación de las Mezclas Crudo-Solvente.

Luego de deshidratar los crudos Pánuco y Maya, se prepararon las muestras de crudo y mezclas de crudo-solvente en las proporciones de 0, 5, 10, 15, y 25% en volumen de solvente para el crudo Pánuco y 0, 2.5, 4.0, 6.3 y 10% para el crudo Maya. Para ello se vertió la cantidad de crudo y solvente en un vaso de precipitado de 600 cc y se --

agitó hasta completa homogeneidad de la mezcla, se colocó en un baño de temperatura constante regulado a la temperatura deseada (10, 20, 30, 40, 50 y 60°C) y se introdujo un termómetro el cuál indicaría la temperatura previamente seleccionada, de la muestra.

f). Tensión Superficial.

El procedimiento para determinar las tensiones superficiales que se describen, se basa en la medida de la fuerza necesaria para desprender un aro de alambre, empleando el tensiómetro marca Fisher, modelo No. 21.

1.- En una mesa libre de vibraciones nivele el tensiómetro con el nivel de burbuja en la base del instrumento y los tornillos del lado izquierdo de la base.

2.-Coloque una muestra de crudo o solvente en un vaso de precipitado que tenga un diámetro interior de 45 mm o mayor, debe tomarse especial cuidado de que la muestra de líquido no se contamine con agua, aceite o cualquier otra substancia.

3.- El aro de platino-iridio perfectamente limpio, se coloca en su gancho y se pone freno al brazo de la balanza.

4.- El vaso con la muestra de líquido se coloca en su soporte. El soporte se mueve para colocarlo debajo del aro y se levanta dando vueltas el tornillo en la parte inferior de dicho soporte. El aro debe quedar sumergido en el líquido a unos 3 mm de la superficie.

5.- Se quita el freno al brazo de torsión. Con el control del lado derecho del estuche, se nivela el brazo de torsión hasta que su imagen esté en línea con la marca de referencia en el espejo. Debe tenerse cuidado de que el aro se mantenga bajo la superficie del líquido durante esta operación, subiendo o bajando el soporte de la muestra.

6.- Con el control principal al frente del instrumento, ponga el cero del vernier con el cero de la escala exterior del indicador de tensión superficial.

7.- Baje el soporte de la muestra hasta que el aro esté en la superficie del líquido y con el control del lado derecho del estuche mantenga el brazo de torsión nivelado con la marca de referencia en el espejo. Al bajar más la muestra, la superficie del líquido estará distendida, pero el índice debe mantenerse al nivel de la marca. Continúe los dos ajustes simultáneamente hasta que la película distendida en la superficie del líquido se rompa.

8.- La lectura de la escala exterior en este punto es la tensión superficial aparente del líquido, en dinas/cms, a la temperatura del laboratorio.

CAPITULO 4

EFECTO DE LA TEMPERATURA Y SOLVENTE
SOBRE LA VISCOSIDAD DE LOS CRUDOS PANUCO Y MAYAIntroducción.

Reología es la disciplina de la Física, que estudia - el flujo y la deformación que sufre la materia.

Un comportamiento reológico de los fluídos, en flujo simple de corte, se determina mediante el reograma que se obtiene al graficar el esfuerzo de corte vs el gradiente de velocidad. De allí que los fluídos son clasificados -- (ver figura No. 2) en:

- A). Fluídos Newtonianos.
- B). Fluídos no Newtonianos.
 - a). Fluídos Bingham Plásticos.
 - b). Fluídos Pseudo Plásticos.
 - c). Fluídos Plásticos.
 - d). Fluídos Dilatantes.

A.- Fluídos Newtonianos.

Son aquellos fluídos donde el esfuerzo cortante es directamente proporcional al gradiente de velocidad. En la Figura No. 2 curva 1 se muestra este tipo de fluído, en - la cuál se puede observar que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. - De allí que la viscosidad sea igual a una constante (pen-

diente de la curva 1 de la Figura No. 2), también la viscosidad absoluta es igual a la viscosidad aparente, donde la viscosidad aparente se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación.

B). Flúidos no Newtonianos.

Son aquellos flúidos donde no existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad. En los flúidos no Newtonianos la viscosidad es una función de las condiciones de flujo. De allí que éstos flúidos muestren una viscosidad variable, la cuál es función del gradiente de velocidad.

De la clasificación según Sherman ⁽¹⁷⁾, los cuatro últimos tipos de flúido pertenecen al grupo de los no Newtonianos.

a). Flúidos Bingham Plásticos.

En un gráfico de esfuerzo cortante versus gradiente de velocidad para muchos flúidos, la línea que describe el comportamiento se aproxima a una línea recta, con un intercepto (punto cedente) en el eje del esfuerzo cortante. Lo que indica que el flujo comienza, cuando el valor del esfuerzo cortante excede al valor del punto cedente (ver Figura No. 2 curva 2). En estos flúidos la viscosidad aparente decrece con el aumento de gradiente de velocidad.

b). Flúidos Plásticos.

En un gráfico de esfuerzo cortante versus gradiente de velocidad, este tipo de fluido presenta una curva pronunciada, con un intercepto (punto cedente) en el eje del esfuerzo cortante. Lo que indica que el flujo comienza, cuando el valor del esfuerzo cortante excede al valor del punto cedente (ver Figura No. 2 curva 3). En este tipo de fluido la viscosidad aparente decrece con el aumento del gradiente de velocidad hasta alcanzar un valor límite de corte.

c). Flúidos Pseudo Plásticos.

En un gráfico de esfuerzo cortante versus gradiente de velocidad, este tipo de fluido presenta una curva pronunciada (ver Figura No. 2 curva 4), dicha curva no presenta punto cedente.

En los flúidos Pseudo Plásticos el flujo comienza cuando el esfuerzo de corte es aplicado y la viscosidad aparente disminuye cuando aumenta el gradiente de velocidad, y a muy bajos o muy altos valores de gradiente de velocidad la viscosidad se hace constante.

d). Flúidos Dilatantes.

En un gráfico de esfuerzo cortante versus gradiente de velocidad (ver Figura No. 2 curva 5), este tipo de --

fluido se comporta igual a los fluidos plásticos, con la diferencia de que la viscosidad aparente crece a medida - que aumenta el gradiente de velocidad.

1.- Comportamiento Reológico de los Crudos y Mezclas Crudo-Solvente.

El comportamiento reológico de los crudos y mezclas - crudo-solvente, se analizó en el laboratorio mediante el viscosímetro Sincro-Eléctrico Broockfield modelo RVT y - LVT. El comportamiento se determinó analizando los reogramas obtenidos al hacer las gráficas de lecturas en el indicador de aguja contra las diferentes velocidades angulares (rpm), ya que éstas son proporcionales al esfuerzo de corte y gradiente de velocidad respectivamente.

En la tabla 7 se tabularon para el crudo (Pánuco) las lecturas en el indicador obtenidas a diferentes velocidades angulares y temperaturas. En la figura 5 se ilustra la respuesta de torque en geometría con cilindros coaxiales del crudo Pánuco a las diferentes temperaturas señaladas, se utilizó el viscosímetro RVT debido a la alta viscosidad que posee a temperaturas bajas.

En la Tabla 8 se tabularon para el crudo Maya las lecturas en el indicador obtenidas a diferentes velocidades angulares (rpm) y a las seis temperaturas utilizadas.

En la figura 6, se ilustra para el crudo Maya la respuesta de torque en geometría de cono y plato a las temperaturas señaladas y velocidades angulares, en ella puede observarse el comportamiento que estos crudos (Pánuco y Maya) presentan; sus reogramas son rectas que pasan por el origen, fué utilizado el viscosímetro LVT, cono y plato debido a la baja viscosidad que tiene el crudo, lo cual demuestra el comportamiento Newtoniano para los crudos, así como los crudo-solventes.

2.- Efecto de la Temperatura Sobre la Viscosidad Absoluta de los Crudos y Mezclas Crudo-Solvente.

La variación de la viscosidad de los crudos con la temperatura se muestra en la tabla 4 y en las figuras 7 y 8. En ellas se puede apreciar que la viscosidad varía sustancialmente al incrementar la temperatura, dicha variación es, en términos absolutos mayor en el incremento de la temperatura de 10 - 20°C, y además es mayor para el crudo Pánuco.

Así vemos, que los crudos Pánuco y Maya cuyas viscosidades a 10°C fueron de 72,498 cps y 960 cps respectivamente, al aumentar la temperatura hasta 20°C, presentaron variaciones absolutas de viscosidad de 44,634 cps (61.56%) para el crudo Pánuco y 331 cps (34.48%) para el crudo Maya.

Mientras que al incrementar la temperatura de 10 a 60°C las variaciones absolutas de viscosidad fueron de --- 70,648 cps (97.45%) y 851 cps (88.64%) para el crudo - Pánuco y Maya respectivamente.

La variación de la viscosidad de las mezclas crudo-solvente con la temperatura a porcentaje de solvente - constante, se ilustra en la tabla 5 y en las figuras 9, 10, 11, para el crudo Pánuco y los respectivos solventes.

Como puede observarse, para bajos porcentajes de -- solventes la viscosidad sufre una disminución relativa, apreciable, hasta un valor de temperatura cercano a los 40°C, dependiendo del crudo, del solvente y sus relaciones porcentuales en la mezcla. Esto nos indica que a bajas temperaturas la viscosidad de las mezclas disminuye bruscamente, mientras que a temperaturas elevadas, di--cha disminución es menos notoria, para un mismo inter--valo de temperatura. A medida que se aumenta el porcen--taje de solvente, el valor absoluto de la pendiente de las curvas va disminuyendo, como puede apreciarse en -- las figuras 9, 10 y 11, para el crudo Pánuco, lo mismo puede apreciarse en la tabla 6 y las figuras 21, 22 y - 23, para el crudo Maya.

En las tablas 5 y 6 podemos notar, por ejemplo: que

para el crudo Pánuco a 10°C se obtuvieron las siguientes reducciones al mezclarlo con el 5% de los diferentes solventes; para la mezcla con gasolina tratada 61.74%, con kerosina 64.95% , con gasóleo ligero 55.07%. Al utilizar el 25% de solvente, los resultados fueron los siguientes: 97.27% con gasolina tratada, 98.05% con kerosina y 95.58% con gasóleo ligero.

A 40°C la variación va desde un mínimo de 94.95% para 5% de gasóleo ligero, hasta un máximo de 99.38% con 25% de kerosina; a 50°C los porcentajes de reducción son mayores de 97.50%, mientras que a 60°C son mayores de 98.70% con todas las mezclas del crudo Pánuco.

A 40°C para el crudo Maya la variación va desde un minimo de 80.94% para 2.5% de gasóleo ligero, hasta un máximo de 92.39% con 10% de gasolina tratada; a 50°C los porcentajes de reducción son mayores del 86.30% con todas -- las mezclas del crudo con los solventes utilizados, mientras que a 60°C son mayores del 90.50%, como puede verse en dichas tablas. La mínima reducción se encontró para la mezcla del crudo Maya y gasóleo ligero en proporción de 97.5% y 2.5% respectivamente y a la temperatura de 10°C, siendo su variación de 15.62% con respecto a la de 10°C del crudo puro. De todo esto se deduce que el porcentaje de reducción de viscosidad de un crudo a una temperatura

dada depende del solvente empleado y del porcentaje usado de éste, y que la reducción de viscosidad alcanzada a altas temperaturas, se puede lograr a más bajas temperaturas usando una cantidad adecuada de solvente. A manera de -- ejemplo: el crudo Pánuco al ser calentado hasta 60°C, reduce su viscosidad desde 72,498 cps a 10°C hasta 1,850 cps, ésta misma reducción se logra a 10°C usando aproximadamente 25% de gasolina tratada.

A 30°C se obtiene esta misma reducción de viscosidad, con un porcentaje de gasolina tratada comprendido entre - 10 y 15%.

De los tres solventes utilizados para ambos crudos se nota un similar poder reductor de la viscosidad en la gasolina tratada y la kerosina.

En las figuras 18, 19, 20 y 30, 31, 32, se ilustra - en papel semilog, el logaritmo de la viscosidad contra el inverso de la temperatura absoluta (°K) para los crudos y sus mezclas con los distintos solventes usados. Para sus substancias simples, teóricamente, éstas figuras deben dar - una línea recta. Sin embargo, la mayoría de ellas presentan una pequeña desviación de la linealidad, causada por la evaporación del solvente, componentes más livianos del crudo, influencia que le pueden dar los sedimentos presentes en el crudo o por la complejidad de las sustancias --

usadas. No obstante, su forma coincide con la determinada por Dealy (5), para algunos crudos de Athabasca y Cold - Lake regiones de Alberta. La ecuación propuesta y utilizada para relacionar la viscosidad contra el inverso de la temperatura fué:

$$\mu = Ae^{B/T} \dots\dots\dots (1)$$

3.- Efecto de la Concentración Sobre la Viscosidad Absoluta de los Crudos y Mezclas Crudo-Solvente.

La variación de la viscosidad de los crudos con la - concentración del solvente se muestra en las tablas 5 y 6 y las figuras 12, 13, 14 para el crudo Pánuco y 24, 25 y 26 para el crudo Maya. En ellas se puede apreciar que la viscosidad varía sustancialmente al incrementar la concentración manteniendo la temperatura constante.

En las figuras 15, 16, 17 y 30, 31, 32, se ilustra en papel semilog el logaritmo de la viscosidad contra la concentración (%) para los crudos y mezclas con los distin--tos solventes usados (Pánuco y Maya).

Utilizando la ecuación exponencial:

$$\mu = Ae^{BC} \dots (2)$$

Estas figuras deben dar una línea recta. Sin embargo para

el crudo Pánuco presentan una apreciable desviación de la linealidad, causada por la evaporación del solvente, componentes más livianos del crudo, influencia que le pueden dar los sedimentos presentes en el crudo o por la complejidad de las sustancias usadas.

Para el crudo maya la ecuación exponencial sí da una linealidad muy buena.

4.- Viscosidad de los Crudos y Mezclas Crudo-Solvente.

Para la determinación de la viscosidad del crudo, así como también de las mezclas crudo-solvente se siguió el procedimiento siguiente:

1.- Se coloca en el baño de temperatura constante los vasos de precipitado conteniendo la muestra a la cual se le va a medir la viscosidad, hasta alcanzar la temperatura deseada (10, 20, 30, 40, 50, 60°C).

2.- Se coloca en el viscosímetro a utilizar y se introduce el spindle seleccionado dentro del fluido y se enrosca al eje superior del viscosímetro. El spindle debe ser introducido con cierta inclinación para evitar posible formación de burbujas de aire por debajo del disco del mismo.

3.- Se baja el viscosímetro hasta hacer coincidir la

superficie del líquido con la marca que presenta el spindle.

4.- Se nivela el viscosímetro, mediante el nivel de burbuja.

5.- Se selecciona la velocidad (rpm) deseada, se presiona el embrague y seguidamente se acciona el motor del viscosímetro.

6.- Comienza a girar el indicador de aguja, moviéndose en un rango de 0-100.

7.- Se le da un tiempo determinado hasta que se estabilice el indicador.

8.- Se toma la lectura a la temperatura de la prueba y a las velocidades angulares establecidas.

9.- La lectura obtenida en el paso anterior se multiplica por el factor del spindle a esa revolución, el cuál aparece en una tabla proporcionada por el fabricante del aparato y verificada por nosotros mediante flúidos estándares.

CAPITULO 5

EQUIPO EXPERIMENTAL

A). Aparatos.

Los aparatos usados en este trabajo fueron los siguien
tes:

- a). Viscosímetro Brookfield Sincro-Electric, modelo - RVT y LVT.
- b). Hidrómetros.
- c). Centrífuga y equipo de destilación.
- d). Hornos y bomba de vacío.
- e). Balanza analítica.
- f). desecador.
- g). Recipientes de vidrio en general, baños.
- h). Tensión superficial.

a). Viscosímetro Brookfield Sincro-Electric⁽³⁾.

Este aparato se presenta en tres modelos: LVT, RVT y HBT; permite determinar la viscosidad de cualquier fluido en un rango comprendido entre 5 y 16.000.000 cps. El modelo LVT tiene un rango de medición de viscosidad de 5 a - 200.000 cps. El modelo RVT lo tiene desde 50 a 200.000 de cps. Mientras que el modelo HBT lo tiene comprendido desde 400 a 16.000.000 de cps.

El viscosímetro alcanza su mayor precisión cuando la lectura del indicador de aguja está hacia la parte superior de la escala o sea donde se obtienen las lecturas más altas a las diferentes velocidades.

Las mediciones obtenidas usando un solo spindle a diferentes velocidades permite determinar el comportamiento reológico del fluido, permitiendo así su clasificación. Los modelos RVT y HBT operan a velocidades que varían desde 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0, 20.0, 50.0 y 100 rpm. El modelo LVT lo hace desde 0.3, 0.6, 1.5, 3.0, 6.0, 12.0, --- 30.0 y 60.0 rpm.

Se debe tener en cuenta que entre spindles correspondientes a un mismo modelo de viscosímetro, existe un rango de medición común, por lo cual debe escogerse aquel spindle que permita obtener las lecturas del indicador de aguja más altas a las diferentes velocidades usadas.

Las medidas hechas con el mismo spindle a diferentes velocidades, se usan para evaluar las propiedades reológicas de cualquier fluido, lo cual permite su clasificación. Con el viscosímetro utilizado se pueden dibujar las lecturas en el indicador de aguja contra las diferentes velocidades y obtener en forma directa el reograma correspondiente al tipo de fluido. El fabricante recomienda que -

los cambios de velocidades se efectúen cuando el motor es té en funcionamiento. La figura (3) muestra el viscosímetro Broockfield Sincro-Electric.

Los diferentes modelos de viscosímetros Broockfield - siguen el mismo principio de operación el cual es como si gue:

El spindle gira el fluido cuya viscosidad se desea de terminar y mide el torque necesario para vencer la resis tencia viscosa al movimiento inducido. Este torque origina cierta torsión en un resorte de cobre y berilio, lo - cual se señala a través de un indicador en una escala -- graduada de 0-100 en el indicador del viscosímetro. Es de señalar que esta lectura es proporcional a la viscosidad del fluido y al esfuerzo cortante para cualquier veloci-- dad y spindle usado.

b). Hidrómetros.

Este instrumento fúe utilizado en la determinación de la gravedad API de los diferentes crudos, siguiendo el mé todo ASTM-D-187. Se utilizó el hidrómetro Baumé, para los líquidos livianos a la temperatura de 60°F.

c). Centrífuga y equipo de destilación.

La centrífuga fué utilizada en la determinación del -

porcentaje de agua y sedimentos, mediante el método ASTM-D-96. Se utilizó la IEC CS CENTRIFUGE DAMON a 1500 rpm.

El equipo de destilación fué utilizado con el mismo objetivo de la centrífuga, siguiendo el método ASTM-D-95.

d). Hornos y bomba de vacío.

Los hornos usados fueron los siguientes:

1.- Horno Electric Curtin con un rango de temperatura de 0-180°C.

2.- Horno de mufla Termolyne, modelo 1500, con un rango de temperatura de 0-1500°C.

Se usó la bomba de vacío General Electric, modelo 2C48gax, con una velocidad de succión de 1725 rpm.

e). Balanza Analítica.

Sartorius modelo 2434.

f). Desecador.

Se utilizó para absorber la humedad de los crisoles durante la determinación del porcentaje de precipitados. Se trata de un envase de vidrio conteniendo en su parte inferior trozos de cloruro de calcio.

g). Recipientes de vidrio en general, baños térmicos.

Fueron utilizados los siguientes recipientes: frasco de vidrio, vasos de precipitado con capacidad de 600, 400, y 100 ml, cilindros graduados con capacidad de 25, 100 y 500 ml, pipetas, termómetros, crisoles de porcelana tipo Gooch kitasatos de 250 ml y porta crisoles de goma.

Se usaron los siguientes baños:

1.- Baño de temperatura Corola (1000W) con un rango de temperatura de 0-100°C.

2.- Baño Schott Mainz, con un rango de temperatura de 20-100°C.

h). Tensión superficial.

Se utilizó el Fisher Surface Tensiomat modelo 21, para determinar la tensión superficial de los crudos y solventes.

B). Materiales.

a). Crudos.

b). Solventes.

c). Fibras de asbesto (anfíbole).

d). Desmulsificante (Pemex IMP-RD-29).

a). Crudos.

Los crudos utilizados fueron crudos pesados provenientes de los campos petroleros de Pánuco y Campeche (Maya) del norte y sur del país respectivamente, con gravedad - API de 11.60 y 23.35 a 60°C.

b). Solventes.

Los solventes usados en este trabajo fueron: Gasolina tratada, kerosina y gasóleo ligero, provenientes de la refinería de Pemex ubicada en Cadereyta Jimenez, N.L.

c). Fibras de asbesto.

Las fibras de asbesto constituyen la capa de filtrado que fueron usadas junto con los crisoles para efectuar - las pruebas de precipitado de crudos-solventes.

d). Desmulsificante.

Se usó para deshidratar las muestras de crudos, combinándolos con el efecto de la temperatura, el desmulsifi-- cante usado para deshidratar los crudos fué el Pemex IMP- RD-29.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De lo anteriormente expuesto pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1.- Los crudos estudiados y sus respectivas mezclas - para efectos prácticos pueden considerarse Newtonianos en el rango de temperatura de 10 a 60°C.

2.- La viscosidad de los crudos disminuye a medida - que aumenta la temperatura, lográndose variaciones con respecto a la temperatura de 10°C, de 99.90% a 60°C para el crudo Pánuco y 96.46% a 60°C para el crudo Maya.

3.- La viscosidad de las mezclas crudo-solvente a temperatura constante, disminuye a medida que aumenta el porcentaje de solvente, encontrándose variaciones con respecto a la viscosidad del crudo solo, de 98.05% a 10°C (con un 25% de solvente), para el crudo Pánuco y 74.89% a 10°C (con un 10% de solvente) para el crudo Maya.

4.- La viscosidad de las mezclas, a porcentaje de solvente constante, disminuye cuando la temperatura se incrementa, lográndose a 60°C reducciones de hasta 99.90% para

TABLAS

los porcentajes de solvente mayores a (25%), para el crudo Pánuco, y 96.46% para los porcentajes de solvente mayores a (10%) Para el crudo Maya, con respecto a la viscosidad del crudo solo y a la temperatura de 10°C.

5.- Los solventes más reductores de la viscosidad fueron la gasolina tratada y la kerosina, pero se evaporaron en mayor grado.

6.- Los solventes que dejaron la menor cantidad de precipitado fué la kerosina, con porcentajes menores que el 0.5%.

7.- Si entre los solventes estudiados se ha de tomar una decisión sobre el solvente que reuna las cualidades exigidas para su uso, tomando en cuenta la menor evaporación, menor porcentaje de precipitado y mayor poder reductor de la viscosidad se debería escoger la kerosina.

Recomendaciones.

1.- Continuar la investigación mediante pruebas similares con otros solventes, a fin de tratar de conseguir, una mayor reducción de viscosidad de los crudos estudiados.

2.- Estudiar el desplazamiento de mezclas crudo-solvente ya analizados a través de medios porosos.

3.- Estudiar la influencia del contenido de agua y sedimentos en el comportamiento reológico de los crudos y - mezclas crudo-solvente.

4.- Hacer un estudio sobre la posible recuperación -- cuantitativa del solvente, una vez que éste haya sido utilizado para reducir la viscosidad de algún crudo.

5.- Tratar de hacer el estudio, con crudos recién extraídos del campo y mantenerlos en ambiente de nitrógeno, a fin de tener resultados comparables.

6.- Recomendar el uso de la kerosina para estos tipos de crudos estudiados.

7.- Estudiar la reducción de factor de fricción para flujo turbulento de los crudos mediante aditivos.

T A B L A 1

PROPIEDADES DE LOS CRUDOS ESTUDIADOS

C R U D O S	VISCOSIDAD	(%) DE AGUA Y	TENSION	GRAVEDAD
	(cps) a 10°C	SEDIMENTO	SUPERFICIAL	°API a 60°F
P A N U C O	72,498	0.6	21.5	11.6
M A Y A	960	0.3	17.2	23.3

T A B L A 2

PROPIEDADES DE LOS SOLVENTES UTILIZADOS

SOLVENTE	TENSION SUPERFICIAL	PUNTO DE EBULLICION (°C)	
	DINAS/CMS	INICIAL	FINAL
GASOLINA T.	12.5	60	202
KEROSINA	15.8	170	236
GASOLEO L.	18.1	192	334

TABLA 3

PORCENTAJES DE PRECIPITADOS DE LOS CRUDOS
ESTUDIADOS CON LOS DIFERENTES SOLVENTES

CRUDO	GASOLINA TRATADA	KEROSINA	GASOLEO LIGERO
PANUCO	0.820	0.510	0.960
MAYA	0.620	0.385	0.790

T A B L A 4

VARIACION DE LA VISCOSIDAD EN (CPS) DE LOS CRUDOS
ESTUDIADOS CON RESPECTO A LA TEMPERATURA DE 10°C

C R U D O	10°C		20°C		30°C		40°C		50°C		60°C	
	cps	% var	cps	% var	cps	% var	cps	% var	cps	% var	cps	% var
P A N U C O	72,498		27,864	61.56	14,026	80.60	7,781	89.27	3,860	94.68	1,850	97.45
M A Y A	960		629	34.48	391	59.27	240	75.0	156	83.75	109	88.64

TABLA 5

		VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS A DIFERENTES TEMPERATURAS Y SU VARIACION RESPECTO A LA DEL CRUDO PANUCO A 10°C .											
SOLVENTE	%	10°C		20°C		30°C		40°C		50°C		60°C	
		cps	% var	cps	% var	cps	% var	cps	% var	cps	% var	cps	% var
GASOLINA T.		27,735	61.74	12,200	83.17	4,260	94.12	2,336	96.77	903	98.75	503	99.30
KEROSINA	5	25,413	64.95	11,026	84.79	4,206	94.20	2,210	96.95	940	98.70	480	99.34
GASOLEO L.		32,573	55.07	14,600	79.86	6,940	90.40	3,660	94.95	1,615	97.77	890	98.77
GASOLINA T.		12,616	82.59	5,547	92.34	2,160	97.02	1,004	98.61	562	99.22	304	99.58
KEROSINA	10	11,480	84.16	5,428	92.51	2,035	97.19	990	98.63	573	99.20	285	99.61
GASOLEO L.		16,125	77.76	7,035	90.29	3,800	94.75	1,650	97.72	719	99.00	399	99.44
GASOLINA T.		5,434	92.50	2,660	96.33	976	98.65	464	99.35	240	99.67	156	99.78
KEROSINA	15	5,159	92.88	2,379	96.72	940	98.70	476	99.34	230	99.68	130	99.82
GASOLEO L.		9,129	87.40	4,020	94.45	1,792	97.52	835	98.84	361	99.50	210	99.71
GASOLINA T.		1,980	97.27	885	98.78	540	99.25	243	99.66	139	99.80	72	99.90
KEROSINA	25	1,410	98.05	794	98.90	451	99.38	238	99.67	143	99.81	86	99.88
GASOLEO L.		3,200	95.58	1,663	97.70	856	98.82	501	99.30	254	99.64	129	99.82

TABLA 6

VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS A DIFERENTES TEMPERATURAS Y SU VARIACION RESPECTO A LA DEL CRUDO MAYA A 10° C													
SOLVENTE	%	10°C		20°C		30°C		40°C		50°C		60°C	
		cps	% var										
GASOLINA T.		593	38.23	388	59.58	240	75.00	145	84.89	97	89.89	70	92.71
KEROSINA	2.5	702	26.87	443	53.85	250	73.96	151	84.27	96	90.00	75	92.19
GASOLEO L.		810	15.62	530	44.79	290	69.79	183	80.94	131	86.35	91	90.52
GASOLINA T.		520	45.83	340	64.58	198	79.37	129	86.56	86	91.04	61	93.64
KEROSINA	4.0	527	45.10	354	63.12	220	77.08	131	86.35	80	91.66	64	93.33
GASOLEO L.		668	30.42	430	55.21	252	73.75	140	85.42	91	90.52	67	93.02
GASOLINA T.		400	58.33	232	75.83	163	83.02	100	89.58	70	92.71	50	94.79
KEROSINA	6.3	425	55.73	234	75.63	140	85.41	105	89.06	71	92.60	44	95.42
GASOLEO L.		562	41.46	311	67.60	187	80.52	120	87.50	86	91.04	53	94.48
GASOLINA T.		260	72.92	155	83.85	102	89.37	73	92.39	49	94.89	34	96.46
KEROSINA	10	241	74.89	165	82.81	120	87.50	74	92.29	46	95.21	36	96.25
GASOLEO L.		314	67.29	218	77.29	134	86.04	80	91.66	57	94.06	40	95.83

T A B L A 7

BROOKFIELD R.V.T.

LECTURAS EN EL REGISTRADOR Y VISCOSIDAD DEL
CRUDO PANUCO A DIFERENTES TEMPERATURAS Y R.P.M.

TEMP. °C	SPINDLE #	R.P.M.	FACTOR	REGISTRADOR	VISCOSIDAD cps
10	3	2.5	5,160	14.0	72,240
		5.0	2,580	28.1	72,298
		10.0	1,290	56.3	72,627
20	3	5.0	2,580	10.6	27,348
		10.0	1,290	21.6	27,864
		20.0	645	43.4	27,993
30	2	5.0	670	20.8	13,936
		10.0	335	41.9	14,037
		20.0	167.5	84.0	14,070
40	2	5.0	670	11.6	7,772
		10.0	335	23.4	7,839
		20.0	167.5	46.4	7,770
50	1	2.5	312	12.1	3,775
		5.0	156	24.7	3,853
		10.0	78	50.8	3,962
60	1	5.0	156	11.8	1,840
		10.0	78	23.8	1,856
		20.0	39	48.3	1,884

T A B L A 8

LECTURAS EN EL REGISTRADOR Y VISCOSIDAD DEL
 CRUDO MAYA A DIFERENTES TEMPERATURAS Y R.P.M.
 BROOKFIELD MICRO VISCOMETER "CONO Y PLATO" L.V.T.

TEMP. °C	CONE #	R.P.M.	FACTOR	REGISTRADOR	VISCOSIDAD
10	0.8°	0.3	27.50	36.9	948
		0.6	12.85	74.8	961
20	0.8°	0.3	25.70	24.1	620
		0.6	12.85	49.1	631
30	0.8°	0.3	25.70	15.2	390
		0.6	12.85	30.0	386
40	0.8°	0.6	12.85	18.7	240
		1.5	5.14	46.8	241
50	0.8°	1.5	5.14	29.5	152
		3.0	2.57	60.7	156
60	0.8°	1.5	5.14	21.2	109
		3.0	2.57	42.4	109

FIGURAS

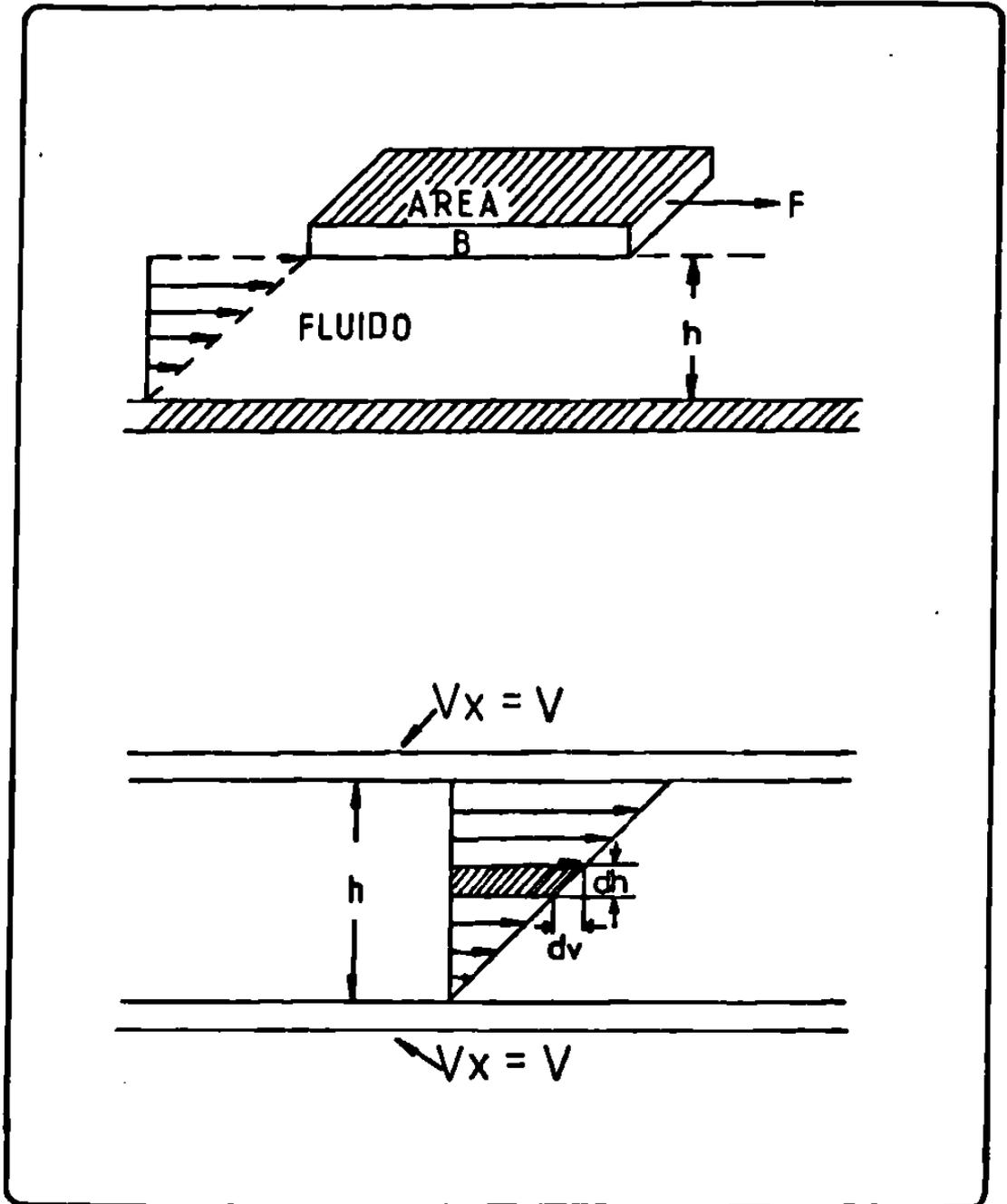


FIGURA 1 FORMACION DEL PERFIL DE VELOCIDAD EN ESTADO ESTACIONARIO PARA UN FLUIDO CONTENIDO ENTRE DOS LAMINAS.

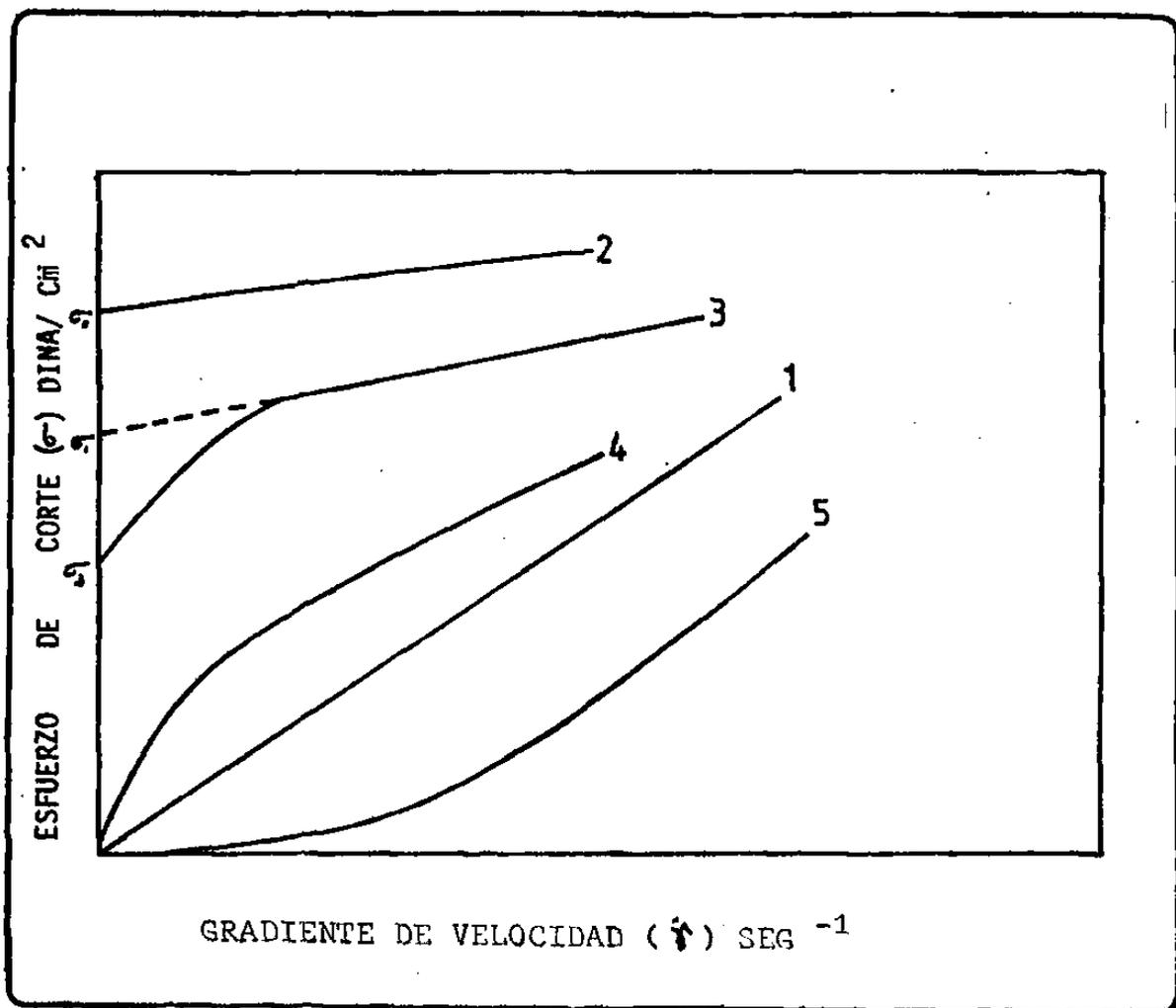


FIGURA 2 COMPORTAMIENTO REOLOGICO DE LOS FLUIDOS EN FLUJO SIMPLE DE CORTE.

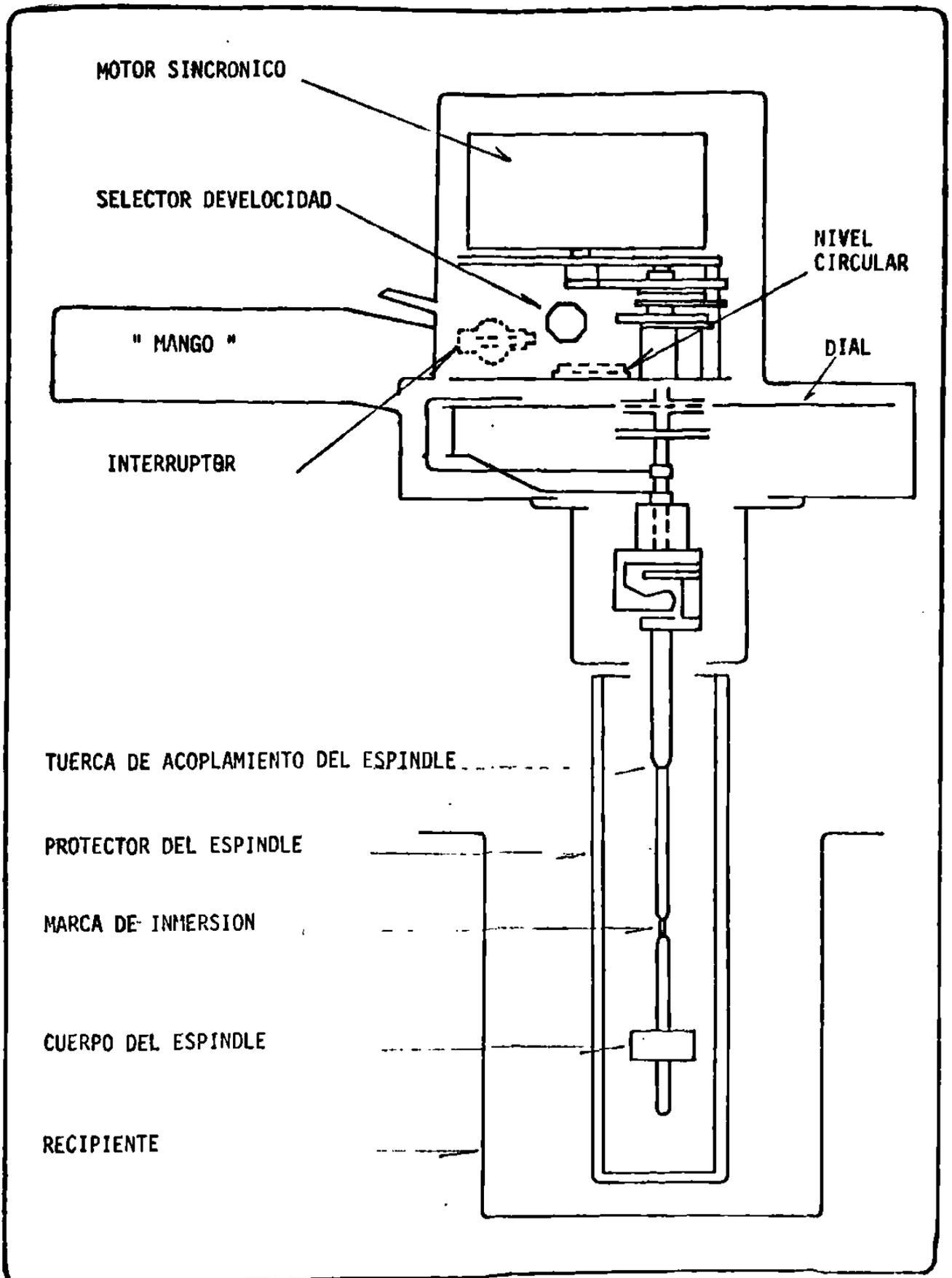


FIGURA 3 ESQUEMA DEL VISCOSIMETRO BROOKFIELD SINCRONELECTRICO

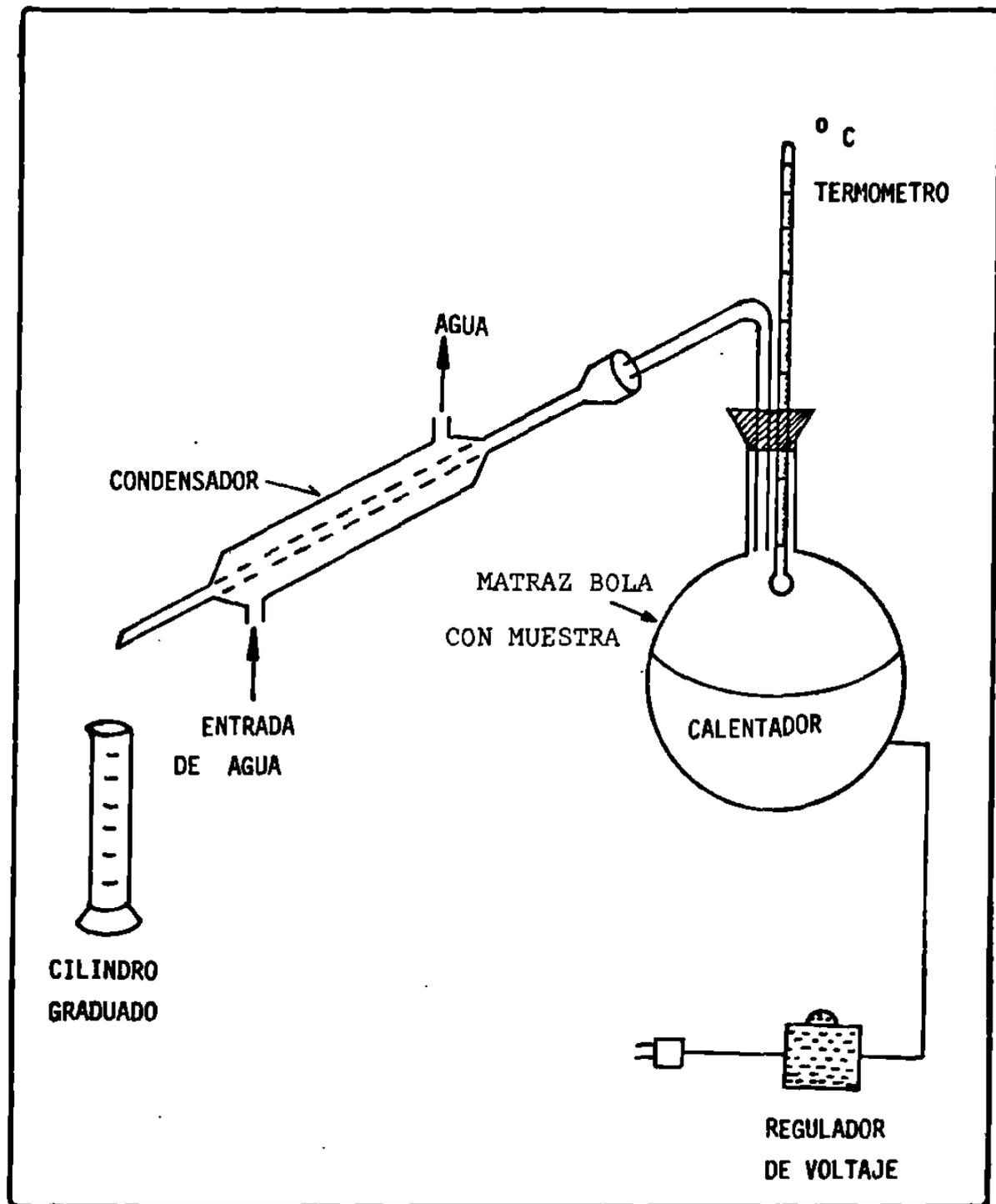


FIGURA 4 ESQUEMA DEL EQUIPO DE DESTILACION

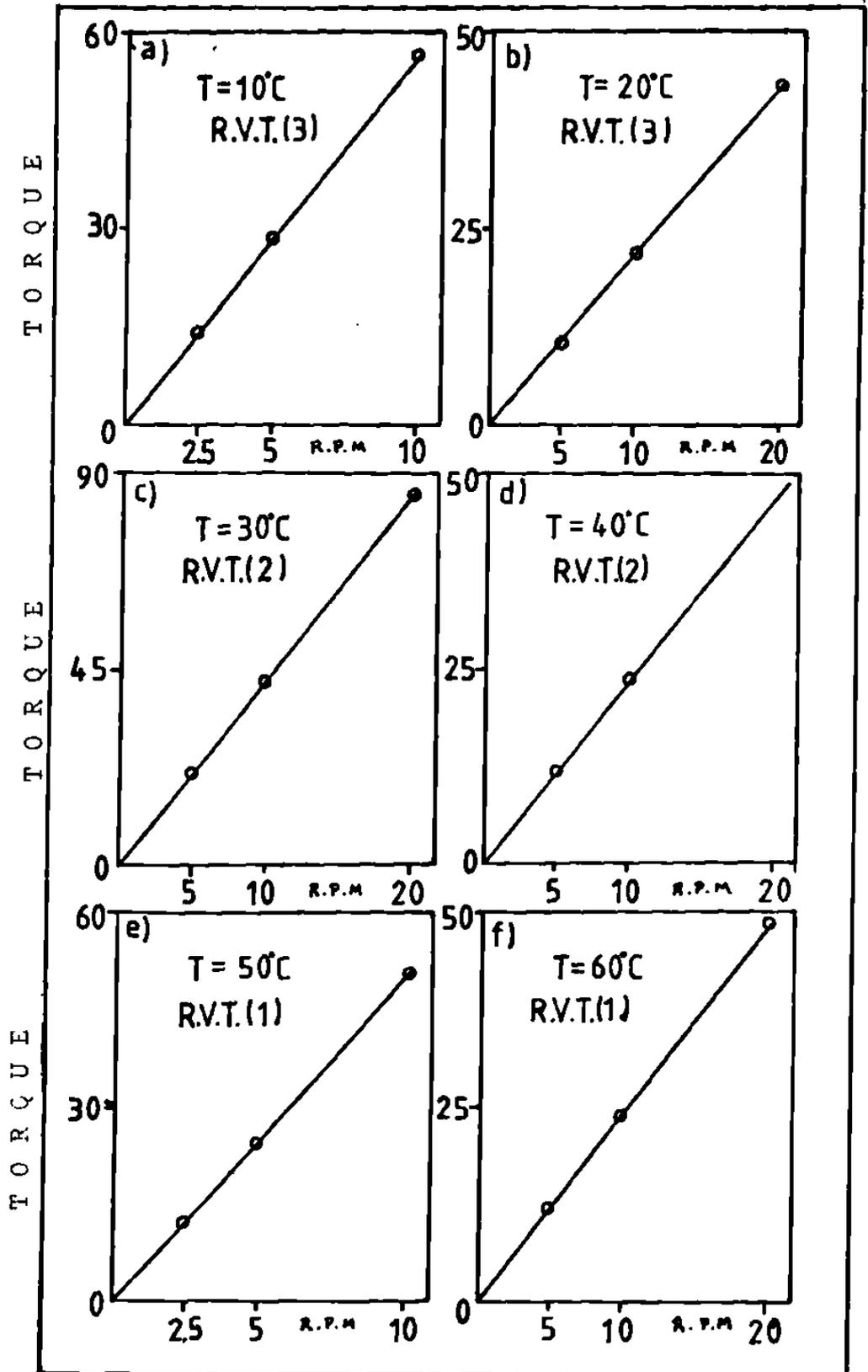


FIGURA 5 COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL CRUDO PANUCO A LAS TEMPERATURAS SEÑALADAS

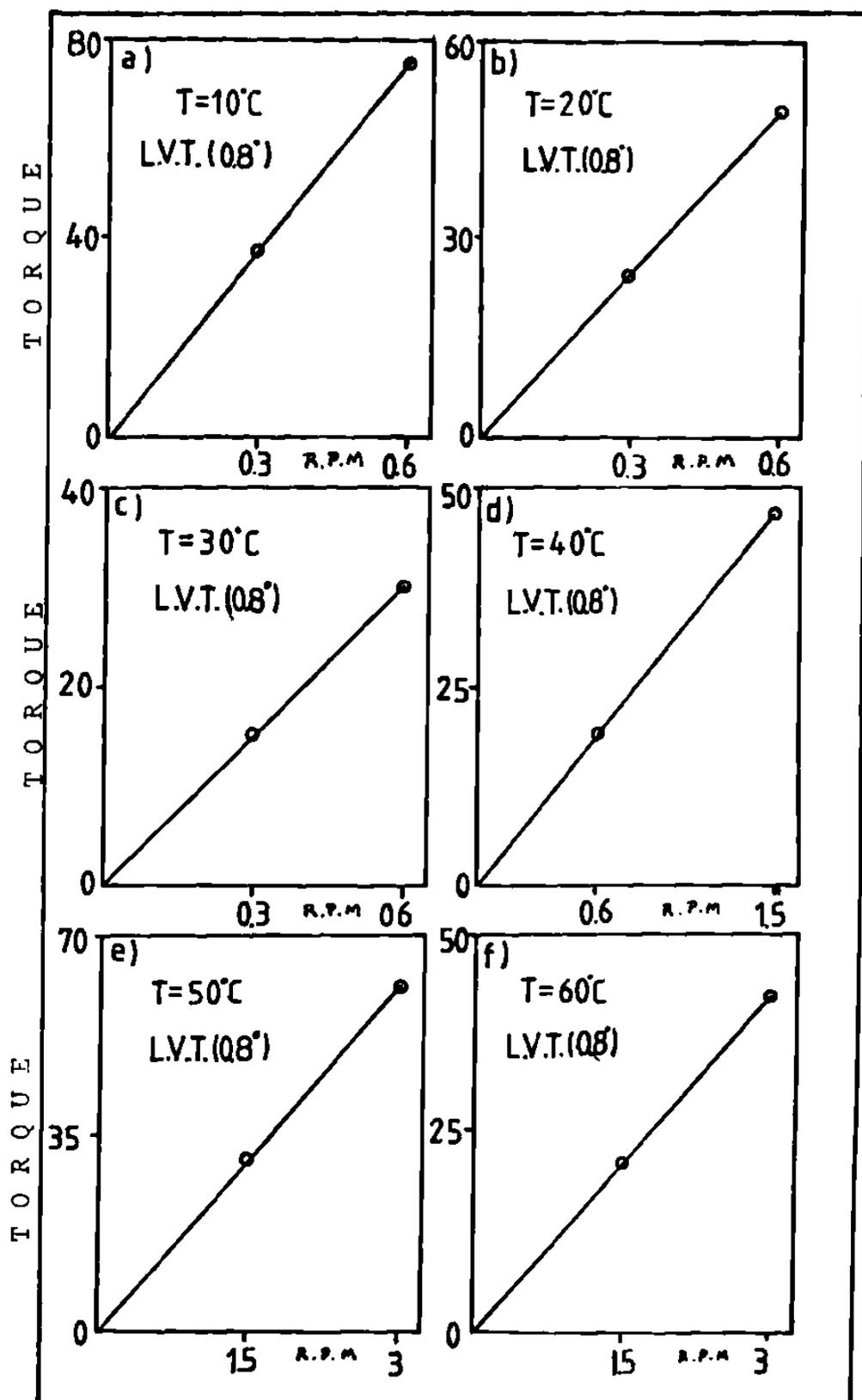


FIGURA 6 COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL CRUDO MAYA A LAS TEMPERATURAS SEÑALADAS

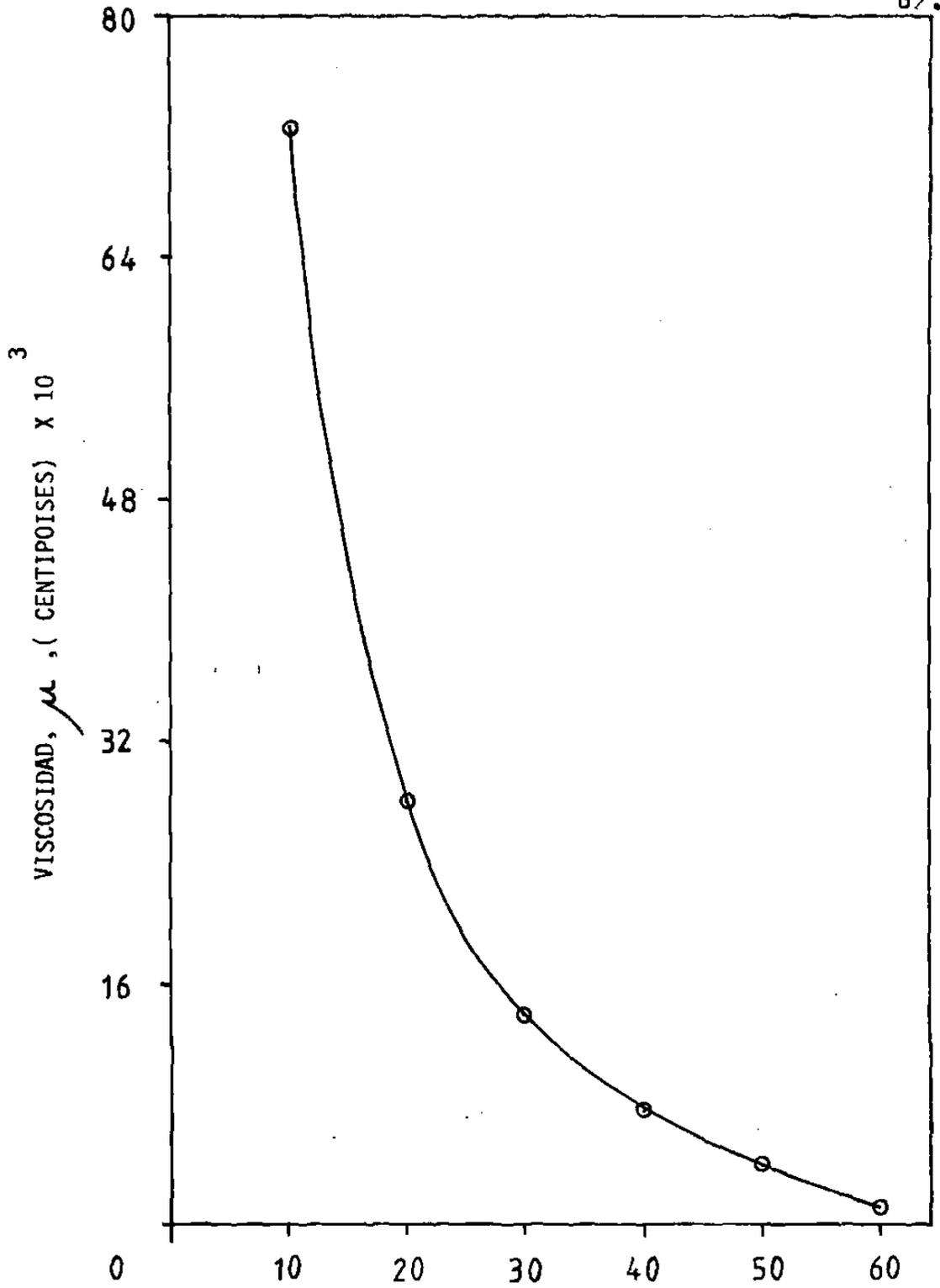


FIGURA 7 VISCOSIDAD DEL CRUDO PANUCO
COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA EN (°C)

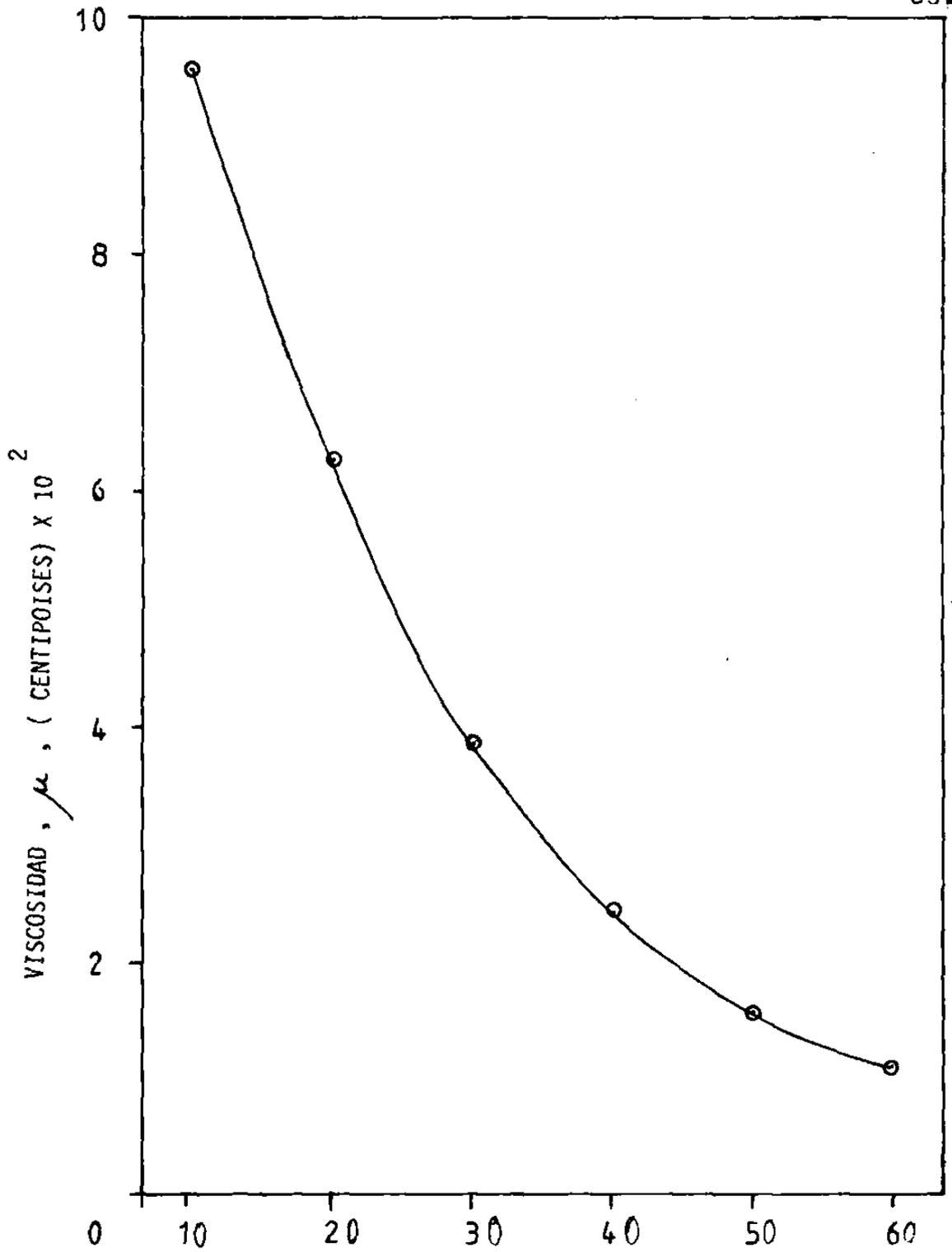


FIGURA 8 VISCOSIDAD DEL CRUDO MAYA
COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA EN ($^{\circ}$ C)

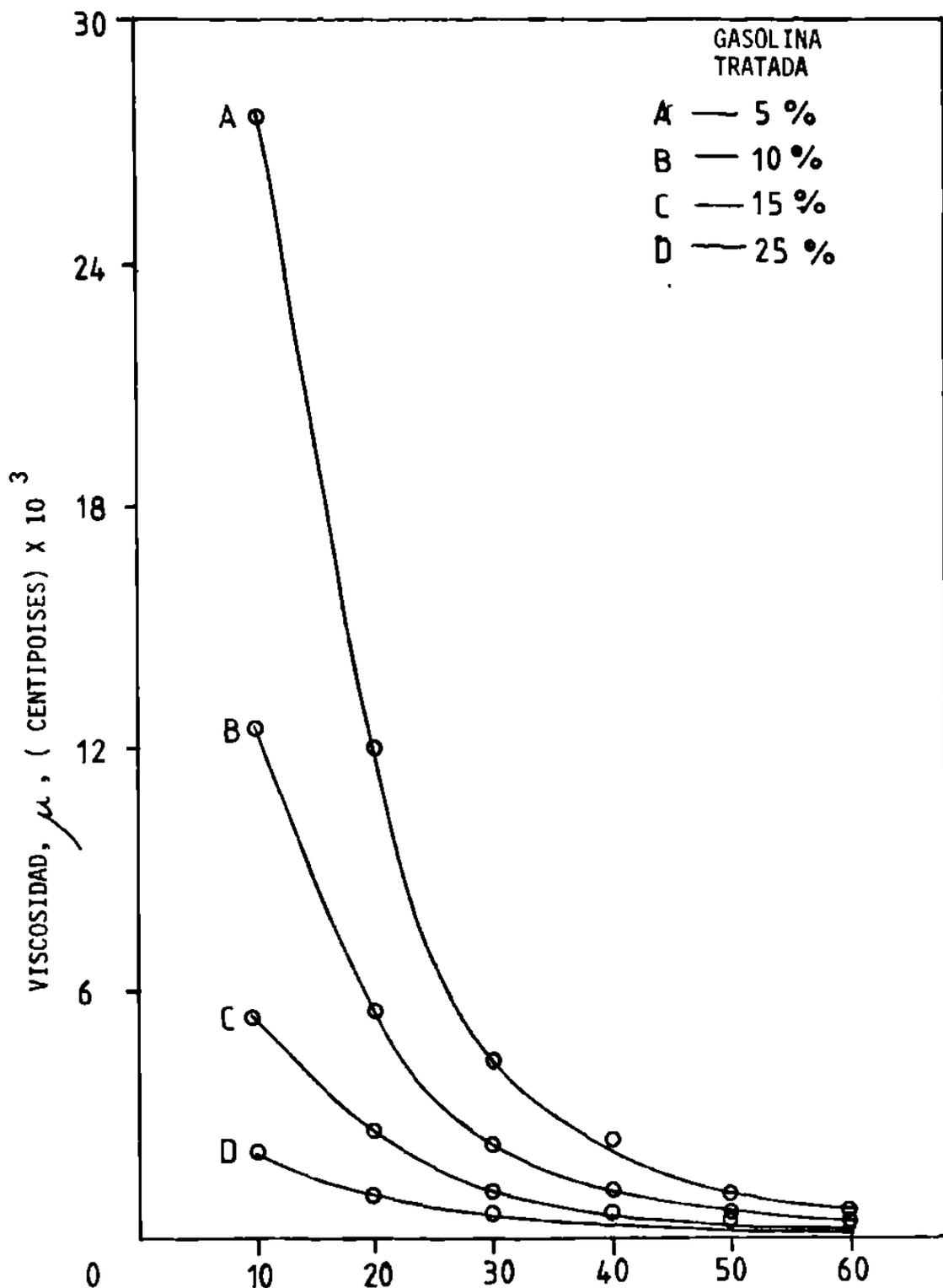


FIGURA 9 VISCOSIDAD COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA EN ($^{\circ}$ C) PARA LAS MEZCLAS DEL CRUDO PANUCO EN EL SOLVENTE : GASOLINA TRATADA

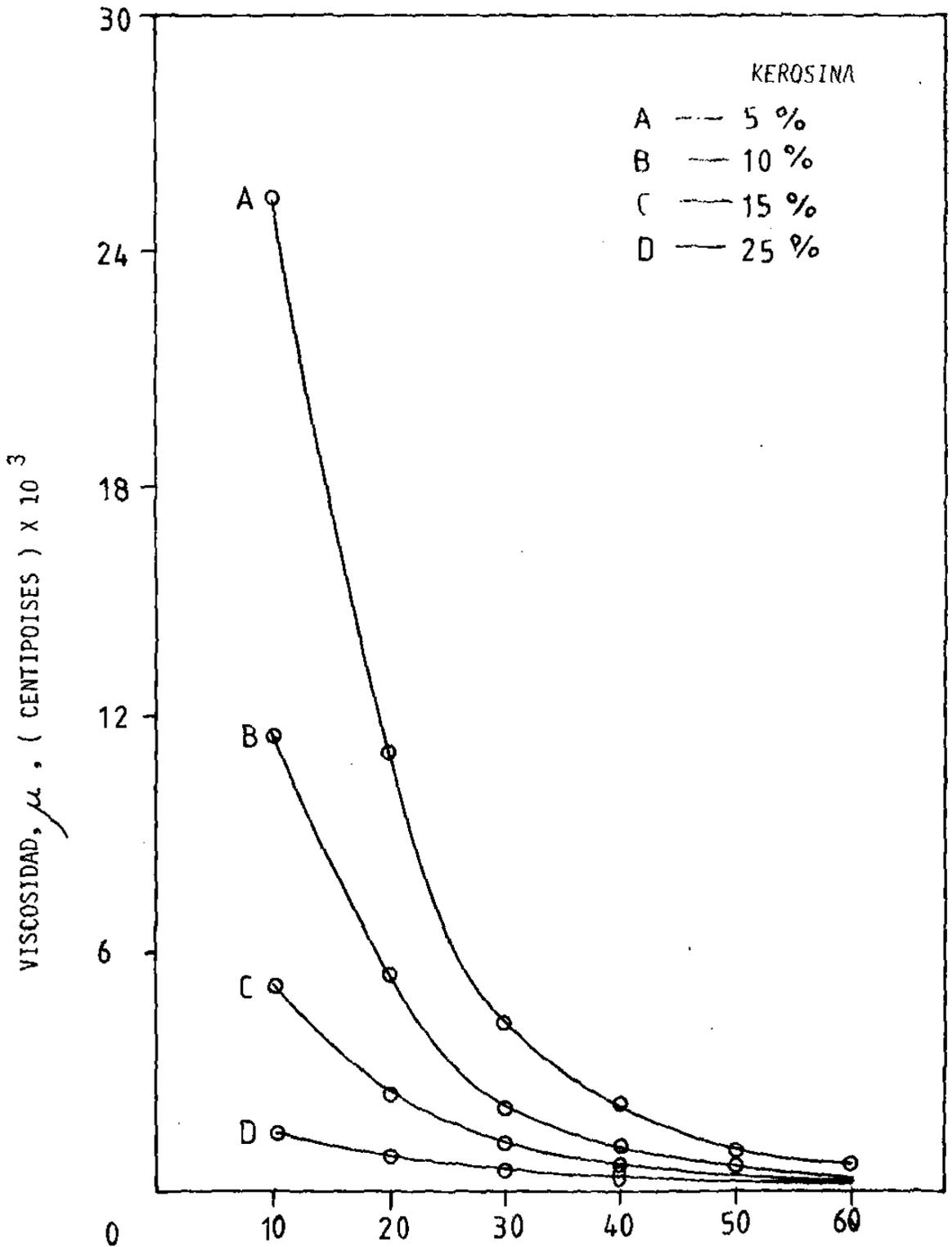


FIGURA 10 VISCOSIDAD COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA EN (^oC) PARA LAS MEZCLAS DEL CRUDO PANUCO EN EL SOLVENTE : KEROSINA

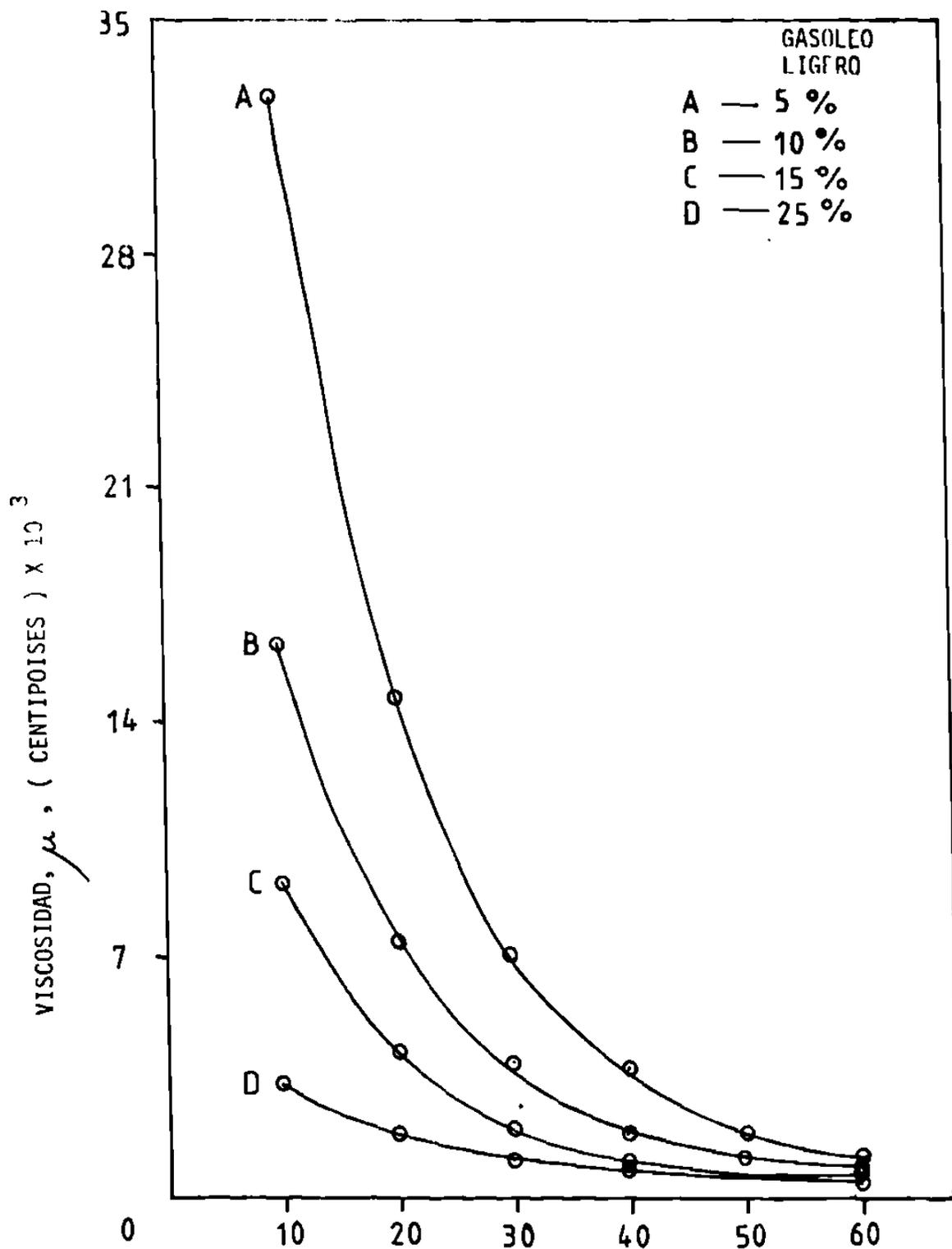


FIGURA 11 VISCOSIDAD COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA EN ($^{\circ}$ C) PARA LAS MEZCLAS DEL CRUDO PANUCO EN EL SOLVENTE: GASOLEO LIGERO

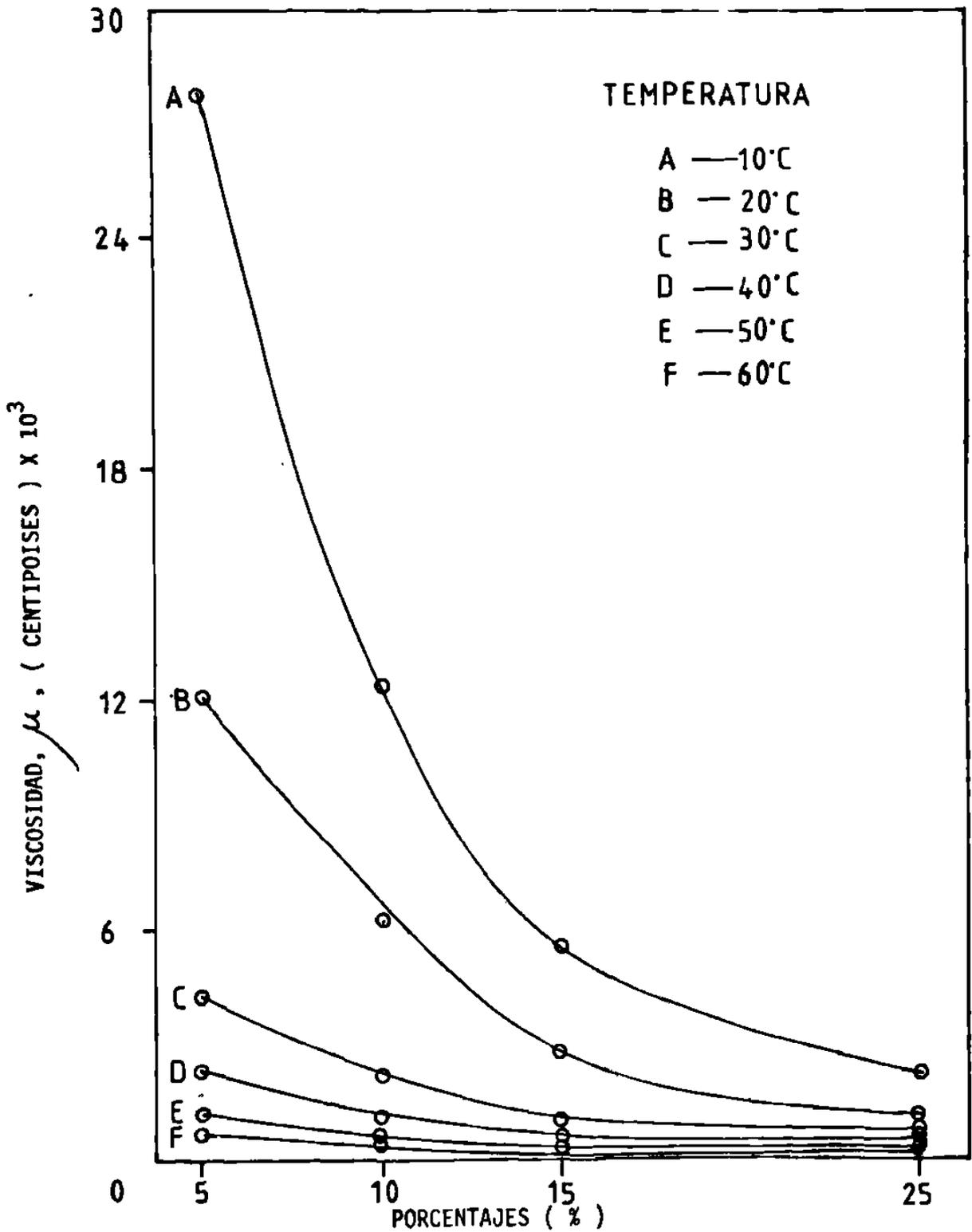


FIGURA 12 VISCOSIDAD DEL CRUDO PANUCO COMO FUNCION DEL PORCENTAJE (%), PARA LAS MEZCLAS EN SOLVENTE: GASOLINA TRATADA

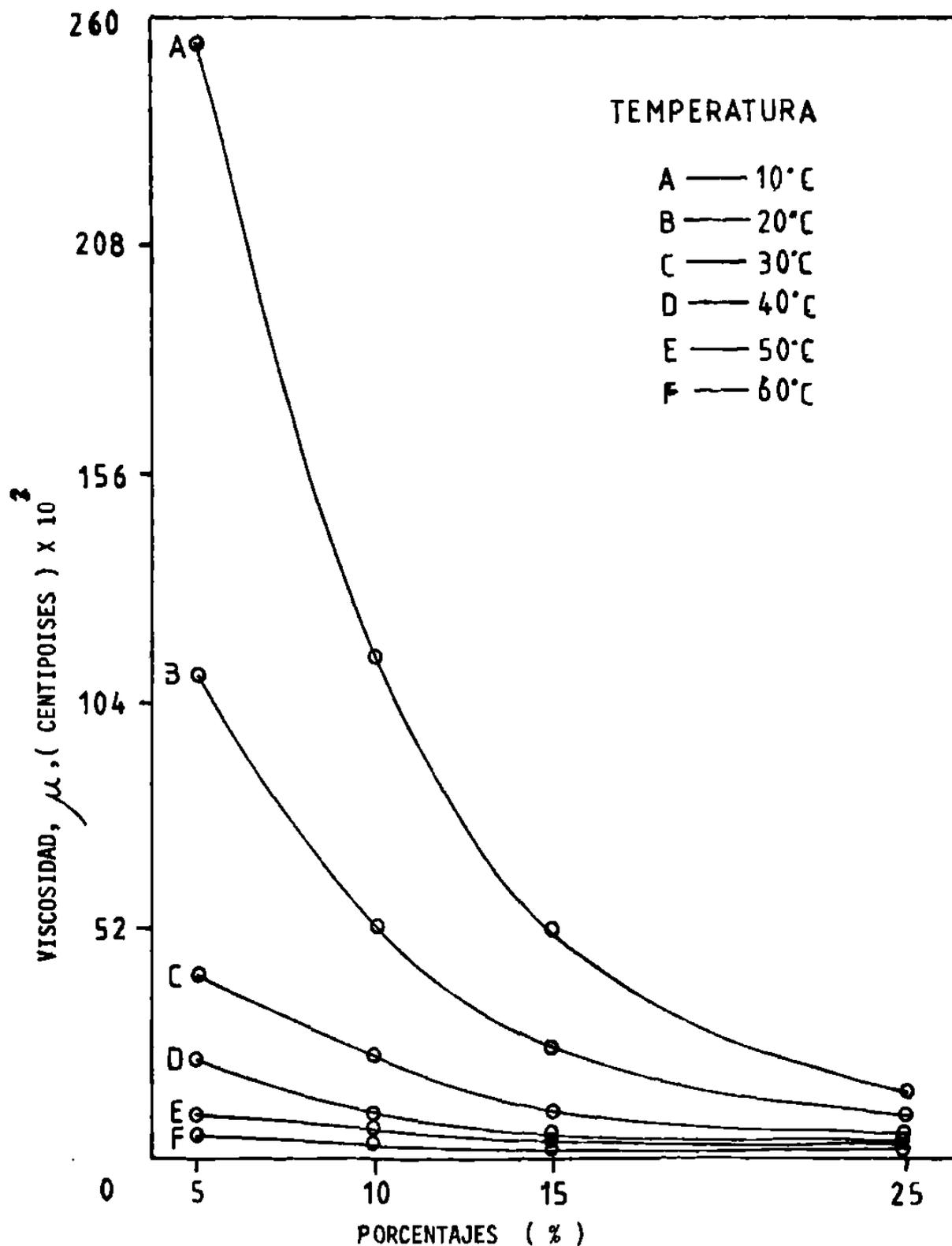


FIGURA 13 VISCOSIDAD DEL CRUDO PANUCO COMO FUNCION DEL PORCENTAJE (%), PARA LAS MEZCLAS EN SOLVENTE: KEROSINA

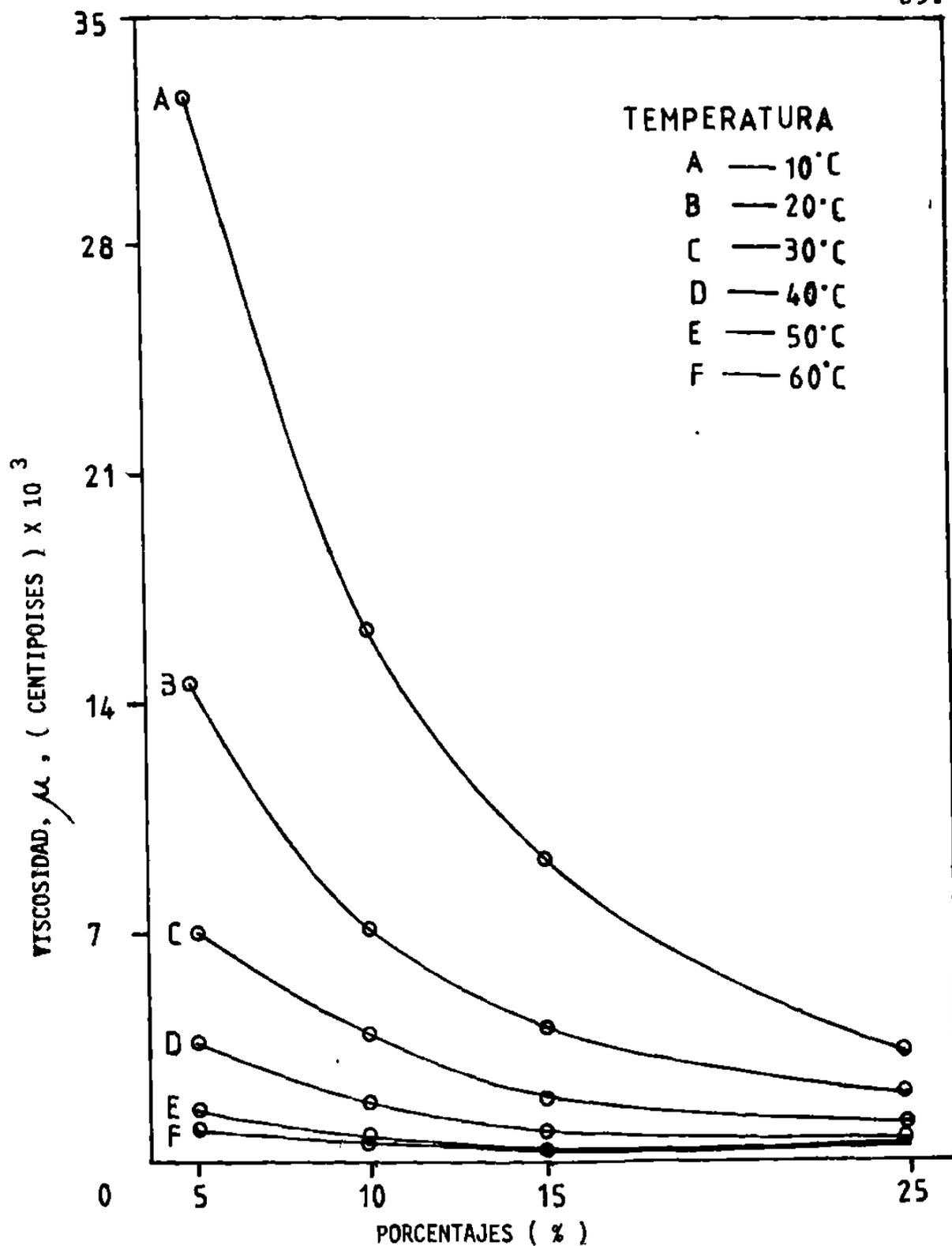


FIGURA 14 VISCOSIDAD DEL CRUDO PANUCO COMO FUNCION DEL PORCENTAJE (%), PARA LAS MEZCLAS EN SOLVENTE : GASOLEO LIGERO

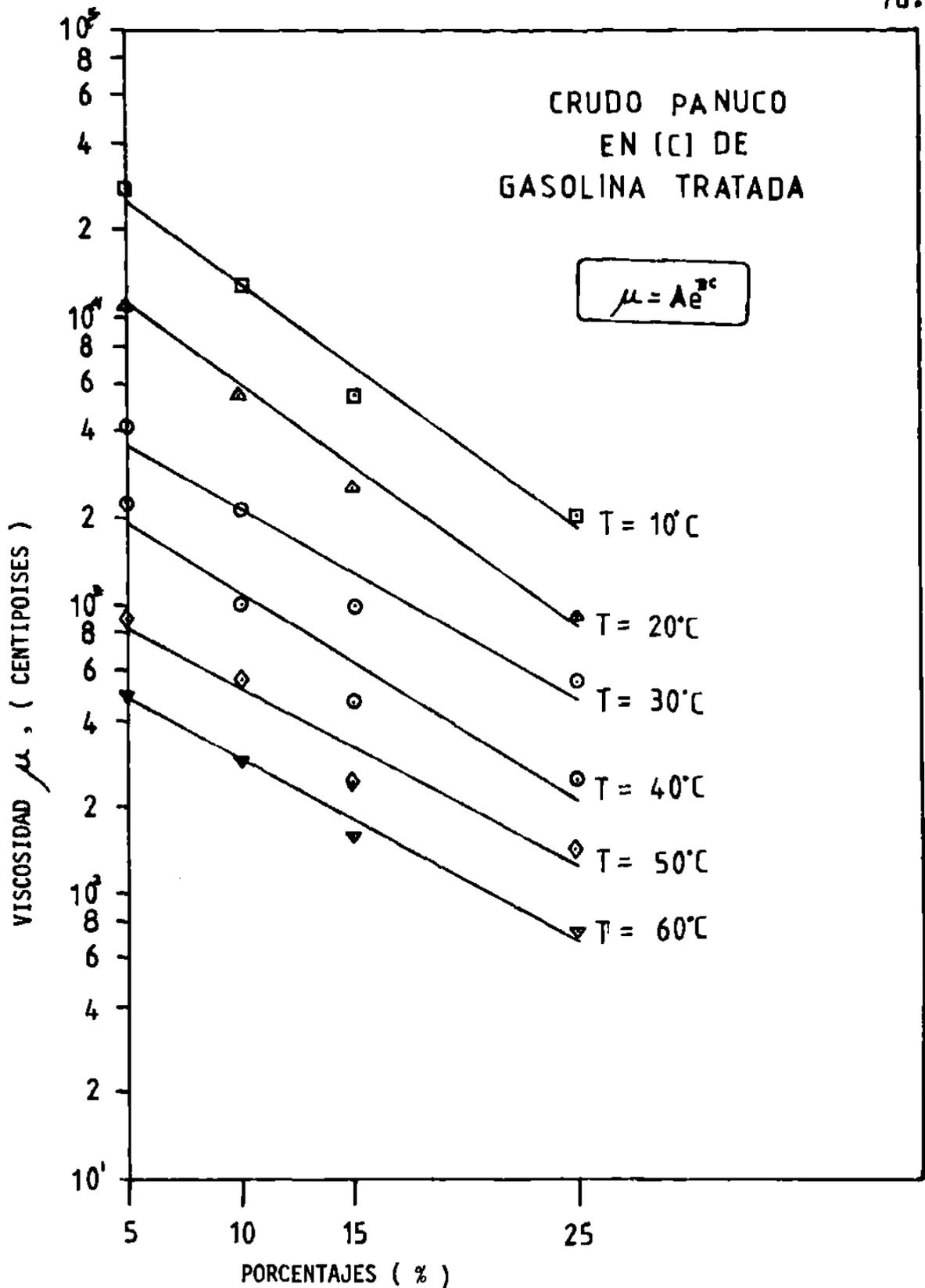


FIGURA 15 EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL SOLVENTE Y LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD EN EL CRUDO PANUCO

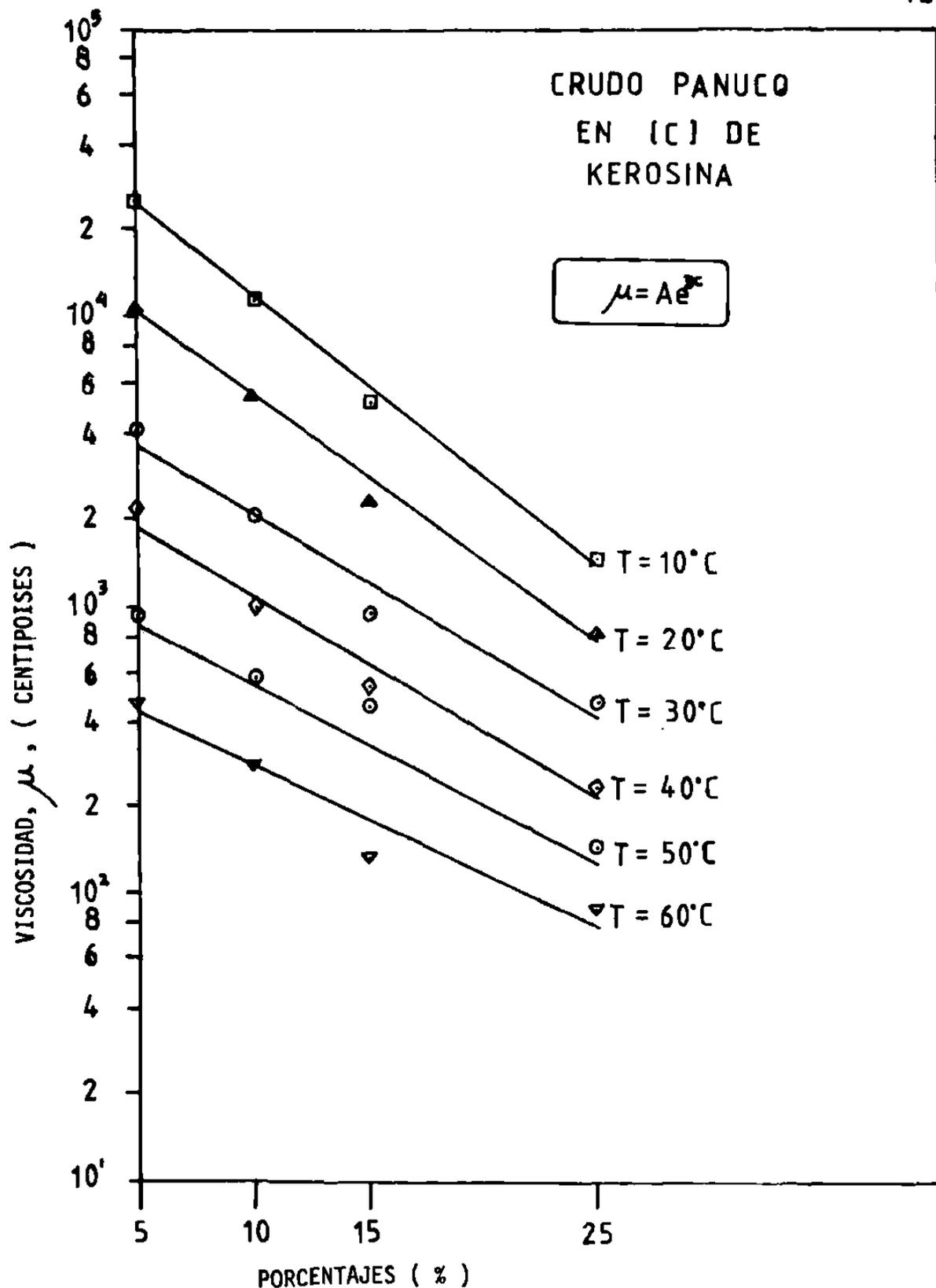


FIGURA 16 EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL SOLVENTE Y LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD EN EL CRUDO PANUCO

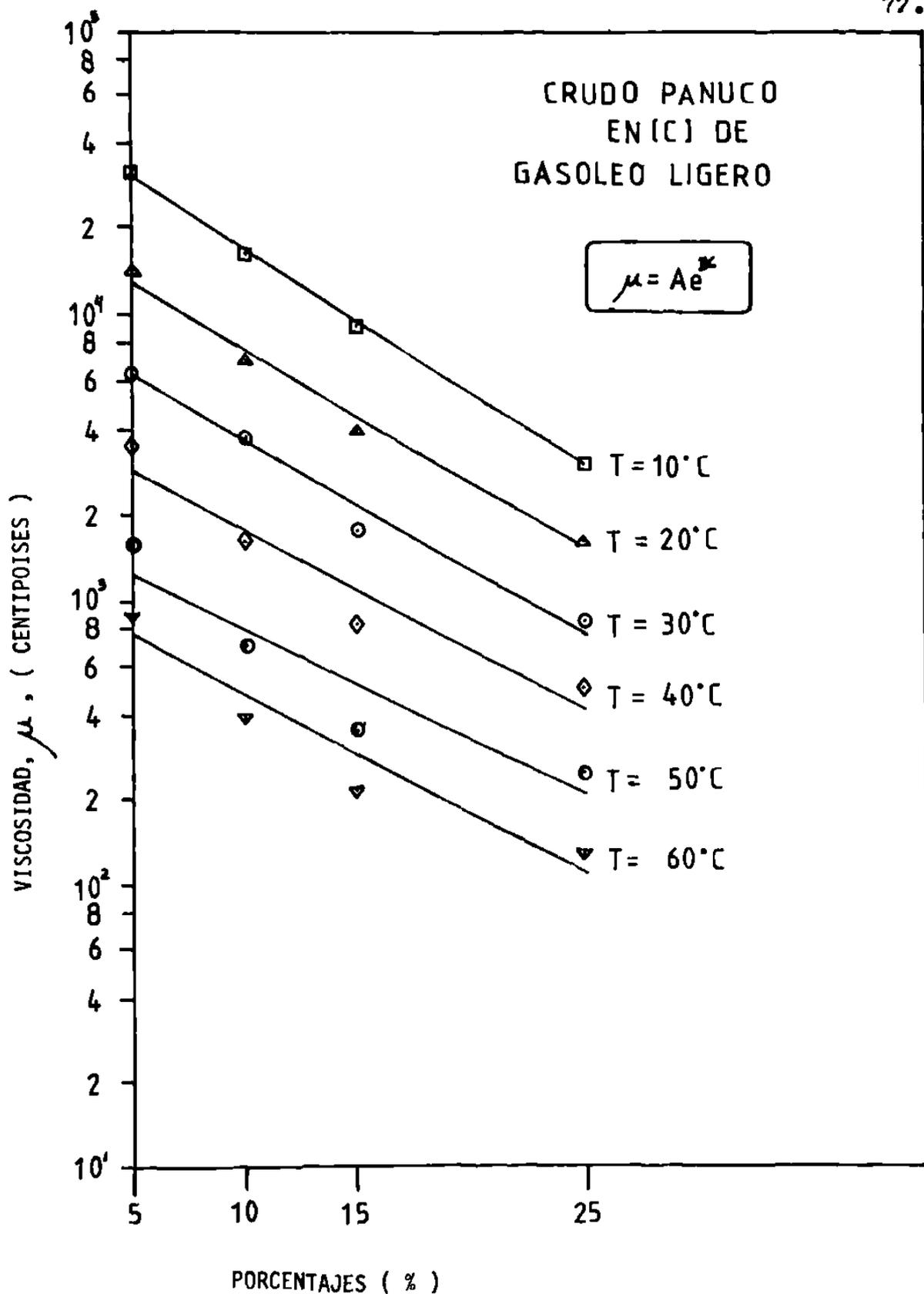


FIGURA 17 EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL SOLVENTE Y LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD EN EL CRUDO PANUCO

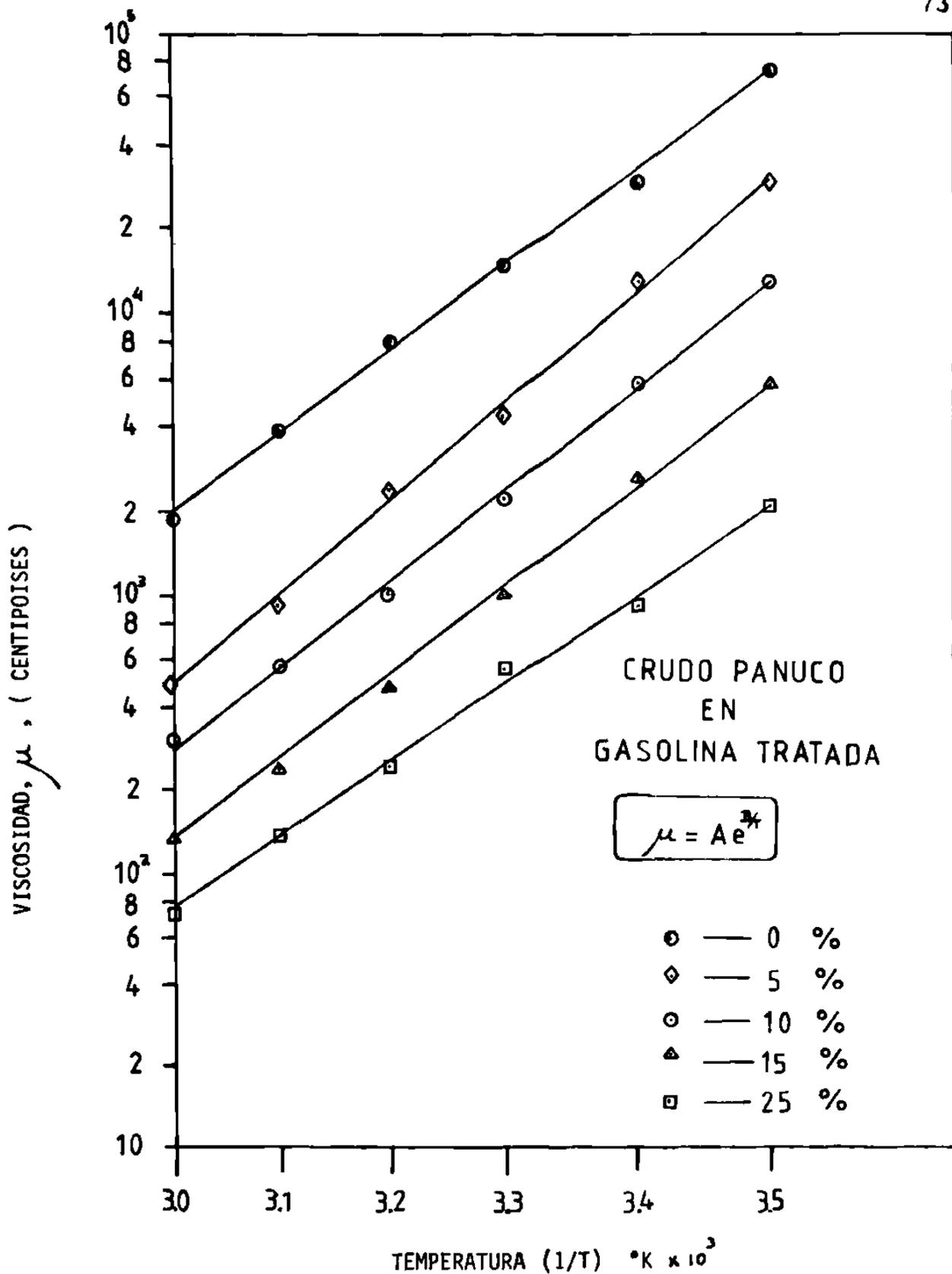


FIGURA 18 VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS CRUDO- GASOLINA TRATADA
COMO FUNCION DEL INVERSO DE LA TEMPERATURA ABSOLUTA. (°K)

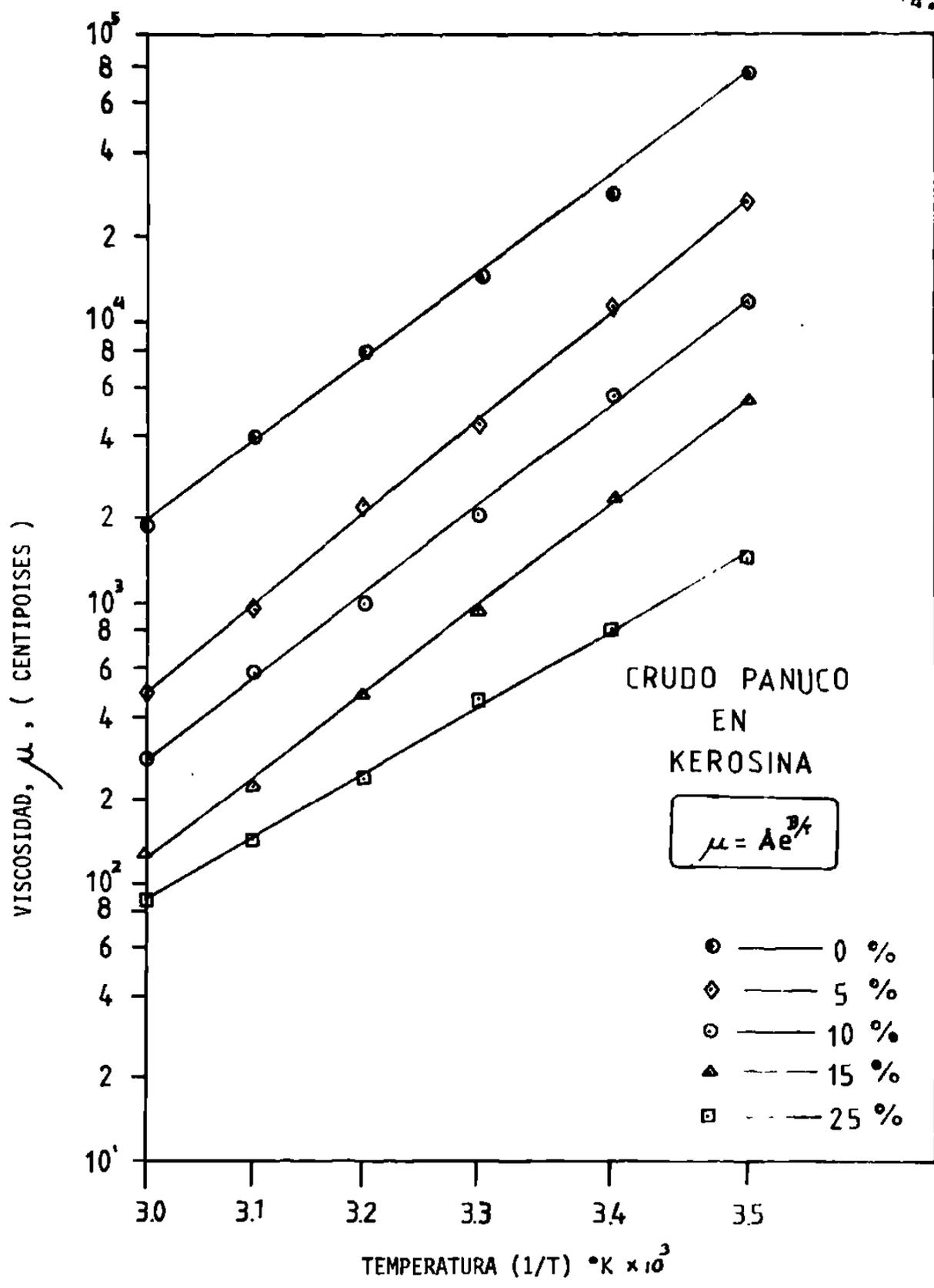


FIGURA 19 VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS CRUDO - KEROSINA COMO FUNCION DEL INVERSO DE LA TEMPERATURA ABSOLUTA (°K)

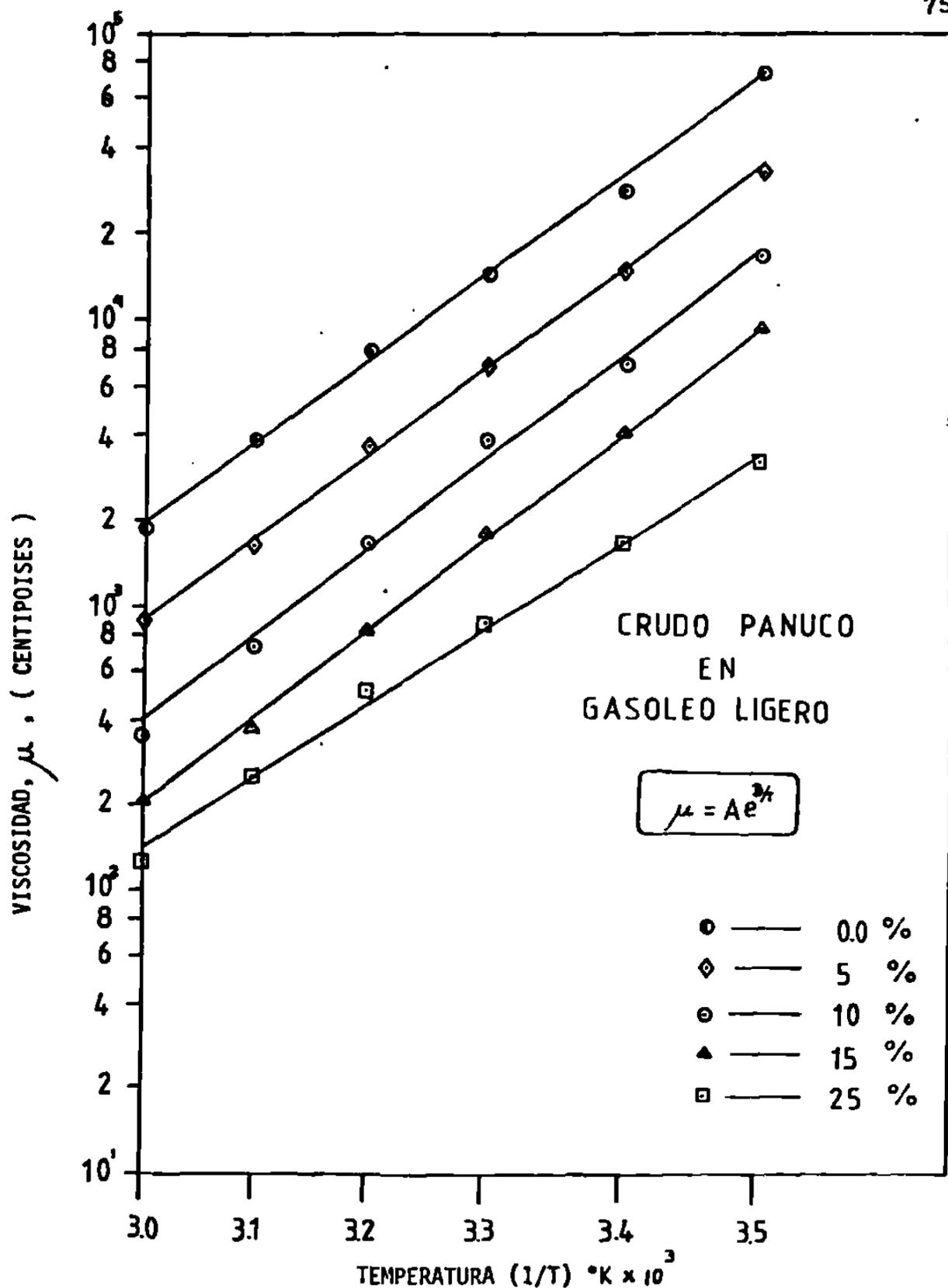


FIGURA 20 VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS CRUDO- GASOLEO LIGERO COMO FUNCION DEL INVERSO DE LA TEMPERATURA ABSOLUTA (°K)

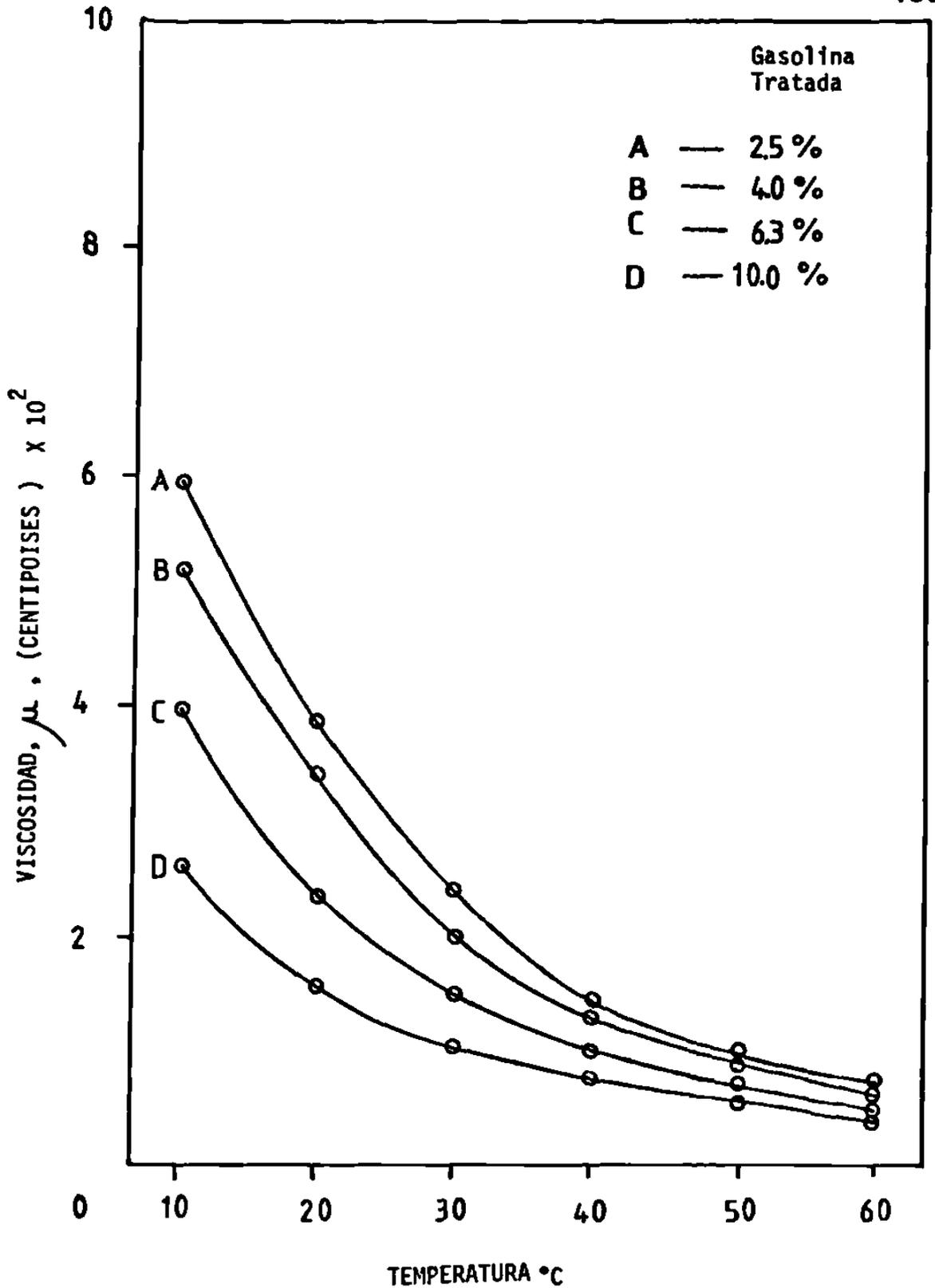


FIGURA 21 VISCOSIDAD COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA, PARA LAS MEZCLAS DEL CRUDO MAYA EN EL SOLVENTE: GASOLINA TRATADA

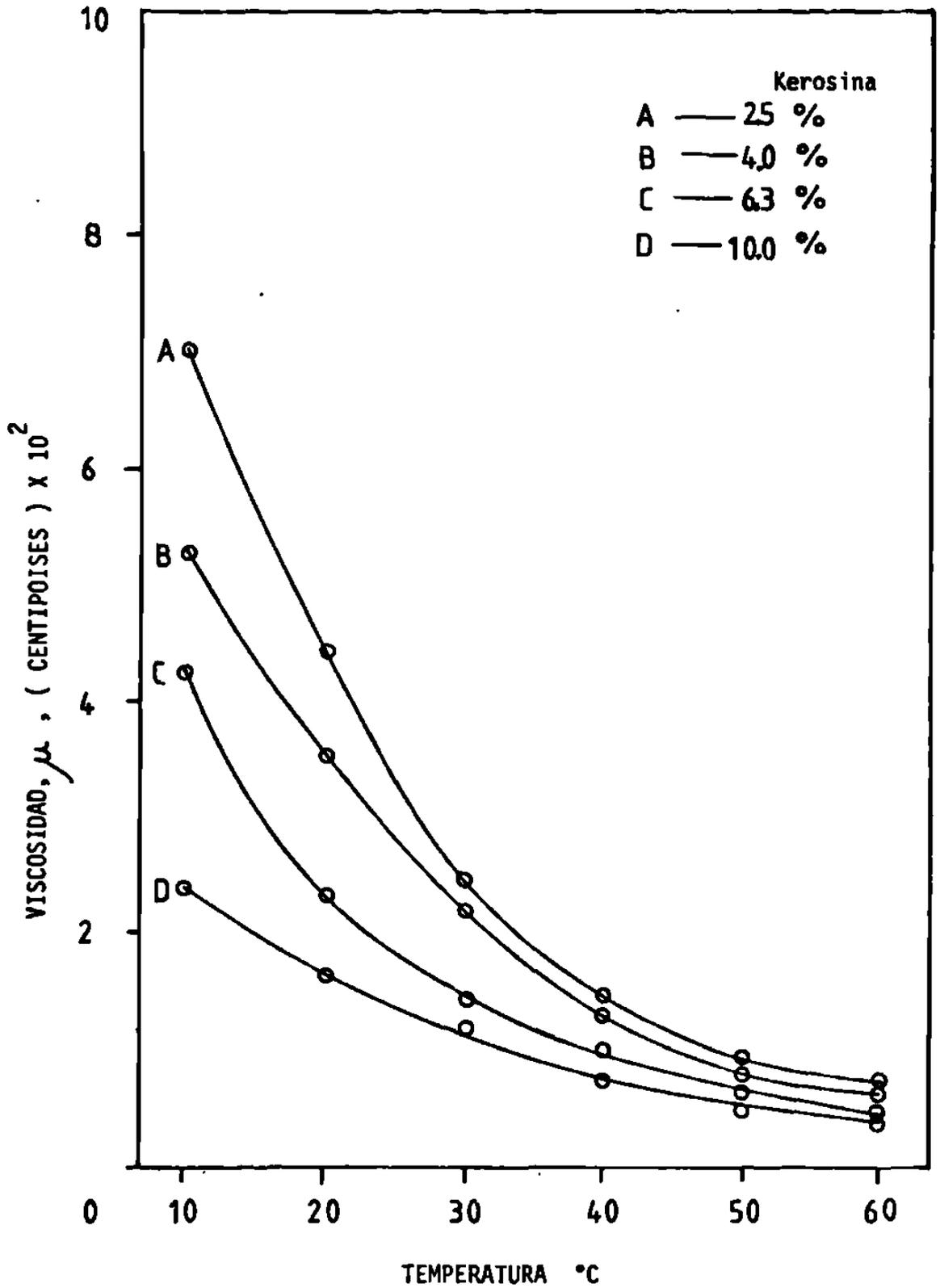


FIGURA 22 VISCOSIDAD COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA, PARA LAS MEZCLAS DEL CRUDO MAYA EN EL SOLVENTE: KEROSINA

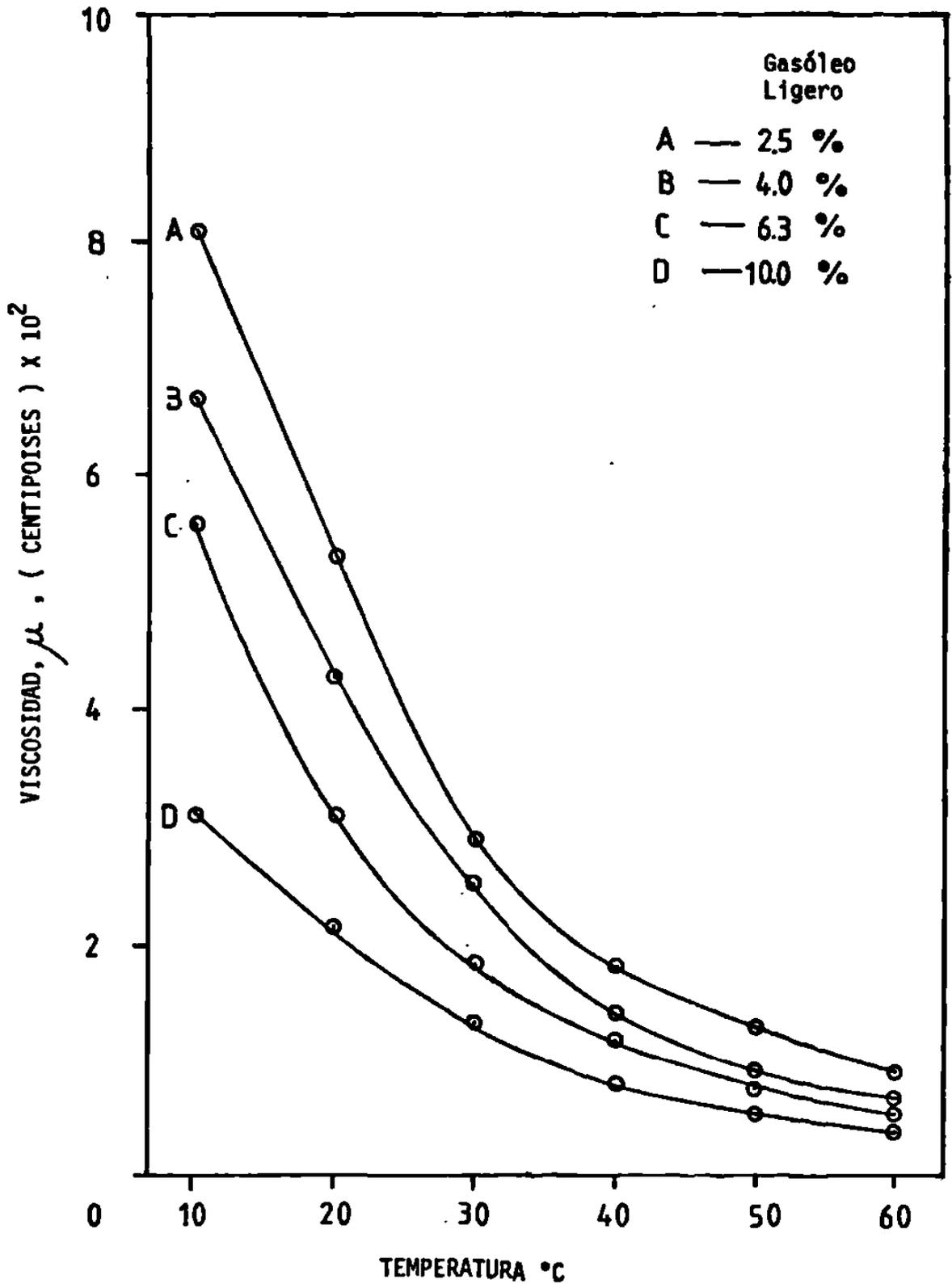


FIGURA 23 VISCOSIDAD COMO FUNCION DE LA TEMPERATURA, PARA LAS MEZCLAS DEL CRUDO MAYA EN EL SOLVENTE: GASOLEO LIGERO

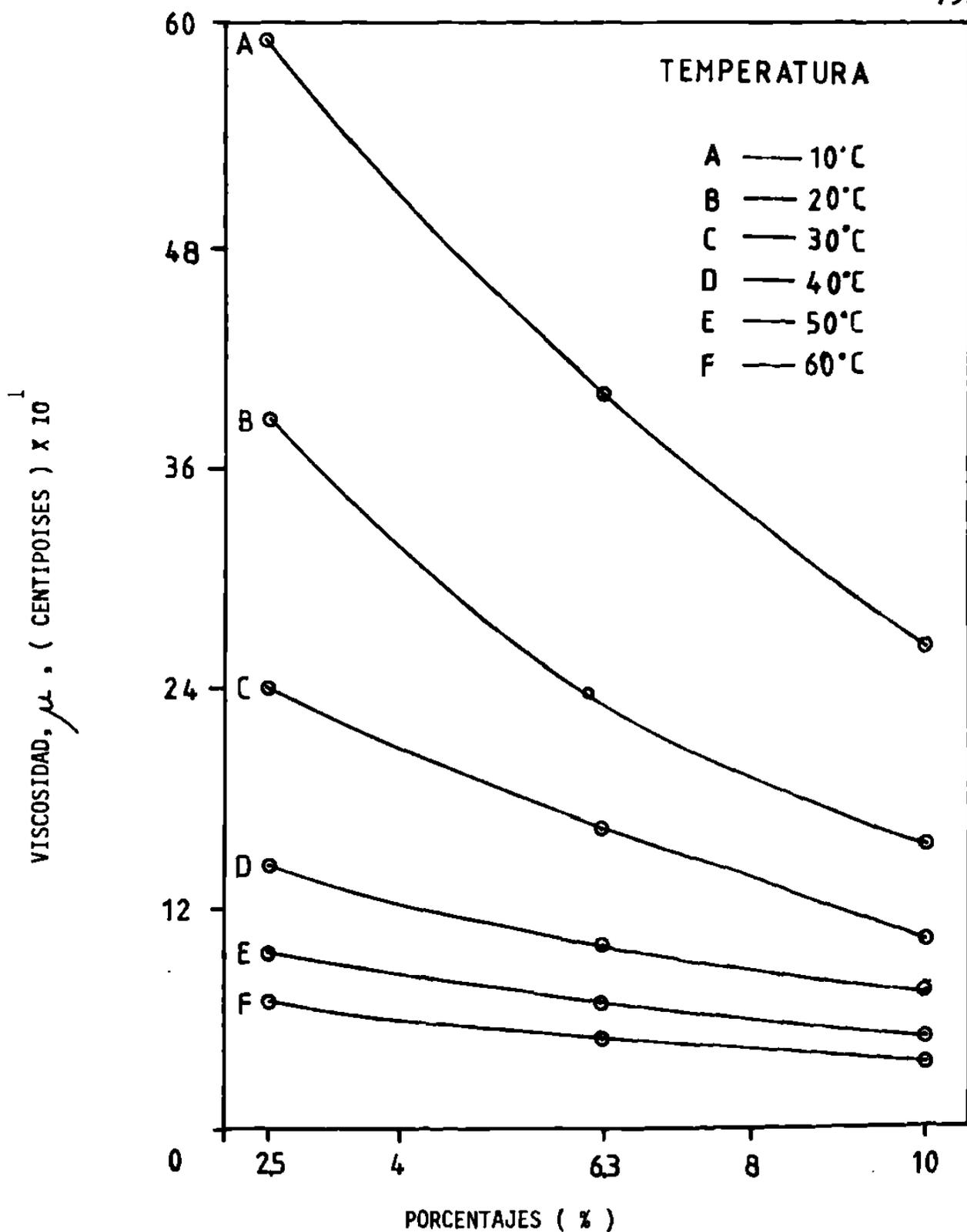


FIGURA 24 VISCOSIDAD DEL CRUDO MAYA COMO FUNCION DEL PORCENTAJE PARA LAS MEZCLAS EN SOLVENTE: GASOLINA TRATADA

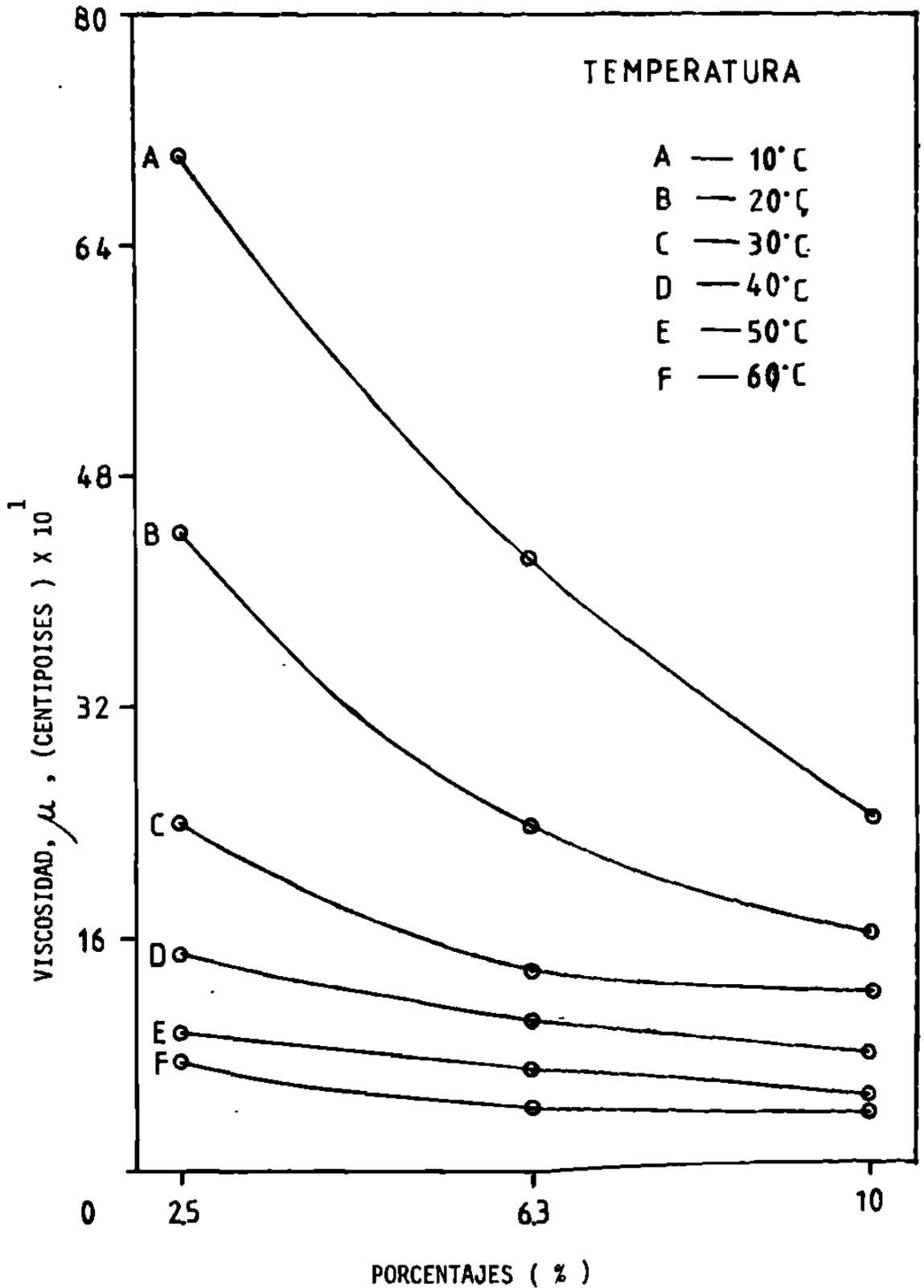


FIGURA 25 VISCOSIDAD DEL CRUDO MAYA COMO FUNCION DEL PORCENTAJE PARA LAS MEZCLAS EN SOLVENTE: KEROSINA

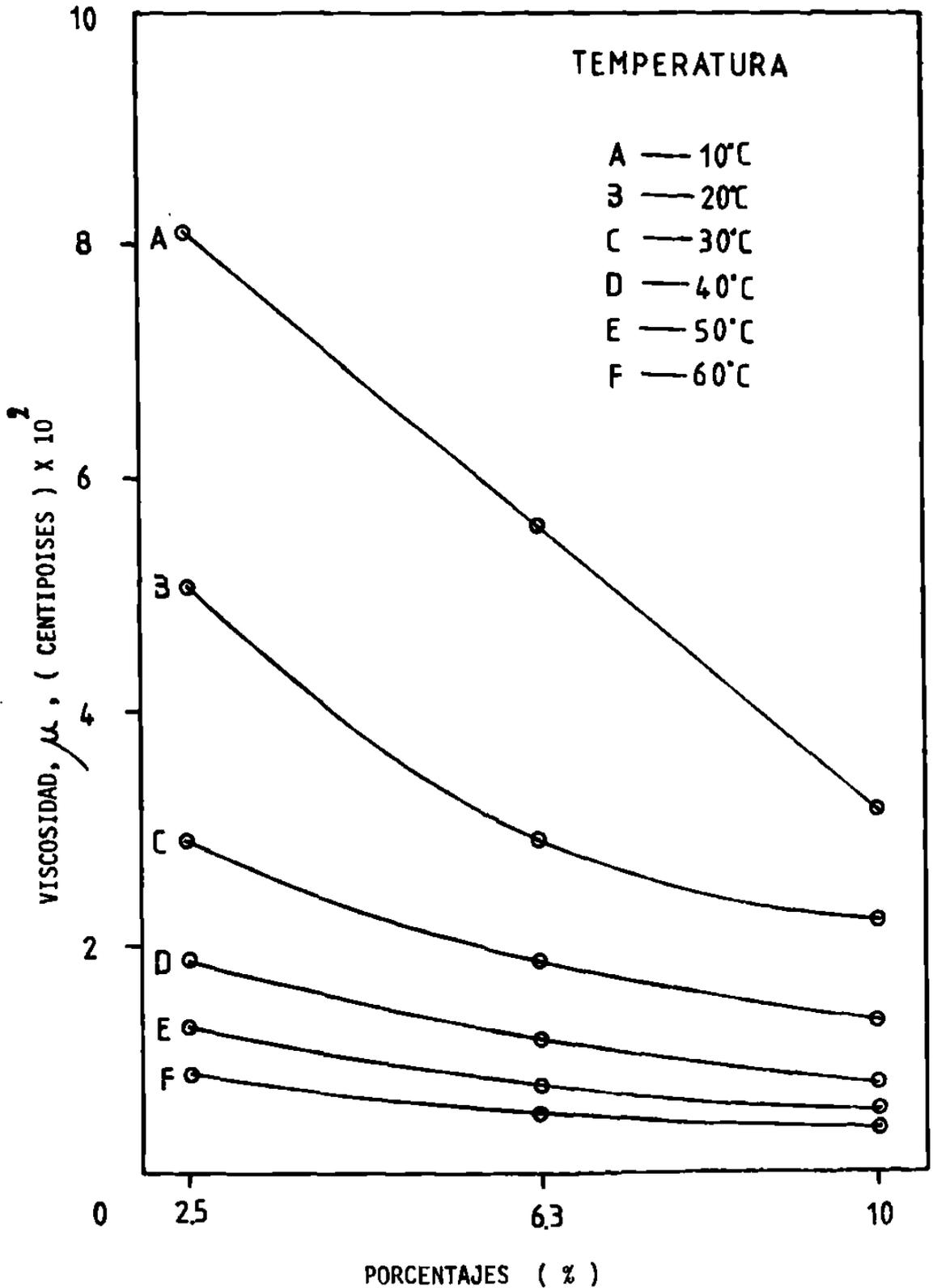


FIGURA 26 VISCOSIDAD DEL CRUDO MAYA COMO FUNCION DEL PORCENTAJE PARA LAS MEZCLAS EN SOLVENTE: GASOLEO LIGERO

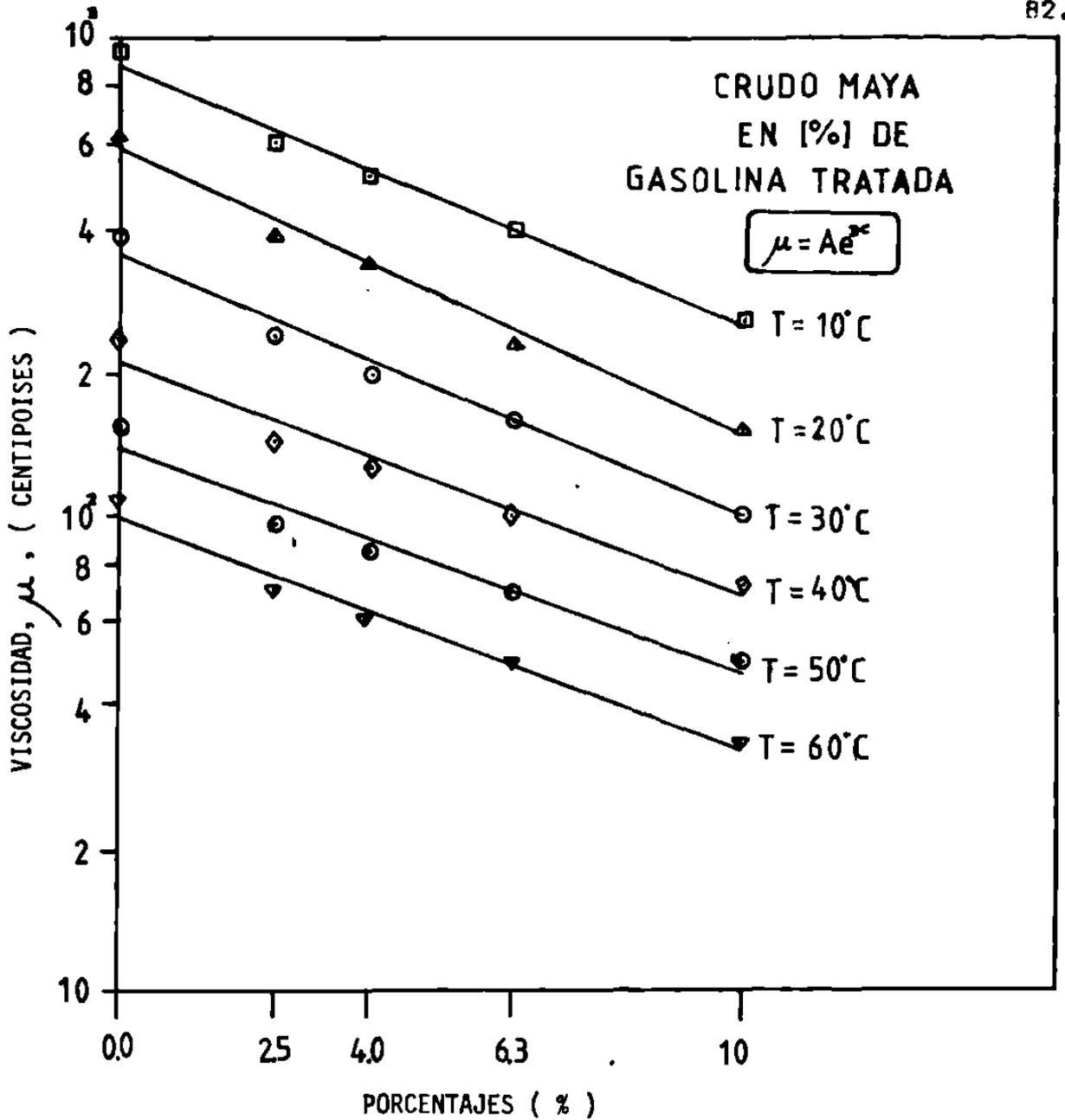


FIGURA 27 EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL SOLVENTE Y LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD EN EL CRUDO MAYA

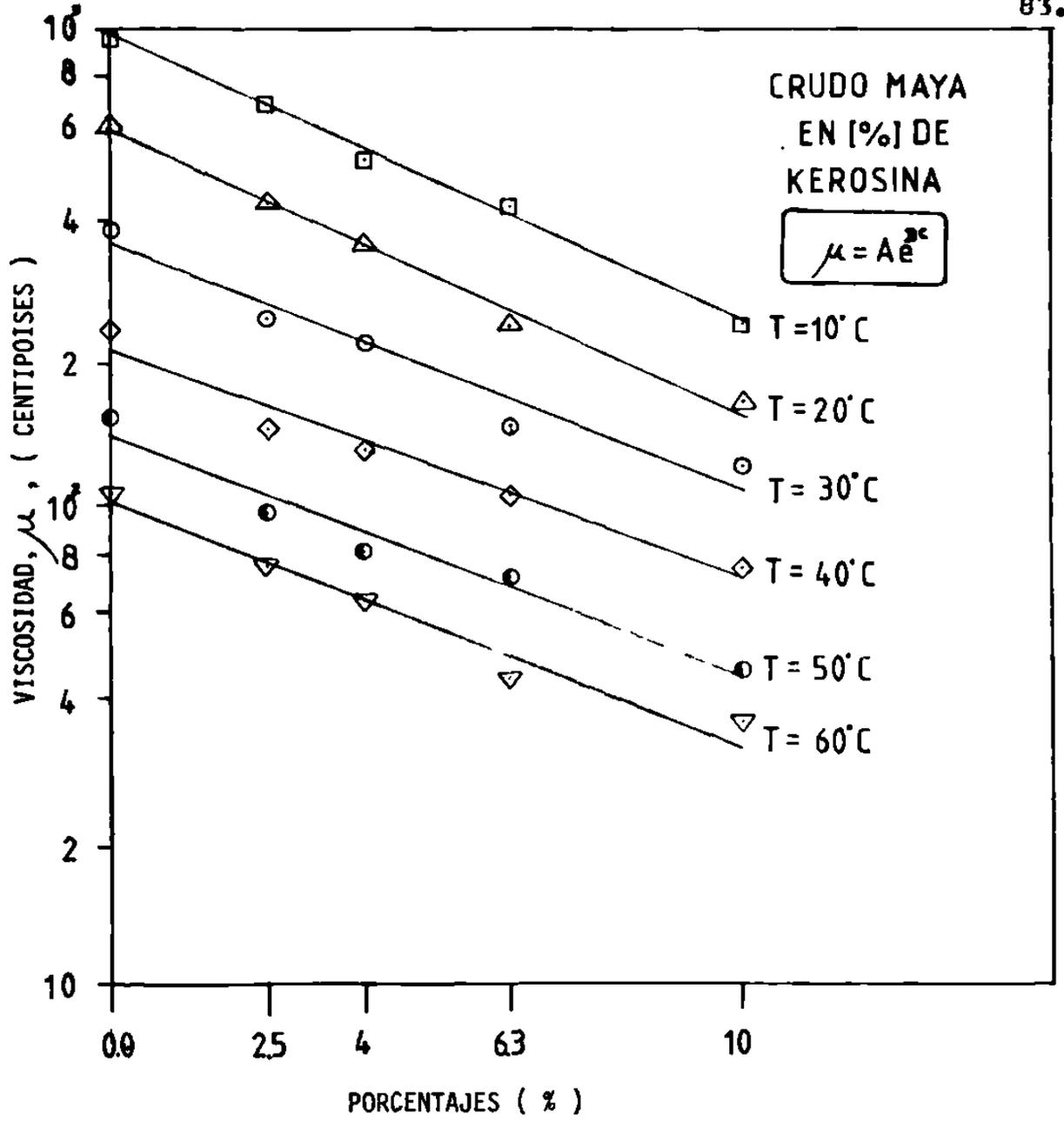


FIGURA 28 EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL SOLVENTE Y LA TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD EN EL CRUDO MAYA

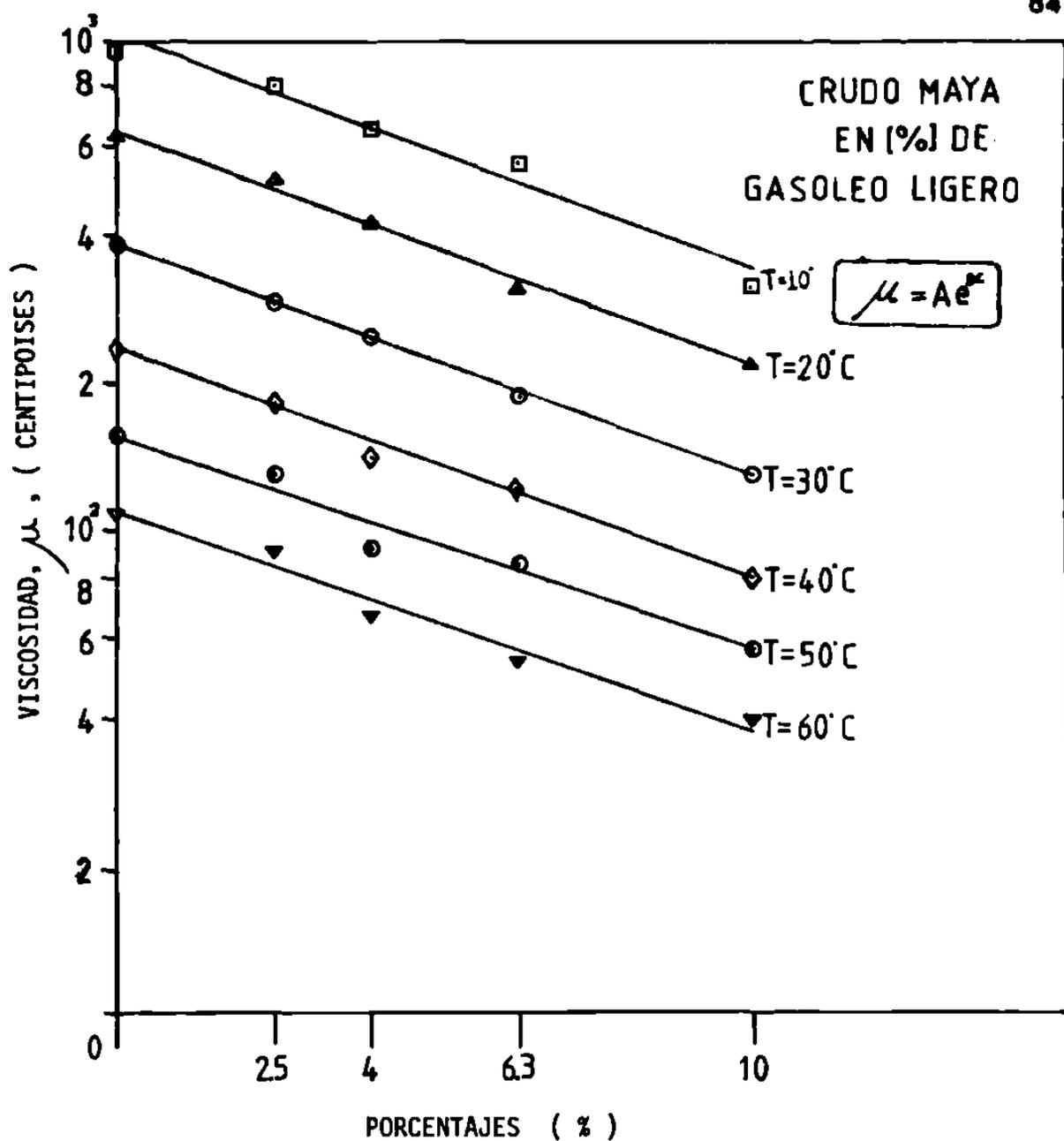


FIGURA 29 EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL SOLVENTE Y LA TEMPERATURA
SOBRE LA VISCOSIDAD EN EL CRUDO MAYA

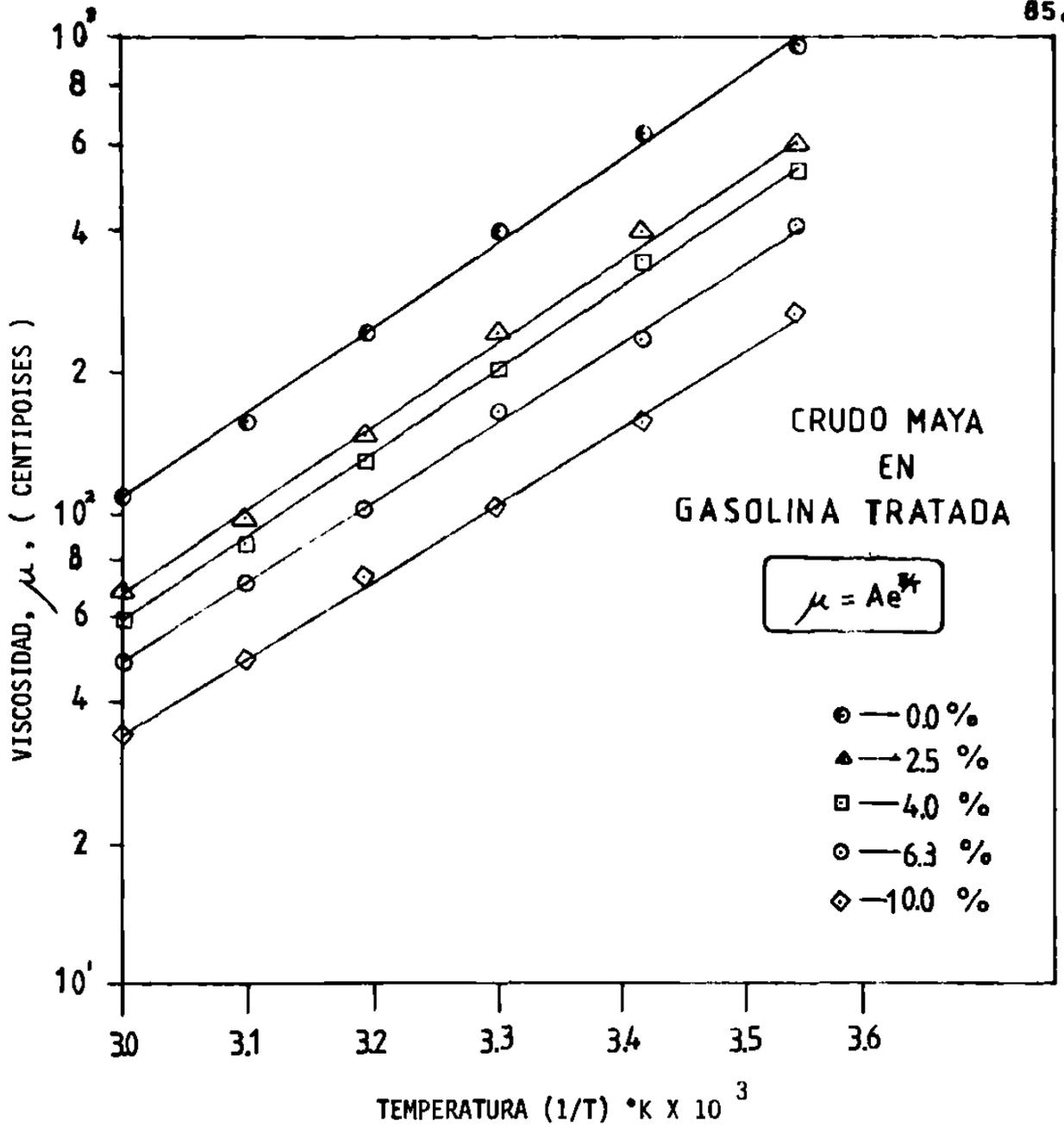


FIGURA 30 VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS CRUDO-GASOLINA TRATADA COMO FUNCION DEL INVERSO DE LA TEMPERATURA ABSOLUTA (°K)

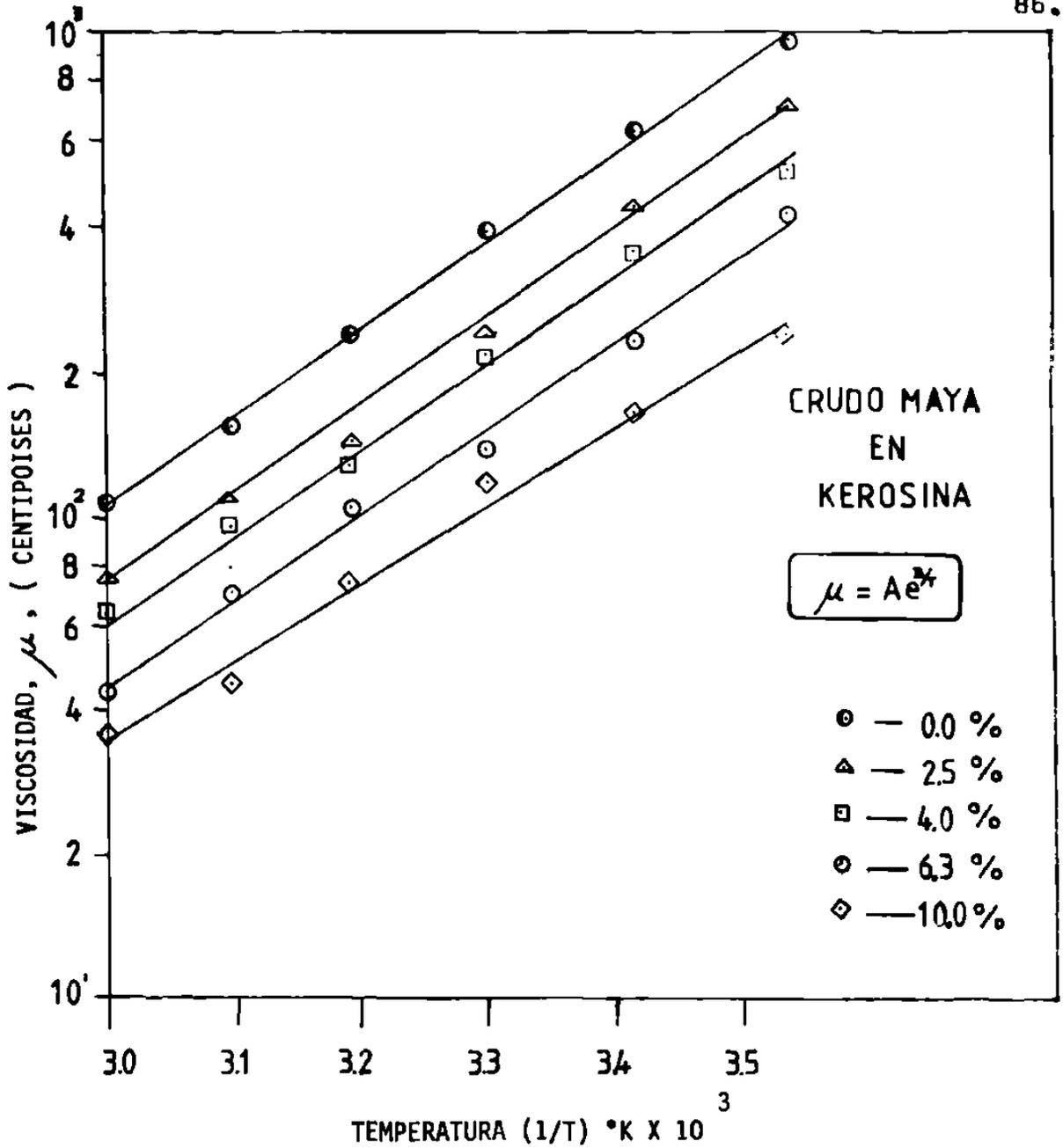


FIGURA 31 VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS CRUDO- KEROSINA COMO
FUNCION DE EL INVERSO DE LA TEMPERATURA ABSOLUTA (°K)

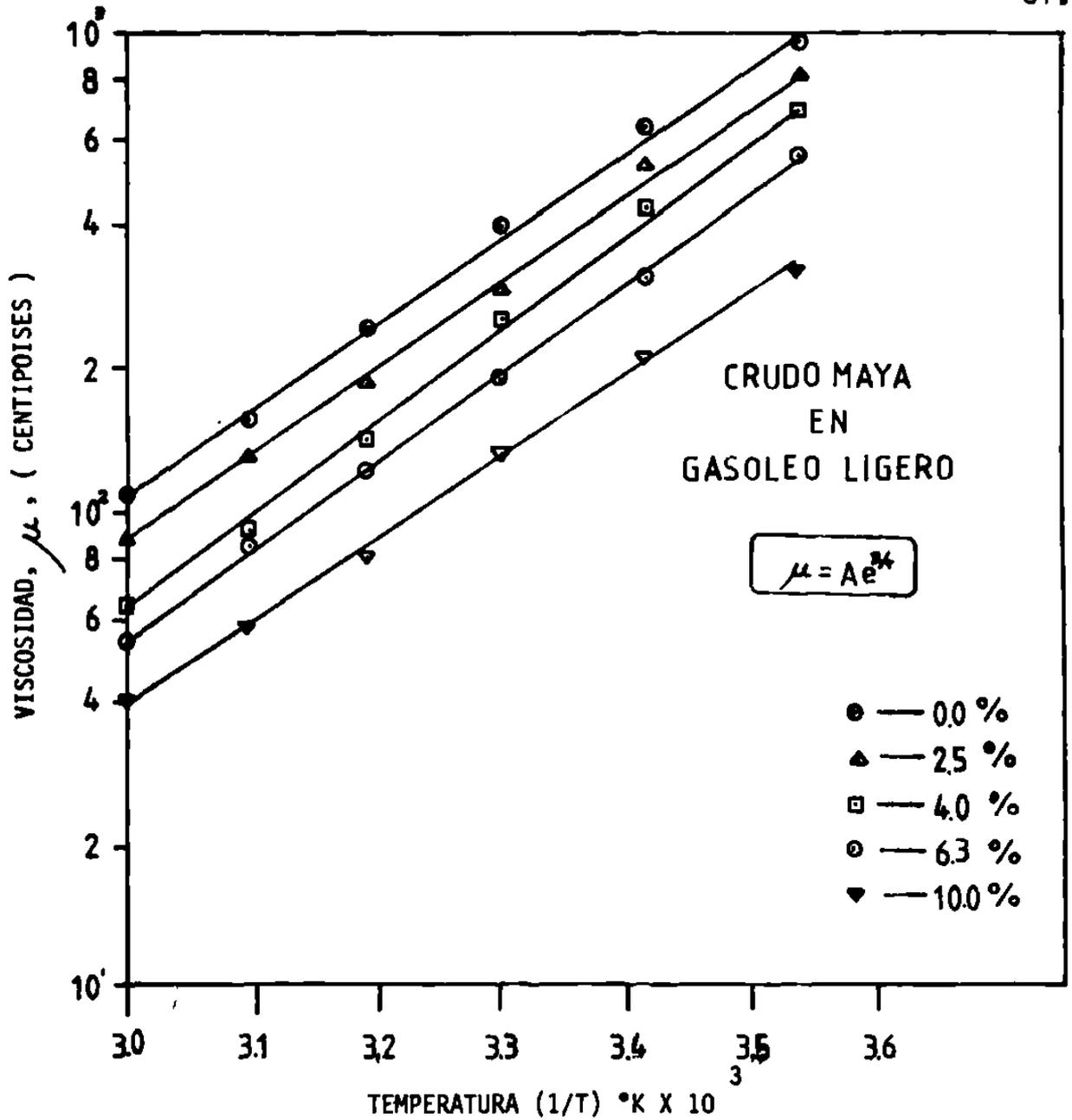


FIGURA 32 VISCOSIDAD DE LAS MEZCLAS CRUDO-GASOLEO LIGERO COMO FUNCION DE EL INVERSO DE LA TEMPERATURA ABSOLUTA (°K)

BIBLIOGRAFIA

1.- B.P. Tissot D.H. Welte "Petroleum Formation and - Occurrence". Springer-Verlag Berlín Heidelberg New York. - 1978.

2.- Arnold J. Hoiberg. "Bituminous Materials" volúmen I Interscience publishers 1964.

3.- Broockfield Engineering Laboratories. I.N.C. "Instruction Manual of the Broockfield Viscosimeter.

4.- Miscellaneous ASTM standars for Petroleum Products Thirteenth edition 1977.

5.- John M. Dealy. "Rheological properties of Oil -- Sand Bitumens". The Canadian Journal of Chemical Engineering. Number 6 december 1979.

6.- Joseph Lipka. Computaciones gráficas y mecánicas. 13a. impresión. C.E.C.S.A. 1961.

7.- René Berber G. "pruebas Físicas y químicas efec-- tuadas a los lodos de perforación". Ingeniería Petrolera. Enero 1964.

8.- Fisher Scientific Company. Instruction Manual --- Fisher Tensiomat: Supface modelo 21.

9.- Tablas para medir la gravedad API, publicadas por la ASTM. 1916 Race St. Philadelphia Pa. 19103.

10.- R. Byrón Bird. Warren E. Stewart. Edwin N. Lightfoot Fenomenos de transporte. Editorial Reverté 1965.

11.- Solutions to Sticky Problems. Broockfield Engineering Laboratories. I.N.C. 140 Cushing street stoughton - Massacusetts.

12.- El petróleo en México y en el Mundo. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. 1979. Ciencia y Desarrollo

13.- Ingeniería de Producción del Petróleo. Lester C. Uren C.E.C.S.A. 1965.

14.- Poulet M., Roucaché J. Advances in Organic Geochemistry London: pergamon Press, 1970, pág. 155-179.

15.- Castex, H. Rev. Inst. Fr. Pét. 29, 3-40. 1974.

16.- Oudin, J.L. Rev Inst. Fr. Pét. 25, 3-15. 1970.

17.- Sherman D. Emulsion Science, Academic Press Inc. New York 1968.

NOMENCLATURA

<u>Símbolo</u>	<u>Significado</u>
R.P.M.	Revoluciones por minuto.
A.P.I.	American Petroleum Institute.
A.S.T.M.	American Society Testing Materials.
I.M.P.	Instituto Mexicano del Petróleo.
R.V.T.	Modelo del Viscosímetro.
L.V.T.	Modelo del Viscosímetro .
cps.	Centipoises.
°C	Grados centígrados.
°K	Grados Kelvin.
% var	Porcentaje de variación.
Ae ^{B/T}	Ecuación exponencial.
Ae ^{BC}	Ecuación exponencial.
T	Temperatura.
C	Concentración.
B	Constante.

**PAC. CIENCIAS
QUIMICAS**



**DIVISION ESTUDIOS
SUPERIORES BIBLIOTECA**

