

# El aceite de ricino como lubricante

Por A. MORA AGUÉS

y S. MEDINA CASTELLANOS

## I.—Estudio químico de la estabilidad.

La bondad de un lubricante viene determinada por diversos factores, de los cuales seguramente la viscosidad, untuosidad y resistencia al "envejecimiento" son los que tienen un mayor valor de utilización.

Si se consideran varios lubricantes cuyas viscosidades sean idénticas, no siempre se obtienen los mismos resultados prácticos en el engrase, pues además de poseer la viscosidad necesaria es preciso que los lubricantes sean capaces de formar sobre las superficies engrasadas una película que ofrezca elevada resistencia a la rotura por presión mecánica y que disminuya lo más posible el coeficiente de frotamiento entre las dos superficies en fricción. La facultad de formar esta película, y las características de la misma, determinan la untuosidad del lubricante, cuyo estudio constituye uno de los problemas más importantes del engrase racional.

Según los diversos estudios realizados sobre el problema, parece ser que la untuosidad depende especialmente de la orientación de las moléculas del aceite en contacto con la pared metálica y en su inmediata proximidad. Al extender un líquido en película delgada sobre una superficie, las moléculas del mismo no se orientan de igual manera, ya que, como es bien conocido, aun cuando las moléculas contienen el mismo número de cargas positivas que negativas, lo que da un conjunto eléctricamente neutro, algunas de ellas ofrecen una distribución disimétrica de las cargas, debido a la presencia de determinados grupos atómicos o funciones químicas, ofreciendo un momento eléctrico permanente.

Y son precisamente estas moléculas polares o activas las que con mayor intensidad se adhieren a las superficies metálicas, orientándose en una forma determinada de modo que las capas de moléculas así dispuestas ofrecen una menor resistencia al deslizamiento.

Los grupos activos (que ocasionan la polaridad y, por tanto, la orientación de las moléculas) que más nos interesa considerar aquí, son: los dobles enlaces, los grupos ácidos (COOH), ester (COO-R), exhidrilo (OH), etc.

La presencia de los dobles enlaces en los componentes de los lubricantes tiene el grave inconveniente de la facilidad de reacción de aquéllos, que se traduce, desde el punto de vista de la utilización, en la rápida formación de asfaltos (cuerpos resultantes de la polimerización), que obligan a la revisión frecuente del motor y al cambio de lubricante. Por este motivo los aceites minerales se someten a tratamientos químicos enérgicos que eliminan los enlaces dobles y triples, con lo que se sacrifica parte de la untuosidad para lograr una mayor estabilidad al uso, principal ventaja de los lubricantes minerales.

Los aceites vegetales poseen, en general, gran untuosidad, debido a contener en su molécula varios grupos activos, si bien presentan el grave inconveniente de un rápido "envejecimiento", caracterizado principalmente por la formación en gran escala de compuestos asfálticos y el aumento de acidez.

## El aceite de ricino como lubricante.

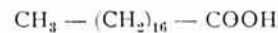
Desde hace muchos años se utilizó casi con exclusividad el aceite de ricino como lubricante de los motores de Aviación, por considerarse que este aceite reunía unas cualidades lubricantes excepcionales. La técnica petrolífera logró su desplazamiento por diversas razones, especialmente de índole económica, y también técnica, al lograrse la obtención de aceites

lubricantes minerales de gran estabilidad y bastante untuosos, si bien la untuosidad no llegó nunca a los valores del aceite de ricino.

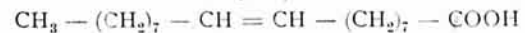
Aparte de las ventajas mencionadas, este lubricante posee, para nuestro Ejército del Aire, la de ser de fácil producción en España, lo que ha de permitir en su día disponer de este producto en la cantidad necesaria, resolviéndose de esta forma el aprovisionamiento de lubricantes de Aviación en forma mucho más rápida e inmediata de la que podría esperarse de origen minera.

Como ya hemos indicado, el aceite de ricino tiene una untuosidad elevada debida a su composición, en la que entran fundamentalmente gliceridos de diversos ácidos, todos los cuales presentan uno o varios grupos activos de los citados anteriormente:

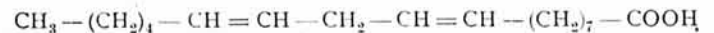
Acido esteárico:



Acido oleico:



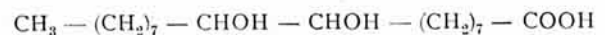
Acido linoleico:



Acido ricinoleico:



Acido dioxiesteárico:



Pero la misma constitución del ricino es causa al propio tiempo de una cierta inestabilidad del producto, pues si bien el envejecimiento del aceite sustraído en lo posible a la acción del calor, aire, luz y humedad es imperceptible, si se somete a la acción catalítica de los metales, del aire, la luz y, sobre todo, del calor, el envejecimiento es muy rápido y bien marcado.

En los motores, donde el aceite adquiere, localmente al menos, temperaturas muy elevadas, y se encuentra además en contacto permanente con superficies metálicas, sometido también a la acción del aire, sufre transformaciones que lo hacen inadecuado para la acción lubricante al cabo de cierto tiempo.

Los fenómenos de envejecimiento han sido estudiados con gran detalle por diversos investigadores, ya que se presentan en muy diversos problemas técnicos, entre los que merecen citarse especialmente las gasolinas de "cracking", grasas y aceites naturales para usos alimenticios, aguarrás, aceites secantes, etc. En todos estos casos se ha utilizado, para aminorar en lo posible el envejecimiento, la adición de diversos cuerpos llamados "inhibidores" o "antioxígenos" (1), que en muy pequeñas cantidades impiden, o al menos aminoran considerablemente, la acción oxidante del aire u oxígeno, habiéndose obtenido resultados prácticos muy interesantes.

**Parte bibliográfica.**

De los muy numerosos estudios realizados acerca de inhibidores, y que han servido de base a nuestro trabajo, citaremos los más importantes:

O. Smith y R. E. Wood (2), al estudiar la acción oxidante del aire sobre los aceites de algodón y ácido oleico a altas temperaturas, comprobaron la acción antioxidante de las aminas, fenoles y reductores básicos.

Egloff, Morrell y Faragher (3) han estudiado un cierto número de inhibidores para proteger las gasolinas y evitar la formación de gomas y la disminución índice de octano.

Flood, Hladky y Edger (4) demostraron la acción de los inhibidores sobre los hidrocarburos puros.

Mardles y Moss (5) comprobaron que la formación de gomas en las gasolinas se retarda por la presencia de fenol, timol y otras sustancias.

Wagner y Hyman (6) indican lo mismo respecto de la hidroquinona.

Según Hoffert y Claxton (7), diversos fenoles, aminas, compuestos nitrados, piridina y, especialmente, el tricresol, resultan excelentes inhibidores de la formación de gomas en el benzol para motores.

Egloff, Morrell y Lowry (8) estudian la acción de diversos inhibidores sobre la formación de gomas en las gasolinas de "cracking", observando que todos los compuestos con acción inhibidora bien marcada contienen grupos fenólicos o aminas aromáticas. Los compuestos con uno sólo de estos grupos poseen sólo un pequeño poder inhibitor. Los compuestos que resultan más activos contienen algunos de los siguientes agrupamientos: más de un grupo fenólico o amínico, un solo grupo fenólico y un grupo amínico; un solo grupo fenólico o un solo grupo amina aromático, juntamente con uno o más grupos alcohólicos u otros grupos modificados; un grupo amínico aromático secundario. Los grupos modificados en las aminas y fenoles resultan más activos en las posiciones orto y para. Algunos compuestos de otros tipos: nitrocompuestos, compuestos halogenados, éteres, etc., resultan activos cuando contienen algún grupo hidroxílico o amínico.

De los estudios referentes, especialmente al problema que aquí nos ocupa, pueden citarse, entre otros, los siguientes:

B. Yamaguchi (9) estudia la variación de diversas constantes, ocasionada por la oxidación con aire de un aceite de rici-

no calentado a 80, 100 y 120° C, investigando el propio tiempo la acción inhibitora de la difenilhidracina y alfa-naftilamina. Como resultados de su trabajo encuentra que el mejor criterio para la medida del envejecimiento es la consideración del índice de iodo, y que el aumento de la concentración de inhibidor ocasiona un aumento de la acción antioxidante.

Este trabajo resulta excesivamente científico, careciendo, a nuestro juicio, de la orientación práctica necesaria para el fin que nos proponemos.

M. Roy (10) realiza una serie de ensayos de oxidación del aceite de ricino por aire y oxígeno, a temperaturas y en condiciones diversas, y ensaya también el empleo de un gran número de inhibidores, sin obtener resultados concordantes ni dar conclusiones concretas debido, a nuestro juicio, tal vez a la falta de plan sistemático que se observa en el trabajo.

M. Freund y S. Thamm (11) estudian la acción de diversos inhibidores sobre la oxidación de diversos aceites vegetales y mezcla de éstos con minerales, realizando primeramente ensayos de Laboratorio con aceite de ricino puro, calentándolo cinco horas a 200° C, y con diversas mezclas, y posteriormente ensayos de oxidación sobre motor con mezclas de aceites de colza ricino y mineral con y sin inhibidores, deduciendo que el comportamiento de los aceites adicionados de inhibidores es mucho más favorable que el de los aceites sin adición.

Este trabajo tiene una orientación bastante práctica, si bien el estudio referente al ricino es muy poco completo, ya que los ensayos de Laboratorio se limitan a un solo ensayo durante un período no muy largo, y no se realizan ensayos con ricino puro en el motor.

En el ensayo (12) de diferentes alcoholes, fenoles y aminas, como antioxidantes del aceite de ricino, se ha deducido que existen sustancias con las funciones químicas citadas, que actúan como catalizadores de la oxidación (por ejemplo, el p-tiocresol), mientras otras actúan como inhibidores. El mejor inhibidor, a juicio del autor, es el pirogalol.

Este trabajo, a nuestro juicio, es un estudio bastante completo en lo que se refiere a la acción de los diversos inhibidores, pero creemos que en un proceso tan complejo como el de envejecimiento del ricino debe estudiarse más de una sola constante (acidez en este caso) si se quiere tener un criterio más seguro. Tampoco en este trabajo hay una orientación hacia la utilización práctica.

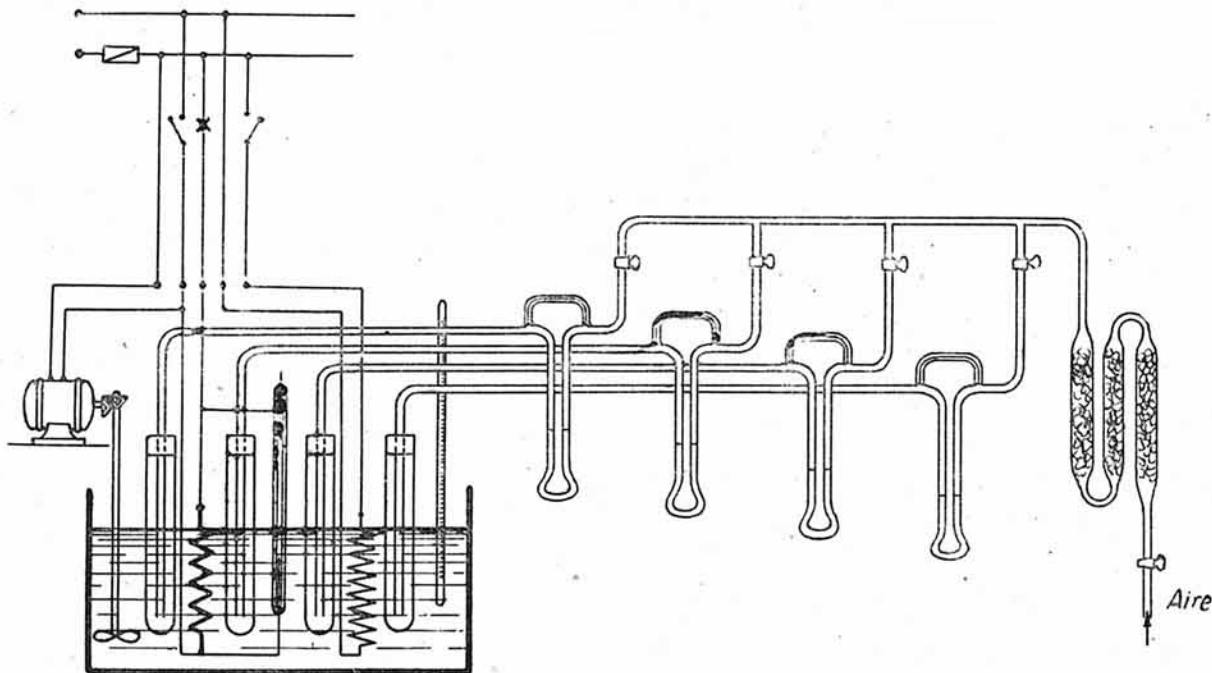


Figura 1.

**Parte experimental.**

El problema que nos proponemos estudiar no es absolutamente original, desde el punto de vista científico, sin desde luego no propuesto, sino que está orientado en especial a obtener criterios bien fijados acerca de la utilización del aceite de ricino, solo y adicionado de diversos inhibidores de fácil adquisición, basándose no sólo en los resultados químicos de Laboratorio, sino estudiando también su comportamiento en el motor para poder relacionar las variaciones químicas con la pérdida de eficacia lubricante.

En todos los trabajos realizados hasta la fecha, de los que hemos mencionado anteriormente los más importantes, se nota una falta evidente de orientación práctica, y ninguno constituye un estudio conjunto y comparativo del aceite de ricino en sus dos aspectos químico y lubricante.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, en nuestro plan de trabajo hemos establecido dos partes, la primera de las cuales se refiere al conocimiento de la variación de las características del aceite en el envejecimiento artificial en condiciones bien conocidas, con y sin adición de inhibidores, y en segundo lugar estudiaremos el comportamiento del mismo aceite de ricino, con y sin inhibidores, sobre un motor. Es evidente que en esta segunda parte el estudio de la variación de constantes, comparado con el de las observadas en los ensayos de Laboratorio, y especialmente con los resultados mecánicos, ha de darnos un criterio solvente acerca del momento de renovación del aceite de ricino por pérdida de sus cualidades lubricantes mínimas, y si su vida puede aumentarse por la adición de antioxidantes.

Además, una vez conocida la forma de comportarse el lubricante en el motor, podrá deducirse también cuál ha de ser el criterio a fijar en la aplicación del mismo en motores no previstos por sus constructores para el empleo de este lubricante.

Para el estudio del envejecimiento del aceite de ricino por oxidación artificial de Laboratorio, hemos utilizado un aparato análogo al que se emplea en la llamada "Indiana Test", y que esquemáticamente se representa en la figura 1.<sup>a</sup>

Como puede verse, consta de un baño de aceite que puede mantenerse a la temperatura deseada, en el que van sumergidos los tubos que contienen las muestras que se oxidan, a través de las cuales pasa una corriente de aire procedente de una botella de aire comprimido, seco y descarboxado por su paso a través de tubos de potasa cáustica y anhídrido fosfórico, y filtrado a través de lana de vidrio y cuya cantidad se medía mediante anemómetros de Venturi calibrados por nosotros.

Primeramente realizamos diversas series de ensayos a 100, 150 y 200°, empleando en cada uno de ellos velocidades de paso de aire diferentes: 8, 12, 16, 20 litros-hora.

Como medida del grado de envejecimiento, se consideraban las variaciones de: Densidades a diferentes temperaturas, coeficiente de dilatación, viscosidades a diferentes temperaturas, altura del polo de viscosidades, índice de refracción, índice de iodo y acidez, con la consideración de cuyas variaciones creemos obtener una idea bastante clara del estado de alteración, que nos permite seguir cuantitativamente el proceso del envejecimiento.

La determinación de las densidades se realizaba por el método del picnómetro, a diferentes temperaturas, manteniendo el picnómetro en baños termostáticos al menos media hora antes de cada pesada. La precisión alcanzada en las determinaciones de densidad es la de 0,05 por 100.

Para la determinación de las viscosidades se utilizaba el viscosímetro Baume, efectuando medidas a diversas temperaturas, mantenidas constantes mediante baños de vapor por ebullición de líquidos puros (acetona, benzol, agua). En la determinación de densidades se alcanzaba una precisión de 1 por 100.

El índice de refracción se determinaba mediante un refractómetro Zeiss, provisto de dispositivo termostático, que permite trabajar a la temperatura constante deseada (20° C en nuestro caso). Los índices de refracción se apreciaban con un error de + 0,0002.

La acidez se determinaba por el procedimiento usual en estos Laboratorios para el ensayo de aceites usados, empleando potasa alcóhólica N/10 y Alcali-Blau 6 B, como indicador. Los errores eran del orden de 1 por 100.

La determinación de los índices de iodo se realizaba en todos los casos por el método de Hanus, de indudables ventajas,

comprobadas en este Laboratorio por uno de nosotros (13), procediendo en la forma indicada en el trabajo citado. Los errores son del orden de 1 por 100.

En todos los casos las muestras oxidadas eran de 50 c. c. Los primeros ensayos realizados con aceite de ricino sin adionar, de inhibidores a diferentes temperaturas, sin variar la velocidad de paso de aire, nos demostraron que la influencia de la temperatura sobre el envejecimiento es muy considerable.

Así, por ejemplo, en la oxidación de muestras de un mismo aceite a 100, 150 y 200°, respectivamente, haciendo pasar a través de los tubos una corriente de aire a la velocidad de 12 litros-hora, la determinación de la acidez, tomada como criterio de envejecimiento, dió los resultados siguientes:

Ricino antes de la oxidación:	0,92 mgr. % ácido oleico.
Ricino calentado 8 h. a 100°:	1,10 " " "
Ricino calentado 8 h. a 150°:	1,30 " " "
Ricino calentado 8 h. a 200°:	1,68 " " "

En cambio, a una misma temperatura la variación de la velocidad de paso de aire, dentro de los límites de 8 a 20 litros-hora, no ocasiona variaciones apreciables en el grado de oxidación.

En los ensayos realizados para tener un criterio acerca del orden de magnitud de las variaciones de las diversas constantes y poder establecer relaciones entre las variaciones de todas ellas, adoptamos la temperatura de 150° y una velocidad de paso de aire de 15 litros-hora.

Simultáneamente se realizaron los ensayos de la acción de los inhibidores: fenol, pirocatequina, pirogalol.

Se verificaron cinco series de determinaciones, siendo los tiempos de oxidación, respectivamente, 8, 16, 24, 32 y 40 horas.

En cada serie se mantenían en el baño en las mismas condiciones cuatro muestras: A), ricino no adicionado de inhibidor; B), ricino adicionado de 0,1 % de fenol; C), ricino adicionado de 0,1 % de pirocatequina; D), ricino adicionado de 0,1 % de pirogalol.

El aceite de ricino utilizado es del tipo usado ordinariamente en Aviación (Norma S-14450), de color muy ligeramente amarillento, transparente, olor muy suave, y cuyas características principales se indican en la siguiente tabla:

$d_{20}^4$ :	0,960
$d_{80}^4$ :	0,920
$N_{20}^D$ :	1,4787
$\eta_{20}$ :	875 cSt = 115° E
$\eta_{50}$ :	120 cSt = 15,9° E.
$\eta_{100}$ :	16,8 cSt = 2,5° E.
Acidez en oleico:	0,92 mgr. %.
Índice de iodo (Hanus):	85,2.
Coficiente de dilatación medio entre 20-80:	0,00067.

La variación progresiva de las constantes estudiadas se indica en las siguientes tablas:

PRIMERA OXIDACION: 8 HORAS

	1 A (ricino)	1 B (r + fenol)	1 C (r + pirocatequina)	1 D (r + pirogalol)
$d_{20}^4$ .....	0,966	0,966	0,964	0,962
$d_{80}^4$ .....	0,924	0,924	0,922	0,921
$N_{20}^D$ .....	1,4798	1,4798	1,4797	1,4795
$\eta_{20}$ .....	1400 cSt	1200 cSt	1200 cSt	1150 cSt
$\eta_{50}$ .....	175 cSt	150 cSt	150 cSt	140 cSt
$\eta_{100}$ .....	22 cSt	19 cSt	19 cSt	18 cSt
Acidez .....	1,32	1,32	1,19	1,00
Iodo .....	79,0	79,5	81,3	84,4

SEGUNDA OXIDACION: 16 HORAS

	2 A	2 B	2 C	2 D
$d_{20}^4$ .....	0,973	0,978	0,970	0,965
$d_{80}^4$ .....	0,934	0,933	0,930	0,923
$N_{20}^D$ .....	1,4812	1,4812	1,4808	1,4800
$\eta_{20}$ .....	2050 cSt	2050 cSt	1300 cSt	1200 cSt
$\eta_{50}$ .....	230 cSt	230 cSt	175 cSt	152 cSt
$\eta_{100}$ .....	27 cSt	27 cSt	23,5 cSt	20 cSt
Acidez.....	1,78	1,78	1,69	1,30
Iodo.....	72,5	72,5	74,7	79,4

CUARTA OXIDACION: 32 HORAS

	4 A	4 B	4 C	4 D
$d_{20}^4$ .....	0,985	0,985	0,983	0,980
$d_{80}^4$ .....	0,944	0,944	0,941	0,939
$N_{20}^D$ .....	1,4827	1,4827	1,4823	1,4816
$\eta_{20}$ .....	3850 cSt	3850 cSt	2700 cSt	2100 cSt
$\eta_{50}$ .....	370 cSt	370 cSt	310 cSt	260 cSt
$\eta_{100}$ .....	39 cSt	39 cSt	36 cSt	31 cSt
Acidez.....	3,00	3,00	2,73	2,55
Iodo.....	67,7	67,7	69,9	72,4

TERCERA OXIDACION: 24 HORAS

	3 A	3 B	3 C	3 D
$d_{20}^4$ .....	0,980	0,980	0,975	0,973
$d_{80}^4$ .....	0,940	0,939	0,935	0,931
$N_{20}^D$ .....	1,482	1,4819	1,4812	1,4806
$\eta_{20}$ .....	2350 cSt	2350 cSt	1850 cSt	1500 cSt
$\eta_{50}$ .....	275 cSt	275 cSt	218 cSt	180 cSt
$\eta_{100}$ .....	32 cSt	32 cSt	25,9 cSt	24,2 cSt
Acidez.....	2,25	2,25	2,16	1,96
Iodo.....	68,5	68,5	72,4	75,0

QUINTA OXIDACION: 40 HORAS

	5 A	5 B	5 C	5 D
$d_{20}^4$ .....	0,991	0,991	0,987	0,984
$d_{80}^4$ .....	0,950	0,950	0,945	0,942
$N_{20}^D$ .....	1,4837	1,4836	1,4829	1,4822
$\eta_{20}$ .....	4300 cSt	4350 cSt	3800 cSt	3050 cSt
$\eta_{50}$ .....	450 cSt	460 cSt	400 cSt	335 cSt
$\eta_{100}$ .....	46 cSt	46,5 cSt	42,5 cSt	38 cSt
Acidez.....	3,52	3,52	3,32	3,05
Iodo.....	66,2	66,2	68,0	70,1

CONSTANTES	Ricino	Ricino puro a las 40 h.		Ricino + 1% fenol a las 40 h.		Ricino + 1% pirocatequina a las 40 h.		Ricino + 1% pirogalol a las 40 h.	
	primitivo	Variación	Variación	Variación	Variación	Variación	Variación	Variación	Variación
$d_{20}^4$ .....	0,960	+ 0,031	+ 3,2 0/0	+ 0,031	+ 3,2 0/0	+ 0,027	+ 2,7 0/0	+ 0,024	+ 2,5 0/0
$d_{80}^4$ .....	0,920	+ 0,030	+ 3,2 0/0	+ 0,030	+ 3,2 0/0	+ 0,025	+ 2,7 0/0	+ 0,022	+ 2,4 0/0
$N_{20}^D$ .....	1,4787	+ 0,005	+ 0,34 0/0	+ 0,0049	+ 0,33 0/0	+ 0,0042	+ 0,28 0/0	+ 0,0035	+ 0,24 0/0
$\eta_{20}$ (cSt).....	875	+ 3425	+ 390 0/0	+ 3475	+ 395 0/0	+ 2925	+ 335 0/0	+ 2175	+ 250 0/0
$\eta_{50}$ (cSt).....	120	+ 330	+ 275 0/0	+ 340	+ 280 0/0	+ 270	+ 225 0/0	+ 210	+ 175 0/0
$\eta_{100}$ (cSt).....	16,8	+ 29,2	+ 175 0/0	+ 29,7	+ 180 0/0	+ 25,7	+ 153 0/0	+ 21,2	+ 126 0/0
Acidez.....	0,92 0/0	+ 2,60	+ 280 0/0	+ 2,60	+ 280 0/0	+ 2,40	+ 260 0/0	+ 2,07	+ 225 0/0
Indice de iodo..	85,2	- 19,0	- 22 0/0	- 19,0	- 22 0/0	- 17,2	- 20 0/0	- 15,1	- 17,5 0/0

Discusión de los resultados.

En la tabla que antecede se indican cuantitativamente, expresadas en porcentaje del valor primitivo, las variaciones experimentadas por las constantes características del ricino a causa del envejecimiento artificial al cabo de las cuarenta horas de oxidación de 150° C y con una velocidad de paso de 15 litros-hora de aire. En la misma puede verse la acción retardadora del pirogalol y la algo menos marcada de la pirocatequina, así como también que el fenol tiene una acción prácticamente nula en estas condiciones. Estos mismos resultados resultan bien patentes en las figuras 2, 3 y 4.

Es de interés hacer notar que uno de los criterios de envejecimiento de mayor valor es la disminución del índice de iodo que marca la desaparición de dobles enlaces, circunstan-

cia que va unida a una pérdida de untuosidad y define el grado de oxidación del aceite.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos, y a reserva de la comprobación en un próximo trabajo (actualmente ya en curso), puede admitirse que un aceite de ricino, adicionado de 1 por 1.000 de pirogalol, puede utilizarse como lubricante unas diez horas más que un aceite de la misma clase sin inhibidor.

El estudio iniciado acerca de la estabilización del aceite de ricino, así como el plan de trabajo enunciado, puede sistematizarse, abriendo así un amplio campo para la aplicación a otros diversos aceites vegetales, por ejemplo, el de oliva, puro o adicionado de mineral, de comportamiento y condiciones lubricantes similares al que hemos estudiado.

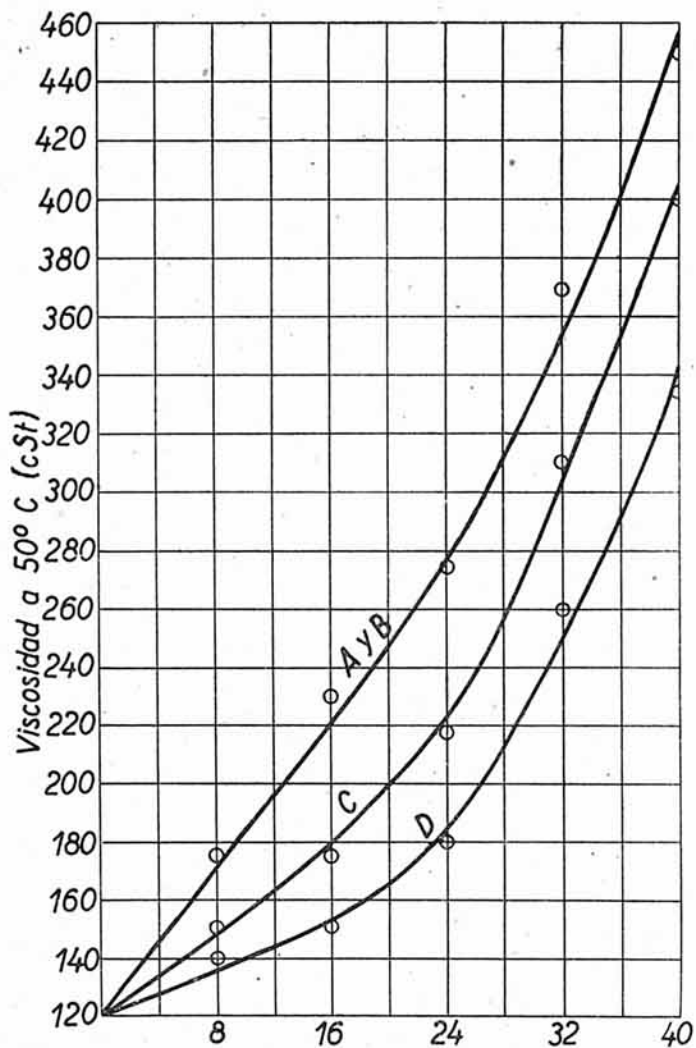


Figura 2. — Tiempo en horas.

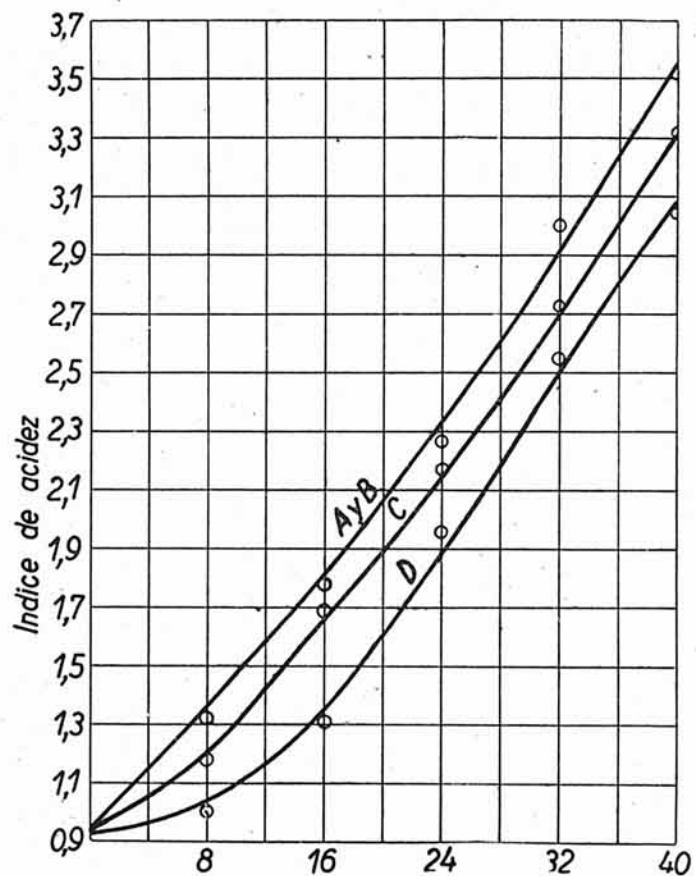


Figura 3. — Tiempo en horas.

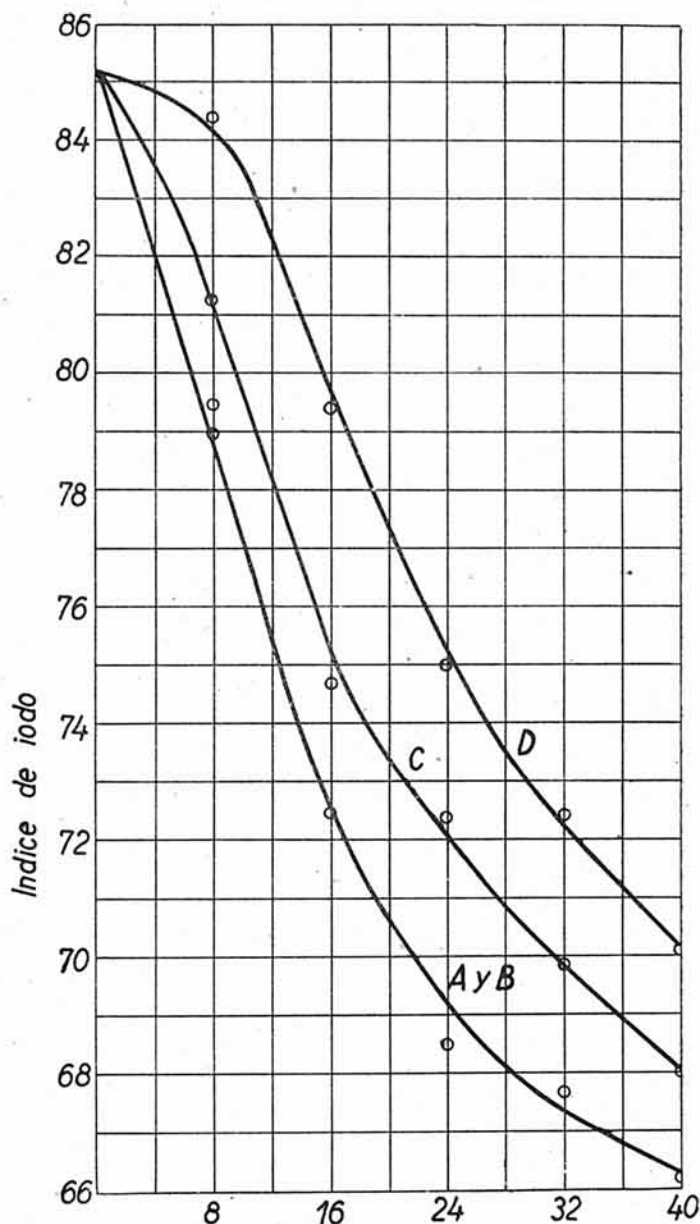


Figura 4. — Tiempo en horas.

### BIBLIOGRAFIA

- (1) MOUREAU Y DUFRAISSE.—C. r. 174, 258, 1922.
- (2) SMITH Y WOOD.—Ind. Eng. Ch. 18, 7, 1926.
- (3) EGLOFF, MORRELL Y FARAGHER.—Am. Petr. Inst. Proc. 10° An. Met. 11, 12, 1930.
- (4) FLOOD, HLADKY Y EDGER.—80° Met. Am. Ch. Soc. Sept. 1930.
- (5) MARDLES Y MOSS.—J. Inst. Petr. Tech. 16, 684, 1930.
- (6) WAGNER Y HYMAN.—J. Inst. Petr. Tech. 15, 674, 1929.
- (7) HOFFERT Y CLAXTON.—Fuel 9, 359, 340, 476, 1930.
- (8) EGLOFF, MORRELL Y LOWRY.—Ind. Eng. Ch. Dic. 1932.
- (9) YAMAGUCHI.—Buc. mat. gr. Inst. Col. Mars 15, 64. 1931.
- (10) M. ROY.—Publ. Sc. Tech. Min. Air. París, 1934.
- (11) FREUND Y THAMM.—Ol und Kohle 18, 1940.
- (12) Ind. Eng. Ch., 1939.
- (13) MORA Y BLASCO: REVISTA AERONAUTICA, 2 (54), enero 1941.