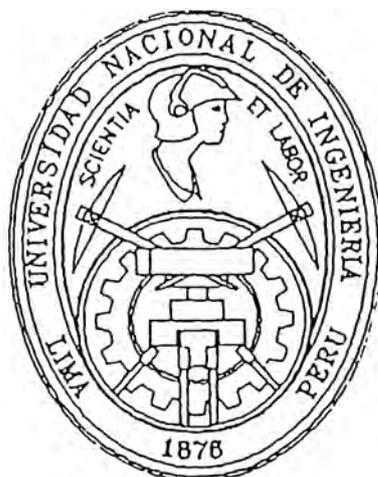


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO**



**“SUSTITUCIÓN DE INSUMOS IMPORTADOS POR  
INSUMOS NACIONALES EN LA ELABORACIÓN DE  
GRASAS CALCICAS”**

**TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL PARA  
OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
PETROQUÍMICO**

**REYNALDO HAROLDO CASTAÑEDA MARROQUÍN  
PROMOCIÓN 1975-I**

**LIMA-PERU**

**1997**

***A Betty***

***Mi amiga, mi compañera,  
mi esposa***

## SUMARIO

El presente trabajo tiene por finalidad buscar sustitutos nacionales de la cal y el sebo importados que se usan en la elaboración de las grasas cálcicas.

Adicionalmente se buscó sustituir el sebo animal por otro agente saponificante, lográndose una grasa cálcica anhidra de mejor calidad usando aceite castor hidrogenado nacional como agente saponificante.

Asimismo, se realizaron pruebas con ácido esteárico para sustituir el sebo importado, produciéndose una grasa cálcica de bajo rendimiento (alto contenido de jabón).

Para la sustitución del sebo y de la cal, no se modificó el procedimiento de manufactura; sin embargo, sí fue necesario modificar este procedimiento cuando se usó aceite castor hidrogenado y ácido esteárico. En estos casos se realizaron diversas pruebas a nivel laboratorio para determinar la formulación y las mejores condiciones de operación.

El estudio que se desarrolló con mayor detalle fue el relacionado al uso de aceite castor hidrogenado como agente saponificante, debido a que con este insumo se obtuvo una grasa cálcica anhidra de mejor calidad que la grasa cálcica convencional.

# ÍNDICE

<b>SUMARIO</b> .....	<b>i</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>ii</b>
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>v</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>viii</b>
<b>CAPITULO I DESARROLLO TEÓRICO</b> .....	<b>I</b>
1.0 Principios en la Manufactura de una Grasa Lubricante.....	1
1.1 Saponificación.....	2
1.1.1 Materias Primas para la Elaboración de un jabón de Calcio.....	2
1.- Ácidos Grasos.....	2
2.- Sebos y Aceites Grasos.....	5
3.- Cal Hidratada.....	7
1.1.2 Factores que afectan la Saponificación.....	8
1.- Temperatura.....	8
2.- Concentración de los Reactivos.....	9
3.- Íntimo Contacto de los Reactivos.....	9
1.2 Dispersión del Jabón.....	12
1.3 Cristalización.....	14
1.- Gel.....	15
2.- Solución Líquida Cristalina.....	16
3.- Solución Gelatinosa.....	16
1.3.1 Arreglos y Naturaleza de las Fibras de Jabón.....	17
1.3.2 Estado del Aceite en la Grasa Lubricante.....	20
1.3.3 Efectos de la Variación del Aceite Lubricante en la Estructura de una Grasa.....	23
1.3.4 El Agua como Tercer Componente de una Grasa Lubricante.....	25
1.3.5 El Alcohol como Tercer Componente de una Grasa Lubricante.....	28
1.3.6 Los Ácidos Grasos como Tercer Componente en una Grasa Lubricante.....	29
1.3.7 Exceso de Alkali como un Componente de una Grasa Cálcica.....	32
1.4 Agentes Espesantes Diferentes al Jabón.....	32
1.4.1 Arcillas.....	33
1.4.2 Sílica Gel.....	34
1.5 Influencia de la Estructura de una Grasa en sus Propiedades Físicas.....	35
1.5.1 Consistencia.....	36
1.5.2 Estabilidad Mecánica.....	38
1.5.3 Estabilidad Térmica.....	39
1.5.4 Flujo o Viscosidad.....	41
1.5.5 Tixotropía.....	42
1.5.6 Separación de Aceite.....	45
1.5.7 Textura y Apariencia.....	47
<b>CAPITULO II APLICACIONES</b> .....	<b>48</b>
2.0 Generalidades.....	48
2.0.1 Calidad de Ingredientes.....	48

2.0.2 Procedimiento Normal de Manufactura de la Grasa Cálcica Super K-2 .....	50
1.- Reacciones que se Presentan.....	50
a) Formación de Jabón de Sodio .....	50
b) Formación de Jabón de Calcio.....	51
2.- Formulación .....	51
a) Cálculo de la Cantidad de Sebo Utilizado para Reaccionar con la Soda Cáustica.....	51
b) Cálculo de la Cantidad de Cal Requerida para Saponificar el Sebo Remanente .....	52
c) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Sodio Producido.....	52
d) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Calcio Producido .....	53
e) Cálculo de la Cantidad de Glicerina Producida.....	53
f) Total de Ingredientes Utilizados en la Preparación de la Grasa Cálcica Super K-2.....	53
g) Composición Final de la Grasa Super K-2.....	54
3.- Saponificación.....	54
4.- Dispersión .....	54
5.- Toma de Consistencia.....	54
6.- Terminación.....	55
2.0.3 Diagrama de Flujo .....	55
2.1 Sustitución de Sebo Importado por Ácido Estearico Nacional en Grasa Cálcica Super K-2 .....	55
2.1.1 Calidad de Ingredientes.....	55
1.- Acido Estearico Nacional.....	55
2.- Cal Hidratada Importada .....	56
2.1.2 Procedimiento de Manufactura.....	56
1.- Formulación .....	56
a) Cálculo de la Cantidad de Ácido Estearico Utilizado para reaccionar con la Soda Cáustica .....	57
b) Cálculo de la Cantidad de Cal requerida para Saponificar el Ácido Estearico Remanente.....	57
c) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Sodio Producido .....	58
d) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Calcio Producido .....	58
e) Cálculo de la Cantidad de Agua Producida .....	58
f) Total de Ingredientes Utilizados en la Preparación de la Grasa Cálcica Super K-2.....	59
g) Composición Final de la Grasa Super K-2.....	59
2.- Saponificación y Cristalización.....	60
3.- Dispersión .....	60
4.- Terminación.....	60
2.1.3 Conclusiones .....	60
2.2 Sustitución de Cal Importada por Cal Nacional en grasa Cálcica Super K-2.....	62
2.2.1 Aplicación en Planta .....	63
1.- Formulación.....	63
a) Cálculo de la Cantidad de Sebo Utilizado para Reaccionar con la Soda Cáustica.....	63
b) Cálculo de la Cantidad de Cal Requerida para Saponificar el Sebo Remanente.....	64
c) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Sodio Producido.....	65
d) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Calcio Producido .....	65
e) Cálculo de la Cantidad de Glicerina Producida .....	65
f) Total de Ingredientes Utilizados en la Preparación de la Grasa Cálcica Super k-2.....	66
g) Composición Final de la Grasa Super k-2.....	66
2.2.2 Resultados.....	66
2.2.3 Conclusiones .....	67
2.3 Sustitución de Sebo Importado por Sebo Nacional en grasa Cálcica Super K-2.....	67
2.3.1 Aplicación en Planta .....	68
2.3.2 Resultados.....	68
2.3.3 Conclusiones.....	68
2.4 Sustitución de Sebo Importado por Aceite Castor Hidrogenado en Grasa Cálcica Super K-2 .....	68
2.4.1 Estudio a Nivel Laboratorio .....	70
1.- Equipo Utilizado .....	71
2.- Calidad de Ingredientes .....	71
a.- Aceite Castor Hidrogenado .....	71
b.- Cal Hidratada.....	72
3.- Procedimiento.....	72
4.- Resultados .....	74

5.- Conclusiones .....	74
2.4.2 Aplicación en Planta .....	76
1.- Procedimiento .....	76
2.- Resultados .....	77
3.- Conclusiones .....	77

<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>80</b>
---------------------------	-----------

**APENDICE**

**ANEXOS**

**TABLAS**

**FIGURAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

## ANTECEDENTES

En el año 1954 se instaló en Refinería Talara de Petróleos del Perú, la primera planta de grasas lubricantes en el país, para satisfacer la demanda nacional de estos productos. Esta Planta inició su operación con un turno de 8 horas diarias.

En 1973, la demanda nacional de grasas se incrementa, haciéndose necesario adicionar un turno de 8 horas.

En 1977, la Planta de Grasas de Refinería Talara inicia la producción de grasas lícitas con el asesoramiento de la Gulf Oil Company, incrementándose la producción. Esto hace que se establezcan tres turnos diarios, trabajándose las 24 horas del día.

En 1988, la Compañía Texaco instala una planta de grasas en el Callao, la que deja de funcionar por problemas operativos, precisamente en la obtención de las grasas cálcicas.

En agosto de 1996, como parte del proceso de privatización, la Planta de Grasas de Refinería Talara fue adquirida por la empresa Mobil, conjuntamente con la Planta de Lubricantes de Petroperú (Callao)

Actualmente, La Planta de Grasas de Talara tiene una capacidad de producción de 4,500 TM anuales.

La producción de grasas por tipo de jabón se distribuye de la siguiente manera:

Grasas de jabón de litio	60%
Grasas de jabón de calcio	28%
Grasas de jabón de sodio	10%
Grasas asfálticas	2%
Total	100%

La producción de grasas nacionales representa aproximadamente el 55% del mercado nacional, siendo el otro 45% restante, importado principalmente por las compañías Shell, Mobil y Texaco.

Desde sus inicios esta planta elaboró grasas cálcicas utilizando los siguientes insumos:

<u>PRODUCTO</u>	<u>PROCEDENCIA</u>
Sebo Animal	Importado
Cal	Importado
Aceite Mineral	Nacional

Con el objetivo de lograr la sustitución de la cal y el sebo importados por productos nacionales, se coordinaron algunas acciones con proveedores nacionales a fin de determinar la posibilidad de suministrar en calidad y cantidad, los insumos para este tipo de grasas.

Los esfuerzos iniciales estuvieron dirigidos a

sustituir la cal y el sebo animal con productos nacionales.

Posteriormente, el objetivo se centró en buscar un material graso que sustituya al sebo animal, para lo cual se realizaron diversas pruebas a nivel de laboratorio, elaborándose grasas cálcicas utilizando como agente saponificante el aceite castor hidrogenado nacional.

## INTRODUCCIÓN

La historia nos dice que el hombre existe desde hace aproximadamente 27000 años y que es sólo desde hace 7000 años que usó un lubricante con el propósito de reducir la fricción.

Hasta cerca del año 1800 el lubricante universal fue el sebo de ganado vacuno y caprino o algún aceite vegetal. No fue sólo hasta después que el Coronel Drake perforó su primer pozo, cerca de 130 años atrás, que se encuentran registros del uso de grasas lubricantes como las que hoy se conocen.

Una definición comúnmente aceptada de una grasa lubricante es la siguiente: "una combinación de jabón o mezcla de jabones y un producto de petróleo o producto sintético capaz de lubricar".

Una definición más reciente es: "un producto sólido o semisólido de un agente espesante en un líquido lubricante. Otros ingredientes pueden ser añadidos para proporcionar especiales propiedades".

En décadas pasadas, la lubricación no presentaba mayores problemas. Sin embargo, el desarrollo de la mecánica en los últimos años ha cambiado esta figura y hoy es de vital importancia una apropiada lubricación y aplicación de

los lubricantes.

La importancia de la lubricación crece diariamente. Se ha convertido en una de las prácticas más universales de prevenir el mantenimiento de los equipos.

Todos coincidimos en que la lubricación es importante, pero, por qué es importante.

Para responder esto, imaginémosnos dos piezas de metal puro, perfectamente limpias. Estas piezas, si están absolutamente limpias, esto es, sin trazas de óxido o contaminantes y sin aire adsorbido, al juntarse con la presión de los dedos se soldarán instantáneamente y llegarían a ser una sola pieza sólida. Por supuesto, esto es imposible llevar a la práctica en tales condiciones, ya que algo de aire ocupará las pequeñas ranuras o zonas no uniformes de las superficies metálicas. El aire, en este caso, es un lubricante, no tan bueno como nosotros quisiéramos, pero es un lubricante. Esto es, previene el contacto metal-metal. Todos los metales con los cuales se trabaja tienen esta forma de lubricación incipiente: son metales no puros, tienen película de óxidos y diminutas impurezas en su superficie y están rodeadas de aire. Sin embargo, esto no es suficiente.

Todas las superficies metálicas en contacto, con movimiento relativo una de otra, tienen fuerzas de fricción que tienden a restringir su movimiento y a desgastarse mutuamente. La función principal de una grasa es reducir la fricción y el desgaste. Cuando la grasa está presente entre

las superficies metálicas, ellas son separadas no permitiendo un contacto directo metal-metal. En consecuencia, ambas superficies pueden deslizarse libremente una respecto a la otra. Esto también explica cómo la grasa lubricante reduce el desgaste de las superficies metálicas.

Aún cuando las superficies metálicas estén lubricadas, durante el movimiento relativo de ellas, se produce una cierta cantidad de calor. La grasa lubricante absorbe calor y lo conduce hacia las superficies más frías, reduciendo la temperatura de operación de las piezas en movimiento.

Una buena grasa también sirve como sello, no permitiendo o reduciendo la entrada de material extraño o tierra, previniendo así el deterioro de las superficies en movimiento.

La presencia de una fina capa de grasa lubricante en las superficies metálicas las previene de los efectos de la herrumbre o corrosión por contacto con el aire, humedad u otros agentes corrosivos y, en consecuencia, incrementa su vida útil.

# CAPITULO I

## DESARROLLO TEÓRICO

### 1.0 PRINCIPIOS EN LA MANUFACTURA DE UNA GRASA LUBRICANTE

Los principios que involucran la manufactura de una grasa lubricante han sido entendidos en años muy recientes, debido a diversos trabajos de investigación que han logrado elevarla de un arte misterioso a una ciencia.

Ahora son utilizados los principios y teorías de la Ingeniería, la Química y la Física para guiar los procesos y controlar el producto final.

Las grasas con base de jabón son producidas con tres ingredientes básicos:

- Un material graso de origen animal o vegetal, el cual representa generalmente del 4 al 15 por ciento del producto final, es denominado el componente ácido.
- Un álcali o base, que es el componente opuesto al ácido. Las bases más usadas son de: calcio, sodio y litio. Representan del 1 al 3 por ciento del producto final.
- Un fluido, el cual puede ser un aceite mineral, un fluido sintético o un glicol.

## 1.1 SAPONIFICACION

El jabón necesario para la producción de una grasa lubricante se obtiene haciendo reaccionar:

- Una base metálica o álcali y;
- Un material graso que puede ser: un ácido graso orgánico, alguna forma de sebo de origen animal o aceite de origen vegetal.

Si se usa un ácido graso el proceso se denomina neutralización.

**ACIDO GRASO + BASE METALICA ----> NEUTRALIZACION**

Si se usa un sebo de origen animal o aceite vegetal la reacción se denomina saponificación.

**SEBO ANIMAL + BASE METALICA -----> SAPONIFICACION  
O ACEITE VEGETAL**

Sin embargo, el mecanismo de la reacción en ambos casos es el mismo, por lo que en adelante cualquiera de las dos reacciones las denominaremos como saponificación.

### 1.1.1 MATERIAS PRIMAS PARA LA ELABORACION DE UN JABON DE CALCIO

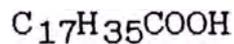
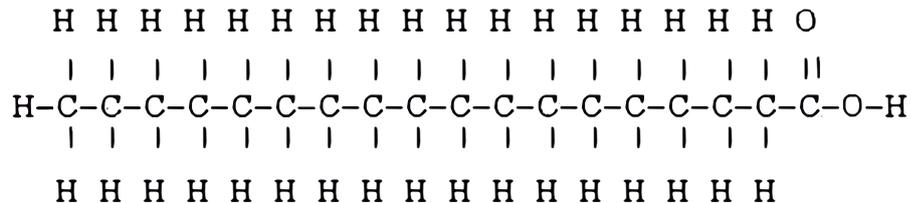
#### 1.- Acidos Grasos

El término ácido graso se refiere a un grupo de ácidos que resultan cuando un grupo carboxil (-COOH ) reemplaza uno de los átomos de hidrógeno de un

hidrocarburo de alto peso molecular.

Los ácidos grasos están formados principalmente de carbono (C) e hidrógeno (H).

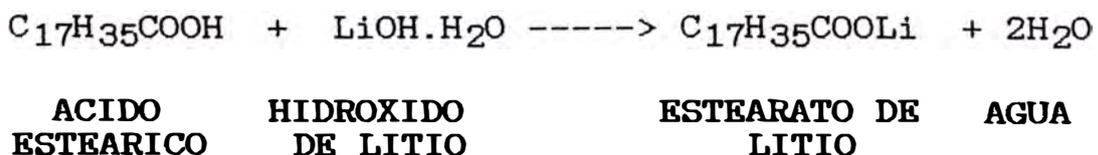
Ej.: Acido esteárico:



El grupo carboxil (-COOH), en el extremo de la cadena, es la parte reaccionante de la molécula del ácido.

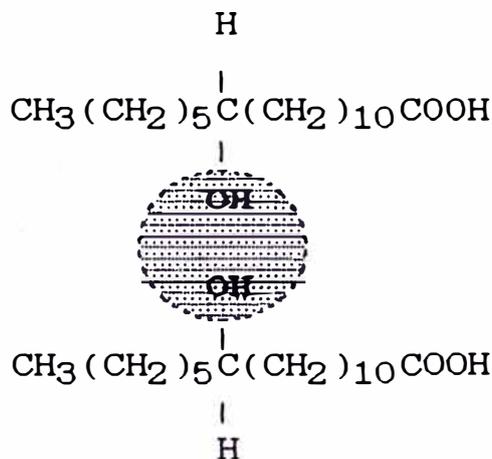
El comportamiento químico de estos ácidos carboxílicos, bajo ciertas condiciones de reacción, es la pérdida del protón (H<sup>+</sup>) del grupo funcional y será reemplazado por otro grupo. El grupo radical permanece inalterable.

Una simple ilustración del proceso de neutralización de un ácido carboxílico es:

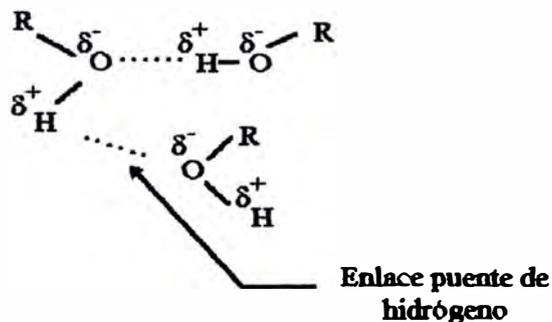


Otra posible estructura de la cadena es aquella con un grupo hidroxil (OH<sup>-</sup>) adicional, en lugar de

un átomo de hidrógeno. Este es el caso del ácido 12-hidroxi-esteárico.

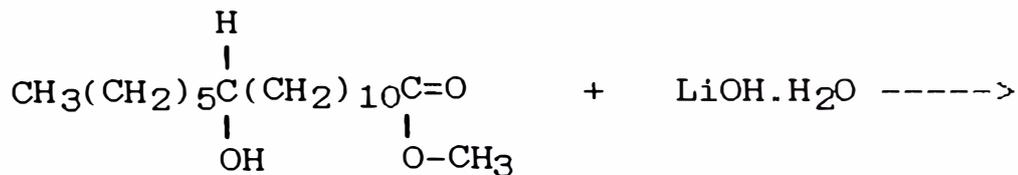


Estos grupos hidroxil hacen posible la formación de fuerzas de atracción intermolecular debido al enlace dipolo-dipolo o también denominado enlace puente de hidrógeno, tal como se ilustra en el siguiente diagrama :

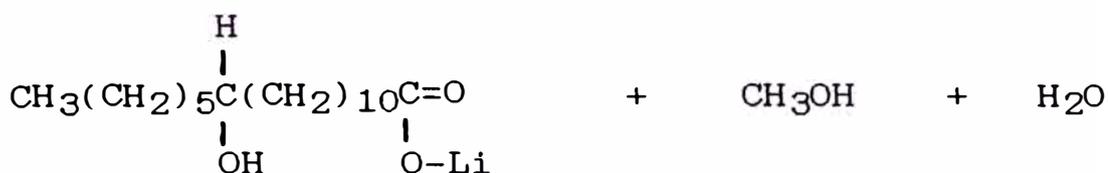


Esta atracción intermolecular crea una cadena más estable, lo que producirá un jabón más eficiente y de baja solubilidad.

También puede usarse un éster de la misma molécula base, por ejemplo, el 12-hidroxi estearato de litio puede formarse de:



**12-HIDROXI ESTEARATO DE METILO**



**12 HIDROXI ESTEARATO DE LITIO**

**ALCOHOL METILICO**

En este caso, el ion litio reemplaza al grupo metilo (-CH<sub>3</sub>) en el éster, produciéndose un alcohol metílico y agua.

En la Tabla 1-1 se muestran algunos ácidos grasos y sus principales características.

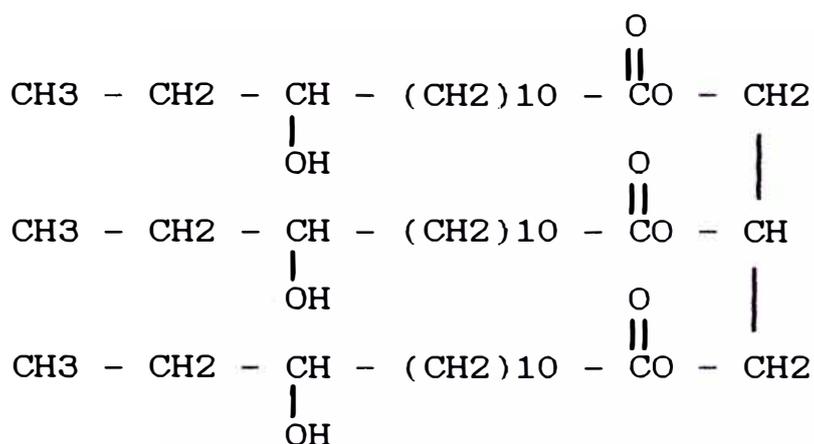
**2.- Sebos y Aceites Grasos**

Los sebos y aceites grasos de origen animal y vegetal, consisten fundamentalmente de glicéridos, esto es, de varios radicales de ácidos grasos combinados con el glicerol.

La mayoría de los sebos y aceites grasos contienen al menos cuatro y, en algunos casos, hasta veinte diferentes radicales de ácidos grasos.

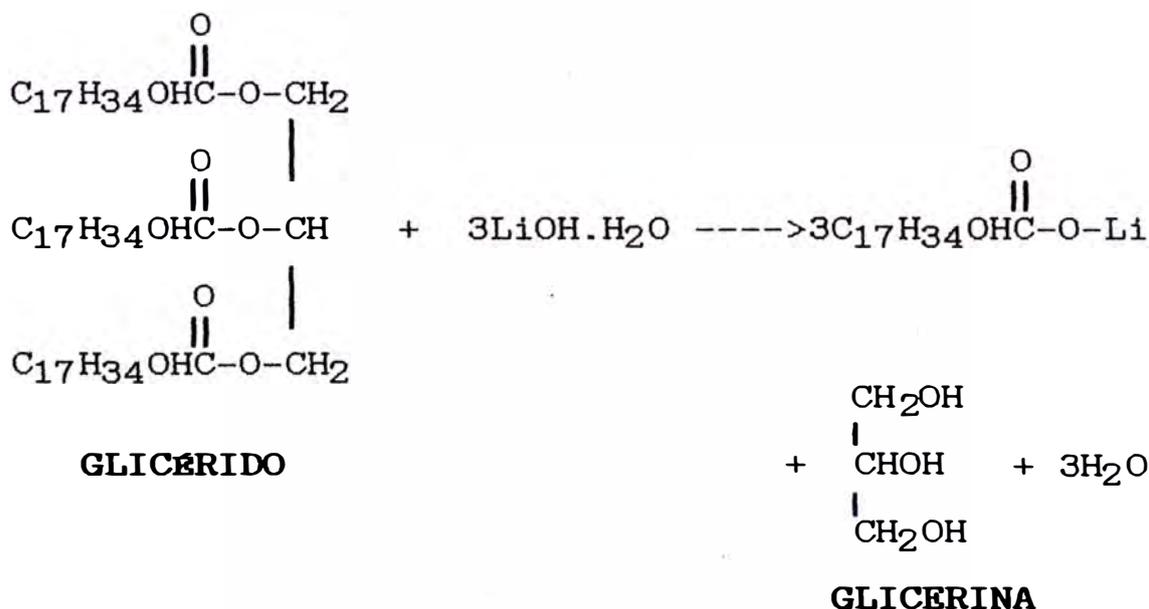
Uno de los glicéridos más usados en la elaboración de un jabón es el **aceite castor hidrogenado**. El principal constituyente de este

producto es el gliceril tri-(12-hidroxi estearato)



### ACEITE CASTOR HIDROGENADO

Los glicéridos reaccionan en forma similar a los ácidos grasos y ésteres, como se ilustra en el siguiente ejemplo:



En este caso, el litio reemplaza al grupo glicerol (-C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>) en el glicérido. Se obtiene glicerina y agua como subproductos.

La reacción de los glicéridos es más difícil de completar que la de los ácidos grasos, y además, generalmente, contienen menos material saponificable que un peso igual de ácido graso.

En la Tabla 1-2 se pueden observar las características de algunos sebos y aceites grasos.

### **3.- Cal Hidratada**

El hidróxido de calcio, requerido para la saponificación del material graso, empleado en la manufactura de grasas lubricantes, es un derivado casi exclusivamente de la cal hidratada.

La cal hidratada es un polvo seco, obtenido por tratamiento de la cal viva con suficiente cantidad de agua para satisfacer su afinidad química por el agua. La calidad de la cal hidratada varía con la concentración de las impurezas de la roca cálcica de la cual es producida. Para la elaboración de grasas lubricantes se requiere que la cal tenga la menor concentración de impurezas. La Tabla 1-3 muestra la calidad de cal requerida para elaborar grasas lubricantes sugerida por la National Lubricating Grease Institute (NLGI), American Standard Testing Material (ASTM) y Petróleos del Perú S.A. (PETROPERU)

Deben hacerse todos los esfuerzos para que el contenido de sílice, fierro y carbonato de calcio sea lo más bajo posible.

Respecto al óxido de magnesio presente en la cal hidratada, existe contradicción en considerarlo beneficioso o perjudicial en la grasa final, ya que reacciona con el material graso para producir jabón de magnesio.

El análisis químico de por sí no determina si la cal hidratada es la más satisfactoria para el proceso de saponificación. Esto significa que se puede tener cal del mismo análisis químico, pero tener diferente reacción al saponificar.

La cal hidratada tiene una solubilidad en el agua de sólo 0.07 a 0.18 por ciento. Si se expone al aire, la cal hidratada se convierte lentamente en carbonato de calcio.

Se expende normalmente en bolsas de papel conteniendo 25 kilos de producto.

### **1.1.2 FACTORES QUE AFECTAN LA SAPONIFICACION**

#### **1.- Temperatura**

La velocidad de saponificación, como casi todas las reacciones químicas, se incrementa con un incremento de la temperatura. Como las reacciones de saponificación son exotérmicas, una vez que la reacción se ha iniciado, el calor generado acelera la velocidad de reacción.

Cuando se adiciona agua, conjuntamente con los ingredientes o se forma en la reacción, el calor no

sólo es usado para evaporar el agua, sino que es utilizado también para elevar la temperatura por encima del punto de ebullición del agua. Cuando es necesario retener el agua en el sistema y conseguir elevadas temperaturas se utilizan recipientes a presión.

## **2.- Concentración de los Reactivos**

En cualquier reacción química, la velocidad de reacción es proporcional a la primera potencia o una potencia mayor de la concentración molar. Como la concentración del material graso y del álcali se reduce a medida que la saponificación avanza, la velocidad de la reacción decrece. A fin de mantener una concentración lo más alta posible de los ingredientes se recomienda usar la menor cantidad del material diluyente (aceite), y un ligero exceso de álcali.

## **3.- Intimo Contacto de los Reactivos**

Es muy importante que se produzca un íntimo contacto de los ingredientes para acelerar la saponificación. Esto se puede llevar a cabo de una mejor manera si los reactivos se encuentran en el mismo estado, en este caso, en el estado líquido. El sebo y los ácidos grasos pueden fundirse fácilmente y la mayoría de los álcalis empleados en la elaboración de grasas lubricantes pueden disolverse en el agua.

Si el álcali y el material graso están en estado fluido y si se mantiene una buena agitación o a través de una emulsión, se puede promover la reacción. Una emulsión puede ser promovida si algo de jabón es formado tan pronto como la mezcla se realice. Esto ocurrirá si el sebo empleado contiene algo de ácidos grasos. Así, en el caso de la saponificación de un sebo con hidróxido de calcio, la presencia de un mínimo de 7 por ciento de ácido graso disminuye el tiempo de saponificación en aproximadamente un 50 por ciento, comparado con la reacción de un sebo neutro.

Otro medio para promover una emulsión puede ser la presencia de monoglicéridos, formados durante el primer paso de la saponificación

Cuando se emplea una pequeña cantidad de hidróxido de sodio en la saponificación con hidróxido de calcio, inicialmente, se produce un jabón de sodio, el que actúa como emulsificante, acelerando la velocidad de reacción.

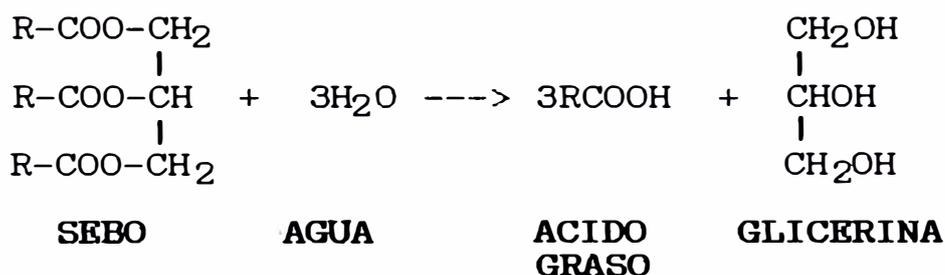
La presencia de agua es necesaria si se quiere mantener un álcali en solución o para formar una emulsión. Esto obliga a utilizar recipientes a presión si la temperatura de saponificación se eleva por encima del punto de ebullición del agua.

Durante el proceso de saponificación se ha considerado al agua como un requisito indispensable

para llevar a cabo la reacción. Probablemente, el agua sólo proporcione un mayor contacto entre los ingredientes, ya que se ha demostrado que la reacción de los sebos y ácidos grasos con los álcalis puede realizarse en un medio anhidro.

Asimismo, el agua bajo condiciones apropiadas, hidroliza a los sebos, por lo que es posible que durante la saponificación, primero se hidrolice el sebo para producir los ácidos grasos correspondientes y luego éstos reaccionen con la base.

La reacción de hidrólisis del sebo es:



Como ya se ha visto, en la reacción de un ácido graso con un álcali, se produce agua en adición al jabón. Debido a que la mayoría de los sebos y aceites grasos contienen algo de ácidos grasos libres, la neutralización de tales ácidos grasos precede a la hidrólisis de los sebos, de tal manera que la reacción de saponificación del sebo se realiza en la presencia de agua y algo de jabón. La presencia de agua y jabón ayuda a emulsificar los ingredientes restantes proporcionando un mayor contacto entre ellos.

## 1.2 DISPERSION DEL JABON

Los jabones empleados para espesar un aceite lubricante para formar una grasa lubricante, son generalmente dispersados en el líquido por medios térmicos. Se pueden emplear varios compuestos como agentes dispersantes o como modificadores de la temperatura requerida para la dispersión del jabón.

Uno de los métodos sugeridos para la dispersión del jabón en el aceite es utilizando un molino a temperaturas moderadas. Esto no significa que tal método de dispersión permitirá la formación del mismo tipo de estructura, como el que se obtiene por cristalización, aun cuando se obtenga un alto grado de dispersión. El proceso de molienda es una ayuda en algunos tipos de grasas y en el caso de agentes espesantes no jabones, tal como la arcilla o pigmentos, es el método esencial de dispersión de la fase sólida en el líquido.

En algunos casos, los jabones empleados como espesantes en las grasas lubricantes, pueden realmente estar en solución en el fluido durante el proceso de manufactura. La temperatura a la cual tal solución del jabón ocurre puede ser determinada de un diagrama de fases. Sin embargo, en el siguiente cuadro se pueden observar las temperaturas de disolución de algunos jabones<sup>6</sup>.

<u>TIPO</u>	<u>TEMP. C</u>
Estearato de calcio	120
Estearato de sodio	160
Estearato de litio	180

Debemos tener en cuenta que en la mayoría de los jabones comerciales encontramos presente diferentes ácidos grasos. Más aún, durante el proceso de saponificación se pueden formar o estar presentes compuestos que modifican la solubilidad del jabón en el aceite, por lo que se puede esperar que los jabones empleados para la manufactura de grasas lubricantes puedan disolverse en el aceite a temperaturas relativamente menores que aquella del jabón puro. Un ejemplo extremo de tal comportamiento es el del jabón de aluminio, en el cual los ácidos grasos pueden actuar como una ayuda para disminuir el punto de fusión<sup>6</sup>.

Si bien es cierto algunos sistemas jabón-aceite son calentados hasta una temperatura en el que se obtiene un líquido **isotrópico** (completa solubilidad), esto no significa que sea un requisito indispensable para que la dispersión del jabón se realice. Desde un punto de vista práctico, esto es ilustrado por los varios métodos que existen para dispersar los jabones de litio para la producción de grasas lubricantes. Muchos fabricantes de este tipo de grasas, calientan la mezcla jabón-aceite hasta que se obtenga un

líquido isotrópico. Otros, sin embargo, calientan la mezcla jabón-aceite a temperaturas menores, en la cual el sistema es todavía no isotrópico.

En algunos casos, el jabón es dispersado en un solvente, en adición al aceite lubricante, y es con la ayuda de este solvente que se realiza la cristalización, proceso que veremos más adelante. Así, en el caso de los jabones de sodio, el agua actúa como un solvente en la presencia del aceite lubricante.

Finalmente, la dispersión del jabón se puede obtener a medida que es formado *in situ*, en presencia del aceite lubricante, a relativamente bajas temperaturas. La concentración del material graso en el aceite y la fineza de las partículas del álcali influyen en la dispersión del jabón en el aceite.

### 1.3 CRISTALIZACION

Después que el agente espesante (jabón) es dispersado en el lubricante líquido, se presenta el proceso más importante en la elaboración de una grasa: la cristalización del jabón, de tal manera que se logre la estructura más adecuada.

Este proceso de cristalización puede realizarse en reposo o con agitación, en cualquier caso es de vital importancia el control de la temperatura.

Un análisis al microscopio de una grasa lubricante revela una estructura fibrosa<sup>12,20</sup>. Todos los investigadores coinciden en señalar que el sistema jabón-aceite es un

sistema coloidal; sin embargo, era necesario determinar si tales fibras representan su forma estructural (el esqueleto) primaria o si existía cualquier otra forma de jabón diferente a las fibras que contribuyan a la estructura del sistema.

En un intento para determinar la explicación del efecto espesante del jabón en el aceite mineral, Smith<sup>29</sup> define las formas características en las que puede encontrarse los sistemas coloidales.

### 1.- Gel

Son sistemas de dos fases:

- cristales de jabón más o menos pulverizados.
- un líquido cristalizado, una sustancia gelatinosa o una solución.

Los geles difieren en apariencia según el grado de compactación de los cristales de jabón.

Los geles son generalmente blancos y opacos, pero pueden ser translúcidos y en casos muy raros, con una adecuada combinación de los índices de refracción, las dos fases de los geles pueden ser transparentes.

Algunos geles son transparentes debido a que la fase cristalina es ultramicroscópicamente fina, en este caso, la fase cristalina puede ser reconocida sólo por rayos "X". Otros geles no son estables, dependiendo su estabilidad del

grado de cristalización del sólido y su estado de subdivisión y solubilidad.

## **2.- Solución Líquida Cristalina**

Es un sistema de una sola fase, la cual es birrefringente (doble refracción) y no isotrópica, que va desde transparente a semi-opaco, dependiendo de la orientación y concentración.

Generalmente es plástico y sólo ligeramente elástico, no fluye en pequeñas muestras bajo la influencia de la gravedad.

Un examen en rayos "X" muestra una o dos dimensiones, pero no tres dimensiones, lo que le permite diferenciarse de un sólido cristalino.

## **3.- Solución Gelatinosa**

Es un sistema de un sola fase, la que puede ir desde un fluido completo hasta la reología típica de una gelatina o jalea, dependiendo de la concentración y de la temperatura.

Es un sistema isotrópico, elástico, tixotrópico y transparente.

En base a sus estudios, Smith<sup>23</sup> concluye que aun cuando un hidrocarburo puede ser espesado en cualquiera de las tres formas mencionadas, la forma más eficiente es aquélla del de una dispersión homogénea del jabón en microceldas coloidales formando una fase gelatinosa.

Esta forma de estructura del jabón presenta un limitado crecimiento y puede existir en equilibrio con un exceso de solvente libre, como lo hace la forma de líquido cristalino.

A pesar de todo lo mencionado, no se ha confirmado aún que la forma gelatinosa sea el sistema predominante en las grasas lubricantes.

### 1.3.1 ARREGLOS Y NATURALEZA DE LAS FIBRAS DE JABON

El método más eficiente para examinar las fibras de jabón en las grasas lubricantes es a través de un microscopio, usando la iluminación de un campo oscuro o una luz polarizada o a través de un microscopio electrónico, siendo esto último lo más satisfactorio<sup>3,7,10,11</sup>

Las dimensiones aproximadas de varios tipos de fibras de jabón en las grasas lubricantes comparadas con las de algunos microorganismos se muestra en la Fig. 1-1<sup>10</sup>.

Se observará que algunos productos de base lítica y sódica, así como las grasas lubricantes de base cálcica y de aluminio, tienen fibras de jabón de diámetro de 0.2 micrones o menos, las cuales sólo pueden ser analizadas en un microscopio electrónico.

En las Fig. 1-2 al 1-9<sup>10</sup> se muestran algunas fibras de grasas lubricantes visualizadas en un microscopio electrónico. A fin de comparar el tamaño de las fibras mostradas en estas fotografías, considere que el ancho de las fibras de la Fig. 1-2

es aproximadamente una diezmilésima de milímetro.

En la Fig. 1-7 y 1-8 se nota que las fibras de una grasa lubricante de jabón de litio y algunas de grasas lubricantes de jabón de calcio convencional son curvas.

Las fibras formadas por otros tipos de jabón son en forma de barra (Fig. 1-4 y 1.6).

La mayoría de las microfotografías muestran un arreglo al azar de las fibras y en algunos casos, parecen estar entrelazadas o extenderse juntas como se muestra en las Fig. 1-3 y 1-5.

Las fibras muy cortas de un jabón de aluminio se ilustran en la Fig. 1-9, las que son difíciles de describir.

Las fibras de las grasas lubricantes tienen una orientación producida durante la fabricación de la grasa<sup>7</sup>. Esta orientación de las fibras fue confirmada esparciendo la grasa lubricante en una placa de microscopio y examinada bajo una luz polarizada. Cuando la película de grasa fue sumergida en un vaso conteniendo nafta en reposo para eliminar el aceite sin que el jabón se altere (desordene) y luego fue secada y nuevamente examinada, tuvo la misma doble refracción que la grasa original.

Por otro lado, si una segunda muestra de la misma grasa lubricante es vigorosamente agitada en nafta para dispersar las fibras completamente, y una gota

de esta suspensión es secada en una placa de microscopio, no mostrará la misma doble refracción.

Otra técnica, que puede conducir a un mejor entendimiento de la estructura de las grasas lubricantes, es la determinación del volumen promedio de las microceldas del jabón en un solvente no acuoso, con la ayuda de un tinte fluorescente absorbida por las microceldas.

A pesar de toda la investigación hecha para estudiar el arreglo y la forma de las fibras en una grasa lubricante, aún queda mucho por investigar; sin embargo, se puede enumerar algunas conclusiones<sup>6</sup>:

- Aún cuando las fibras de algunos tipos de grasas lubricantes pueden ser orientadas, aparentemente, ésta no es una característica de todos los tipos de lubricantes espesados con jabón.
- La forma óptima de las fibras en una grasa lubricante depende de la composición del jabón, del aceite mineral empleado y del proceso de manufactura.
- Puede esperarse que la forma más deseable de las fibras, desde el punto de vista de su estabilidad al esfuerzo cortante, serán aquellas que tengan una mayor relación longitud-diámetro.
- La forma de las fibras que mantendrán el aceite más firmemente, serán aquéllas más cortas.

### 1.3.2 ESTADO DEL ACEITE EN LA GRASA LUBRICANTE

Dando por cierto que la estructura general del jabón en una grasa lubricante consiste de cristales que toman la forma de fibras, esto no es suficiente para explicar por qué una pequeña cantidad de sólido inmoviliza una gran cantidad de líquido. Una explicación de este fenómeno es que el aceite se mantiene por fuerzas capilares en los intersticios de una maraña o irregular enrejado de pequeñas fibras de jabón. Otra explicación es que el aceite se mantiene en el gel en dos formas:

- Por combinación directa o adsorción de las moléculas del aceite o grupo de moléculas que forman el gel.
- Por penetración de las moléculas libres del aceite entre la estructura entrelazada del jabón.

Existen evidencias de que el fluido lubricante en las grasas pueden mantenerse en la estructura del jabón por ambos de los mecanismos arriba indicados.

En algunos casos, se requiere un tercer componente para que los cristales del jabón logren atraer o adsorber al aceite lubricante. Es el caso del jabón de sodio, que puede atraer más fácilmente al aceite mineral si la superficie del jabón es humedecida previamente con un glicerol<sup>19</sup>.

Por otro lado, el estearato de calcio es

débilmente humedecido ya sea por el aceite mineral o el agua. Sin embargo, si el agua es colocada en la superficie del estearato de calcio y luego se drena dejando una superficie aparentemente seca, entonces el aceite se dispersará en la superficie del jabón. El mismo efecto presenta el glicerol y los ácidos grasos<sup>17</sup>.

Los conceptos antes mencionados, en relación a la forma en la cual el aceite lubricante se mantiene en la estructura del jabón de la grasa lubricante, permiten un entendimiento del mecanismo por el cual el fluido lubricante es forzado a salir del cuerpo de la grasa.

Si la estructura del gel se contrae, el aceite es forzado a abandonar el sistema, fenómeno denominado **sinérisis**<sup>3</sup>. En este caso, los cristales de jabón tienen una gran atracción entre ellos, que predomina sobre la atracción por el aceite. Un ejemplo de ello es cuando se observan grumos de jabón en grandes cantidades de aceite.

Por otro lado, el "**sangrado**" es una fuga de aceite de la grasa lubricante debido a la deficiencia en la estructura del gel. Esta condición puede agravarse cuando el contenido de jabón es muy reducido.

Las fuerzas que inmovilizan al fluido en la estructura de una grasa pueden ser dominadas por

varios factores, tal como el incremento de la temperatura o la presión. Sin embargo, parte del aceite se mantiene en la estructura<sup>13</sup>.

Se a determinado que, mientras un incremento de presión produce un incremento gradual en la cantidad de aceite separado; proporcionalmente existe menos aceite dispuesto a separarse con un incremento de presión.

Vold<sup>25</sup> al describir el sistema del estearato de calcio en cetano, indica que cuando tales sistemas fueron sometidos a presión, para determinar la separación de aceite, la velocidad y cantidad de líquido perdido no sólo depende del contenido de jabón, sino también del contenido del tercer componente, tal como el agua. Se ha encontrado que la relación de una mol de agua a una mol de jabón es la óptima para estabilizar los sistemas de estearato de calcio en cetano contra la pérdida de fluido bajo presión. Sin embargo, con metanol o ácido esteárico como estabilizadores para el sistema anterior, la composición para una máxima estabilidad no corresponde a una simple relación molar.

El efecto de la temperatura y la concentración de jabón en la separación de aceite de una grasa se muestra en la Fig. 1-10.

Puede concluirse que las fuerzas que mantienen el fluido en la grasa lubricante pueden ser parcialmente

vencidas por un incremento en la presión o la temperatura<sup>6</sup>. Sin tales cambios, hay dos razones para que se produzca la separación del aceite:

- La contracción de la estructura, la que obliga a abandonar la grasa lubricante. Esto conduce a una sinéresis debido a que los cristales de jabón tienen una mayor atracción entre ellos que con el aceite.
- La deficiencia de la estructura de la grasa, tal como una muy baja concentración de jabón. Este tipo de sangrado es evidente en la mayoría de las grasas más blandas.

### **1.3.3 EFECTOS DE LA VARIACION DEL ACEITE LUBRICANTE EN LA ESTRUCTURA DE UNA GRASA.**

Las características físicas y químicas de los aceites lubricantes influyen en la manufactura de una grasa, tanto en el proceso de producción como en el producto final.

Los efectos que producen los aceites lubricantes en las grasas pueden generalizarse, por lo que es necesario especificar el efecto de los aceites minerales según el tipo de grasa preparada.

En el caso de los jabones de aluminio, los aceites parafínicos producen grasas de mayor consistencia, siguiendo en orden los nafténicos y asfálticos<sup>8</sup>. La textura suave de las grasas de

aluminio, generalmente, se incrementa al incrementarse la viscosidad de los aceites de un tipo dado.

Algunos autores<sup>8,14,15</sup> clasifican a los aceites de bajo índice de viscosidad como "polares" y como no polares" a los de alto índice de viscosidad. Si esto es cierto, los constituyentes polares, a través de la donación de electrones, podrían detener el crecimiento y adición de las cadenas de polímeros, antes de que sean lo suficientemente grandes para tener una efectiva acción espesante. Los aceites más polares entonces, tienden a producir grasas más blandas y suaves que los aceites más refinados.

En aceites de baja viscosidad, el jabón tiene mayor libertad de movimiento y formar agregados más grandes, incrementándose la relación longitud-diámetro de la fibra de jabón, produciéndose grasas de mayor consistencia<sup>8</sup>.

Por otro lado, los aceites de alta viscosidad limitarán los movimientos del jabón, reduciéndose su habilidad para formar fibras con una relación longitud-diámetro grande, obteniéndose una grasa más blanda.

En una grasa con jabón de sodio anhidro, la viscosidad y pureza del aceite tiene gran influencia en la formación de las fibras de jabón. Se ha encontrado que en aceites livianos el jabón precipita

como una masa de pequeñas agujas<sup>4</sup>. Como consecuencia de ello, se producen grasas blandas y de baja estabilidad al esfuerzo mecánico. A medida que el aceite aumenta su viscosidad, se obtendrán fibras de jabón más largas y fuertes. Sin embargo, a partir de determinada viscosidad, el aceite no permitirá la formación de la estructura de la grasa, produciéndose una masa granulada de partículas de jabón.

En el caso de las grasas con jabón de calcio, obtenidas con aceites de alto índice de viscosidad, se ha de necesitar una mayor proporción de estabilizadores (agua, ácidos grasos libres), afectando su rendimiento.

Se ha determinado que para obtener una grasa cálcica con aceite de índice de viscosidad mayor de 87.5, se requieren al menos 0.5 por ciento de ácido graso libre en adición al agua para estabilizar la grasa<sup>5</sup>.

Asimismo, se ha determinado que se obtendrán grasas cálcicas de mayor consistencia con aceites que tienen un índice de viscosidad de 45 a 46.

#### **1.3.4 EL AGUA COMO TERCER COMPONENTE DE UNA GRASA LUBRICANTE**

La humedad es incluida en la grasa con el álcali requerido para la saponificación en la manufactura de la mayoría de los jabones empleados en las grasas lubricantes.

Cuando se usan ácidos grasos o estos ácidos están presentes en el material graso, el agua es formada en la reacción de neutralización.

En el caso de jabones ya preparados, el contenido de humedad es rara vez menor que medio por ciento (0.5%). Si bien es cierto, durante el proceso de manufactura se elimina la mayor cantidad de agua, o es agregada a propósito, tal humedad tiene gran influencia en la estructura de la grasa. Esto es cierto en prácticamente todos los tipos de grasas, siendo su influencia hasta determinado porcentaje, ventajosa, pasando luego a ser perjudicial a la grasa.

En la manufactura de las grasas cálcicas el agua juega un rol muy importante. Gallay y Puddington<sup>18</sup> determinaron muy claramente la influencia del agua en el sistema de jabón de calcio con aceite. Ellos encontraron que el estearato de calcio es deficientemente humedecido por el aceite. Asimismo, el estearato de calcio no es humedecido por el agua. Sin embargo, si el agua es colocada en la superficie del jabón y luego drenada, la superficie aparenta estar seca, pero en realidad se ha presentado una alteración de tal manera que al colocarse un aceite lubricante sobre la nueva superficie del estearato de calcio el aceite se esparce fácilmente.

También demostraron la absorción del agua por el

jabón de calcio. Si a una muestra de tal jabón, preparado de una mezcla de ácidos grasos, se extrae con éter de petróleo y se seca en vacío a 50 grados centígrados en pentóxido de fósforo y luego, este jabón seco se expone a un ambiente de humedad relativa de 66 por ciento (66%) el agua absorbida será:

<u>TIEMPO.días</u>	<u>ABSORCION DE AGUA. %P</u>
1	3.60
2	4.05
21	4.24

Bajo las mismas condiciones, una grasa de jabón de estearato de calcio mostró una absorción de agua en el equilibrio de 2.9 por ciento.

La dispersión del jabón de calcio, elaborado con un sebo animal en un aceite lubricante, también es influenciada por la presencia de agua. La adición de agua a este sistema hace que las partículas de jabón tengan apariencia muy diminutas, fibras onduladas y suavemente enrolladas dependiendo del contenido de agua<sup>24</sup>.

La acción del esfuerzo mecánico, asociada con la mezcla de la grasa lubricante durante su fabricación, hace que las fibras tomen forma de espiral o curvas.

La desintegración de las fibras de una grasa de base cálcica durante la deshidratación se muestra en las Fig. 1-11 a 1-15<sup>10</sup>.

#### 1.3.5 EL ALCOHOL COMO TERCER COMPONENTE DE UNA GRASA LUBRICANTE

El glicerol es el alcohol que con más frecuencia se encuentra presente en las grasas lubricantes. Esto es debido a que una gran proporción de las grasas son preparadas con sebos y consecuentemente, el glicerol es el resultado de la reacción de saponificación que permanece en el producto final.

En otros casos, tal como en las grasas preparadas con ácidos grasos, el glicerol puede ser adicionado por su efecto estabilizante.

Como se ha mencionado anteriormente, muy pocas grasas son anhidas; en consecuencia, el glicerol se encuentra normalmente presente conjuntamente con el agua. En efecto, la presión de vapor de la mezcla glicerol-agua es tal que solamente bajo condiciones de vacío y calor, el agua puede separarse del glicerol.

Algunos investigadores han reconocido la necesidad del agua conjuntamente con el glicerol para la producción de grasas lubricantes.

Así, Auld y colaboradores<sup>1</sup> encontraron que era imposible estabilizar una grasa de base cálcica con glicerol solamente.

Por otro lado, Bondi<sup>4</sup> y Smith<sup>23</sup> determinaron que todos los compuestos hidroxílicos, incluidos los alcoholes, tienen el mismo efecto en los sistemas hidrocarburo-jabón. La adición de estos compuestos incrementa la solubilidad del jabón en el hidrocarburo y baja la temperatura de transformación de fases.

Cuando se estudió el poder humectante del aceite en los jabones de calcio, se encontró que el glicerol actúa de la misma forma que el agua<sup>15</sup>. Esto es, el aceite humedece la superficie del jabón después de que éste ha sido tratado con glicerol. Si una mezcla de jabón-aceite conteniendo glicerol se calienta hasta homogenizarlo, y luego se enfría rápidamente, el glicerol no ejerce mayor efecto. Sin embargo, si el enfriamiento es lento, el jabón cristaliza en fibras cuyas dimensiones dependen de la cantidad de glicerol presente.

Parece que la mayoría de los compuestos hidroxílicos influyen en la cristalización del jabón en el aceite. Así, al estudiarse la cristalización de los jabones de sodio en aceite, se determinó que el etilénglicol y el propilénglicol tienen un efecto promotor en la formación de las fibras en la recristalización de tales jabones<sup>15</sup>.

### 1.3.6 LOS ACIDOS GRASOS COMO TERCER COMPONENTE EN UNA GRASA LUBRICANTE

La acción de los ácidos grasos libres en la formación de la estructura de una grasa lubricante es similar a la de otros modificadores; es decir, los ácidos incrementan la solubilidad del jabón y facilitan su cristalización.

Cuando se desea producir una grasa con oleato de calcio y aceite mineral neutro, es necesaria la adición de ácido oleico para estabilizar la grasa<sup>21</sup>.

Asimismo, en un sistema de estearato de calcio-aceite mineral, la cantidad de flujo de doble refracción sigue aproximadamente el mismo orden que su acidez, de lo que se concluye que la presencia de ácido graso libre conduce a un arreglo ordenado de la fase jabón<sup>16</sup>. Sin embargo, también se ha determinado que la presencia de ácido graso libre puede incrementar la asimetría de las microceldas en lugar de lograr un arreglo ordenado de la fase jabón.

En un experimento realizado por Farrington y Birdsall<sup>11</sup> con una mezcla de estearato de calcio y aceite, a la que se adicionó varias proporciones de ácido esteárico, se le observó la estructura producida:

- Con 0.2 por ciento de ácido esteárico libre la muestra se separó fácilmente en dos fases, lo que indicaba que la cantidad de ácido libre era

insuficiente para estabilizar la estructura.

- Una muestra conteniendo 1.0 por ciento de ácido esteárico libre mostró una textura mejorada, comparada con la que tenía solamente 0.2 por ciento.
- Cuando se agregó 2.0 por ciento de ácido esteárico libre, el sistema mostró una estructura cristalina.

La grasa conteniendo 2.0 por ciento de ácido esteárico libre era semifluida cuando se preparó, después de 12 horas tomó mayor consistencia y textura suave.

Asimismo, este producto tiene una tendencia a ser más opaca a medida que se endurece, lo cual indica el engrandecimiento del tamaño de las partículas.

- Una mezcla conteniendo 3.0 por ciento de ácido esteárico libre también endureció rápidamente.

Gallay y Puddington<sup>16</sup> también determinaron la interrelación de dos aditivos en el mismo sistema. Así, en el sistema estearato de calcio-aceite mineral es necesaria la presencia de agua y ácido graso libre para estabilizarlo.

### 1.3.7 EXCESO DE ALCALI COMO UN COMPONENTE DE UNA GRASA CALCICA

Con la excepción de las grasas de base de aluminio, el resto de grasas contienen normalmente un exceso de álcali.

En efecto, el carbonato de sodio y los ácidos grasos libres coexisten en las grasas de base de sodio. El hidróxido de calcio y el ácido oleico coexisten en las grasas cálcicas. Aún no se ha determinado con exactitud la forma cómo existe el álcali en tales sistemas o cómo influye el álcali en la estructura. Si tales sistemas también contienen agua, un alcohol u otro solvente, el álcali libre puede estar simplemente distribuido como gliceróxido del metal. Ya que este último compuesto se hidroliza fácilmente, es determinado como álcali libre. En el caso del jabón de plomo con sebo, el óxido de plomo se encuentra combinado con el glicerol<sup>9</sup>.

No se ha determinado el efecto, si es que existe, del exceso del álcali en la estructura de la grasa.

### 1.4 AGENTES ESPESANTES DIFERENTES AL JABON

Los agentes espesantes no jabones no deben ser confundidos con los rellenos. Los rellenos sólo forman parte del cuerpo de la grasa, mientras que los agentes que trataremos influyen en la estructura coloidal del sistema.

No obstante que la forma de algunos de estos agentes espesantes son diferentes a los cristales de jabón, la manera de inmovilizar grandes cantidades de fluido puede ser similar. Debido a que la estructura de las partículas son finas, tales partículas pueden mantener el fluido por adsorción con, quizá, algún tipo de enlace químico entre las partículas.

#### 1.4.1 **ARCILLAS**

Algunas arcillas química o físicamente modificadas pueden ser utilizadas como agentes espesantes de líquidos orgánicos. La aplicación de tales productos se ha extendido a la producción de grasas lubricantes.

Una de las arcillas es la bentonita, en la cual los iones de sodio han sido reemplazados por cationes de sales de amonio cuaternario o de varias aminas.

Las bentonitas recomendadas para espesar lubricantes hacen uso de alquilaminas de cadena larga. La naturaleza organofílica de las partículas de las bentonitas se dice que es de escamas de alrededor de un (1) milimicrón de espesor y aproximadamente 20 milimicrones de ancho y largo<sup>6</sup>.

Estas escamas tratadas, al ser dispersadas en un fluido orgánico (aceite lubricante en nuestro caso), mantienen al aceite como una fina capa en su superficie. Para producir la dispersión de las partículas de bentonita organofílica, las escamas

deben estar separadas de tal manera que el aceite pueda rodear las partículas.

En el caso de líquidos no polares, tal como los aceites minerales, se requiere de una gran cantidad de energía para tal separación.

Debido a que las grasas lubricantes producidas con este tipo de arcillas no muestran cambios de fases, no hay razón para que se produzca ablandamiento al incrementarse la temperatura, como lo hacen las grasas con jabón.

Las partículas de una grasa espesada con bentonita organofílica se muestra en la Fig. 1-16<sup>10</sup> a través de un microscopio electrónico.

La arcilla attapulugus, especialmente tratada con agentes surfactantes activos, actuará como un agente espesante de aceites y de otros fluidos lubricantes. Esta arcilla, tal como se muestra en la Fig. 1-17<sup>6</sup>, consiste de finos cristales en la forma de agujas. El agente surfactante activo es adsorbido en la superficie de los cristales y une las partículas de aceite con las partículas de arcilla. Para este propósito se han usado una variedad de agentes humectantes de carácter aniónico, catiónico, así como agentes no iónicos.

#### 1.4.2 **SILICA GEL**

Un fluido lubricante espesado con sílica, revelado en una microfotografía electrónica, muestra

aglomerados de partículas más o menos rodeadas del agente espesante. La adsorción del fluido, por una gran cantidad de tales partículas, puede ser la razón de mantener el fluido cuando se usan finas partículas de sílica o sílica gel para espesar un aceite lubricante.

Cuando se usa sílica o sílica gel como agente espesante de un aceite lubricante, los cambios de fase no se realizan al variar la temperatura, tal como ocurre con los jabones. Algunos cambios en la consistencia pueden producirse en el sistema sílica-aceite por calentamiento y enfriamiento e incluso al mantenerse la grasa en reposo, pero estos cambios no han sido explicados teóricamente<sup>6</sup>.

Una ruptura en la estructura del sistema sílica-aceite ocurre en la presencia de agua, a menos que la sílica haya sido tratada para hacerla repelente al agua.

#### **1.5 INFLUENCIA DE LA ESTRUCTURA DE UNA GRASA EN SUS PROPIEDADES FÍSICAS.**

El valor de una grasa lubricante en servicio depende de sus propiedades físicas. Tales propiedades son un reflejo de la estructura obtenida al utilizar determinados ingredientes y del proceso de manufactura. Es importante entonces, tratar de interpretar el conocimiento de la estructura de las grasas y correlacionarlo con sus características más importantes.

Las características a ser consideradas son:

- consistencia
- estabilidad mecánica
- estabilidad térmica
- flujo o viscosidad
- tixotropía
- separación de aceite
- textura y apariencia

### 1.5.1 **CONSISTENCIA**

El valor primario de una grasa lubricante es aquel relacionado a su característica de no fluir, como lo hacen los aceites lubricantes. Esta habilidad es debido a su consistencia, que la obtiene por la pequeña proporción de sólidos en el lubricante fluido.

Es preferible que una consistencia dada sea obtenida con la menor proporción de sólidos como sea posible, manteniendo las otras características de una *grasa*.

Desde el punto de vista económico, esto es preferible ya que el agente espesante es normalmente más caro por unidad de peso que el fluido. Más aún si, como muchos manifiestan, el lubricante real bajo muchas circunstancias es el componente fluido, entonces éste debe estar presente en la mayor proporción posible. También, por supuesto, una menor proporción del agente espesante puede disminuir la fricción interna durante el servicio y así bajar la

temperatura de servicio de la grasa.

Naturalmente, la consistencia se incrementa con un incremento en la concentración de los cristales del agente espesante y, en general, con una disminución en el tamaño de las partículas del agente espesante.

Lo manifestado aquí se cumple principalmente para sistemas jabón-aceite, pero reglas similares se encontrarán en sistemas con otros agentes espesantes.

Para el caso de grasas lubricantes de base sódica, se ha determinado que la forma de los cristales de jabón o de las fibras, puede ser de mayor importancia que su concentración o tamaño. La relación promedio de la longitud al diámetro de las fibras de jabón es probablemente el factor más importante que gobierna la consistencia para una determinada concentración de jabón<sup>4</sup>.

La estructura de este sistema jabón-aceite tiene la apariencia de fibras de cepillo, el que incrementa la habilidad de sus fibras, ya que una fibra más larga puede hacer más contacto con las fibras vecinas que una fibra corta del mismo diámetro.

Debido a que la consistencia no puede ser usada para predecir el rendimiento de una grasa; sin embargo, tiene alguna influencia en su aplicación. Así, un producto de consistencia blanda tiende a

soltarse de un rodaje más fácilmente que un producto de consistencia mayor. También, una grasa muy dura puede canalizarse en servicio y fallar durante la lubricación.

### 1.5.2 **ESTABILIDAD MECANICA**

A fin de que una grasa tenga estabilidad mecánica; es decir, al esfuerzo cortante, las fibras de jabón deben mantener su tamaño original. Esto ha de significar que tales fibras deban ser capaces de soportar deformaciones físicas sin que se rompan.

Al analizar una grasa lítica en un microscopio, antes y después de someterla a la prueba de tendencia al goteo (Wheel Bearing), se observa que la grasa, antes de la prueba, presenta fibras de varios micrones de longitud y de forma curvada<sup>7</sup>. Después de la prueba, las fibras se tornaron granuladas y de menos de 700 A de longitud. Los efectos debido al esfuerzo cortante en la estructura de una grasa lítica se muestran en las Fig. 1-18, 1-19, 1-20.

Por otro lado, en una investigación realizada por Bondi<sup>4</sup>, llegó a la conclusión que para que una grasa lubricante tenga mayor estabilidad al esfuerzo cortante, sus fibras del jabón deben mantener la mayor relación longitud-diámetro. Si las fibras se rompen en fragmentos más cortos, la consistencia decrecerá, mientras que si las fibras se dividen en fragmentos de menor diámetro, la consistencia

incrementará.

Lo anteriormente manifestado no se cumple necesariamente en todos los tipos de grasas. El comportamiento de una grasa, sometida al esfuerzo cortante, depende también de algunos otros factores, tales como: la composición de la grasa, el proceso de manufactura, el tipo de jabón, etc.

También, las fibras largas harán mayor contacto con las fibras vecinas que las fibras cortas del mismo diámetro. El esfuerzo cortante, entonces, debe vencer la atracción de las fibras a fin de reducir la consistencia de la grasa.

Las grasas que poseen estructuras altamente estables a la acción del esfuerzo cortante, tienen menos tendencia a soltarse en un rodaje anti-fricción y consecuentemente, no llega a ser fluida en servicio. Esto es particularmente importante en el caso de grasas para rodajes.

### 1.5.3 **ESTABILIDAD TÉRMICA**

Los cambios en la estructura de las grasas lubricantes debido a la temperatura, se deben a los cambios de fase del agente espesante. A medida que la temperatura de la grasa se incrementa, la fase jabón se ablanda progresivamente. Tal ablandamiento puede ser lo suficientemente grande a una temperatura baja que puede hacer fluir a la grasa, de tal manera que

el punto de goteo se obtiene a una temperatura muy por debajo del punto de fusión del jabón. Asimismo, la disminución de la viscosidad del aceite tiende a disminuir la consistencia del sistema a medida que la temperatura se incrementa. A medida que las fibras se ablandan, también pueden dilatarse, esta dilatación depende del tipo de jabón y de la naturaleza del fluido.

De tal manera que se observan factores contradictorios, que influyen en el cambio de consistencia de la grasa a medida que la temperatura se incrementa. Tales cambios son reflejados en la viscosidad aparente a medida que la temperatura cambia. En la Fig. 1-21 se puede observar una gráfica que relaciona el cambio de viscosidad aparente con la temperatura para tres grasas de jabón diferentes. En el caso de las grasas cálcicas se aprecia un ablandamiento gradual, la grasa de aluminio se ablanda más rápidamente hasta determinado valor luego del cual, se incrementa la viscosidad aparente.

Algunas grasas lubricantes dejan de funcionar satisfactoriamente a temperaturas mucho menores que la temperatura de solución del jabón en el aceite o del punto de ablandamiento del jabón o del punto de goteo de la mezcla jabón-aceite. Por ejemplo, las grasas de aluminio toman una estructura de gel elástico a temperaturas relativamente bajas. Tal gel

puede desprenderse del metal de los rodajes. Algunas grasas sódicas, que a temperatura ambiente son de textura corta, llegan a tener fibras muy largas al calentarse y después de ser trabajadas. En tales condiciones, la grasa puede envolverse alrededor del eje del equipo y ser incluso retirada del rodaje en algunos casos.

El punto de ablandamiento de una grasa puede variar ligeramente al variar la proporción de jabón, en algunos casos, puede tener mayor efecto el aceite usado y los aditivos agregados.

La grasa lubricante ideal será aquella que no presenta un cambio en la estructura o consistencia a medida que cambia la temperatura. Cuando la estructura de una grasa cambia al cambiar la temperatura, tal como se ha descrito líneas arriba, debe tenerse en cuenta que ello limitará su uso en determinados servicios, por lo que esta característica debe tenerse presente al recomendarse el uso de una grasa.

#### **1.5.4 FLUJO O VISCOSIDAD**

La facilidad con que una grasa puede fluir bajo presión o succión depende de la rigidez de la estructura de la grasa. Tampoco debe dejarse de considerar las características del aceite, ya que en algunos casos, las características del aceite predominan en el sistema jabón-aceite. Esto coincide

con la idea de que el mecanismo de flujo involucra la característica de fricción interna, así como la ruptura de enlaces.

La viscosidad aparente, en la mayoría de las grasas lubricantes, se incrementa a medida que la temperatura disminuye, tal incremento en la viscosidad aparente puede atribuirse enteramente al cambio de la viscosidad del aceite. A medida que la temperatura del sistema jabón-aceite se incrementa, se espera que la viscosidad aparente disminuya, este es el caso de la mayoría de las grasas y ello es, hasta que el cambio de fase en el jabón tiene mayor influencia. Un ejemplo en el que la viscosidad aparente se incrementa al incrementarse la temperatura es la grasa de aluminio, tal como se observa en la Fig. 1-21.

La viscosidad aparente de una grasa indica la facilidad con que puede ser bombeada; esto es, un producto con baja viscosidad aparente puede fluir aplicando menos esfuerzo que una grasa de mayor viscosidad aparente.

#### **1.5.5 TIXOTROPIA**

En la mayoría de los casos, después de que la grasa ha sido sujeta a un trabajo o esfuerzo, ya sea durante su manufactura o en servicio, las grasas se ablandan. Tan pronto como el trabajo o esfuerzo ha cesado, la estructura comienza a recuperar su estado

original. Esto es verdad para la mayoría de las grasas lubricantes, pero la rapidez y grado de reestructuración varía dependiendo del producto. Por lo tanto, la tixotropía es aquella propiedad que es manifestada por una disminución de la consistencia, como resultado del trabajo de la grasa, seguido de un incremento en la consistencia inmediatamente después que el trabajo ha cesado.

El ablandamiento tixotrópico debido al esfuerzo, el cual se incrementa con la duración del esfuerzo, debe diferenciarse con la disminución de la viscosidad que ocurre en un sistema plástico no-newtoniano al incrementarse el régimen de esfuerzo. Por otro lado, el proceso de recuperación tixotrópico difiere por cuanto éste es un proceso prolongado, proporcional al tiempo que se mantuvo el esfuerzo, mientras que el incremento de la viscosidad que ocurre en un sistema plástico, al decrecer el esfuerzo, es instantáneo.

Se han hecho algunos intentos para establecer un índice de tixotropía, usando alguna correlación numérica; sin embargo, aún no ha sido posible desarrollarla.

El mecanismo por el cual una grasa lubricante se ablanda bajo la influencia del esfuerzo cortante, puede ser debido a más de una causa. Primero, algunas de las fibras de jabón pueden romperse en fragmentos

más cortos como se muestra en las Fig. 1-19 y 1-20 después de un prolongado trabajo. También pueden romperse los enlaces que mantienen unidas las fibras de jabón o ser reorientadas, así como separadas.

Un intento de explicación de cómo se restablece la estructura de una grasa después de cesar el trabajo, es que quizá las fibras de jabón pueden formar enlaces rígidos y puntos de cristalización<sup>3</sup>. La velocidad de formación de estos enlaces debe ser proporcional al cuadrado de la concentración de las partículas o fibras de jabón. En las Fig. 1-22 y 1-23 se muestra la rapidez con la cual algunas grasas recuperan su consistencia después de cesar el esfuerzo cortante.

Debido a que algunas grasas difieren unas de otras por más de una variable en su preparación, no es posible obtener conclusiones rígidas en relación al efecto de cualquier variable en el comportamiento tixotrópico de la grasa. Las grasas cálcicas tienen baja régimen de ablandamiento debido al esfuerzo y también baja velocidad de recuperación de su estructura.

Otro factor que influye en el esfuerzo tixotrópico es la temperatura durante el trabajo. La tixotropía de una grasa cálcica cae a medida que la temperatura se incrementa hasta 50°C y luego se eleva hasta un máximo de 60°C, después del cual cae

nuevamente. Este comportamiento se debe al debilitamiento térmico de los enlaces tixotrópicos, seguido por un reforzamiento de estos enlaces debido al ensanchamiento de la superficie del jabón. A medida que la superficie de las partículas continúan ensanchándose o creciendo, se incrementa la cohesión de las partículas de tal forma que no se produce la ruptura de la estructura del jabón y por consiguiente el efecto tixotrópico es menor.

Las grasas que son muy tixotrópicas tienen la ventaja de exponerse en áreas fuera de los lugares en donde están sujetas a esfuerzo o trabajo y así, actuar como un excelente sello contra la fuga de lubricante más blando o el ingreso de material contaminante. Sin embargo, esta característica puede ser perjudicial si el endurecimiento después de cesar el trabajo es demasiado grande, de tal forma que se requiere demasiado esfuerzo de torque durante la puesta en servicio de rodamientos conteniendo tal producto. En estos casos puede producirse un deterioro del rodamiento debido a la falta de lubricación en el arranque<sup>6</sup>.

#### **1.5.6 SEPARACION DE ACEITE**

La separación de aceite se debe a por lo menos dos condiciones de la estructura de la grasa.

Un tipo de estructura que puede originar la separación de aceite es una inadecuada estructura del

gel, lo que puede deberse a un bajo porcentaje de fibras largas de jabón. La pérdida de aceite debido a esta causa es llamado "**sangrado**". Si la estructura del gel de una grasa se contrae, tal acción puede obligar al aceite a salir del sistema. Esta separación es llamada "**sinérisis**"<sup>3</sup>. Se ha observado<sup>8</sup> que la sinérisis se presenta con mucha frecuencia en grasas de aluminio hechas con aceites de baja viscosidad y enfriadas rápidamente. Frecuentemente la contracción del gel es lo suficientemente grande para romper y separar completamente la grasa que rodea el recipiente (debido al enfriamiento más rápido). Se piensa que actúan fuerzas muy apreciables para juntar las fibras de jabón, probablemente las fuerzas de Van der Waals<sup>6</sup>. Tales fuerzas de atracción, pueden atraer a las fibras entre sí, y así colapsar los espacios capilares forzando al aceite a salir del sistema.

Cuando se ejerce alguna presión para separar el aceite de la grasa, existe la posibilidad de colapsar la estructura de la grasa.

Otro factor que influye en la separación del aceite de una grasa es la temperatura. En general, un incremento de temperatura en la grasa tiende a separar más fácilmente al aceite.

La separación de aceite tiene una gran influencia en el servicio de una grasa. Una cierta cantidad de aceite libre será beneficiosa para la lubricación

inicial del equipo. Sin embargo, si ocurre una separación excesiva, al final se formará una masa completamente dura, normalmente de jabón, la que no proporcionará la lubricación necesaria que el equipo requiere.

#### 1.5.7 **TEXTURA Y APARIENCIA**

La textura de un grasa está determinada por el tamaño de las fibras de jabón del sistema. Las fibras de más de 50 micrones de longitud producen grasas de textura fibrosa<sup>10</sup>. Las grasas que tienen fibras de 2 micrones o menos tienen una apariencia suave.

La textura puede tener una gran influencia en la aplicación de la grasa. Así, una grasa para rodajes extremadamente fibrosa es difícil de empacar en el rodaje, además puede envolverse en el eje y salirse del rodaje. Por esta razón, es preferible obtener grasas con fibras moderadamente largas.

Las grasas que presentan una apariencia translúcida o transparente tienen fibras muy cortas. Así, las grasas de aluminio tienen fibras de aproximadamente 0.1 micrón de longitud y son generalmente claras y en algunos casos transparentes.

## **CAPITULO II**

### **APLICACIONES**

#### **2.0 GENERALIDADES**

El presente trabajo consiste en buscar sustitutos nacionales a la cal y sebo animal, utilizados en la preparación de grasas cálcicas, los cuales eran importados.

Se han realizado progresivamente los siguientes trabajos:

- Sustitución de sebo importado por ácido esteárico nacional.
- Sustitución de cal importada por cal nacional.
- Sustitución de sebo importado por sebo nacional.
- Sustitución de sebo importado por aceite castor hidrogenado nacional.

Las pruebas en laboratorio y en planta se realizaron con la grasa Super K-2, por ser ésta la de mayor demanda dentro de las grasas cálcicas.

##### **2.0.1 CALIDAD DE INGREDIENTES**

En la elaboración de la grasa Super K-2 se utiliza, además del hidróxido de calcio y del material graso, los siguientes ingredientes:

- Destilado Lubricante 400 (DL 400)
- Destilado Lubricante 8000 (DL 8000)
- Ronax 500
- Hidróxido de sodio 200Bé
- Aditivo

Los Destilados Lubricantes (DL 400 y 8000) se obtienen en la Planta de Lubricantes de la Refinería Talara, por destilación al vacío del crudo reducido LCT (Light Cold Test), de base nafténica, que se obtiene a su vez, en la Unidad de Destilación Primaria, a partir del crudo LCT.

El Ronax 500 también es elaborado en la misma refinería por mezcla de una Base Asfáltica con un Destilado Lubricante.

La soda cáustica o hidróxido de sodio es adquirido como líquido concentrado de 500Bé y diluido en Planta hasta 200Bé.

El aditivo que se utiliza es un polímero de alto peso molecular, que le proporciona a la grasa una ligosidad característica. Es un producto importado.

La Tabla 2.1 muestra las características de estos ingredientes.

Respecto a la calidad de la cal y del material graso a utilizarse, se mencionarán progresivamente a medida que se describan a través del presente

trabajo, las diferentes pruebas realizadas para sustituir estos ingredientes.

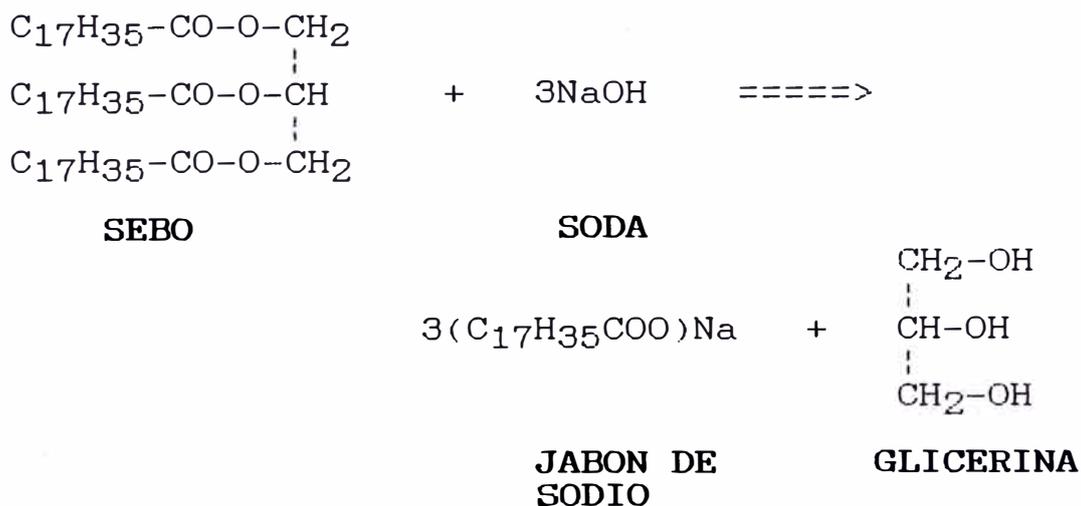
## 2.0.2 PROCEDIMIENTO NORMAL DE MANUFACTURA DE LA GRASA CALCICA SUPER K-2

A fin de que nos sirva como base de comparación, se describirá el procedimiento normal de elaboración de la grasa cálcica Super K-2 utilizando cal y sebo importados<sup>21</sup>. En la Tabla 2-2 y 2-3 se aprecia la calidad de estos insumos.

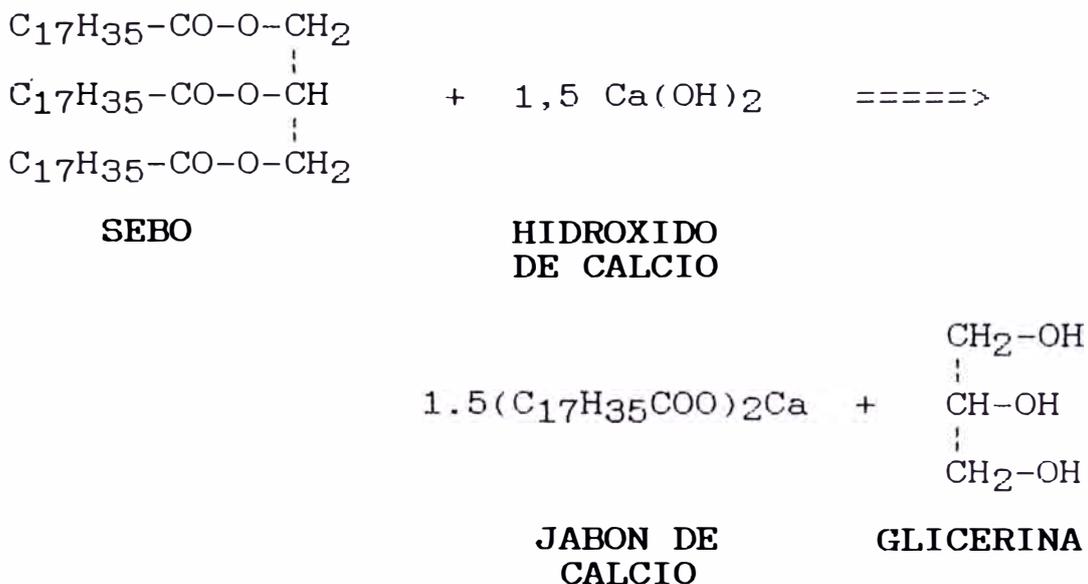
### 1.- Reacciones que se Presentan

Si bien es cierto el sebo es un glicérido complejo, es práctico asumir, para efectos de cálculos, que es un triglicérido del ácido esteárico. Las reacciones que se presentan son:

#### a) Formación de Jabón de Sodio



**b) Formación de Jabón de Calcio**



**2.-Formulación**

Se tiene como información lo siguiente:

P : peso de sebo utilizado (kg.)	364.0
N : N <sub>Q</sub> de saponificación del sebo (mgr. KOH/gr. )	196.0
p : pureza de la cal (% CaO)	69.3
K : concentración de soda cáustica 20 <sup>o</sup> Bé (gr. NaOH/lt. solución)	174.7
V : volumen de soda 20 <sup>o</sup> Bé (lt.)	9.5
Peso Equivalente de: - sebo	890.0
- hidr. de sodio	40.0
- hidr. de calcio	37.0

**a) Cálculo de la cantidad de sebo utilizado para reaccionar con la soda cáustica.**

De la estequiometría de la reacción se tiene que:

1 Mol kg. de sebo reacciona con 3 Mol kg. de soda.

890 kg. sebo ----- 3\*40 kg. soda

x kg. sebo ----- 9.5 lt \*174.7 gr. NaOH/lt.

$$x = \frac{890*9.5*174.7}{3*40*1000}$$

$$x = 12.3 \text{ kg. sebo}$$

**b) Cálculo de la Cantidad de Cal Requerida para Saponificar el Sebo Remanente (c).**

Del Anexo 1:

$$c = \frac{N*P}{20*p}$$

$$c = \frac{196.0*(364.0 - 12.3)}{20*69.3}$$

$$c = 49.7 \text{ kg. cal}$$

Considerando un exceso de 10%

$$c = 49.7*1.1$$

$$c = 54.7 \text{ kg. cal}$$

**c) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Sodio Producido (JS<sub>sebo</sub>).**

Del Anexo 3:

$$JS_{sebo} = \frac{1.031 \text{ kg. jabón de sodio}}{\text{kg. sebo}}$$

Reemplazando:

$$JS_{sebo} = 1.031*12.3$$

$$JS_{\text{sebo}} = 12.7 \text{ kg. jabón de sodio.}$$

**d) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Calcio Producido ( $JC_{\text{sebo}}$ ).**

Del Anexo 2:

$$JC_{\text{sebo}} = \frac{1.021 \text{ kg. jabón de calcio}}{\text{kg. sebo}}$$

Reemplazando.

$$JC_{\text{sebo}} = 1.021 * (364.0 - 12.3)$$

$$JC_{\text{sebo}} = 359 \text{ kg. jabón de calcio.}$$

**e) Cálculo de la Cantidad de Glicerina Producida ( $G_{\text{sebo}}$ ).**

Del Anexo 2.

$$G_{\text{sebo}} = \frac{0.103 \text{ kg. glicerina}}{\text{kg. Sebo}}$$

Reemplazando

$$G_{\text{sebo}} = 0.103 * 364.0$$

$$G_{\text{sebo}} = 37.50 \text{ Kg. de glicerina}$$

**f) Total de Ingredientes Utilizados en la Preparación de la Grasa Cálcica Super K-2.**

	<u>PESO (Kg.)</u>	<u>%P</u>
Sebo importado	364.0	12.2
Cal importada	54.7	1.8
Soda cáustica 20%Bé	11.0	0.4
DL 400	242.0	8.1

DL 8000	1510.0	50.5
Ronax 500	745.0	24.8
Aditivo	15.0	0.5
Agua	51.5	1.7
<b>TOTAL</b>	<b>2993.2</b>	<b>100.0</b>

**g) Composición Final de la Grasa Super K-2.**

	<u>PESO (Kg.)</u>	<u>%P</u>
Jabón (calcio + sodio)	371.7	12.4
Aceites + aditivo	2517.0	84.1
Glicerina	37.5	1.3
Agua	51.5	1.7
Otros	15.5	0.5
<b>Total</b>	<b>2993.2</b>	<b>100.0</b>

**3.- Saponificación**

La reacción de saponificación se realiza en un reactor a presión. Este reactor tiene una chaqueta de calentamiento por el cual se hace pasar vapor de 10 atm. lográndose una temperatura de 160°C. La presión interna es producida por la vaporización del agua que se añade al reactor.

**4.- Dispersión**

En la olla atmosférica se recibe el jabón obtenido en el reactor y luego se adicionan los aceites lubricantes hasta lograr una temperatura de 99°C.

**5.- Toma de consistencia**

A la temperatura de 99°C se añade aproximadamente el 4% en peso de agua, en forma lenta, y se mantiene

la agitación hasta que la grasa tome consistencia y brillo.

## **6.- Terminación**

Se adiciona el aceite lubricante necesario para completar la formulación. Luego se agrega el aditivo y se agita para obtener una homogenización completa.

### **2.0.3 DIAGRAMA DE FLUJO**

El diagrama de flujo del proceso mostrando los equipos más importantes en la elaboración de una grasa lubricante se muestra en la Fig.2.1.

### **2.1 SUSTITUCION DE SEBO IMPORTADO POR ACIDO ESTEARICO NACIONAL EN GRASA CALCICA SUPER K-2**

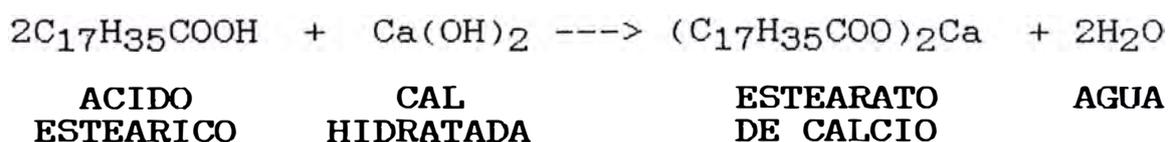
Desde sus inicios, la Planta de Grasas de Petróleos del Perú elaboró grasas cálcicas utilizando como material graso sebo importado para la preparación del jabón.

Después de realizar varias pruebas a nivel de laboratorio, se decide preparar grasa cálcica Super K-2 utilizando ácido esteárico como material graso.

#### **2.1.1 CALIDAD DE INGREDIENTES**

##### **1.- Acido esteárico nacional.**

El ácido esteárico es un ácido graso de cadena larga que reacciona con el hidróxido de calcio de la siguiente manera:



En la Tabla 2.4 se muestran las características más importantes del ácido esteárico, el cual es un producto elaborado en el país, cuyas especificaciones se pueden comparar con las exigidas por PETROPERU, observándose que cumple satisfactoriamente.

## **2.- Cal hidratada importada.**

La cal hidratada que se utilizó durante esta prueba fue la que se venía usando normalmente; es decir, cal importada. En la época que se realizó esta primera sustitución, en el mercado nacional aún no se disponía de cal de la calidad que exigía Petroperú.

En la Tabla 2.2 se compara la calidad de la cal importada utilizada durante esta prueba, en comparación con las especificaciones de PETROPERU.

### **2.1.2 PROCEDIMIENTO DE MANUFACTURA**

#### **1.- Formulación**

Como se ha visto en el Capítulo I, la velocidad de saponificación de un jabón de calcio se incrementa con la presencia de soda cáustica en el reactor, por ello se ha de utilizar hidróxido de sodio en solución de 200Bé (174.7 gr. NaOH/lt. de solución).

Se tiene como información lo siguiente:

P	peso ác. esteár. utilizado (kg.)	364.0
N	Nº de saponificación del ác. esteárico (mgr. KOH/gr. )	209.5
p	pureza de la cal (% CaO)	69.3

V : volumen de soda 200Bé (lt.)	9.5
K : concentración de soda cáustica 200Bé (gr. NaOH/lt. solución)	174.7
Peso Equivalente de: - ác. esteárico	284.0
- soda	40.0

**a) Cálculo de la Cantidad de Acido Esteárico Utilizado para Reaccionar con la Soda Cáustica.**

La reacción de saponificación es:



1 Mol kg. de ácido esteárico reacciona con 1 Mol kg. de hidróxido de sodio.

$$284 \text{ kg. ác. Esteárico} \quad \text{-----} \quad 40 \text{ Kg. soda}$$

$$x \text{ kg.} \quad \text{-----} \quad 9.5 \text{ lt} * 174.7 \text{ gr. NaoH/lt.}$$

$$x = \frac{284 * 9.5 * 174.7}{40 * 1000}$$

$$x = 11.8 \text{ kg. de ác. Esteárico}$$

**b) Cálculo de la Cantidad de Cal Requerida para Saponificar el Acido Esteárico Remanente.**

Del Anexo 1:

$$c = \frac{N * P}{20 * p}$$

$$c = \frac{209.5 * (364.0 - 11.8)}{20 * 69.3}$$

$$c = 53.2 \text{ kg. cal}$$

Considerando un exceso de 10%

$$c = 53.2 * 1.1$$

$$c = 58.5 \text{ kg. cal}$$

**c) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Sodio  
Producido (JS<sub>ae</sub>).**

Del Anexo 4:

$$JS_{ae} = \frac{1.077 \text{ kg. jabón de sodio}}{\text{kg. ác. esteárico}}$$

Reemplazando:

$$JS_{ae} = 1.077 * 11.8$$

$$JS_{ae} = 12.7 \text{ kg. jabón de sodio.}$$

**d) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Calcio  
Producido (JC<sub>ae</sub>).**

Del Anexo 6:

$$JC_{ae} = \frac{1.067 \text{ kg. jabón de calcio}}{\text{kg. ác. esteárico.}}$$

Reemplazando.

$$JC_{ae} = 1.067 * (364.0 - 11.8)$$

$$JC_{ae} = 375.8 \text{ kg. jabón de calcio.}$$

**e) Cálculo de la Cantidad de Agua Producida (W<sub>ae</sub>).**

Del Anexo 4.

$$W_{ae} = \frac{0.0634 \text{ kg. agua}}{\text{kg. ác. esteárico}}$$

Reemplazando

$$W_{ae} = 0.0634 * 364.0$$

$$W_{ae} = 23.0 \text{ Kg. agua.}$$

f) **Total de ingredientes utilizados en la preparación de la grasa cálcica Super K-2.**

INGREDIENTES	PESO (Kg.)	%P
Acido esteárico	364.0	27.2
Cal hidratada	58.5	4.3
Soda 200Be *	11.0	0.8
DL 400	180.0	13.5
DL 8000	455.0	34.0
Ronax 500	255.0	19.1
Aditivo	15.0	1.1
<b>TOTAL</b>	<b>1338.5</b>	<b>100.0</b>

\* Grav. Específica de la soda 200Bé = 1.1640

g) **Composición Final de la Grasa Super K-2.**

	<u>PESO (Kg.)</u>	<u>%P</u>
Jabón (calcio + sodio)	388.5	29.1
Aceites + aditivo	905.0	67.6
Agua	23.0	1.7
Otros	22.0	1.6
<b>Total</b>	<b>1338.5</b>	<b>100.0</b>

## **2.- Saponificación y cristalización**

La saponificación se realiza en un recipiente a presión atmosférica y a una temperatura cercana a 100°C.

El proceso de cristalización se realiza en forma simultánea a la saponificación debido a la presencia de agua, producto de la reacción, que actúa como estabilizador de la estructura jabón-aceite. Por ello, es importante mantener una temperatura menor al punto de ebullición del agua para evitar la pérdida de ésta.

## **3.- Dispersión**

La dispersión y enfriamiento se realiza adicionando los aceites lubricantes en la cantidad necesaria para completar la formulación.

## **4- Terminación**

Efectuar las pruebas finales de penetración, alcalinidad y porcentaje de agua y ajustar con DL 8000 si es necesario. Agregar el aditivo. Luego se envasará.

En la Tabla 2.5 se hace una comparación de la formulación y calidad de la grasa Super K-2 elaborada con sebo importado y con ácido esteárico nacional.

### **2.1.3 CONCLUSIONES**

1.- Las principales diferencias entre los procedimientos de manufactura utilizando sebo

animal y ácido esteárico son las siguientes:

	<u>sebo animal</u>	<u>ac. esteárico</u>
• Saponificación		
◆ Presión, atm.	4.5	1.0
◆ Temperatura, °C	160.0	93.0
◆ Tiempo, Hr.	1.5	4.0
• Cristalización		
◆ Adición de agua	si	no
• % de jabón	12.4	29.1

2.- Entre las características más sobresalientes de esta grasa, comparada con la elaborada con sebo importado tenemos:

- Baja estabilidad mecánica, que se manifiesta por un alto porcentaje de ablandamiento después de la prueba de penetración a 10000 golpes (10.5% -vs-3.1%).
- Bajo rendimiento, es decir contiene alto porcentaje de jabón para una grasa del grado NLGI N° 2 (29.1%-vs-12.4%).
- Mejor punto de goteo, 113.5 °C-vs-104.5 °C.

3.- A pesar de las diversas pruebas que se han realizado en planta, no se logró determinar las condiciones de operación que permita mejorar el rendimiento del ácido esteárico en la preparación de grasas cálcicas.

4.- La desventaja principal del uso del ácido esteárico es su bajo rendimiento, lo que se refleja en un alto porcentaje de jabón para obtener el mismo grado de penetración de grasa Super K-2 (29.1%-vs-12.4%).

## **2.2 SUSTITUCION DE CAL IMPORTADA POR CAL NACIONAL EN GRASA CALCICA SUPER K-2**

La sustitución de cal importada, por cal nacional en la grasa cálcica Super K-2, no significó ningún cambio en el procedimiento de manufactura, ya que sólo se trataba de utilizar cal nacional en lugar de cal importada.

La acción más importante de esta etapa era buscar en el mercado nacional una o más empresas que elaboren cal que cumpla con las especificaciones requeridas para la elaboración de grasas cálcicas que exige Petroperú, según lo indicado en la Tabla 1-3.

Ante este requerimiento, se presentaron cuatro empresas ofreciendo su producto. La calidad de la cal de cada una de ellas y su comparación con la cal importada se puede apreciar en la Tabla 2-6.

La calidad de la cal presentada por las cuatro empresas nacionales no cumplían estrictamente las especificaciones de Petroperú, pero comparando con la calidad promedio de la cal importada, que tampoco cumple rigurosamente las especificaciones de Petroperú, se observaba que una de las empresas nacionales (A) presentaba mejor calidad que la cal importada, tanto en pureza (69.9% vs 69.3%), como en

contenido de carbonatos (3.4% vs 4.0 %), por lo que se decidió utilizar en Planta la cal de esta empresa nacional (A).

### 2.2.1 APLICACION EN PLANTA

Como se ha mencionado líneas arriba, el procedimiento de manufactura seguido para este caso, es el mismo que el utilizado normalmente y que se describe en punto 2.0.2, variando solamente su formulación.

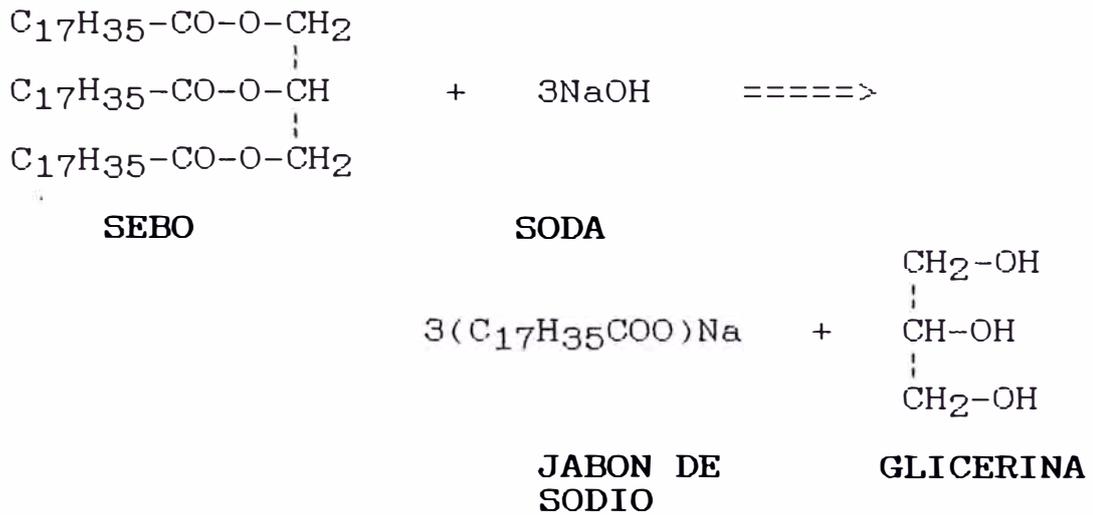
#### 1.- Formulación

Se tiene como información lo siguiente:

P	peso de sebo utilizado (kg.)	364.0
N	Nº de saponificación del sebo (mgr. KOH/gr. )	196.0
p	pureza de la cal (% CaO)	69.9
S	volumen de soda 20ºBé (lt.)	9.5
K	concentración de soda cáustica 20ºBé (gr. NaOH/lt.)	174.7
Peso Equivalente de: - sebo		890.0
- soda		40.0

#### a) Cálculo de la Cantidad de Sebo Utilizado para Reaccionar con la Soda Cáustica.

Asumiendo que el sebo es un triglicérido del ácido esteárico, la reacción del sebo con la soda es la siguiente:



De la estequiometría de la reacción se tiene que:

1 Mol kg. de sebo reacciona con 3 Mol kg. de soda.

890 Kg. sebo -----3\*40 Kg. soda

x Kg. sebo ----- 9.5lt\*174.7 gr. NaOH/lt.

$$x = \frac{890*9.5*174.7}{3*40*1000}$$

$$x = 12.3 \text{ kg. de sebo}$$

**b) Cálculo de la Cantidad de Cal Requerida para Saponificar el Sebo Remanente.**

Del Anexo 1:

$$c = \frac{N*P}{20*p}$$

$$c = \frac{196.0*(364.0 - 12.3)}{20*69.9}$$

$$c = 49.3 \text{ kg. cal}$$

Considerando un exceso de 10%

$$c = 49.3 * 1.1$$

$$c = 54.2 \text{ kg. cal}$$

**c) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Sodio Producido ( $JS_{\text{sebo}}$ ).**

Del Anexo 3:

$$JS_{\text{sebo}} = \frac{1.031 \text{ kg. jabón de sodio}}{\text{kg. sebo}}$$

Reemplazando:

$$JS_{\text{sebo}} = 1.031 * 12.3$$

$$JS_{\text{sebo}} = 12.7 \text{ kg. jabón de sodio}$$

**d) Cálculo de la Cantidad de Jabón de Calcio Producido ( $JC_{\text{sebo}}$ ).**

Del Anexo 2:

$$JC_{\text{sebo}} = \frac{1.021 \text{ kg. jabón de calcio}}{\text{kg. sebo}}$$

Reemplazando.

$$JC_{\text{sebo}} = 1.021 * (364.0 - 12.3)$$

$$JC_{\text{sebo}} = 359 \text{ kg. jabón de calcio.}$$

**e) Cálculo de la Cantidad de Glicerina Producida ( $G_{\text{sebo}}$ ).**

Del Anexo 2.

$$G_{\text{sebo}} = \frac{0.103 \text{ kg. glicerina}}{\text{kg. sebo}}$$

Reemplazando

Gsebo -  $0.103 \times 364.0$

Gsebo - 37.5 kg de glicerina.

**f) Total de Ingredientes Utilizados en la Preparación de la Grasa Cálcica Super k-2.**

	<b><u>PESO (Kg.)</u></b>	<b><u>%P</u></b>
Sebo importado	364.0	11.9
Cal importada	54.2	1.8
Soda cáustica 20 $\varrho$ Bé	11.0	0.4
DL 400	242.0	7.9
DL 8000	1569.3	51.4
RONAX 500	745.0	24.4
ADITIVO	15.0	0.5
AGUA	51.5	1.7
<b>TOTAL</b>	<b>3052.0</b>	<b>100.0</b>

**g) Composición Final de la Grasa Super k-2.**

	<b><u>PESO (Kg.)</u></b>	<b><u>%P</u></b>
Jabón (calcio + sodio)	371.7	12.2
Aceites + aditivo	2571.3	84.2
Glicerina	37.5	1.3
Agua	51.5	1.7
Otros	20.0	0.6
<b>total</b>	<b>3052.0</b>	<b>100.0</b>

**2.2.2 RESULTADOS**

En la Tabla 2-7 se muestra la formulación de la grasa cálcica Super k-2 elaborada con la cal nacional

de la empresa "A" en comparación con la grasa obtenida con la cal importada. También se compara la calidad en ambos casos.

### **2.2.3 CONCLUSIONES**

1.- La grasa Super k-2 elaborada con la cal nacional presenta un contenido de jabón similar a la grasa que utiliza cal importada (12.2% vs 12.4%), lo que se reflejará en igual rendimiento.

2.-En cuanto a la calidad, en ambos casos se observa que cumplen satisfactoriamente con las especificaciones de Petroperú.

### **2.3 SUSTITUCION DE SEBO IMPORTADO POR SEBO NACIONAL EN GRASA CALCICA SUPER K-2**

De igual forma como en el caso de la cal, en este caso, el paso más importante era conseguir proveedores nacionales de sebo que proporcionen un producto que cumpla con las especificaciones que se muestran en la Tabla 2-3.

Cuatro fueron las empresas nacionales que presentaron sus ofertas. Los análisis de laboratorio de sus respectivos productos se pueden ver en la Tabla 2-8.

El sebo de las empresas "A" y "B" cumplen las especificaciones, sin embargo el proveedor del sebo "A" no estuvo en condiciones de proporcionar la cantidad que se requiere para realizar pruebas en planta, ni la capacidad para abastecer la demanda de este insumo, por lo que fue descartado. Las pruebas en planta se realizaron con el sebo

de la empresa "B".

### **2.3.1 APLICACION EN PLANTA**

Como en el caso de la sustitución de la cal se siguió el mismo procedimiento descrito en el punto 2.0.2, calculándose en idéntica forma su formulación.

### **2.3.2 RESULTADOS**

En la Tabla 2-9 se observa la formulación de la grasa cálcica Super k-2 elaborada con el sebo nacional de la empresa "B" en comparación con la grasa obtenida con sebo importado.

### **2.3.3 CONCLUSIONES**

- 1.- El contenido de jabón de la grasa Super k-2 elaborada con la sebo nacional es menor que el contenido de jabón de la grasa elaborada con sebo importado (11.0 % vs 12.4 %), lo que se reflejará en un mayor rendimiento.
- 2.- En ambos casos se cumple con las especificaciones para este tipo de grasa.

## **2.4 SUSTITUCION DE SEBO IMPORTADO POR ACEITE CASTOR HIDROGENADO EN GRASA CALCICA SUPER K-2**

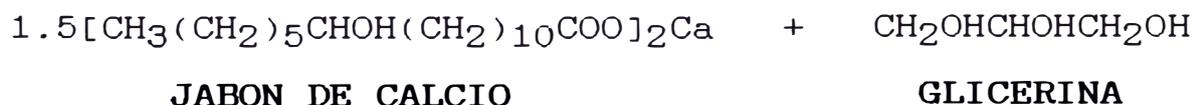
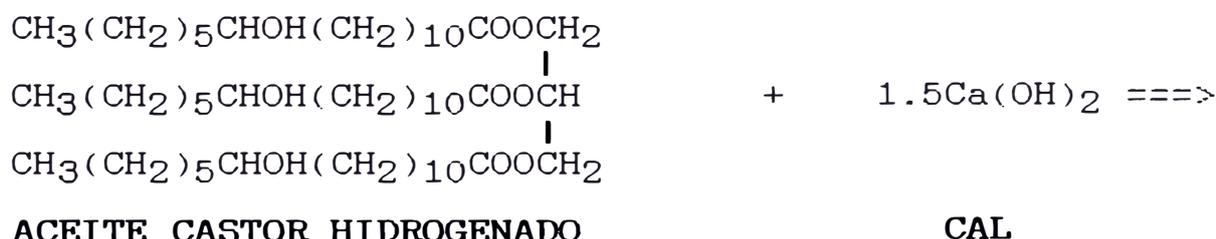
De acuerdo a la literatura existente, es posible elaborar diversos tipos de jabón para la manufactura de grasas cálcicas. Tradicionalmente se usa sebo como material graso, en razón de su bajo costo. Pero las grasas cálcicas que usan sebo mantienen una cantidad de agua en su estructura que le proporciona estabilidad. Sin embargo,

existe un tipo especial de grasas cálcicas que no necesitan agua en su estructura, son las llamadas grasas cálcicas anhidras. Uno de los materiales grasos más empleados para la elaboración de grasas cálcicas anhidras es el aceite castor hidrogenado.

El aceite castor hidrogenado es un glicérido de origen vegetal, obtenido a partir del aceite de ricino a través de un proceso de hidrogenación en condiciones especiales de presión y temperatura utilizando catalizadores apropiados.

El aceite castor hidrogenado es soluble en alcohol en cualquier proporción y a cualquier temperatura.

Reacciona con el hidróxido de calcio de la siguiente manera:



La característica más importante de este producto es la presencia del grupo hidroxil (-OH), los que tiene una gran afinidad entre ellos, produciendo un jabón más eficiente y de baja solubilidad que otros materiales grasos.

Las grasas cálcicas anhidras difieren de las grasas cálcicas convencionales (hidratadas) en que tienen mejor

estabilidad mecánica, mayor rango de temperatura de operación, de -50°C hasta +110°C, y buena estabilidad durante el almacenaje y en servicio. En comparación con las grasas de complejo de calcio, las grasas cálcicas anhidras son menos susceptibles a endurecer cuando se exponen a la humedad y al calor.

Debido a que se han encontrado diversas tecnologías para la manufactura de las grasas cálcicas anhidras, que difieren en las condiciones de operación y en el orden de agregar los componentes de la grasa, se procedió a realizar diversas pruebas a nivel laboratorio para determinar los efectos de estas variaciones en la calidad de la grasa final.

#### **2.4.1 ESTUDIO A NIVEL LABORATORIO**

La evaluación a nivel laboratorio consistió en variar las diversas condiciones de operación para determinar su influencia en el producto final.

Se hicieron las siguientes pruebas:

- Efecto de la temperatura del aceite lubricante durante la adición de los ingredientes.
- Efecto de la concentración de la suspensión acuosa de cal.
- Efecto de la adición de agua
- Efecto de la temperatura y tiempo de saponificación.

## **1.- Equipo utilizado**

Para realizar las pruebas a nivel laboratorio se utilizó un equipo muy simple, tal como se muestra en la Fig. 2-2 y que consta de lo siguiente:

- Un reactor, que es un recipiente formado por dos cilindros concéntricos, utilizándose el anillo formado entre ellos como baño de aceite para mantener la temperatura deseada.
- Un agitador de velocidad graduable.
- Dos termómetros
- Una mesa soporte con línea de gas como medio de calentamiento.

## **2.- Calidad de ingredientes**

### **a.- Aceite castor hidrogenado**

Como hemos dicho, el aceite castor hidrogenado es un glicérido de origen vegetal cuya característica más importante es la presencia del grupo hidroxil, produciéndose un jabón más estable y de baja solubilidad que aquel elaborado con sebo animal.

En la Tabla 2-10 se observa la calidad del aceite castor hidrogenado nacional e importado, así como las especificaciones requeridas por Petroperú.

El aceite castor hidrogenado nacional cumple satisfactoriamente con todas las especificaciones

de calidad.

### **b.- Cal hidratada**

La cal utilizada para realizar estas pruebas fue la cal nacional, que ya sustituía a la cal importada. La calidad de la cal nacional se observa en la Tabla 2-6.

### **3.- Procedimiento**

El estudio a nivel laboratorio consistió en hacer variaciones en las condiciones de operación para evaluar sus efectos en el producto final. El procedimiento que se detallará a continuación es general, cada caso en particular debe tener en cuenta los datos y condiciones de operación específicos.

En cada prueba se elaboró dos kilos de grasa con un porcentaje de jabón de aproximadamente el 10% con el que se puede obtener una grasa del grado NLGI 2.

- En el reactor completamente limpio se calienta el 30% del aceite a utilizar (543.6 gr.) hasta 75°C.
- Manteniendo agitación constante, se agrega lentamente el aceite castor hidrogenado hasta su completa disolución. Mantener la temperatura de 75°C.
- Adicionar la cal y posteriormente el agua. En las pruebas que se utiliza una solución de lechada de cal, se prepara previamente esta

solución utilizando las cantidades de cal y agua especificada en cada prueba.

- Lentamente se eleva la temperatura hasta llegar a 100°C para iniciar el proceso de deshidratación. En esta etapa deben extremarse los cuidados por cuanto puede producirse una gran formación de espuma, rebosando la capacidad del reactor. Debe mantenerse una adecuada agitación.
- Terminada la etapa de deshidratación, se inicia la saponificación (realmente en la etapa de deshidratación también se produce la reacción de saponificación pero en pequeña proporción), para lo cual se eleva la temperatura según lo requerido por cada prueba. Durante esta etapa, la consistencia del producto se incrementa gradualmente siendo necesario agitar manualmente, utilizando para esta acción una espátula.
- Terminado el periodo de saponificación, se corta el calentamiento y se agrega lentamente el aceite lubricante adicional, 1268.4 gr. (70%). La temperatura de este aceite lubricante es la del medio ambiente.
- La agitación manual se mantiene hasta que la grasa alcance una temperatura de 80°C. A partir de esta temperatura el enfriamiento es sin

agitación.

- Se toman las pruebas de laboratorio.

#### **4.- Resultados**

En las Tablas 2-11 a 2-15 se presentan las pruebas realizadas a nivel laboratorio en las que se muestra las condiciones de operación de cada una de ellas y las pruebas de laboratorio realizadas al producto final.

#### **5.- Conclusiones**

1. La temperatura inicial del aceite lubricante no influye en la calidad ni en el rendimiento de la grasa final. Se realizaron tres pruebas a diferentes temperaturas iniciales del aceite lubricante (25, 75 y 100°C) no observándose variación en el producto final (pruebas No 1, 2 y 3).
2. Esto descarta la creencia de que al añadirse el aceite castor hidrogenado y la cal al aceite lubricante, estando éste a la temperatura ambiente, la grasa final mostraría presencia de grumos, lo que no fue así, obteniéndose en todos los casos grasa de apariencia suave y sin presencia de grumos.
3. La mínima cantidad de agua requerida para iniciar la reacción de saponificación es de aproximadamente el 35% de la cantidad de cal

utilizada. Cuando se agrega en menor cantidad (prueba No 4) la grasa no tomó consistencia. Sin embargo cantidades adicionales de agua no influyen en la grasa final (pruebas No 5 y 6) pero si tienen su efecto en el tiempo y cuidados que se deben observar durante la deshidratación.

4. La cal también puede añadirse en solución acuosa (pruebas No 7, 8 y 9). Cuando la concentración de la solución acuosa de cal se incrementa, las propiedades básicas de la grasa final no mostraron mayor diferencia. En este caso nuevamente se presentan los problemas de mayor tiempo de deshidratación, así como de los cuidados que se deben tener para evitar la formación de espuma.
5. La mejor temperatura de saponificación encontrada fue de 120°C. Al incrementarse la temperatura a 130°C o más la grasa no toma consistencia, separándose el jabón y el aceite, mostrándose una apariencia completamente grumosa. Esta separación se mantiene aún enfriándose hasta la temperatura ambiente. Aparentemente es un proceso irreversible (pruebas No 10, 2, 11 y 12). Una temperatura de saponificación de 100°C o menos produce una grasa más blanda que aquella obtenida a 120°C.

6. El mejor tiempo de saponificación encontrado fue de aproximadamente treinta minutos (0.5 hr.). Mayores tiempos de saponificación permiten tener una grasa ligeramente de mayor consistencia (pruebas No 13, 2, 14 y 15).

## 2.4.2 APLICACION EN PLANTA

### 1.- Procedimiento

Después de realizadas las pruebas de laboratorio se determinó las condiciones de operación que podrían ser aplicadas a nivel planta, llegándose a la siguiente determinación:

#### Temperatura de ingredientes, °C

Aceite castor hidrogenado	Temp. ambiente
Cal hidratada	Temp. ambiente
Agua	temp. ambiente
Aceite DL 400	75°C

#### Deshidratación

Temperatura, °C	95 - 100
Tiempo, Hr.	0.5

#### Saponificación

Temperatura, °C	120 - 125
Tiempo, Hr.	1.0

Las pruebas de laboratorio se hicieron utilizando como aceite lubricante sólo DL 400, esto se realizó así para facilitar las pruebas; sin embargo, las pruebas en planta se realizaron para obtener la grasa cálcica Super K-2 comercial, que además de llevar DL

400, también lleva en su composición DL 8000 y Ronax 500.

En las pruebas de laboratorio no se utilizó soda cáustica diluida para promover la reacción de saponificación; sí se utilizó en las pruebas de planta, por las consideraciones expuestas en el capítulo anterior.

## 2.- Resultados

La formulación y la calidad de la grasa Super K-2 obtenida en planta utilizando aceite castor hidrogenado, se muestra en la Tabla 2-16, en la que se compara con la formulación y calidad de la grasa Super K-2 obtenida con sebo animal.

## 3.- Conclusiones

- 1.- Las principales diferencias entre los procedimientos de manufactura utilizando aceite castor hidrogenado y sebo animal son las siguientes:

	<u>Ac. Castor H.</u>	<u>Sebo</u>
- Saponificación		
Presión, atm.	1.0	4.5
Temp., °C	120.0	160.0
Tiempo, Hr.	1.5*	1.5
- Cristalización		
Adición de agua	no	si
Temp., °C	120.0	100.0

\* incluye 0.5 hr. de deshidratación.

2. Entre las características más sobresalientes de esta grasa, comparada con la elaborada con sebo tenemos:

- Mejor estabilidad mecánica, lo que se manifiesta por un menor porcentaje de ablandamiento después de la prueba de penetración a 10000 golpes (4.2% -vs- 4.7%).
- Mayor rendimiento, es decir contiene menor porcentaje de jabón para una grasa del mismo grado NLGI, en este caso para el grado NLGI No 2, 8.6% de jabón vs. 12.4% con sebo.
- Mayor punto de goteo, 135 °C -vs- 104 °C

3. No es necesario usar reactor a presión, la grasa se inicia y termina en el mismo recipiente.

4. La grasa presenta mejor apariencia, sin presencia de grumos de jabón.

5. El procedimiento de manufactura es menos tedioso que cuando se usa sebo, sobre todo en el proceso de cristalización, el cual no requiere la adición de agua. El mayor cuidado que se debe tener cuando se usa aceite castor

hidrogenado es no sobrepasar la temperatura de 130°C. Una temperatura mayor a ésta produce una separación del sistema jabón-aceite, el cual es un proceso irreversible.

## CONCLUSIONES

1. Se ha logrado sustituir el sebo y la cal importada por sebo y cal nacional en la elaboración de la grasa cálcica Super K-2 y por consiguiente pueden también emplearse en la elaboración de cualquier tipo de grasa cálcica.
2. El ácido esteárico nacional puede reemplazar al sebo en la elaboración de las grasas cálcicas.

Las principales características de la grasa obtenida con ácido esteárico son:

- Baja estabilidad mecánica.
- Bajo rendimiento, es decir alto contenido de jabón para un mismo grado de grasa.
- Mejor punto de goteo.

3. El uso del aceite castor hidrogenado como material saponificante produce grasas cálcicas anhidras de las siguientes características:

- Buena estabilidad mecánica.
- Alto rendimiento, es decir bajo contenido de jabón para un mismo grado de grasa.
- Mayor punto de goteo.
- Procedimiento de manufactura más simple.

# **APENDICE**

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### PESO (kg.) DE CAL NECESARIO PARA SAPONIFICAR UN DETERMINADO

#### PESO DE MATERIAL GRASO

(c)

Considerando:

N : Número de saponificación del material graso,  
mgr. KOH/gr. de muestra.

P : Peso del material graso a saponificar, kg.

c : Cantidad teórica de cal para saponificar el material  
graso, Kg.

p : Pureza de la cal, expresada como % CaO.

Peso Equivalente de CaO = 28

Peso Equivalente de KOH = 56

Por definición: 
$$N = \frac{\text{mgr. KOH}}{\text{gr. muestra}}$$

tendremos:

$$c = \frac{N \text{ mgr. KOH}}{1000 \text{ mgr. de muestra}} \times P \text{ kg. muestra} \times \frac{\text{P.E. CaO}}{\text{P.E. KOH}} \times \frac{100}{p}$$

Reemplazando y simplificando:

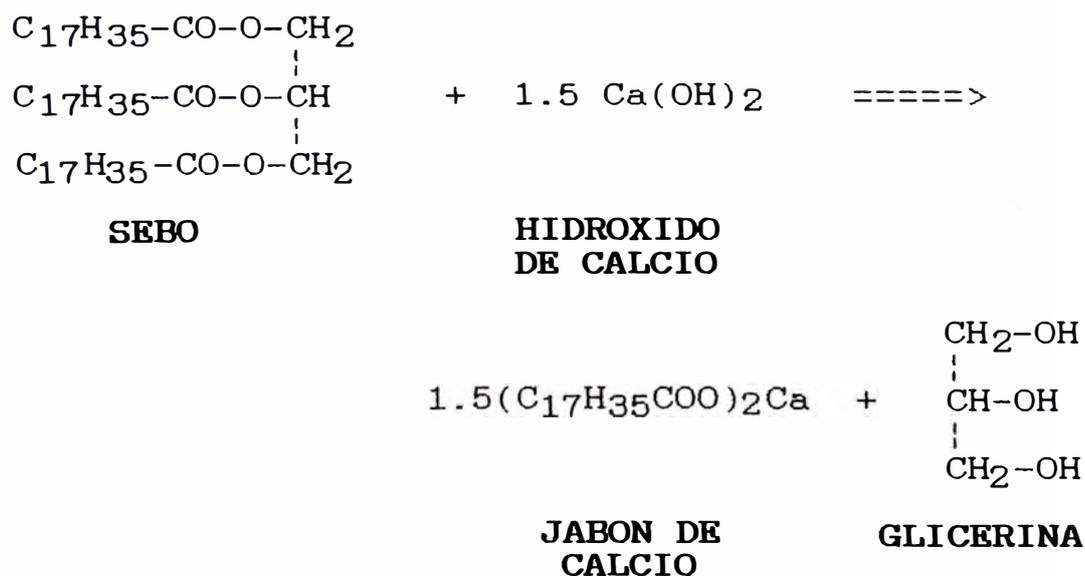
$$c = \frac{N * P}{20 * p}$$

## ANEXO 2

### CANTIDAD DE JABON DE CALCIO Y GLICERINA PRODUCIDOS POR KILOGRAMO DE SEBO ANIMAL

(J<sub>sebo</sub>, G<sub>sebo</sub>)

Aunque el sebo animal es un glicérido complejo, es práctico asumir que es un triglicérido del ácido esteárico. De acuerdo a esto se tendrá la siguiente reacción:



#### Peso Molecular

Triestereato de glicerol (Sebo)	890
Estearato de calcio (Jabón de calcio)	606
Glicerina	92

De la estequiometría de la reacción se tiene que:

1 Mol kg. de sebo produce 1.5 Mol kg. de jabón de calcio

$$\begin{array}{r} 890 \text{ kg.} \\ 1 \text{ kg.} \end{array} \begin{array}{c} \text{-----} \\ \text{-----} \end{array} \begin{array}{r} 1.5 * 606 \text{ kg.} \\ x \end{array} \quad x = 1.021$$

1 Mol kg. de sebo produce 1 Mol kg. de glicerina

$$\begin{array}{r} 890 \text{ kg.} \\ 1 \text{ kg.} \end{array} \begin{array}{c} \text{-----} \\ \text{-----} \end{array} \begin{array}{r} 92 \text{ kg.} \\ x \text{ kg.} \end{array} \quad x = 0.103$$

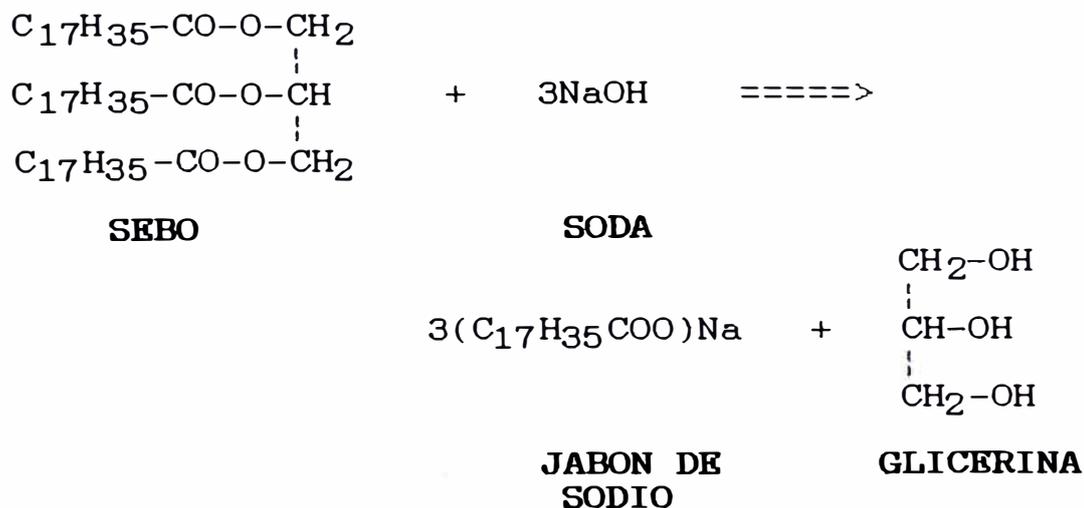
**RESUMEN:** 1 kg. de sebo animal produce 1.021 kg. de jabón de calcio y 0.103 kg. de glicerina.

$$J_{C_{\text{sebo}}} = \frac{1.021 \text{ kg. jabón de Ca}}{\text{kg. de sebo}} \quad G_{\text{sebo}} = \frac{0.103 \text{ kg. glicerina}}{\text{kg. de sebo}}$$

### ANEXO 3

#### CANTIDAD DE JABON DE SODIO PRODUCIDO POR KILOGRAMO DE SEBO ANIMAL (JS<sub>sebo</sub>)

Considerando que el sebo animal es un triglicérido del ácido esteárico, tendremos la siguiente reacción:



#### Peso Molecular

Triestereato de glicerol (sebo) 890

Estereato de sodio (Jabón de sodio) 306

1 Mol kg. de sebo produce 3 Mol Kg. de jabón de sodio

$$\begin{array}{rcl}
 890 \text{ kg.} & \text{-----} & 3 * 306 \text{ kg.} \\
 & & x = 1.031 \\
 1 \text{ kg.} & \text{-----} & x \text{ kg.}
 \end{array}$$

**RESUMEN:** 1 kg. de sebo animal produce 1.031 kg. de jabón de sodio.

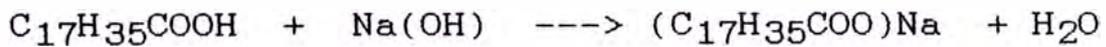
$$JS_{\text{sebo}} = \frac{1.031 \text{ kg. jabón Na}}{\text{kg. sebo}}$$

## ANEXO 4

### CANTIDAD DE JABON DE SODIO Y AGUA PRODUCIDOS POR KILOGRAMO DE ACIDO ESTEARICO

(JSae, Wae)

La reacción de saponificación será:



ACIDO  
ESTEARICO

HIDROXIDO  
DE SODIO

ESTEARATO  
DE SODIO

AGUA

Peso Molecular

Acido esteárico	284
Estereato de sodio (Jabón de sodio)	306
Agua	18

1 Mol kg. de ác. esteárico produce 1 Mol kg. de jabón de sodio.

$$\begin{array}{rcl} 284 \text{ kg.} & \text{-----} & 306 \text{ kg.} \\ 1 \text{ kg.} & \text{-----} & x \text{ kg.} \end{array} \quad x = 1.077$$

1 Mol kg. de ácido esteárico produce 1 Mol kg. de agua

$$\begin{array}{rcl} 284 \text{ kg.} & \text{-----} & 18 \text{ kg.} \\ 1 \text{ kg.} & \text{-----} & x \end{array} \quad x = 0.063$$

**RESUMEN:** 1 kg. de ácido esteárico produce 1.077 kg. de jabón de sodio y 0.063 kg. de agua.

$$JS_{ae} = \frac{1.077 \text{ kg. jabón Na}}{\text{kg. ác. esteárico.}}$$

$$W_{ae} = \frac{0.063 \text{ kg. de agua}}{\text{Kg. ác. esteárico}}$$

## ANEXO 5

### VOLUMEN (lt.) DE SODA DE 20ºBé NECESARIA PARA SAPONIFICAR UN DETERMINADO PESO DE MATERIAL GRASO

(V)

Considerando:

N : Número de saponificación del material graso,  
mgr. KOH/gr. de muestra.

P : Peso del material graso a saponificar, kg.

V : Volumen teórico de soda de 20ºBé para saponificar el  
material graso, lt.

D : Densidad de soda 20ºBé (1.164 kg./lt.)

K : Concentración de la soda 20ºBé (0.1747 kg. NaOH/lt.)

P.E. NaOH = 40

P.E. KOH = 56

Por definición: 
$$N = \frac{\text{mgr. KOH}}{\text{gr. muestra}}$$

tendremos:

$$V = \frac{N \text{ mgr. KOH}}{1000 \text{ mgr. de muestra}} \times P \text{ kg. muestra} \times \frac{\text{P.E. NaOH}}{\text{P.E. KOH}} \times \frac{1}{K}$$

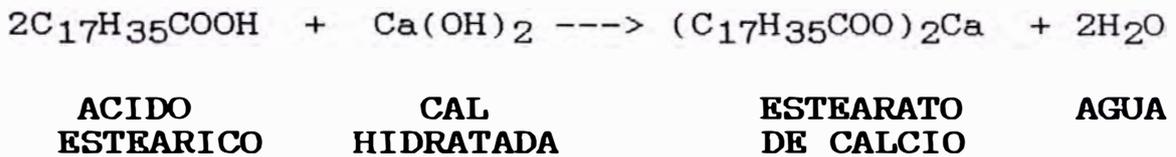
Reemplazando y simplificando:

$$V = \frac{0.409 N*P}{100}$$

**ANEXO 6**

**CANTIDAD DE JABON DE CALCIO PRODUCIDO POR**  
**KILOGRAMO DE ACIDO ESTEARICO**  
**(JC<sub>ae</sub>)**

La reacción de saponificación es la siguiente:



	<u>Peso Molecular</u>
Acido esteárico	284
Estereato de calcio (Jabón de calcio)	606

2 Mol kg. de ác. esteárico produce 1 Mol kg. de jabón de sodio.

$$\begin{array}{rcl}
 2*284 \text{ kg.} & \text{-----} & 606 \text{ kg.} \\
 1 \text{ kg.} & \text{-----} & x \text{ kg.}
 \end{array}
 \quad x = 1.067$$

**RESUMEN:** 1 kg. de ácido esteárico produce 1.067 kg. de jabón de calcio.

$$JC_{ae} = \frac{1.067 \text{ kg. jabón Ca}}{\text{kg. ác. esteárico.}}$$

# **TABLAS**

**TABLA 1-1****CALIDAD DE ÁCIDOS GRASOS**

ACIDO GRASO	NÚMERO DE CARBONOS	DOBLES ENLACES	NÚMERO DE IODO	TITER POINT °C		NÚMERO DE SAPONIFICACIÓN	
				Mín	Máx	Mín	Máx
Acido Esteárico	18	0	0.8	52	55	200	220
Acido Palmítico	16	0	3.0	60	62	190	199
Acido Behénico	22	0	4.0	75	77	199	205
Acido Oleico	18	1	92.0	--	--	--	--
Acido Láurico	12	0	--	42	44	--	--
Acido Mirístico	14	0	--	52	54	--	--

**TABLA 1 - 2****CALIDAD DE SEBOS Y ACEITES GRASOS****A.- DE ORIGEN ANIMAL**

<b>SEBO/ACEITE</b>	<b>NÚMERO DE IODO</b>		<b>TITER POINT °C</b>		<b>NÚMERO DE SAPONIFICACIÓN</b>	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
<b>Sebo de cerdo</b>	<b>53</b>	<b>77</b>	<b>32</b>	<b>43</b>	<b>190</b>	<b>202</b>
<b>Sebo de vaca</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>40</b>	<b>48</b>	<b>190</b>	<b>199</b>
<b>Sebo de vaca hidratado</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>58</b>		<b>199</b>	<b>205</b>
<b>Aceite de sardina</b>	<b>170</b>	<b>193</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>189</b>	<b>193</b>
<b>Aceite de ballena</b>	<b>110</b>	<b>135</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>185</b>	<b>194</b>
<b>Aceite de sabalo</b>	<b>140</b>	<b>180</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>189</b>	<b>193</b>

**B.- DE ORIGEN VEGETAL**

<b>ACEITE</b>	<b>NÚMERO DE IODO</b>		<b>TITER POINT °C</b>		<b>NÚMERO DE SAPONIFICACIÓN</b>	
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
<b>Aceite de maíz</b>	<b>103</b>	<b>128</b>	<b>14</b>	<b>40</b>	<b>187</b>	<b>193</b>
<b>Aceite de castor</b>	<b>81</b>	<b>91</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>176</b>	<b>187</b>
<b>Aceite de coco</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>250</b>	<b>264</b>
<b>Aceite de algodón</b>	<b>110</b>	<b>115</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>190</b>	<b>198</b>
<b>Aceite de olivo</b>	<b>80</b>	<b>88</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>195</b>	<b>200</b>
<b>Acelte de palma</b>	<b>44</b>	<b>54</b>	<b>40</b>	<b>47</b>	<b>195</b>	<b>205</b>

**TABLA 1 - 3****ESPECIFICACIONES DE CAL HIDRATADA PARA LA ELABORACIÓN DE GRASAS  
CÁLCICAS**

PROPIEDAD	NLGI		ASTM		PETROPERU	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Pureza como CaO, % P	72.0	--	70.0	--	70.0	--
Carbonatos como, CaCO <sub>3</sub> , % P	--	3.0	--	--	--	3.0
Silice como SiO <sub>2</sub> , % P	--	1.0	--	1.0	--	0.6
Metales como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % P	--	--	--	0.5	--	0.8
Magnesio como MgO, % P	--	2.0	--	1.5	--	2.0
Granulometría:						
Pasa Malla 200, % P	--	--	95.0	--	98.0	--

**TABLA 2 - 1**

**CALIDAD DE INGREDIENTES**

	<b>DL 400</b>	<b>DL 8000</b>	<b>RONAX 500</b>
<b>Punto de Inflamación, °C</b>	220	270	275
<b>Punto de Fluidéz, °C</b>	-25	-20	+05
<b>Viscosidad</b>			
<b>Cst, 37.7 °C</b>	85.2		
<b>Cst, 100 °C</b>		88.5	99.6

**TABLA 2 - 2****CALIDAD DE CAL IMPORTADA**

PROPIEDAD		ESPECIFICACIÓN PETROPERÚ	
		Mín	Máx
Pureza como CaO, % P	69.3	70.0	--
Carbonatos como, CaCO <sub>3</sub> , % P	4.0	--	3.0
Silice como SiO <sub>2</sub> , % P	0.1	--	0.6
Metales como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % P	0.5	--	0.8
Magnesio como MgO, % P	0.9	--	2.0
<b>Granulometría:</b>			
Pasa Malla 200, % P	99.4	98.0	--

**TABLA 2 - 3****CALIDAD DE SEBO IMPORTADO**

PROPIEDAD		ESPECIFICACIÓN PETROPERÚ	
		Min	Máx
Número de Saponificación, mgr. KOH/gr.	196.0	190.0	210.0
Titer Point, °C	41.1	40.0	--
No Saponificables, % P	0.2	--	1.0
Agua, % Vol	0.1	--	0.3
Valor Acido, mgr. KOH/gr.	3.5	--	6.0
Número de Iodo	48.0	--	50.0

**TABLA 2 - 4****CALIDAD DE ÁCIDO ESTEÁRICO**

<b>PROPIEDAD</b>		<b>ESPECIFICACIÓN PETROPERÚ</b>	
		<b>Mín</b>	<b>Máx</b>
<b>Número de Saponificación, mgr. KOH/gr.</b>	<b>209.5</b>	<b>207.0</b>	<b>212.0</b>
<b>Titer Point, °C</b>	<b>55</b>	<b>54</b>	<b>56</b>
<b>Agua, % Vol</b>	<b>0.10</b>	<b>--</b>	<b>0.25</b>
<b>Valor Ácido, mgr. KOH/gr.</b>	<b>203.5</b>	<b>207.0</b>	<b>211.0</b>
<b>Número de lodo</b>	<b>1.0</b>	<b>--</b>	<b>4.0</b>

**TABLA 2 - 5**

**GRASA CÁLCICA SUPER K-2**

**SUSTITUCIÓN DE SEBO IMPORTADO POR ÁCIDO ESTEÁRICO**

**A.- FORMULACIÓN (Kg.)**

<b>INGREDIENTES</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON ÁCIDO ESTEÁRICO NACIONAL</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO IMPORTADO</b>
Material graso	364.0	364.0
Cal hidratada	58.5	54.7
Soda 20°Bé	11.0	11.0
DL 400	180.0	242.0
DL 8000	455.0	1510.0
Ronax 500	255.0	745.0
Aditivo	15.0	15.0
Agua	0.0	51.5
<b>TOTAL</b>	<b>1338.5</b>	<b>2993.2</b>
Jabón, % P	29.1	12.4

**B.- CONTROL DE CALIDAD**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON ÁCIDO ESTEÁRICO NACIONAL</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO IMPORTADO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>		<b>MÉTODO</b>	
			Mín	Máx	ASTM	OTRO
Álcali libre, como CaO, %P	0.12	0.01	--	0.3		LIC 160.40
Agua, % Vol	1.25	1.10	--	2.0		D-95
<b>Penetración, 25 °C</b>						
60 golpes, mm/10	276	278	265	295		D-217
10,000 golpes, % abland	10.5	3.1	--	--		--
Punto de goteo, °C	113.5	104.5	100.0	--		D-2265

**TABLA 2 - 6****CALIDAD DE CAL****SUSTITUCIÓN DE CAL IMPORTADA POR CAL NACIONAL**

	NACIONAL				IMPORTADO	ESPECIFICACIÓN	
	A	B	C	D		Mín	Máx
Pureza, método del ác. Oleico, % P CaO	69.9	65.4	61.7	47.6	69.3	70.0	--
Carbonatos como CaCO <sub>3</sub> , % P	3.4	4.1	8.7	12.2	4.0	--	3.0
Sílice como SiO <sub>2</sub> , % P	0.60	3.05	1.74	5.25	0.10	--	0.60
<b>Granulometría</b>							
Retenido malla 200, % P	1.5	11.5	6.0	19.4	0.6	--	2.0

**TABLA 2 - 7**

**GRASA CÁLCICA SUPER K-2**

**SUSTITUCIÓN DE CAL IMPORTADA POR CAL NACIONAL**

**A.- FORMULACIÓN (Kg.)**

<b>INGREDIENTES</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON CAL NACIONAL</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON CAL IMPORTADA</b>
Material graso	364.0	364.0
Cal hidratada	54.2	54.7
Soda 20°Bé	11.0	11.0
DL 400	242.0	242.0
DL 8000	1569.3	1510.0
Ronax 500	745.0	745.0
Aditivo	15.0	15.0
Agua	51.5	51.5
<b>TOTAL</b>	<b>3052.0</b>	<b>2993.2</b>
Jabón, % P	12.2	12.4

**B.- CONTROL DE CALIDAD**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON CAL NACIONAL</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON CAL IMPORTADA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>		<b>MÉTODO</b>	
			<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>ASTM</b>	<b>OTRO</b>
Álcali libre como CaO, %P	0.04	0.01	--	0.3		LIC 160.40
Agua, % Vol	1.30	1.10	--	2.0	D-95	
<b>Penetración, 25 °C</b>						
60 golpes, mm/10	276	278	265	295	D-217	
10,000 golpes, % abland	2.8	3.1	--	--	--	
Punto de goteo, °C	112.5	104.5	100.0	--	D-2265	

## TABLA 2 - 8

### CALIDAD DE SEBO

#### SUSTITUCIÓN DE SEBO IMPORTADO POR SEBO NACIONAL

	NACIONAL				IMPORTADO	ESPECIFICACIÓN	
	A	B	C	D		Min	Máx
Número de saponificación, mgr. KOH/gr.	197.0	190.0	191.0	210.0	196.0	190.0	210.0
Titer Point, °C	40.2	40.0	39.0	33.8	41.1	40.0	--
No saponificables, % P	0.1	0.2	1.5	0.9	0.2	--	1.0
Agua, % Vol	0.0	0.1	0.2	0.2	0.1	--	0.3
Valor ácido, mgr. KOH/gr.	0.3	2.6	1.0	0.6	3.5	--	6.0
Número de Iodo	43.3	33.0	34.0	60.0	48.0	--	50.0

**TABLA 2 - 9**

**GRASA CÁLCICA SUPER K-2**

**SUSTITUCIÓN DE SEBO IMPORTADO POR SEBO NACIONAL**

**A.- FORMULACIÓN (Kg.)**

<b>INGREDIENTES</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO NACIONAL "B"</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO IMPORTADO</b>
Materlal graso	364.0	364.0
Cal hidratada	60.5	54.7
Soda 20°Bé	11.0	11.0
DL 400	667.7	242.0
DL 8000	1510.0	1510.0
Ronax 500	745.0	745.0
Aditivo	15.0	15.0
Agua	51.5	51.5
<b>TOTAL</b>	<b>3424.7</b>	<b>2993.2</b>
Jabón, % P	11.0	12.4

**B.- CONTROL DE CALIDAD**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO NACIONAL "B"</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO IMPORTADO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>		<b>MÉTODO</b>	
			<b>Mín</b>	<b>Máx</b>	<b>ASTM</b>	<b>OTRO</b>
<b>Alcali libre como CaO, % P</b>	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	<b>--</b>	<b>0.3</b>		<b>LIC 160.40</b>
<b>Agua, % Vol</b>	<b>1.0</b>	<b>1.1</b>	<b>--</b>	<b>2.0</b>		<b>D-95</b>
<b>Penetración, 25 °C</b>						
<b>60 golpes, mm/10</b>	<b>272</b>	<b>278</b>	<b>265</b>	<b>295</b>		<b>D-217</b>
<b>10,000 golpes, % abland</b>	<b>2.5</b>	<b>3.1</b>	<b>--</b>	<b>--</b>		<b>--</b>
<b>Punto de goteo, °C</b>	<b>103.0</b>	<b>104.5</b>	<b>100.0</b>	<b>--</b>		<b>D-2265</b>

## TABLA 2 - 10

### CALIDAD DE ACEITE CASTOR HIDROGENADO

#### SUSTITUCIÓN DE SEBO IMPORTADO POR ACEITE CASTOR HIDROGENADO

	NACIONAL	IMPORTADO	ESPECIFICACIÓN	
			Mín	Máx
Número de saponificación, mgr. KOH/gr.	185.0	186.0	180.0	190.0
Titer Point, °C	73.9	75.0	70.0	74.0
No saponificables, % P	0.6	0.2	--	1.0
Agua, % Vol	0.2	0.1	--	0.2
Valor ácido, mgr. KOH/gr.	2.8	4.1	--	4.0
Número de lodo	3.9	3.4	--	4.0
Valor Hidróxido, mgr. KOH/gr.	159.0	156.0	155.0	--

**TABLA 2 - 11****PRUEBAS DE LABORATORIO****EFFECTOS DE LA TEMPERATURA INICIAL DEL ACEITE LUBRICANTE**

<b>PRUEBA NÚMERO</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>CANTIDAD DE <u>INGREDIENTES</u>, gr</b>			
Aceite Castor Hidrogenado	168	168	168
Cal	20	20	20
Aceite DL 400	1812	1812	1812
Agua	7	7	7
<b>TEMPERATURA DE <u>INGREDIENTES</u>, °C</b>			
Aceite Castor Hidrogenado	30	30	30
Cal	30	30	30
Aceite DL 400	30	75	100
Agua	30	30	30
<b>DESHIDRATACIÓN</b>			
Temperatura, °C	100	100	100
Tiempo, Hr	0.25	0.25	0.25
<b><u>SAPONIFICACIÓN</u></b>			
Temperatura, °C	120	120	120
Tiempo, Hr	0.50	0.50	0.50
<b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b>			
Penetración, 60 golpes	270	275	279
Alcalinidad, mgr. Ca(OH) <sub>2</sub> /gr.	0.01	0.02	0.01
Punto de Goteo, °C	145	144	145
Agua, % Vol	0	0	0

**TABLA 2 - 12****PRUEBAS DE LABORATORIO****EFFECTOS DE LA ADICION DE AGUA**

<b>PRUEBA NÚMERO</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>CANTIDAD DE <u>INGREDIENTES</u>, gr.</b>				
Aceite Castor Hidrogenado	168	168	168	168
Cal	20	20	20	20
Aceite DL 400	1812	1812	1812	1812
Agua	2	7	10	20
<b>TEMPERATURA DE <u>INGREDIENTES</u>, °C</b>				
Aceite Castor Hidrogenado	30	30	30	30
Cal	30	30	30	30
Aceite DL 400	75	75	75	75
Agua	30	30	30	30
<b><u>DESHIDRATACIÓN</u></b>				
Temperatura, °C	100	100	100	100
Tiempo, Hr	0.25	0.25	0.75	1.50
<b><u>SAPONIFICACIÓN</u></b>				
Temperatura, °C	120	120	120	120
Tiempo, Hr	0.50	0.50	0.50	0.50
<b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b>				
Penetración, 60 golpes		275	283	275
Alcalinidad, mgr. Ca(OH) <sub>2</sub> /gr.		0.02	0.03	0.02
Punto de Goteo, °C		144	143	143
Agua, % Vol		0	0	0

\* No tomó consistencia

**TABLA 2 - 13****PRUEBAS DE LABORATORIO****EFFECTOS DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SUSPENSIÓN ACUOSA DE CAL**

<b>PRUEBA NÚMERO</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b><u>CANTIDAD DE INGREDIENTES, gr</u></b>			
<b>Aceite Castor Hidrogenado</b>	<b>168</b>	<b>168</b>	<b>168</b>
<b>Lechada de Cal</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Cal</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>
<b>Agua</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>10</b>
<b>Aceite DL 400</b>	<b>1812</b>	<b>1812</b>	<b>1812</b>
<b><u>TEMPERATURA DE INGREDIENTES, °C</u></b>			
<b>Aceite Castor Hidrogenado</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Lechada de Cal</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b>Aceite DL 400</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>75</b>
<b>Agua</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
<b><u>DESHIDRATACIÓN</u></b>			
<b>Temperatura, °C</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Tiempo, Hr</b>	<b>1.5</b>	<b>1.00</b>	<b>0.75</b>
<b><u>SAPONIFICACIÓN</u></b>			
<b>Temperatura, °C</b>	<b>120</b>	<b>120</b>	<b>120</b>
<b>Tiempo, Hr</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>	<b>0.50</b>
<b><u>PRUEBAS DE LABORATORIO</u></b>			
<b>Penetración, 60 golpes</b>	<b>275</b>	<b>271</b>	<b>278</b>
<b>Alcalinidad, mgr. Ca(OH)<sub>2</sub>/gr.</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.01</b>
<b>Punto de Goteo, °C</b>	<b>145</b>	<b>143</b>	<b>145</b>
<b>Agua, % Vol</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**TABLA 2 - 14**

**PRUEBAS DE LABORATORIO**

**EFFECTOS DE LA TEMPERATURA DE SAPONIFICACIÓN**

<b>PRUEBA NÚMERO</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
<b><u>CANTIDAD DE INGREDIENTES gr.</u></b>				
Aceite Castor Hidrogenado	168	168	168	168
Cal	20	20	20	20
Aceite DL 400	1812	1812	1812	1812
Agua	7	7	7	7
<b>TEMPERATURA DE INGREDIENTES. °C</b>				
Aceite Castor Hidrogenado	30	30	30	30
Cal	30	30	30	30
Aceite DL 400	75	75	75	75
Agua	30	30	30	30
<b>DESHIDRATACIÓN</b>				
Temperatura, °C	100	100	100	100
Tiempo, Hr	0.25	0.25	0.75	1.50
<b><u>SAPONIFICACIÓN</u></b>				
Temperatura, °C	100	120	130	140
Tiempo, Hr	0.50	0.50	0.50	0.50
<b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b>				
Penetración, 60 golpes	305	275	*	*
Alcalinidad, mgr. Ca(OH) <sub>2</sub> /gr.	0.08	0.02		
Punto de Goteo, °C	138	144		
Agua, % Vol.	0	0		

\* \* No tomó consistencia

**TABLA 2 - 15****PRUEBAS DE LABORATORIO****EFFECTOS DEL TIEMPO DE SAPONIFICACIÓN**

<b>PRUEBA NÚMERO</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>CANTIDAD DE INGREDIENTES, gr.</b>				
Aceite Castor Hidrogenado	168	168	168	168
Cal	20	20	20	20
Aceite DL 400	1812	1812	1812	1812
Agua	7	7	7	7
<b>TEMPERATURA DE INGREDIENTES °C</b>				
Aceite Castor Hidrogenado	30	30	30	30
Cal	30	30	30	30
Aceite DL 400	75	75	75	75
Agua	30	30	30	30
<b>DESHIDRATACIÓN</b>				
Temperatura, °C	100	100	100	100
Tiempo, Hr	0.25	0.25	0.25	0.25
<b><u>SAPONIFICACIÓN</u></b>				
Temperatura, °C	120	120	120	120
Tiempo, Hr	0.25	0.50	1.00	1.50
<b>PRUEBAS DE LABORATORIO</b>				
Penetración, 60 golpes	293	275	270	265
Alcalinidad, mgr. Ca(OH) <sub>2</sub> /gr.	0.02	0.02	0.01	0.01
Punto de Goteo, °C	140	144	145	144
Agua, % Vol.	0	0	0	0

**TABLA 2 - 16**

**GRASA CÁLCICA SUPER K-2**

**SUSTITUCIÓN DE SEBO IMPORTADO POR ACEITE CASTOR HIDROGENADO**

**A.- FORMULACIÓN (Kg.)**

<b>INGREDIENTES</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON ACEITE CASTOR HIDROGENADO</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO IMPORTADO</b>
Material graso	364.0	364.0
Cal hidratada	45.5	54.7
Soda 20°Bé	11.0	11.0
DL 400	835.5	242.0
DL 8000	2051.8	1510.0
Ronax 500	995.5	745.0
Aditivo	25.0	15.0
Agua	0.0	51.5
<b>TOTAL</b>	<b>4328.3</b>	<b>2993.2</b>
Jabón, % P	8.6	12.4

**B.- CONTROL DE CALIDAD**

<b>ANÁLISIS</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON ACEITE CASTOR HIDROGENADO</b>	<b>GRASA SUPER K-2 CON SEBO IMPORTADO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>		<b>MÉTODO</b>	
			Mín	Máx	ASTM	OTRO
Álcali libre como CaO, %P	0.01	0.01	--	0.3		LIC 160.40
Agua, % Vol	0.0	1.1	--	2.0	D-95	
Penetración, 25 °C						
60 golpes, mm/10	285	278	265	295	D-217	
10,000 golpes, % abland	4.2	3.1	--	--	--	
Punto de goteo, °C	135.0	104.5	100.0	--	D-2265	

# **FIGURAS**

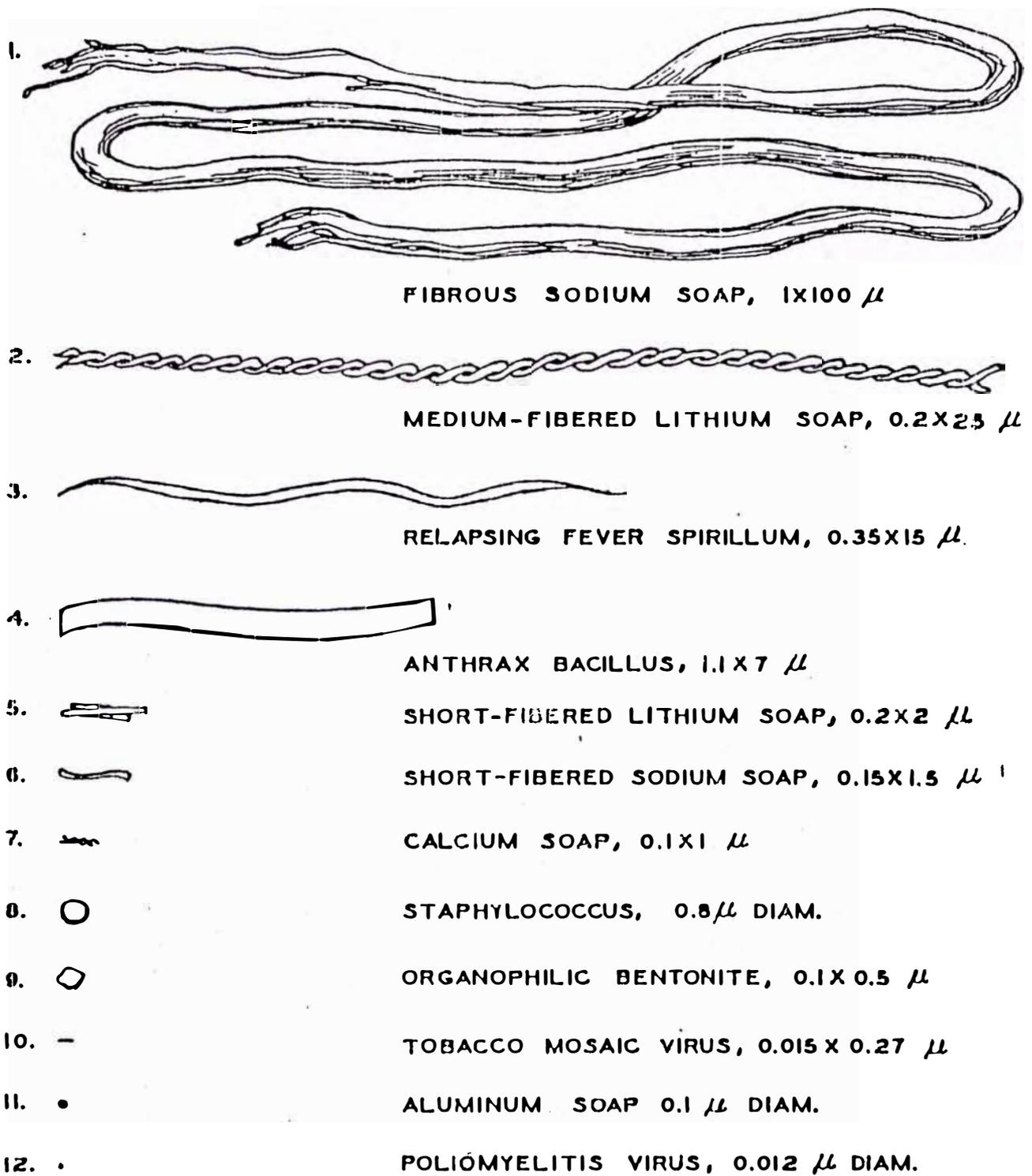


Fig. 1.1. Comparación del tamaño de las fibras de grasas con algunos microorganismos.

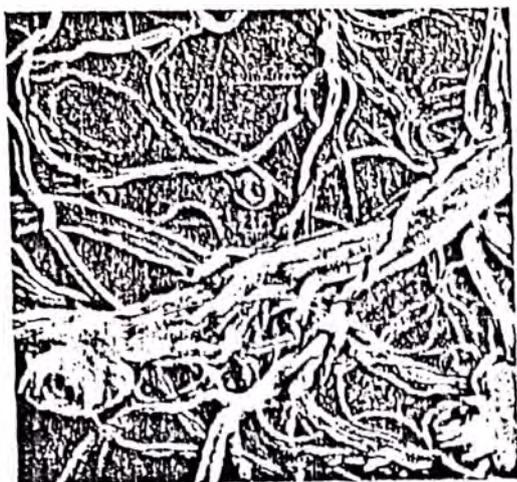


Fig. 1.2 Grasa de fibras largas

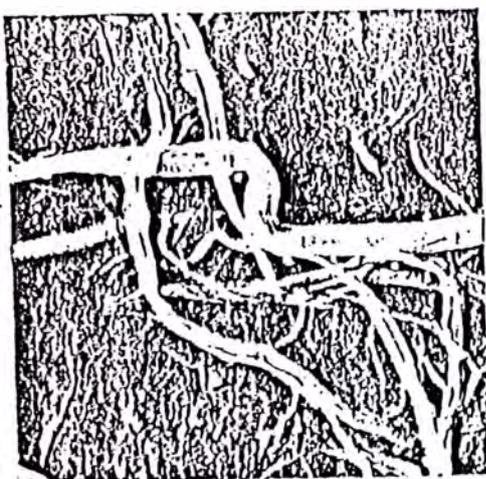


Fig. 1.3 Grasa de fibras medianas

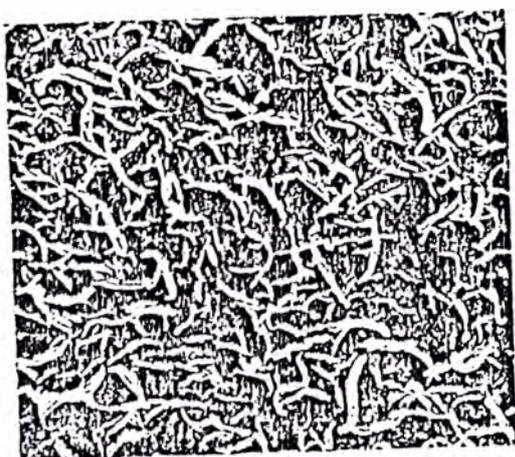


Fig. 1.4 Grasa de fibras cortas

Fig. 1.2-1.4 Microfotografías mostrando fibras de grasas lubricantes.

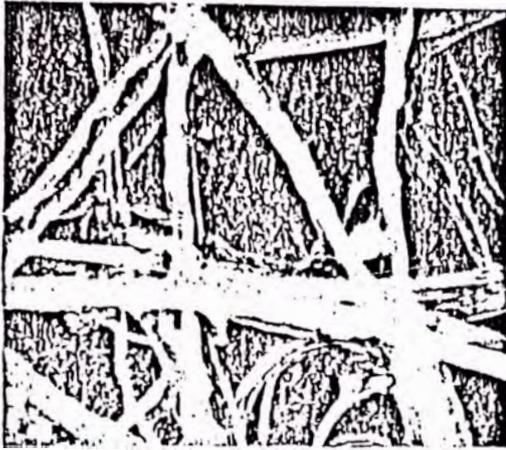


Fig. 1.5 Grasa de Bario

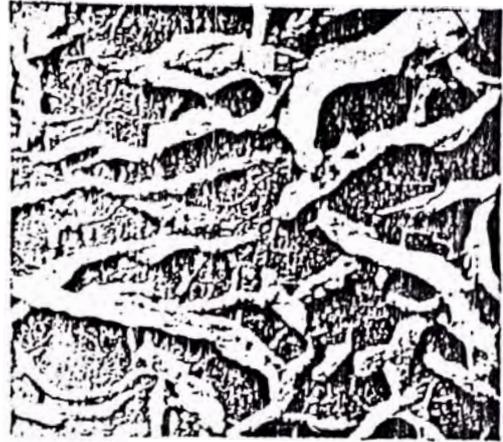


Fig. 1.6 Grasa de Estroncio

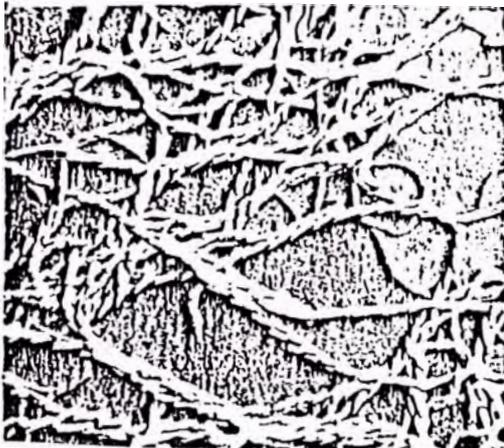


Fig. 1.7. Grasa de Litio

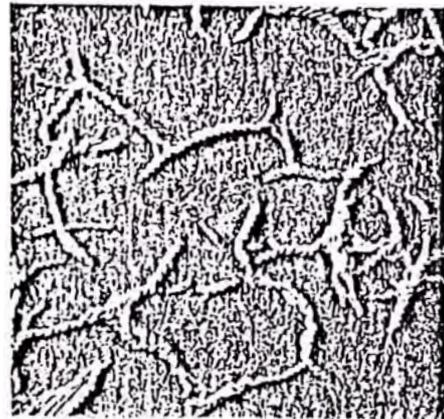


Fig. 1.8 Grasa de Calcio

Fig. 1.5-1.8 Fibras de varias grasas lubricantes



Fig. 1.9 Microfotografia de fibras de jabón de aluminio

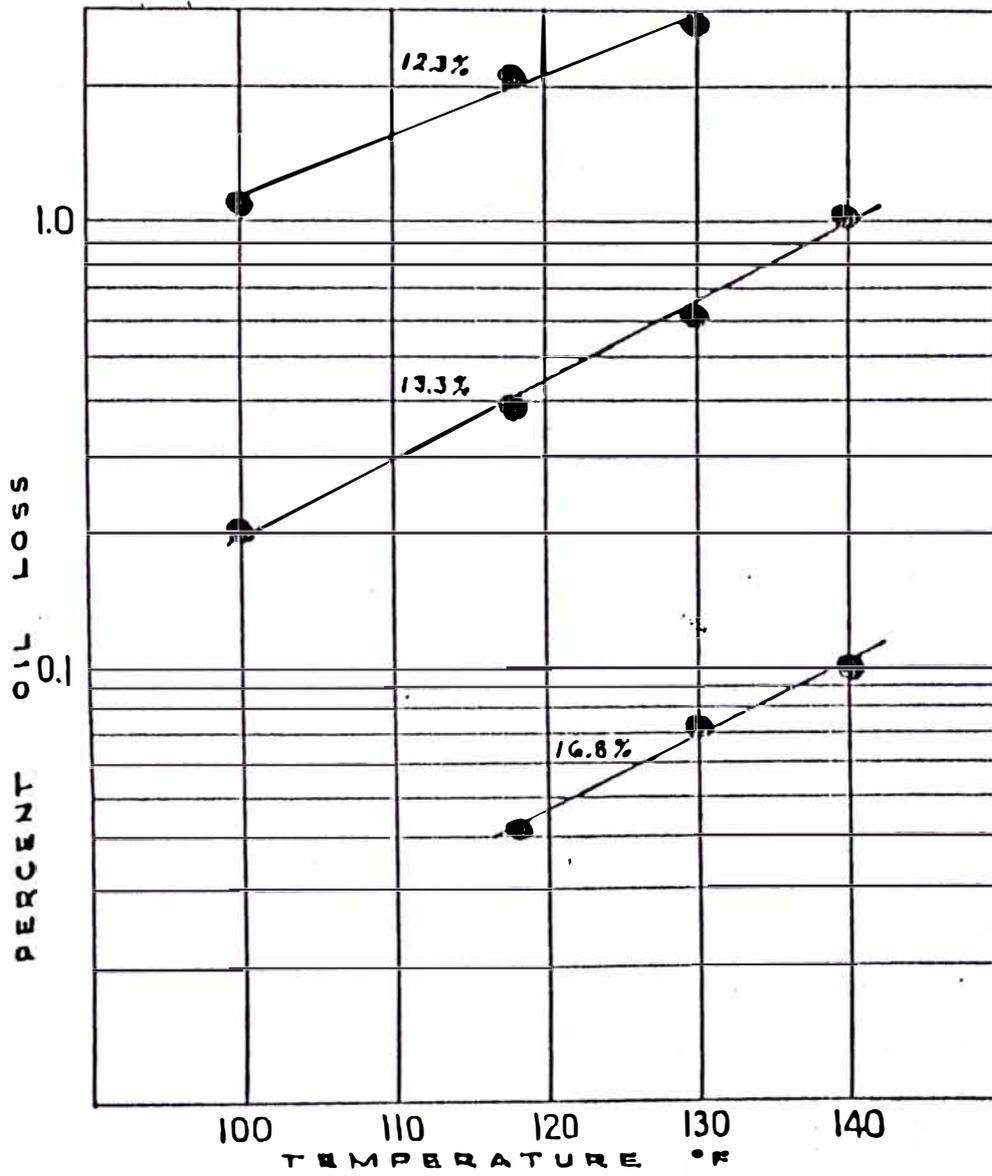


Fig. 1.10 Efecto de la temperatura y el porcentaje de jabón sobre la sinérisis

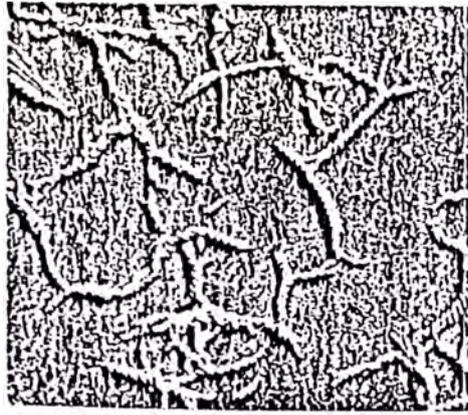


Fig. 1.11 Producto original (hidratado)

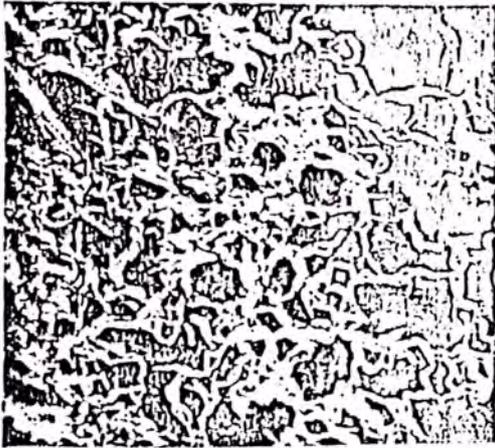


Fig. 1.12 Parcialmente hidratado

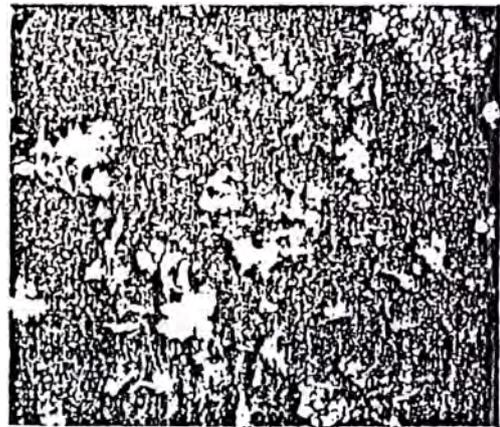


Fig. 1.13 Mayor deshidratación

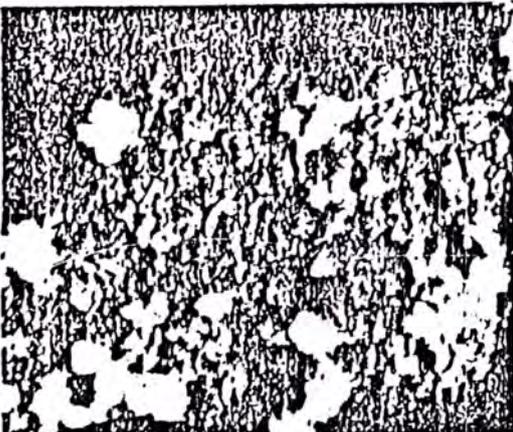


Fig. 1.14 Casi deshidratada

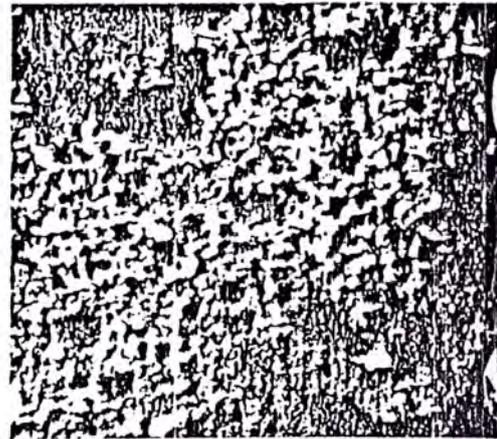


Fig. 1.15 Completamente deshidratada

Fig. 1.11-1.15 Desintegración de las fibras en una grasa lubricante cálcica

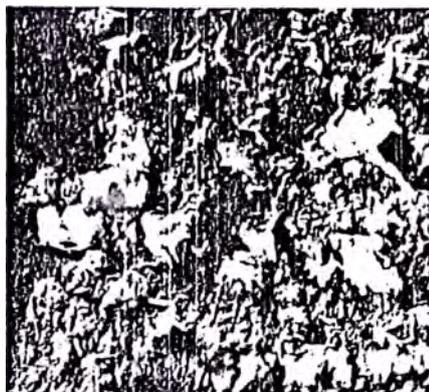


Fig. 1.16 Partículas de una grasa lubricante  
conteniendobentonita organofílica

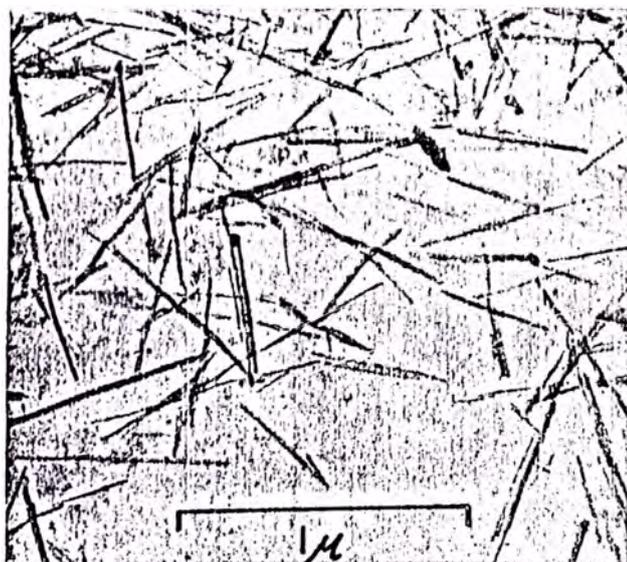


Fig. 1.17 Microfotografía de arcilla attapulgus

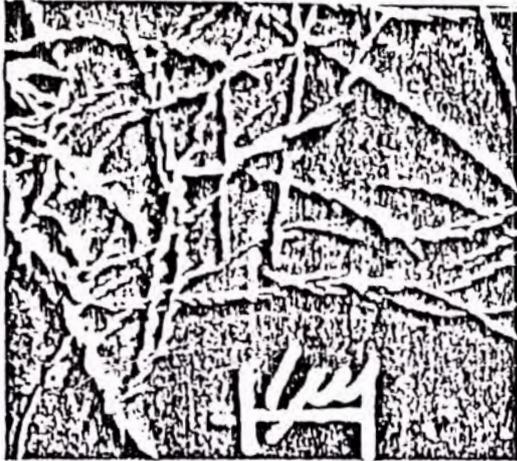


Fig. 1.18 Grasa antes de la prueba de wheel bearing.

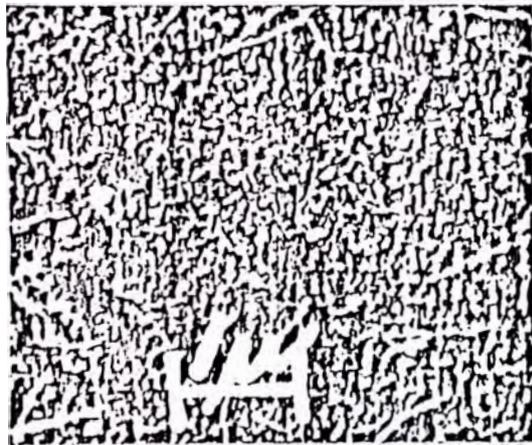


Fig. 1.19 Grasa después de 30 minutos de la prueba de wheel bearing.

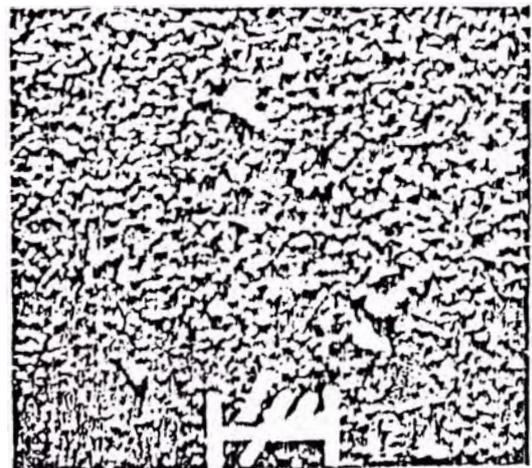


Fig. 1.20 Grasa después de 277 horas de la prueba de wheel bearing.

Fig. 1.18-1.20

Estructura de las fibras de una grasa lubricante de base de litio, antes y después de la prueba de wheel bearing.

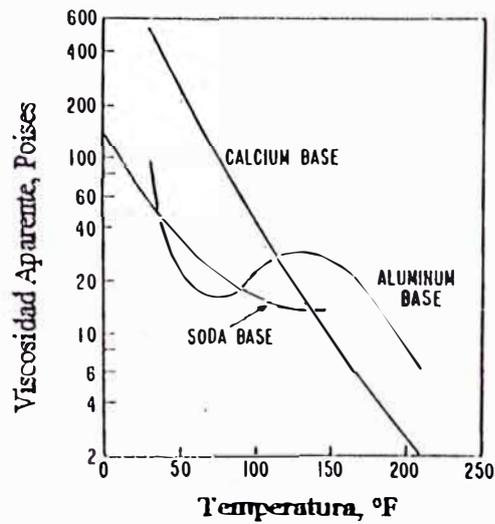


Fig. 1.21 Relación entre la viscosidad aparente de una grasa y la temperatura.

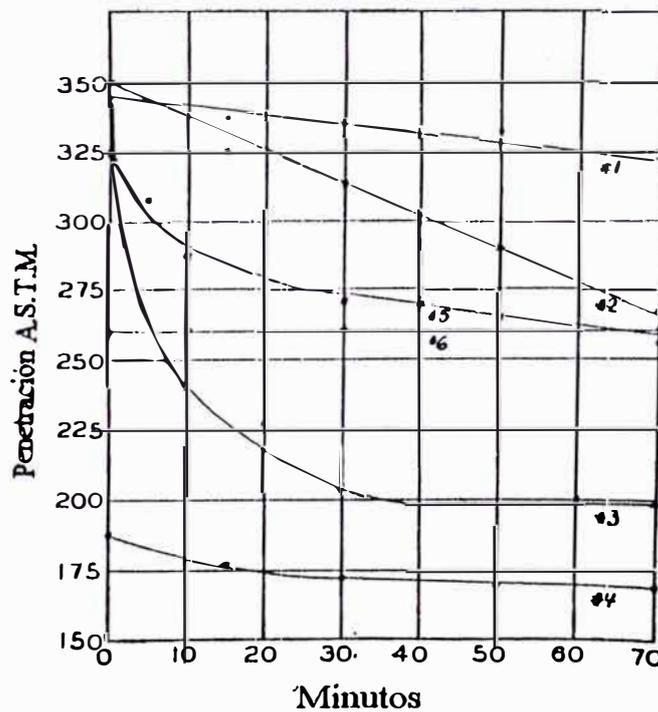


Fig. 1.22

Rapidez con la cual algunas grasas recuperan sus consistencia después de cesar el esfuerzo cortante.

- Curva 1: Grasa de jabón de calcio (6%) con ácidos grasos - aceite 110 Cst a 99 °C.
- Curva 2: Grasa de jabón de aluminio (6%) con ácidos grasos - aceite 70 Cst a 99 °C.
- Curva 3: Grasa de jabón de calcio (11%) con aceite de resina - aceite 50 Cst 99 °C.
- Curva 4: Grasa de jabón de calcio (20%) con glicéridos - aceite 300 Cst 37.8 °C.
- Curva 5: Grasa de jabón de bario (18%) - aceite 500 Cst 37.8 °C.
- Curva 6: Grasa de jabón de estearato de plomo (12.5%) - aceite 100 Cst 37.8 °C.

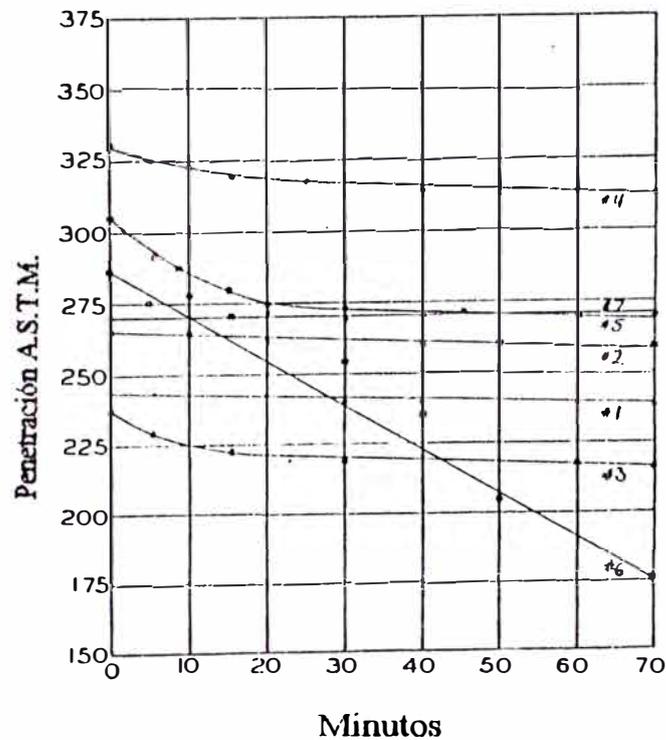
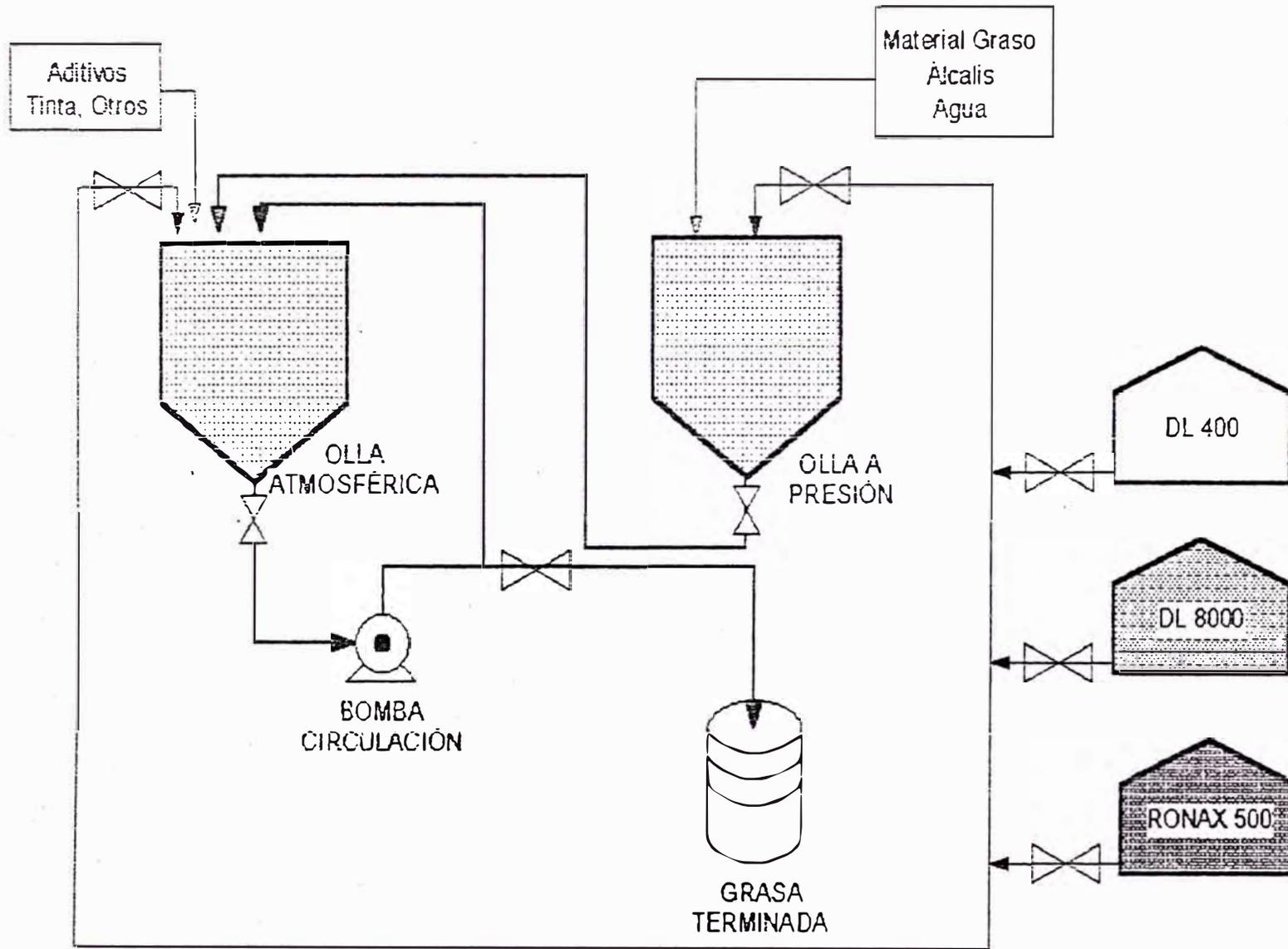


Fig. 1.23

Rapidez con la cual algunas grasas recuperan sus consistencia después de cesar el esfuerzo cortante.

- Curva 1: Grasa de jabón de litio (14%) con ácidos grasos - aceite 650 Cst 37.8 °C.
- Curva 2: Grasa de jabón de sodio (16%) con glicéridos - aceite 500 Cst 37.8 °C.
- Curva 3: Grasa de jabón de calcio (14%) con glicéridos - aceite 500 Cst 37.8 °C.
- Curva 4: Grasa de jabón de aluminio (10%) con ácidos grasos - aceite 100 Cst 99 °C.
- Curva 5: Grasa de jabón de bario (25%) - aceite 500 Cst 37.8 °C.
- Curva 6: Grasa de jabón de estroncio (20%) - aceite 150 Cst 99 °C.
- Curva 7: Grasa de jabón complejo de bario (20%) - aceite 500 Cst 37.8 °C.

Fig. 2.1 Diagrama de Flujo



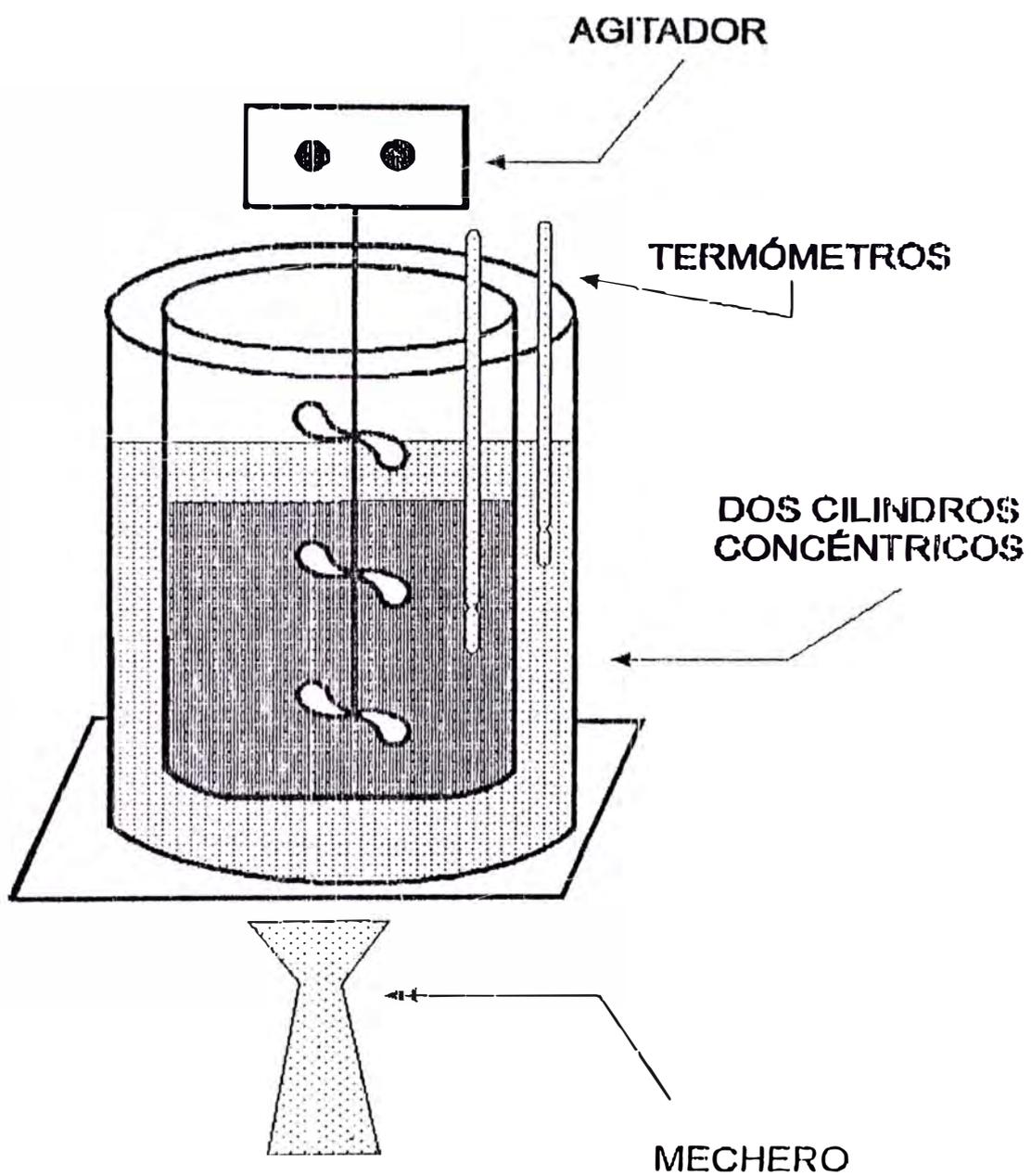


Fig. 2.2 Equipo de Laboratorio

## BIBLIOGRAFÍA

1. AULD, S. J. M., Davies, H. M., y Ellis, E. C. Tercer Congreso Mundial de Petróleo, Vol 7, 355 (1951).
2. BIRDSELL, D. H., y Farrington, B. B. En Journal Physical Colloid Chemistry., 52, 1415 (1948).
3. BONDI, A., Caravath, A. M., y Moore, R.J. En Institute Spokesman, 13, Nº 12 (1950).
4. BONDI A., Caruso, J. P., Fraser, H. M., Smith, J. D., Abrams, S. T., Stross, S. H., White, E. R., y Wilson, J. N. Tercer Congreso Mundial de Petróleo, Vol 7, 373-95 (1951).
5. BONER, C. J. En Institute Spokesman, 15, Nº 1, 7 (1951).
6. ----- Manufacture and application of lubricating greases. 3ra Edición. New York, Robert E. Krieger Publishing Co., Inc., 1971. 961p.
7. BROWN, John A., Hudson, Charles N., y Loring, Lewis D. En Institute Spokesman, 15, Nº 11,8 (1952).
8. DEAN, W. K. En Institute Spokesman, 15, Nº 6, 12 (1951).
9. DIGGS, S. H., y Campbell, F. S. En Industrial Engineering Chemistry., 20, 828-9 (1928).
10. FARRINGTON, B. B. En Annual New York Academy Science., 53, (Art. 4) 979 (1951).
11. FARRINGTON, B. B., y Birdsall, D. H. En Institute Spokesman, 11, Nº 1, 4 (1947).

12. FARRINGTON, B. B., y Davis, W. N. En Industrial Engineering Chemistry ., 28, 414 (1936).
13. FARRINGTON, B. B., y Humphreys, Robert L. En Industrial Engineering Chemistry., 31, 230-5 (1939).
14. GALLAY, W., y Puddington, I. E. En Canadian Journal Research, 21B, 211 (1943).
15. ----- En Canadian Journal Research, 22B, 90 (1944).
16. ----- En Canadian Journal Research, 22B, 173 (1944).
17. ----- En Canadian Journal Research, 22B, 155 (1944).
18. ----- En Canadian Journal Research, 22B, 155 (1944).
19. GALLAY, W., Puddington, I. E., y Tapp, J. S. En Canadian Journal Research, 21B, 230 (1943).
20. ----- En Canadian Journal Research, 22B, 65 (1944).
21. PEREZ, Miguel A., Manufactura de Grasas Lubricantes. Talara, Ediciones de Refinería Talara, 1985. 125p.
22. RHODES y Wannamaker. En Industrial Engineering Chemistry., 29, 702 (1937).
23. SMITH, Gerould, J. En American Oil Chemistry Society, 24, 353 (1947).
24. VOLD, Marjorie J. En Institute Spokesman, 16, Nº 8, 8 (1952)
25. VOLD, Marjorie J., y Vold, Robert D. En Journal Institute Petroleum, 38, 155-163 (1952).