

101  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

REFINACION DE ESTERES METILICOS  
DEL ACEITE DE COCO PARA TENSOACTIVOS

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A**  
**GILBERTO ORTIZ CASSAIGNE**



MEXICO, D. F.

1996

TESIS CON FALLA DE ORIGEN  
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE** Prof. M. en C. NATALIA ELVIRA DE LA TORRE ACEVES  
**VOCAL** Prof. Dr. CARLOS MAURICIO CASTRO ACUÑA  
**SECRETARIO** Prof. Q. ALMA ROSA GARCIA CHARRETON  
**1er. SUPLENTE** Prof. I. Q. AIDA JUDITH GANDARA TOVAR  
**2do. SUPLENTE** Prof. Q. F. B. MARIA TERESA HERRERA BARRERA

**SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA**

Facultad de Química, U.N.A.M.

Laboratorio de Desarrollo Tecnológico de Industrias PARRMAL, S.A. DE C.V.

**ASESOR:**

M. en C. NATALIA ELVIRA DE LA TORRE ACEVES 

**SUSTENTANTE**

  
**GILBERTO ORTIZ CASSAIGNE**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a los colegas más importantes tanto en mi desarrollo profesional como humano:

**I.Q. Rosa María Jiménez Olmos**

Editor en Jefe de este trabajo. Inspiración y motivo de mis acciones.

**M. en C. María del Rocío Cassaigne Hernández**

Por haber despertado en mí el interés por la química, por la cual ¡estamos rodeados!  
(Coincidentemente, mi madre)

**I.Q. Gilberto Ortiz Muñiz**

De quien he aprendido a vivir equilibrando ambiciones y posibilidades, ocasionalmente a pesar mío. (También coincidentemente, mi padre).

## **AGRADECIMIENTOS**

A continuación, quiero hacer patente mi agradecimiento a las siguientes personas, quienes, de una u otra forma, contribuyeron al desarrollo del presente trabajo, a sabiendas de que muchas más merecerían aparecer aquí, por lo que la lista se haría interminable.

A mis abuelos, ya que de ellos aprendí a querer lo que hago, aunque no siempre haga lo que quiero.

A Industrias Parmal, S.A. de C.V., por haberme facilitado el uso de sus instalaciones para el desarrollo de la parte experimental de esta tesis, además de haberme apoyado en todo cuanto consideré necesario.

A mis compañeros, amigos y/o cuates de la facultad, que tuvieron el extraño honor de soportarme (y algunos todavía lo hacen).

Hago patente el compromiso que adquiero ante mi Facultad, para el desarrollo de la Ingeniería Química en nuestro país, y en beneficio de la sociedad.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
I.- GENERALIDADES	3
II.- APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL	
- INDUSTRIA TEXTIL	18
- INDUSTRIA ALIMENTARIA	19
- OLEOQUÍMICOS	
-COSMÉTICOS Y FARMACÉUTICOS	26
- GENERALES	28
- OTROS USOS	30
III.- TENSOACTIVOS	
- GLOSARIO	33
- GENERALIDADES	36
- CLASIFICACIÓN DE TENSOACTIVOS	
- ANIÓNICOS	38
- CATIÓNICOS	47
- ANFOTÉRICOS	56
- NO IÓNICOS	59
- BIODEGRADABILIDAD	64

<b>IV.- ESTERES METÁLICOS DEL ACEITE DE COCO</b>	
- OBJETIVO	73
- PREPARACIÓN	75
- ACONDICIONAMIENTO (REFINACIÓN)	81
<b>V.- CONCLUSIONES</b>	123
<b>VI.- BIBLIOGRAFÍA</b>	126

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	NOMBRE	PAG
TABLA 1	ANÁLISIS DE LA MADERA DEL COCOTERO	4
TABLA 2	COMPOSICIÓN GENERAL DE LOS PRODUCTOS DEL COCOTERO	6
TABLA 3	AMINOÁCIDOS Y ELEMENTOS TRAZA EN AGUA DE COCOS MADUROS	8
TABLA 4	ENDOCARPIO (NUEZ) DE COCO	9
TABLA 5	COMPOSICIÓN DE FIBRAS DE BONOTE DE COCO (% EN BASE SECA)	10
TABLA 6	COMPOSICIÓN DE DESECHOS AGRÍCOLAS, % EN BASE SECA	11
TABLA 7	ADSORCIÓN DE GASES POR CARBÓN DE DIFERENTES MADERAS	12
TABLA 8	CULTIVO DE COCO	13
TABLA 9	EXPORTACIONES DE COCO POR PAÍS (EN kg)	15
TABLA 10	IMPORTACIONES DE COCO (FRUTO) POR PAÍS (EN kg)	16
TABLA 11	IMPORTACIONES DE ACEITE DE COCO EN BRUTO POR PAÍS (EN kg)	17
TABLA 12	PROPIEDADES MECÁNICAS DE FIBRAS VEGETALES	20
TABLA 13	DIMENSIONES DE FIBRAS ÚLTIMAS DE FIBRAS VEGETALES	21
TABLA 14	COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DE LECHE DE COCO DESCREMADA Y DESHIDRATADA	22
TABLA 15	COMPOSICIÓN DEL AGUA DE COCO (mg/L)	25
TABLA 16	PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACEITE DE COCO	25
TABLA 17	USOS INDUSTRIALES DE LOS JABONES METÁLICOS	49
TABLA 18	PROPIEDADES DE LOS JABONES METÁLICOS LÍQUIDOS	51

TABLA 19	PROPIEDADES DE LOS JABONES METÁLICOS SÓLIDOS	53
TABLA 20	CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA DE SURFACTANTES ANIÓNICOS, CATIÓNICOS Y NO-IÓNICOS	65
TABLA 21	COMPUESTOS ORGÁNICOS COMUNES EN LODOS OLEOSOS CONSIDERADOS COMO BIODEGRADABLES	68
TABLA 22	OXIDACIÓN DE FENOLES POR "PSEUDOMONAS PUTRIDA"	71
FIGURA 1	SECUENCIA DE DEGRADACIÓN DE ÁCIDO 3-CLOROBENZOICO POR ACCIÓN DE <i>PSEUDOMONAS PUTRIDA</i>	72
CUADRO A	ALCOHOL METÍLICO. HOJA DE SEGURIDAD.	77

## INTRODUCCIÓN

Ante el alarmante deterioro del medio ambiente observado con el crecimiento de la sociedad industrial, es necesario tomar acciones que contribuyan a restaurarlo, o al menos a detener o aplazar su destrucción.

Por su uso generalizado e indiscriminado, tanto de manera industrial como doméstica, los tensoactivos constituyen un excelente punto de partida para hacer algo por nuestro entorno. Es necesario sustituir los compuestos actualmente en uso por productos de mayor compatibilidad con el ambiente, es decir, biodegradables.

Es ante este panorama, y considerando que la única opción viable a corto plazo para obtener productos biodegradables es recurriendo a fuentes naturales, que se estudia al aceite de coco como proveedor de materias primas para la elaboración de tensoactivos.

En el presente trabajo se estudia brevemente al cocotero, así como las aplicaciones de las diferentes partes de la planta a un gran número de industrias, ya que ello justifica económicamente el cultivo de cocoteros, pues su aplicación no se limita al mercado de tensoactivos.

Posteriormente se hace un recuento de los tensoactivos existentes, con las principales áreas de aplicación de algunos de ellos. A continuación se presentan generalidades en cuanto a la biodegradabilidad de compuestos orgánicos.

Los puntos anteriores presentan al aceite de coco como una alternativa viable tanto económica como técnicamente para ser utilizada como la principal materia prima para la industria cosmética en la elaboración de tensoactivos.

**Del aceite de coco usualmente se obtienen los ácidos grasos, o los ésteres metílicos correspondientes, siendo éstos últimos un excelente intermediario por tener mayor reactividad que los ácidos grasos originales y mayor solubilidad en diferentes medios.**

**Debido lo anterior, se aborda experimentalmente la preparación de los ésteres metílicos, y el desarrollo de un proceso para su posterior refinación con la finalidad de obtener un producto final de grado cosmético.**

**Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo realizado tanto de carácter técnico como socioeconómico.**

## I.- GENERALIDADES

El cocotero (*cocos nucifera*), es una planta de la familia de las palmáceas, alcanza una altura promedio de los 30m, se desarrolla en climas cálidos, preferentemente marítimos ( tropicales ) con una temperatura promedio superior a los 26°C y una precipitación pluvial anual mayor a los 3000 mm. Tiene flores poco llamativas, unisexuales, y producen un fruto ovoidal de aproximadamente 25 cm de longitud. Se siembran aproximadamente 60 palmas por acre, y cada palma produce de 25 a 80 cocos al año, siendo el promedio de 60 cocos por palma, esto equivale a un poco mas de 0.8 cocos por m<sup>2</sup>.

El cocotero es importante debido a la gran cantidad de aplicaciones que tienen tanto la palma como el fruto, pues se puede industrializar prácticamente la totalidad de la planta. Las partes principales de la planta de coco son:

### **Planta:**

**RAÍCES:** Contienen una alta proporción de taninos y se pueden obtener astringentes, pero hasta la fecha no existe una explotación industrial de éstas.

**TRONCO:** En el tronco se observa un alto contenido de celulosa, pero su alto contenido de sílice provoca algunos problemas para su aprovechamiento en la industria papelera; tiene una densidad de 494 kg/m<sup>3</sup>.

En la tabla 1 se presentan algunas características de la madera del cocotero.

ANÁLISIS DE LA MADERA DEL COCOTERO

	TRONCO SIN CORTEZA	CENTRO	MADERA EXTERNA	CORTEZA
SOL. EN AGUA FRÍA (%)	3.7	5.6	2.4	3.6
SOL. EN AGUA CALIENTE (%)	3.6	5.8	1.8	5.5
SOL. EN NaOH 1% (%)	22.4	31.6	21.3	43.9
CONTENIDO DE CENIZAS (%)	2.0	4.5	1.5	2.9
CENIZAS INSOL. EN ACIDOS (SiO <sub>2</sub> ) (%)	0.3	0.5	0.2	2.4
FRAC. SOLUBLE EN EtOH/BENCENO %	1.7	1.9	0.9	4.0
FRAC. SOLUBLE EN ALCOHOL (%)	1.4	2.5	1.2	1.7
TOTAL DE EXTRAIBLES	5.1	6.9	3.0	11.8
HOLOCELULOSA	67.1	66.1	70.0	42.1
CELULOSA	42.5	41.8	46.6	21.3
LIGNINA	24.6	24.5	23.4	46.5
PENTOSANAS	14.1	20.3	----	----

Vargas Juárez, 1986

TABLA I

**HOJAS:** Se emplean solo de manera local, para artesanías y techados.

**SAVIA:** La savia es el líquido dulce que se obtiene al hacer una incisión en la inflorescencia del cocotero, presenta un contenido de azúcar similar al de la caña de azúcar.

### **Fruto (coco):**

**ENDOSPERMO O ALBUMEN:** Es la parte de mayor importancia económica de todo el cocotero, se clasifica en albumen fresco (carne de coco) y albumen seco (copra).

- ***ALBUMEN FRESCO:*** Se caracteriza por poseer un alto contenido de grasas y proteínas, su utilización se centra principalmente en la industria alimentaria, y es posible llevar a cabo la extracción de aceites y proteínas, aunque todavía no se explotan.
- ***ALBUMEN SECO (COPRA):*** Es el albumen llevado hasta a un nivel de humedad de máximo 4%, se emplea en su totalidad para la obtención de aceite de coco, y al residuo fibroso residual de la extracción del aceite se le usa como complemento en el alimento para ganado.

En la tabla 2 se presenta la composición del endospermo.

COMPOSICIÓN GENERAL DE LOS PRODUCTOS DEL COCOTERO

%	ENDOSPERMO	COPRA	PASTA	AGUA	SAVIA
AGUA	36.3	6.8	11.4	95.4	84.4
PROTEINAS	4.5	7.6	17.7	0.1	0.1
GRASAS	41.6	63.7	14.3	0.1	0.1
CARBOHIDRATOS	13.0	16.1	40.6	4.0	15.1
FIBRAS	13.6	3.8	10.9	---	---
MINERALES	1.0	2.0	5.0	0.4	0.1

Vargas, Juárez; 1986

TABLA 2

**AGUA DE COCO:** Es el líquido que se encuentra en el interior de la nuez, con un contenido considerable de aminoácidos. En las tablas 3 y 4 se muestran datos del agua y la nuez de coco.

**BONOTE (MESOCARPO):** Es la envoltura fibrosa que cubre a la nuez de coco, de donde se pueden obtener fibras de diversa calidad, largas, cuando el fruto es inmaduro; medianas y cortas cuando ya ha madurado, así como polvo de fibras, las cuales tienen una alta capacidad de retención de la humedad, además de un alto contenido de potasio y fósforo.

El bonote en su totalidad contiene taninos y una buena proporción de furfural. En la tabla 5 se muestra la composición del bonote de coco de acuerdo a su edad, la tabla 6 muestra la composición general del bonote de coco y algunos desechos agrícolas. La tabla 7 presenta datos acerca de la capacidad de adsorción de gases por carbón de diferentes maderas, entre ellas la cáscara o bonote de coco.

**ENDOCARPO (CONCHA):** Que todavía no es aprovechada cabalmente, aunque es industrializado en pequeña escala en nuestro país para la obtención de carbón activado, y tiene posibilidades como soporte para catalizadores metálicos.

## **PRODUCCIÓN**

En la tabla 8 se muestran los principales estados productores de coco en nuestro país, de acuerdo con el VII Censo Agropecuario, realizado por el INEGI, durante 1994, tanto con la superficie en producción como la superficie en desarrollo.

AMINOÁCIDOS Y ELEMENTOS TRAZA  
EN AGUA DE COCOS MADUROS

AMINOACIDOS	µg/100 mg RESIDUO INSOL. EN EtOH
ACIDO CISTERICO	217
ACIDO ASPARTICO	190
ACIDO GLUTAMICO	890
SERINA	166
GLICINA	277
TRIONINA	62
ALANINA	61
HISTIDINA	197
LISINA	398
ARGININA	663
PROLINA	478
VALINA	73
LEUCINA	246
FENILALANINA	14
TIROSINA	92
METIONINA SULFOXIDO	111
TOTAL	4135

ELEMENTOS TRAZA	µg/100 mg
K	312.00
Na	103.00
Ca	29.00
Mg	20.00
Fe	0.10
Cu	0.04
P	37.00
S	24.00
Cl	183.00

Vargas, Juárez, 1986

TABLA 3

ENDOCARPIO (NUEZ) DE COCO

COMPOSICION DE LAS CENIZAS BASE SECA (%)	
K <sub>2</sub> O	45.01
Na <sub>2</sub> O	15.42
CaO	6.26
MgO	1.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.39
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.64
SO <sub>3</sub>	5.75
SiO <sub>2</sub>	4.64

AGUILAR R., RUFDA R., ZAMORA L., 1975

TABLA 4

COMPOSICIÓN DE FIBRAS DE BONOTE DE COCO (% EN BASE SECA)

COCO	SUBSTANCIAS HIDROSOL.	PECTINAS Y OTRAS SUBSTANCIAS SOL. EN CALIENTE	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA
ANCIANO	5.25	3.00	0.25	48.84	43.44
MUY JOVEN	16.00	2.75	0.15	40.52	32.86
JOVEN	15.50	4.00	0.25	41.02	36.11

Casa, Aruta Francisco, 1969

TABLA 5

COMPOSICIÓN DE DESECHOS AGRÍCOLAS, % EN BASE SECA

DESECHO	FURFURAL	PENTOSANAS	PENTOSAS
CORTEZA DE COCO	16.20	27.50	31.31
CORTEZA DE COCO (POLVO)	7.19	12.30	13.96
CORTEZA DE COCO (CASCARA)	7.02	12.01	13.65
COPRA	1.21	2.06	2.34
MAIZ	17.76	30.27	34.38
MAIZ (MAZORCA)	19.41	33.05	37.56
MAIZ (CANA)	18.00	30.74	34.94
ARROZ (CASCARA)	9.82	16.94	19.02
CANA DE AZUCAR (BAGAZO)	15.51	26.29	30.13
CAFE CASCARA INTERNA "BARRACO"	10.28	15.85	20.96
CAFE CASCARA EXTERNA "BARRACO"	4.55	7.80	8.87
CAFE CASCARA INTERNA "EXCELSA"	11.79	20.10	22.82
CAFE CASCARA EXTERNA "EXCELSA"	7.47	12.81	14.55

Rebolledo Pano, 1975

TABLA 6

ADSORCIÓN DE GASES POR CARBÓN  
DE DIFERENTES MADERAS

MADERA	(VOLUMENES DE GAS POR VOLUMEN DE CARBÓN)		
	VOL. DE AMONIACO	VOL. DE CO <sub>2</sub>	VOL. DE CO
PALO DE CAMPECHE	111	55	87
ESANO	107	47	79
ROJA DE ANGELA	91	45	—
ESANO FRÍDO	90	41	—
PAISTETE (CUBA)	90	38	—
PALO SANTO	88	47	—
ROJO	80	31	25
PALO DE JAMAICA	68	27	—
SAPAN	70	20	—
HERVA	58	—	—
PALO DE ROSA	53	—	—
VISTARIA SINENSE	4	—	—
MANTIL VEGETAL	—	50	50
CASCARA DE COCO	170	70	110

Fuente: *ibid.*, 1951

Tabla 7

ADSORCIÓN DE GASES POR CARBÓN  
DE DIFERENTES MADERAS

MADERA	(VOLUMENES DE GAS POR VOLUMEN DE CARBÓN)		
	VOL. DE AMONIACO	VOL. DE CO:	VOL. DE (CN):
PALO DE CAMPECHE	111	55	87
EBANO	107	47	90
ROJA DE ANGELA	91	45	---
EBANO CRUDO	90	41	---
FUSTETE (CUBA)	90	58	---
PALO SANTO	89	47	---
BOJ	86	31	29
PALO DE JAMAICA	69	33	---
SAPAN	70	32	---
HAYA	58	---	---
PALO DE ROSA	51	---	---
VISTARIA SINENSIS	44	---	---
MANTIL VEGETAL	---	50	57
CASCARA DE COCO	176	71	114

Vargas Juárez, 1986

TABLA 7

## CULTIVO DE COCO

ESTADO	U.P.R.*	SUPERFICIE Ha	COSECHA Ton
GUERRERO	16,385	46,572	27,229
COLIMA	2,469	26,430	16,993
TABASCO	22,631	47,060	16,783
MICHOACAN	1,463	7,388	4,495
OAXACA	8,410	5,662	4,032
VERACRUZ	13,547	7,568	3,995
SINALOA	2,877	4,614	3,827
JALISCO	887	4,030	3,307
CAMPECHE	5,914	7,126	2,371
CHIAPAS	9,845	7,205	2,189
OTROS	N/D	362	N/D
TOTAL	99,671	168,494	86,955

SUPERFICIE EN DESARROLLO (Ha) 33,410

\* U.P.R. : UNIDADES DE PRODUCCION RURALES

FUENTE: INEGI VI CENSO AGROPECUARIO  
INEGI, MEXICO, 1994

TABLA 8

En las tablas 9, 10 y 11 se presentan los datos de comercio exterior tanto para el fruto como para el aceite de coco, que es el producto más ampliamente obtenido de la planta. En ellos se observa lo siguiente:

1. Existe un déficit en el beneficio del cocotero, ya que se exporta una gran cantidad de cocos (fruto), y se importa una cantidad importante de aceite de coco.
2. En los últimos años se observa una caída del consumo, a nivel mundial, del coco, lo que resulta preocupante por la gran cantidad de cocoteros en edad productiva en nuestro país.

EXPORTACIONES DE COCO POR PAÍS  
(EN kg)

PAIS	1995 (MAY)	1994	1993	1992
ALEMANIA	0	0	91	0
CANADA	0	0	0	24
E.U.A.	2,680,732	5,727,737	5,460,227	5,349,839
FRANCIA	0	0	160	2,866
GUATEMALA	0	55	25,215	0
NICARAGUA	0	3,220	3,010	0
PANAMA	0	0	95	0
REINO UNIDO	0	30	0	0
U.R.S.S.	0	8,000	0	0
TOTAL	2,680,732	5,739,042	5,488,798	5,352,729

PROGRAMA SICH  
INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE COMERCIO EXTERIOR DE MÉXICO  
SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

TABLA 9

IMPORTACIONES DE COCO (FRUTO) POR PAÍS  
(EN kg)

PAIS	1995 (MAY)	1994	1993	1992
CHIPRE	0	0	88	0
E.U.A.	416	736	1,544	8,604
FRANCIA	0	73	888	0
CHINA	0	0	0	10
TOTAL	416	809	2,520	8,614

PROGRAMA SICM  
INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE COMERCIO EXTERIOR DE MÉXICO  
SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

TABLA 10

IMPORTACIONES DE ACEITE DE COCO  
EN BRUTO POR PAÍS (EN kg)

PAIS	1995 (MAY)	1994	1993	1992
CANADÁ	0	0	20	0
E.U.A.	0	1,389	21,029	2,351,160
FILIPINAS	0	649,985	999,998	11,197,840
FRANCIA	0	0	0	77,706
HOLANDA	0	0	0	1,798,951
INDONESIA	0	0	2,202,628	12,982,315
MALASIA	0	0	500,000	860,360
SINGAPUR	0	0	592,326	999,844
TOTAL	0	651,374	4,316,001	30,268,176

PROGRAMA SICM  
INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE COMERCIO EXTERIOR DE MÉXICO  
SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL

TABLA 11

## **II.- APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL**

### **A) Industria textil:**

#### **Aceite de coco.-**

El aceite es utilizado por la industria textil básicamente como ablandador de hilazas para lograr una producción de telas con menores defectos y menor consumo de energía en las máquinas, así mismo disminuye el desperdicio por jalones de las hiladoras en los tejidos.

Otro uso que se da al aceite de coco es como acarreador de tintes en el teñido de telas, ya que por ser no polar, no compite con los tintes sobre la superficie de la tela, y después es fácil de eliminar los residuos del aceite por arrastre de vapor.

#### **Bonote del coco.-**

Cuando el coco es inmaduro se obtienen del bonote unas fibras largas y flexibles, útiles para la fabricación de tapetes, cuerdas, tejidos para filtros de aceite, bastante apreciadas en las costas por su resistencia al agua de mar (Vargas Juárez, 1986).

Si el bonote se obtiene de cocos maduros, se obtienen fibras medianas y cortas, las cuales son quebradizas, que se utilizan para relleno de cojines, asientos y colchones (Vargas Juárez, 1986). En las tablas 12 y 13 se comparan propiedades de diferentes fibras, entre éstas las del bonote de coco.

Para la identificación de la fibra del bonote de coco, al agregarle iodo con ácido sulfúrico, se obtiene un color amarillo oro, con sulfato de anilina un amarillo intenso,

mientras que el reactivo de Schweitzer\* no ataca la fibra (Matthew's textile fibers, 1954).

## **B) Industria alimentaria :**

### **Savia.-**

Como se mencionó anteriormente, la savia del cocotero tiene un contenido de azúcar bastante parecido al de la caña de azúcar, pues se pueden obtener 6,250 kg azúcar/ (año - Ha de cocotero).

Con la savia se produce jarabe, alcohol, vinagre e incluso una bebida alcohólica de consumo principalmente local llamada "Tuba".

### **Tronco.-**

El corazón del ápice del tallo del cocotero, mejor conocido como Palmito, es bastante apreciado culinariamente (Vargas Juárez, 1986).

### **Albumen fresco.-**

El albumen fresco es típicamente empleado para la obtención de coco rallado, ampliamente utilizado en repostería.

Del albumen fresco se obtienen la leche y la crema de coco (Fat & Oil News, pp 64 (1988)), que es posible emplear como sustitutos de la leche de vaca, por su alto contenido de aminoácidos (Tabla 14), así como el balance de éstos, y mezclados con aceite de coco se pueden obtener quesos de calidad nutricional, sabor y aspecto similares al queso blanco de leche de vaca (Fat & Oil News, pp 1232 (1986)).

---

\* El reactivo de Schweitzer se obtiene al disolver  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  en una solución acuosa de amoníaco al 20%. Tiene la propiedad de disolver celulosa.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE FIBRAS VEGETALES

FIBRA	LONGITUD DE RUPTURA km	ESFUERZO ULTIMO A LA RUPTURA %	MODULO DE TRABAJO DE RUPTURA kN·m/N	MODULO DE ELASTICIDAD LINEAR IN. N/tex
LANA DE CEIBA	16-30	1.2	0.1	1300
YUTE	27-53	1.5	0.3	1700-1800
CANAMO	38-62	2-4	0,6-0,9	180
LINO	24-70	2-3	0.9	1800-2000
RAMIE	32-67	2-7	1.1	1400-1600
HENEQUEN	27-34	3,5-5	..	..
MANILA	32-69	2-4,5	0.6	..
SISAL	30-45	2-3	0,7-0,8	2500-2600
COCO (BONOTE)	18	16	1.6	430

McGovern, J. W., 1984

TABLA 12

DIMENSIONES DE FIBRAS ULTIMAS DE FIBRAS VEGETALES

FIBRA	LONG mm			DIAM. mm		
	MIN	MAX	PROM	MIN	MAX	PROM
ALGODON	10	50	25	0.014	0.021	0.019
LINO	8	69	32	0.008	0.031	0.019
CANAMO	5	55	25	0.013	0.041	0.025
RAMIE	60	250	120	0.017	0.064	0.04
SUNN	2	11	7	0.013	0.061	0.031
YUTE	0.75	6	2.5	0.005	0.025	0.018
SISAL	0.8	7.5	3	0.007	0.047	0.021
MANILA	2	12	6	0.01	0.032	0.024
PIORMIUM	2	11	6	0.005	0.025	0.013
MAURITIUS	2	6	..	0.015	0.024	..
LANA DE CEIBA	15	30	19	0.01	0.03	0.018
COCO (BONOTE)	0.3	1	0.7	0.01	0.024	0.02
KENAF	2	11	3.3	0.013	0.034	0.023
DE PINA	2	10	5.5	0.003	0.013	0.006
ORTIGA	4	70	38	0.02	0.07	0.042
SANSEVERIA	1	7	4	0.013	0.04	0.022

McGovern, J. N., 1984

TABLA 13

COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DE LECHE DE COCO  
DESCREMADA Y DESHIDRATADA

AMINOÁCIDOS	g/10g N	RELACIÓN A LOS VALORES DEL HUEVO	RELACIÓN A LOS PATRONES DE LA FAO
<b>ESENCIALES</b>			
ISOLEUCINA	2.6	39%	60%
LEUCINA	5.4	61%	110%
LISINA	4.6	71%	106%
FENILALANINA	3.8	65%	112%
TIROSINA	2.3	55%	80%
CISTEINA	1.7	71%	84%
METIONINA	1.3	41%	96%
TRIONINA	2.4	47%	81%
TRIPTOFANO	0.9	56%	62%
VALINA	4.0	55%	91%
<b>NO ESENCIALES</b>			
HISTIDINA	2.2		
ARGENINA	15.5		
AC. ASPARTICO	7.6		
AC. GLUTAMICO	22.0		
SERINA	1.7		
PROLINA	1.5		
GLANINA	4.3		
GLICINA	1.1		
TOTAL	40.1		

También se puede obtener aceite de coco, y con el harina residual se puede producir pan o cereales.

#### Agua de coco.-

Se le utiliza ampliamente como bebida tradicional, habiéndosele encontrado propiedades medicinales contra infecciones intestinales (Vargas Juárez, 1986; Montenegro, H. M. 1985). La tabla 15 muestra la composición del agua de coco.

Al hacer una mezcla homogénea con albumen fresco, se obtiene una bebida bastante popular llamada "Kaláhua" (Vargas Juárez, 1986).

Por su contenido de azúcar, es posible realizar la fermentación del agua de coco para la obtención de vinagre, bebidas alcohólicas e inclusive alcohol de forma industrial (Montenegro, H. M. 1985).

Usualmente en las plantas productoras de copra y derivados de la carne de coco, el agua la desechan, convirtiéndose en un peligroso contaminante, dada su alta DBO<sup>4</sup>, por ello se investigan y tratan de impulsar industrias que utilicen este subproducto (Montenegro, H. M. 1985).

#### Aceite de coco.-

Tiene aplicación como sustituto de aceites en la leche, y en aquellos lugares donde la temperatura promedio sea mayor a los 24°C, se le puede utilizar como aceite de cocina, ya que mantiene un estado líquido, y debido a su bajo índice de iodo, lo que nos indica una casi ausencia de dobles enlaces conjugados, permite que sea estable ante la oxidación y dure bastante tiempo sin enranciarse, el problema reside en que por su bajo peso molecular se absorbe en mayor proporción en la comida, y como es

---

<sup>4</sup> DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno disuelto requerido en un líquido para degradar por medios biológicos la materia orgánica presente. Para determinar el DBO de un efluente usualmente se toma una muestra, se mide el oxígeno disuelto y se coloca en una estufa a  $\pm 20^{\circ}\text{C}$  durante 5 días, al término de los cuales se mide nuevamente la cantidad de oxígeno disuelto. En este caso, el valor se expresa como: DBO<sub>5</sub><sup>40</sup>.

mucho más hidrolizable que otros aceites, es susceptible de producir humo, además de que la presencia de ácidos grasos libres dejan un mal sabor residual (Young F. K., 1983; Vargas Juárez, 1986). La tabla 16 presenta algunas propiedades físicas del aceite de coco.

El aceite de coco se aplica en la elaboración de margarinas, inicialmente se le utilizaba en proporciones de alrededor de 40% de las grasas de las margarinas, con bastante éxito, debido fundamentalmente a que la temperatura de fusión del aceite es menor a la temperatura media del cuerpo humano, por lo que al fundirse produce una sensación agradable en la boca, pero con el encarecimiento de los aceites láuricos, así como con la aparición de margarinas más suaves, ahora sólo se le usa en una proporción de alrededor de 15%, esto debido a que en mayores proporciones, al sacar la margarina del refrigerador ésta es quebradiza, aun cuando tiene la ventaja de que produce mezclas eutécticas junto con el aceite de nuez de palma, lo que mejora la presentación del producto (Young F. K., 1983).

En las margarinas de repostería es apreciado el aceite de coco debido a que permite la incorporación de mayor cantidad de aire en las pastas, lo que permite obtener productos más esponjosos (Young F. K., 1983).

También se le usa en la producción de sustitutos de crema para café, así como en la elaboración de helados de base vegetal, esto debido a su bajo punto de fusión, lo que permite que los productos no presenten un sabor ceroso (Young F. K., 1983).

COMPOSICIÓN DEL AGUA DE COCO (mg/mL)

AGUA (%)	95.5
N <sub>2</sub>	0.05
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.56
K	6.6
CaO	0.69
MgO	0.59
Fe	0.5
Sólidos	4.71
Azúcares	2.08
Cenizas	0.62

TABLA 15

PROPIEDADES FÍSICAS DEL ACEITE DE COCO

Sg	0.908-0.913
INDICE DE REFRACCION @ 40°C	1.448-1.45
P.F. (°C)	23-26
V. ACIDO (mg KOH/L)	0.26-2.6
V. SAPONIFICACION	250-265
INDICE DE IODO	7-10
V. REICHERT-MEISSE	6-8
V. PLENSKE	12-18
MAT. NO SAPONIFICABLE (%)	0.15-0.6

AGUILAR R.; RUEDA R.; AMORAL, 1975

TABLA 16

### C) Oleoquímicos

- *Cosméticos y farmacéuticos:*

El aceite de coco es un aceite de los llamados láuricos, debido a que a la hidrólisis de los triglicéridos se obtiene una mezcla de ácidos grasos con una gran proporción (entre 42 y 48% w/w) de ácido láurico (dodecanóico), seguido por una menor proporción (12-18% w/w) del ácido mirístico (tetradecanóico), siendo ambos ácidos grasos saturados.

Estos ácidos grasos de bajo peso molecular, son inmejorables para la preparación de detergentes biodegradables; se les utiliza para la fabricación de jabones para afeitar, pues no son irritantes y producen bastante espuma la cual muestra una buena estabilidad (JAOCS, 2(62)431-434, 1985).

Su alto índice de saponificación los hace ideales para la producción de jabones metálicos.

Una formulación de jabón de tocador típica contiene aproximadamente un 85% de derivados de ácidos grasos de sebo y un 15% de derivados de ácidos grasos de coco, que ayudan a dar espumabilidad al jabón (JAOCS, 2(62)355-365, 1985).

En jabones líquidos la mayor parte de la formulación está formada por ácidos grasos de coco neutralizados con KOH en lugar de NaOH, y contiene usualmente entre 20 y 25% de sólidos (JAOCS, 2(62)355-365, 1985).

Se les utiliza en la producción de removedores de cutícula (JAOCS, 2(62)431-434, 1985).

Con los ácidos grasos, así como con los ésteres metílicos que de ellos se obtienen, al hacerlos reaccionar con una cantidad equimolar de dietanolamina  $[(HOCH_2CH_2)_2NH]$  a 100°C y presión atmosférica, con metilato de sodio ( $NaOCH_3$ ) como catalizador, se producen superamidas que se emplean en la producción de bases

para la preparación de productos para baños de espuma y para el cabello, así como en formulaciones de detergentes líquidos (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

Otros excelentes surfactantes son las amidas disustituidas, producidas generalmente a partir de 2 moles de dietanolamina por mol de ácidos grasos (o sus ésteres metílicos) a 140-170°C, obteniéndose productos solubles en agua, mientras que si la relación de dietanolamina es equimolar el producto obtenido es insoluble; el producto resultante se emplea generalmente en detergentes líquidos (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

A partir de derivados grasos de nitrógeno se obtienen surfactantes anfotéricos, siendo los más comunes las betainas, estas se producen, principalmente, de la reacción entre aminas terciarias disueitas en un disolvente polar (en el cual el cloruro de sodio es especialmente insoluble, generalmente es un alcohol de bajo peso molecular) y cloroacetato de sodio.\* (JAOCS, 2(62)355-365,1985; Richmond, J. M., 1990).

Los ésteres que forman los ácidos más ligeros (caprílico y caprínico) con la glicerina son excelentes aceites emolientes, de buena estabilidad y lubricación fina, baja irritación de la piel y buena absorción sobre la misma; son buenos acarreadores de farmacéuticos y se pueden esterilizar a menor temperatura que otros (JAOCS,2(62)431-434,1985).

El monolaurato de dietilenglicol se emplea como disolvente y lubricante, en combinación con jabón, al igual que el mono y dilaurato de polietilenglicol 400 (el 400 indica peso molecular promedio), actúa como emulsificante (JAOCS,2(62)431-434,1985).

---

\* La reacción que se lleva a cabo es:  $RN(CH_3)_2 + ClCH_2CO_2Na \rightarrow RN^+(CH_3)_2CH_2CO_2^- + NaCl$   
 $RN(CH_2H_4OH)_2 + ClCH_2CO_2Na \rightarrow RN^+(CH_2CH_2OH)_2CH_2CO_2^- + NaCl$   
En algunas ocasiones, las amidoaminas del tipo  $RCONH(CH_2)_3N(CH_3)_2$  son utilizadas como intermediarias en la producción de betainas.

El miristato de isopropilo es utilizado en acondicionadores de cabello, lápices labiales y maquillaje de ojos, por su capacidad de absorción sobre la piel y baja irritabilidad de la misma (JAOCS, 2(62)431-434,1985).

Por reducción se obtienen alcoholes grasos, los cuales son utilizados para la producción de sulfatados y sulfonados, los que se incluyen en formulaciones de detergentes biodegradables (Rodríguez Weber, 1971).

Los alcoholes, etoxilados y no, son utilizados como estabilizadores en formulaciones cosméticas, pues incrementan la viscosidad de la fórmula y le otorgan lubricidad, además de que los alcoholes etoxilados aumentan la detergencia de la formulación (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

La glicerina que se obtiene de la hidrólisis del aceite, sirve de base para cremas y ungüentos, se le emplea en antitranspirantes, y por su alta calidad se le emplea en la industria farmacéutica (JAOCS, 2(62)431-434,1985).

- **GENERALES:**

Del ácido mirístico se obtiene el alcohol 1-tetradecanólico, el cual se emplea como materia prima para la síntesis del alcohol mercaptan-tetradecílico, el cual se utiliza como regulador en la polimerización del caucho.

La glicerina que se obtiene se utiliza en la fabricación de barnices y lacas no tóxicos (JAOCS,2(62)431-434,1985).

Los ácidos grasos de coco se utilizan en la vulcanización del caucho como plastificante, así como lubricante para evitar que el caucho se atore en las máquinas (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

Las amidas primarias del aceite de coco, obtenidas por reacción de los ácidos grasos con amoniaco anhidro a 180-200°C y 50-100 PSI, o a partir de los ésteres metílicos y amoniaco a 220°C y 1800 PSI, con un menor tiempo de reacción (12 h en el primer caso y 1 h en el segundo), son utilizadas como aditivos en resinas poliolefinicas, en concentraciones de 0.1-0.5%; dada la cadena grasa y la naturaleza polar de la amida, ésta se distribuye en la superficie de la resina con la función polar hacia el exterior de la misma, lo que le da las características de deslizamiento necesarias para la descarga del reactor y su posterior manejo (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

Las amidas son utilizadas en una amplia gama de formulaciones de desmoldantes, que generalmente se rocían en el molde antes de introducir al polímero o la resina en él, excepto en el caso del hule, en que se añade a la mezcla antes de entrar al molde (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

Las amidas de coco reaccionan con formaldehído, piridina o ácido clorhídrico, produciendo sales cuaternarias solubles en agua, que son aplicadas sobre tejidos de tipo Zelan o Veian, después se calientan para formar una película sobre la tela que es repelente al agua (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

De los ácidos grasos se obtienen nitrilos por reacción con amoniaco a 280-360°C con un óxido metálico como catalizador, posteriormente a los nitrilos se les hidrogena para la obtención de aminas primarias, las cuales son utilizadas como desmoldantes de caucho, en el reciclado de caucho natural y sintético, y dentro de fertilizantes; en la industria petrolera se les utiliza como aditivos de lubricantes, combustibles, y como inhibidores de corrosión, por su afinidad con superficies metálicas, su capacidad para neutralizar ácidos y su acción bactericida, así como sus propiedades "oleosas" (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

Otro tipo de aminas que se producen son las n-alkil-1,3-diaminopropanos, que se pueden producir con un rendimiento de hasta 98%, y al tener dos grupos amino, los productos tienen excelente capacidad de enlazarse en superficies metálicas, textiles,

plásticas y minerales, por lo que encuentran aplicación como inhibidores de corrosión, agentes humectantes de pigmentos, flotación y floculación de minerales, biocidas, emulsificantes de asfalto y aditivos de petróleo (JAOCS, 2(62)355-365,1985).

#### **D) Otros Usos:**

##### **Raíces.-**

Por el alto contenido de taninos, se les puede emplear en la fabricación de tintes (Vargas Juárez, 1986), los taninos son sustancias cromóforas, de alto peso molecular, y con aplicación también dentro de la peletería como agente curtiente.

Presentan propiedades medicinales como astringentes.

El uso más común que se le da a la raíces es como combustible para cocinas o para el secado del alburmen

##### **Bonote.-**

El bonote es empleado, en su totalidad, como combustible para hornos de tabiquería, utilizándose las cenizas residuales como abono dada la buena proporción de potasio y fósforo con que cuentan (Vargas Juárez, 1986).

Del bonote se lleva a cabo la destilación para la obtención de furfural y taninos (Vargas Juárez, 1986; Reboledo Pano, 1975).

Las fibras medianas y cortas que se obtienen del bonote son utilizadas en la manufactura de tableros aglomerados; estas fibras, mezcladas con látex, presentan buena flexibilidad y resistencia, por lo cual se les utiliza en la fabricación de amortiguadores automotrices (Vargas Juárez, 1986).

Al polvo de fibras que se obtiene se le emplea casi únicamente como abono o como conservador de tierras (Vargas Juárez, 1986).

Así mismo se ha intentado obtener aceite pirolítico, y lignina para la producción de hojas plásticas y metalolignosulfonatos, útiles en la producción de adhesivos y emulsificantes (JAOCS, 2(62)259-261, 1985).

#### Tronco.-

Tiene aplicación localmente en la construcción de casas, muelles o incluso para la instalación de tendido eléctrico o electrónico (Vargas Juárez, 1986).

#### Hojas.-

De muy poca utilidad, localmente se les usa para artesanía y en los techados de algunas casas (Vargas Juárez, 1986).

#### Concha.-

Localmente se le utiliza para la elaboración de artesanías, jícaras para la recolección de látex, y como combustible (Vargas Juárez, 1986).

En la industria se le emplea como carga activa en la fabricación de termoplásticos, ya que aumenta la resistencia de éstos a la temperatura y a la humedad (Vargas Juárez, 1986).

De la concha del coco se puede obtener un carbón activado de muy buena calidad, que actualmente en México no se explota en cantidad suficiente. El carbón activado se obtiene haciendo pasar una corriente de vapor o de CO<sub>2</sub> a alta temperatura (800-1000°C) dentro de hornos rotatorios.

Este producto tiene una superficie de hasta 1500 m<sup>2</sup> por gramo, y poros de diámetro menor a 20 Angstroms, posee alta resistencia mecánica, lo que lo hace excelente para adsorción de gases y purificación de minerales.

Por su estructura de poros muy pequeños, el carbón activado obtenido de la concha del coco no es aplicable a adsorción de sustancias coloridas, pues éstas generalmente tienen estructuras moleculares de gran tamaño. (Vargas Juárez, 1986; JAOCS, 2(62)259-261,1985)

De la producción de carbón activado por destilación, se obtiene ácido pirogigoso y alquitrán, del cual se puede derivar ácido acético (Vargas Juárez, 1986).

#### Agua de coco.-

Es posible aplicarla como medio de cultivo de tejidos y microorganismos (levaduras), así como sustituto de suero fisiológico inyectable.

#### Aceite de coco.-

En Brasil están en proceso estudios para utilizarlo como combustible en sustitución del keroseno (JAOCS, 2(63)190-191,1986), estudios apoyados en algunos experimentos en los EE.UU. orientados a utilizar el aceite vegetal de cocina de desecho como combustible en algunos tractores en sustitución del diesel.

### III.- TENSOACTIVOS

#### GLOSARIO

Antes de entrar de lleno en la clasificación de los tensoactivos conviene establecer algunas definiciones acerca de los términos utilizados más frecuentemente.

**FASE:** Parte homogénea de un sistema, que es físicamente distinguible y mecánicamente separable.

**EQUILIBRIO:** Cuando el intercambio de material de una fase a otra y viceversa se lleva a cabo a la misma rapidez de tal forma que la concentración no cambia para ninguna de las fases, se dice que se ha alcanzado un equilibrio. La condición para que exista el equilibrio entre fases, es la igualdad de potenciales químicos ( $\mu$ ) de cada fase:  $\mu_a = \mu_b$ . Ahora bien, el sistema tendrá la fase más estable en aquella que tenga el menor potencial químico a determinada temperatura.

**POTENCIAL QUÍMICO:** Se define como la derivada del cambio de energía libre de Gibbs con respecto al número de moles de sustancia:  $\mu = \frac{\partial \Delta G}{\partial n}$ . Para el caso particular de la superficie de una fase, la energía que nos interesa es la energía libre de superficie, la cual es equivalente a la cantidad de trabajo necesario para aumentar, a temperatura constante y de modo reversible, el área de la superficie en una unidad. Como se sabe, los sistemas tienden a adoptar configuraciones de mínima energía, por

ejemplo un líquido puro tiende a una configuración esférica, la cual le permite tener una menor área superficial por unidad de volumen.

**INTERFASE:** Es la región que separa físicamente a las fases en contacto. Para un sistema formado por dos fases se tiene un área de contacto a la cual se denomina capa interfacial, esta capa mide entre 10 y 100 Å y depende del tamaño, forma y naturaleza de las moléculas de las dos fases. Para un sistema formado por tres fases existe una línea de contacto y para sistemas de cuatro fases o más solo puede existir un punto de contacto.

**TENSIÓN SUPERFICIAL:** La tensión superficial es una propiedad específica de cada líquido o de cada sistema, las dimensiones de ésta son:  $[m t^{-2}]$ ; puede expresarse como dinas/cm ó como  $erg/cm^2$ . Existen varias definiciones para la tensión superficial entre otras destacan las siguientes:

- Es la energía libre en exceso que hay en la superficie de una fase.
- Es la fuerza que actúa de manera paralela a la superficie y que se opone a cualquier incremento posible del área superficial.
- Es el trabajo necesario para extraer una molécula del seno de una superficie.

Desde un punto de vista termodinámico la tensión superficial es la tendencia de un sistema a disminuir su superficie hasta el punto en que su energía libre superficial es mínima.

La tensión superficial de los líquidos disminuye de una manera prácticamente lineal al aumentar la temperatura, con excepción de algunos metales, y se hace muy pequeña en la región de temperatura crítica, cuando las fuerzas intermoleculares de cohesión tienden a cero. La razón de esta disminución es el incremento de la energía cinética promedio de las moléculas (debido al suministro de energía en forma de calor) que provoca una disminución de la energía superficial en exceso.

Otro factor importante que afecta a la tensión superficial es el tipo de soluto disuelto en la fase líquida y su concentración, ya que algunas sustancias, al disolverse, permiten que la energía libre de superficie de un líquido disminuya. La fuerte adsorción de estas sustancias a las superficies o interfases en forma de capa monomolecular orientada se denomina actividad superficial. En este caso el tamaño, la forma, la naturaleza y la afinidad electrónica de las moléculas juegan un papel importante.

**TENSOACTIVO:** Son sustancias con actividad superficial, esto es, las moléculas de estas sustancias poseen partes polares (afines con el agua) y partes no polares; en otras palabras un tensoactivo es toda aquella sustancia que modifica en forma importante a la tensión superficial. De una manera general los tensoactivos se pueden dividir en dos tipos:

- Tensoactivos que se adsorben positivamente (enriquecimiento).
- Tensoactivos que se adsorben negativamente (empobrecimiento).

**ADSORCIÓN:** es el enriquecimiento de un componente en la interfase o superficie comparada con alguna de las fases.

## -GENERALIDADES

Los solutos tensoactivos pueden clasificarse en tres tipos:

a). Solutos que generan un aumento moderado de  $\gamma$  (tensión superficial) al aumentar su concentración. Ejemplos de estos son las sales inorgánicas y la sacarosa. El aumento de  $\gamma$  para las soluciones salinas se debe a que las atracciones entre iones con cargas opuestas son más fuertes en el seno de la solución que en la capa superficial, lo que origina una disminución de iones en la misma, dándose así, una adsorción negativa que provoca el aumento de  $\gamma$ .

b). Solutos que dan lugar a una disminución continua e importante de  $\gamma$  al aumentar su concentración. Ejemplos de estos son los compuestos orgánicos solubles, tanto en agua como en hidrocarburos (aceites) tales como ácidos grasos y alcoholes de cadena corta. Estas moléculas tienden a acumularse en la capa superficial, donde se orientan con la parte polar hacia la disolución, dándose una adsorción positiva, que produce la disminución de  $\gamma$ .

c). Solutos que dan lugar a una rápida caída de  $\gamma$  seguida de una repentina estabilización a medida que aumenta la concentración. Estas moléculas se caracterizan por una muy fuerte actividad superficial y por la formación de micelas. Una micela es un agregado de moléculas o iones cuya finalidad es alcanzar niveles energéticos mínimos.

Puede desarrollarse una clasificación más amplia de los tensoactivos en función de la carga de la partícula con actividad superficial:

1. Un tensoactivo *aniónico* lleva una carga negativa de manera preponderante en la molécula.
2. Un tensoactivo *catiónico* lleva una carga positiva.
3. Un tensoactivo *no iónico*, como su nombre lo dice, es una molécula no cargada, la contribución a la solubilización está constituida por una cadena de grupos con óxido de etileno o propileno (generalmente).
4. En los tensoactivos *anfotéricos* la solubilidad está en función de la presencia de cargas positivas y negativas en la solución.

En general los grupos hidrofóbicos consisten en una cadena de moléculas orgánicas conteniendo de 10 a 20 átomos de carbono. La cadena puede ser interrumpida por átomos de oxígeno, anillos bencénicos, amidas, ésteres y otros grupos funcionales con doble enlace.

Un grupo hidrofóbico de óxido de propileno puede ser considerado como una cadena orgánica en la cual cada tercer grupo metilénico es sustituido por un átomo de oxígeno. En algunos casos las cadenas pueden llevar sustituyentes, los más comunes son los halógenos.

Los grupos hidrofílicos disuelven a grupos de tensoactivos aniónicos incluyendo carboxilatos, sulfatos, sulfonatos y fosfatos.

Los catiónicos son solubilizados por aminas y grupos con amoniaco.

Las cadenas de óxido de etileno (o propileno) y grupos hidroxílicos son los grupos solubles de tensoactivos no iónicos.

Los tensoactivos anfotéricos son solubles por una combinación de los grupos solubles de tensoactivos iónicos y no iónicos.

## -CLASIFICACIÓN DE TENSOACTIVOS

A continuación se presenta una clasificación de tensoactivos de acuerdo con el criterio de carga predominante de la molécula, como se menciono anteriormente. Es decir, clasificados en aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfotéricos:

### **a) Aniónicos**

En general este tipo de tensoactivos son altamente solubles en agua. Actualmente son los de uso más generalizado, ya que por sus características pueden utilizarse como: Agentes humectantes, emulsificantes, de-emulsificantes, espumantes, de-espumantes, solubilizantes, dispersantes y limpiadores. Sus usos de mayor importancia se centran en limpiadores domésticos y para la emulsificación de polímeros. Algunos ejemplos de estos tensoactivos son:

1. Sales sódicas de sulfatos de alcoholes primarios. Son derivados de alcoholes de cadena lineal sulfatados en el primer carbono mediante la reacción con ácido clorosulfónico, ácido sulfúrico o con trióxido de azufre, y posterior neutralización del producto obtenido con sosa cáustica; la reacción con clorosulfónico es la de mayor rapidez, pero tiene dos inconvenientes, desprende ácido clorhídrico como subproducto, el cual debe ser removido del seno de la reacción, y tiene tendencia a quemar al producto. Los alcoholes grasos se pueden obtener aislándolos de ceras, o por reducción catalítica del ácido graso correspondiente. Las impurezas que se pueden presentar en estos productos son sulfonatos del alcohol, alcohol sin reaccionar, dialquil sulfonas e hidrocarburos presentes en el alcohol inicial, y si se utiliza ácido clorosulfónico, se encuentran cloruros, cuya concentración determinará la calidad del producto. Mientras más alto sea el punto de fusión del alcohol, mayor será la tendencia a formar sulfonados.

2. Sulfatos de alcoholes oxo Fischer-Tropsch. Son derivados de alcoholes ramificados, los cuales tienen un grupo metilo en el carbono 2, estos alcoholes se derivan de alfa-olefinas, que por sustitución catalítica entra un grupo aldehído en dicha posición. La posterior reducción con hidrógeno convierte al aldehído al alcohol correspondiente con el grupo terminal  $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{-CH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$ , y a este alcohol se le hace reaccionar con ácido sulfúrico.

3. Sales sódicas de alquil sulfatos secundarios. Son alquil sulfatos secundarios altamente ramificados, derivados de olefinas por sustitución en el doble enlace con ácido sulfúrico. No existe una posición específica para el doble enlace. El producto resultante es una conglomeración de isómeros del sulfato, y esta conglomeración de isómeros, con longitudes de cadena variables, es lo que les da su gran solubilidad en agua. Estos productos comercialmente se les mezcla con derivados de alquilbencenos, productos etoxilados, etc. por lo que depende mucho del fabricante las características finales del producto en el mercado. Es posible encontrar alcohol libre, el cual probablemente se deba a la hidrólisis de derivados sulfatados.

4. Alcoholes primarios etoxilados sulfatados. Estos derivados generalmente se obtienen de alcohol láurico o de alcoholes de sebo. El alcohol es etoxilado al grado deseado, comúnmente entre 1.5 y 5 moles de óxido de etileno por mol de alcohol, y después es sulfatado. Usualmente se contamina el producto con polioxietilén glicol, ya que la mínima cantidad de agua reacciona inmediatamente con el óxido de etileno, formando etilenglicol, el cual fácilmente continúa reaccionando con el óxido de etileno presente.

5. Alquil sulfatos de etanolamina. Son sales monoetanolamínicas o dietanolamínicas de alquil sulfatos, éstos últimos obtenidos de alcoholes primarios. Aquí la parte orgánica imparte una gran solubilidad de los productos en agua, mayor que la sal metálica.
  
6. Sulfato de alquilfenol etoxilado. Este producto generalmente se le encuentra en su sal de amonio. En este producto la sulfatación se lleva a cabo con ácido sulfámico, ya que si se agrega ácido sulfúrico, se lleva a cabo la sulfonación tanto en el anillo aromático como en la cadena etoxilada, siendo ésta última reacción indeseable.
  
7. Triglicéridos sulfatados. Se obtienen por la acción de ácido sulfúrico sobre aceites, principalmente de castor, pero debido a su composición variable, no han encontrado una colocación firme en el mercado.
  
8. Sal sódica o de amonio de monoglicéridos sulfatados. Se derivan de la sulfatación directa de los monoglicéridos disponibles comercialmente, y su posterior neutralización con NaOH o con  $\text{NH}_4\text{OH}$ , de acuerdo al producto que se desee obtener.
  
9. Monoéster graso de etilenglicol sulfatado. Primero se obtiene el monoéster graso de etilenglicol, el cual se sulfata posteriormente. El producto resultante no debe tener hidroxilos libres, y por lo tanto su solubilidad difiere apreciablemente del monoéster. La calidad del producto obtenido depende de la eficiencia de la sulfatación así como de la pureza del monoéster, ya que éste puede llevar etilenglicol y ácidos grasos libres.

10. Sal sódica de alquil sarcosinatos ( $C_{11}H_{23}CO.N(CH_3).CH_2.COONa$ ). Es un surfactante desarrollado antes de la segunda guerra mundial por I. G. Farbenindustrie de Alemania, bajo el nombre de Iglever, se aplica a preparaciones de cosméticos. Posee características muy similares a los jabones metálicos.
11. Alquil sulfonatos. Consistentes en alquil sulfonatos de cadenas ramificadas, obtenidos de olefinas sintéticas principalmente, las cuales se sulfonan haciendo actuar al cloruro de sulfurilo y posteriormente hidrolizando el cloruro de sulfonilo obtenido. Estos surfactantes aparecieron como sustitutos del jabón. Actualmente se producen en base a tecnologías de oxidación por radioquímica.
12. Alquenos sulfonatos. Se producen a partir de 1,2-alquenos, por acción de trióxido de azufre, para llegar a los monosulfonatos correspondientes, así como 2-hidroxisulfonatos, alcano sulfonatos, alcano disulfonatos, 3- y 4-hidroxisulfonatos y sus correspondientes sulfonas. La transposición del doble enlace que ocurre durante el proceso resulta por la monosulfonación que se da a diferentes puntos de la cadena orgánica, produciendo una gran variedad de derivados.
13. Esteres del ácido isetiónico y sus sales (Por ejemplo: Igepon A -  $RCOOCH_2CH_2SO_3Na$ ). Se obtienen generalmente de la reacción de un cloruro de ácido graso con el ácido isetiónico o sus sales, obteniéndose ácido clorhídrico como subproducto. Es común utilizar el isetonato de sodio en lugar del ácido isetiónico directamente, ya que el primero se obtiene de la reacción entre el etilensulfito y bicarbonato de sodio, y a partir del cual se puede obtener el ácido.

14. Esteres del ácido sulfosuccínico. Se comercializan diésteres de la sal sódica del ácido sulfosuccínico, como el dioctil sulfosuccinato de sodio:

$$\begin{array}{c} \text{C}_8\text{H}_{17}\text{OOC}\cdot\text{CH}\cdot\text{SO}_3 \\ | \\ \text{C}_8\text{H}_{17}\text{OOC}\cdot\text{CH}_2 \end{array}$$

Suele contener sulfosuccinato trisódico y el alcohol del éster como impurezas, siendo el primero el determinante en la calidad final del producto.

15. Amido sulfosuccinatos. Los más comunes son el N-octadecil-sulfosuccinamato disódico

$$\begin{array}{c} \text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{NHOC}\cdot\text{CH}_2 \\ | \\ \text{NaO}_3\text{S} \quad \text{CH}_2\cdot\text{COONa} \end{array}$$

o la sal tetrasódica de N-(1,2-dicarboxietil)-

N-octadecil-sulfosuccinato:

$$\begin{array}{c} \text{NaOOC}\cdot\text{CH}\cdot\text{N}(\text{C}_{18}\text{H}_{37})\cdot\text{CO}\cdot\text{CH}_2 \\ | \qquad \qquad | \\ \text{NaOOCH}_2 \qquad \text{NaO}_3\text{S}\cdot\text{CHCOONa} \end{array}$$

16. Sulfonatos derivados de taurina<sup>4</sup>. La estructura general de los compuestos es: R·CO·NH·CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>·SO<sub>3</sub>Na, donde R se compone de cadenas de 11 a 17 carbonos.

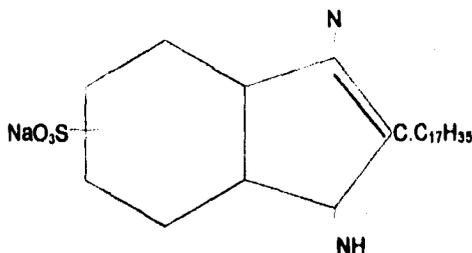
17. Derivados de metil taurina (CH<sub>3</sub>NHCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H). Se preparan de la condensación de metil taurina con un ácido graso o con cloruros de ácido graso, en la misma forma que sucede con los derivados de taurina.

18. Alquil aril sulfonatos. El primer tipo de compuestos de esta naturaleza comercializado fué el isopropilnaftalen sulfonato, antes de la segunda guerra mundial, pero con éxito principalmente como agentes de mojado más que como detergentes. El primer agente detergente se basaba en alquiltolueno, donde el alquil consistía en cadenas hidrocarbonadas altamente ramificadas, las que fueron prontamente sustituidas por cadenas de tetrapropileno o tributileno, preparándose básicamente sólo alquilbencen sulfonatos. En países altamente industrializados,

<sup>4</sup> Taurina: Ácido 2-Aminoetanosulfónico NH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H

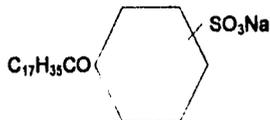
este tipo de detergentes se basan en alquilo lineales, aunque la sustitución del anillo aromático puede ocurrir en cualquier carbono entre la posición 2 y el carbono central de la molécula, sin que sea posible el control de la posición de adición. De cualquier manera, esto no representa un problema, ya que son los anillos sustituidos en la posición 1 los que son de muy baja solubilidad en agua. Actualmente se comercializan mezclas de alquil naftalen sulfonatos, alquil toluen sulfonatos, y tetrapropileno benceno sulfonato, e incluso algunos alquil difenil sulfonatos, aunque en menor proporción.

19. Sulfonatos de benzimidazol. Como el sulfonato de estearil benzimidazol:



Estos productos sólo fueron usados en pequeñas cantidades durante muy poco tiempo, eran obtenidos de la reacción de o-fenilendiamina con el cloruro del ácido estearico, y después sulfonando el imidazol resultante.

20. **Melioranos.** Preparados a partir de cloruros de ácidos grasos con benceno y posterior sulfonación de la cetona resultante dentro del anillo. Son comunes los derivados del ácido esteárico:



y tiene un comportamiento similar a los alquil bencen sulfonatos, pero es posible que contengan como impureza jabón del ácido utilizado.

21. **Sulfonatos de gliceril éteres.** Monoéteres de glicerilo, donde el alcohol utilizado para formar el éter es generalmente obtenido de aceites naturales, por lo que es lineal, y posteriormente se realiza la sulfonación del producto resultante. Generalmente se utilizan aceites láuricos como fuente de alcohol, ya sea el alcohol obtenido de la mezcla o de alguna fracción de ésta.

Ejemplo de este tipo de surfactantes es el: gliceril-1-'lauril'-monoeter-1'sulfonato  $C_{17}H_{35}OCH_2CHOHCH_2SO_2ONa$ , el cual es usado por Procter and Gamble.

22. **Sulfonatos de diglicéridos.** Esta clase de tensoactivos tiene muy poca aplicación comercial, ya que compiten con los sulfonatos de monoéteres de glicerilo y sulfatos de monoglicéridos, los cuales demuestran un mejor comportamiento, sin tener una diferencia de costo significativa.

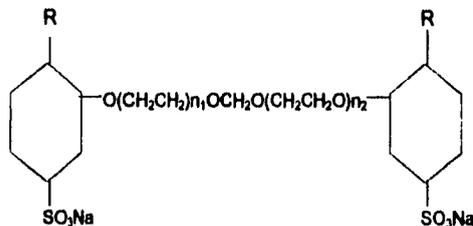
23. Ácidos alfa-sulfocarboxílicos.  $\text{RCH}_2\text{CH}(\text{SO}_3\text{Na})\text{COONa}$ . Este tipo se obtiene de la

sulfonación directa de ácidos grasos en condiciones controladas. Tiene un mayor rendimiento si se les utiliza en combinación con otros surfactantes aniónicos. Presenta jabón como impureza principal, ya que el producto comercial es la sal disódica del ácido.

24. Sales de sulfoacetatos. Preparadas por esterificación entre el ácido acético y un alcohol graso generalmente lineal, posterior sulfonación y neutralización con NaOH para obtener la sal que se vende en el mercado.

25. Derivados de la amida grasa de bisulfito de formaldeído. Derivados de la interacción entre el bisulfito de formaldeído y una amida grasa. Un ejemplo de estos derivados es:  $\text{C}_{11}\text{H}_{23}\text{NHCH}_2\text{SO}_3\text{Na}$ .

26. Formil di-(alquil-fenol etoxilado sulfonato) del tipo:



Este tensioactivo de alto peso molecular, que generalmente es obtenido con polioxietilenglicol como impureza, y con la cadena etoxilada de longitud variable, es

más útil como agente de mojado que como detergente, y aumenta la viscosidad de las soluciones en que se usa.

27. Alquil fosfatos. Como es el producto  $\text{ROPO}_3\text{Na}_2$ , presentan alcohol libre y dialquil fosfato como impurezas. La longitud de la cadena es muy variable, y obedece principalmente al tipo de uso que se le dará al fosfato, ya que éste puede ser útil para evitar la redeposición de sales en el agua potable dentro de fórmulas detergentes.

28. Alquil fosfonatos. De fórmula general  $\text{RPO}_3\text{Na}_2$ , y de características similares a los fosfatos, por lo que las impurezas presentes son también similares.

29. Jabones metálicos. Los jabones metálicos por sí solos merecen un estudio más amplio. Se obtienen mediante la neutralización con una base inorgánica con algún ácido graso. Dependiendo de la naturaleza del ácido graso, y del metal que se emplee para la neutralización, se pueden obtener una gran variedad de productos:

Los jabones más comunes, utilizados para limpieza personal, suelen ser obtenidos de sebo o aceites vegetales con longitudes de cadena de  $\text{C}_{12}$  a  $\text{C}_{22}$  o  $\text{C}_{24}$ , y son neutralizados con  $\text{NaOH}$  o  $\text{KOH}$ . En la industria de lubricantes se utilizan los jabones con metales alcalinotérreos, ya que al ser mezclados con aceites minerales se obtiene un aumento considerable en la viscosidad, el resultado de esta mezcla son las conocidas grasas lubricantes. El olor de los jabones metálicos está determinado por la parte orgánica, mientras que el color y las características de los jabones están determinadas por el tipo de metal utilizado y su concentración. Por ejemplo los jabones de cobre son verdosos, los de hierro son café-rojizo, los de cobalto son azules, etc.. La tabla 17 muestra los principales usos de los jabones

dependiendo del metal empleado, y las tablas 18 y 19 las propiedades de algunos de ellos.

### **b) Catiónicos.**

Los tensoactivos catiónicos son los de menor uso actualmente, ya que su aplicación es casi únicamente industrial. Sin embargo, su uso en combinación con otro tipo de surfactantes puede dar mejores características a los detergentes convencionales. Una ventaja enorme de los tensoactivos catiónicos, es que en su mayoría son compuestos que no presentan grandes dificultades a la biodegradación.

Los principales grupos de tensoactivos catiónicos son:

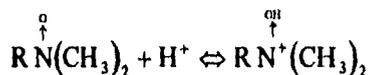
1. **Aminas libres de oxígeno.** Son mono, di y poli aminas, tanto alifáticas como aromáticas. En ocasiones la amina se encuentra incluida dentro de una estructura cíclica, como las imidazolinas. Estas aminas son ampliamente utilizadas como agentes de flotación en el beneficio de minerales. Esta misma propiedad puede hacerlas deseables en detergentes comerciales para evitar la redeposición de minerales en las prencias, en sustitución de los polifosfatos. Una estructura representativa de este tipo de surfactante es la N-alkiltrimetilendiamina:



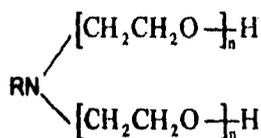
donde el grupo alquil (R-) se obtiene del aceite de coco.

2. **Aminas oxidadas.** Presentan propiedades higroscópicas y fuertes tendencias a la formación de puentes de hidrógeno. Son catiónicas en soluciones ácidas y no iónicas en soluciones neutras o alcalinas. En medio ácido las aminas oxidadas y los

surfactantes aniónicos forman precipitados. La C.M.C. es mayor a la C.M.C. de un medio alcalino o neutro. Se preparan por oxidación de aminas terciarias con peróxido de hidrógeno con rendimientos mayores al 85 %. Se les ha utilizado como sustitutos de alcanolamidas como espumantes. También se les utiliza como emulsificantes, detergentes para algodón, agentes humectantes en electrolitos concentrados. Con su uso en detergentes domésticos se obtiene un efecto suavizante en telas, además de aumentar la viscosidad de soluciones acuosas. La estructura o fórmula general de este tipo de compuestos (en medio ácido) es:



3. Alquil aminas etoxiladas. Se obtienen de la etoxilación de aminas alifáticas y aminas alifáticas terciarias principalmente, sin embargo, independientemente de su origen, suelen tener propiedades similares. Por ejemplo, su gravedad específica a temperatura ambiente (20°-25° C) varía dentro del intervalo de 0.9 a 1.15, son solubles en medio ácido y conforme aumenta el grado de etoxilación, aumenta su solubilidad en agua. Se les utiliza como emulsificantes, dispersantes, suavizantes de telas, agentes antiestáticos, lubricantes y como inhibidores de corrosión. La fórmula general de estos compuestos es:



USOS INDUSTRIALES DE LOS JABONES METÁLICOS

INDUSTRIA USOS	ALUMINIO			BARIO			CALCIO			CROMIO		COPALTO			COBRE			OTROS
	LAURATO	PALMITATO	ESTEARATO	OLEATO	OLEATO	OLEATO	LAURATO	ESTEARATO	OLEATO	OLEATO	OLEATO	RESINATO	RESINATO	RESINATO	RESINATO	RESINATO	RESINATO	
<b>DEL CEMENTO</b>																		
IMPERMEABILIZANTES	X	X	X	X				X	X							X	X	X
<b>PINTURAS, LAS RESINAS Y LACAS</b>																		
SECADORES				X									X	X	X	X		X
AGENTES DE FLOTACION			X					X										
AGENTES DE SUSPENSION	X	X	X	X						X	X							
ENDURECEDOR DE PAPIERES										X								
<b>PAPEL, LANA, TEXTILES, PIEL</b>																		
IMPERMEABILIZANTES	X	X	X	X	X	X			X	X	X							
CONSERVADORES FUNGICIDAS										X					X	X	X	X
<b>PETRÓLEO</b>																		
ANTIOXIDANTES			X	X									X	X			X	X
GRASAS, LUBRICANTES	X	X	X		X	X		X	X	X			X	X				
ADITIVOS PARA ACEITES											X							
DISPERSANTES EN GRASAS										X								
<b>FARMACÉUTICA</b>																		
ANTISEPTICOS, GERMICIDAS																	X	
COSMÉTICOS									X									
OTROS MEDICAMENTOS											X							
<b>DE LOS PLÁSTICOS</b>																		
PLASTIFICANTES, ESTABILIZADORES									X									
LUBRICANTES PARA MOLDES									X									
<b>TINTAS PARA IMPRESIÓN</b>	X	X	X	X			X	X	X									
<b>HULE</b>																		
LUBRICANTES, AGENTES ABLENADORES					X			X		X								
<b>OTROS USOS, MISCELÁNEA</b>																		
DISMANTADORES DE PINTURA																X	X	
ENDURECEDORES PARA VELAS									X									
CRAYONES LAPICES		X																
FETTERGENTE EN DISOLVENTES (ORG.)									X									
AGENTES EMULSIFICANTES		X						X										
RETARDANTES DE FLAMA		X				X						X	X					X
CRISTALES		X																X
CATALIZADORES FERRUGENOSOS																		X
INSOLUBILIDAD									X									X
COMBUSTIBLE SOLIDO (LANZALLANAS)	X		X	X														
AGENTES DE MOLDEO					X			X		X								

49

USOS INDUSTRIALES DE LOS JABONES METÁLICOS

INDUSTRIA USOS	PLOMO					LITIO	FLUORURO				MANGANESO				MERCURIO		NÍQUEL				ZINC								
	PALMITATO	ESTEARATO	OLEATO	SAFENATO	RESINATO	TALATO	UNDECIATO	ESTEARATO	PALMITATO	ESTEARATO	OLEATO	SAFENATO	RESINATO	PALMITATO	ESTEARATO	OLEATO	TALATO	UNDECIATO	ESTEARATO	OLEATO	PALMITATO	SAFENATO	RESINATO	PALMITATO	ESTEARATO	OLEATO	SAFENATO	RESINATO	TUNGSTATO
<b>DEL CEMENTO</b>																													
IMPERMEABILIZANTES								X	X	X				X	X	X					X	X	X						
<b>PINTURAS, BARNICES Y LACAS</b>																													
SECADORES		X	X	X	X	X									X	X	X					X							
AGENTES DE FLOTACIÓN								X																					X
AGENTES DE SUSPENSIÓN																													X
ENDURECEDOR DE BARNICES																													X
<b>PAPEL, LANA, TEXTILES, PIEL</b>																													
IMPERMEABILIZANTES								X	X							X									X	X			
CONSERVADORES FUNGICIDAS																											X	X	X
<b>PETRÓLEO</b>																													
ANTIOXIDANTES		X	X																										X
GRASAS LUBRICANTES							X	X																			X	X	
ADITIVOS PARA ACEITES		X																											
DISPERSANTES EN GEL																													X
<b>FARMACÉUTICA</b>																													
ANTISEPTICOS, GERMICIDAS		X													X	X							X				X		
COSMÉTICOS								X	X																		X		
OTROS MEDICAMENTOS		X													X												X		
<b>DE LOS PLÁSTICOS</b>																													
PLÁSTICOS, ANTES ESTABILIZADORES		X																											
LUBRICANTES PARA MOLDES		X																								X	X		
<b>TINTAS PARA IMPRESIÓN</b>						X		X	X	X																X	X	X	X
<b>HULE</b>																													
LUBRICANTES AGENTES ABLANDADORES	X							X																X	X	X			
<b>OTROS USOS, MISCELÁNEA</b>																													
DESMANCHADORES DE PINTURA									X																				
ENDURECEDORES PARA VETAS																													
CRAYONES, LAPICES		X																											
DETERGENTES (EN DISOLVENTES ORG.)									X																X	X			
AGENTES EMULSIFICANTES		X						X																					
RETARDANTES DE FLAMA																											X		
CRISTALES																													
CATALIZADORES HIDROGENALES																									X	X	X		
INSECTICIDAS									X																				
COMBUSTIBLE SÓLIDO (LANZALLAMAS)																													
AGENTES DE MOJADO																												X	

CONTINUACIÓN

PROPIEDADES DE JABONES METÁLICOS LIQUIDOS (a,b)

COMPUESTO	NUMERO DE REGISTRO CAS	GRAVEDAD ESPECIFICA (25°C)	PESO kg/L	COLOR (c)	CONTENIDO, %		VISCOSIDAD (d)	
					METAL	SOLIDOS	A 25°C	A 7°C
<b>2-ETILHEXANOATOS</b>								
PLOMO	[16996-40-0]	1.120	1.08-1.11	3	24	62	A-1	V
COBALTO	[136-52-7]	0.895	0.86-0.90	VIOLETA-AZUL	6	38	A-3	H
COBALTO		1.060	1.01-1.06	VIOLETA-AZUL	12	75	E	
MANGANESO	[15956-58-8]	0.910	0.87-0.91	17	6	46	A-2	A
ZINC	[136-53-8]	0.900	0.86-0.90	1	8	40	A-3	A
CALCIO	[136-51-6]	0.920	0.89-0.92	4	5	61	B	Y
FIERRO	[19583-54-1]	0.905	0.88-0.90	CAFE OBSCURO	6	48	A-3	
ZIRCONIO	[22464-89-9]	0.880	0.84-0.88	2	6	28	A-5	A-2
<b>NAFTENATOS</b>								
PLOMO	[81790-14-5]	1.115	1.05-1.11	7	24	64	A-2	K
COBALTO	[61789-51-3]	0.960	0.91-0.96	VIOLETA-AZUL	6	67	A	K
MANGANESO	[61788-57-6]	0.975	0.94-0.97	17	6	65	A	K
ZINC	[12001-85-3]	0.950	0.86-0.95	7	8	59	A-2	C
ZINC		1.000	0.96-1.00	8	10	75	A	Z-1
CALCIO	[61789-36-4]	0.925	0.89-0.92	7	4	63	D	X
CALCIO		0.950	0.91-0.95	8	5	68	D	T
FIERRO	[1338-14-3]	0.980	0.93-0.98	OBSCURO	6	67	M	
CERIO		0.935	0.90-0.93	17	6	57	A-1	D
<b>TALATOS</b>								
PLOMO	[61788-54-3]	1.140	1.10-1.14	10	24	64	A-1	I
COBALTO	[61789-52-4]	0.965	0.93-0.96	ROJO-VIOLETA	6	72	C	Z-2
MANGANESO	[61788-58-7]	0.980	0.94-0.98	17	6	76	I	Y
CALCIO	[61789-35-3]	0.925	0.89-0.92	9	4	66	B	Z-5
FIERRO	[61788-81-6]	0.980	1.00-1.04	CAFE OBSCURO	6	75	J	
<b>NEODECANOATOS</b>								
CALCIO	[27253-33-4]	0.898		1	5	71	F	
COBALTO	[27253-31-2]	1.030		AZUL	12	68	A	
PLOMO	[27253-28-7]	1.100		2	24	61	A-Z	
MANGANESO	[27253-32-3]	0.878		10	6	44	D	
<b>ACIDOS SINTETICOS (e)</b>								
PLOMO		1.365	1.32-1.37	4	36	80	D	Y
PLOMO		0.095	1.06-1.10	3	24	55	A-2	A
COBALTO		1.060	1.01-1.06	AZUL-VIOLETA	12	75	E	Y

TABLA 18

PROPIEDADES DE JABONES METÁLICOS LÍQUIDOS (a,b)  
(CONTINUA)

COMPUESTO	NUMERO DE REGISTRO CAS	GRAVEDAD ESPECIFICA (25°C)	PESO kg/L	COLOR (c)	CONTENIDO, %		VISCOSIDAD (d)	
					METAL	SOLIDOS	A 25°C	A -7°C
CERBATO		0.905	0.86-0.90	AZUL-VIOLETA	6	38	A-3	H
MANGANESO		1.060	1.03-1.06	CAFE OBSCURO	12	100	W	
MANGANESO		0.985	0.94-0.98	17	9	70	C	L
MANGANESO		0.910	0.87-0.91	17	6	48	A-2	A
ZINC		1.050	1.01-1.05	2	18	72	A-1	C
ZINC		0.900	0.86-0.90	1	8	40	A-3	A
CALCIO		0.960	0.92-0.96	5	6	75	N	Z-2
CALCIO		0.920	0.89-0.92	4	5	61	B	Y
CALCIO		0.900	0.86-0.90	3	4	46	A-1	M
ZIRCONIO		1.255	1.23-1.25	5	24	84	J	
ZIRCONIO		1.120	1.08-2.19	4	18	70	A-1	B
ZIRCONIO		0.990	0.95-0.99	4	12	50	A-2	A
ZIRCONIO		0.880	0.84-0.88	2	6	28	A-5	A-2
PIERRO		0.945	0.94-0.98	CAFE OBSCURO	9	65	A	A-2

(a) ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS DE TENNECO CHEMICALS

(b) TODAS LOS JABONES LISTADOS TIENEN UN "FLASH POINT" A 40°C

(c) HAZMEINER

(d) HAZMEINER-KN-107

(e) LOS ACIDOS SATURADOS VARIAN DE ACUERDO A LA DISPONIBILIDAD

LOS ACIDOS SATURADOS INCLUYEN ACIDOS ACETOSANÓICOS, ISOCANÓICOS, HEPTANÓICOS Y SUS MEZCLAS.

PLANTE ORIGINARIO ILL. 8. 1973. 20. 0037

PROPIEDADES DE JABONES METÁLICOS LÍQUIDOS (a,b)  
(CONTINUA)

COMPUESTO	NUMERO DE REGISTRO CAS	GRAVEDAD ESPECIFICA (25°C)	PESO kg/L	COLOR (c)	CONTENIDO, %		VISCOSIDAD (d)	
					METAL	SOLIDOS	A 25°C	A -7°C
COBALTO		0.905	0.86-0.90	AZUL-VIOLETA	6	38	A-3	H
MANGANESO		1.060	1.03-1.06	CAFE OBSCURO	12	100	W	
MANGANESO		0.985	0.94-0.98	17	9	70	C	L
MANGANESO		0.910	0.87-0.91	17	6	46	A-2	A
ZINC		1.050	1.01-1.05	2	18	72	A-1	C
ZINC		0.900	0.86-0.90	1	8	40	A-3	A
CALCIO		0.960	0.92-0.96	5	6	75	N	Z-2
CALCIO		0.920	0.89-0.92	4	5	61	B	Y
CALCIO		0.900	0.86-0.90	3	4	46	A-1	M
ZIRCONIO		1.255	1.23-1.25	5	24	84	J	
ZIRCONIO		1.120	1.08-2.19	4	18	70	A-1	B
ZIRCONIO		0.990	0.95-0.99	4	12	50	A-2	A
ZIRCONIO		0.880	0.84-0.88	2	6	28	A-5	A-2
FIERRO		0.945	0.94-0.98	CAFE OBSCURO	9	65	A	A-2

(a): ESPECIFICACIONES DE PRODUCTOS DE TENNECO CHEMICALS

(b): TODOS LOS JABONES LISTADOS TIENEN UN "FLASH POINT" A 40°C

(c): GARDNER

(d): GARDNER-HOLDT

(e): LOS ACIDOS SINTETICOS VARIAN DE ACUERDO A LA DISPONIBILIDAD.

LOS ACIDOS SINTETICOS INCLUYEN ACIDOS NEODECANOICOS, ISOCIANOICOS, HEPTANOICOS Y SUS MEZCLAS.

FUENTE: KIRK-OTHMER, VOL. 8, 1973, pp 36-37

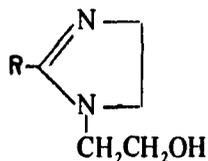
PROPIEDADES DE LOS JABONES METÁLICOS SÓLIDOS

COMPUESTO	NUMERO DE REGISTRO CAS	TOTAL DE CENIZAS	ACIDO GRASO LIBRE	GRAVEDAD ESPECIFICA	PUNTO DE FUSION, °C	COLOR	ANCHO DE PARTICULA $\mu\text{m}$ (CRIBA ESTANDAR U.S.)
<b>ESTEARATOS</b>							
Al	[637-12-7]	5.5-16.0	3.0-3.5	1.01	110-150	BLANCO	95-98 % < 74 (-200)
Ba	[6885-35-6]	19-28	0.5-1.0	1.23	dec	BLANCO	< 44 (-325)
Ca	[1592-23-0]	8.8-10.6	0.5	1.12	145-160	BLANCO	< 44 (-325)
Cd	[2223-93-0]	19	0.5	1.21	104	BLANCO	99 % < 74 (-200)
Co	[13586-84-0]	8.2	2	1.13	140	VIOLETA	99 % < 74 (-200)
Cu	[660-60-6]	14	1	1.1	112	AZUL-VERDE	99 % < 74 (-325)
Fe	[2980-59-8, 555-36-2]	13	4	1.12	100	ROJO-CAFE	99 % < 74 (-200)
Pb	[7428-48-0]	30.2-57.0	0.1-0.6	1.34-2.0	103.-dec	BLANCO	< 74 (-200)
Li	[4485-12-5]	2.5	CERO	1.01	212	BLANCO	99 % < 149 (-100)
Mg	[557-04-0]	8	0.5	1.03	145	BLANCO	< 44 (-325)
Mn	[10476-84-3]	12.5	1	1.22	110	CAFE BRILLANTE	99 % < 74 (-100)
Ni	[2223-95-2]	9.4	5.2	1.13	180	VERDE	< 44 (-325)
Sr	[10196-69-7]	17.5	0.5	1.03	155	BLANCO	< 44 (-325)
Zn	[557-05-1]	13.5-17.7	0.5-0.9	1.09-1.11	120	BLANCO	< 44 (-325)
<b>OCTANOATOS</b>							
Al	[6028-57-5]	15.7	3	1.03	dec	BLANCO	98 % < 74 (-200)
Li	[16577-52-0]	4.7	CERO	1.01	dec	BLANCO	< 149 (-100)
<b>OLEATO</b>							
Al	[688-37-9]	10	8.5	1.01	134	CREMA	85 % < 74 (-200)
<b>PALMITATO</b>							
Al	[555-35-1]	8.3	12.5	1.01	120	BLANCO	97 % < 74 (-200)
Zn	[4991-47-3]	14.7	1.4	1.12	123	BLANCO	< 44 (-325)

FUENTE: KIRK-OTHMER, VOL. 8, 1973, pp 38

Tabla 19

4. 2-Alquil-1-(2-hidroxietil)-2-imidazolinas. Se les utiliza como agentes antiestáticos, inhibidores de corrosión, emulsificantes, detergentes, incrementadores de viscosidad y suavizantes, tanto en sistemas acuosos como en sistemas de hidrocarburos. Se preparan con una sal de ácido carboxílico y (2-Hidroxietil)etilendiamina, a aproximadamente 150°C. Si se requiere un producto con una mayor solubilidad en agua, se procede a etoxilar. La fórmula general es:



5. Alcoholes de etilendiaminas. La reacción de 1,2 Alquien-óxidos con etilendiaminas forma la base de una serie de surfactantes con la estructura general:



donde X y Y varían en el intervalo de 4 a 100. Estos compuestos tienen poca actividad superficial, pero por ser de características similares a los polímeros del grupo del oxígeno, se les utiliza en fibras sintéticas como agentes antiestáticos.

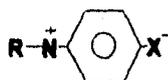
6. Sales cuaternarias de amonio. Se le usa ampliamente en formulaciones de suavizantes de telas domésticos, debido a que su carga promueve su adsorción en superficies cargadas negativamente, como las telas. Algunas de estas sales presentan también una gran actividad antibacteriana. Algunas fórmulas generales son:

Sales de dialquildimetilamonio:  $RR'N(CH_3)_2Cl$

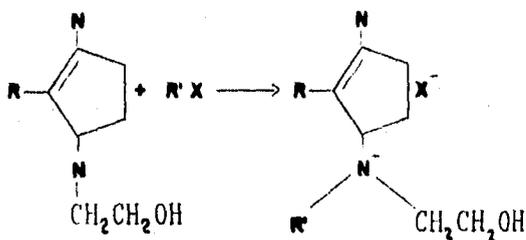
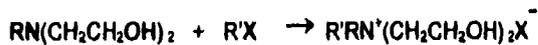
Cloruros de Alquilbencildimetilamonio:  $R(C_6H_5CH_2)N(CH_3)_2Cl^+$

Sales de Alquiltrimetilamonio:  $RN^+(CH_3)_3Cl$  ó  $RN^+(CH_3)_3Br$

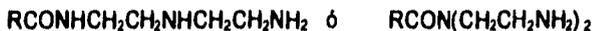
Hatueros de Alquilpiridino:



También se incluyen modificaciones preparadas por cuaternización de aminas ternarias simples:



7. **Aminas con amidas enlazadas.** Se preparan a partir de ácidos carboxílicos y di y poliaminas. Algunas fórmulas típicas son:

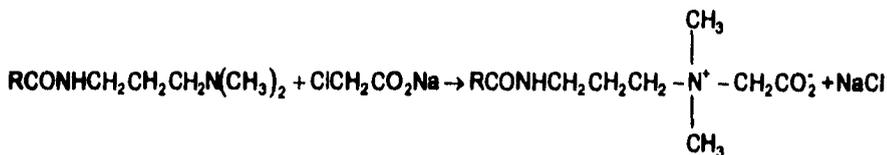


Donde R se obtiene de los ácidos grasos del aceite de coco. La etoxilación de estas estructuras le da a los surfactantes mayor solubilidad en agua. Las aminas-amidas se utilizan como inhibidores de corrosión, de-emulsificadores y en formulaciones para el procesado de metales.

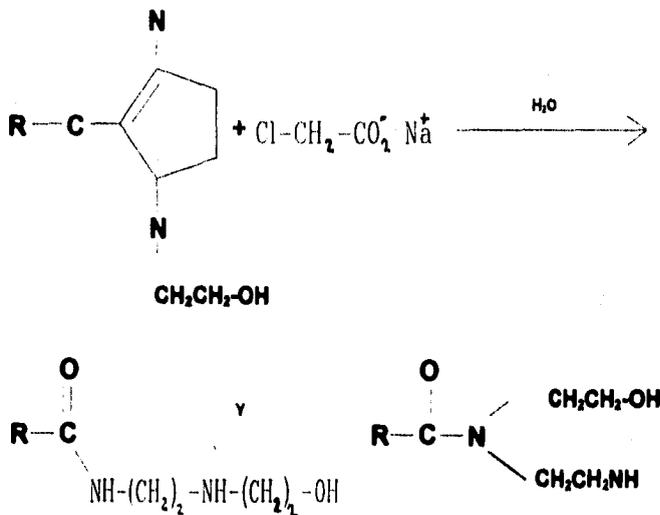
### c) Anfotéricos

1. **Lamepons.** Estos productos se derivan de la condensación de ácidos grasos o sus cloruros y aminoácidos. Son de composición variable incluso de lote a lote con el mínimo cambio de las condiciones de reacción. Los aminoácidos se obtienen de la hidrólisis de una gran variedad de proteínas.

2. **Betainas de nitrógeno cuaternario.** Estos productos al parecer son fácilmente biodegradables, se les emplea en formulaciones cosméticas dado que no son irritantes de la piel, y producen bastante espuma. Ejemplo de este tipo de surfactantes son las alquilamidoalquilcarboxibetainas, estas son preparadas haciendo reaccionar una amido-amina con cloroacetato de sodio:

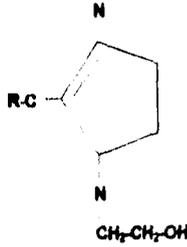
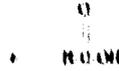


3. Derivados de Imidazolinas. La mayor parte de los derivados de imidazolinas siguen siendo patentes, y por lo mismo no se puede tener una generalización en su comportamiento, pero como los otros tensoactivos anfotéricos, presentan una buena detergencia en un amplio intervalo de pH, son poco irritantes de piel y ojos, por lo que se les puede emplear en formulaciones cosméticas, y se les emplea en espumantes. Los derivados de imidazolinas se obtienen de la reacción de imidazolina con cloroacetato de sodio acuoso.

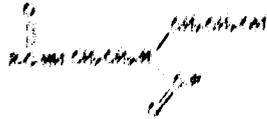
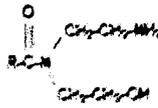
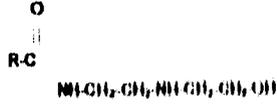


Dado que el disolvente para el cloroacetato de sodio es el agua, se produce una hidrólisis y los productos de la reacción anterior (que son surfactantes anfotéricos con estructura lineal) reaccionan a su vez con el cloroacetato de sodio dando lugar a los siguientes aductos:





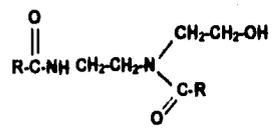
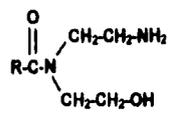
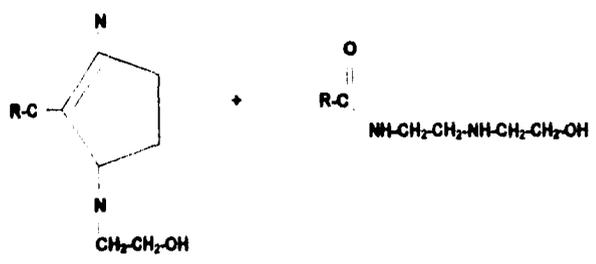
+



di Valerone

Derivados del amino alcohol

El aminoalcohol  $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$  se puede utilizar en la síntesis de derivados de aminoalcohol, a los que se les llama aminoalcoholes. Son compuestos que se utilizan en la síntesis de fármacos, especialmente en la síntesis de derivados de aminoalcohol.



**d) No iónicos**

*Derivados del óxido de etileno*

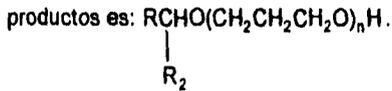
1. Polioxietilenglicol [HO-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-(O-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-)<sub>n</sub>-OH]. Se obtiene a partir de la etoxilación del etilenglicol, el cual a su vez es preparado por hidrólisis del óxido de etileno. Son altamente solubles en agua, aunque su solubilidad disminuye cuando la cadena es bastante larga. Generalmente se comercializan mezclas de los productos

de peso molecular alrededor del peso molecular nominal del producto, ya que conforme crece la cadena se aumenta la facilidad para la etoxilación, y por lo tanto es difícil la obtención de un sólo producto.

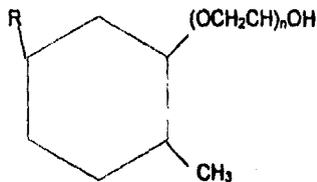
2. Derivados etoxilados de alcoholes grasos. Del tipo  $R-(O-CH_2-CH_2)_nOH$ , donde R representa la cadena grasa, generalmente de entre 12 y 18 átomos de carbono y n representa el número de moles de óxido de etileno deseadas en el producto por mol de alcohol graso, no se usan valores de n menores a la unidad. Al igual que en los polioxietilenglicoles lo que se obtiene de la reacción del alcohol graso y el óxido de etileno, es una mezcla de productos, por lo que la calidad del producto final depende del grado de dispersión de la mezcla. La reacción es catalizada por base, en una sola fase, siendo NaOH la de uso más común, aunque en ciertos productos se recomienda utilizar KOH, y existen estudios sobre diferentes bases, como  $Ba(OH)_2$ , y otros, aunque siguen en proceso de evaluación económica. Actualmente se presenta la necesidad de alcoholes etoxilados libres de metales, para lo cual se están buscando catalizadores no solubles en el óxido de etileno, para llevar a cabo la reacción en dos fases; y por otro lado se buscan condiciones de reacción a alta temperatura sin catalizador, aunque se presenta el problema de la inestabilidad térmica de los alcoholes.

3. Alcoholes grasos secundarios etoxilados. Similares a los lineales, sólo que sus características varían de acuerdo a la posición en que se encuentre el hidroxilo, ya que de esto depende el balance hidro-lipofílico que presente. Estos productos

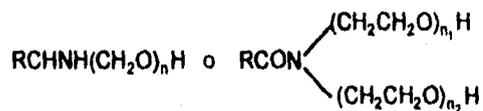
suelen emplearse como agentes emulsionantes. La fórmula general de este tipo de



4. Alquil-fenil polioxietilen éteres. Éstos se preparan a partir de un alquil fenol, el cual es etoxilado posteriormente. El nonil fenol es de los alquifenoles mas utilizados actualmente, y se obtiene por reacción de fenol con noneno, por lo que la cadena hidrocarbura queda ramificada. La fórmula general de este tipo de surfactante es la siguiente:



5. Etoxilatos de amidas, monoetanolamidas y/o dietanolamidas grasas. Sus derivados son del tipo:



Donde R es una cadena lineal de 7 a 18 carbonos.

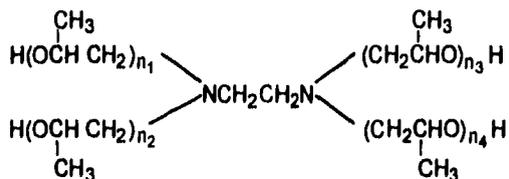
*Derivados del óxido de Propileno.*

6. Polioxipropilenglicoles. Generalmente se dispone de estos en forma de propilen

glicoles cuya fórmula es: 
$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{HO}(-\text{CH}-\text{CH}_2\text{O})_n\text{H} \end{array}$$
 . Estos son obtenidos al hacer

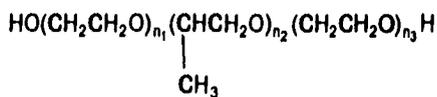
reaccionar el óxido con propilenglicol.

7. Derivados de etilendiaminas. La estructura general de estos compuestos es la siguiente:

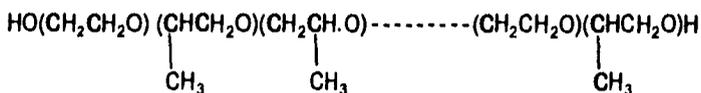


Su uso es, principalmente, como agentes antiestáticos.

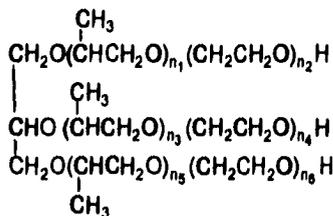
8. Co-polímeros óxido de etileno - óxido de propileno. Los polímeros pueden obtenerse con arreglos aleatorios (random) o con arreglos ordenados (block) de la parte hidrofoba. La diferencia entre ambos tipos es la adición de los óxidos, si se desea obtener un copolímero con arreglo ordenado deben usarse las proporciones molares requeridas de óxido de etileno; si éste no es el propósito la adición de los dos óxidos se realiza en forma desordenada. Las estructuras de los copolímeros ordenados y aleatorios son respectivamente:



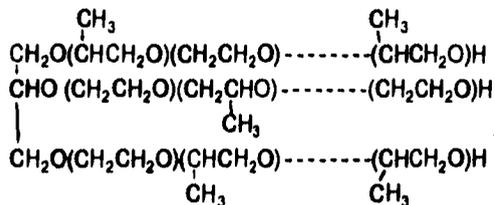
Y



9. Copolímeros óxido de propileno-óxido de etileno-glicerol. Al igual que los anteriores, estos copolímeros también puede obtenerse en arreglos ordenados o aleatorios, la diferencia estriba en el uso del glicerol como iniciador de la reacción en lugar del 1,2-propilenglicol. Las estructuras, tanto ordenada como aleatoria, son respectivamente:



Y



Resulta interesante comparar valores de concentración miscelar crítica (C.M.C.) a bajas concentraciones, para los diferentes tipos de surfactantes. En la tabla 20 se muestran algunos valores.

#### - BIODEGRADABILIDAD

Los tensoactivos son muy valiosos en la vida diaria de las personas, gracias a los resultados y efectos que se pueden obtener de ellos. Este mismo efecto es el que los hace especialmente nocivos al ambiente. Las variaciones en la tensión superficial de las aguas de los ríos, en donde se descargan las aguas sanitarias de las ciudades, hace que los organismos no tengan la misma capacidad de absorción de nutrientes, ni la tierra la misma capacidad de adsorción. El efecto es desastroso, ya que un ser vivo, si las condiciones no son extremas, sobrevive a una intoxicación con elementos dañinos (como metales pesados, etc.) incorporando estos elementos dañinos dentro de la cadena alimenticia, hasta llegar a algún organismo (muy probablemente humano) que presenta alteraciones en su metabolismo y posteriormente deficiencias de algún tipo por intoxicación.

Es necesario insistir en que la presencia de tensoactivos, además de los efectos que producen como cambio de pH y presencia de especies intoxicantes, evita que plantas o microorganismos se alimenten de aquello que queremos biodegradar, provocando la muerte por inanición de una gran parte de los microorganismos presentes en plantas de tratamiento de aguas residuales, o en ríos y lagunas.

Las compañías especializadas en tratamiento de aguas (ej. Degrémont) han tratado por años de evitar las grandes concentraciones de detergentes en aguas de

**ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DE EMULSIONES DE SURFACTANTES  
ANIONICOS CON CATIONICOS Y NO IONICOS**

TIPO DE ESTUDIO		GRUPO ALQUILO (R)			
		C10	C16	C14	C12
ESTABILIDAD	CON CATIONICOS	1.00E-05	9.00E-06	1.00E-05	8.00E-05
	CON NO IONICOS	1.00E-05	9.00E-06		9.00E-05
ESTABILIDAD	CON CATIONICOS	1.00E-05	9.00E-06	1.00E-05	8.00E-05
	CON NO IONICOS	1.00E-05	9.00E-06	1.00E-05	8.00E-05
ESTABILIDAD	CON CATIONICOS	1.00E-05	9.00E-06	1.00E-05	8.00E-05
	CON NO IONICOS	1.00E-05	9.00E-06	1.00E-05	8.00E-05
	CON CATIONICOS Y NO IONICOS	1.00E-05	9.00E-06	1.00E-05	8.00E-05

**CONCENTRACIÓN MICELAR CRÍTICA DE SURFACTANTES  
ANIÓNICOS, CATIONICOS Y NO-IÓNICOS**

SURFACTANTE		GRUPO ALQUILO (R)			
		C <sub>18</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>12</sub>
NO-IÓNICOS	R(OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> OH	3.00E-07	9.00E-06	1.00E-05	8.00E-05
	R(OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> OH	5.00E-07	2.00E-06		9.00E-05
ANIÓNICOS	ROSO <sub>3</sub> Na	2.00E-04	5.00E-04	3.00E-03	1.00E-02
	RCOONa	1.00E-03	3.00E-03	7.00E-03	2.00E-02
CATIONICOS	RNH <sub>3</sub> Cl	3.00E-04	9.00E-04	3.60E-03	1.60E-02
	RN(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> Cl	4.00E-04	1.40E-03	3.70E-02	1.80E-02
	(C <sub>8</sub> H <sub>17</sub> ) <sub>2</sub> N(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl		-2.66E-02		

TABLA 20 James, A. D.; Ogden, P. H.; Wates, J. M., 1987

ríos, pero con un éxito limitado, y a un costo elevado. Tal es el caso del diseño para tratamiento de agua del río Sena, en Francia, el cual se basa en un proceso de coagulación inicial, un proceso por ósmosis para la eliminación de detergentes, un paso de tratamiento biológico más convencional (similar al utilizado en el tratamiento de aguas residuales domésticas) y finalmente tratamiento por ozono.

En general, se considera que un compuesto orgánico es biodegradable en base a su estructura molecular y los grupos funcionales que lo conforman. Esto no es del todo exacto, pero da una idea suficientemente aproximada en cuanto a la biodegradabilidad del compuesto. En algunos lugares, y dependiendo de los compuestos, los gobiernos exigen un valor confiable de biodegradación de un compuesto, en cuyo caso se procede a una determinación de ésta mediante cultivos en condiciones aerobias y anaerobias, y subsecuentes pruebas de DBO y DQO (Demanda Química de Oxígeno).

La base inicial de biodegradabilidad de un compuesto orgánico, es que un compuesto lineal es más biodegradable que uno ramificado, y que un compuesto, cuanto más insaturado, es biodegradable en un menor tiempo.

En general casi cualquier compuesto orgánico de C, H, O y N se puede considerar biodegradable, aún cuando los plazos necesarios puedan hacerse muy largos.

El mayor problema se presenta al querer descomponer compuestos orgánicos halogenados, ya que éstos rara vez se integran al metabolismo de un microorganismo como fuente de energía, y el proceso por el cual se degrada el compuesto requiere de

altas concentraciones de algún otro que sirva de alimento al microorganismo para que pueda transformar el compuesto a degradar.

La tabla 21 muestra algunos compuestos orgánicos que se encuentran en lodos oleosos y que son considerados biodegradables.

Se ha observado que ciertos microorganismos que pueden degradar clorobencenos y cloroetilenos requieren de fenol como fuente de energía en concentraciones elevadas, por lo que su uso está restringido a sistemas controlados (bioreactores) de tratamiento de aguas, ya que en el medio ambiente no es viable aumentar la concentración de fenol en pos de degradar cloro-hidrocarburos.

Lo mismo se observa en el caso de la degradación de disolventes de uso común en laboratorios (BTX, etc.), ya que son degradables por variedades de *Chromobacteria* y *Pseudomonas Aereoginosa* adaptadas que utilizan acetonitrilo como alimento.

Así mismo, los detergentes aromáticos sulfatados o sulfonados son altamente resistentes al ataque por microorganismos, en parte por el problema que presenta la apertura del anillo aromático activado y por el hecho de que los sulfatos y sulfitos afectan en gran medida la reproducibilidad de los microorganismos, pudiendo inhibir del todo ésta. Esto es de la magnitud suficiente como para que los sulfitos sean utilizados actualmente como inhibidores de crecimiento de bacterias en alimentos.

En conjunto, los detergentes aromáticos sulfonados y sulfatados representan un problema, ya que si inoculamos a una planta de tratamiento de aguas un microorganismo degradador de aromáticos, la presencia de sulfatos puede inhibirlo, o incluso eliminarlo, mientras que la presencia de un microorganismo que metabolice los sulfatos difícilmente degradará los compuestos aromáticos.

COMPUESTOS ORGÁNICOS COMUNES EN LODOS OLEOSOS  
CONSIDERADOS COMO BIODEGRADABLES

ACETONAFTALENO
ANILINA
ANTRACENO
BENZO (A) ANTRACENO
BENCENO
CRESOLES
FTALATOS
NAFTALENO
FENANTRENO
TOLUENO
XILENOS
FENOL
DIMETIL FENOL

KULPA, C.F.; MCAULIFFE, K.S., 1989

TABLA 21

En cuanto a los detergentes sulfatados y sulfonados lineales, aún cuando presentan el mismo problema en cuanto a la presencia de los sulfatos, son mucho más lábiles a la degradación en su parte orgánica, por lo que cultivos más simples, en los que se puede integrar un microorganismo que metabolice el azufre, y con ello disminuir el problema de los sulfatos.

Es importante no perder de vista que la selectividad de los microorganismos con respecto a la degradación de compuestos orgánicos polifuncionales es determinante, y en ocasiones impredecible, ya que muchos de ellos pueden degradar compuestos específicos, o no degradar algún compuesto en particular, como se puede observar en la tabla 22, donde se muestra la oxidación de fenoles por *Pseudomonas Putida*, en la que es evidente la selectividad del inoculo ante los cresoles, o ante la posición relativa del cloro en los diclorofenoles, o los nitrofenoles. En la figura 1 se muestra la secuencia de degradación de ácido 3-clorobenzoico por acción de *Pseudomonas Putrida*.

Cabe hacer la aclaración de que la mayoría de los estudios de degradabilidad se llevan a cabo en condiciones controladas, y con miras al uso de los bioreactores en industrias específicas, básicamente por las siguientes consideraciones:

- 1) Las regulaciones ambientales, en base al poco control existente en las técnicas de generación de microorganismos mediante ingeniería genética, con respecto al inoculamiento en el medio ambiente, simplemente no lo permite, por no ser eficaz el control del desarrollo de dichos inoculo mutantes
- 2) Debido a que las concentraciones necesarias de alimentos para los microorganismos en los efluentes a tratar deben ser elevadas, y dichos alimentos

en ocasiones son a su vez dañinos, su uso queda restringido al tratamiento de efluentes previo a su descarga en sumideros naturales.

- 3) El costo de los desarrollos de microorganismos, ya sea por ingeniería genética o por descubrimiento y adaptación de colonias de uno o más microorganismos para la degradación de contaminantes sólo puede ser patrocinada por la industria, y ésta tiene interés por microorganismos de alta selectividad ante sus propios problemas.

OXIDACIÓN DE FENOLES POR "PSEUDOMONAS PUTRIDA"

SUSTRATO	VEL. RELATIVA	PRODUCTOS
p-DiCloroBenceno	100	p-Di-CloroBenceno DiHidroxi 3,6 DiCloroCatecol
Fenol	28	Catecol (trazas)
2-CloroFenol	24	3-CloroCatecol
3-CloroFenol	103	3-CloroCatecol
4-CloroFenol	99	4-CloroCatecol
2,3-DiCloroFenol	<1	
2,4-DiCloroFenol	9	3,5-DiCloroCatecol
2,5-DiCloroFenol	21	3,5-DiCloroCatecol
3,4-DiCloroFenol	3	3,4-DiCloroCatecol
3,5-DiCloroFenol	<1	
2,4,5-TriCloroFenol	<1	
o-Cresol	90	No Detectado
m-Cresol	224	No Detectado
p-Cresol	18	4-Metil-Catecol (Trazas)
2,5-Xilenol	11	3,6-Di-Metil-Catecol (Trazas)
2-NitroFenol	<1	
3-NitroFenol	9	3-NitroCatecol
4-NitroFenol	<1	

KULPA, C.F.; MCAULIFFE, K.S., 1989

TABLA 22

SECUENCIA DE DEGRADACION DE ACIDO 3-CLOROBENZOICO  
 POR ACCION DE *PSEUDOMONAS PUTIDA*

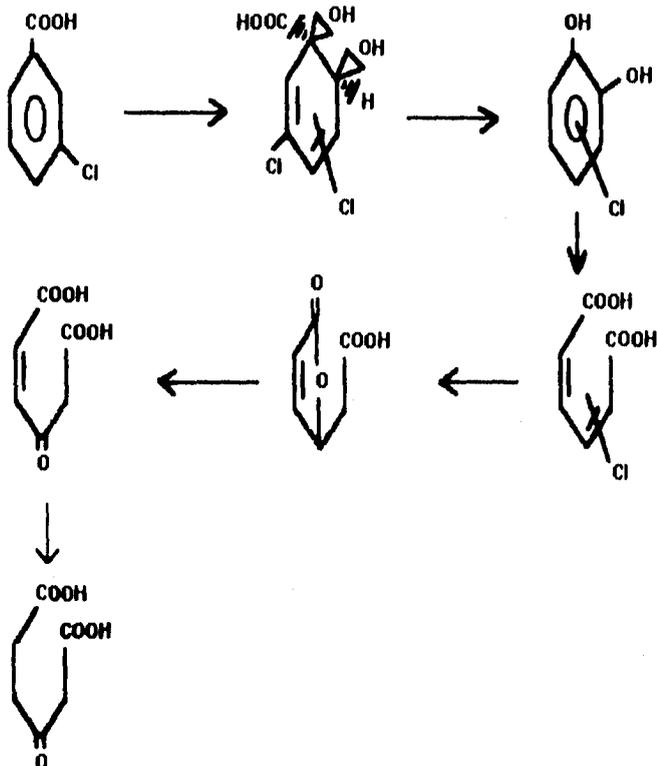


Figura 1

## **IV.- ESTERES METÁLICOS DEL ACEITE DE COCO**

### **- OBJETIVO**

Como se ha observado en los capítulos anteriores, en nuestro país existe un recurso natural renovable de gran utilidad, que no es explotado cabalmente, y del cual es factible obtener tanto productos de consumo doméstico como industrial, con mayor compatibilidad con el ambiente.

En las tablas de comercio exterior presentadas en el capítulo I, se observa que una gran cantidad de coco (fruto) ha sido exportado, y simultáneamente hemos adquirido aceite de coco del exterior. Esto nos da indicios del grave rezago que tenemos en la planta productiva beneficiadora del coco.

Así mismo, se observa el decrecimiento alarmante del consumo de aceite de coco en los últimos años. Se dice alarmante, por la enorme superficie de cocoteros en desarrollo que se sumará en los próximos años a la superficie actualmente en producción, y de la cual debe obtenerse algún beneficio, ya que de lo contrario se recrudecerán los problemas derivados de la mala distribución del ingreso, y consecuentemente el de la población misma al presentarse el efecto de migración a las ciudades de la gente del campo.

En la actualidad resulta evidente la necesidad de utilizar productos de mayor compatibilidad con el ambiente, puesto que la rapidez de deterioro del mismo ya es cuantificable año con año.

Los tensoactivos son un elemento de daño al ambiente de gran importancia, ya que al modificar la tensión superficial del agua al que son arrojados, afectan la alimentación de las plantas de los alrededores, y afectan a los organismos de los animales que ingieren agua o plantas contaminadas. Los tensoactivos pueden modificar el comportamiento de las paredes celulares, y con ello, la alimentación y secreción a nivel celular de los organismos que los ingieren.

Distorsionan el ambiente modificando la solubilidad de diferentes sales, así como, en muchos casos, la cantidad de metales pesados presentes en las fuentes.

Los tensoactivos son de uso generalizado, se les consume en gran cantidad, domésticamente y por los más diversos sectores industriales por lo que resulta de gran dificultad su acopio para realizar un tratamiento adecuado, además de que se requeriría clasificar a cada tipo de tensoactivo.

Por lo anterior, se hace indispensable contar con tensoactivos biodegradables, cuya vida media en el ambiente sea menor a los actualmente disponibles, y que por consiguiente, serían más fácilmente tratados por las plantas de tratamiento de aguas de tipo municipal.

Para producir tensoactivos biodegradables, actualmente tenemos que recurrir a fuentes de materias primas de origen natural, ya que no se han desarrollado lo suficiente los derivados sintéticos del petróleo en esta dirección.

Además de su actual disponibilidad, el cocotero ofrece una alternativa viable como fuente de materias primas, ya que por ser factible su aprovechamiento en casi la totalidad de las partes de la planta, la rentabilidad de los cultivos de cocoteros no depende únicamente del mercado de tensoactivos.

Por todo lo anteriormente expuesto, es necesario desarrollar la industria de tensoactivos derivados del coco. El insumo base es el aceite, que se obtiene de la copra. A partir de él se obtienen tanto ácidos grasos y glicerina, como ésteres metílicos, éstos últimos son más reactivos que los ácidos, por lo que tienen un uso más generalizado.

Los ésteres metílicos, tal como se obtienen, poseen un olor desagradable, el cual es debido principalmente a la presencia de ésteres de bajo peso molecular, los ésteres del ácido caprílico (C<sub>8</sub>), caprílico (C<sub>9</sub>) y caprílico (C<sub>10</sub>). Como el uso principal de los ésteres metílicos del aceite de coco es en la industria de cosméticos y como el interés se centra en el éster del ácido láurico, es conveniente técnicamente la remoción

de éstos ésteres con el fin de evitar el olor, y es económicamente rentable debido a que forman una pequeña parte del total de la mezcla.

Comercialmente, existen varios productores de laurato de metilo alrededor del mundo, los cuales comercializan una mezcla de laurato de metilo con ésteres más pesados, con un contenido del laurato que oscila entre 65 y 69 %, y con un contenido menor de 5% de ésteres ligeros.

Debido a que los ésteres metílicos del aceite de coco tienen un costo bajo, los transportes afectan enormemente la rentabilidad de los mismos, y es más rentable dedicarse a mercados que requieran de un producto con mayor valor agregado (la comercialización de los ésteres crudos es un negocio de baja rentabilidad). Lo anterior confirma la necesidad de llevar a cabo la refinación, y resulta conveniente preparar los ésteres en las mismas instalaciones en que se pretende refinarlos, para obtener un producto final competitivo

#### - PREPARACIÓN

La preparación de los ésteres metílicos del aceite de coco se lleva a cabo mediante la transesterificación de los triglicéridos que conforman el aceite de coco, con metanol. La reacción ha sido ampliamente estudiada, y no presenta problemas para el desarrollo del proceso total.

El cuadro A es una hoja de seguridad del metanol, el cual debe ser manejado extremando precauciones, para evitar daños a la salud.

La reacción se lleva a cabo a 60°C, utilizando metilato de sodio al 25% en peso como catalizador, y durante aproximadamente 20 min.

Comúnmente se utiliza la relación estequiométrica de metanol:triglicéridos para obtener los ésteres, con un rendimiento que oscila entre 85 y 90%, dependiendo de la pureza del aceite de coco, sin embargo es posible alcanzar rendimientos de cerca de 99% utilizando una relación molar de metanol:triglicéridos de 6, aunque con esto se

incrementan los costos de la posterior separación del metanol de la mezcla de reacción, los cuales pueden hacer incosteable el proceso.

Al inicio de la reacción se forma una emulsión entre el aceite y el metanol, y el indicador del término de la misma es clarificación que indica la ruptura de la emulsión, y la aparición de una fase rica en glicerina en la mezcla, la cual se precipita, junto con la mayor parte de los taninos del aceite.

La glicerina residual, junto con taninos y restos de aceite sin reaccionar se separan por decantación; esta glicerina es de poco valor por el alto contenido de taninos y de aceite de coco, y el proceso de purificación de la glicerina hasta que resulte incolora es costoso. Sin embargo, se puede obtener una glicerina de baja calidad aprovechable en la industria jabonera, a la cual se le suele vender este residuo, siempre y cuando presente un máximo de 10% (en peso) de aceite de coco.

Posteriormente se procede a la destilación del metanol sin reaccionar que se encuentra mezclado con los ésteres, la destilación se lleva a cabo en proceso por lotes, generalmente en el mismo recipiente donde se llevó a cabo la reacción, a presión atmosférica. Podemos considerar que todo el metanol ha destilado (en la cd. de México) al alcanzarse la temperatura de 110°C. Es importante resaltar que por motivos de seguridad, la temperatura de salida del agua de enfriamiento del condensador debe ser muy cercana a la temperatura de entrada de la misma (lo que implica costos de bombeo y enfriamiento altos) para evitar la presencia de metanol en el ambiente.

El metanol destilado tiene un olor ligero pero desagradable debido a la presencia de pequeñas proporciones de ésteres de bajo peso molecular, a pesar de lo cual es reutilizable en la transesterificación, junto con metanol fresco.

## CUADRO A.

### ALCOHOL METÍLICO. HOJA DE SEGURIDAD.

- ## Venenoso. Severamente restringido (Tailandia y Suecia) (UN) (13)
- ## Contaminante del aire (ACGIH) (1) (DFG) (3) (HSE) (33) (OSHA) (58) (Otros Países) (35) (Muchos Estados) (60)
- ## Propuesto como contaminante del Agua (EPA) (32) (USSR) (43)
- ## Sustancia Peligrosa (EPA) (RQ = 5000/2270) (4)
- ## Desecho Peligroso (EPA-RCRA) (#U-154) (5)
- ## Citado en las regulaciones de los estados de: Alaska (G), Connecticut (A), Florida (G), Illinois (G), Kansas (G, A), New Hampshire (G), New Jersey (G), New York (G), Dakota del Norte (A), Oklahoma (G), Pennsylvania (G), Rhode Island (G), Dakota del Sur (A), Vermont (G), Virginia (G, A), Washington (G), West Virginia (G), Wisconsin (G).

**Descripción:**  $\text{CH}_3\text{OH}$ , Alcohol metílico, es un líquido incoloro, volátil y de olor ligero. El umbral de olor es 100 ppm (41). Ebulle entre 64°-65°C. Su punto de flama es de 11°C. Los límites explosivos son: LEL = 6.0%; UEL = 36.0%

**Números Clave:** CAS 67-56-1 RTECSPC1400000 UN 1230

**Sinónimos:** Metanol, carbinol, alcohol de madera.

**Usos:** El alcohol metílico se usa como un material iniciador en la síntesis de compuestos químicos tales como formaldehído, metacrilatos, metilaminas, etilenglicol y pesticidas; como disolvente industrial para tintas, resinas, adhesivos y tintes. Es un ingrediente en las formulaciones de pinturas, removedores de barniz, preparaciones para limpiadores y agentes desengrasantes. También se usa en la manufactura de películas fotográficas, plásticos, celuloide, jabones textiles, pinturas para madera, formulaciones para impermeabilizantes, cuero artificial, indigo sintético y otros tintes. También ha encontrado uso como extractante en muchos procesos, como fluido antidetonante para aviones de inyección electrónica, como acelerador del hule o caucho y como desnaturante del alcohol etílico.

**Incompatibilidades:** Oxidante fuerte.

**Limite Máximo de exposición en Aire:** La norma federal (58) y el valor 1988/89 AGGIH TWA es de 200 ppm (260 mg/m<sup>3</sup>). Ambos ACGIH y OSFA, tienen también la serie en STEL de 250 ppm (310 mg/m<sup>3</sup>) y tienen adicionada la nota *skin*, indicando la posibilidad de absorción cutánea. Otros países (35) generalmente se adhieren a 200 ppm TWA y 250 ppm STEL con una gran variación. Algunos de estos países son Argentina, Japón, Suecia y La Gran Bretaña. Brasil (35) tiene un valor de TAWA de 156 ppm (200 mg/m<sup>3</sup>). Alemania tiene un valor de STEL de 400 ppm (520 mg/m<sup>3</sup>). Checoslovaquia posee un valor más riguroso: TWA de 100 mg/m<sup>3</sup> (con un máximo de 500 mg/m<sup>3</sup>).

**Determinación en Aire:** Adsorción sobre sílica, análisis con cromatografía de gases.

**Concentración Permisible en Agua:** EPA (32) sugiere una concentración permisible en el ambiente de 360 µg/L, basado en efectos sobre la salud. El proyecto USSR-UNEP/IRPTC (43) tiene como valor MAC, en agua usada para propósitos domésticos, de 3 mg/L y para propósitos *fishery* de 0.1mg/L.

**Rutas de Entrada:** Inhalación de vapor, absorción percutánea de líquido, ingestión, contacto con los ojos o piel.

#### **Efectos sobre la Salud y Síntomas:**

##### *Tiempo corto de Exposición.*

- **Inhalación:** por debajo de 500 ppm puede causar dolor de cabeza, vómitos, irritación de nariz y garganta, dilatación de las pupilas, intoxicación de los sentidos, pérdida de la coordinación de los músculos, sudoración excesiva, bronquitis y convulsiones. Exposiciones prolongadas pueden producir estupor y dificultades visuales, tales como, visión moteada, sensibilidad a la luz y ceguera. La recuperación no siempre es total y los síntomas pueden reaparecer aún sin haber estado expuesto.

- **Piel:** Puede causar irritación, resequedad y grietas. La absorción por la piel puede también contribuir a los síntomas descritos en los problemas de inhalación.

- **Ojos:** Puede causar irritación en los ojos.

**-Ingestión:** Los síntomas son similares a aquellos bajo inhalación, existen daños más graves en el corazón, hígado y riñones. Pueden ocurrir daños nerviosos causando pérdida de la coordinación, ceguera y la muerte. La dosis fatal usual es cerca de 100-250 mL, pero un individuo puede morir con dosis de cerca de 30 mL.

*Tiempo de Exposición Largo.*

- Expuesto a **bajos niveles**, puede producir los síntomas ya mencionados. Debido a que el alcohol metílico se elimina lentamente del cuerpo, las exposiciones bajas y continuas pueden llegar a niveles peligrosos provocando síntomas severos. El paciente no siempre se recupera del todo. Se ha encontrado que el metanol causa cambios en el material genético de algunos animales. Sin embargo, hasta la fecha, no se han presentado casos humanos.

**Atención Médica:** Si los síntomas se desarrollan o se sospecha una sobreexposición se recomienda lo siguiente: Examinar las funciones vitales y los ojos.

**Primeros Auxilios.**

- **Contacto con los Ojos:** Lavar inmediatamente con agua abundante y corriente por lo menos durante 15 min., ocasionalmente lavar dentro de los párpados, Consultar de inmediato a un médico.

- **Contacto con la Piel:** Quitar la ropa contaminada lo más rápidamente posible. Lavar de inmediato el área afectada con grandes cantidades de agua. Recibir atención Médica inmediata.

- **Asfixia:** Alejar a la persona de la fuente de exposición. Si es necesario, aplicar respiración artificial, llamar a un médico de inmediato.

**Métodos de Protección Personal.**

- **Protección de los ojos:** usar goggles (lentes de seguridad) a pruebas de salpicaduras, mascarillas de seguridad cuando se trabaja con el líquido.

### **Almacenaje.**

- El alcohol metílico debe ser almacenado evitando el contacto con oxidantes fuertes (tales como cloro, bromo y flúor). Esto debe hacerse en recipientes cerrados herméticamente con un sistema de refrigeración, en un área ventilada lejos de la exposición a temperaturas elevadas. Las fuentes de ignición, tales como cigarrillos y flamas abiertas quedan prohibidas en el lugar donde se almacena el alcohol metílico, se transporta, usa o maneja. Los contenedores de metal que involucran la transferencia de 5 galones o más deberán ser amplios y enchaquetados. Los tambos deben ser equipados con válvulas de seguridad, discos de ruptura y detectores de flama.

- **Etiquetas.** Este compuesto requiere una etiqueta que indique: "Líquido inflamable, venenoso"; pertenece a la clase 3 de compuestos peligrosos y grupo II de empaque. El límite sobre pasaje en avión o contenedor de barco es un litro (1 L), y sobre contenedor de avión 60 L.

- **Extinción de fuego.** El alcohol metílico es un líquido inflamable. Use químicos secos, CO<sub>2</sub> o espumas a base de alcohol para extinguir el fuego provocado por él; use agua para mantener fríos los contenedores expuestos al fuego. Se pueden producir gases venenosos en el fuego, incluyendo formaldehído.

- **Métodos de disposición final.** Incineración.

Fuente: Marshall Siting, 1991

## -ACONDICIONAMIENTO (REFINACIÓN)

Como primer paso se realizaron destilaciones simples para determinar el comportamiento general de la mezcla (equipo 1), durante estas pruebas se pudo observar que la interacción existente entre las especies de la mezcla es bastante fuerte, debido a que los pesos moleculares son muy cercanos entre sí, además de que presentan una polaridad débil y muy similar, por lo que la separación resultaría bastante difícil. Otra observación es que la diferencia de temperaturas de ebullición entre los compuestos, (principalmente caprinato y laurato de metilo) permanece prácticamente constante con cambios en la presión de operación (Gráfica 1), por lo que resulta conveniente trabajar a vacío, ya que implica trabajar a una temperatura menor. Así mismo se observó que con una mínima presencia de aire dentro del equipo, a partir de 140°C la mezcla se degradaba, alterándose tanto el color como el olor de la misma. Una composición típica obtenida por destilación simple es:

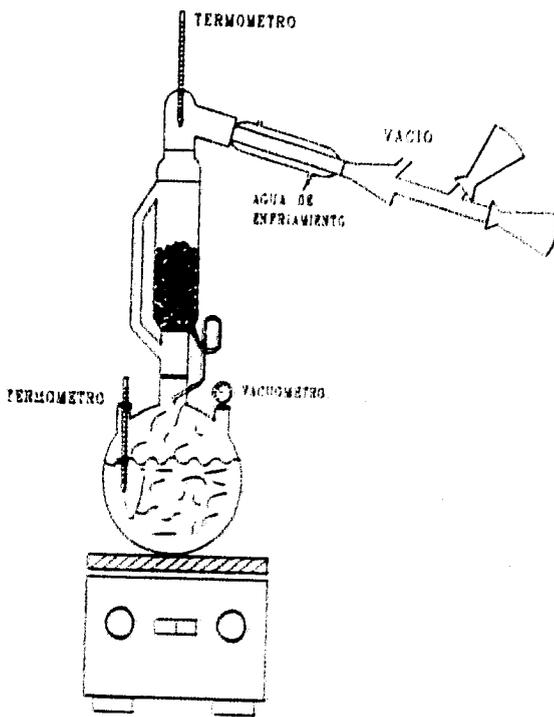
$P_{\text{atm}}$ : 35 mm Hg

$T_{\text{in. ebullición}}$ : 180°C      $T_{\text{fin.}}$ : 190°C

Composiciones (% en peso).

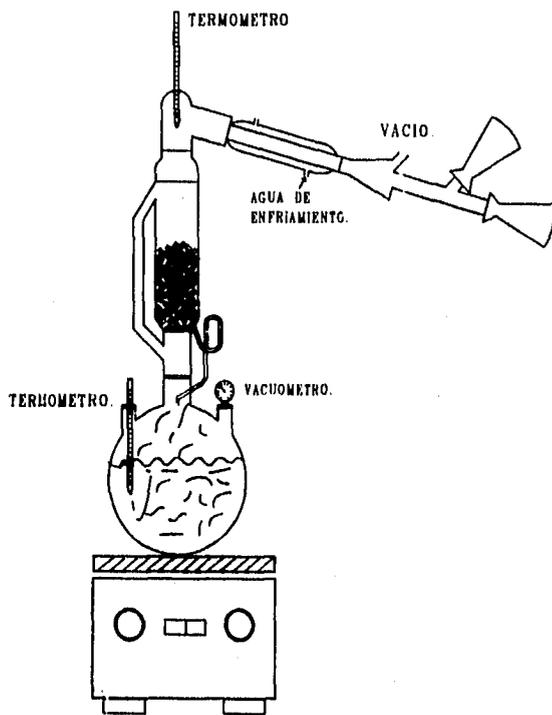
	Destilado	Residuo
Caprilato de metilo	11.5	-
Caprinato de metilo	20.07	5.5
Laurato de metilo	68.3	69.2
Miristato de metilo	-	25.3

# DESTILACION INTERMITENTE.

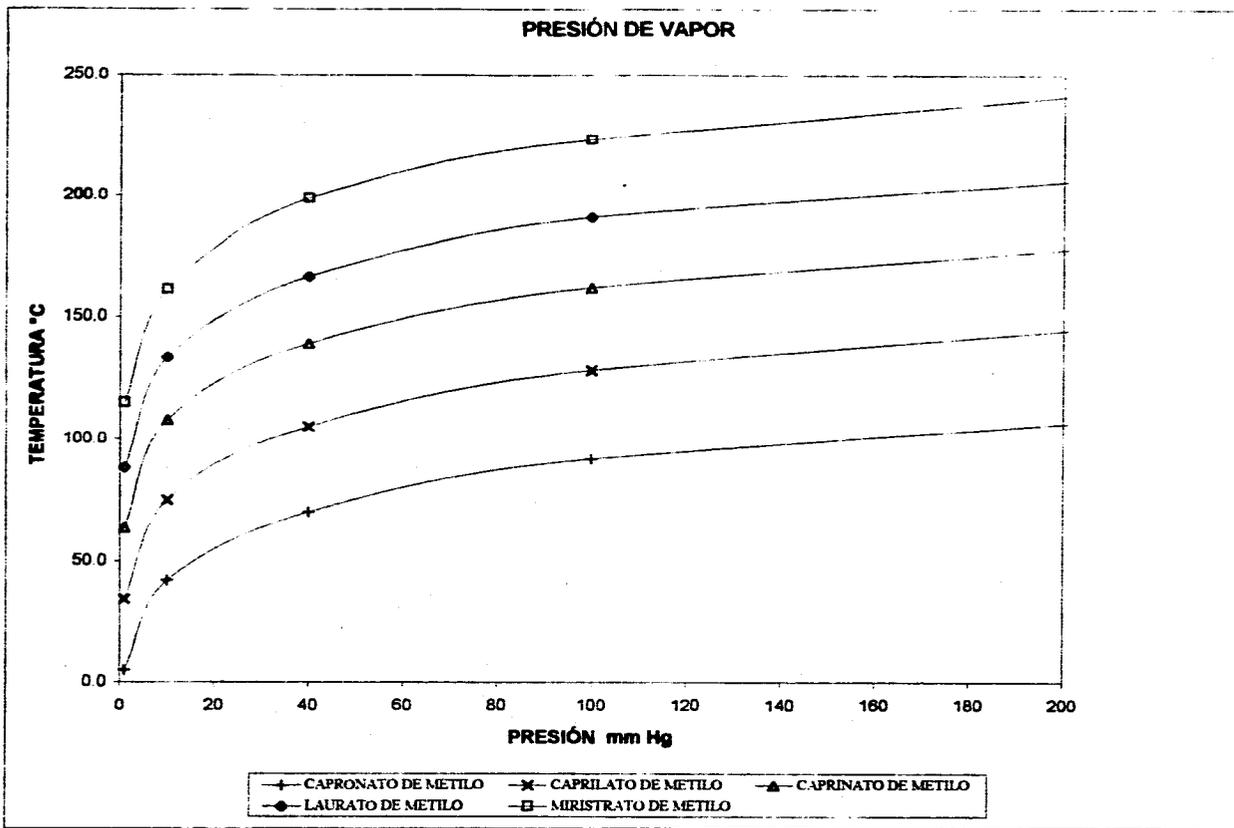


EQUIPO No. 1

# DESTILACION INTERMITENTE.



EQUIPO No. 1.



GRÁFICA 1

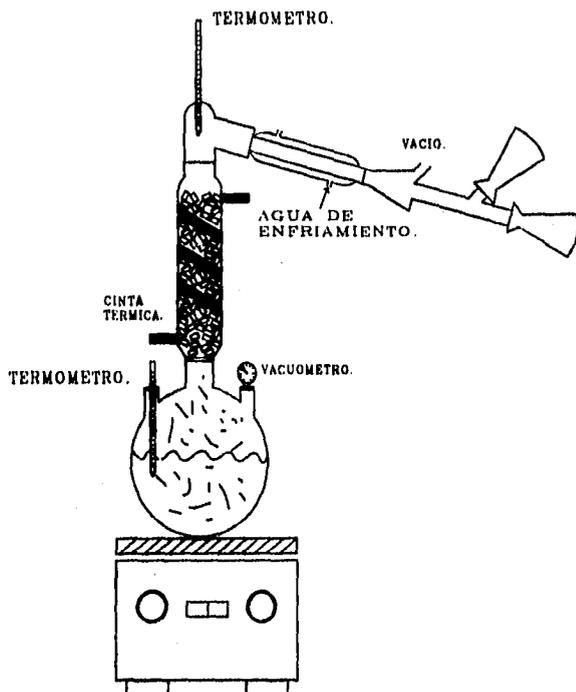
Como siguiente paso, se procedió a realizar la destilación todavía en un proceso intermitente pero con el uso de una columna empacada (equipo 2), con el fin de determinar el grado de separación que era posible obtener con diferentes alturas de empaque en laboratorio, y posteriormente extrapolar los resultados.

Debido a que la fracción a destilar es pequeña, las primeras columnas montadas, que realizaban el reflujo a la columna en la parte superior de la misma, no arrojaron resultados ni satisfactorios ni reproducibles, dado que la inestabilidad hidráulica de la columna no permitía tener un control sobre la inundación de la misma.

Se supuso que la inestabilidad hidráulica de la columna podría deberse también a la gran diferencia de temperatura existente entre los extremos de la columna, debida a pérdidas de calor a lo largo de ésta. Un primer intento de atenuar esta inestabilidad consistió en colocar un aislante térmico en torno a la columna (algodón, en este caso), pero no se observó mejoría en el sistema. Un segundo intento consistió en instalar un sistema de calentamiento a lo largo de la columna, mediante una cinta plástica con una resistencia eléctrica en su interior. Los resultados no cambiaron apreciablemente. Esto nos indica que las diferencias de temperatura de rocío del destilado y de burbuja del residuo es bastante alta.

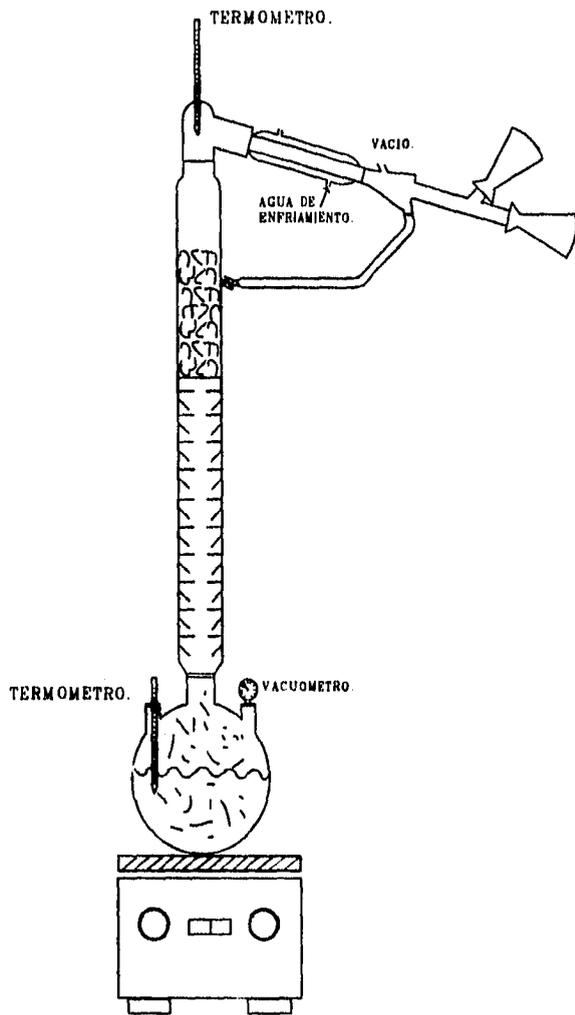
Con intención de aumentar el flujo de ligeros en el interior de la columna, se incluyó un reflujo a la parte superior de la columna (equipo 3), además de trabajarse con una columna Vigreux en la parte inferior y una columna empacada parcialmente en la parte superior. De esta manera se trató de aumentar el área de flujo de la parte inferior de la columna, para evitar la inundación de la columna. Adicionalmente se incluyó un sistema con dos matraces receptores de destilado, para realizar análisis a diferentes temperaturas.

# DESTILACION INTERMITENTE.



EQUIPO No. 2.

## DESTILACION INTERMITENTE.



EQUIPO No. 3.

De este equipo se obtuvieron tres fracciones de destilado (comp. aproximadas):

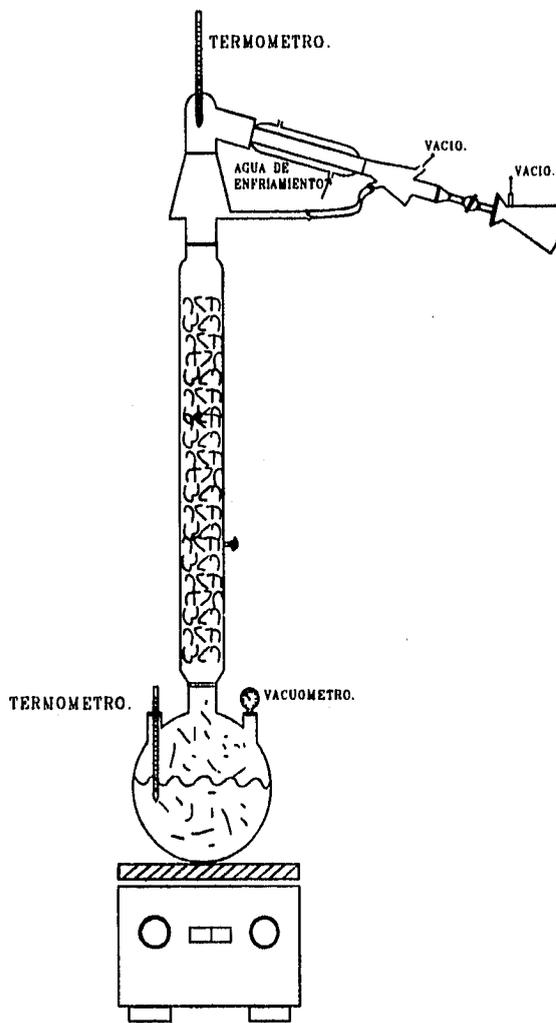
- 1) Rica en ligeros pero con una gran proporción (25%) de laurato de metilo.
- 2) Con 12% de ligeros, 18% de miristato de metilo y el resto de laurato de metilo.
- 3) 55% de laurato de metilo y el resto de pesados

Estos resultados muestran rendimientos de laurato de metilo (en la fracción rica en el mismo) pobres, y sin la composición adecuada. Adicionalmente, el tiempo de operación para este equipo era extremadamente alto, ya que requería mucho tiempo para calentarse, y posteriormente era necesario controlar el calentamiento para evitar proyecciones de líquido en la columna que inundaran la misma.

Se decidió entonces montar otra columna empacada totalmente (equipo 4), para disminuir el tiempo de calentamiento, y con la decisión de controlar el inundamiento de la columna mediante un control del calentamiento. Nuevamente resultó una columna inoperante por los problemas de inundación, obteniéndose una sola fracción de destilado, pero muy pequeña, ya que con las proyecciones de líquido a través de la columna se contaminaba el destilado, por lo que no se analizó.

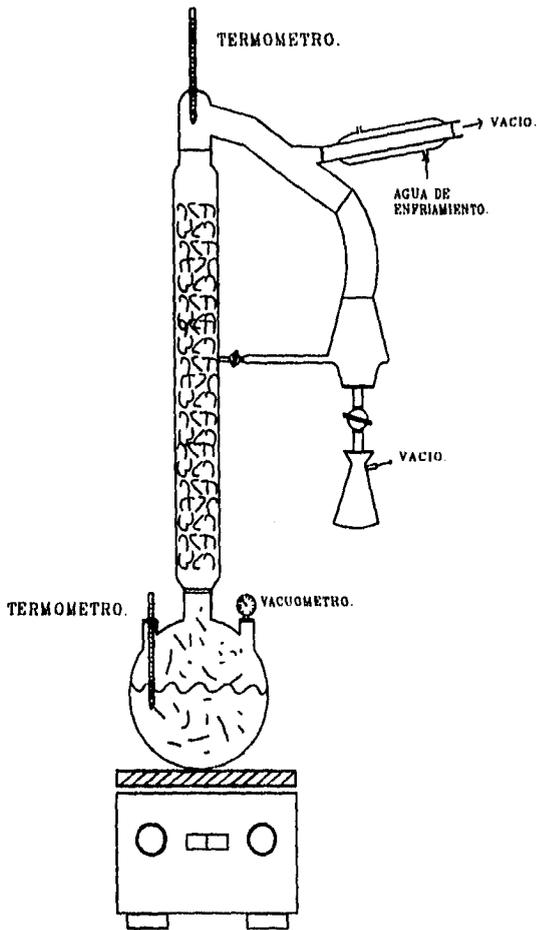
El siguiente paso fue instalar una columna con la cual se pudiera simular la presencia de al menos dos diámetros (equipo 5), esto último se logró mediante la alimentación del reflujo a la columna en una parte intermedia de la misma, de la columna montada se obtuvieron resultados a dos diferentes alturas de empaque, estos resultados, a pesar de que la columna resultó muy difícil de controlar, se les puede considerar reproducibles, y dieron la pauta para proceder al montaje de un equipo de destilación continua, ya que los rendimientos obtenidos eran bajos pero mostraban que fundamentalmente se avanzaba por el camino correcto. Estos resultados son:

# DESTILACION INTERMITENTE.



EQUIPO No. 4.

# DESTILACION INTERMITENTE.



EQUIPO No. 5.

Altura de empaque: 33 cm      Pabs: 15 mm Hg      T<sub>máx</sub> en el fondo: 175°C

Composiciones (% en peso)

	Destilado	Residuo
Capronato de metilo	3.6	-
Caprilato de metilo	56.4	1.2
Caprinato de metilo	30.2	3.8
Laurato de metilo	9.8	67.4
Miristato de metilo	-	27.6

Altura de empaque: 36 cm      P<sub>abs</sub>: 15 mm Hg      T<sub>máx</sub> en el fondo: 185°C

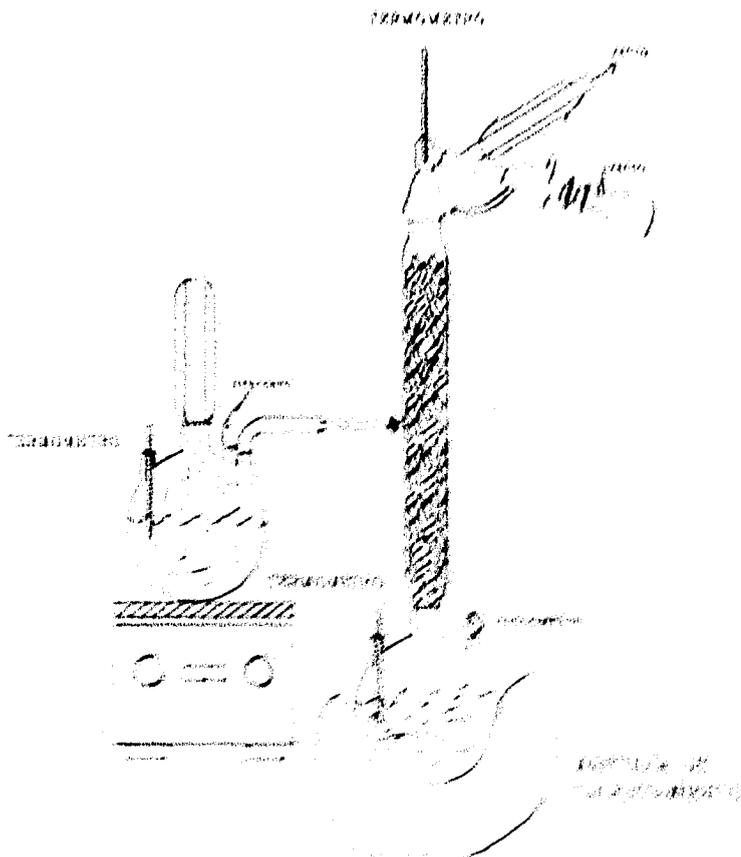
Composiciones (% en peso)

	Destilado	Residuo
Caprilato de metilo	22.2	1.2
Caprinato de metilo	61.8	1.8
Laurato de metilo	16.2	65.9
Miristato de metilo	-	31.1

Cabe hacer notar que la necesidad de llevar a cabo la destilación en un proceso continuo se debe a que el proceso por lotes es muy lento, ya que estas últimas dos pruebas, si bien son aproximadamente lo deseado, tardaron más de una hora cada una en dar productos.

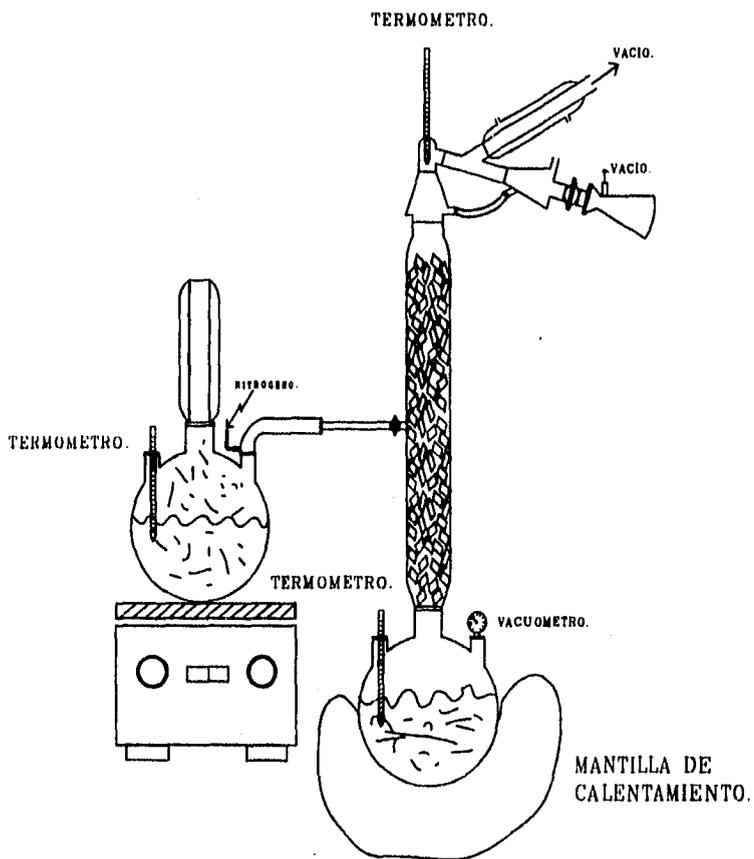
Con estas primeras observaciones y resultados, y los datos de temperaturas de ebullición, se procedió a iniciar el montaje de un equipo de destilación continua. El primer equipo de este tipo (equipo 6), consistió en una columna con una alimentación lateral aproximadamente a la mitad de la altura de la misma. El empaque de la columna era más abierto en la parte inferior, para evitar inestabilidades hidráulicas.

# DESTILACION CONTINUA.



ESQUEMA No. 1

# DESTILACION CONTINUA.



EQUIPO No. 6.

En la parte superior se encontraba un sistema de recepción de destilados, el cual contaba con una manguera de reflujo de los mismos hacia la columna, alimentado este por gravedad, aprovechando la presión hidrostática en el matraz de recepción de destilados.

La alimentación de la mezcla se realizaba por succión del mismo vacío, desde un matraz de bola a presión atmosférica, en el cual contaba con una pequeña adición de nitrógeno, para generar una atmósfera inerte y con ello preservar el producto.

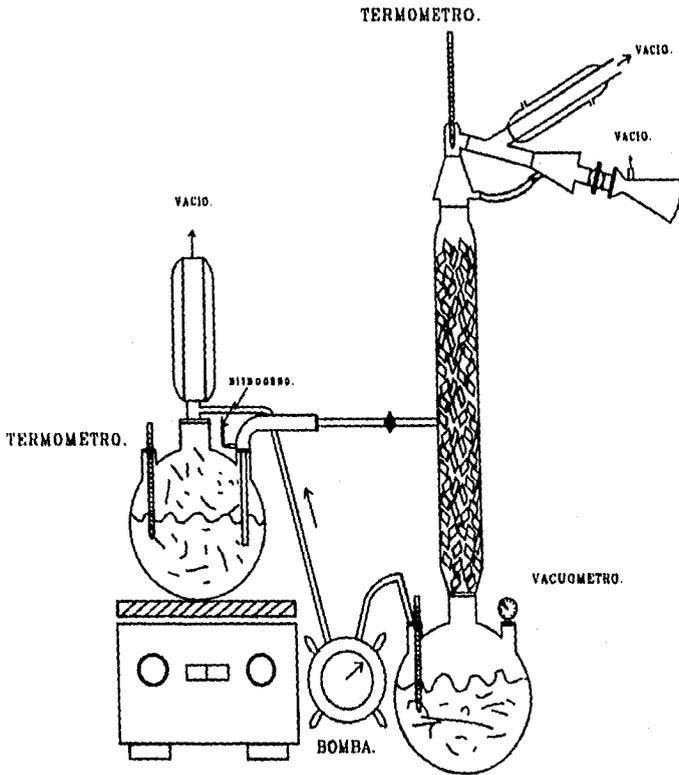
En la parte inferior se calentaba el matraz de recepción del producto, a manera de rehervidor.

Los resultados de este equipo no fueron aceptables, pues se obtenía una fracción muy pequeña de destilados, es decir, la composición del producto de fondos no era satisfactoria para fines prácticos.

No fué posible controlar la inundación de la columna, probablemente por el reflujo insuficiente del destilado a la columna. Para subsanar esto se decidió instalar una bomba de laboratorio para el reflujo (equipo 7). Esto no dio resultado, ya que los ésteres metílicos del aceite de coco, a temperaturas altas, degradan fácilmente diversos tipos de polímeros, tanto el látex como los polímeros usualmente utilizados en las bombas de laboratorio (PVC, NBR, etc.), y no se operó el equipo el tiempo suficiente para obtener resultados.

La operación deficiente podría deberse asimismo a la temperatura relativamente baja a que se encontraba el equipo al momento de iniciar la alimentación de la mezcla, por lo que se procedió al montaje de un equipo similar al anterior, pero con una bomba para alimentar el producto de fondos de la columna antes de alcanzar la temperatura de operación de la columna, con el fin de tener la columna a mayor temperatura al momento de iniciar propiamente la operación. En cuanto se alcanzaba la temperatura de operación de la columna, se detenía el trabajo de la bomba, y se taponaba la

# DESTILACION CONTINUA.



EQUIPO No. 7.

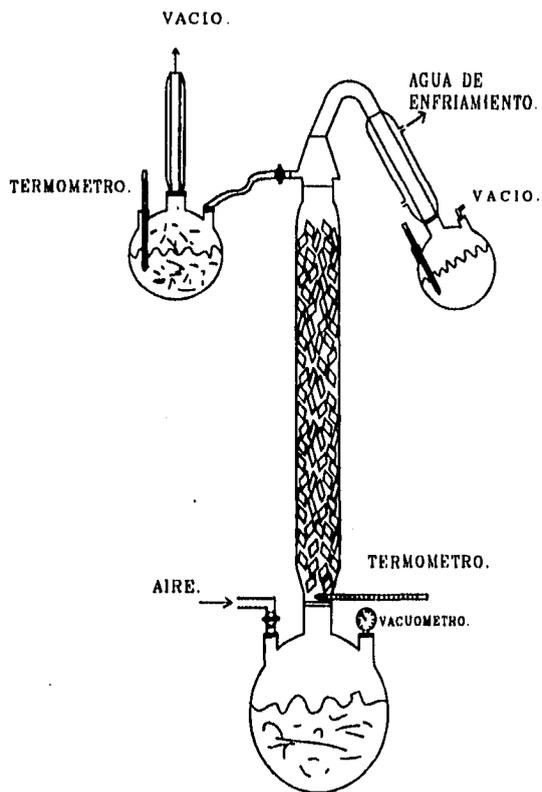
manguera de reflujo de fondos, para evitar fugas del sistema, y con ello perder el trabajo de la bomba de vacío.

Nuevamente los resultados no fueron confiables, debido principalmente a la inestabilidad de operación de la columna.

Los resultados de los dos equipos anteriores, dieron lugar a la siguiente reflexión, considerando los volúmenes relativamente bajos requeridos de ésteres metílicos refinados en Industrias Parmal, S.A. de C.V.

La columna a diseñar, de ser de tipo convencional, requiere de más de un diámetro, de hecho, con un primer cálculo de los flujos de líquido y vapor dentro de la columna, se observó que éstos variaban mucho, tal y como se esperaba de las pruebas realizadas, lo que conlleva a la necesidad de más de un diámetro en la columna; por otra parte, al hacer los cálculos para una columna convencional, se encontró que la temperatura en el rehedidor sería de aproximadamente 240°C, pues se debe evaporar aproximadamente el 35% de la mezcla que llega al fondo; lo anterior nos hace reconsiderar el costo de la destilación, tanto el de operación como el de fabricación e instalación de la torre. Ya que para poder trabajar con una columna de un solo diámetro es necesario que el flujo de vapor dentro de la columna permanezca relativamente constante, al igual que el flujo de líquido, el uso de un gas auxiliar dentro de la torre puede servir para hacer que las variaciones en el cambio de flujo del vapor sean insignificantes, y para mantener el flujo de líquido con variaciones menores, el alimento en la parte superior de la columna hace que su flujo varíe muy poco a lo largo de la torre, siendo el cambio total de alrededor de 15%; lo anterior nos lleva a la conclusión de que se puede utilizar una columna de desorción (equipo 8), considerando que la construcción sería más barata, y que la temperatura de alimentación de la mezcla a la torre es ligeramente mayor a la temperatura de burbuja de la mezcla a la presión de operación, que siempre será menor a la temperatura requerida para evaporar el 35% de una mezcla más pesada.

## DESTILACION POR DESORCION.



EQUIPO No. 8.

Adicionalmente, la flexibilidad de operación de una columna desorbedora es mucho mayor que una columna de destilación convencional, lo cual es de gran importancia para este proceso, ya que la composición de la alimentación puede presentar variaciones importantes entre diferentes lotes de ésteres crudos.

Habiendo determinado el tipo de columna que se habría de diseñar, ahora requería de datos termodinámicos más completos y precisos,

Debido a que en la literatura no se encuentran suficientes datos termodinámicos de las especies a separar, no fué posible realizar directamente un cálculo teórico para dimensionar la torre requerida para llevar a cabo la destilación; debido a lo anterior se recurrió al uso de un programa de computadora desarrollado en la E.S.I.Q.I.E., el cual calcula, mediante el método de contribución de grupos, las propiedades termodinámicas de compuestos orgánicos. De los resultados obtenidos de este programa, se debía ajustar posteriormente una o más propiedades. Se decidió ajustar el parámetro polar, ya que es el que nos permite valorar con mayor precisión las presiones de vapor de los compuestos.

Para el ajuste de propiedades termodinámicas, se montó un equipo consistente en una pequeña columna empacada para simular un tanque dentro del cual se pudieran establecer condiciones que cumplieran con el modelo de equilibrio de fases ideal, para con ello obtener curvas de destilación que nos permitieran generar datos suficientes para llevar a cabo el ajuste de propiedades con las cuales poder realizar el diseño de la columna. Los valores finales de las propiedades termodinámicas se presentan a continuación:

## PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

### -Capronato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOCH}_3$ )

PM = 130.19	$T_c = 600.2 \text{ K}$
$P_c = 28.1 \text{ bar}$	$w = 0.5$
$\Delta H_f = -1.892 \text{ E5 J/mol}$	$\Delta G_f = -3.023 \text{ E5 J/mol}$
$C_p = 38.13 + 6.71 \text{ E-2} \cdot T ; [ \text{ J/mol} ], T [ \text{ K} ]$	

### -Caprilato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOCH}_3$ )

PM = 158.24	$T_c = 637.5 \text{ K}$
$P_c = 23.2 \text{ bar}$	$w = 0.598$
$\Delta H_f = -1.871 \text{ E5 J/mol}$	$\Delta G_f = -2.855 \text{ E5 J/mol}$
$C_p = 62.13 + 8.318 \text{ E-2} \cdot T ; [ \text{ J/mol} ], T [ \text{ K} ]$	

### -Caprinato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOCH}_3$ )

PM = 186.29	$T_c = 661.3 \text{ K}$
$P_c = 19.4 \text{ bar}$	$w = 0.691$
$\Delta H_f = -1.85 \text{ E5 J/mol}$	$\Delta G_f = -2.686 \text{ E5 J/mol}$
$C_p = 86.17 + 9.921 \text{ E-2} \cdot T ; [ \text{ J/mol} ], T [ \text{ K} ]$	

### -Laurato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOCH}_3$ )

PM = 214.35	$T_c = 695.3 \text{ K}$
$P_c = 16.5 \text{ bar}$	$w = 0.773$
$\Delta H_f = -1.85 \text{ E5 J/mol}$	$\Delta G_f = -2.518 \text{ E5 J/mol}$
$C_p = 86.17 + 9.921 \text{ E-2} \cdot T ; [ \text{ J/mol} ], T [ \text{ K} ]$	

**-Miristato de metilo (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>12</sub>COOCH<sub>3</sub>)**

PM = 242.4	T <sub>c</sub> = 724.1 K
P <sub>c</sub> = 14.2 bar	w = 0.838
ΔH <sub>f</sub> = -1.829 E5 J/mol	ΔG <sub>f</sub> = -2.349 E5 J/mol
C <sub>p</sub> = 110.2 + 0.1153 * T ; [ J/mol], T [K]	

**-Palmitato de metilo (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>14</sub>COOCH<sub>3</sub>)**

PM = 270.46	T <sub>c</sub> = 863.7 K
P <sub>c</sub> = 12.4 bar	w = 0.879
ΔH <sub>f</sub> = -1.829 E5 J/mol	ΔG <sub>f</sub> = -2.181 E5 J/mol
C <sub>p</sub> = 164.8 + 4.631 E-2 * T ; [ J/mol], T [K]	

El siguiente paso fué determinar el gas desorbedor, se probaron nitrógeno y aire, en una columna con una altura de empaque de 34 cm. Los resultados obtenidos no diferían mucho entre sí, por lo que se pasó a otro tipo de consideraciones. El argumento a favor del nitrógeno es que es inerte, y por lo tanto no quema el producto, pero su alto costo lo hace inoperante, mientras que se observó que el aire, el cual se puede obtener de la atmósfera utilizando una válvula de admisión en el fondo de la columna, a su paso por la misma no quemaba significativamente el producto, debido al corto tiempo de contacto del mismo con los ésteres metílicos dentro de la columna, por lo que se desechó el nitrógeno a favor del aire.

Se procedió entonces a la determinación del coeficiente de transferencia de masa de cada componente de la mezcla, a diferentes temperaturas de alimentación de la misma a la columna y diferentes presiones de operación, para poder determinar las condiciones óptimas de alimentación a la columna.

Estas determinaciones se llevaron a cabo con una columna con una altura de empaque de 43 cm, y con condiciones que fueron de 160 a 195°C, y 10 a 55 mm Hg.

#### COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA

$K_{ol}$  [g/min·cm<sup>2</sup>]    T [K]    P [mm Hg]

$K_{ol}$  = Coeficiente de transferencia de masa global para la fase líquida.

Capronato de metilo (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>COOCH<sub>3</sub>)

$$K_{ol} = 1.805 \text{ E-3} + 3.7203 \text{ E-5} \cdot T - 3.4124 \text{ E-5} \cdot P$$

Caprilato de metilo (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>6</sub>COOCH<sub>3</sub>)

$$K_{ol} = 3.7499 \text{ E-3} + 4.67415 \text{ E-5} \cdot T - 6.30146 \text{ E-5} \cdot P$$

Caprinato de metilo (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>8</sub>COOCH<sub>3</sub>)

$$K_{ol} = 7.3421 \text{ E-3} - 2.0154 \text{ E-5} \cdot T - 1.7016 \text{ E-5} \cdot P$$

Laurato de metilo (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>10</sub>COOCH<sub>3</sub>)

$$K_{ol} = 1.1111 \text{ E-3} + 4.5595 \text{ E-5} \cdot T - 4.1593 \text{ E-5} \cdot P$$

Miristato de metilo (CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>12</sub>COOCH<sub>3</sub>)

$$K_{ol} = 6.4015 \text{ E-3} + 6.5646 \text{ E-5} \cdot T - 1.0454 \text{ E-5} \cdot P$$

El coeficiente de transferencia de masa del palmitato de metilo no se calculó debido a que el cromatógrafo de gases utilizado para los análisis no arrojó resultados consistentes con compuestos más pesados, por lo que el coeficiente de transferencia de masa del miristato de metilo engloba a todos los compuestos más pesados que él.

Al analizar los valores de Kol (Coeficiente de transferencia de masa global) obtenidos se hacen notar dos características curiosas, una de ellas es que sólo en el caprinato de metilo se observa que la temperatura no favorece al coeficiente; otro detalle es que el miristato de metilo tiene un valor del término constante mayor al laurato de metilo. Estas dos características de la mezcla son las que hacen difícil la separación de los componentes, principalmente el comportamiento atípico del caprinato de metilo, por lo que debe buscarse con mucho cuidado el punto óptimo de operación. En las siguientes gráficas se muestra el comportamiento de los coeficientes de transferencia de masa con respecto a la temperatura, a diferentes presiones (Gráficas 2, 3 y 4), y con respecto a la presión, a diferentes temperaturas (Gráficas 5, 6 y 7).

A continuación se procedió a montar una columna empacada de 184 cm de altura, para realizar una destilación en condiciones semi-piloto. Al trabajar con ella se pudo observar un fenómeno de pérdidas de calor a lo largo de la columna mucho mayor de lo esperado, por lo cual fué necesario ajustar nuevamente las condiciones de operación de la columna, para que éstas incluyeran el efecto de pérdidas de calor a lo largo del equipo.

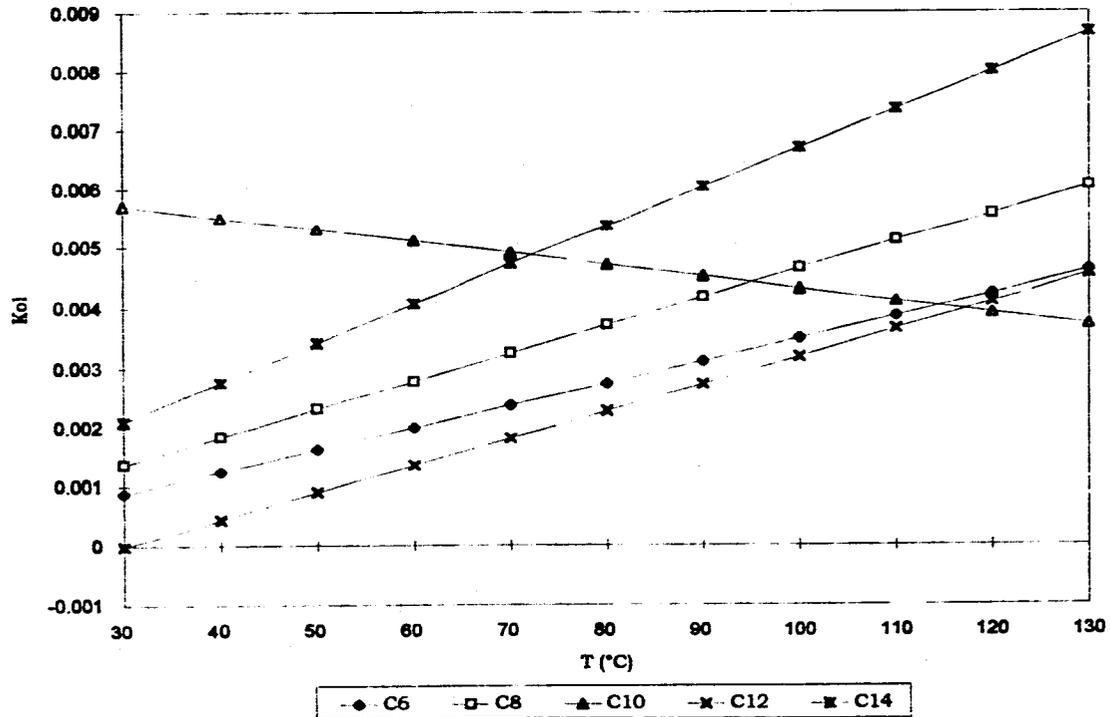
Como primer paso, se determinó, en base a las características físicas del equipo, los flujos tanto de aire como de mezcla de ésteres metílicos de alimentación, de tal manera que fuera posible desarrollar un modelo con coeficientes de transferencia de masa globales efectivos, los cuales consideraran las pérdidas de calor en el equipo, y que dependieran de las condiciones de operación del mismo (Presión en el fondo de la columna, temperatura de alimentación y temperatura de entrada del aire desorbedor).

Así, se procedió a realizar diversas corridas, trabajando dentro de los siguientes intervalos para las variables independientes:

Temperatura de alimentación del aire,  $T_{ai}$ , 20 a 30 °C, de acuerdo con la con las variaciones en la temperatura ambiente.

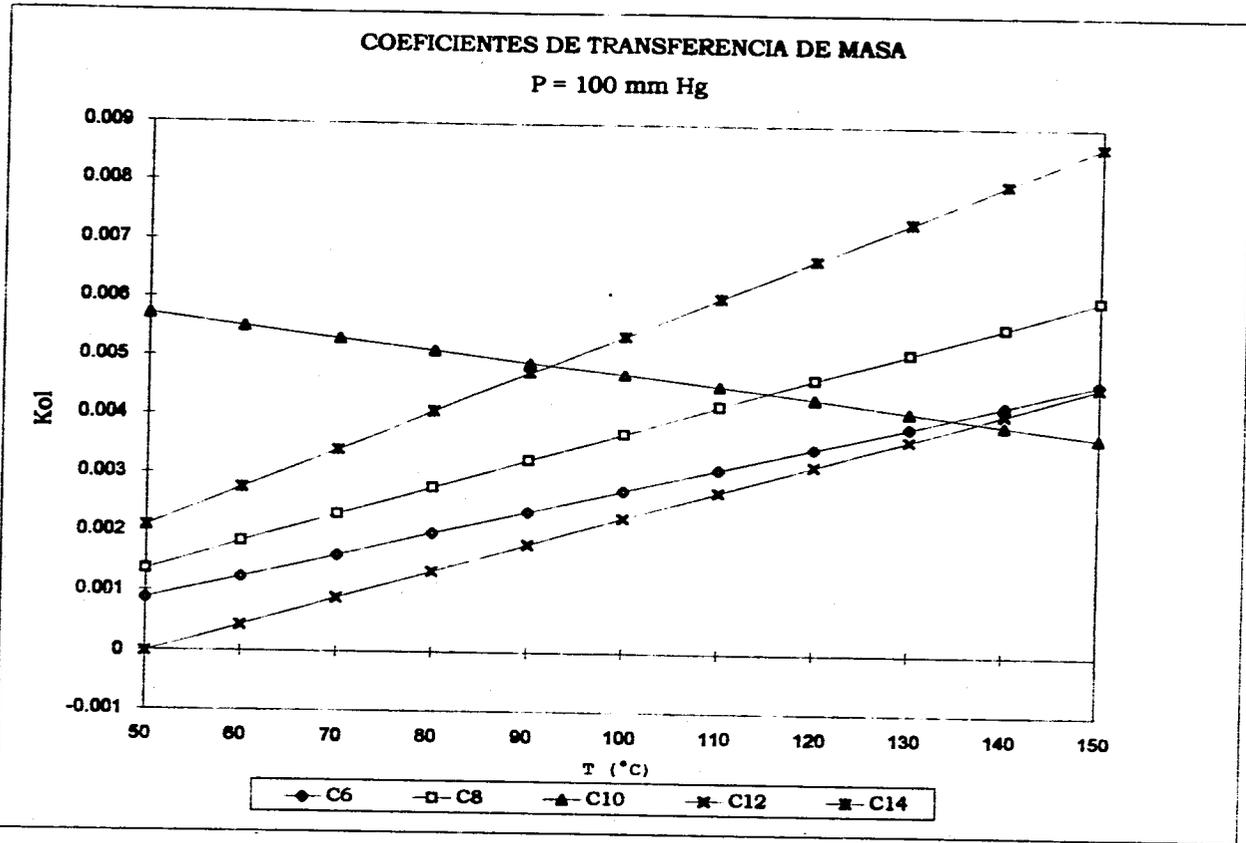
### COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA

P = 60 mm Hg



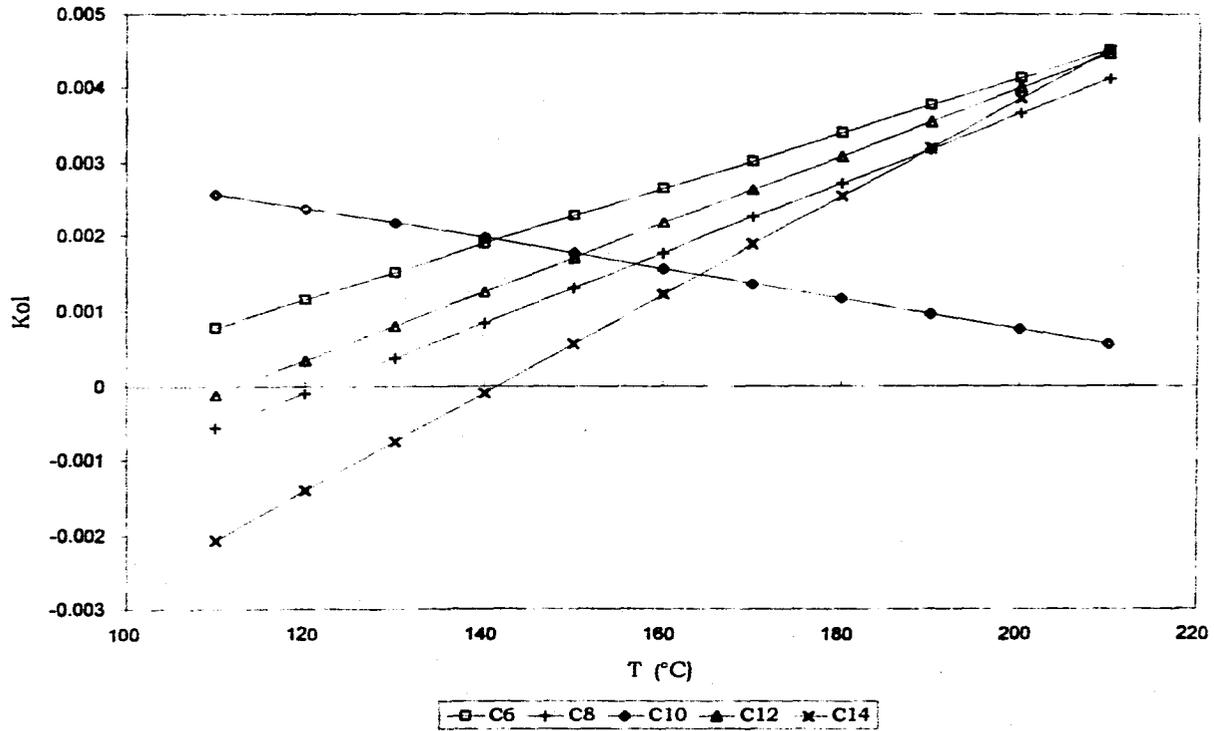
101

GRÁFICA 2

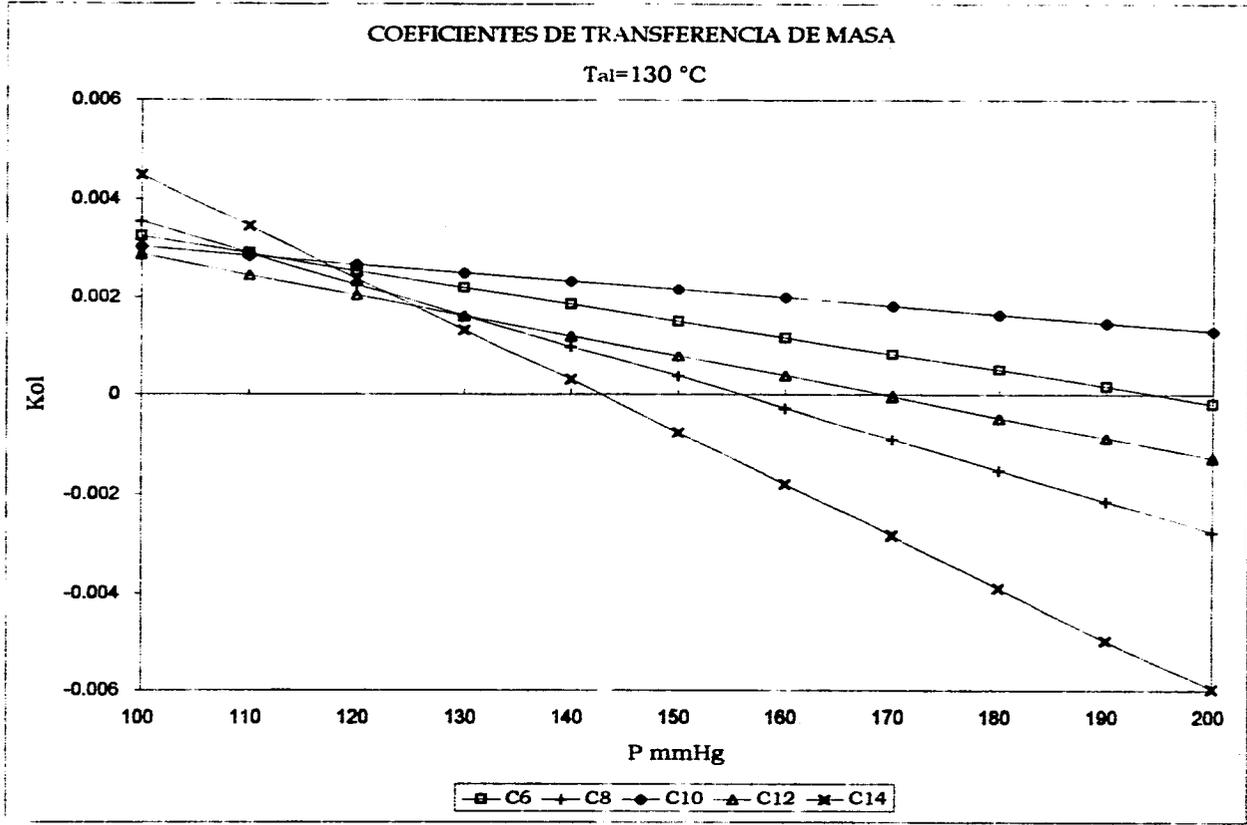


GRÁFICA 3

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA  
P=150mmHg

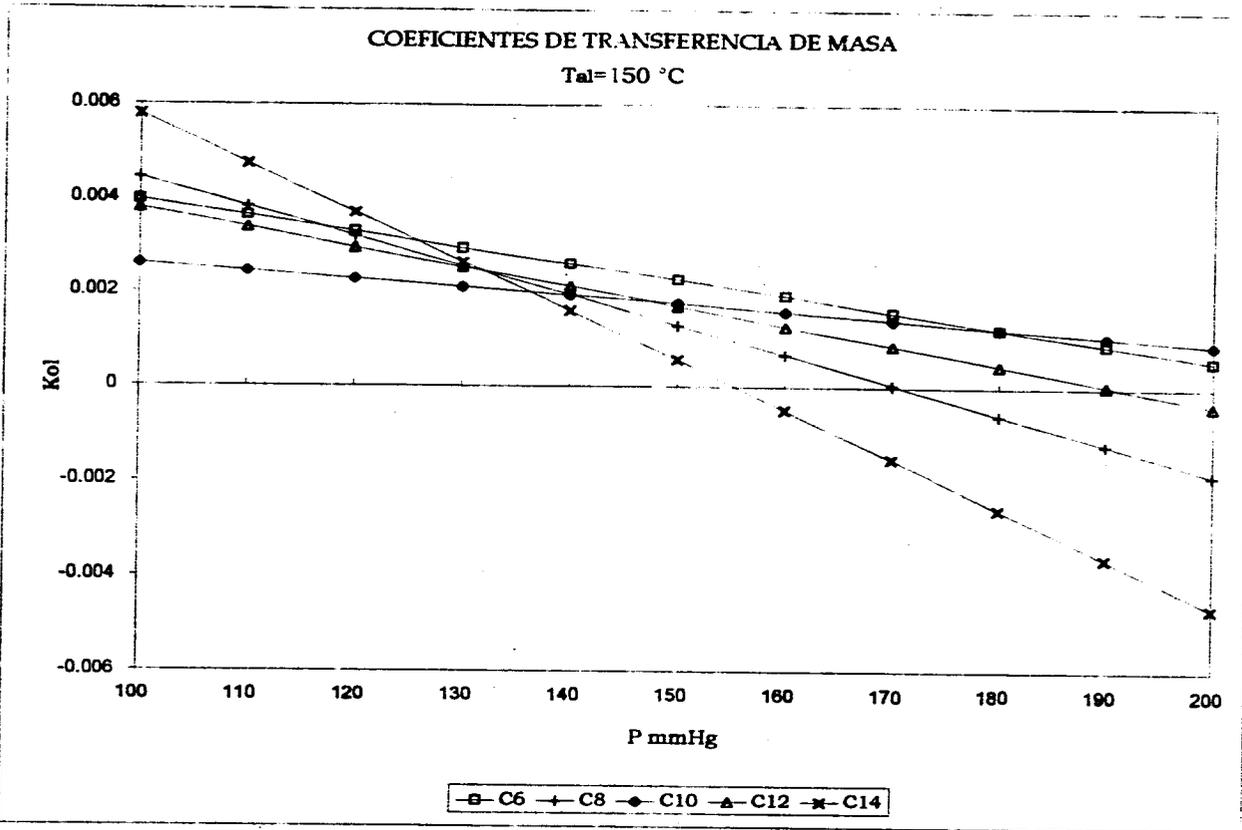


GRÁFICA 4



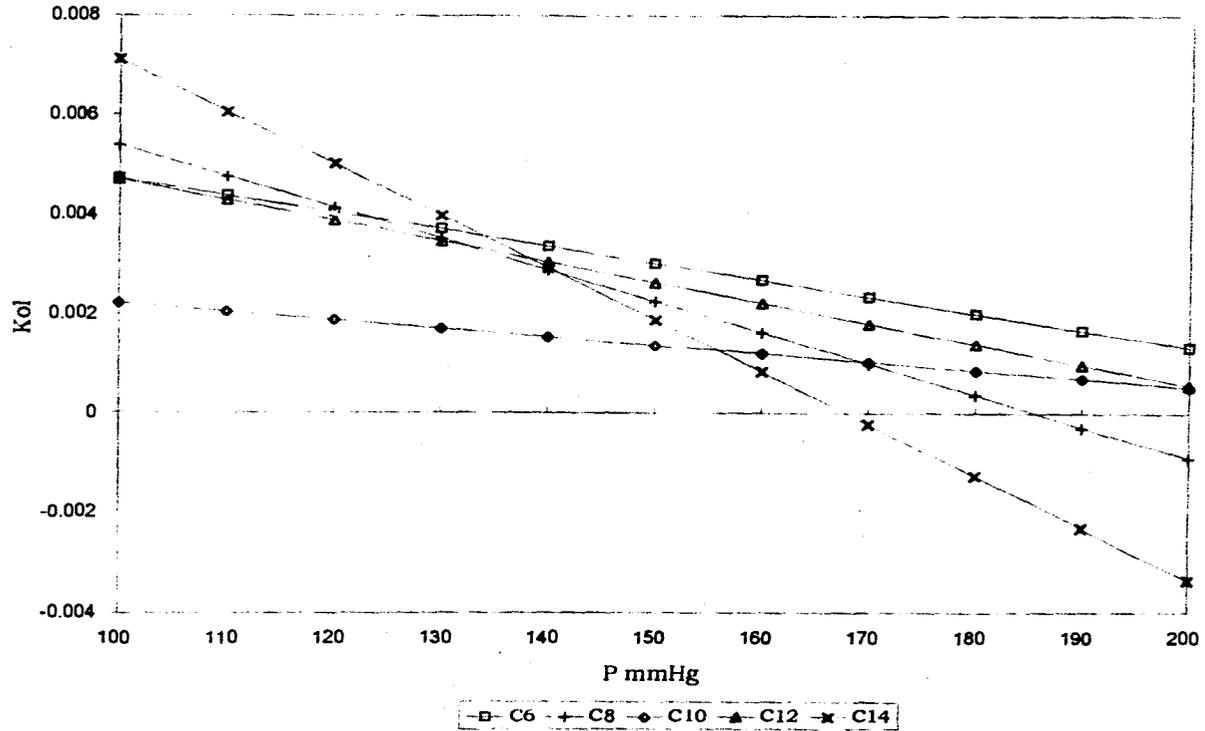
GRÁFICA 5

104



GRÁFICA 6

COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA  
T<sub>al</sub>=170 °C



GRAFICA 7

Temperatura de alimentación de los ésteres metílicos,  $T_{ai}$ , 150 a 200 °C.

Presión del fondo de la columna, 50 a 160 mmHg.

De esta forma el comportamiento se ajustó a un modelo lineal con respecto a nuestras tres variables independientes, del cual a continuación se presenta el modelo obtenido y las siguientes gráficas (Gráficas 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18).

### MODELO DE COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE MASA EFECTIVOS

$K_{ol}$  [g/min·cm<sup>2</sup>]     $T_{ai}$  [°C]     $T_{ai}$  [°C]     $P$  [mm Hg]

$K_{ol}$  = Coeficiente de transferencia de masa global efectivo para la fase líquida.

Capronato de metilo ( $CH_3(CH_2)_4COOCH_3$ )

$$K_{ol} = 3.1986 + 4.043 E-3 * P + 2.395 E-2 * T_{ai} - 1.85 E-2 * T_{ai}$$

Caprilato de metilo ( $CH_3(CH_2)_6COOCH_3$ )

$$K_{ol} = 2.76641 - 0.89 E-3 * P + 2.4463 E-2 * T_{ai} - 1.638 E-2 * T_{ai}$$

Caprinato de metilo ( $CH_3(CH_2)_8COOCH_3$ )

$$K_{ol} = 0.572403 - 3.52 E-3 * P + 0.4137 E-2 * T_{ai} - 1.856 E-2 * T_{ai}$$

Laurato de metilo ( $CH_3(CH_2)_{10}COOCH_3$ )

$$K_{ol} = 3.4475 - 0.39 E-3 * P + 3.055 E-2 * T_{ai} - 3.929 E-2 * T_{ai}$$

En estas gráficas se observa que el modelo sólo es aplicable en las vecindades de las condiciones utilizadas para su desarrollo, y no resulta extrapolable. Esto se

esperaba, ya que los valores de coeficientes de transferencia de masa efectivos dependen enormemente de las características físicas particulares de la columna utilizada, y así mismo de las condiciones que en ella era posible obtener.

Con ayuda del modelo desarrollado, se procedió a determinar, con algunas pruebas más, las condiciones óptimas de operación con las cuales se obtuvo un rendimiento razonable del equipo (una recuperación de laurato de metilo mayor a 90% en el producto de fondos), con una composición de menos de 5% en peso de ligeros en el producto de fondos, suficiente para eliminar en gran medida el olor desagradable de la mezcla original.

#### COLUMNA DE 184 cm

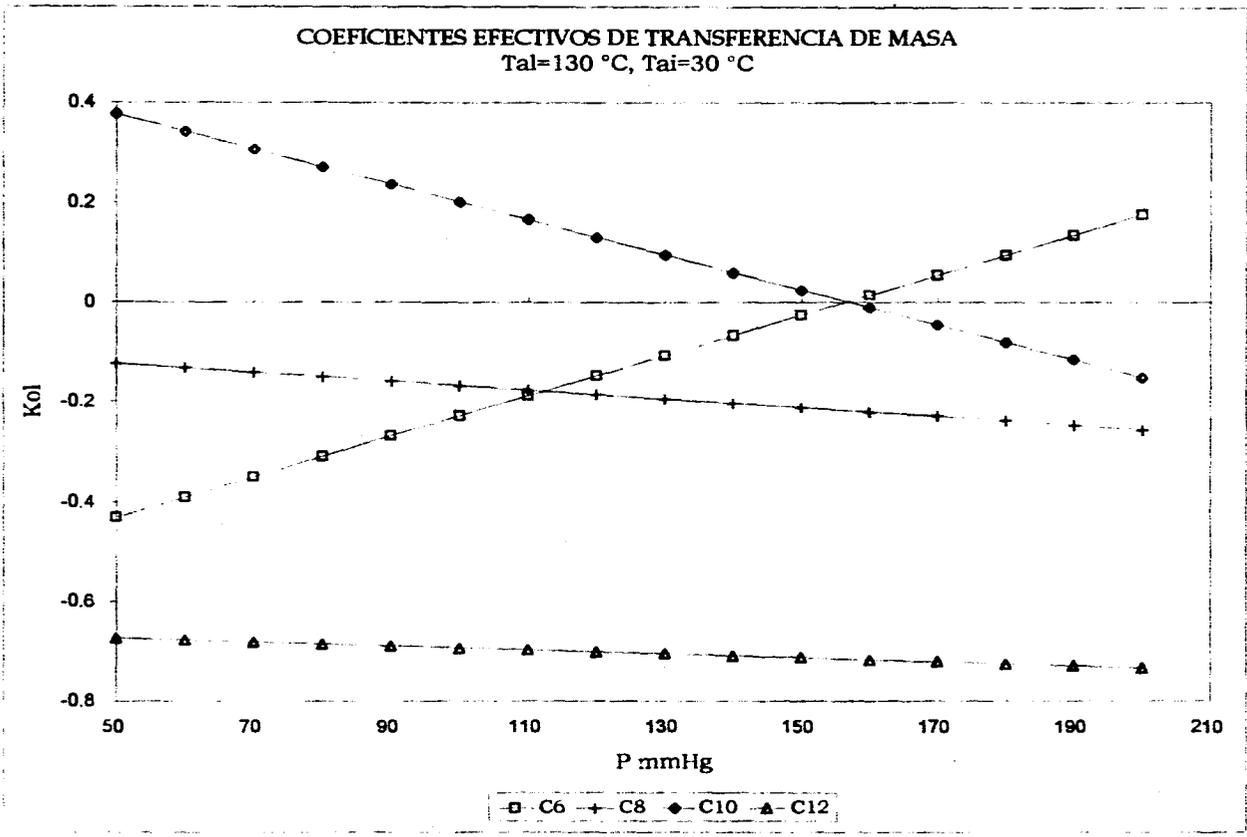
##### Composición de la alimentación (% en peso)

Capronato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOCH}_3$ )	1.014
Caprilato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOCH}_3$ )	7.954
Caprinato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOCH}_3$ )	5.842
Laurato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOCH}_3$ )	60.426
Miristato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOCH}_3$ )	24.764

##### Composición del destilado (% en peso)

Capronato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOCH}_3$ )	8.450
Caprilato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOCH}_3$ )	57.667
Caprinato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOCH}_3$ )	26.434
Laurato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOCH}_3$ )	7.449
Miristato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOCH}_3$ )	0.000

FRACCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN (D/F) 0.12

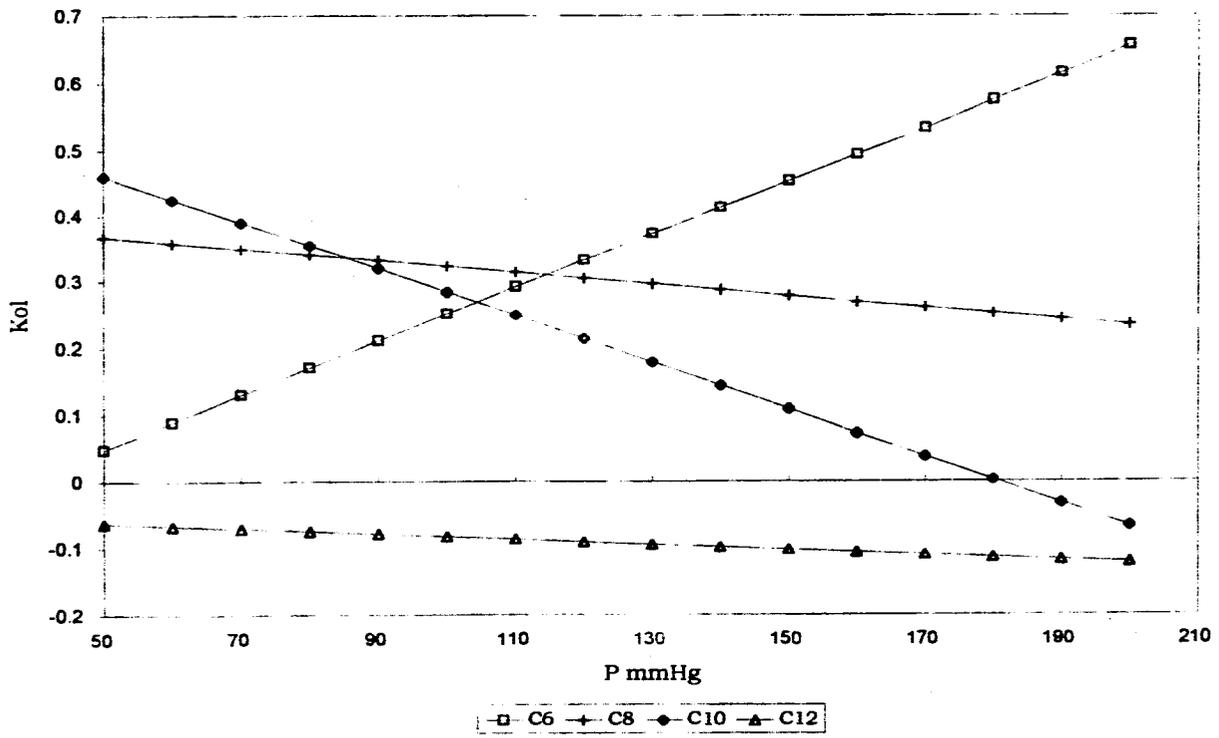


GRAFICA 8



### COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

Tal=150 °C, Tai=30 °C



GRÁFICA 10

III

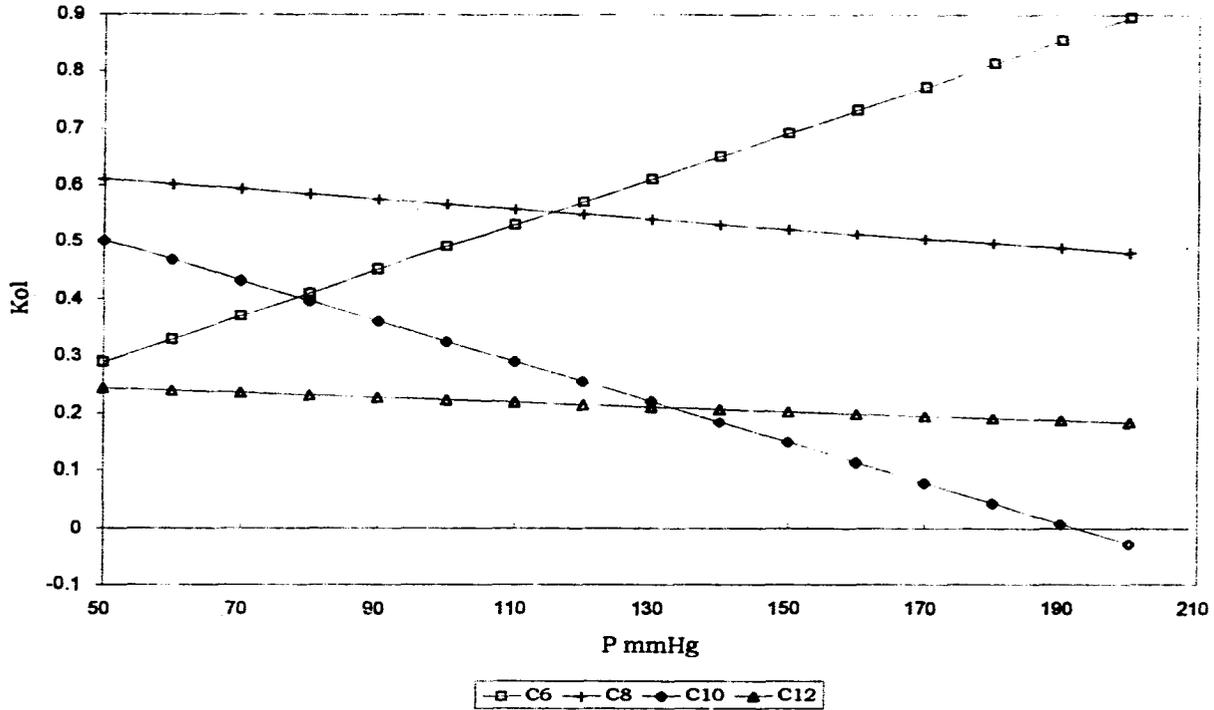
100% of the total population in 1980  
1. 1980 - 1985



1980 - 1985

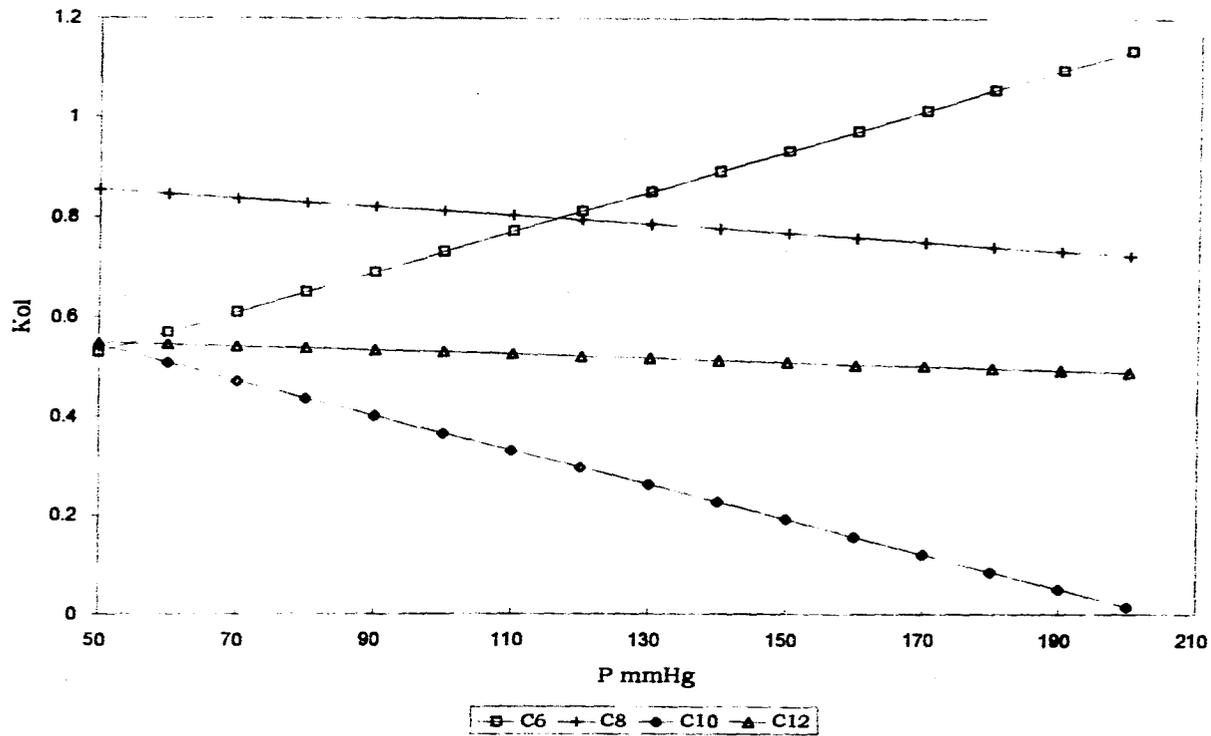
### COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

$T_{al}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ai}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$



### COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

$T_{a1}=170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{a2}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$



GRÁFICA 12

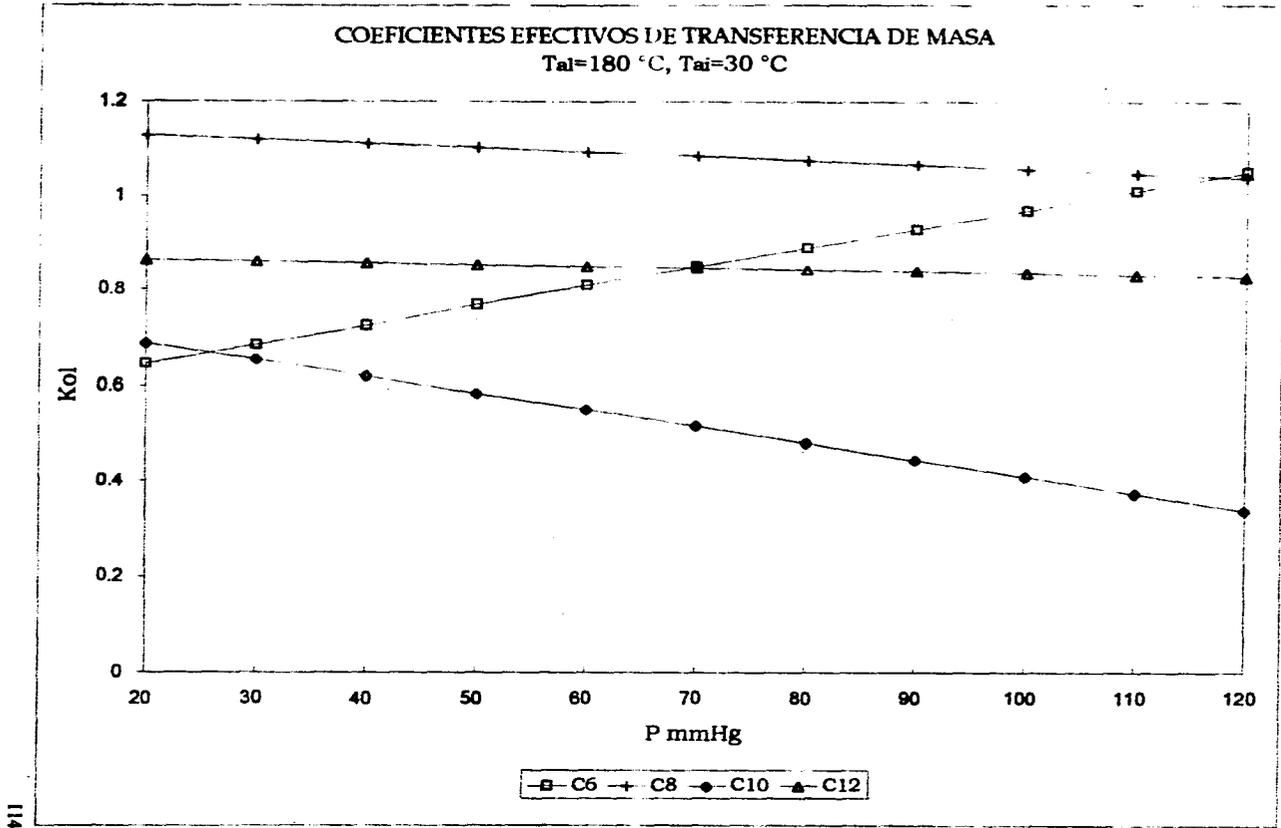
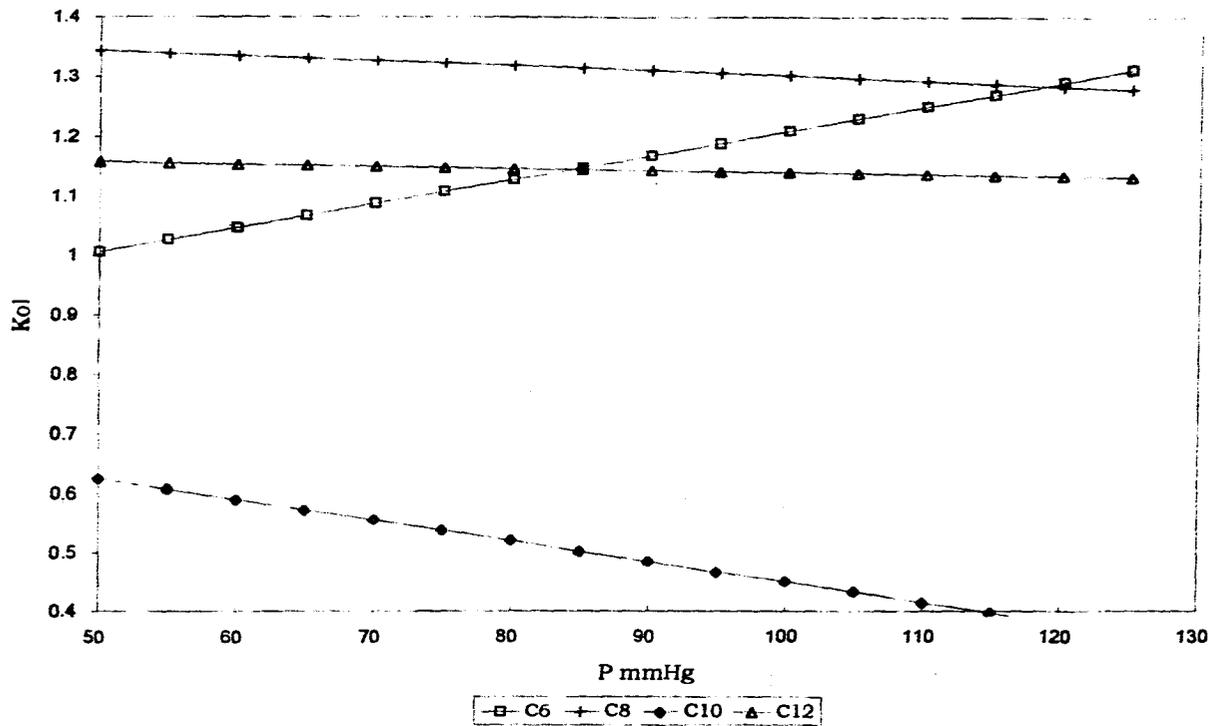


GRÁFICO 13

### COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

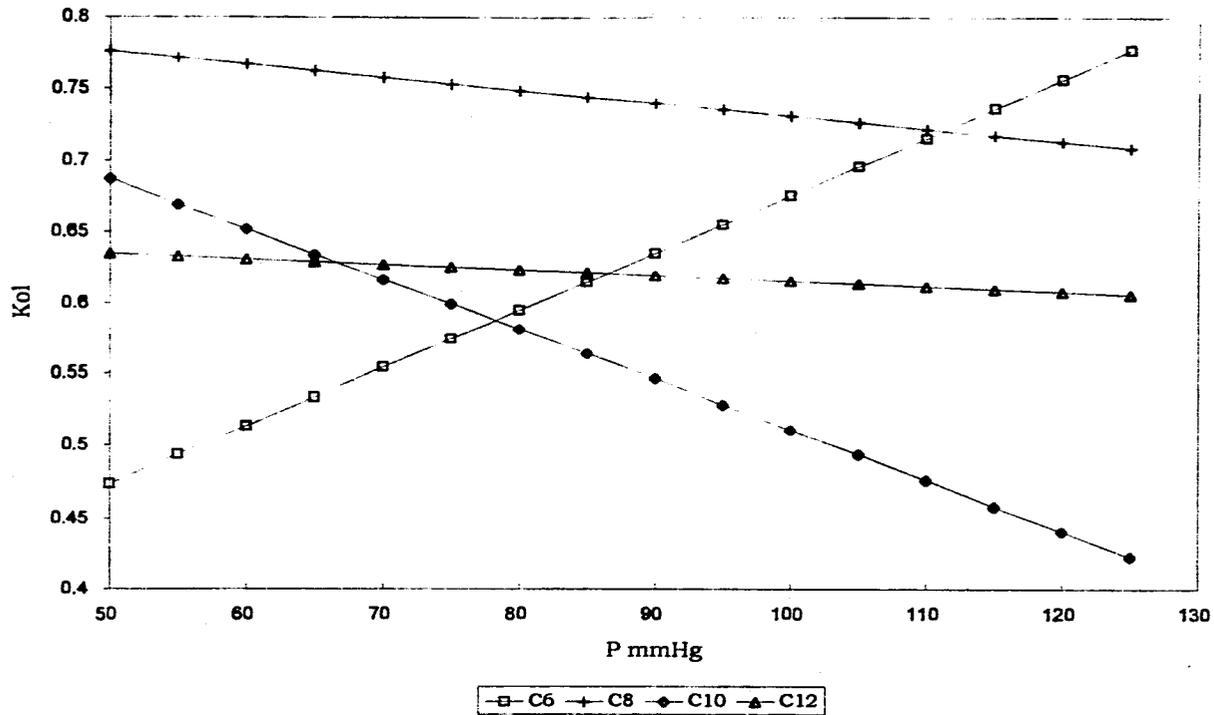
$T_{al}=190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ai}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$



GRÁFICA 14

COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

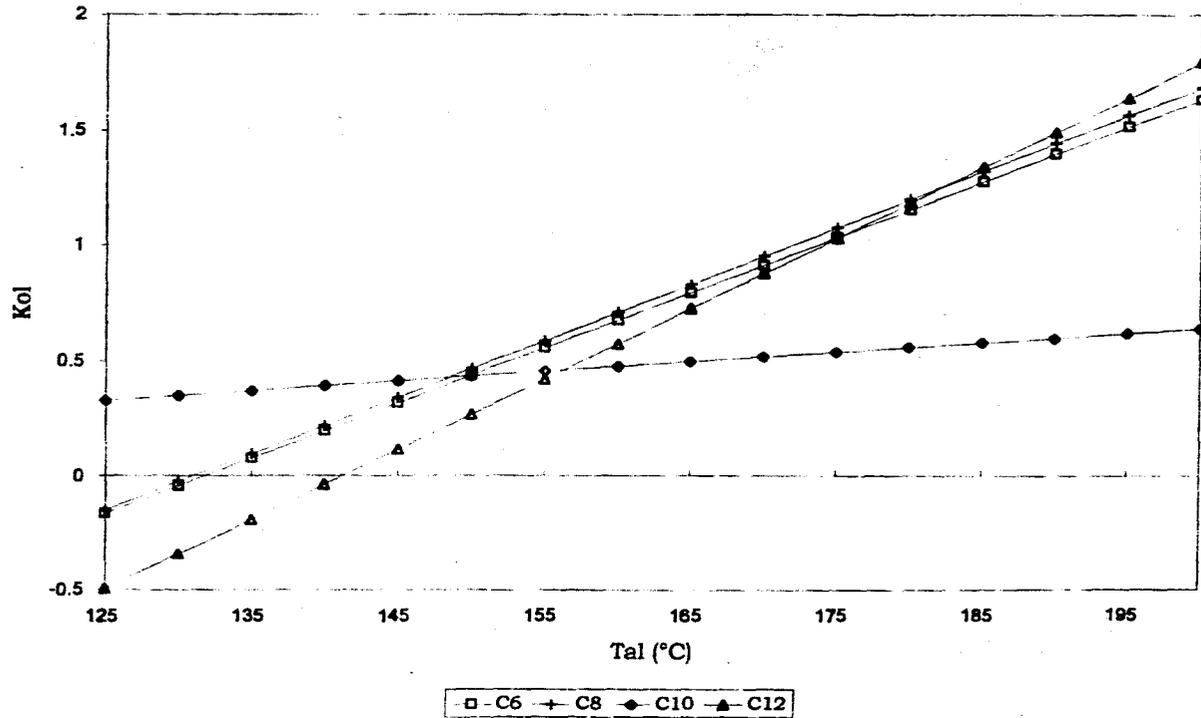
$T_{ai}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{ai}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$



GRÁFICA 15

### COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

$P = 105 \text{ mm Hg, } T_{ai} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$

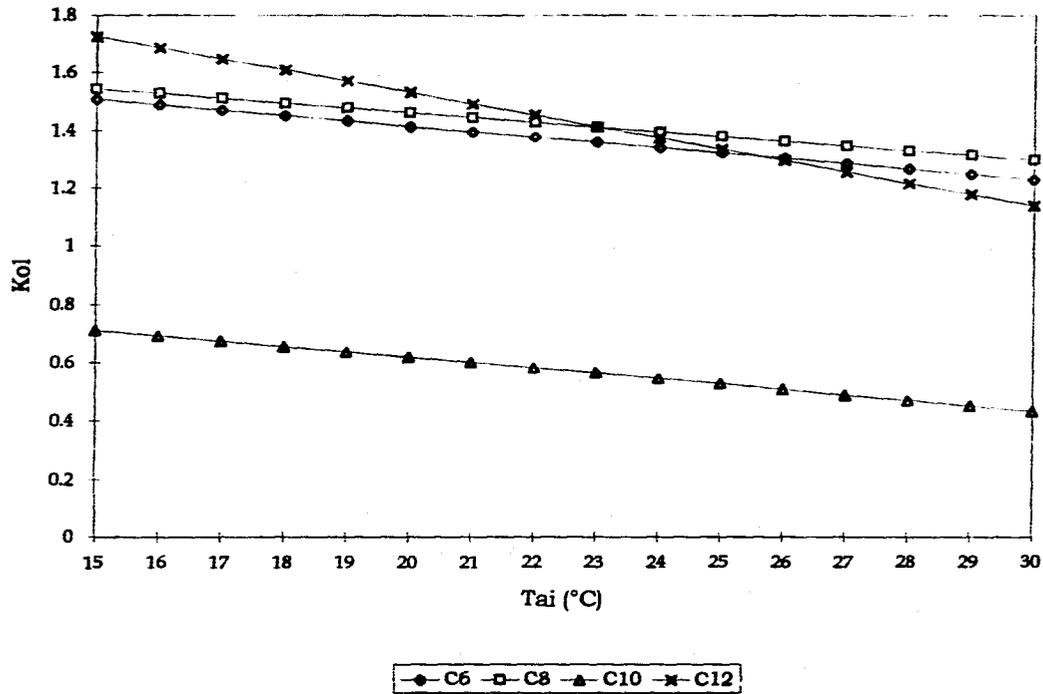


117

GRÁFICA 16

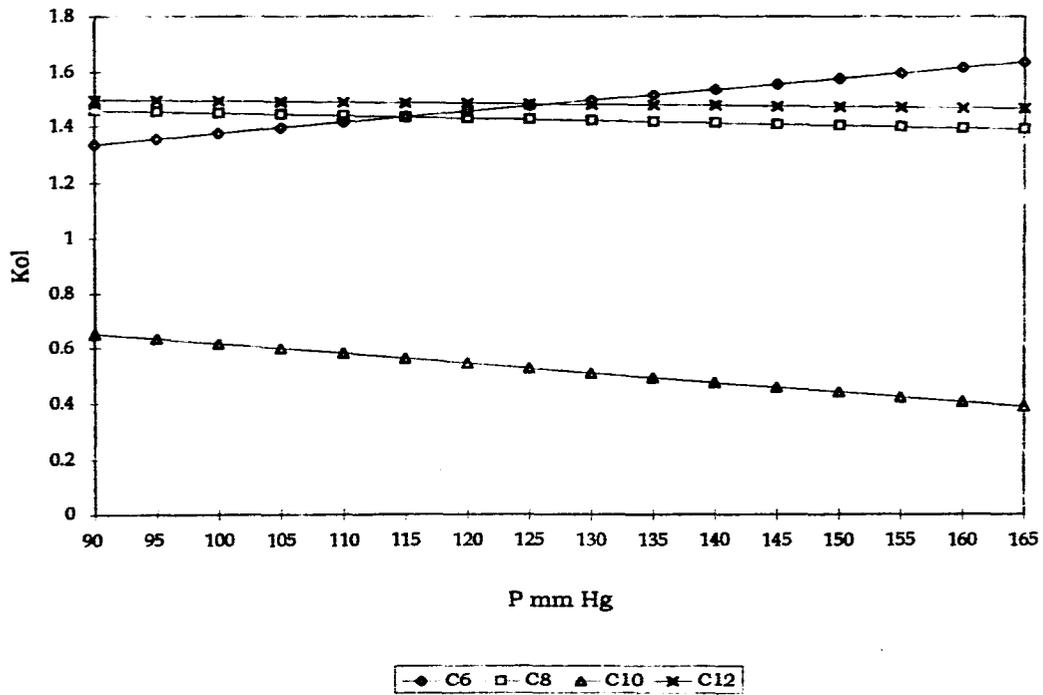
### COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

P = 105 mm Hg,  $T_{al} = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$



### COEFICIENTES EFECTIVOS DE TRANSFERENCIA DE MASA

Tal = 190 °C, Tai = 21 °C



611

GRÁFICA 18

Composición del producto de fondos (% en peso)

Capronato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{COOCH}_3$ )	0.000
Caprilato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOCH}_3$ )	1.175
Caprinato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOCH}_3$ )	3.034
Laurato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOCH}_3$ )	65.377
Miristato de metilo ( $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOCH}_3$ )	30.414

FRACCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN (B/F) 0.88

RECUPERACIÓN DE LAURATO DE METILO EN FONDOS : 95.21 %

TOTAL DE LIGEROS EN FONDOS : 4.209 % (en peso)

Condiciones en la columna

Las condiciones a las cuales se operó la columna para la obtención de los resultados aceptables son:

T alimentación = 190 °C

P en el fondo = 110 mmHg

Gasto de ésteres = 11.15363 g/(min·cm<sup>2</sup>)

Gasto de aire = 8 ft<sup>3</sup>/h = 1.71603 g/(min·cm<sup>2</sup>)

T aire = ambiente (21°C)

T inferior = 70°C

A continuación, con estas condiciones de operación, se procedió a realizar la medición de la caída de presión provocada por el empaque de la columna, con el fin de poder evaluar la presión promedio de operación dentro de ella; esta caída de presión se determinó era de aproximadamente 10 mm Hg.

Con el fin de comprobar la coherencia entre ambos modelos desarrollados, se procedió a determinar, a la presión promedio determinada anteriormente, la temperatura promedio de la columna utilizando los coeficientes de transferencia de masa obtenidos en la columna de 34 cm; lo anterior se logra mediante el trazado de la gráfica de las alturas teóricas de columna de los ésteres metílicos clave (Gráfica 19), en el punto donde se interceptan las líneas de las alturas necesarias para llevar a cabo la transferencia de masa del laurato y el caprinato de metilo, se obtienen las condiciones promedio de operación de la columna.

P promedio de la columna = 105 mm Hg

T promedio de la columna = 119.7°C

Si consideramos una distribución logarítmica de las temperaturas dentro de la columna, mediante el uso de la temperatura promedio logarítmica podemos obtener la temperatura en la parte inferior de la columna:

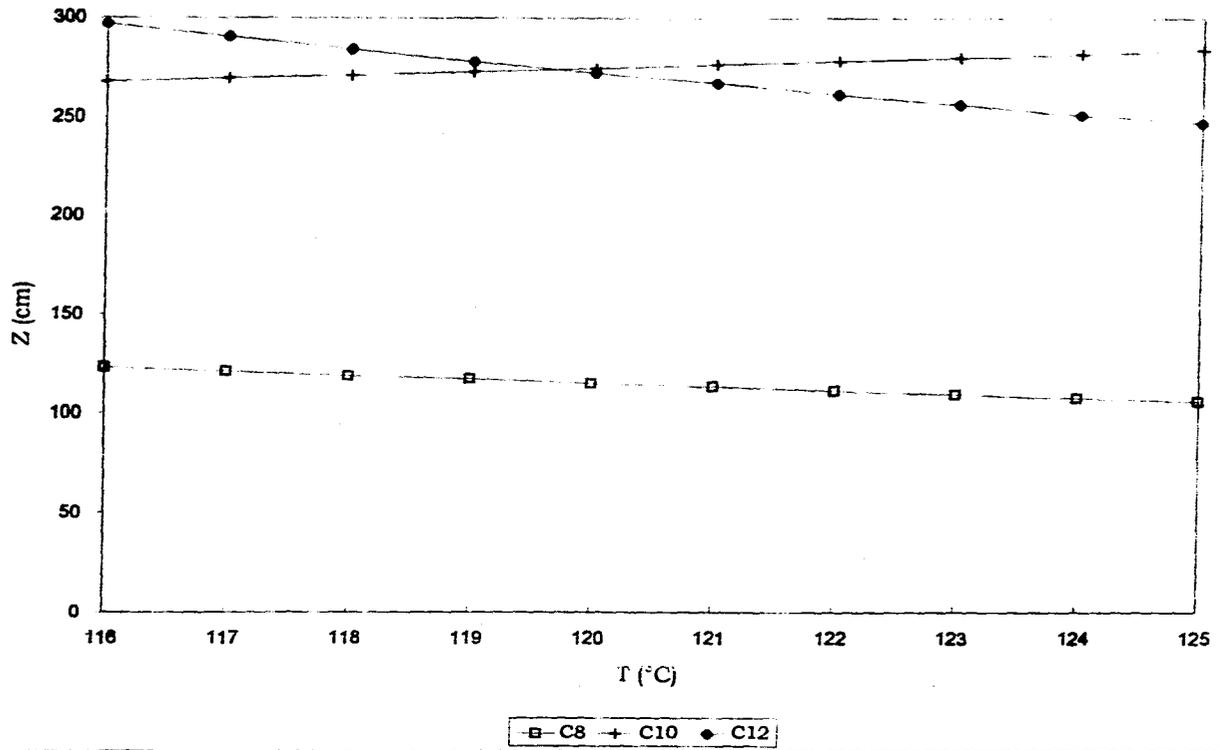
T inferior = 69.337°C

Variación entre la temperatura inferior leída y la calculada = 0.95%

Por lo tanto podemos considerar como válidas las condiciones promedio de la columna, y con ello confirmamos la validez de los datos obtenidos anteriormente, tanto con la columna de 184 cm como con la de menor tamaño.

### ALTURAS TEÓRICAS NECESARIAS

P = 105 mm Hg



GRÁFICA 19

## V.- CONCLUSIONES

Del desarrollo del presente trabajo, se concluye lo siguiente:

A) En cuanto al diseño del sistema de destilación:

- El sistema por desorción, utilizando aire como gas desorbedor, aquí propuesto, resulta útil para bajas capacidades, menores a 1 Ton/Día, para las cuales resulta extremadamente costoso el diseño y construcción de una columna de destilación convencional, que requeriría más de un diámetro. Adicionalmente los gastos de operación de la bomba para generación de vacío y succión de aire, por la pequeña cantidad de éstos requerida, no difieren mucho de aquellos requeridos para la columna convencional, en la cual sería necesario calentar el producto de fondos en el rehervidor.

- El sistema de separación por desorción tiene la ventaja adicional de ser más flexible que una columna convencional, puesto que pueden cambiarse temperaturas, flujos tanto de ésteres como de aire y nivel de vacío. Esto es de gran importancia, ya que la composición de la mezcla cruda de ésteres metílicos del aceite de coco varía considerablemente con cada lote que se produce, tanto por las condiciones de control de producción de cada lote de ésteres metílicos, como por la composición misma del aceite, la cual depende de la zona donde se hubieren producido los cocos como por el proceso mismo de obtención del aceite. Esta flexibilidad repercute en un sistema de control más sencillo, confiable y de menor costo.

2. En cuanto a la eficiencia del sector de los productos forestales:

El crecimiento sostenido que se ha observado en los productos no maderables en gran escala comienza por afectar la manera importante de modo indirecto y consecuentemente a nuestros planes. La única acción viable a corto plazo se refiere a conservar naturales para la obtención de productos no maderables.

Actualmente cada vez más productos de carácter maderable comienzan en sus operaciones afectando la dinámica y estructura interna de los bosques, principalmente por su menor capacidad de regeneración. Esta tendencia debe continuarse hasta alcanzar la totalidad del mercado de productos de uso doméstico, por lo que se debe alentar el uso racional de estos productos en el ambiente.

En México contamos con una capacidad importante de producción de coco, la cual se está haciendo cada vez más importante en el mercado nacional tanto del coco mismo como de sus derivados, a los que se le está dando el mismo valor que en el caso de otros productos del mismo tipo. Esto, unido a las ventajas que tiene el sector de coco en el ámbito ambiental, nos conduce a utilizar el sector de coco como materia prima más adecuada para la elaboración de productos forestales.

Con el aumento de la demanda del sector de coco se promoverá e impulsará la nueva planta beneficiadora del coco, y a renovación de las existentes. El consecuente aumento de la oferta de productos de coco, repercutirá en un aumento de la productividad de los cultivos, consecuentemente mejorará el nivel y por lo tanto se dará una mayor competitividad en el mercado interno. Finalmente, el gran número de productos del coco que actualmente son importados, puede incrementar la estabilidad de las relaciones.

B) En cuanto a la aplicación del aceite de coco en tensoactivos:

- Es importante remarcar que el uso de tensoactivos no biodegradables en gran escala terminará por afectar de manera importante el medio ambiente, y consecuentemente a nosotros mismos. La única opción viable a corto plazo es recurrir a derivados naturales para la obtención de productos biodegradables.

Actualmente cada vez más tensoactivos de carácter cosmético contienen en sus formulaciones derivados de alcoholes y ésteres láuricos, de origen vegetal, principalmente por su menor agresividad a la piel humana. Esta tendencia debe continuar hasta alcanzar la totalidad del mercado de tensoactivos de uso doméstico, para poder detener, al menos parcialmente, el deterioro del medio ambiente.

- En México contamos con una capacidad importante de producción de coco, la cual pronto tendrá ocupado totalmente el mercado nacional tanto del coco mismo como de sus derivados, y al igual que en el resto del mundo, esperamos en poco tiempo una sobreoferta del fruto. Esto, aunado a las desventajas que tiene el aceite de coco en la industria alimenticia, nos conduce a indicar al aceite de coco como materia prima más que adecuada para la elaboración de tensoactivos.

- Con el aumento de la demanda del aceite de coco, se promoverá la instalación de nuevas plantas beneficiadoras del cocotero, y la renovación de las ya existentes. El consecuente aumento de las áreas de plantación de cocotero, repercutirá en un aumento de la productividad de los cultivos, consecuentemente debe abaratare el aceite, y por lo tanto, hacerse más competitivos los tensoactivos derivados del mismo. Adicionalmente, el gran número de derivados del cocotero, actualmente poco aprovechados, puede incrementar la rentabilidad de las plantaciones.

- El impacto económico del crecimiento de la industria de derivados del coco, bosquejado en el punto anterior, incrementaría sustancialmente la capacidad económica de las zonas rurales productoras del mismo. De esta forma se mejoraría la distribución de la riqueza, trayendo consigo la disminución de la migración del campo a las ciudades, se fortalecerían las condiciones económicas regionales, y aliviaría la problemática nacional de distribución de la población.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Resplendino Patricio José; Rueda, Rubio Jorge Ramón; Zamora, López Renan Javier, *Análisis de Tecnología Apropriada para la Industrialización de la Palma de Coco*, Tesis, Facultad de Química, U. N. A. M., México, 1975
- Boner, C. J., "Metallic Soaps for Thickening Mineral Oils", *Ind. Eng. Chem.*, **29**, 58-60 (1937)
- Bossert, Roy G., "The Metallic Soaps", *J. Chem. Educ.*, January, 10-14 (1950)
- Casa, Aruta Francisco, *Diccionario de la Industria Textil*, Labor S. A., Barcelona, 1969
- Davis, Richard C., "Washer - Detergent - Textile Interactions", *Hydrocarbon Processing*, **54**, 90-92 (1975)
- Derr, Paul F., "Phosphates: Use in Detergents", *Hydrocarbon Processing*, **54**, 85-87 (1975)
- Fat & Oil News, "Coco-Cheese, Anyone?", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **63**, 1232 (1986)
- Fat & Oil News, "Coconut Briefs", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **65**, 64 (1988)
- Fat & Oil News, "Veg Oil for Aviation Fuel?", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **63**, 190-192 (1986)
- Hatch, Lewis F. Dr., "Synthetic Detergents : Chemistry", *Hydrocarbon Processing*, **54**, 79-82 (1975)
- Ignacio, L. F., "Present & Future of Coconut Oil in World Supply & Trade", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 197-204 (1985)
- Industrial Applications of Surfactants: The Proceedings of a Symposium Organized by the North West Region of the Industrial Division of the Royal Society of Chemistry, University of Salford, 15<sup>th</sup>-17<sup>th</sup> April 1986/Ed. by D. R. Karsa. Serie: Special Publication No. 59.*
- Kalustian, P., "Pharmaceutical and Cosmetic uses for Palm and Lauric Products", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 431-434 (1985)
- Kerfoot, O. Carl; Flammer, H. R., "Synthetic Detergents: Basics", *Hydrocarbon Processing*, **54**, 74-78 (1975)

- Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 2<sup>th</sup> Edition, **19**, 509-519, J. Wiley & Sons, U. S. A., 1969
- Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3<sup>th</sup> Edition, **22**, 332-432, J. Wiley & Sons, U. S. A., 1983
- Kirk-Othmer, *Encyclopedia of Chemical Technology*, 3<sup>th</sup> Edition, **8**, 34-49, J. Wiley & Sons, U. S. A., 1983
- Knaut, J.; Riechtler, H. J., "Trends in Industrial uses of Palm and Lauric Oils", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 317-327 (1985)
- Leist, George G., "Synthetic Detergents: Liquids", *Hydrocarbon Processing*, **54**, 83-85 (1975)
- Longman, G. F., *The Analysis of Detergents and Detergent Products*, J. Wiley & Sons, New York, 1978
- Marshall, Sittig, *Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens*, 3<sup>th</sup> Edition, **2**, 1075-1078, Noyes Publications, N. J., U. S. A., 1991
- Matthews' *Textile Fibers: Their Physical, Microscopic and Chemical Properties*, Haversberger, Herbert Richard, 1896/De. 6th by Staff of Specialist, Wiley, N. Y.
- McGovern, J. N.; Grayson, M., *Encyclopedia of Textiles Fibers, and Nonwoven Fabrics*, John Wiley & Sons, New York, 1984
- Montenegro, H. M., "Coconut Oil and its Byproducts", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 259-261 (1985)
- Rebolledo, Pano María del Rosario, *Proyecto Preliminar de una Planta de Furfural a Partir de Borote de Coco*, Tesis, Facultad de Química, U. N. A. M., México, 1975
- Reck, R. A., "Industrial Uses of Palm Kernel and Coconut Oils: Nitrogen Derivates", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 355-365 (1985)
- Richmond, James M., "Cationic Surfactants, Organic Chemistry", *Surfactant Science Series*, **34**, Marcel Dekker Inc., U. S. A., 1990
- Richmond, Reid C., "Synthetic Detergents: Specialities", *Hydrocarbon Processing*, **54**, 88-89 (1975)
- Richtler, H. J.; Knaut, J., "Challenges of Amature Industry: Marketing and Economics of Oleochemicals in Western Europe", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **61**, 160-175 (1984)

- Riegel's Handbook of Industrial Chemistry, 9<sup>th</sup> Edition, Cap. 26, Van Nostrand Reinhold, N. Y. (1992)
- Rodríguez, Webber Tomás, *Estudio Técnico Económico para la Fabricación de Alcoholes Grasos a partir de Gliceridos*, Tesis, Facultad de Química, U. N. A. M., México
- Rossel, J. B.; King, B.; Downes, M. J., "Composition of Oils", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 221-230 (1988)
- Segalas, Hercules A., "Synthetic Detergents - 1975", *Hydrocarbon Processing*, **64**, 71-74 (1975)
- Shaw, Duncan J., *Introducción a la Química de Superficies y Coloides*, 2ª Edición, Alhambra, España, 1977
- Timms, R. E., "Physical Properties of Oils and Mixture of Oils", *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **62**, 241-248 (1985)
- Toral, M. T., *Fisicoquímica de Superficies y Sistemas Dispersos*, Ediciones Urmo, España, 1973
- Ulecia, Manuel E., De., *Tensoactivos y su aplicación en la Industria*, Sociedad Química de México, México, 1978
- Vargas, Juárez Alfonso René, *Alternativas Técnicas para el Aprovechamiento Integral del Cocotero*, Tesis, Facultad de Química, U. N. A. M., México, 1986
- Whitmore, W. F.; Lauro, M., "Metallic Soaps - Their Uses, Preparation, and Properties" *Ind. Eng. Chem.*, **22**, 646-649 1930
- Young, F. V. K., "Palm Kernel and Coconout Oils: Analytical Characteristics, Process Technology and Uses" *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **60**, 374-379 (1983)