

FUES  
1506  
E216  
1994  
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



"RECUPERACION DE GRASAS RESIDUALES DE  
TENERIAS Y SU USO INDUSTRIAL"

TRABAJO DE GRADUACION PRESENTADO POR:

**EDUARDO ENRIQUE GARCIA**

**JUAN RODOLFO RAMIREZ GUZMAN**

15101007

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

15101007

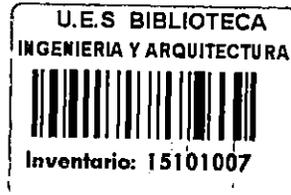


JUNIO DE 1994

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CENTROAMERICA

R/21/04/94

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA



TRABAJO DE GRADUACION PREVIO A LA OPCION AL GRADO DE

## INGENIERO QUIMICO

RECUPERACION DE GRASAS RESIDUALES DE TENERIAS  
Y SU USO INDUSTRIAL

PRESENTADO POR:

EDUARDO ENRIQUE GARCIA

JUAN RODOLFO RAMIREZ GUZMAN

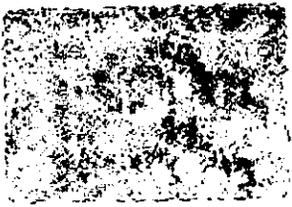
TRABAJO DE GRADUACION APROBADO POR:



Director: Lic. VICTOR MANUEL SEGURA LEMUS

ASESORA: ING. EUGENIA SALVADORA GAMERO RODRIGUEZ

SAN SALVADOR, JUNIO DE 1994



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR : DR. FABIO CASTILLO FIGUEROA  
SECRETARIO GENERAL : LIC. MIRNA ANTONIETA PERLA DE ANAYA

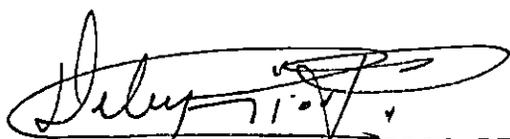
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO : ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR  
SECRETARIO : ING. JOSE RIGOBERTO MURILLO CAMPOS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

DIRECTORA



  
M. SC. DELMY DEL CARMEN RICO PEÑA

## AGRADECIMIENTOS

Queremos patentizar nuestros agradecimientos al Lic. Víctor Manuel Segura Lemus y a la Ingeniero Eugenia Salvadora Gamero Rodríguez, Coordinador y Asesora de este Trabajo, respectivamente, asimismo a la Ingeniero Delmy del Carmen Rico Peña por su aporte en la etapa final.

Agradecemos a los trabajadores y propietarios de la Empresa Tenería El Búfalo S.A. de C.V. por la receptividad y disponibilidad que mostraron durante el desarrollo de este Trabajo.

Es necesario reconocer la valiosa colaboración prestada por la señorita Sandra Recinos y los señores Manuel Antonio Morán y Juan Rodolfo Mendoza, a los cuales sinceramente agradecemos.

De manera muy especial queremos agradecer a la larga lista de amigos, que de una forma desinteresada nos brindaron su solidaridad a lo largo de este camino recorrido

## DEDICATORIA.

A Dios y María Auxiliadora por haberme iluminado en mi camino.

A mis Padres, Rafael y María Teresa, por ser mi apoyo, especialmente a mi Madre que es el principal motivo de todas mis luchas.

A mis hermanos.

A mis sobrinos por ser mi fuente de inspiración .

A mis amigos que me acompañaron y ayudaron en los momentos difíciles.

Eduardo Enrique.

## DEDICATORIA.

A Jesucristo el Hijo del Dios Vivo, Señor del Universo, para  
El sea toda la Gloria.

Al Noble Pueblo Salvadoreño

A la Universidad de El Salvador

A mí Padre Alejandro

A mí Madre Angela por su amor, abnegación y sacrificios sin  
limites.

A mis hermanos:

Yolanda, Carlos y Angelita, por su apoyo incondicional.

A mí Esposa Ada Eleonora, por su amor y comprensión.

A mis hijos:

Alex, Elenita y Juancito, por ser mi inspiración diaria.

A mis Amigos, por que me hicieron más alegre y llevadero todo  
este proceso.

Juan Rodolfo

## RESUMEN

El problema central a resolver consiste en diseñar un equipo que sea capaz de separar la grasa del resto de componentes de la carnaza residual en los desechos de la industria de curtiembre. El trabajo se inicia haciendo un estudio generalizado del proceso de curtiembre, con énfasis en el proceso de descarne debido que en éste se obtiene el desecho (carnaza); por ser la grasa el producto de interés se estudian sus propiedades fisicoquímicas más importantes para los objetivos del estudio.

Posteriormente se detallan los resultados obtenidos del trabajo de campo realizado en 13 tenerías representativas a nivel nacional, con el objetivo primordial de conocer los diversos sistemas de curtido, volúmenes de producción, destino de desechos, etc. de manera que permitan al lector tener una idea generalizada del estado actual de las tenerías.

El Capítulo 2 está dedicado al diseño y construcción del equipo de separación usado, para lo cual fué necesario iniciar con una etapa experimental previa, de familiarización con la materia prima que permitió establecer las composiciones en masa de los componentes más significativos que integran la carnaza, con esta base se procedió a diseñar el sistema de separación que se usó.

Los resultados experimentales obtenidos con el equipo construido son procesados estadísticamente para su correspondiente validación, lográndose una extracción del 18.04% de grasa con respecto al total del desecho procesado; lo cual representa el contenido del capítulo 3.

En el capítulo 4 se analiza la grasa obtenida con el objeto de determinar su calidad mediante cuatro índices que requiere la industria jabonera; finalmente se indica la manera como se fabricó el jabón, según lo que recomienda la bibliografía (9).

## INDICE

CONTENIDO.	pág.
RESUMEN .....	vii
INTRODUCCION .....	1
CAPITULO 1: MARCO TEORICO.	
1.1.- GENERALIDADES SOBRE LA INDUSTRIA DE LAS TENERIAS .....	2
1.1.1.- Materia prima o piel .....	2
1.1.2.- Proceso de curtido .....	3
1.1.3.- Tipos de curtiembre .....	7
1.2.- QUIMICA DE LAS GRASAS .....	8
1.2.1.- Clasificación .....	9
1.2.2.- Componentes de las grasas: Acidos grasos .....	9
1.2.3.- Clasificación de los acidos grasos .....	10
1.2.4.- Nomenclatura .....	11
1.2.5.- Propiedades físicas .....	12
1.2.5.1.- Punto de ebullición .....	14
1.2.5.2.- Punto de fusión .....	14
1.2.5.3.- Solubilidad .....	15
1.2.6.- Propiedades químicas .....	15
1.2.6.1.- Halogenación .....	15
1.2.6.2.- Oxidación .....	16
1.2.6.3.- Saponificación .....	16
1.2.7.- Grasas y aceites naturales .....	17
1.2.8.- Fuentes de grasas y aceites .....	18
1.2.9.- Parámetros de caracterización de las grasas .....	20
1.2.9.1.- Punto de fusión .....	20
1.2.9.2.- Índice o grado de saponificación .....	20
1.2.9.3.- Índice de Yodo .....	21
1.2.9.4.- Rancidez .....	21

1.2.9.5.- Índice de Acidez. Acidos grasos libres (AGL) ...	22
1.3.- SEBO DE RES Y SU USO EN LA FABRICACION DE JABON .....	23
1.4.- DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS TENERRIAS EN EL SALVADOR .....	24

## CAPITULO 2: DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS Y EXPERIMENTACION PRELIMINAR.

2.1.- PARTE EXPERIMENTAL PRELIMINAR .....	28
2.1.1.- Caracterización de la materia prima (Carnaza) .....	28
2.1.2.- Preparación de la muestra .....	28
2.1.3.- Determinación del porcentaje de humedad .....	29
2.1.4.- Determinación del porcentaje de grasa .....	34
2.1.5.- Determinación del porcentaje de sólidos libres de grasa .....	38
2.2.- DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS .....	40
2.2.1.- Generalidades .....	40
2.2.2.- Tanque y Rodete .....	41
2.2.3.- Cesta Tamiz .....	44
2.2.4.- Sistema de soporte y aislamiento térmico .....	44
2.2.5.- Sistema de separación de la emulsión .....	44
2.2.6.- Estimación de la carga de calor usada en el proceso de separación .....	44
2.2.7.- Potencia consumida en la agitación .....	52
2.2.8.- Sistema eléctrico .....	55
2.2.9.- Diseño experimental .....	57
2.2.10. Identificación de variables involucradas en el proceso .....	60
2.2.11. Tamizado de variables .....	60
2.2.12. Mecanismo de la experimentación .....	62
2.2.13. Modelo de diseño experimental .....	63

### CAPITULO 3: METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACION.

3.1.- DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL .....	65
3.1.1.- Recolección de la materia prima .....	65
3.1.2.- Preparación de la materia prima .....	65
3.1.3.- Proceso de separación .....	66
3.1.4.- Separación de la grasa de la emulsión formada .....	66
3.2.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA EXPERIMENTAL .....	67
3.3.- EVALUACION ESTADISTICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	69
3.3.1.- Evaluación del análisis de varianza (ANOVA) .....	69
3.3.2.- Evaluación de la diferencia mínima significativa (DMS) .....	73
3.3.3.- Evaluación de la DMS para la variable tiempo .....	73
3.3.4.- Evaluación de la DMS para la variable temperatura ..	75
3.3.5.- Evaluación de la DMS para la interacción .....	75
3.4.- DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO PARA LA EXPERIMENTACION .....	78
3.5.- OPTIMIZACION DE LAS VARIABLES TEMPERATURA Y TIEMPO QUE PREDICEN EL MEJOR RENDIMIENTO .....	82

### CAPITULO 4: CALIDAD DE LA GRASA RECUPERADA Y FABRICACION DEL JABON.

4.1.- DETERMINACION DE LA CALIDAD DE LA GRASA RECUPERADA .....	85
4.1.1.- Determinación del Índice de Yodo .....	85
4.1.2.- Determinación del Índice de Acidez Acidos grasos libres .....	88
4.1.3.- Determinación del Índice de Saponificación .....	90
4.2.- FABRICACION DEL JABON .....	93
4.3.- DISCUSION DE RESULTADOS .....	93
5.0.- OSERVACIONES .....	98

6.0.- CONCLUSIONES .....	100
7.0.- RECOMENDACIONES .....	101
8.0.- REFERENCIAS .....	103

## ANEXOS

ANEXO 1. FORMATO DE LA ENCUESTA REALIZADA PARA DETERMINAR EL ESTADO ACTUAL DE LAS TENERIAS EN EL SALVADOR .....	107
ANEXO 2.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS DE CARNAZA DE TENERIA .....	109
ANEXO 2.2 VISTA SUPERIOR E INTERNA DEL TANQUE, RODETE, SISTEMA DE AISLAMIENTO Y UBICACION DE RESISTENCIAS PARA EL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS DE CARNAZA DE TENERIA .....	110
ANEXO 2.3 SISTEMA DE AGITACION INTEGRADO, FORMADO POR MOTOR Y AGITADOR DE 1 RODETE CERRADO DE TURBINA DE 4 PALAS PLANAS .....	111
ANEXO 3 CODIGO DE COLORES PARA LA ESTIMACION DE TEMPERATURA EN ACEROS .....	112
ANEXO 4 PROPIEDADES DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE VAPOR DE AGUA (11) .....	113
ANEXO 5 CARTA PARA LA ESTIMACION DEL NUMERO DE POTENCIA PARA DIVERSAS GEOMETRIAS DE TANQUES AGITADOS (13) .....	114
ANEXO 6 VALORES DE F CRITICO PARA DETERMINADOS GRADOS DE LIBERTAD DEL ERROR Y NIVELES DE SIGNIFICANCIA (14) .....	115
ANEXO 7 TABLA t DE STUDENT (15) .....	116
ANEXO 8 SECUENCIA DEL PROCESO UTILIZADO PARA LA RECUPERACION DE GRASA RESIDUAL DE TENERIAS .....	117

ANEXO 9.1 METODO AOAC 26.020-26.021 PARA LA  
DETERMINACION DEL INDICE DE YODO EN  
GRASAS Y ACEITES ..... 119

ANEXO 9.2 METODO AOAC 28.032 PARA LA  
DETERMINACION DEL INDICE DE ACIDEZ ..... 120

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1: Tipos de nomenclatura y simbología para ácidos grasos .....	13
TABLA 1.2: Solubilidad de ácidos grasos en solventes orgánicos .....	15
TABLA 1.3: Composición típica en porcentaje peso e Índice de Yodo para algunas grasas .....	18
TABLA 2.1: Resultado de la determinación del contenido de humedad de la carnaza, aplicando el método de destilación con Trampa de Tolueno .....	34
TABLA 2.2: Resultado de la determinación del contenido de grasa en la carnaza aplicando el método de extracción por Soxhlet .....	37
TABLA 2.3: Resultados de la determinación del contenido de sólidos libres de gras en la carnaza .....	39
TABLA 2.4: Composición típica de la carnaza en base a análisis según Sección 1.1 .....	40
TABLA 3.1: Resultados obtenidos en la etapa experimental del rendimiento de recuperación de grasa de la carnaza por tratamiento térmico en función de temperatura y tiempo de procesamiento .....	67
TABLA 3.2: Rendimientos reportados en base a un rendimiento patrón de 23.4% p/p de grasa en la carnaza .....	68
TABLA 3.3: Datos para la determinación de la regresión .....	79
TABLA 3.4: Diferencia entre el rendimiento experimental y rendimientos predichos por el análisis de regresión aplicado, utilizando el programa de computación AXUM (16) .....	81
TABLA 3.5: Resultados de la optimización al aplicar la ecuación 3.5 para una temperatura de 80°C y un tiempo de 195.43 minutos .....	84

TABLA 4.1: Resultados obtenidos en la determinación del Índice de Yodo para la grasa recuperada de carnaza de tenería .....	87
TABLA 4.2: Resultados obtenidos para la determinación del Índice de Acidez para la grasa recuperada de carnaza de tenería .....	89
TABLA 4.3: Resultados obtenidos obtenidos en la determinación del Índice de Saponificación para la grasa recuperada de carnaza de tenería .....	92
TABLA 4.4: Comparación entre el valor experimental y el valor bibliográfico para los índices de calidad requeridos en grasas para fabricación de jabón .....	92
TABLA 4.5: Cantidades usadas en la elaboración de jabón utilizando la grasa recuperada de la carnaza de tenerías, aplicando las formulaciones sugeridas en la referencia 9 .....	93

## INDICE DE CUADROS

CUADRO 1.1: Volúmenes de producción de cueros en las tenerías de El Salvador .....	26
CUADRO 3.1: Ordenamiento de los resultados obtenidos de acuerdo al diseño experimental factorial completo .....	70
CUADRO 3.2: ANOVA de evaluación del efecto de temperatura y tiempo en la recuperación de grasa de carnaza de tenerías .....	72
CUADRO 3.3: DMS para la variable tiempo .....	74
CUADRO 3.4: DMS calculada para el tiempo .....	74
CUADRO 3.5: Evaluación de la DMS para la variable temperatura .....	75
CUADRO 3.6: DMS para las interacciones temperatura-tiempo en el proceso de recuperación de grasa de carnaza de tenería .....	76
CUADRO 3.7: DMS calculada para interacciones temperatura-tiempo .....	77
CUADRO 3.8: Tratamientos no significativos en las interacciones temperatura-tiempo del tratamiento aplicado .....	78

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Sistema de descarne manual utilizado en tenerías .....	5
FIGURA 1.2: Descarnadora mecánica utilizada en la industria de curtiembre .....	5
FIGURA 2.1: Molino de carne usado para la homogenización de la carnaza (18) .....	30
FIGURA 2.2: Despiece de equipo para la determinación de humedad en grasas .....	32
FIGURA 2.3: Equipo Soxhlet para la determinación del contenido de grasa .....	35
FIGURA 2.4: Sistema de separación de grasas usando calentamiento y agitación diseñado y construido para los propósitos de este estudio .....	42
FIGURA 2.5: Cesta-Tamiz diseñada para la separación de sólidos libres de grasa del equipo de separación .....	45
FIGURA 2.6: Embudo de separación diseñado para la separación de las fases grasa-agua .....	46
FIGURA 2.7: Contrucción general del equipo de separación de grasas diseñado para los objetivos de este estudio .....	47
FIGURA 2.8: Medición de amperaje durante un lote de extracción de grasa para la estimación de la energía consumida .....	51
FIGURA 2.9: Medición de RPM para la estimación del requerimiento de potencia del sistema de agitación .....	53
FIGURA 2.10: Montaje de resistencias al sistema de separación de grasas como fuente de energía para fundir la grasa de la carnaza .....	56
FIGURA 2.11: Control de temperatura instalado en el equipo de separación de grasas descrito en la Sección 2.2.8 .....	58

FIGURA 2.12: Diagrama eléctrico general del sistema de separación de grasas .....	59
FIGURA 3.1: Superficie respuesta de los datos experimentales .....	83
FIGURA 4.1: Secuencia de la recuperación de grasa a partir de carnaza de tenería y su uso en la elaboración de jabón .....	94
FIGURA 4.2: Gráfica de DMS para la variable tiempo .....	97
FIGURA 4.2: Gráfica de DMS para la variable temperatura .....	98

## INTRODUCCION

El deteriorado medio ambiente salvadoreño exige a los ingenieros, y particularmente a los Ingenieros Quimicos, una mayor preocupación en cuanto a su preservación y rehabilitación, cuando se plantean diseños, se ejecutan proyectos o se adaptan los sistemas instalados. Obviamente, esto tiene que ir necesariamente acompañado de decisiva participación empresarial y de una política gubernamental coherente, en la solución de éste problema.

En esta dirección, se plantea en este trabajo un aporte técnico de la Universidad de El Salvador focalizado en la industria nacional de curtiembre, específicamente en el estudio de un desecho conocido con el nombre de "carnaza", el cual en la actualidad no se le da ningún tratamiento.

Este desecho posee considerables cantidades de grasa, el cual cuando es vertido a los cuerpos de agua, enterrado o quemado, contamina prácticamente a todos los biosistemas.

La posibilidad técnica de lograr la separación de la grasa del resto de componentes que constituyen el desecho, aprovechando sus propiedades fisicoquímicas, incentivan un tratamiento debido a que la grasa es una importante materia prima industrial que se usa ampliamente, por ejemplo en la producción de jabón.

En vista de lo anterior se establece en este trabajo un método de separación de la grasa, estableciendo además los índices de calidad de la grasa obtenida que justifican su uso en la fabricación de jabón. De esta manera, se pretende demostrar la factibilidad técnica de los procesos aquí enumerados que posibiliten, de alguna manera, sentar bases científico-técnicas para ulteriores escalamientos de procesos con Tecnologías Limpias de Producción, que coadyuven a resolver los problemas de nuestro entorno.

## CAPITULO 1

### MARCO TEORICO

#### 1.1.- GENERALIDADES SOBRE LA INDUSTRIA DE LAS TENERIAS.

Los cueros de animales han sido empleados por el hombre desde tiempos inmemoriales, en una gran variedad de aplicaciones que van, hoy en día desde el habitual uso doméstico hasta los de alta tecnología.

Las tenerías son las industrias encargadas de procesar las pieles frescas o saladas con el objeto de convertirlas en cueros. La materia prima del proceso de curtiembre es la piel del ganado vacuno principalmente, la cual proviene directamente de los mataderos (piel fresca o verde) o de los comerciantes de pieles nacionales o extranjeras, las cuales se salan a efecto de preservarlas, (piel salada) (1).

##### 1.1.1.- Materia prima o piel.

La piel es el tejido membranoso que envuelve y cubre el cuerpo de todos los animales; este tejido posee gran elasticidad y está formado por dos capas principales, una exterior llamada epidermis, y otra interior, más gruesa, que es la dermis o corión. La epidermis carece de sangre y nervio, y se le considera como producto de las secreciones de la dermis, que se renueva constantemente en su parte interior, en contacto con ésta, mientras que su parte externa va desapareciendo en forma de escamas por el uso; la epidermis y el corión constituyen la porción aprovechable para la manufactura de cueros. La dermis es un tejido membranoso, formado por fibras entreteladas que conforman una especie de fieltro compacto y elástico; y está constituida por dos capas diferentes: la primera en contacto con el cuerpo, contiene las glándulas sebáceas, arterias, venas, raíces de pelo, nervio, mús-

culos y vasos linfáticos (carnaza); la segunda exterior llamada capa de pigmento o capilar, que contiene las papilas nerviosas y vasculares, a las que vienen a terminar las ramificaciones de los sistemas nervioso y vascular del animal. El pigmento que contiene esta capa determina la coloración del pelo que cubre la piel; el pelo es una producción de la epidermis que se alimenta por su raíz en la dermis formando un bulbo albuminoso, y adquiriendo un desarrollo y longitud en relación con la vida, costumbres y clima en que vive el animal (1).

La piel es insoluble en agua a la temperatura ambiente; pero si se eleva hasta el punto de ebullición, y se mantiene algún tiempo en ese estado, la piel se reblandece, transformándose en una masa gelatinosa, que termina disolviéndose; al enfriarse, se cuaja masivamente, formando un producto conocido como cola o "cascamite". La composición en peso aproximada de la piel es: (1)

Carbono .....	51.4
Hidrógeno .....	6.6
Nitrógeno .....	18.2
Oxígeno .....	23.2
Minerales .....	0.2

#### 1.1.2.- Proceso de curtido.

En términos generales se puede decir que la curtiembre es el proceso mediante el cual la piel fresca o salada se convierte en cuero. La operación de curtido tiene por objeto evitar la fermentación pútrida de las pieles, comunicándoles propiedades que las hacen suaves, flexibles, resistentes y al mismo tiempo manteniéndolas inalterables de los efectos causados por los agentes atmosféricos; la piel cuando ha tomado estas propiedades recibe el nombre de cuero (2).

El proceso se lleva a cabo mediante etapas bien diferenciadas, las cuales se detallan a continuación:

a.- Lavado y remojado.

Es el primer proceso en húmedo al que se somete la materia prima. El propósito de esta operación es retirar la sal y restablecer el contenido de humedad en las pieles, además de remover las impurezas adheridas. En las tenerías artesanales este procedimiento se lleva a cabo directamente en los ríos por lo que se denomina "trabajo en río" (2).

b.- Descarnado.

En este proceso se retira de la piel la carnaza que tiene adherida. Existen dos métodos de descarne, el manual y el mecánico. El descarne manual se lleva a cabo en un caballete y con un cuchillo de doble mango como se muestra en la figura 1.1; cabe mencionar que en las tenerías artesanales es donde se usa este método y es otro de los trabajos en río. El otro método consiste en el uso de una máquina llamada descarnadora, en la cual la piel se alimenta a un rodillo y mediante una cuchilla helicoidal se separa la piel de la carnaza, la cual es trasladada a los lugares donde se entierra o es drenada directamente al río. Este tipo de máquina puede observarse en la figura 1.2 (2).

El desecho de esta etapa constituye el objeto de estudio e investigación de este trabajo, debido a que la grasa que lo acompaña es susceptible de separación logrando por un lado evitar la alta contaminación que produce y por otro el beneficio económico que se lograría con la separación de la grasa. Cabe mencionar que esta etapa se realiza en otras tenerías después del pelambre, en el cual se usan químicos tales como  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y sales de azufre los cuales quedarían adheridos a la carnaza, lo que influiría en la calidad de la grasa que se obtendría.

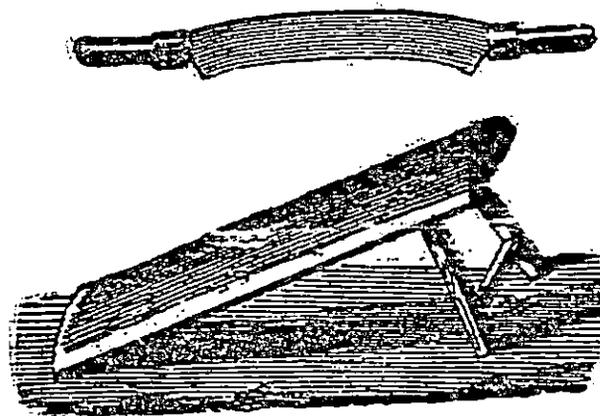


Figura 1.1 Sistema de descarne manual utilizado en tenerias (1).

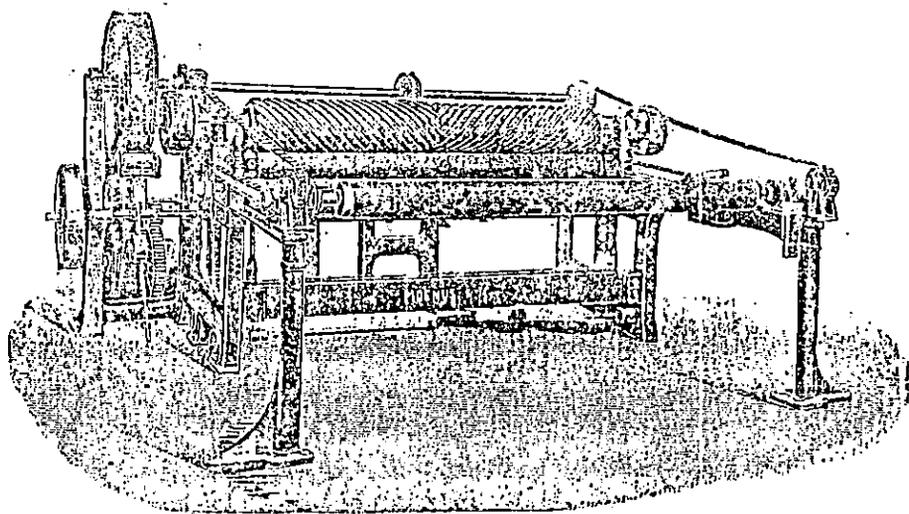


Figura 1.2 Descarnadora mecánica utilizada en la industria de curtiembre (1).

c.- Pelambre.

En este proceso los pelos son aflojados mediante la acción química de la lechada de cal y aceleradores, como el Sulfato ácido de sodio o el Sulfato de sodio, tiene por objeto abrir la piel, dilatando los poros y produciendo además la reacción que destruye la adherencia del pelo a la epidermis (2).

d.- Desencalado.

El propósito de este proceso es la eliminación de la lechada de cal y de los aceleradores, producir el deshinchamiento, peptizar las fibras y retirar los productos de la degradación de las proteínas. Los auxiliares químicos utilizados son el Sulfato de amonio, para reducir el PH, y enzimas para acondicionar la materia proteica (2).

e.- Piclaje o piquelado.

Este proceso es básicamente un precurtido que prepara las pieles para curtirlas. Generalmente, para el piclaje se emplea soluciones de Acido sulfúrico y sal, conjuntamente con una pequeña cantidad de humectante y un bactericida (2).

f.- Curtido.

El propósito de este proceso es la producción de un material durable y resistente a la degradación causada por mecanismos físicos o biológicos. El curtido se efectúa por reacción entre el colágeno de la piel y el agente de curtido. Los procesos principales son el curtido vegetal y el curtido al Cromo (2).

g.- Recurtido, teñido, aprestado con aceites y acabado.

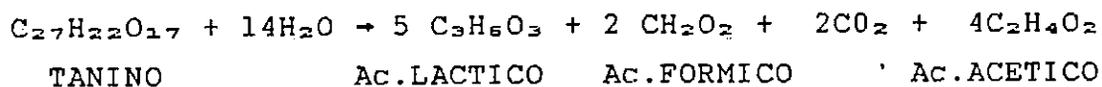
Estos procesos se realizan con el fin de proporcionar diferentes características y propiedades a los cueros, de acuerdo a su uso final (2).

### 1.1.3.- Tipos de curtiembre.

El cuero es el resultado de la reacción de las fibras de colágeno con el tanino, Cromo u otros agentes de curtido. Según el tipo de cuero que se requiera, existen dos clases de curtido:

#### a.- Curtido con sustancias tánicas.

Los taninos se encuentran presentes en todas las plantas, siendo algunas especies más ricas en él, tales como el quebracho (*Aspidospermum quebracho*), el mangle rojo (*Rizophora mangle*) y el nacascal (*Libidibia coriaria*), que son los que habitualmente se usan en las tene-  
rías. Los taninos son, químicamente hablando, ácidos débiles de sabor astringente; forman con las sales de hierro combinaciones de color azul-negro o verdes; precipitan las disoluciones de gelatina y curten las pieles transformándolas en cueros. Estas sustancias, en disolución acuosa, forman ácidos débiles según la reacción: (1)



El producto resultante de la curtición vegetal es lo que se conoce con el nombre de "suela" o corregel, usado en la fabricación de calzado cuando se requieren cueros fuertes y rígidos (1).

#### b.- Curtido al cromo.

Este proceso se realiza usando sales de cromo como Dicromato de potasio y Cromato de potasio, el origen de su empleo se debe a que el cromo es capaz de insolubilizar la gelatina. Su uso generalizado se debe a que el proceso se desarrolla en menor tiempo y a menor costo con respecto al curtido vegetal. Actualmente su uso está destinado cuando se requieren cueros blandos y flexibles, por ejemplo en la confección de "camisas" para calzado (1).

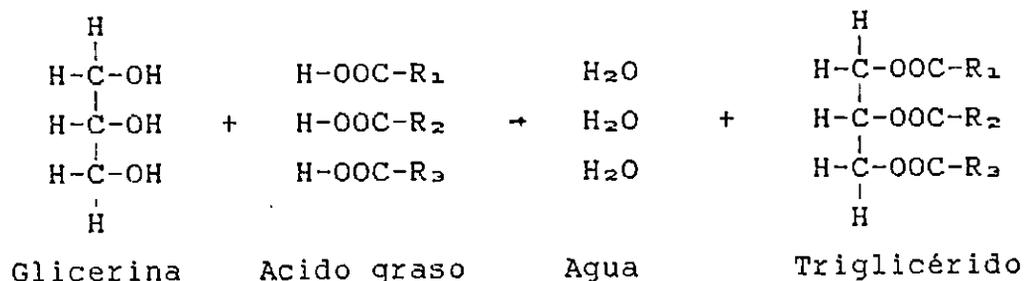
## 1.2- QUIMICA DE LAS GRASAS.

El término lípido se usa para definir las grasas y otras sustancias grasosas. Los lípidos incluyen todas aquellas sustancias que son insolubles en agua pero solubles en los llamados solventes grasos tales como: éter dietílico, éter de petróleo, cloroformo, benceno, tetracloruro de carbono, hexano, acetona, etc.(3).

Los términos grasa y aceite son considerados generalmente para referirse a sustancias con una estructura química similar pero de estado físico diferente, en el estado sólido se les denomina grasas y en el líquido aceites a temperatura ambiente (3).

Las grasas, a diferencia de los carbohidratos y las proteínas no forman polímeros de unidades moleculares que se repiten y tampoco forman largas cadenas como las de los almidones y la celulosa. Se considera pues, la grasa como una sustancia suave y aceitosa insoluble en agua (4).

Una molécula típica de grasa está formada básicamente por un esqueleto de glicerina, la cual puede combinarse con un número máximo de tres ácidos grasos, puesto que la glicerina con sus tres grupos hidroxilos activos pueden ser desplazados al reaccionar con el grupo carboxilo de los ácidos grasos formando los triglicéridos. Como se muestra en la siguiente reacción: (5,6).



### 1.2.1.- Clasificación.

Los lípidos se clasifican en tres grandes grupos:

- a.- Lípidos simples, que incluyen tanto las ceras como las grasas neutras, teniendo en cuenta que las ceras son ésteres de alcoholes mayores que el glicerol y las grasas neutras, ésteres del glicerol, principalmente los ácidos grasos palmítico, esteárico, oléico y linoléico. Un ejemplo de ceras lo constituyen las capas superficiales de algunas frutas y la cera de las abejas, (3).
- b.- Lípidos compuestos, los cuales se distinguen por la presencia en la molécula de productos diferentes a los ácidos grasos y el alcohol, tales como los fosfolípidos y los sulfolípidos los cuales contienen una molécula de Acido fosfórico y un radical sulfato, respectivamente, como parte integral de su estructura (3).
- c.- Lípidos derivados, que son productos de la hidrólisis de lípidos simples o compuestos y que aún retienen la característica de los lípidos en cuanto a su solubilidad en solventes orgánicos y su insolubilidad en agua. Esta clase de lípidos incluye los compuestos importantes del llamado extracto o fracción no saponificable, tales como los esteroides y la vitamina D (3).

### 1.2.2.- Componentes de las grasas: Ácidos grasos.

Los ácidos grasos son ácidos monocarboxílicos de cadena abierta que poseen números pares de carbonos, salvo algunas excepciones tales como el Acido Isoválerico, (3-metilbutanoico), el cual es un ácido de cadena cerrada con un número impar de carbonos. Existe una gran cantidad de ácidos grasos, y dependiendo de cuáles de estos ácidos se encuentran esterificados a la molécula de glicerina, así serán las propiedades que tendrán las grasas, como por ejemplo que se encuentren en estado sólido o líquido a

la temperatura ambiente; también otra propiedad que aporta la naturaleza del ácido graso esterificado es que la grasa sea blanda y, por supuesto, con un punto de fusión bajo, lo cual es característico de los ácidos grasos de cadena corta. El efecto contrario es el que provocan los ácidos grasos de cadena larga es decir, que forman una grasa más dura con puntos de fusión más altos.

Los ácidos grasos pueden ser saturados o insaturados dependiendo de si presentan o no dobles enlaces en la estructura de sus moléculas, en este sentido se tiene que mientras mayor sea el grado de insaturación, mayor número de dobles enlaces, la grasa será más blanda con un punto de fusión bajo (3,4).

Puesto que la insaturación se refiere a la presencia de un número menor de átomos de hidrógeno, debido a la doble ligadura que el número correspondiente a las grasas saturadas, aquellas que presentan insaturación son más susceptibles a los ataques del oxígeno en sus puntos de insaturación, provocando con ello su degradación. Precisamente para evitar esta reacción, existe el proceso de Hidrogenación, mediante el cual se satura la grasa volviéndola más resistente a la oxidación, al mismo tiempo que la vuelve más sólida (3,4).

### 1.2.3.- Clasificación de los ácidos grasos.

Los ácidos grasos se encuentran más frecuentemente como componentes de las grasas naturales y pueden ser clasificados dentro de una serie variada. La primera de éstas se refiere a la serie de los ácidos grasos saturados. Estos no tienen insaturaciones y no pueden ser alterados por hidrogenación o halogenación. El segundo grupo se caracteriza por la presencia de un doble enlace, y son llamados como la serie del ácido oléico. El tercer grupo lo forman la llamada serie del ácido linoléico, la cual se caracteriza por tener dos insaturaciones (3).

Los ácidos grasos que tienen más de un doble enlace son los que presentan mayor importancia, puesto que no pueden ser sintetizados por los grandes animales y son los que se requieren para un normal desarrollo de ellos, puesto que son de considerable importancia para su nutrición (3).

#### 1.2.4.- Nomenclatura.

Los ácidos grasos se denominan frecuentemente por sus nombres triviales, que en la mayoría de los casos denotan el nombre de la fuente natural de la cual han sido aislados, por ejemplo el ácido laurico proviene del laurel y el ácido palmítico proviene de la palma (5).

Para representar los ácidos grasos se utiliza un sistema numérico en el cual se indica la cantidad de carbonos presentes y el número de dobles enlaces que se encuentran en la molécula, por ejemplo, la simbología 18:1 indica que el ácido graso posee 18 átomos de carbono y un doble enlace. El tipo de isómero y la posición del doble enlace también se indica mediante una representación numérica, de la siguiente forma: 18:1 9c ó 18:1 9z, lo cual indica que el doble enlace se encuentra en el carbono 9 y configuración CIS ó z. Para definir la configuración TRANS, se utiliza la letra t ó E acompañando la posición del doble enlace (5).

Para sistemas de doble enlace conjugado se utiliza la abreviatura 18:2 n-6, lo cual indica que existen 18 átomos de carbono y dos dobles enlaces; n-6 indica la ubicación de los dobles enlaces conjugados, el primero estaría en el carbono 6 contando desde la terminal de la cadena que tiene el grupo metilo; el siguiente se ubicaría tres carbonos después, es decir, para este caso, en el carbono 9. Tomemos como la estructura mencionada el ácido linoléico, entonces la molécula quedaría de la siguiente forma: (5)



En la nomenclatura IUPAC, el nombre del ácido graso se deriva del número de carbonos del hidrocarburo, sustituyendo la terminal "o" de éste por el sufijo "oico". De esta manera, el ácido graso relacionado con el hidrocarburo butano se le llama ácido butanoico. En general, y para determinar la presencia de dobles enlaces, los ácidos grasos se nombran contando los átomos de carbono comenzando de la terminal del grupo carboxilo y especificando el número del o los carbonos donde se encuentran los dobles enlaces, entonces para el ácido linoléico, el nombre sistemático será ácido 9,12-Octadecadiénoico, en donde la terminación "diénoico" indica la presencia de dos dobles enlaces y los números 9 y 12 indican que hay un doble enlace en el carbono 9 y otro en el carbono 12 contados a partir de la terminal del grupo funcional carboxilo ( $\text{COOH}^-$ ) (5).

En la Tabla 1.1 se presentan los ácidos grasos más importantes para los cuales se mencionan su nombre común, el nombre sistemático y su abreviatura.

#### 1.2.5.- Propiedades físicas.

Las propiedades físicas de los ácidos grasos son de interés considerando, su estructura y su peso molecular. El punto de ebullición, el punto de fusión, la densidad y el índice de refracción son propiedades que distinguen completamente a los diferentes tipos de ácidos grasos y varían progresivamente con la longitud de la cadena de carbonos, así como también con el número y posición del doble enlace (4, 5, 6).

Tabla 1.1. Tipos de nomenclatura y simbología para ácidos grasos.  
(5).

NOMBRE COMUN	NOMBRE SISTEMATICO	ABREVIATURA
ACIDO	ACIDO	
Butírico	Butanóico	4:0
Caprónico	Hexanóico	6:0
Caprílico	Octanóico	8:0
Cáprico	Decanóico	10:0
Láurico	Dodecanóico	12:0
Mirístico	Tetradecanóico	14:0
Palmitico	Hexadecanóico	16:0
Palmitoléico	9-Hexadecenóico	16:1 n-9
Estearico	Octadecanóico	18:0
Oléico	9-Octadecenóico	18:1 n-9
Linoléico	9,12- Octadecadienóico	18:2 n-9
Linoléico	9,12,15- Octadecatrienóico	18:3 n-9
Araquídico	Eicosanóico	20:0
Araquidónico	5,8,11,14- Eicosatetranóico	20:4 n-5
Behénico	Docosanóico	22:0
Erúico	13-Dococenóico	22:1 n-13

#### 1.2.5.1.- Punto de ebullición.

El punto de ebullición de los ácidos grasos aumenta al aumentar la longitud de la cadena lo suficiente como para permitir la separación de varios ácidos homólogos por destilación fraccionada. Sin embargo, el punto de ebullición de los ácidos con diferentes grados de saturación pero con una constante longitud de su cadena, tal como el esteárico, oléico y linoléico, están tan juntos que no es factible ninguna separación efectiva por medio de destilación fraccionada (4,5,6).

#### 1.2.5.2.- Punto de fusión.

Existen muchos factores que afectan el punto de fusión de los ácidos grasos, probablemente los más importantes son la longitud de la cadena y el grado de insaturación que poseen, así como también la posición que tenga esa insaturación a lo largo de la cadena y la forma geométrica del ácido (4, 5, 6).

En general, se sabe que el punto de fusión de los ácidos y de los triglicéridos aumenta progresivamente con la extensión de la cadena. Los ácidos de cadena impar usualmente se funden a una temperatura menor que los de cadena par conteniendo un átomo de carbono menos. Sin embargo, comenzando con el ácido Mirístico, y continuando con los ácidos de cadena par mayores que él, el punto de fusión de los ácidos de cadena par e impar son casi idénticos, (3).

Generalmente, con la aparición de un doble enlace en la cadena carbonada resulta una disminución considerable en el punto de fusión, también la posición del doble enlace juega un papel importante en la disminución del punto de fusión, puesto que a mayor distancia se encuentre éste del grupo carboxílico menor será su punto de fusión (4, 5, 6).

### 1.2.5.3.- Solubilidad.

Los ácidos grasos son casi en su totalidad completamente insolubles en agua. Su solubilidad disminuye con el aumento del número de carbonos. Pueden ser solubles en algunos solventes orgánicos tal como se muestra en la Tabla 1.2 (5).

Tabla 1.2. Solubilidad de ácidos grasos en solventes orgánicos 20°C, gr/100 gr solvente (5).

ACIDO GRASO	BENCENO	ETANOL	CLOROFORMO	ACETONITRILO
C10	398	-	326	6.6
C12	94	105	83	7.6
C16	7.3	7.2	15.1	0.4
C17	9.2	6.6	17.8	0.2
C18	2.5	3.3	6.0	< 0.1

En esta tabla puede observarse que en algunos casos un ácido con número impar de carbonos es casi tan soluble como su homólogo inferior con número par de carbonos.

### 1.2.6.- Propiedades químicas.

Las principales reacciones de interés para la Química de las Grasas y para la presente investigación son la Halogenación, la Oxidación y la Saponificación.

#### 1.2.6.1.- Halogenación.

Los elementos halógenos: Cloro, Bromo, Yodo y Flúor se combinan rápidamente con los ácidos insaturados y sus esteres, in-

cluyendo los triglicéridos, para producir compuestos saturados halogenados.

Un ejemplo de halogenación simple de un ácido insaturado es proporcionado por la determinación del Índice de Yodo, el cual es la medida de la no saturación de las grasas y se define como el número de gramos de yodo absorbidos por cien gramos de ácido graso (3, 4, 5).

#### 1.2.6.2.- Oxidación.

Los ácidos grasos saturados no son oxidados con aire, pero pueden ser tratados con oxígeno a alta temperatura con presencia de catalizadores, también se sabe que los ácidos saturados pueden ser oxidados con ácido nítrico concentrado produciendo ácidos dicarboxílicos (3).

Por otro lado, los ácidos grasos insaturados se oxidan especialmente en el doble enlace y lo hacen rápidamente en presencia de aire. La susceptibilidad a la oxidación de estos ácidos se ve incrementada con el número de dobles enlaces presentes. La posición del doble enlace es un factor para controlar la rapidez de oxidación; así, los ácidos con dobles enlaces conjugados son más activos para oxidarse que los compuestos no conjugados correspondientes (3).

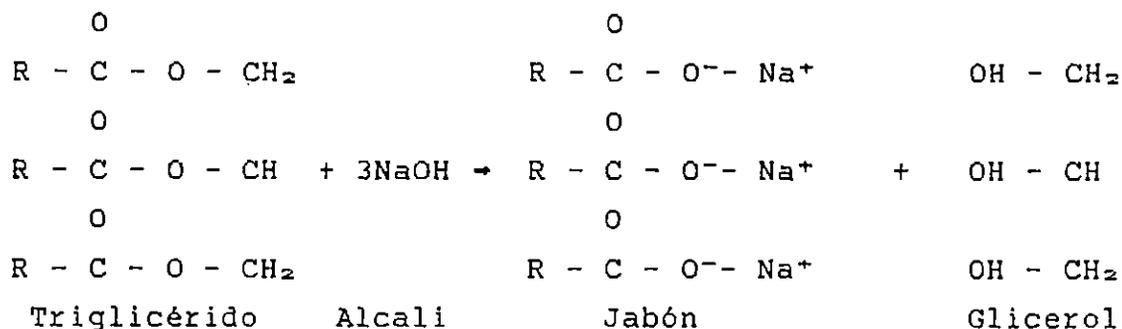
Las reacciones entre el aire y los ácidos insaturados son de considerable importancia porque ellas forman la base de varias propiedades importantes de las grasas; por ejemplo, y en primer lugar, se tiene la Rancidez que resulta del desarrollo de estas reacciones y de la cual se expondrá más adelante (3).

#### 1.2.6.3.- Saponificación.

Cuando las grasas son calentadas con álcalis tales como la Soda Caústica, se forman sales de ácidos grasos y se libera glicerina. Los ácidos grasos libres pueden hacerse reaccionar con Carbonato de sodio (Soda ash) o cualquier otro carbonato conve-

niente para obtener jabón, proceso que se verá en detalle posteriormente (4).

Químicamente puede decirse que los ácidos grasos reaccionan rápidamente con algunas bases y en los cuales el hidrógeno del grupo carboxilo es reemplazado por un metal para obtener la sal metálica del ácido graso denominado jabón, según la reacción: (4)



#### 1.2.7.- Grasas y aceites naturales.

Existen un número casi infinito de aceites y grasas diferentes cada una de las cuales posee una composición específica. Una de las condiciones en las cuales este fenómeno es posible, es la amplia variación encontrada en el número total de variedades de ácidos grasos representados en cualquier grasa. Otro factor importante es que las proporciones entre cualquiera de los grupos de ácidos grasos puede mostrar un número sin límite de variaciones, es decir que las posibles combinaciones de estos ácidos grasos en una determinada grasa es enorme (3).

La mayoría de las grasas naturales no contienen sólo una clase de molécula de triglicérido. Una grasa determinada contiene normalmente una mezcla de moléculas de triglicéridos que difieren por la longitud de sus cadenas y el grado de insaturación de sus ácidos grasos. Como resultado, algunas moléculas de esa grasa son más blandas y otras más duras. La grasa en su totalidad puede estar en forma líquida a la temperatura ambiente, aunque en realidad contenga algunas moléculas de grasa suspendidas en el aceite

líquido. En la Tabla 1.3 se presenta una composición característica de los ácidos grasos presentes en determinadas grasas (5, 7).

Tabla 1.3. Composición típica en porcentaje peso e Índice de Yodo para algunas grasas, (7).

ACIDO GRASO	ATOMOS DE CARBONO	MANTEQUILLA	MANTECA DE CERDO	SEBO
Butírico	4	3	--	--
Caprónico	6	3	--	--
Caprílico	8	2	--	--
Cáprico	10	3	--	--
Láurico	12	3	--	--
Mirístico	14	10	1	3
Miristoléico	14	1	--	--
Palmitico	16	26	25	28
Palmitoléico	16	1	2	3
Estearico	18	15	13	23
Oléico	18	29	47	40
Linoléico	18	2	12	2
Linoléico	18	2	--	--
INDICE DE YODO		35	63	41

#### 1.2.8.- Fuentes de grasas y aceites.

Las grasas y los aceites pueden ser de origen vegetal, animal o marino. Las grasas vegetales incluyen formas sólidas como manteca de cacao, y líquidos como aceite de semilla de maíz, aceite de soya, aceite de semilla de algodón, etc. Las grasas ani-

males incluyen manteca de cerdo, sebo de res y grasa de la mantequilla de la leche. Los aceites de pescado comprenden aceite de hígado de bacalao, aceite de sábalo y aceite de ballena (5).

Las grasas animales difieren en composición con las grasas vegetales ya que contienen una gran variedad de ácidos grasos. Los ácidos grasos saturados e insaturados, de las series C-20 y C-22 y aún de la serie C-24, es decir las series de los ácidos Araquidónico, Behenico y Lignocérico, respectivamente, se encuentran presentes en muchas grasas animales, además de los componentes usuales de todas las grasas, como son los ácidos grasos de las series C-16 y C-18, como por ejemplo los ácidos Palmítico, Esteárico y Oléico (3).

Entre las grasas animales, existe una gran diferencia en la composición de la grasa de animales acuáticos y la de aquellas especies terrestres. La grasa de origen marino tiende a ser más compleja, conteniendo únicamente de 15 a 20% de ácidos saturados. El ácido Palmítico es el miembro predominante de este grupo; pero se han encontrado cantidades pequeñas de ácido Esteárico, Mirístico, Láurico, Cáprico y aún ácido Caprílico (3).

Las grasas de los grandes animales terrestres contienen mayor cantidad de ácidos saturados, en donde el ácido esteárico juega un papel importante. En el caso de los ácidos insaturados, tanto las especies marinas como terrestres, tienen una gran representatividad las series C-16 y C-24, es decir los ácidos Palmítico y Lignocérico. Sin embargo, las especies marinas tienen una mayor proporción de compuestos de cadena larga, mientras que la mayoría de los ácidos grasos insaturados de los grandes animales terrestres se concentran en las series C-16 y C-18, definidas anteriormente (3).

### 1.2.9.- Parámetros de caracterización de las grasas.

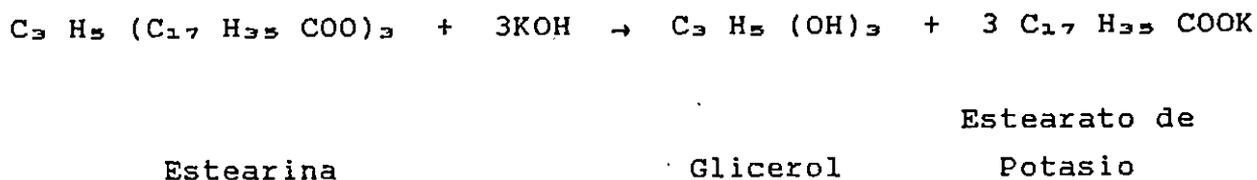
#### 1.2.9.1.- Punto de fusión.

En algunos casos la naturaleza de las grasas puede ser determinada por su punto de fusión. Este valor es de poco uso en caso de aceites vegetales. Una misma muestra de grasa puede tener variaciones en su punto de fusión, dependiendo del estado polimórfico en que se encuentre y de la mezcla de glicéridos que posea. Aunque el punto de fusión de los triglicéridos simples, compuestos de ácidos de cadena saturada es directamente proporcional a la longitud de la cadena (e inversamente proporcional con el grado de saponificación), la presencia de cantidades pequeñas de ácidos grasos insaturados puede disminuir considerablemente el punto de fusión (3).

#### 1.2.9.2.- Índice o grado de Saponificación.

El índice de saponificación de un aceite o una grasa, se define como el número de miligramos de Hidróxido de Potasio requeridos para neutralizar los ácidos grasos resultantes de la hidrólisis completa de un gramo de muestra (4).

Durante la saponificación se forma un jabón, como se muestra en el siguiente ejemplo: (4)



Los ésteres de los ácidos grasos de masa molecular baja requieren mayor cantidad de álcali para saponificarse, de modo que su Índice de saponificación es inversamente proporcional al promedio de sus masas moleculares de los ácidos grasos de los

glicéridos presentes. En el caso de los aceites y grasas naturales el Índice de saponificación usualmente varía entre 190 y 200 (4).

#### 1.2.9.3.- Índice de Yodo.

Esta constante es la medida de la no saturación de las grasas y se define como el número de gramos de yodo absorbidos por cien gramos de grasa o aceite. Bajo ciertas condiciones, el yodo es absorbido cuantitativamente por los ácidos insaturados en el punto de insaturación (3, 4).

El Índice de yodo, es de especial utilidad para determinar la habilidad o capacidad que tiene una grasa para ser endurecida por Hidrogenación (3, 4).

Con frecuencia el Índice de yodo es el valor más útil y fácil de determinar para identificar un aceite o al menos para colocarlo dentro de un grupo en particular. También se debe hacer notar que en los aceites y grasas naturales, los menos insaturados tienen Índice de yodo bajos y son sólidos a la temperatura ambiente o inversamente los aceites más insaturados, son líquidos (muestran una relación entre sus puntos de fusión y sus Índices de yodo). Otro punto interesante es que en general, mientras mayor sea el grado de insaturación, (mayor Índice de yodo), mayor es la tendencia del aceite a enranciarse por oxidación (3, 4).

#### 1.2.9.4.- Rancidez.

Los aceites y las grasas comienzan a descomponerse desde el momento en que son aislados de su medio vivo natural. Durante el almacenamiento ocurren cambios de los cuales resulta la producción de un olor y sabor desagradable. Esos aceites y grasas se dice que se han enranciado. Las características organolépticas desagradables en parte son originadas por la presencia de ácidos

grasos libres, pero el desarrollo principal de rancidez es llevado a cabo por oxidación atmosférica (autooxidación). La rancidez oxidante es acelerada por la exposición al calor y a la luz; por la humedad y por la presencia de trazas de metales de transición (ejemplo: Cobre, Níquel y Hierro), colorantes y pigmentos naturales residuales (3).

En general, mientras mayor sea el grado de insaturación, mayor Índice de yodo, mayor es la posibilidad que la grasa presente rancidez oxidante. Cuando la concentración de Peróxidos alcanza cierto nivel, ocurren cambios químicos complejos y forman productos volátiles los cuales son los principales responsables del sabor y olor rancios (3).

Como la rancidez es un fenómeno complejo, resulta aconsejable realizar tantas pruebas como sean posibles sobre todas las muestras dudosas. Además de los Ácidos grasos libres, (AGL), los análisis pueden incluir la determinación del Índice de peróxido (3).

#### 1.2.9.5.- Índice de Acidez. Ácidos grasos libres (AGL).

El Índice de acidez de un aceite o de una grasa se define como el número de miligramos de Hidróxido de Potasio requeridos para neutralizar la acidez libre de un gramo de muestra. A menudo el resultado se expresa como porcentaje de Ácidos grasos libres (AGL) (4, 8).

El Índice de acidez es una medida del grado al cual se han descompuesto los glicéridos del aceite por acción de la lipasa o por alguna otra causa. La descomposición es acelerada por el calor y la luz. Como la rancidez se acompaña usualmente de formación de ácidos grasos libres, la determinación es, con frecuencia usada como una indicación general de la condición y comestibilidad de los aceites (4, 7).

### 1.3.- SEBO DE RES Y SU USO EN LA FABRICACION DE JABON.

Fundamentalmente son aprovechables para la fabricación de jabón la mayoría de las grasas naturales, vegetales o animales. En el país los más utilizados son el sebo de res y el aceite de coco (9).

El nombre que se le dá a la grasa obtenida del ganado vacuno, oveja y cabra es el de sebo. El principal método de producción que se aplica para la obtención del sebo de res es el de fundido a vapor. Como en el caso de la manteca, la calidad del sebo depende principalmente de qué parte del animal se han seleccionado las materias que contienen grasa (9).

En el caso del sebo de res y oveja, únicamente tres ácidos grasos se encuentran presentes en cantidades apreciables, estos son los ácidos palmítico, esteárico y oléico, los cuales se encuentran presentes en un rango aproximado del 25-30%, 20-25% y 40-45% respectivamente (3).

Como materias primas para la fabricación de jabón son especialmente apropiados aquellos aceites y grasas que contienen una cantidad considerable de ácidos grasos saturados (9).

Para las grasas en general, como materia prima para la fabricación de jabón, tres son los parámetros de control de calidad de mayor importancia: el Índice de saponificación, Índice de yodo y el Título. Además de éstos, también pueden ser de importancia algunos otros, tales como la humedad y la densidad (9).

Estos y otros parámetros importantes para la caracterización de las grasas se verán ampliados y especificados completamente cuando se realice el análisis fisicoquímico de la grasa recuperada.

#### 1.4.- DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LAS TENERIAS EN EL SALVADOR.

El objetivo de este trabajo de campo consiste en evaluar las metodologías de procesamiento de cueros y los volúmenes de producción de carnaza en las Tenerías de El Salvador.

En El Salvador la industria de curtiembre se encuentra muy desarrollada, y en el área centroamericana goza de gran aceptación por la calidad de cueros que se producen. Sin embargo, la producción de pieles ha tenido una sensible merma a raíz del conflicto armado, que provocó entre otras cosas un alto descenso del hato ganadero nacional, especialmente en la Zona Oriental, Paracentral y Norte de la República. Debido a este problema las tenerías se han visto obligadas a recurrir a la importación de pieles de res de los Estados Unidos, Honduras, Nicaragua y República Dominicana, a fin de satisfacer la demanda nacional e internacional de cuero; este fenómeno ocurre solamente en las tenerías grandes (producción de 200 cueros o más por día). Cabe mencionar en este momento que estas pieles importadas reciben un tratamiento previo en sus lugares de origen como lo es el salado, que básicamente sirve para preservarlas en buen estado, además se reciben también pieles precurtidas. Toda materia prima pasa por un control de calidad que consiste en determinar la presencia de bacterias que puedan haber dañado la piel almacenada.

Las tenerías medianas (producción entre 50-200 cueros por día) se dedican básicamente a la producción de suela, solamente las mecanizadas se dedican tanto al curtido al Cromo como al curtido vegetal. Las tenerías pequeñas (hasta 50 cueros diarios), se dedican exclusivamente al curtido vegetal.

La industria de curtiembre se encuentra diseminada en el país conforme a la concentración de las zonas ganaderas por un lado, y por otro a la ubicación de las grandes ciudades, con la

excepción de la ciudad de San Miguel donde no existen tenerías; las tenerías del oriente del país se encuentran concentradas en la ciudad de Anamorós.

Debe notarse, además, que todas las tenerías se encuentran ubicadas, generalmente, en los alrededores de ríos donde van a parar en su gran mayoría los desechos que en ellas se producen, sin recibir ningún tratamiento previo.

Es de especial interés, para este trabajo, investigar los volúmenes de producción de carnaza para de esta manera tener una idea del daño ecológico que se está causando y, además, predecir el volumen de grasa que, en teoría, se podría recuperar ya que la mayoría de las tenerías no tienen datos exactos sobre las cantidades que de este desecho se producen, así como también del porcentaje o la cantidad de grasa que en él se encuentra. Esto lleva a que, salvo algunas excepciones, no se haya evaluado el potencial económico que estos desechos puedan tener.

Es necesario establecer que para los objetivos de esta investigación, en el trabajo de campo se hace hincapié en la evaluación de los procesos antes y durante el descarne, puesto que ello determinará el estado de la materia prima a procesar; no teniendo como alcance el analizar los desechos que surgen en subsecuentes etapas de la curtiembre como lo son sales de cromo, sulfuros, sulfitos, alcalinidad, acidez, etc.

En el Cuadro 1.1 se muestra el volumen de producción de cueros en tenerías de El Salvador, cuyos datos fueron obtenidos a partir de la encuesta diseñada para este propósito, dicha encuesta se presenta en el Anexo 1.

De los datos obtenidos en la encuesta se observó que en las tenerías pequeñas no existe conciencia plena del daño ecológico causado cuando la carnaza es vertida en los cuerpos de agua o en-

terrada, contaminando el suelo y el agua. De las tenerías encuestadas solamente Adoc S.A. y El Búfalo han realizado intentos para

Cuadro No. 1.1. Volúmenes de producción de cueros en las tenerías de El Salvador.

TENERIA	LUGAR	PRODUCCION CUEROS/DIA
ADOC, S.A.	Ateos	1000
El Búfalo	Santa Ana	450
Salvadoreña	San Salvador	250
La Sirenita	Santa Ana	200
San Miguel	Santa Ana	200
Libertad	Zapotitán	50
San Jorge	San Vicente	75
Pineda	Usulután	30
Chenca	San Juan Nonualco	75
Alvarez	Santa Ana	75
Santaneco	Apopa	50
*	Anamorós	250
Urania	San Salvador	25
Villedo	San Salvador	25
		TOTAL 2,755

\* En este lugar se encuentran ubicadas tres tenerías conocidas por el nombre de los propietarios.

recuperar la grasa del desecho, no llegando a ningún resultado satisfactorio.

A partir de la información proporcionada por los propietarios de tenería El Búfalo, S.A. se obtuvo que el porcentaje de carnaza presente en la piel antes de la etapa de descarne es 18.52%; lo que indica, a partir del total reportado de pieles en el Cuadro 1.1, se tendría un total de 26,531.8 libras de carnaza diarias; teniendo en cuenta que el peso promedio del cuero es 52 libras, lo que vendría a representar una cantidad de 9,551,448 libras por año, es decir 4341.6 toneladas métricas de carnaza anuales.

Otra fuente alterna de información es la que proporciona la Dirección General de Estadística y Censo en el Anuario de Sacrificio de ganado vacuno y porcino para el año de 1991, en el cual se reporta una cantidad total de 205,460 reses sacrificadas en los mataderos de todo el país. Se debe aclarar que esta cifra únicamente se refiere al ganado nacional. Con estos datos se puede calcular otra cantidad de carnaza producida, dando como resultado 1,978,661.98 libras de carnaza por año, lo que equivale a decir 899.39 toneladas métricas de carnaza por año, que son desechadas a los ríos o simplemente enterradas sin ningún tratamiento previo. Estos resultados dejan claro que la cantidad real de desecho no corresponde a las cifras oficiales, ya que aquí no se involucra el ganado que importan las tenerías, ni aquél que circula de forma ilegal.

## CAPITULO 2

### DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS Y EXPERIMENTACION PRELIMINAR.

#### 2.1.- PARTE EXPERIMENTAL PRELIMINAR.

Esta parte experimental preliminar se basa en la caracterización de la materia prima, es decir del desecho proveniente del proceso de descarnado de las tenerías y sus resultados, especialmente el del porcentaje de grasa, servirá para elaborar el diseño del equipo de Separación de grasas. La muestra de carnaza a utilizar en esta parte experimental fue proporcionada por la Tenería El Búfalo, Santa Ana, consistiéndose en un bloque de cien libras, seleccionadas al azar de la carnaza residual de un día de producción en la tenería en mención.

##### 2.1.1.- Caracterización de la materia prima (carnaza).

Para caracterizar la materia prima a utilizar, es decir la carnaza, se llevarán a cabo varias pruebas fisicoquímicas para determinar la composición porcentual, (en peso), que incluye porcentaje de humedad, porcentaje de grasa y porcentaje de sólidos libres de grasa.

##### 2.1.2.- Preparación de la muestra.

Como paso preliminar a las pruebas antes mencionadas se llevó a cabo una preparación de muestra a utilizar que consiste básicamente en un lavado y reducción de tamaño para aumentar la superficie de contacto y de esta manera tener mayor probabilidad de obtener mejores resultados en cuanto a rendimiento.

Es necesario dejar claro en este momento que para la determinación del porcentaje de humedad de la carnaza la muestra se trató tal y como es extraída en el proceso de descarnado; no procediendo con la etapa de lavado puesto que esto alteraría el

contenido de humedad que posee. Únicamente se lleva a cabo, para esta prueba, la reducción de tamaño.

a.- **Material y equipo.**

Recipientes para lavado

Molino para carne

b.- **Procedimiento.**

1.- **Lavado.**

El contenido total de carnaza se lavó con suficiente agua para eliminar en su mayor parte, los residuos de sal, pelo y otras sustancias que se encuentran presentes y que pueden alterar los resultados del análisis.

2.- **Reducción de tamaño.**

Este proceso se llevó a cabo mediante un molino de carne, figura 2.1, obteniéndose partículas de tamaño homogéneo adecuadas para los fines de la experimentación.

3.- **Homogenización de la muestra.**

Con la carnaza reducida de tamaño, se procede a colectarla en un mismo recipiente para mezclarla y tenerla dispuesta para tomar la muestra a tratar.

2.1.3.- **Determinación del porcentaje de humedad.**

**Principio.**

Para la determinación del porcentaje de humedad de la carnaza se utilizará el Método por Destilación de la Trampa de Tolueno, el cual es aplicado para todos los aceites y grasas normales incluyendo emulsiones.

El principio de este método es que determina la humedad por destilación con un solvente inmiscible. La humedad es removida de la muestra de grasa o aceite por destilación con Xileno y los va-

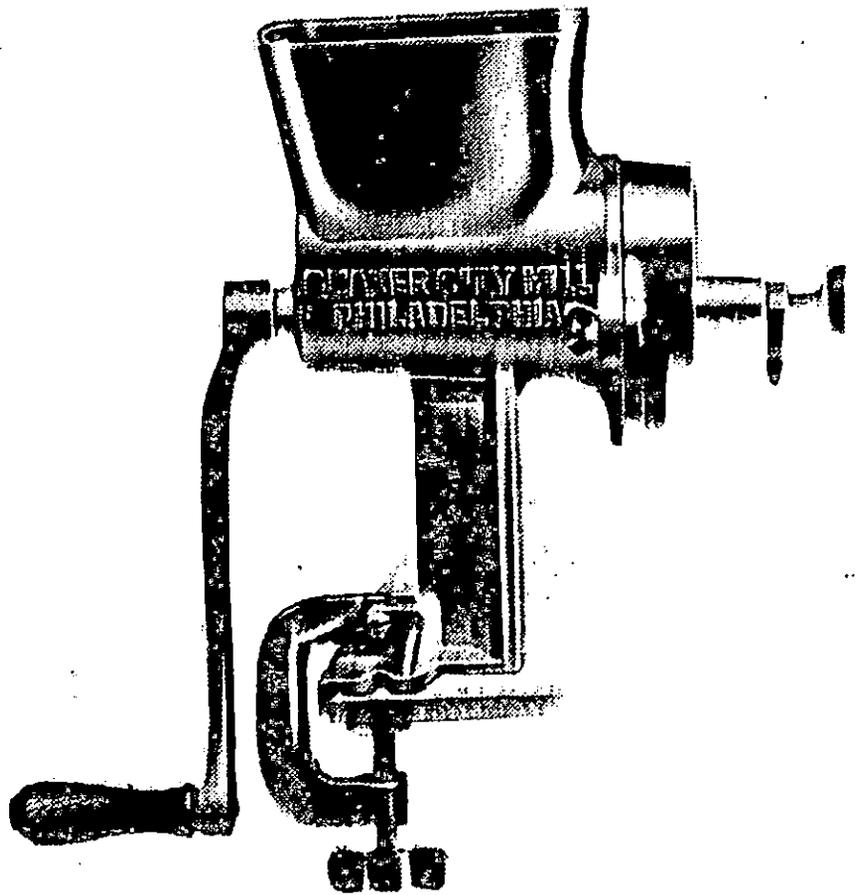


Figura 2.1 Molino de carne usado para la homogenización de la carnaza (18)

pores de agua-Xileno son condensados y subsecuentemente atrapados en un recipiente calibrado o trampa calibrada. Por ser el agua de mayor densidad que el Xileno ocupará la parte más baja cuando se encuentran en el recipiente ambos líquidos, lográndose de esta manera leer la cantidad de agua extraída en mililitros.

El aparato utilizado para la determinación de humedad por el Método de Destilación puede observarse en la figura 2.2.

**a.- Material y equipo.**

- 1 Condensador de boca esmerilada 24/40 de 60 cm. de longitud
- 1 Trampa calibrada de 10 ml.
- 1 Balón para destilación (fondo plano), boca esmerilada de 250 ml.
- 1 Hot Plate eléctrico
- 2 Mangueras

**b.- Reactivos.**

- 100 ml de Xileno
- Solución de Dicromato de Potasio-Acido Sulfúrico (solución limpiadora).

**c.- Procedimiento.**

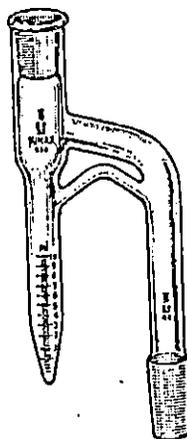
**1.- Limpieza del equipo.**

Como primer paso se debe limpiar el aparato cuidadosamente antes de cada determinación utilizando una solución de Dicromato de Potasio-Acido Sulfúrico, para minimizar la adherencia de gotas de agua en las paredes del condensador y del recipiente. Se debe tener cuidado que no existan trazas de grasa remanente. Luego se enjuaga minuciosamente y se seca completamente antes de usarse.

**2.- Pesar 10 gramos de muestra dentro del frasco de destilación y añadir 100 ml de Xileno. Seguidamente se coloca 1 ml de**



Condensador

Recibidor (Trampa)  
Dean-Stark, modificado

Balón de destilación

Figura 2.2 Despiece de equipo para determinación de humedad en grasas.

agua dentro del tubo graduado del receptor, o trampa, uniéndose al condensador y al frasco por el otro extremo, como se muestra en la figura 2.2.

### 3.- Determinación.

La muestra se lleva a ebullición utilizando un Hot Plate hasta que ésta proceda regularmente. Para evitar las pérdidas de calor y disminuir el tiempo de ebullición se utiliza un revestimiento de asbesto formado por una caja cerrada de dimensiones 15 x 12 x 13.5 cm alrededor del frasco donde se encuentra la muestra. El agua y el Xileno destilado se colectan en el receptor, el agua se separa del Xileno hacia el fondo del tubo graduado. Cuando el Xileno destilado comienza a ponerse claro y ya no se separa más agua de él por 30 minutos, se debe parar la destilación. Se lava el condensador con 5 ml de Xileno hasta que las gotas de agua formen una capa continua y no exista emulsión visible entre las capas de Xileno y agua.

4.- Enfriar a temperatura ambiente, leyendo de nuevo el volumen de la capa de agua.

### d.- Cálculos.

Volumen inicial del agua agregada en el receptor ....	l ml
Volumen final del agua en el receptor .....	b ml
Peso de la muestra .....	P g
% Humedad .....	$(b-l)*100/P$

### e.- Resultados.

Los resultados de las pruebas realizadas para la determinación del porcentaje de humedad, así como el análisis estadístico de los datos se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resultados de la determinación del contenido de Humedad de la carnaza, aplicando el método de destilación con Trampa de Tolueno .

MUESTRA	VOL. INICIAL DE H <sub>2</sub> O (ml)	VOL. FINAL DE H <sub>2</sub> O (ml)	%HUMEDAD
X <sub>1</sub>	1	7.24	62.4
X <sub>2</sub>	1	7.2	62.0
X <sub>3</sub>	1	7.18	61.8
X <sub>4</sub>	1	7.24	62.4
$\bar{X}$			62.15
S			0.3
%CV			0.44

Peso de la muestra: 10 gramos

Reactivo químico utilizado: Xileno (100 ml)

#### 2.1.4.- Determinación del porcentaje de grasa.

##### Principio.

Para la determinación del contenido de grasa total que contiene la muestra de carnaza se utilizó el Método de Extracción Continua mediante un aparato Soxhlet.

El Soxhlet ha sido diseñado para que una porción fresca de solvente entre en contacto con el material ha ser extraído durante un período de tiempo relativamente largo. Existen muchas formas de este tipo de aparato, una de las más comunes es la que se muestra en la figura 2.3.

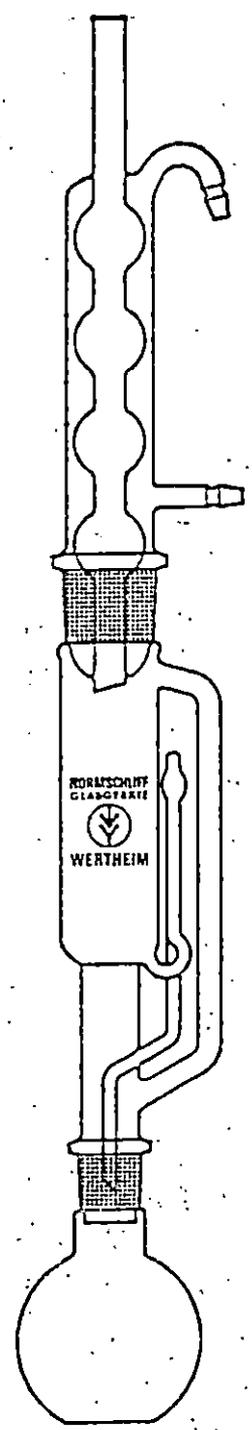


Figura 2.3 Equipo Soxhlet para la determinación del contenido de grasa.

El aparato consiste de un balón fondo plano boca esmerilada, el cual debe ser pesado antes de iniciar el análisis, conteniendo un solvente volátil, éter de petróleo, reposado en un Hot Plate.

**a.- Material y equipo.**

- 1 equipo Soxhlet
- 1 Hot Plate eléctrico
- 2 Mangueras

**b.- Reactivos**

- 125 ml de éter de petróleo

**c.- Procedimiento.**

**1.- Preparación de la muestra.**

Se usa el mismo procedimiento presentado en el numeral 2.1.2

**2.-** Pesar 10 gramos de muestra y envolverlos en un material poroso para ser colocado dentro del aparato sifón, el cual se conecta a un condensador y al frasco tarado por el otro extremo.

**3.-** Calentar el solvente, éste se vaporiza y sube por el brazo del aparato hasta llegar al condensador donde se vuelve líquido. El solvente condensado cae gota a gota sobre la muestra. Cuando la cantidad de solvente ha sido suficiente dentro del tubo de extracción, se llena el sifón regresando por gravedad hacia el frasco tarado, arrastrando a la vez el material extraído de la muestra.

**4.- Destilación del solvente.**

Una vez terminada la extracción, 15 horas, se procede a la separación de la grasa obtenida mediante una destilación simple del solvente. Finalizada la destilación, la grasa recuperada se obtiene pesando el balón y determinando por di-

ferencia la cantidad extraída. Esta cantidad extraída, dividida por el peso de muestra inicial, 10 gramos, y multiplicada por cien proporcionará el porcentaje de grasa de la carnaza.

d.- Cálculos.

El porcentaje de grasa se define de la siguiente manera:

Cantidad de grasa extraída ..... a g  
 Peso de muestra original ..... 10 g  
 % grasa extraída .....  $(a/10)*100$

e.- Resultados.

Los resultados de las pruebas realizadas para la determinación del porcentaje de grasa, así como el análisis estadístico se presentan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Resultado de la determinación del contenido de grasa en la carnaza aplicando el método de extracción por Soxhlet.

MUESTRA	GRASA EXTRAIDA (g)	% DE GRASA
X <sub>1</sub>	2.002	20.02
X <sub>2</sub>	2.035	20.35
X <sub>3</sub>	2.09	20.9
X <sub>4</sub>	2.011	20.11
$\bar{X}$		20.345
S		0.3953
%CV		1.943

Peso de muestra: 10 gramos

Solvente utilizado: Eter de Pétroleo

Tiempo de extracción: 15 Horas

### 2.1.5.- Determinación del porcentaje de sólidos libres de grasa.

Una vez determinado el porcentaje de grasa se procedió a determinar la cantidad de sólidos presentes (\*), el cual se realizó de la siguiente manera:

Los residuos obtenidos en el proceso de extracción de la grasa se tomaron como materia prima llevándolos a secado en estufa hasta peso constante y de esta manera, en base al tamaño de muestra original, 10 gramos, se calculó el porcentaje en peso del material sólido presente en la carnaza.

#### a.- Material y equipo.

Estufa  
Balanza Analítica  
Vidrio reloj  
Termómetro

#### b.- Procedimiento.

##### 1.- Extracción de grasa.

Este paso se realiza según el procedimiento presentado en el numeral 2.1.4.

##### 2.- Determinación del porcentaje de sólidos.

Secar a temperatura constante de 40°C los residuos de carnaza de la cual se ha extraído la grasa, hasta peso constante. Pesar el material seco.

##### 4.- Determinar el porcentaje de sólidos dividiendo el peso del sólido seco entre el peso original de la carnaza, 10 gramos, y multiplicando por cien.

---

(\*) Por la naturaleza del material, estos sólidos son en su mayoría proteínas; sin embargo, en este estudio no se verificó tal resultado.

## c.- Cálculos.

Peso de sólidos secos ..... a g  
 Peso de muestra original ..... 10 g  
 % de sólidos .....  $(a/10)*100$

## d.- Resultados.

Los resultados obtenidos y el análisis estadístico se presentan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Resultados de la determinación del contenido de sólidos libres de grasa en la carnaza.

MUESTRA	PESO DE SOLIDOS (g)	% DE SOLIDOS (P\P)
X <sub>1</sub>	1.4	14.0
X <sub>2</sub>	1.4	14.0
X <sub>3</sub>	1.35	13.5
X <sub>4</sub>	1.4	14.0
$\bar{X}$		13.875
S		0.25
%CV		1.8

Peso de la muestra: 10 gramos

En la Tabla 2.4 se resumen los resultados de los tres análisis efectuados para caracterizar la carnaza, donde se observa que el constituyente de interés para efectos de este estudio, posee un contenido en peso promedio de 20.345% de grasa.

Tabla 2.4. Composición típica de la carnaza en base a análisis aplicados según sección 1.1.

VARIABLE EVALUADA	PESO PROMEDIO (%)
HUMEDAD	62.15
GRASA	20.345
SOLIDOS *	13.875
OTROS	3.63

\* Sólidos libres de grasa.

## 2.2.- DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS.

### 2.2.1.- Generalidades.

El equipo a construir se plantea como un sistema capaz de separar la grasa contenida en la carnaza, usando para ello operaciones tales como Transferencia de Calor, Agitación y Separación.

El hecho de que las grasas fundan a temperaturas relativamente bajas (40-48°C) y a la factibilidad de formar emulsiones con el agua a temperaturas superiores de las anotadas, posibilitan el uso de energía en forma de calor para lograr tal propósito. El sistema diseñado consta de resistencias eléctricas como fuentes de calor, las cuales están controladas por reostatos a manera de regular el flujo de calor. A fin de mantener una razón de calor uniforme, el sistema está provisto de un mecanismo de agitación conformado por un rodete de palas planas accionado por un motor eléctrico.

Para evitar pérdidas de calor, todo el sistema se encuentra aislado con láminas de fibra de asbesto. En el interior del tanque agitado se ha diseñado una cesta tamiz con el doble propósito de retener los sólidos libres de grasa, evitando el atascamiento

del mecanismo de purga del sistema, y la de provocar un efecto de pantalla deflectora para aminorar la formación de vórtices.

La purga de la emulsión se logra mediante una válvula de bola instalada en la parte inferior del sistema, la cual se descarga a un tanque de recepción con un tamiz incorporado, con el objeto de separar los sólidos que aún pueda llevar la emulsión. La emulsión se deja enfriar a temperatura ambiente y luego pasa al sistema de separación de la grasa, la cual en este instante ya ha formado dos fases con el agua; este sistema es básicamente, un embudo de separación en donde el agua se purga por el fondo mediante una válvula de globo, removiendo posteriormente la grasa que se aloja en las paredes y el fondo del recipiente. Un diagrama esquematizado del proceso y del sistema total se ilustra en la figura 2.4, donde se detallan las partes que lo conforman. A continuación se describen los aspectos ingenieriles de construcción y funcionamiento del equipo.

#### 2.2.2.- Tanque y rodete.

Para la construcción del tanque agitado se tomó como parámetros de diseño los establecidos en la bibliografía (10). Para agitadores de paletas, se establece que el diámetro del rodete debe ser del 50 al 80% del diámetro interno del tanque y la anchura de la paleta del 10 al 16.7% de su longitud. La conformación de las cuatro paletas se tomó en base a lo sugerido por Geankoplis (11). Se partió de un tanque de hierro, construido con chapa de 1 mm de espesor, con 23 cm de diámetro y 27 cm de altura, tomando un 50% de este diámetro para diseñar el diámetro del rodete, y de éste un 15.6% para la altura de la pala, de acuerdo a los rangos ya citados. Los cálculos se detallan a continuación:

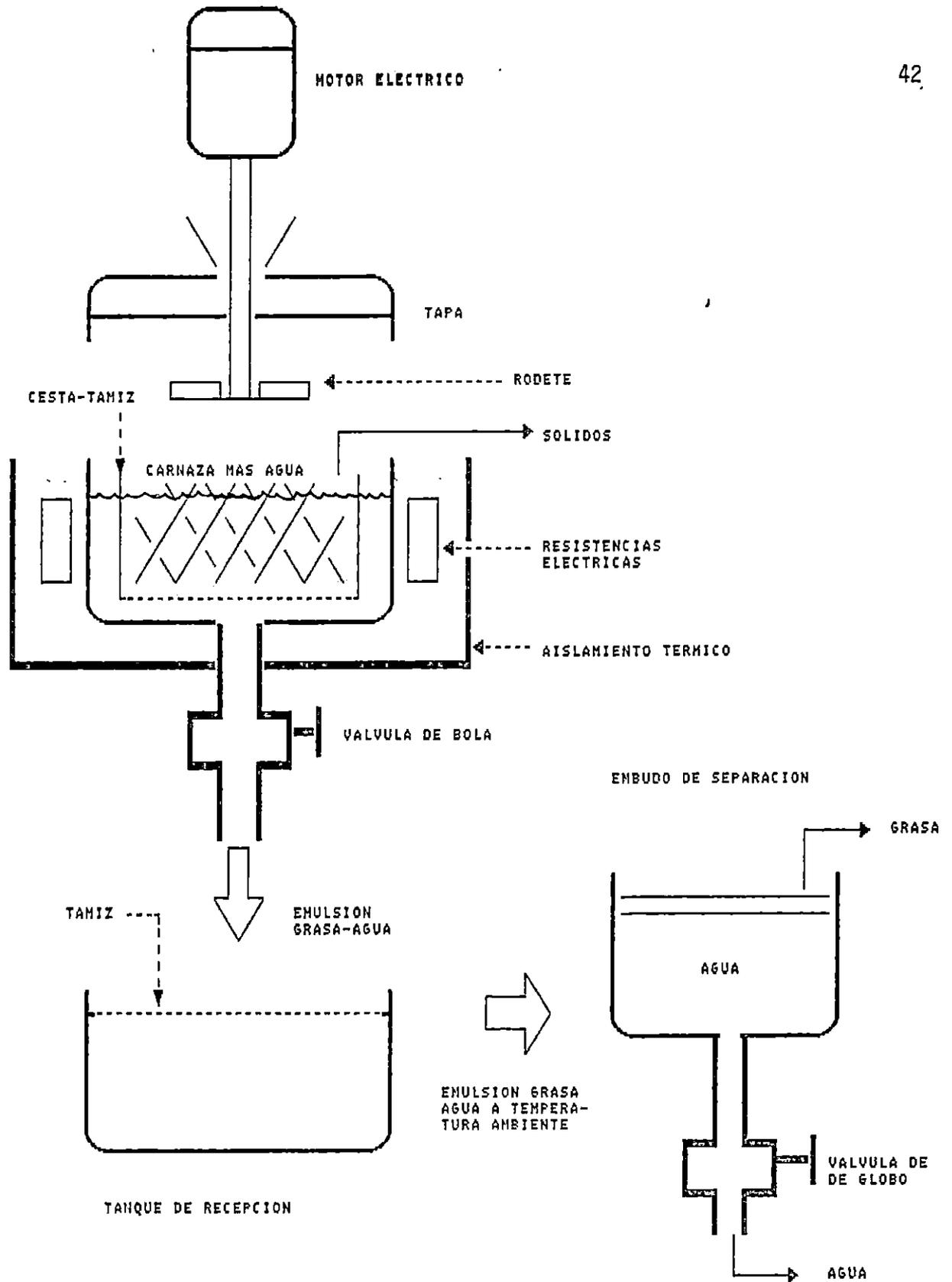


Fig 2.4 . Sistema de separación de Grasas usando calentamiento y agitación diseñado y construido para los propósitos de este estudio.

Diámetro del rodete:

$$\frac{D_i}{D_t} * 100 = 50 \% \quad EC.2.1$$

$$D_i = 50 * \frac{D_t}{100} = \frac{50 * 23cm}{100} = 11.5cm$$

Altura de la pala:

$$\frac{W}{D_i} * 100 = 15.6 \% \quad EC. 2.2$$

ya que la longitud de la pala es igual al diámetro del rodete

$$W = \frac{D_i * 15.6}{100} = \frac{11.5cm * 15.6}{100} = 1.8 cm$$

En donde:

$D_t$  : Diámetro del tanque.

$D_i$  : Diámetro del rodete.

$W$  : Altura de la pala.

El material usado para la construcción del rodete y el eje es de aluminio, y el ensamble de las paletas a la base del rodete se realizó mediante remaches. El eje se sujeta al rodete mediante el método de "contratuercas", en el Anexo 2 se detalla el diseño de ingeniería que se usó para su construcción.

### 2.2.3.- Cesta Tamiz.

El diseño de esta parte del sistema se realizó con chapa de acero con bases de pernos de hierro galvanizado, rodeado de una malla #16, es decir 16 aberturas por pulgada. Sus dimensiones son 20 cm de diámetro por 20 cm de altura. Como base posee un tamiz tipo chapa perforada, con un diámetro de partícula de 2.5 mm, el cual se diseñó tomando como base un análisis de tamizado de los sólidos remanentes, siendo capaz de retener hasta un 92% de dichos sólidos; su construcción se puede apreciar en la figura 2.5.

### 2.2.4.- Sistema de soporte y aislamiento térmico.

La base en que se montó todo el sistema consta de una armazón de ángulo de hierro de 2 mm de espesor de dimensiones 51x38.8 x35.5 cm, en la cual se instalaron para efectos de aislamiento 4 piezas laterales de lámina de asbesto de 1.5 cm de espesor, así como en el fondo y el tope. El montaje de la carcasa también permite soportar en su parte superior el mecanismo de agitación.

### 2.2.5.- Sistema de Separación de la emulsión.

El método de separación realizado (fig. 2.6), emula a los habituales embudos de separación a nivel de laboratorio; el depósito se construyó a partir de un embase de vidrio para agua potable al cual se le eliminó el fondo, colocando en la boca de la botella una válvula de globo para realizar la purga.

El sistema construido en su totalidad de acuerdo al diseño anteriormente descrito puede apreciarse en la figura 2.7, el cual tiene una capacidad de manejar un volumen total de 10.4 litros.

### 2.2.6.- Estimación de la carga de calor usada en el proceso de separación de grasas.

Los sistemas de agitación provistos de chaqueta de calenta-

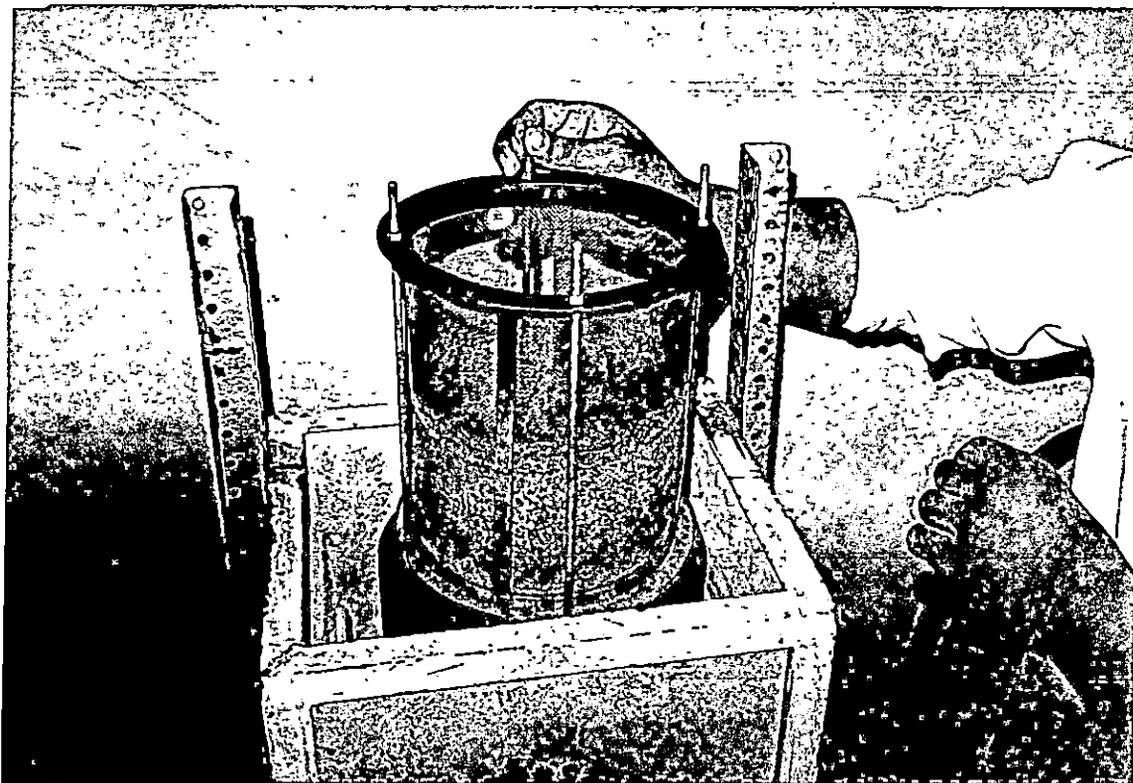


Figura 2.5 Cesta tamiz diseñada para la separación de sólidos libres de grasa del equipo de separación.

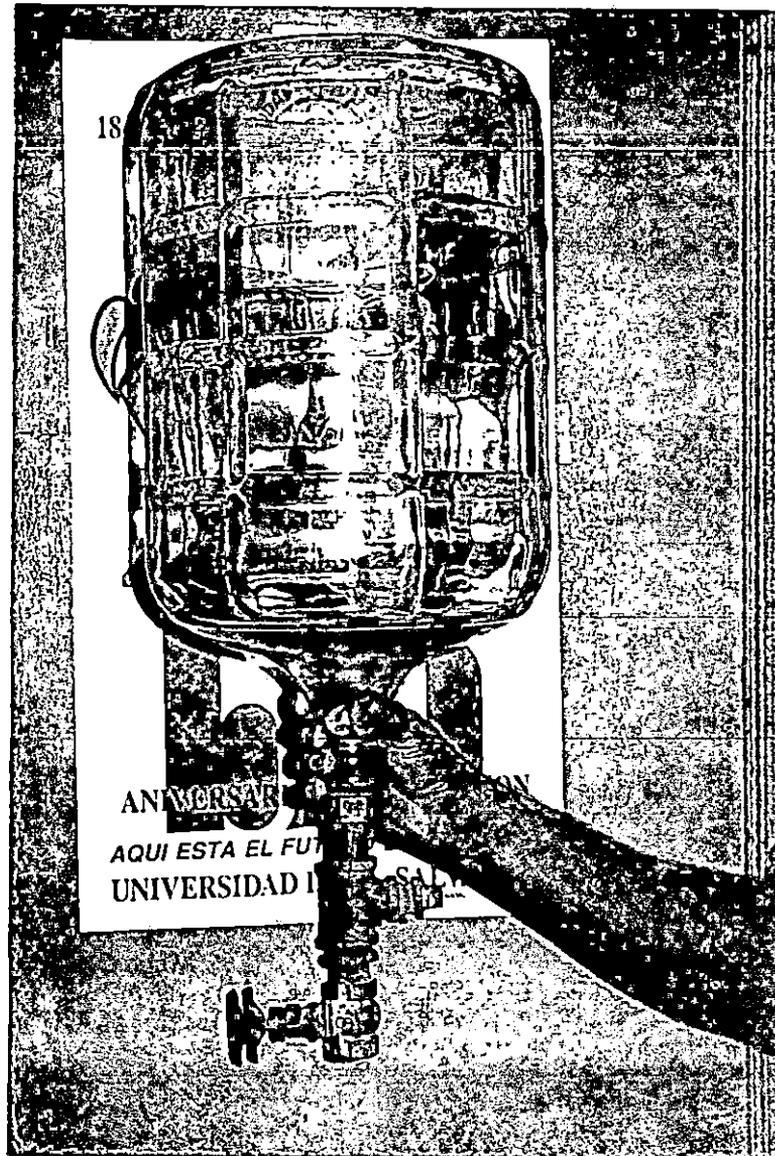


Figura 2.6 Embudo de separación diseñado para la separación de las fases grasa-agua.

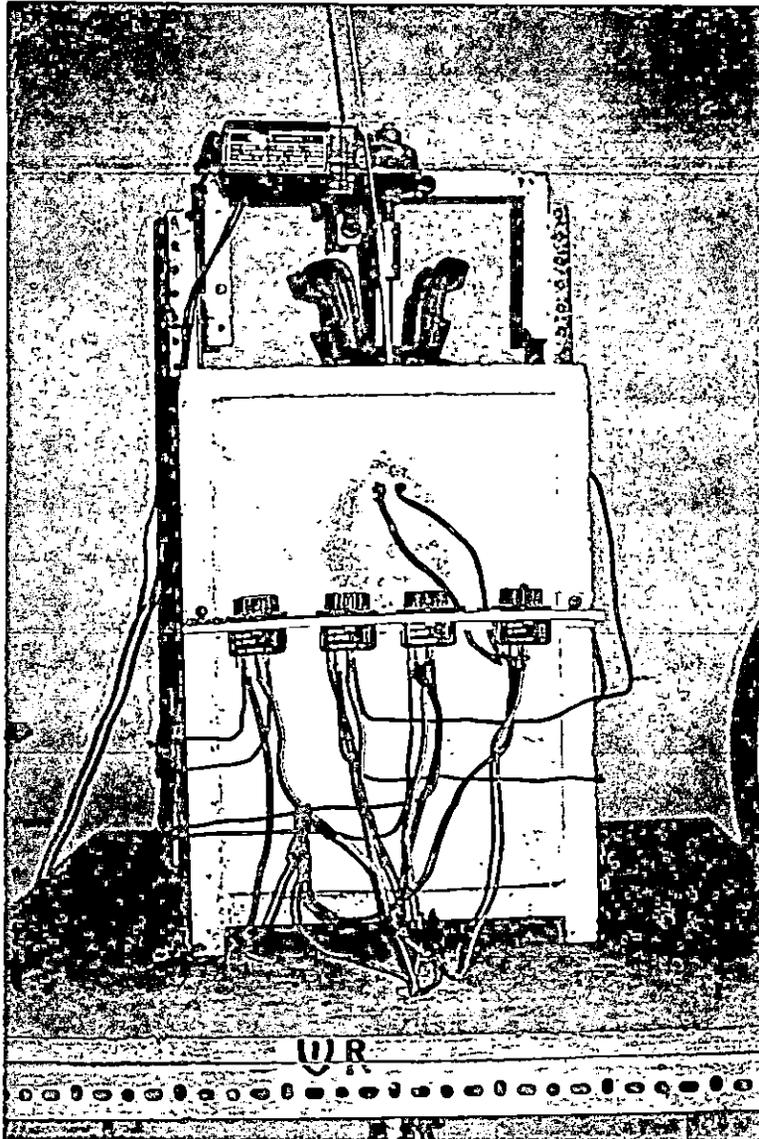


Figura 2.7 Construcción general del equipo de separación de grasas diseñado para los objetivos de este estudio.

miento, o enfriamiento, han sido estudiados ampliamente por Chilton, Linneberry, Pavlushenko y otros, (12), para diversas geometrías del tanque agitado, y han propuesto una correlación para calcular el coeficiente de transferencia de calor para líquidos newtonianos, en función del Número de Reynolds y el Número de Prandtl así como de una relación de viscosidades, de la siguiente forma:

$$\frac{h D_t}{k} = a \left( \frac{N \rho D_1}{\mu} \right)^b \left( \frac{\mu C_p}{k} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad \text{Ec. 2.3}$$

En donde:

$h$  : Coeficiente de transferencia de calor del fluido.

$D_t$  : Diámetro del tanque.

$k$  : Conductividad térmica.

$D_1$  : Diámetro del rodete.

$N$  : Velocidad rotacional.

$\rho$  : Densidad del fluido.

$\mu$  : Viscosidad.

$\mu_w$  : Viscosidad del fluido, evaluada a la temperatura de la pared.

$a, b, m$ : Constantes que dependen de la geometría del sistema (11).

Desafortunadamente, esta correlación ha sido desarrollada a partir de ensayos de Planta Piloto en donde el fluido que circula por la chaqueta es agua, fenómeno que no se adapta a las condiciones experimentales, en donde se utilizó resistencias eléctricas como medio de calentamiento y el problema de transferencia de calor planteado en estos casos es la existencia de generación de calor en el seno del medio conductor, algo similar ocurre cuando a través de un medio conductor de fluido ocurre una reacción química. Considerando el fenómeno anterior, Carslaw y Jaeger (11), han deducido una expresión para calcular el flujo de calor y la temperatura central en estos casos, como se muestra a continua-

ción:

$$P = q \pi R^2 L \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$T_o = \frac{q R^2}{4 k} + T_w \quad \text{Ec. 2.5}$$

En donde:

- P : Potencia eléctrica.
- q : Flujo de calor desde la resistencia,
- L : Longitud del alambre.
- k : Conductividad térmica del material.
- $T_w$  : Temperatura de la superficie exterior.
- $T_o$  : Temperatura del centro.

Para realizar el cálculo se tomaron medidas de voltaje y corriente durante el funcionamiento del equipo, mediante un Volti-amperímetro de gancho (fig. 2.8), así como la temperatura de la superficie de las resistencias, mediante una termocupla; comparando este dato con los proporcionados por la empresa ACAVISA, de C.V. (Anexo 3).

Datos:

$$V = 110 \text{ volt.}$$

$$I = 6 \text{ A}$$

$$T_w = 870^\circ\text{C} = 1143.2 \text{ K}$$

$$L = 5.018 \text{ m (longitud del alambre de la resistencia)}$$

$$R = 0.4 \text{ mm (radio del alambre de la resistencia)}$$

Entonces según la ecuación 2.4, se tiene:

$$I.V = q \pi R^2 L \quad ( = ) \quad \text{watt} \quad \text{Ec. 2.6}$$

ya que:

$$P = V * I$$

Donde:

V: Voltaje.

I: Intensidad de corriente.

Resolviendo para q de ecuación 2.6 se tiene que:

$$q = \frac{I * V}{\pi R^2 L} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Sustituyendo los valores conocidos:

$$q = \frac{(6 * 110) \text{ watt}}{\pi * \left( \frac{0.4}{1000} \right)^2 \text{ m}^2 * 5.018 \text{ m}}$$

$$q = 2.617 \times 10^8 \frac{\text{watt}}{\text{m}^3}$$

El espacio donde se ubica la resistencia es la diferencia entre el volumen de la caja y el volumen del tanque, esto es:

$$V = V_{\text{caja}} - V_{\text{tanque}}$$

$$V = (0.32 * 0.27 * 0.3) - \{ \pi * [ (0.23)^2 / 4 ] * 0.27 \} = 0.0147 \text{ m}^3$$

Para las condiciones planteadas, el flujo de calor es:

$$q = (2.617 \times 10^8 \text{ watt/m}^3) * 0.0147 \text{ m}^3 = 3.847 \times 10^6 \text{ watt}$$

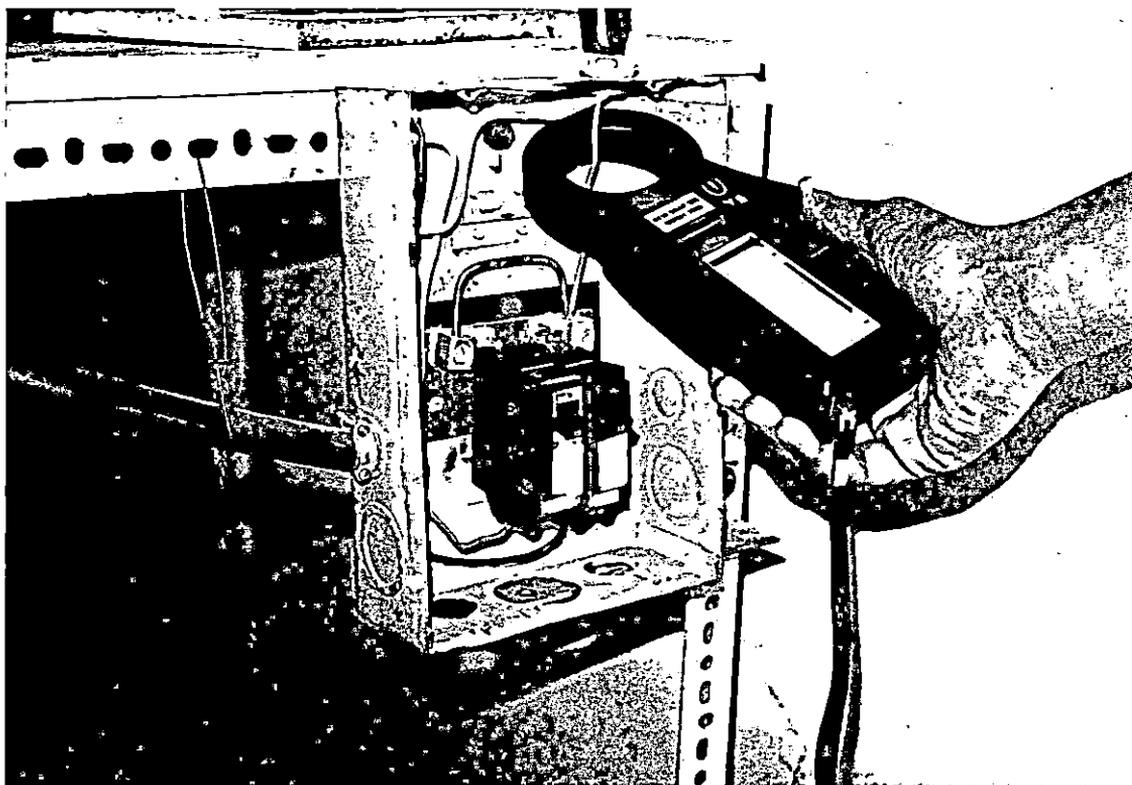


Figura 2.8 Medición de amperaje durante un lote de extracción de grasa para la estimación de la energía consumida.

La temperatura central es según la ecuación 2.5:

$$T_o = \frac{2.617 \times 10^8 \text{ watt} * \left( \frac{0.4}{1000} \right)^2 m^2 * m * K}{m^3 * 4 * 22.5 \text{ watt}} + 1143.2 K = 1143.7 K$$

### 2.2.7.- Potencia consumida en la agitación.

Para realizar este cálculo se partió de las correlaciones y datos proporcionados por Brown, (13), debido a que en su trabajo se encuentra una mayor variedad de geometrías para agitadores. Fue necesario determinar la velocidad rotacional usando un tacómetro, como se puede observar en la figura 2.9; la viscosidad del fluido fué estimada como la del agua, ya que ésta se encuentra en un porcentaje de exceso superior al 90% en peso con respecto a la carnaza

#### Datos:

Agitador de cuatro palas planas.

$D_i$  : 11.5 cm

$D_e$  : 23 cm

$N$  : 161 rpm

Propiedades del agua a 80°C Anexo 4 (11).

$\mu$ : 0.3565 centi poise =  $0.3565 \times 10^{-3}$  Kg/m.s

$\rho$ : 971.83 Kg/m<sup>3</sup>

La bibliografía citada (13), reporta una gráfica, Anexo 5, donde aparecen varias curvas que corresponden a diversas geometrías del sistema de agitación, las cuales se pueden seleccionar según el cuadro de la parte superior. En dicha gráfica, una vez seleccionada la curva, de acuerdo a las condiciones del sistema, se evalúa el número de Reynolds y de la interacción de éste con la curva seleccionada, proporciona el dato del Número de Potencia que se lee en el eje de las ordenadas, este número tiene por ecuación:

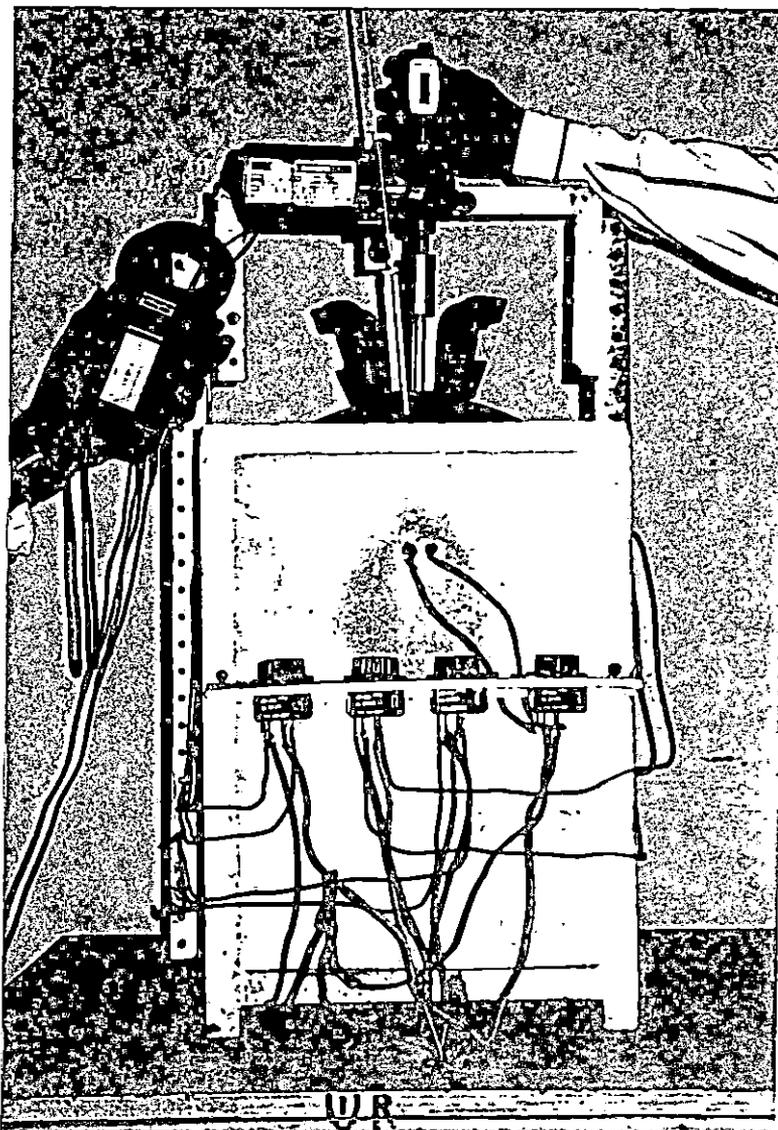


Figura 2.9 Medición de RPM para la estimación del requerimiento de potencia del sistema de agitación.

$$\Phi = \frac{P g_c}{\rho N^3 D_1^5} \quad \text{EC. 2.8}$$

la potencia es:

$$P = \frac{\Phi \rho N^3 D_1^5}{g_c} \quad \text{EC. 2.9}$$

En donde:

- $\Phi$  : número de potencia
- $g_c$  : constante de Newton
- $\rho$  : densidad
- $D_1$  : diámetro del rodete
- $N$  : velocidad de rotación
- $P$  : potencia

Inicialmente se calculó el número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{D_1^2 N \rho}{\mu} \quad \text{EC. 2.10}$$

$$N_{Re} = \frac{(0.115)^2 m^2 * \left(\frac{161}{60}\right) rev * m.s * 971.83 Kg}{s * 0.3565 \times 10^{-3} Kg * m^3} = 9.7 \times 10^4$$

Con  $N_{Re} = 9.7 \times 10^4$  y seleccionando la Curva 8 de acuerdo a las condiciones antes mencionadas, se lee un valor de  $\Phi = 2$ .

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación 2.9 se

tiene:

$$P = \frac{2 * 971.83 \text{ kg} * \left( \frac{161}{60} \right)^3 \text{ rev}^3 * (0.115)^5 \text{ m}^5 * \text{kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^3 * \text{s}^3 * 9.81 \text{ kgm} \cdot \text{m}} = 0.077 \frac{\text{kgf} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

De acuerdo a los datos de la tabla, Anexo 5 éstos no corresponden exactamente a los del sistema real; por tanto es necesario corregir el valor calculado, mediante el factor de corrección:

$$\sqrt{\frac{\left( \frac{D_c}{D_i} \right) \left( \frac{Z_1}{D_i} \right)_{\text{deseados}}}{\left( \frac{D_c}{D_i} \right) \left( \frac{Z_1}{D_i} \right)_{\text{gráficos}}}}$$

Donde  $Z_1$  es la altura del nivel del líquido en el depósito, el cual es de 0.24 m, por tanto:

$$P = 0.077 * \sqrt{\frac{\left( \frac{0.23}{0.115} \right) \left( \frac{0.24}{0.115} \right)}{4.35 * 4.3}} = 0.0364 \frac{\text{kgf} \cdot \text{m}}{\text{s}} = 0.0005 \text{ HP}$$

Por lo que el motor disponible que se usó para operar el sistema (1/15 HP), sobrepasó los requerimientos de potencia para el funcionamiento del mismo.

#### 2.2.8.- Sistema eléctrico.

Como ya se mencionó el método de calentamiento consistió en el uso de cuatro resistencias eléctricas instaladas en la carcasa del equipo, como puede observarse en la figura 2.10.

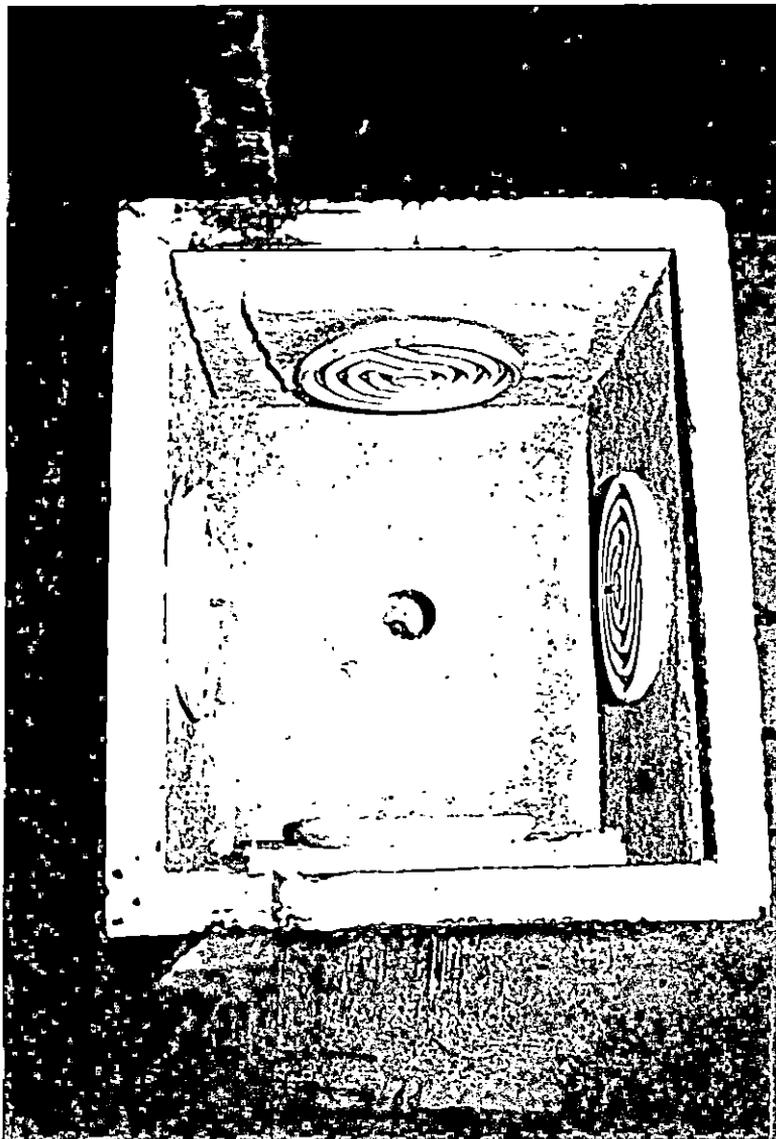


Figura 2.10 Montaje de resistencias al sistema de separación de grasa como fuente de energía para fundir la grasa de la carnaza.

Durante la operación del equipo se realizaron mediciones de voltaje y amperaje, los cuales resultaron ser de 110v y 6A, respectivamente. La Ley de Ohm establece que:  $R = V/I$ , en donde, R es la resistencia en ohmios; V, el voltaje expresado en voltios; I, es la intensidad de corriente en amperios. Por tanto el valor de resistencia es de 18.3 ohmios. Este valor fue regulado con cuatro reostatos, uno por cada resistencia, instalados en un panel exterior al equipo, figura 2.11, desde el cual se regulaba la temperatura del sistema; a manera de preveer cualquier problema de sobrecarga se instalaron en la acometida dos fusibles térmicos con capacidad de 15 A, cada uno. La instalación y distribución eléctrica de todo el sistema puede observarse en la figura 2. 12.

#### 2.2.9.- Diseño experimental.

En toda experimentación existen variables dependientes e independientes, cuya combinación se considera como determinante en la consecución de la máxima cantidad de información sobre la investigación que se realiza.

El Diseño Experimental se puede resumir en los siguientes pasos fundamentales: (14)

- a.- Listar todas las posibles variables influyentes sobre el proceso.
- b.- Determinar las variables controlables por el experimentador (variables independientes o variables factor) y las no controlables, (variables fijas), estas últimas incluyen:
  - i.- Las que no se modifican por el desarrollo del experimento.
  - ii.- Las que son dependientes de las variables factor, y
  - iii- Las que son determinadas por decisión personal.
- c.- Definir las variables respuesta.
- d.- Definir cada uno de los niveles de las variables independientes establecidas.

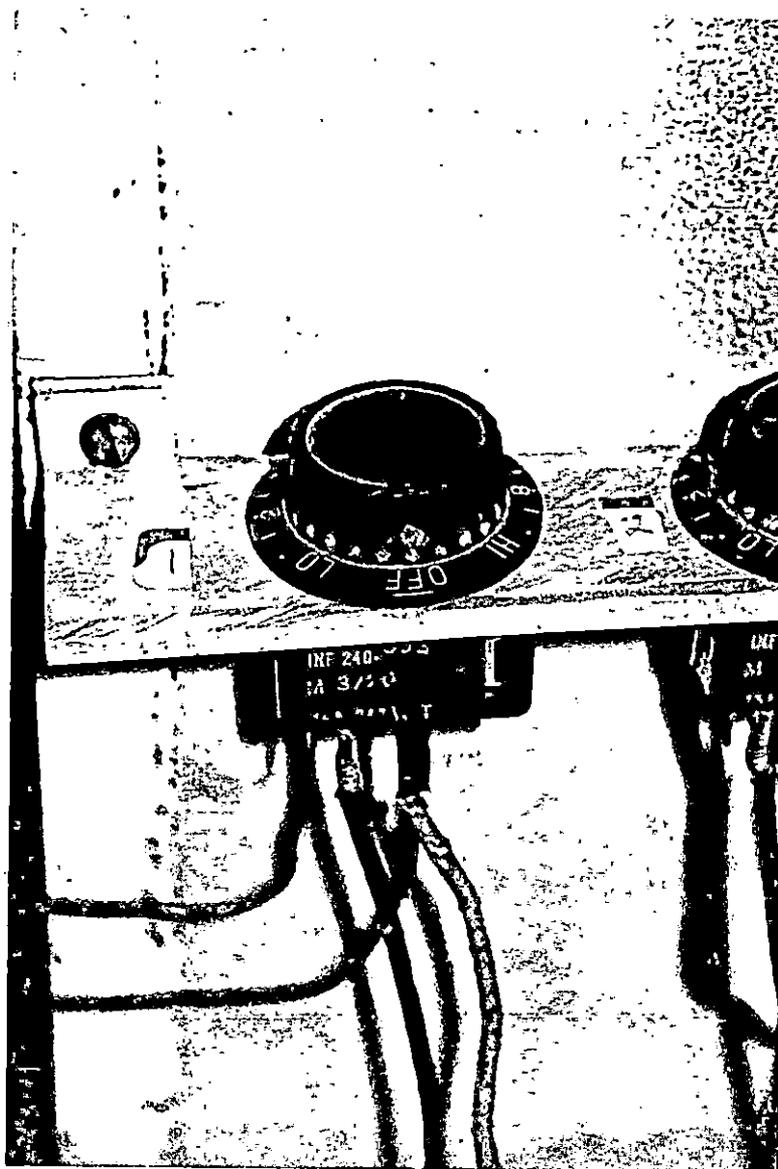


Figura 2.11 Control de temperatura instalado en el equipo de separación de grasa descrito en la Sección 2.2.8.

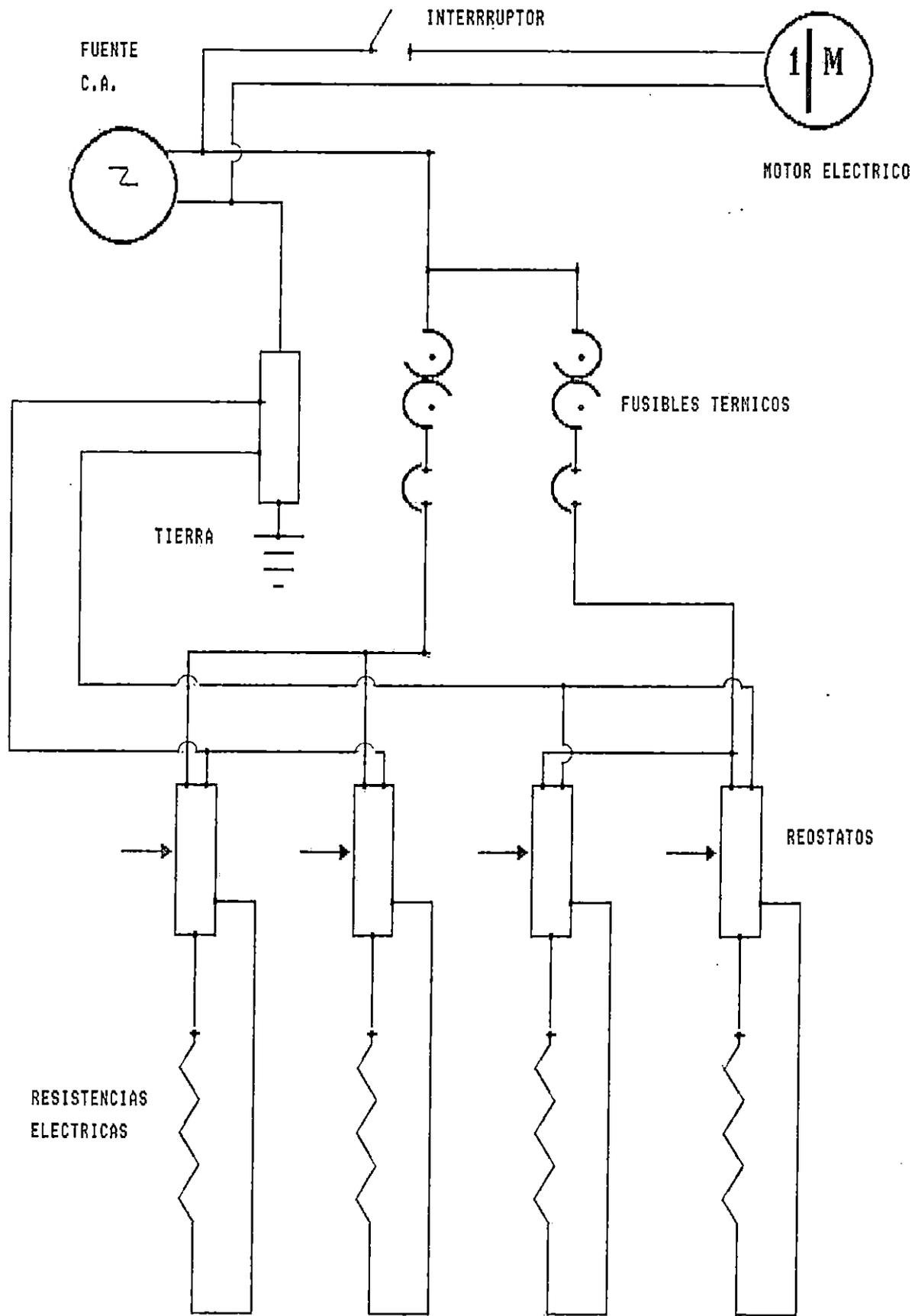


FIG. 2.12 DIAGRAMA ELECTRICO GENERAL DEL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS

- e.- Definir el arreglo del experimento a realizar (tipo de Diseño Experimental).
- f.- Una vez realizado el experimento, evaluar el efecto de todas las variables independientes mediante un Análisis de Varianza y DMS, así como por análisis de regresión, estableciendo un modelo matemático que relacione la variable respuesta con cada una de las variables independientes.

Los pasos anteriormente expuestos son los que determinarán, mediante pruebas estadísticas, la validez o confianza tanto del tratamiento de los datos obtenidos en la experimentación, así como del modelo matemático obtenido en la regresión. Estas pruebas estadísticas se especificarán en la medida que se realicen los análisis requeridos.

#### 2.2.10.- Identificación de variables involucradas en el proceso.

Las variables involucradas en el proceso a diseñar se resumen básicamente en el siguiente listado:

- a.- Tamaño del tanque (altura).
- b.- Diámetro del tanque.
- c.- Nivel del líquido.
- d.- Cantidad de masa a procesar.
- e.- Diámetro del agitador.
- f.- Placas deflectoras.
- g.- RPM del motor.
- h.- Cantidad de calor.
- i.- Temperatura.
- j.- Presión.
- k.- Tiempo de residencia.

#### 2.2.11.- Tamizado de variables.

Muchas de las variables que se utilizarán en el diseño y construcción del sistema de separación de grasas, se fijarán en

base al porcentaje de grasa contenido en la muestra a tratar, es decir la carnaza, cuyo resultado se reporta anteriormente y que es del 20.345%. En consecuencia, este porcentaje de grasa será el parámetro básico para determinar el tamaño y diámetro del tanque, así como la cantidad de materia prima a utilizar; esto en función de la cantidad de grasa requerida para los respectivos análisis y la fabricación del jabón.

El diámetro del rodete será fijado por el diámetro del tanque y la estructura vertical de la canasta interna del tanque servirá como placas deflectoras.

La presión será una variable que no afectará al proceso, puesto que se controlará mediante dos orificios de salida del vapor generado colocados en la tapadera del tanque y que servirán a su vez para colocar el termómetro y para dar paso al eje del agitador.

El nivel del líquido en el tanque estará determinado por la cantidad de masa en una proporción adecuada, teniendo en cuenta que se utilizará un exceso de agua para mejorar la emulsión grasa-agua.

El motor utilizado en la operación de agitación proporcionará unas rpm definidas, trabajando a una potencia de 1/15 HP con un amperaje de 1.3 amperios.

La cantidad de calor estará definida por el rango de temperatura utilizado para la extracción de la grasa y como consecuencia por la energía consumida durante este proceso.

Como resultado de esta depuración técnica o tamizado de variables se llega a la conclusión que únicamente serán dos las variables a manejar durante la realización del proceso de separación. Estas variables son específicamente la temperatura y el

tiempo de residencia de la materia prima, los cuales se variarán en un rango adecuado a fin de determinar el mayor rendimiento posible y que serán detalladas posteriormente.

#### 2.2.12.- Mecanismo de la experimentación.

Como se describió anteriormente en la sección del Diseño del Sistema de Separación de grasas, las variables a manejar en la experimentación son el tiempo de residencia de la materia prima y la temperatura a la cual se hará la extracción de grasa. En este sentido, el diseño del experimento se basará en dos variables independientes y una variable dependiente, que para este caso en particular será el rendimiento de grasa en cada uno de los tratamientos seleccionados, a la cual se le llamará variable respuesta

De acuerdo a lo anterior, y tomando en cuenta la naturaleza de la materia prima a utilizar, se seleccionarán tres niveles de temperatura y tres niveles de tiempo de residencia para llevar a cabo la experimentación, tomando en cuenta que el nivel de temperatura no sobrepase los 100°C para evitar degradación de la grasa obtenida por efectos de temperaturas elevadas y para evitar la evaporación del agua en el sistema.

Los niveles de temperatura variarán en un rango de 20°C, comenzando con 54°C, como la menor temperatura, seis grados arriba del punto de fusión de la grasa, y teniendo como límite superior de extracción los 94°C. El tiempo de residencia, es decir el tiempo durante el cual la materia prima se encuentre sometida al proceso de extracción, variará en un rango de media hora, comenzando con una hora y terminando con dos horas, para cada uno de los niveles de temperatura establecidos.

Para cada uno de los tratamientos, es decir la interacción entre tiempo de residencia y temperatura, se obtendrá como variable respuesta el rendimiento de grasa, proceso que se realizará mediante dos repeticiones para cada uno de los niveles respectivos de tiempo y temperatura.

### 2.2.13.- Modelo de diseño experimental.

La manera de cómo se manejarán las variables involucradas en el proceso y los tratamientos a seguir entre ellos, sugieren de acuerdo a la bibliografía (15), el tipo o modelo de Diseño experimental denominado "Diseño Experimental Factorial Completo", en el cual se tomarán en cuenta el efecto que causan tanto las repeticiones, el tiempo de residencia y la temperatura, así como el efecto causado en la experimentación por la interacción de estas dos últimas variables; y al mismo tiempo se evaluarán dichos efectos mediante pruebas y análisis estadísticos para determinar el grado de significancia que cada una de estos aporta en el desarrollo de la experimentación.

El grado de significancia estadística, se evaluará mediante un Análisis de Varianza, (ANOVA), el cual evalúa la variación que provocan las repeticiones, el tiempo y la temperatura, así como la interacción de tiempo y temperatura en el desarrollo de la experimentación. El ANOVA incluye también la variación total y la variación del error de todo el proceso de experimentación.

Se utilizarán pruebas estadísticas auxiliares, tales como la prueba F, en la cual se hará una comparación entre el factor F calculado, ( $F_c$ ), y el factor F de tablas, ( $F_e$ ), (Anexo 6), para determinar, de acuerdo a los niveles de confianza estadístico utilizados, la significancia de cada uno de los parámetros que serán analizados.

La diferencia estadística entre cada una de las temperaturas utilizadas y entre los tiempos de residencia establecidos será evaluada mediante un análisis de Diferencia Mínima Significativa, (DMS), para lo cual se trabajará con los promedios del rendimiento generado por cada una de las variables. El mismo procedimiento se efectuará para analizar la diferencia estadística entre cada una de las interacciones generadas durante la experimentación. Se

utilizará como herramienta auxiliar la Tabla t o de Student, (Anexo 7), para determinar la DMS de cada uno de los promedios evaluados.

### CAPITULO 3

#### METODOLOGIA DE LA EXPERIMENTACION.

##### 3.1.- DESARROLLO DE LA ETAPA EXPERIMENTAL.

Una vez diseñado y construido el Sistema de Separación de Grasa y el tratamiento que se le dará a los resultados obtenidos, se procede a la etapa experimental que involucra una serie de procedimientos que se especificarán a continuación:

##### 3.1.1.- Recolección de la materia prima.

La materia prima a utilizar durante el desarrollo del experimento, será la carnaza proporcionada por la Tenería El Búfalo S.A., de la cual se tendrá suficiente muestra para llevar a cabo todas las pruebas a realizar, para obtener de esta manera un resultado satisfactorio, puesto que se trabajará con un mismo lote de muestra.

##### 3.1.2.- Preparación de la materia prima.

Para efectos de un mejor resultado en cuanto al porcentaje de grasa extraída de la carnaza, la muestra total recolectada será sometida a una reducción de tamaño y un lavado, para posteriormente ser homogenizada y estar lista para que de una forma aleatoria sean tomadas las porciones de carnaza preparada, 300 gramos, y ser introducidas al Sistema de Separación de Grasa, en cada lote que se procese. Cabe mencionar, que el resto de la carnaza será almacenada bajo refrigeración, hasta llegar al congelamiento, con el fin de preservarla en buen estado durante el desarrollo de la experimentación.

### 3.1.3.- Proceso de separación.

La separación de la grasa contenida en la carnaza se llevará a cabo mediante la fusión por medio de calor, proceso en el cual la materia prima se calentará en un medio acuoso para formar una emulsión grasa-agua. La cantidad de agua añadida debe ser en un porcentaje en exceso con respecto a la materia prima para efectos de permitir el mayor grado de separación de la grasa. En este caso se trabajará con un porcentaje de exceso, en peso, arriba del 90% con respecto al peso de la muestra, ya que se procesarán 300 gramos de carnaza en 5000 gramos de agua (5 litros). La mezcla agua-carnaza, se procesará de acuerdo a cada uno de los tratamientos planteados en el Diseño Experimental, es decir a una temperatura y un tiempo de residencia definido, para obtener en cada uno de estos tratamientos la cantidad de grasa recuperada. Durante todo este proceso, la mezcla agua-carnaza será agitada constantemente para asegurar una transferencia de calor homogénea y una mejor superficie de contacto de las partículas de carnaza dentro del Sistema de Separación.

### 3.1.4.- Separación de la grasa de la emulsión formada.

Una vez concluido el tiempo de residencia de la carnaza, se procederá a desconectar las resistencias del equipo y drenar la emulsión grasa-agua del Sistema de Separación mediante la válvula de salida. Teniendo la emulsión se procede a un enfriamiento, ya sea a temperatura ambiente o en el mejor de los casos en refrigeración, para provocar la separación de fases y solidificación de la grasa recuperada en la parte superior, ya que de esta forma se procede a separar la grasa sólida del líquido en el cual está contenida. La grasa así recuperada, es fundida a una temperatura superior, en unos grados, a su temperatura de fusión, para eliminar las gotas de agua arrastradas en la separación, luego se pesa y se determina su porcentaje en base a la cantidad de carnaza alimentada. Cabe mencionar en este momento que el

rendimiento con el cual se trabajará en la evaluación estadística, será el rendimiento en base al porcentaje de grasa reportado por la extracción en un aparato Soxhlet, que será el patrón de dicho procedimiento.

### 3.2.- RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ETAPA EXPERIMENTAL.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de la etapa experimental se presentan en la Tabla 3.1 en la cual  $R_i$  representa el rendimiento de recuperación de grasa de la carnaza y  $M_i$  la masa de cada repetición obtenida por aplicación de tratamiento térmico y evaluado por la ecuación:

$$R_i = \frac{M_i}{300} * 100 \quad \text{Ec. 3.1}$$

Tabla 3.1. Resultados obtenidos en la etapa experimental para el rendimiento de recuperación de grasa de la carnaza por tratamiento térmico en función de temperatura y tiempo de procesamiento.

PRUEBA	TIEMPO (hr)	TEMPERATURA (°C)	GRASA EXTRAIDA (g)		RENDIMIENTO (%p)	
			M1	M2	R1	R2
1	1	54	6.2	6.6	2.07	2.2
2	1	74	9.4	9.1	3.13	3.03
3	1	94	19.9	20.9	6.63	6.97
4	1.5	54	28.8	28.1	9.6	9.37
5	1.5	74	31.5	33.2	10.5	11.07
6	1.5	94	33.4	31.9	11.13	10.63
7	2	54	36.9	37.6	12.3	12.53
8	2	74	46.7	45.3	15.57	15.1
9	2	94	53.3	50.4	17.77	16.8

En la Tabla 3.1:

Base: 300 gramos de carnaza

M1, M2: muestras por duplicado

R1, R2: rendimiento para muestras por duplicado expresado como porcentaje en peso de grasa presente en la carnaza

Debido a que se tomará como rendimiento patrón el proporcionado por la extracción con solvente en un aparato Soxhlet, 23.4%, los rendimientos reportados en la Tabla 3.1 se reportarán también en base al patrón, dividiendo cada valor entre 23.4 y multiplicando este resultado por 100. De esta manera la Tabla 3.2 resume los resultados al aplicar la ecuación para rendimiento global expresado por la ecuación:

$$RG_i = \frac{R_i}{R_p} * 100 \quad \text{Ec. 3.2}$$

Donde:  $RG_i$ : rendimiento global, relación entre la grasa recuperada experimentalmente y la obtenida mediante la extracción por Soxhlet.

$R_i$ : rendimiento para muestras por duplicado.

$R_p$ : rendimiento patrón por método de Soxhlet igual a 23.4%

Tabla 3.2. Rendimientos reportados en base a un rendimiento patrón de 23.4% p/p de grasa en la carnaza, para muestras por duplicado.

TEMP. (°C) →	54		74		94	
	RG1	RG2	RG1	RG2	RG1	RG2
1	8.846	9.402	13.376	12.948	28.333	29.786
1.5	41.026	40.043	44.872	47.308	47.564	45.427
2	52.564	53.547	66.538	64.53	75.94	71.795

Estos resultados serán ordenados de acuerdo al modelo de Diseño Experimental seleccionado para su posterior tratamiento estadístico.

A manera de ilustración, la etapa experimental fue realizada siguiendo el Diagrama de Proceso que se presenta en el Anexo 8.

### 3.3.- EVALUACION ESTADISTICA DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Para evaluar estadísticamente los resultados obtenidos durante la etapa experimental se seleccionó, como se mencionó anteriormente, el Diseño Experimental Factorial Completo, para el cual los datos a evaluar se ordenan de acuerdo a la información mostrada en el Cuadro 3.1.

#### 3.3.1.- Evaluación del Análisis de Varianza (ANOVA).

##### 1.- Factor de Corrección.

$$C = \frac{(\sum x)^2}{n} = \frac{(753.846)^2}{18} = 31571.32$$

##### 2.- $SS_{total}$

$$SS_c = \sum x^2 - C = 39210.33 - 31571.32 = 7639.01$$

##### 3.- $SS_{repeticiones}$

$$SS_r = \frac{(\sum R1)^2 + (\sum R2)^2}{n} - C$$

$$= \frac{(379.059)^2 + (374.787)^2}{9} - 31571.32 = 1.01$$

Cuadro 3.1. Ordenamiento de los resultados obtenidos de acuerdo al diseño experimental factorial completo.

TIEMP	1			1.5			2			
TEMP.	54	74	94	54	74	94	54	74	94	$\Sigma R$
RG 1	8.846	13.376	28.333	41.026	44.872	47.564	52.564	66.538	75.94	379.059
RG 2	9.402	12.948	29.786	40.043	47.308	45.427	53.547	64.53	71.795	374.787
INTERACCION										
$\Sigma x$	18.248	26.325	58.119	81.069	92.18	92.991	106.11	131.06	147.73	
X	9.124	13.162	29.059	40.534	46.09	46.495	53.055	65.534	73.867	
TIEMPO										
$\Sigma x$	102.692			266.24			384.914			
X	17.11			44.37			64.15			
TEMPERATURA										
$\Sigma x$	205.428			249.573			298.845			
X	34.238			41.5955			49.807			

4.-  $SS_{\text{total de interacciones}}$

$$SS_{T,i} = \left[ \frac{(18.248)^2 + (26.325)^2 + (59.119)^2 + (81.069)^2 + (92.18)^2}{2} + \frac{(92.991)^2 + (106.111)^2 + (131.068)^2 + (147.735)^2}{2} \right] - 31571.32 = 7620.91$$

5.-  $SS_{\text{tiempo}}$

$$SS_t = \frac{(106.692)^2 + (266.24)^2 + (384.914)^2}{6} - 31571.32 = 6693.37$$

6.-  $SS_{\text{temperatura}}$

$$SS_T = \frac{(205.428)^2 + (249.573)^2 + (298.845)^2}{6} - 31571.32 = 727.96$$

7.-  $SS_{\text{interaccion}}$

$$SS_i = SS_{T,i} - SS_t - SS_T = 7620.91 - 6693.37 - 727.96 = 199.58$$

8.-  $SS_{\text{error}}$

$$SS_e = SS_{T,i} - SS_T - SS_t - SS_i = 7639.01 - 1.01 - 6693.37 - 727.96 - 199.58 = 17.09$$

En el Cuadro 3.2 se resume Análisis de Varianza de los cálculos especificados en esta sección.

Cuadro 3.2. ANOVA de la evaluación del efecto de temperatura y tiempo en la recuperación de grasa de carnaza.

Variación	gl	SS	$\overline{SS}$	Fc	Ft		
					10%	5%	1%
Repeticiones	1	1.01	1.01	0.473 ns	3.46	5.32	11.26
tiempo	2	6693.37	3346.68	1566.8 ***	3.11	4.46	8.65
Temperatura	2	727.96	363.98	170.4 ***	3.11	4.46	8.65
Interacciones	4	199.58	49.895	23.34 ***	2.81	3.84	7.01
Error	8	17.09	2.136				
Total	17	7639.01					

$\overline{SS}$ : se determina dividiendo el factor SS entre el valor respectivo de su grado de libertad, (gl).

Fc: Se determina dividiendo el factor  $\overline{SS}$  entre el valor correspondiente al  $\overline{SS}$  del error.

Ft: Se toma de la Tabla F (Anexo 6), teniendo como parámetros los grados de libertad de la correspondiente fuente de variación y los grados de libertad del error respectivamente.

\*\*\*: De acuerdo al Análisis de Varianza se concluye que tanto el tiempo, la temperatura y las interacciones, poseen una altísima diferencia estadística significativa para el rendimiento de separación de grasa puesto que el factor Fc de cada uno de ellos supera al factor Ft a los niveles de significancia evaluados del 10%, 5% y 1% reportados en la Tabla F del Anexo 6.

ns: No existe diferencia estadísticamente significativa por repeticiones de las muestras ensayadas.

### 3.3.2.- Evaluación de la Diferencia Mínima Significativa (DMS).

La Diferencia Mínima Significativa es un procedimiento estadístico de separación de medias por comparación múltiple para determinar cuál tratamiento es mejor, cuales son iguales o diferentes y cuál es inferior. Esta prueba no debe utilizarse, a menos que la prueba F sea significativa estrictamente hablando, la DMS sólo debe emplearse para comparar medias adyacentes en un arreglo ordenado (15).

La DMS es una prueba de "t", y su fórmula deriva de la fórmula de "t", la cual se presenta a continuación:

$$DMS = t_{\alpha} * \sqrt{\frac{2 * SS_{error}}{n}} \quad Ec. 3.3$$

Donde:

$t_{\alpha}$  : Representa el valor de "t" de la Tabla del Anexo 7 al nivel de significancia  $\alpha$  evaluado con sus respectivos grados de libertad.

$SS_{error}$  : Es la variación del error reportado por el Cuadro 3.2 del Análisis de Varianza.

$n$  : Representa el número de repeticiones o factores que generan el promedio que se está evaluando.

A continuación se evaluarán los efectos causados por las variables independientes aisladamente, así como también el causado por la interacción de ambas variables.

### 3.3.3.- Evaluación de la DMS para la variable tiempo.

Esta evaluación se presenta en el Cuadro 3.3 y procesa los

promedios generados para cada uno de los tiempos de residencia establecidos a los tres niveles de temperatura reportados.

Cuadro 3.3. DMS para la variable tiempo.

	17.11	44.13	64.15
64.15	47.04***	20.02***	0
44.13	27.02***	0	
17.11	0		

Los datos anteriormente tabulados resultan de restar los elementos de la primera fila a los elementos de la primera columna. Estos datos así obtenidos, se comparan con la DMS calculada por la ecuación 3.3 a cada uno de los niveles de significancia establecidos por los grados de libertad respectivos. El valor de la DMS se presenta en el Cuadro 3.4.

Cuadro 3.4. DMS calculada para el tiempo

	10%	5%	1%
gl	5	5	5
t	2.015	2.571	4.032
DMS	1.7	2.17	3.4

$$SS \text{ error} = 2.136$$

Ahora, comparando los valores de la DMS con los resultados del Cuadro 3.3 se observa que ningún valor es menor que la DMS por lo que se dice que existe una altísima diferencia estadística significativa entre los tiempos utilizados en la experimentación y que el efecto causado por cada uno de ellos es diferente estadísticamente hablando, lo cual se representa mediante los tres asteriscos, indicando que se han superado los tres niveles de confianza establecidos.

### 3.3.4.- Evaluación de la DMS para la variable Temperatura.

Esta evaluación se presenta en el Cuadro 3.5 y procesa los promedios generados para cada una de las temperaturas establecidas a los tres niveles de tiempo de residencia reportados.

Cuadro 3.5. Evaluación de la DMS para la variable temperatura.

	34.238	41.5955	49.8075
49.8075	15.5695***	8.212***	0
41.5955	7.3575***	0	
34.238	0		

Puesto que son los mismos grados de libertad que los que posee la variable tiempo, el valor t de tabla será el mismo para la variable temperatura, así mismo el valor n de la fórmula del DMS, será el mismo, ya que son seis resultados los que generaron cada promedio de temperatura. Por lo tanto la DMS de la Temperatura será la misma que se calculó para el tiempo, Cuadro 3.4.

Del análisis de DMS para Temperatura se concluye que existe una altísima diferencia estadística significativa entre las temperaturas utilizadas en la experimentación, lo cual se representa mediante los tres asteriscos, indicando que se han superado los tres niveles de confianza establecidos.

### 3.3.5.- Evaluación de la DMS para las Interacciones.

Esta evaluación se presenta en el Cuadro 3.6 y procesa los promedios generados para cada uno de los tiempos de residencia establecidos con cada uno de los niveles de temperatura reportados.

Cuadro 3.6 DMS para interacciones temperatura-tiempo en el proceso de recuperación de grasa de carnaza de tenería.

% RG	9.124	13.1625	29.0595	40.5345	46.09	46.4955	53.0555	65.534	73.8675
73.8675	64.752 **	60.7135 **	44.8165 **	33.3415 **	27.786 **	27.3805 **	20.8205 **	8.342 ns	0
65.534	56.41 **	52.3715 **	36.4745 **	24.9995 **	19.444 **	19.0385 **	12.4785 *	0	
53.0555	43.9315 **	39.893 **	23.996 **	12.521 *	6.9655 ns	6.56 ns	0		
46.4955	37.3715 **	33.333 **	17.436 *	5.961 ns	0.4055 ns	0			
46.09	36.966 **	32.9275 **	17.0305 *	5.5555 ns	0				
40.5345	31.4105 **	27.372 **	11.475 *	0					
29.0595	19.9355 **	15.897 *	0						
13.1625	4.0385 ns	0							
9.124	0								

Estos resultados serán comparados con la DMS calculada mediante la ecuación 3.3 a los niveles de significancia establecidos, con sus respectivos grados de libertad para obtener el valor "t" de tablas, Anexo 7, lo cual se presenta a continuación:

Cuadro 3.7. DMS calculada para interacciones temperatura-tiempo.

	10%	5%	1%
gl	1	1	1
t	6.314	12.706	63.657
DMS	9.2279	18.5699	93.0351

Realizando una comparación de la DMS calculada con la ecuación 3.3 con cada uno de los resultados de la DMS del Cuadro 3.6 puede determinarse que existen siete tratamientos o interacciones de tiempo y temperatura que resultan estadísticamente no significantes, ya que sus valores son menores que la DMS calculada y, por lo tanto sus resultados son estadísticamente iguales. Dichos tratamientos y sus respectivos promedios se presentan en el Cuadro 3.8.

Los resultados del Cuadro 3.8 representan los diferentes tratamientos que se le aplicaron a la materia prima, es decir la interacción de tiempo y temperatura en que se llevó a cabo el proceso, y que proporcionan resultados estadísticamente iguales. En este sentido el tratamiento t2T2 significa que la materia prima se trató a un tiempo de residencia 2 y a una temperatura 2, (hora y media y 74°C respectivamente), y así sucesivamente para los tiempos y temperaturas especificadas anteriormente.

De acuerdo a los resultados de la DMS puede concluirse que los tratamientos que proporcionan mejores rendimientos de extracción de grasas son los tratamientos t3T3 y t3T2 resultando estadísticamente iguales con un porcentaje de extracción de 73.8675 y

65.534 respectivamente, siendo éstos los que más se acercan al valor reportado como patrón.

Cuadro 3.8. Tratamientos no significativos en las interacciones temperatura tiempo del tratamiento aplicado.

$t_{3T3} = t_{3T2}$ 73.8675 = 65.534
$t_{3T1} = t_{2T3}$ 53.055 = 46.4955
$t_{2T3} = t_{2T2}$ 46.4955 = 46.09
$t_{1T2} = t_{1T1}$ 13.1625 = 9.124
$t_{3T1} = t_{2T2}$ 53.055 = 46.09
$t_{2T3} = t_{2T1}$ 46.4955 = 40.5345
$t_{2T2} = t_{2T1}$ 46.09 = 40.5345

#### 3.4.- DETERMINACION DEL MODELO MATEMATICO PARA LA EXPERIMENTACION.

En toda investigación planificada con un Diseño Experimental, siempre existen variables independientes y variables dependientes o respuesta (15).

Cuando las respuestas y factores son continuos en escala, es útil considerar la relación factor-respuesta en términos de una función matemática o modelo. Sin embargo, antes de definir el mo-

delo matemático, conviene establecer la estrechez de la relación entre las variables. Esta medida recibe el nombre de coeficiente de correlación ( $r$ ) (15).

Otro aspecto importante, que confirma, es definir la regresión a utilizar. La regresión se refiere a la naturaleza de la relación entre las variables estudiadas (15).

Los datos obtenidos que servirán para la determinación de la regresión se toman del Cuadro 3.1, del cual se utilizarán únicamente los rendimientos promedios, variable respuesta, a la temperatura y tiempo establecidos, variables independientes, los cuales se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Datos para la determinación de la regresión.

RENDIMIENTO (%)	TIEMPO (min)	TEMPERATURA (°C)
9.12	60	54
13.16	60	74
29.06	60	94
40.53	90	54
46.09	90	74
46.5	90	94
53.06	120	54
65.53	120	74
73.87	120	94

Para la determinación de la correlación, se procesaron estadísticamente los datos anteriores mediante el uso del paquete utilitario AXUM (16), el cual es capaz de predecir el coeficiente de correlación, de acuerdo al tipo de regresión seleccionado, además presenta un gráfico superficie en tres dimensiones de los resultados obtenidos y presentados en la Tabla 3.3.

Después de analizar varias posibilidades de regresión, se procedió a seleccionar dos de ellas, que son las que proporcionan resultados que más se aproximan al resultado experimental. Para el caso estas regresiones resultaron ser la lineal y la logarítmica, para las cuales se realiza el análisis de sumatoria de diferencias entre el valor experimental y el que predice la regresión, así como también se determina el porcentaje que existe entre dichas diferencias. Dicho análisis se presenta en la Tabla 3.4.

De acuerdo a estos resultados se observa que al comparar los porcentajes de las desviaciones resulta más conveniente decidirse por la regresión logarítmica, ya que es la que presenta mayor cantidad de valores que no sobrepasan el 10% de diferencia. Esta correlación se representa mediante la siguiente ecuación:

$$y = a * \text{Log}( T ) + b * \text{Log}( t ) + K \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde:

y: Rendimiento o variable respuesta (% p/p)

T: Temperatura en °C

t: Tiempo en minutos

a,b,K: constantes calculadas mediante el paquete utilitario de computación AXUM y cuyos valores son: a = 64.11, b = 156.16 y K = -379.77 con un coeficiente de correlación de 0.96.

Entonces la ecuación 3.2 se transforma en la siguiente expresión:

$$Y = 64.11 \text{Log}T + 156.16 \text{Log}t - 379.77 \quad \text{Ec. 3.5}$$

Tabla 3.4 Diferencia entre el Rendimiento experimental y los Rendimientos predichos por el Análisis de regresión aplicado utilizando el programa de computación AXUM (16).

RENDIMIENTO EXPERIMENTAL R1	RENDIMIENTO PREDICHO LINEAL R2	RENDIMIENTO PREDICHO (LOG) R3	DIFERENCIA R1 - R2	% Dif.	DIFERENCIA R1 - R3	% Dif.
9.12	10.58	8.98	-1.46	-16.01	0.14	1.54
13.16	18.36	17.75	-5.2	-39.51	-4.59	-34.88
29.06	26.15	24.41	2.91	10.01	4.65	16.0
40.53	34.1	36.47	6.43	15.86	4.06	10.02
46.09	41.88	45.25	4.21	9.13	0.84	1.82
46.5	49.67	51.91	-3.17	-6.82	-5.41	-11.63
53.06	57.61	55.98	-4.55	-8.58	-2.92	-5.5
65.53	65.4	64.76	0.13	0.2	0.77	1.18
73.87	73.18	71.42	0.69	0.93	2.45	3.32
			$\Sigma = -0.01$	$X = -3.82$	$\Sigma = -0.01$	$X = -2.02$

Esta regresión es por tanto la que mejor promedia el comportamiento de las variables en el experimento realizado y que puede representarse mediante un diagrama de variable respuesta el cual se muestra en la figura 3.1.

### 3.5.- OPTIMIZACION DE LAS VARIABLES TEMPERATURA Y TIEMPO QUE PREDICEN EL MEJOR RENDIMIENTO.

Una vez determinado el modelo matemático que define el comportamiento del fenómeno de la extracción de grasa en el Sistema de Separación, se procede a evaluar los resultados que proporcionaría el equipo si trabajase a un cien por ciento de extracción. En este sentido la ecuación 3.5 se modifica para un rendimiento de  $y = 100$ , tomando como temperatura a la cual se quiere optimizar de  $80^{\circ}\text{C}$ , para determinar el tiempo óptimo. Se toma esta temperatura como óptima tomando en cuenta el cuidado de no provocar que la grasa extraída sufra alguna degradación por efectos de la misma. De esta manera la ecuación 3.5 se transforma de la siguiente manera:

$$100 = 64.11 * \text{Log}( 80 ) + 156.16 * \text{Log}( t ) - 379.77$$

Al despejar el tiempo resulta que:

$$t = 195.43 \text{ min} = 3 \frac{1}{4} \text{ horas.}$$

Con los datos de  $T = 80^{\circ}\text{C}$  y  $t = 3 \frac{1}{4}$  horas se procede a experimentar en el Sistema de Extracción y se obtienen los siguientes resultados en base al peso de muestra que es de 300 gramos de carnaza.

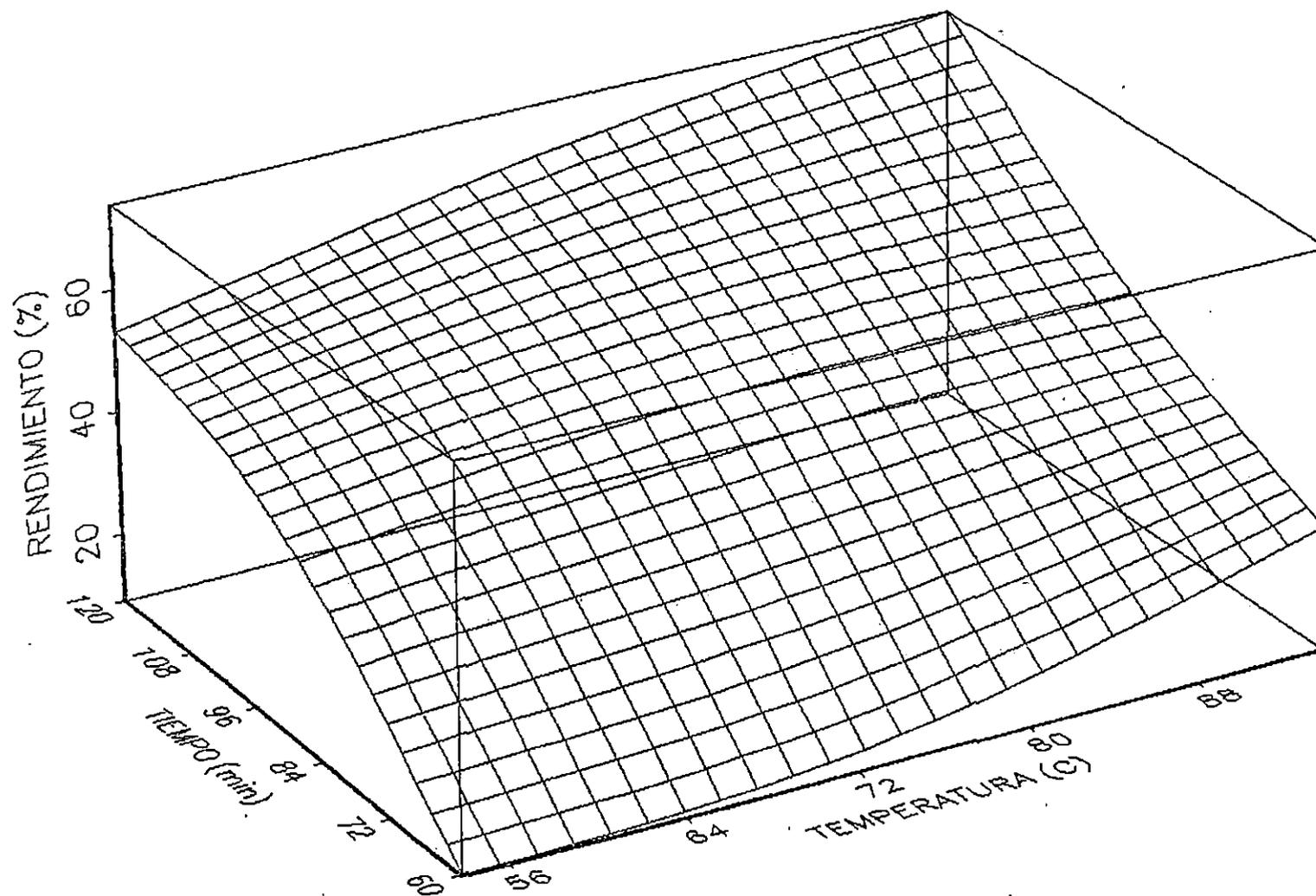


Figura 3.1 Superficie respuesta de los datos experimentales (Tabla 3.2).

Tabla 3.5 Resultados de la optimización al aplicar la ecuación 3.5 para una temperatura de 80°C y un tiempo de 195.43 minutos.

PRUEBA	GRASA EXTRAIDA (g)	% DE GRASA
x <sub>1</sub>	56.2	18.73
x <sub>2</sub>	53.4	17.8
x <sub>3</sub>	52.9	17.6
X	54.17	18.04
s	1.7786	0.603
%CV	3.28	3.34

Peso de la muestra: 300 gramos.

Puesto que los resultados de rendimiento de grasa se han realizado en base al porcentaje de extracción reportado por el Soxhlet, 23.4% para la muestra analizada, el porcentaje de grasa reportado por la Tabla 3.5 se debe expresar de la misma forma que se calculó en Sección 3.2 (Ec. 3.2).

$$RG = \frac{18.04}{23.4} * 100 = 77.09 \% \quad \text{Ec. 3.6}$$

Este valor representa entonces el valor óptimo de extracción de grasa, tomando en cuenta que las ineficiencias inherentes del equipo diseñado no permiten una recuperación completa de la grasa extraída; por lo que el resultado no se ajusta al valor predicho por la ecuación de regresión, la cual con un coeficiente de correlación de 0.96 no reproduce exactamente los valores obtenidos de la experimentación.

## CAPITULO 4

### CALIDAD DE LA GRASA RECUPERADA Y FABRICACION DEL JABON.

#### 4.1.- DETERMINACION DE LA CALIDAD DE LA GRASA RECUPERADA.

Para determinar la calidad de la grasa recuperada se llevaron a cabo una serie de pruebas fisicoquímicas, especialmente aquellas relacionadas a establecer los parámetros mínimos que debe cumplir una grasa para ser utilizada en la fabricación de jabón comercial para lavar. En este sentido, se evaluaron tres índices que resultan fundamentales para este fin, como son el Índice de Yodo, Índice de Acidez y el Índice de Saponificación, cuyo significado fisicoquímico ha sido descrito en la sección 1.2.9. Cabe mencionar también, que se determinó el punto de fusión para la grasa recuperada.

En esta sección se presentarán las marchas analíticas utilizadas para la determinación de los parámetros mencionados, así como también los cálculos y resultados para cada uno de ellos, haciendo al final un resumen de estas características comparadas con los datos proporcionados por la bibliografía.

##### 4.1.1.- Determinación del Índice de Yodo (Anexo 9.1).

###### Material y equipo.

Balanza Analítica  
5 Erlenmeyer de 250 ml  
1 Probeta de 10 ml  
1 Pipeta de 25 ml  
1 Probeta de 100 ml  
1 Bureta de 25 ml

**Reactivos.**

Reactivo de Hanus

Cloroformo

Yoduro de Potasio 15% p/v

Tiosulfato de Sodio 0.1 N

Indicador de almidón 1%

**Procedimiento.**

- 1.- Pesar 0.5 gramos de grasa filtrada en un erlenmeyer de 250 ml.
- 2.- Disolver con 10 ml de de Cloroformo.
- 3.- Añadir, mediante una pipeta, 25 ml de reactivo de Hanus dejando escurrir por unos minutos. Esperar exactamente treinta minutos.
- 4.- Añadir 10 ml de solución de Yoduro de Potasio al 15% y agitar vigorosamente.
- 5.- Agregar 100 ml de agua destilada recientemente hervida y enfriada, para lavar el yodo adherido a las paredes del recipiente.
- 6.- Titular el yodo con Tiosulfato de Sodio 0.1 N, añadiéndolo gradualmente y agitando constantemente hasta que el color amarillo casi desaparezca, cuidando que esto no suceda.
- 7.- Añadir unas gotas de indicador de almidón 1%.
- 8.- Continuar la titulación hasta que desaparezca por completo el color azul.

Simultáneamente a este procedimiento deben hacerse dos corridas en blanco, es decir siguiendo los mismos pasos a excepción de agregarle la muestra, (paso 1), tomando el promedio de ambos valores.

### Cálculos.

Los cálculos para la determinación del Índice de Yodo se reducen a la utilización de la siguiente fórmula:

$$INDICE DE YODO = \frac{(B - M) * N * 12.69}{PESO DE MUESTRA} \quad EC. 4.1$$

donde: B: ml de titulante gastados en la corrida del blanco

M: ml de titulante gastados con la muestra

N: normalidad del titulante (Tiosulfato de sodio).

### Resultados.

Los resultados obtenidos, así como el análisis estadístico, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1. Resultados obtenidos en la determinación del Índice de Yodo para la grasa recuperada de carnaza de tenería.

PRUEBA	ml DE TITULANTE	INDICE DE YODO
X <sub>1</sub>	3.7	26.2026
X <sub>2</sub>	3.75	26.0363
X <sub>3</sub>	3.6	26.5354
X	3.6833	26.2584
S	0.0764	0.254
%CV	2.0736	0.9674

Peso de la muestra: 0.5 g

Normalidad del titulante: 0.1311 N

Mililitros gastados para el blanco: 11.575

4.1.2.- Determinación del Índice de Acidez.  
Acidos grasos libres. (Anexo 9.2)

Principio.

La grasa se disuelve en un solvente apropiado y luego esta solución es titulada con Hidróxido de sodio y la cantidad de titulante consumido es la medida de la acidez de la grasa o el aceite. Primeramente se calcula el porcentaje de Acidos grasos libres, (AGL), como Acido Oléico y luego multiplicando por el factor 1.99 se obtiene el Índice de Acidez.

Material y equipo.

Balanza granataria  
3 Erlenmeyer 250 ml  
1 Probeta 50 ml  
1 Bureta 25 ml

Reactivos.

Alcohol etílico 95%  
Solución estandarizada de Hidróxido de Sodio 0.1 N.  
Fenolftaleína 1%

Procedimiento.

- 1.- Pesar 25 gramos de grasa en un erlenmeyer de 250 ml.
- 2.- Añadir 50 ml de alcohol neutro.
- 3.- Titular con solución estandarizada de Hidróxido de Sodio 0.1 N hasta que el color rosado permanezca 30 segundos por lo menos.

## Cálculos.

El porcentaje de ácidos grasos libres se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ AGL}_{\text{como oleico}} = \frac{V_t * N * 28.2}{W} \quad \text{Ec. 4.2}$$

donde:  $V_t$ : Volumen gastado del titulante.

N: Normalidad del titulante, 0.1053 N

w: Peso de la muestra, 25 gramos.

El Índice de Acidez se calcula con la ecuación 4.3, así:

$$\text{INDICE DE ACIDEZ} = \% \text{ AGL} * 1.99 \quad \text{Ec. 4.3}$$

## Resultados.

Los resultados del Índice de Acidez se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultados obtenidos para la determinación del Índice de Acidez para la grasa recuperada de carnaza de tenería.

PRUEBA	ml NaOH	% AGL COMO OLEICO	INDICE DE ACIDEZ
$X_1$	26	3.0882	6.1455
$X_2$	26.6	3.1595	6.2874
$X_3$	25.5	3.0288	6.0273
$\bar{X}$	26.0333	3.0922	6.1534
S	0.5508	0.0654	0.1302
%CV	2.1158	2.115	2.1159

Peso de muestra: 25 gramos

Normalidad del Hidróxido de Sodio: 0.1053 N

#### 4.1.3.- Determinación del Índice de Saponificación, (8).

##### Principio.

El Índice de Saponificación es determinado mediante la saponificación completa de la grasa o aceite con una cantidad conocida de Hidróxido de Potasio, cuya cantidad en exceso es determinada por titulación.

##### Material y equipo.

Balanza analítica  
3 Erlenmeyer de 250 ml  
1 Frasco volumétrico de 1 lt  
1 Pipeta volumétrica de 25 ml  
1 Condensador de reflujo en espiral  
1 Tapón de hule perforado  
2 Mangueras  
1 Hot Plate eléctrico  
1 Bureta 25 ml

##### Reactivos.

Hidróxido de Potasio (pellets)  
Alcohol etílico 95%  
Fenolftaleína 1%  
Acido Clorhídrico 1M

##### Procedimiento.

- 1.- Preparar la solución alcohólica de Hidróxido de Potasio disolviéndose 35 a 40 gramos de Hidróxido de Potasio en 20 ml de agua y diluir a 1 litro con alcohol etílico 95%. Dejar en reposo durante la noche y decantar el líquido claro.

- 2.- Pesar dos gramos de grasa en un erlenmeyer y agregar exactamente 25 ml de solución alcohólica de Hidróxido de Potasio con una pipeta volumétrica.
- 3.- Adaptar un condensador de reflujo y calentar el erlenmeyer en agua hirviendo durante 1 hora, agitando frecuentemente.
- 4.- Agregar 1 ml de solución de fenolftaleína 1%.
- 5.- Titular en caliente el exceso de álcali con Acido Clorhídrico 0.5 M.
- 6.- Realizar al mismo tiempo una prueba en blanco, es decir realizar todo el procedimiento sin colocar la muestra.

#### Cálculos.

Para determinar el Índice de Saponificación se utiliza la fórmula expresada en la ecuación 4.4:

$$\text{INDICE DE SAPONIFICACION} = \frac{(b - a) * 28.05}{w} \quad \text{Ec. 4.4}$$

donde: b: ml de titulante gastados con el blanco  
a: ml de titulante gastados con la muestra  
w: peso de la muestra, 2 gramos

#### Resultados.

Los resultados para el análisis del Índice de Saponificación así como el análisis estadístico, se presentan en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3. Resultados obtenidos en la determinación del Índice de Saponificación para la grasa recuperada de carnaza de tenería.

PRUEBA	ml HCl (a) (muestra)	ml HCl (b) (blanco)	INDICE DE SAPONIFICACION
X <sub>1</sub>	12.4	27.8	215.985
X <sub>2</sub>	11.7	26.4	206.1675
X <sub>3</sub>	11.6	26.7	211.7775
X	11.9	26.9667	211.31
S	0.4359	0.7371	4.9254
%CV	3.663	2.7334	2.3309

Peso de muestra: 2 gramos

En el Cuadro 4.4 se resumen los tres índices evaluados y se hace una comparación entre el valor experimental y el valor recomendado por la bibliografía para grasas de uso en la fabricación de jabón.

Tabla 4.4. Comparación entre el valor experimental y el valor bibliográfico para los índices de calidad requeridos en grasas para fabricación de jabón.

INDICE	EXPERIMENTAL	RECOMENDADO PARA JABON*
YODO	26.2584	41
ACIDEZ	6.1534	2-4
SAPONIFICACION	211.31	192-202

\* Referencias 8,9.

#### 4.2.- FABRICACION DE JABON.

Para verificar que la grasa obtenida es apta para ser usada en la fabricación de jabón, se tomó como referencia el Trabajo de Linares y Nolasco (1990), en el cual se presentan una serie de formulaciones para su elaboración; tomando como base las formulaciones 1 y 3, preparándose dos pastillas de jabón como puede observarse en la figura 4.1 en donde además se puede apreciar la evolución que tiene la materia prima, carnaza, a lo largo de todo el proceso realizado. Los ingredientes en gramos, que se usaron se presentan en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5. Cantidades usadas en la elaboración de jabón utilizando la grasa recuperada de la carnaza de tenerías, aplicando las formulaciones sugeridas en la referencia 9.

FORMULACION	GRASA	NaOH	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	bentonita	NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	ACEITE DE COCO	*
1	60	8.6	4.6	-	0.2	0.2	28.5	2.3	0.3
3	60	8.9	4.6	0.6	0.7	0.72	10	-	0.6

\* Tripolifosfato de Sodio.

#### 4.3.- DISCUSION DE RESULTADOS.

Durante el desarrollo de toda la investigación se han obtenido diferentes resultados experimentales y cuya evaluación refleja una serie de resultados que serán discutidos a continuación

En cuanto al diseño y construcción del equipo se puede decir que el uso de resistencias eléctricas posibilita rápidamente la obtención de la temperatura deseada debido a la alta temperatura

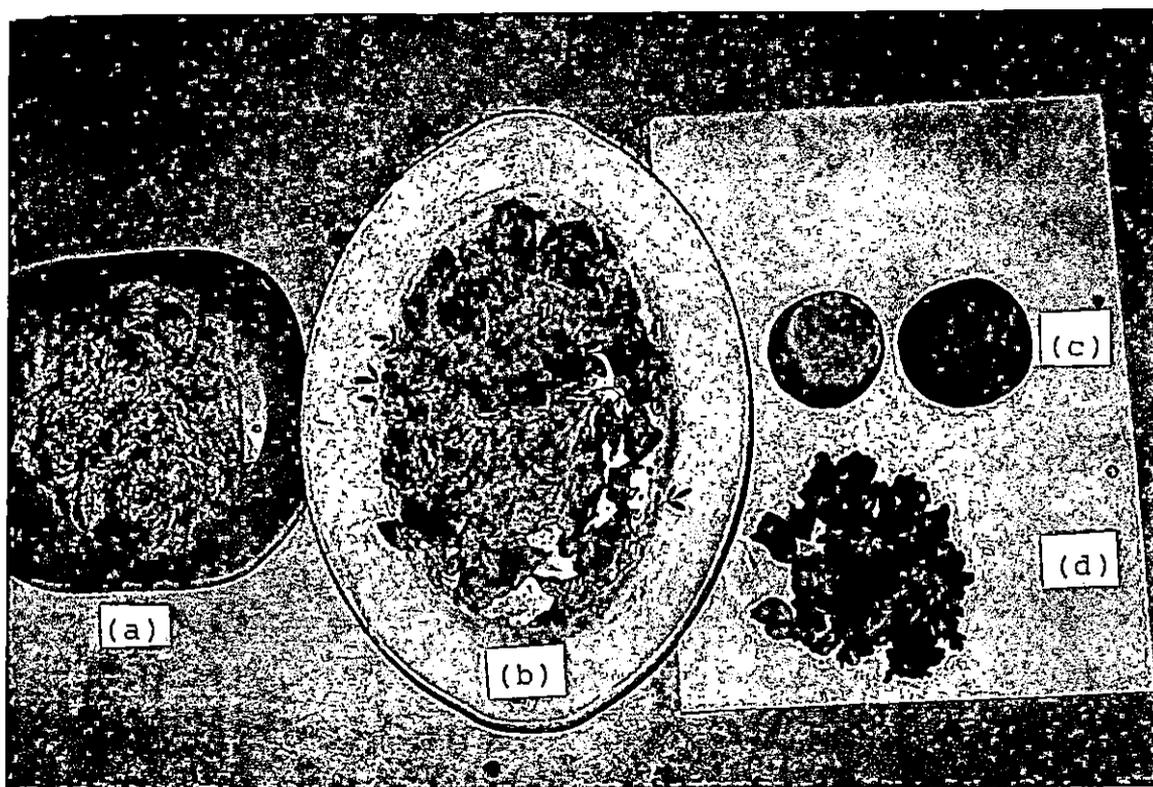


Figura 4.1 Secuencia de la recuperación de grasa a partir de carnaza de tenería y su uso en la elaboración de jabón.

(a) Carnaza, (b) Grasa recuperada, (c) jabón,  
(d) Residuo sólido libre de grasa.

central alcanzada, 870°C, esto unido a la agitación constante del fluido y del sistema de aislamiento térmico permiten hasta una hora de trabajo a temperatura constante con el circuito abierto. Obviamente el alto consumo de energía eléctrica para una resistencia eléctrica, 660 W, vuelven prohibitivo el uso de este sistema para fines comerciales. Del sistema de agitación se puede decir que para las condiciones de trabajo establecidas el consumo de potencia, 0.0005 HP, garantizó su buen funcionamiento debido al sobrediseño del motor, el cual según placa es de 1/15 HP.

Del Diseño Experimental puede decirse que el modelo de Diseño Experimental Factorial Completo refleja que la manera en que se realizó la experimentación, es decir la parte experimental del trabajo, fue la más adecuada; con resultados en cuanto a la validez estadística de los datos que condujeron a los resultados lógicos esperados, puesto que tanto la variación de niveles de tiempo y temperatura utilizados proporcionan resultados diferentes en la variable respuesta seleccionada; esto sin duda condujo a buscar la manera de seleccionar el tratamiento que reportara las condiciones óptimas de trabajo. Lo anterior queda plasmado en el Análisis de Varianza, en el que se reporta que las repeticiones efectuadas para cada tratamiento no fueron significativas en el desarrollo de la experimentación y que por lo tanto su realización no generó una variación considerable en el resultado final del experimento ya que fueron realizadas una forma adecuada y en la cual el funcionamiento del equipo construido desarrolló un papel importante. En este mismo análisis se comprueba lo que se dijo anteriormente, que tanto el tiempo de residencia y la temperatura proporcionaron una altísima variación ya que por la misma naturaleza del fenómeno realizado, extracción de grasa, se esperaba que esto así sucediera. Sin embargo, de las dos variables independientes utilizadas fue el tiempo de residencia la que influyó de manera más apreciable en la variación de los resultados, ya que al realizar la comparación de promedios mediante la Diferencia Mínima Significativa, DMS, resulta que aunque la diferencia entre cada promedio utilizado tanto por el tiempo y la

temperatura fue altísimamente significativa, esta diferencia fue en valor absoluto mucho mayor para el tiempo que para la temperatura como puede observarse en los Cuadros 3.3 y 3.5 respectivamente. Al graficar los promedios generados para cada una de las variables independientes por separado, puede observarse la forma cómo se comporta la variación para cada una de éstas (figs 4.1 y 4.2).

Para los tratamientos o interacciones utilizadas la DMS reporta que existen algunas que no provocan significancia estadística, pero que no por esto responden a las condiciones óptimas de trabajo sino que únicamente reflejan que estadísticamente sus resultados fueron iguales en cuanto a la variación generada en el desarrollo de la experimentación.

La regresión obtenida, ecuación 3.2, representa el comportamiento matemático de todo el experimento siendo su poder de predicción bastante aceptable ya que el porcentaje de diferencia generado entre el valor predicho y el obtenido en la experimentación es en promedio del -2.02%, como puede observarse en la tabla 3.4.

En el tratamiento de la muestra, los resultados obtenidos demuestran que el porcentaje de grasa contenido en la carnaza es bastante representativo, 20.345%, y hace ver que el desecho puede utilizarse, disminuyendo con ésto un poco el grado de contaminación que genera. Sin embargo, el contenido de sólidos libres de grasa es bastante elevado, 13.875%, y puede considerarse como un desecho posterior al cual debe buscársele una utilidad puesto que contiene un porcentaje elevado de proteínas.

El análisis de calidad de la grasa obtenida indica, por su elevado Índice de Saponificación y un bajo Índice de Yodo, que es una grasa acorde a las exigencias para la elaboración de jabón para lavar.

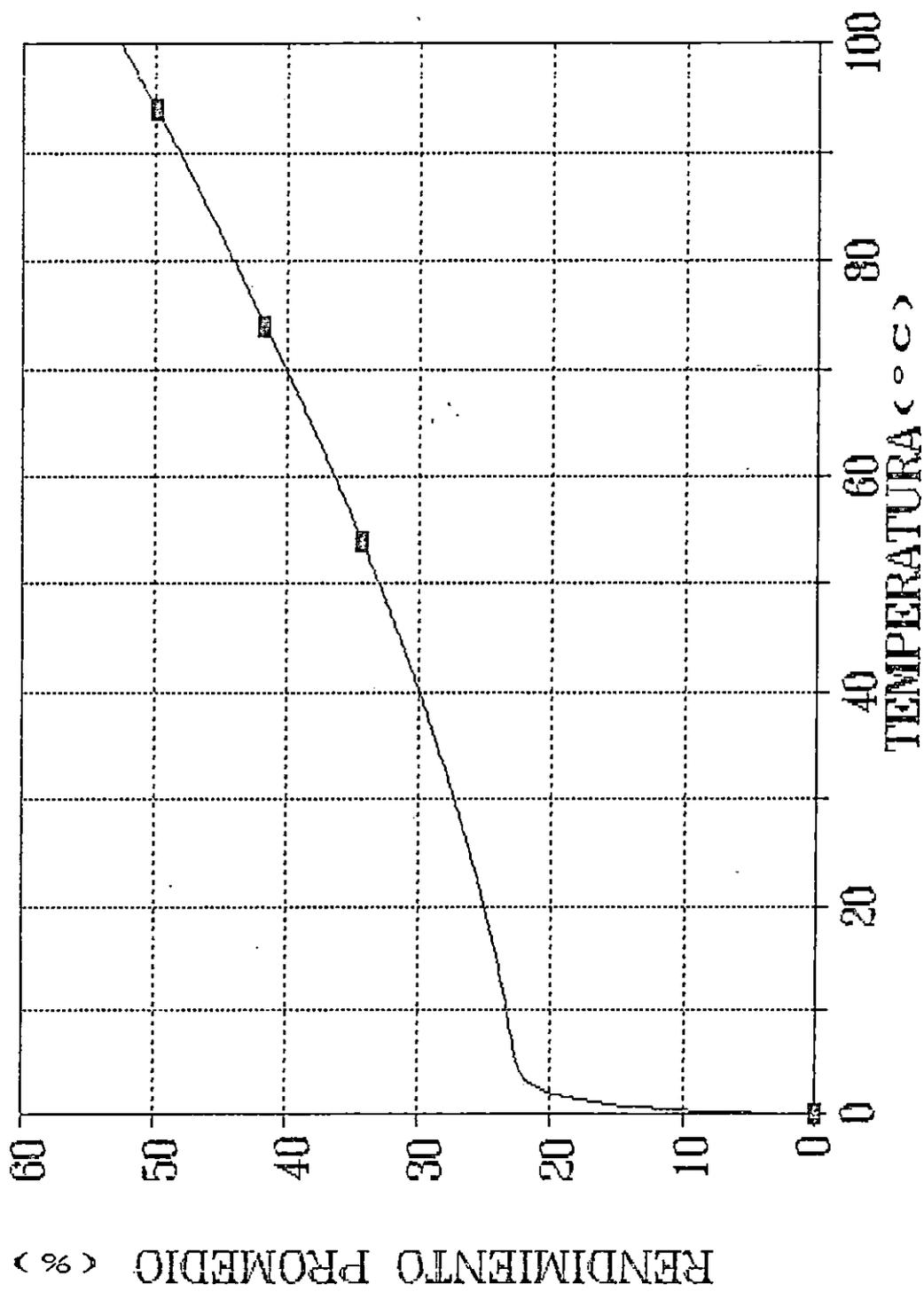


Figura 4.1 Gráfica de DMS para la variable temperatura

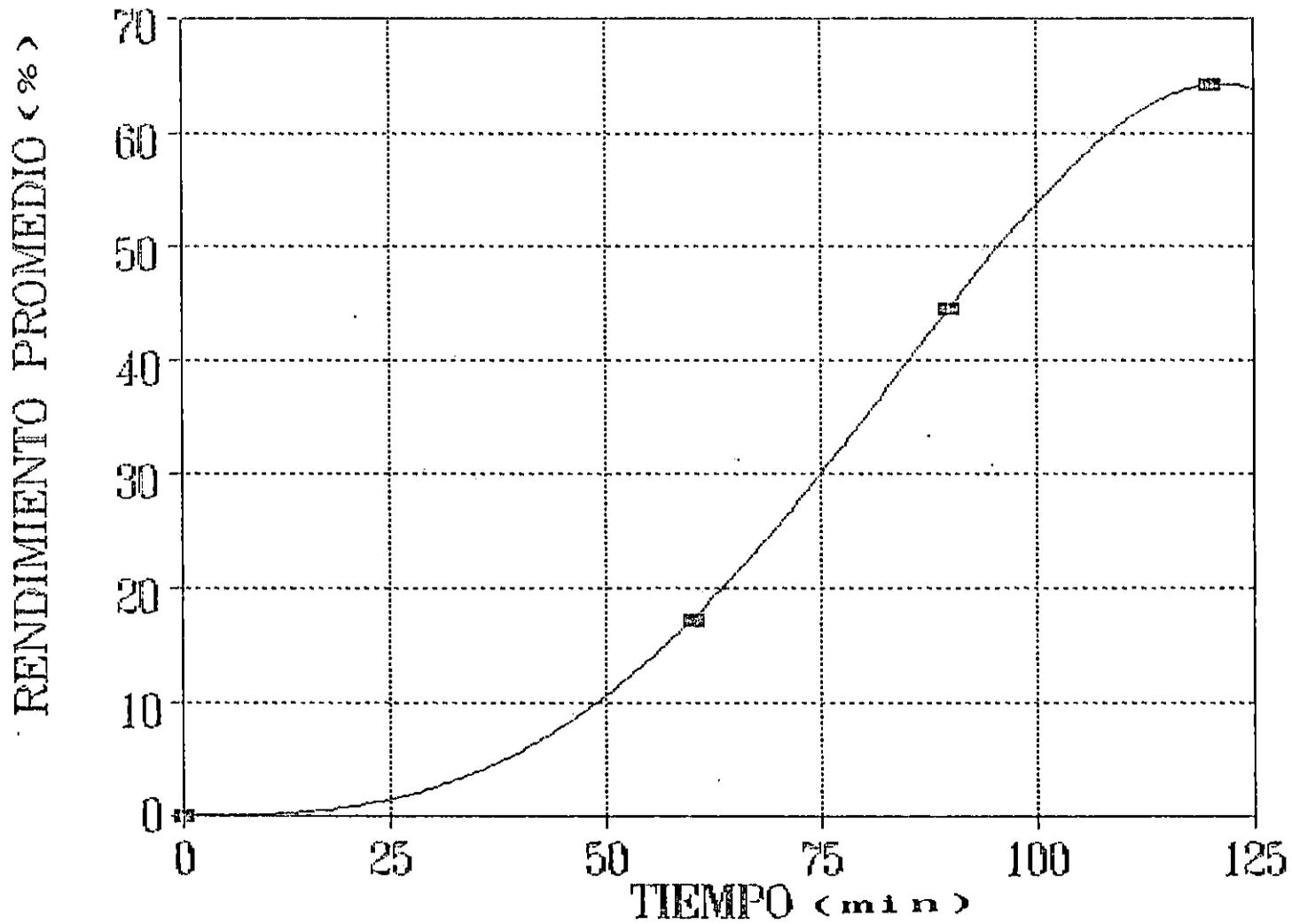


Figura 4.2 Gráfica de DMS para la variable tiempo.

## 5.0.- OBSERVACIONES

- 1.- Es necesario especificar que el porcentaje de grasa reportado para la carnaza, 23.4%, estará sujeto a variaciones, las cuales dependerán de la época del año en que se sacrifica el animal y, también, al lugar de procedencia de éste.
- 2.- Los datos proporcionados en cuanto al volumen de producción de cueros en El Salvador son de confiabilidad limitada, de ahí que los resultados globales presentados sean una aproximación, debido a que en algunas tenerías no fue posible el acceso a sus instalaciones.
- 3.- El principal problema de contaminación de los cuerpos de agua aledaños a las tenerías, a causa de la materia orgánica desechada, lo constituye el aumento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO), consiguiendo con ello la desoxigenación de las aguas; teniendo como resultado la extinción de los biosistemas que requieren del oxígeno para subsistir (17).
- 4.- El sistema de calentamiento utilizado no es el óptimo desde el punto de vista energético y económico, (consumo de 660 W); sin embargo se utilizó debido a la facilidad en el manejo de variables y a su disponibilidad práctica con respecto a otros medios como el vapor.
- 5.- El mecanismo de control de temperatura mediante el sistema de reostato fue capaz de mantener la temperatura constante por largos períodos de hasta 1.5 horas, ayudado por el aislamiento de fibra de asbesto que recubre el sistema.
- 6.- El sistema de agitación responde a las exigencias de la experimentación debido al sobrediseño de su motor que según placa es de 1/15 HP.

- 7.- La cesta-tamiz fue capaz de separar la mayoría de los sólidos, lo cual se evidenció al no presentarse problemas de atascamiento durante la purga.
- 8.- El Sistema de Separación de Grasas fue diseñado de manera que fuese posible su fácil desmantelamiento para propósitos de mantenimiento y en general, fue capaz de satisfacer las expectativas planteadas en cuanto a los objetivos requeridos.
- 9.- De acuerdo a la Tabla 2.4 puede observarse que la sumatoria de los porcentajes de grasa, humedad y sólidos de la carnaza no reportan el 100%, debido a que el resto son otras sustancias volátiles no determinadas.
- 10.- Se notó que el jabón elaborado según la formulación de acuerdo a la bibliografía, (9), la que contiene Bentonita, resultó más duro, consistente y con más cuerpo que la formulación uno.

## 6.0.- CONCLUSIONES

- 1.- El problema de la evacuación de desechos del descarnado se ve agudizado para los teneros durante el verano, debido a la disminución del cauce de los ríos, razón por la cual tienen que ser cremados o enterrados aumentando los costos de producción de la empresa; sin embargo, la evacuación practicada en época de lluvia disminuye estos costos, pero en ambos casos los problemas de contaminación persisten.
- 2.- De acuerdo al porcentaje de grasa presente en la carnaza, determinado por la caracterización del desecho, 23.4%, puede decirse que este desecho es una fuente potencial de aprovechamiento, puesto que teniendo en cuenta las grandes cantidades de carnaza que son vertidas a los ríos (4,341.6 toneladas métricas anuales) podrían recuperarse grandes cantidades de grasa (1,015.9 toneladas métricas anuales) para ser aprovechadas industrialmente, por ejemplo, en la fabricación de jabón.
- 3.- El Sistema de Separación de Grasas construido en esta investigación puede ser mejorado con el fin de proponer un modelo que pueda ser escalado a nivel industrial, adaptándolo a un proceso ya instalado, por ejemplo, para utilizar el vapor exhausto de calderas sustituyendo la fuente de energía utilizada para la separación de la grasa de la carnaza.
- 4.- Los Indices de Saponificación, Acidez y Yodo determinados, se encuentran dentro de los rangos de validez para la fabricación de jabón, tal como se muestra en la tabla 4.4, en la sección 4.1.3. Los valores calculados son los que se requieren para la determinación de la calidad de una grasa en la fabricación de jabón.

## 7.0.-RECOMENDACIONES

- 1.- Con este trabajo se han cubierto los objetivos planteados en el Anteproyecto, quedando aún por establecer un escalamiento a nivel industrial y su factibilidad técnico-económica, por lo cual se recomienda la realización de estudio que comprenda los objetivos anteriormente mencionados.
- 2.- Un sistema de separación de grasas se podría instalar en las Tenerías industrializadas donde trabajan con caldera, ya que los vapores exhaustos generalmente se descargan a la atmósfera, pudiéndose utilizar como fluido de calentamiento en una chaqueta adecuada para conseguir el mismo efecto logrado en el diseño planteado, y a un costo mucho menor. La grasa obtenida mediante este procedimiento podría ser comercializada directamente con los jaboneros o implementar otra línea de producción para la fabricación de jabón.
- 3.- El embudo de separación se podría ubicar directamente a la purga, para evitar la operación de carga y descarga del tanque de recepción y además volver más eficiente la separación de la grasa.
- 4.- Es necesario realizar una futura investigación tendiente a evaluar la calidad del jabón producido a partir de carnaza obtenida antes del depilado y después de éste proceso, ya que ambos sistemas de descarnado se utilizan en las tenerías salvadoreñas.

- 5.- Los desechos obtenidos en este trabajo consisten en el agua de purga que se vierte del embudo de separación y los sólidos excentos de grasa procedentes del proceso general de extracción, los cuales no fueron analizados en este estudio, por lo que se recomienda para posteriores investigaciones su debida caracterización.

## 8.0.- REFERENCIAS.

- 1.- García López, D.M., "Manual del Técnico Curtidor" Editorial Gustavo Gil, Primera Edición, Madrid, (1910).
- 2.- US-AID, Seminario: "Potencial Impacto Ambiental de las Industrias en el Ecuador. Exploración preliminar y soluciones", EDUNAT III, Julio 1991.
- 3.- Deuel, H.J., "The Lipids Theirs Chemistry and Biochemistry" Vol. I, Primera Edición, Interscience Publisher, Inc., Nex York, (1951).
- 4.- Kirschenbauer, H.G., "Grasas y Aceites, Química y Tecnología" Primera Edición, Compañía Editorial Continental, S.A., México, (1964).
- 5.- Rico Peña, D.C., "Cuaderno de Cátedra de la Asignatura Bioquímica de los Alimentos", Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, Ciclo II-1991.
- 6.- Bailey, A.E., "Aceites y Grasas Industriales", Segunda Edición, Editorial REVERTE, S.A., Barcelona, (1973).
- 7.- Potter, N.N., "La Ciencia de los Alimentos", Primera Edición EDUTEX, S.A., México, (1973).
- 8.- Egan, H. et. al., "Análisis Químico de Alimentos de Pearson", Tercera reimpresión, CECOSA, de C.V., México, (1988).

- 9.- Linares, C.; G.C., Nolasco, "Desarrollo e Implementación de un Proceso de Producción de Jabón en Forma Artesanal", Trabajo de Graduación, para optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador, (1990).
- 10.- McCabe, W.L.; J.C. Smith, "Operaciones Básicas de Ingeniería Química", Vol. I, Primera Edición, Editorial Reverté, S.A., España, (1980).
- 11.- Geankoplis, Ch.J., "Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias", Primera Edición, Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México, (1989).
- 12.- Heldman, D.R., "Food Process Engineering", Primera Edición, AVI Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, (1977).
- 13.- Brown, G.G.; et. al., "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química", Primera Edición, Editorial Marín, S.A., Barcelona, (1965).
- 14.- Flores Meléndez, D.C.; et. al., "Eliminación de Hierro y Manganeso en agua natural por medio de aireación y retención con lava volcánica", Trabajo de Graduación, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela de Ingeniería Química, para optar al Título de Ingeniero Químico, Universidad de El Salvador, (1992).
- 15.- Segura Lemus, V.M., "Material de apoyo de la Asignatura Control de Calidad", Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, Ciclo II (1992).

- 16.- AXUM Utility Program Copyright Trimetrix, Inc. 1989-1992.
- 17.- Ochoa, C.R., "Cuaderno de Cátedra de la Asignatura  
Introducción a la Ingeniería Ambiental", Escuela  
de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería y  
Arquitectura, Ciclo II, (1992).
- 18.- Curtin Sc. Co., "Scientific Instrument", Catálogo Comercial  
USA, (1971).

## FORMATO DE LA ENCUESTA REALIZADA PARA DETERMINAR EL ESTADO ACTUAL DE LA TENERIAS EN EL SALVADOR.

La presente encuesta pretende recopilar una serie de información que permita obtener un panorama general sobre el estado actual de la industria de tenería en El Salvador. Para ello, la información a solicitar ha sido agrupada en tres secciones que incluye en primer lugar, una información general sobre la empresa; en segundo lugar, se tiene la sección en donde se especifican los datos sobre la materia prima utilizada y, finalmente, en tercer lugar se encuentra la sección que se dedica en especial a una etapa de todo el proceso de curtiembre, como es la etapa de descarnado que, para el objetivo principal de esta encuesta, como es la determinación de los volúmenes de producción de desechos sólidos, es la más importante.

A continuación se detallan cada una de las secciones y sus respectivas preguntas.

## I.- DATOS GENERALES.

- 1.- Nombre de la empresa.
- 2.- Cantidad de trabajadores que laboran en la empresa.
- 3.- Cuántos turnos se realizan por día?
- 4.- Labora la empresa todo el año? Explique.
- 5.- Cuántos años de operación tiene la planta?

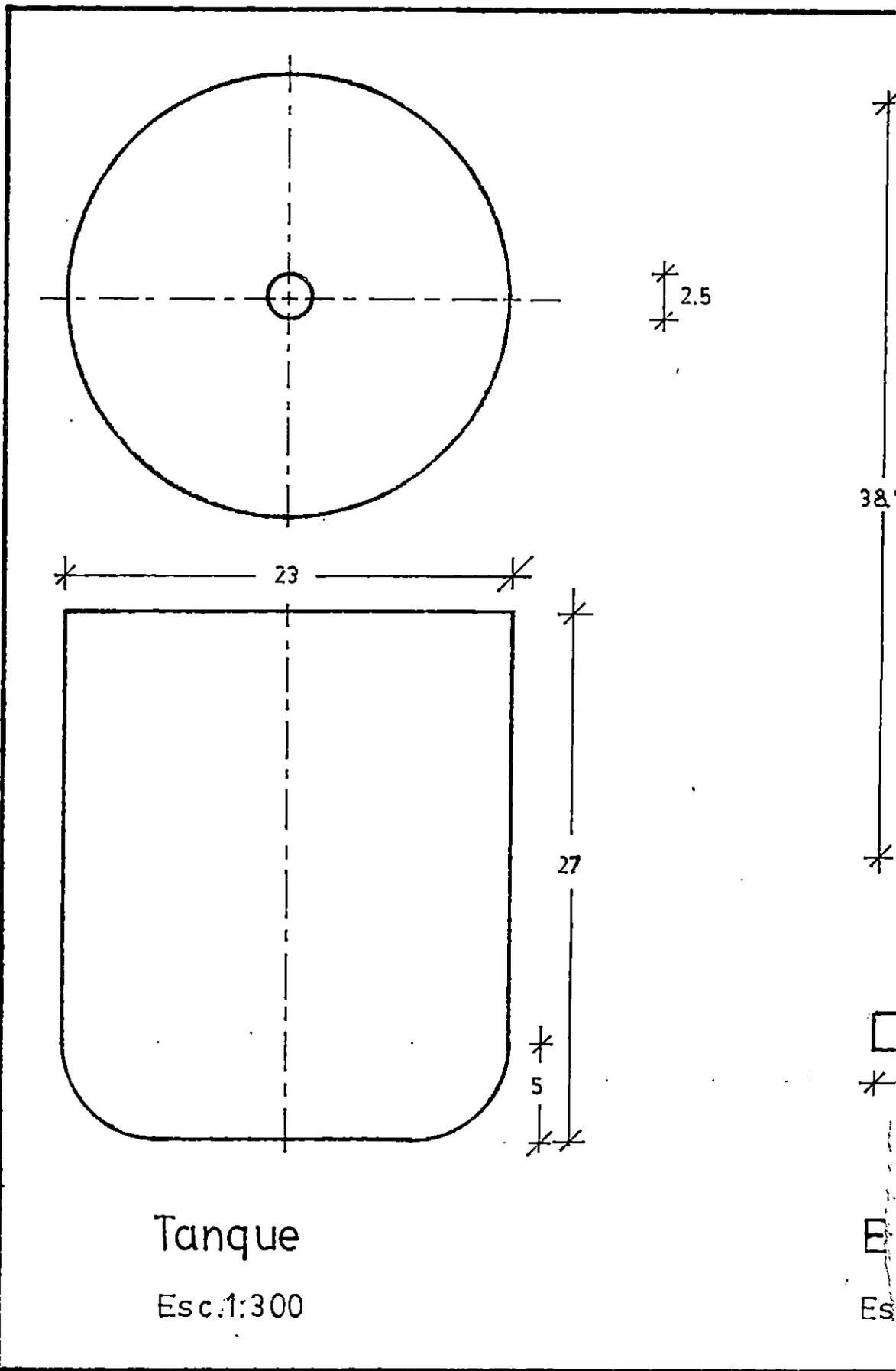
## II.- MATERIA PRIMA.

- 1.- De qué tipo de animal es la piel que se procesa. Si es posible detalle.
- 2.- Cuál es el lugar de procedencia de esta pieles?
- 3.- Lleva la piel que ustedes reciben algún tratamiento previo. Explique.
- 4.- Se realiza algún control de calidad cuando se recibe la materia prima? Explique.
- 5.- Cuántas pieles se procesan por turno?
- 6.- Se ha determinado el peso de la piel antes y después de procesarla? Si su respuesta es afirmativa indicar el promedio de ambos pesos.

## III.- ETAPA DE DESCARNADO.

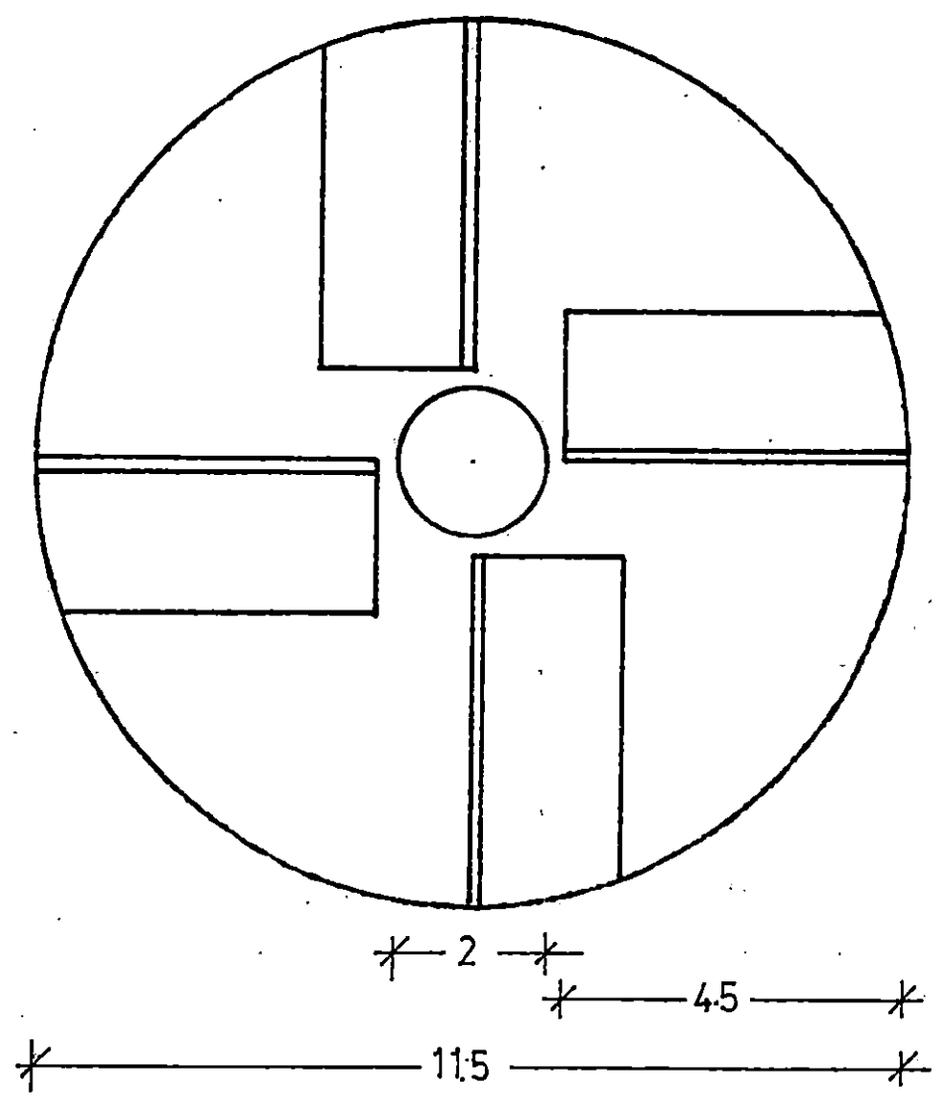
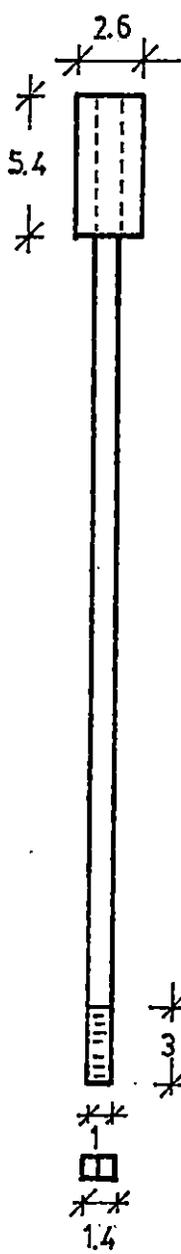
- 1.- Qué métodos se utilizan para la separación de la carnaza? (Manual, Mècnica, otros).
- 2.- Cuál es la cantidad de desechos evacuados por turno?
- 3.- Se ha determinado el porcentaje de carnaza presente en la piel procesada?
- 4.- Se ha evaluado el potencial económico que representarían los desechos provenientes de esta etapa, en cuanto a su posible uso industrial?

- 5.- Cuàl es el destino que se da a los desechos? Explique.
- 6.- Reciben algùn tratamiento estos desechos? Explique.
- 7.- Han existido o existen intentos para tratar y utilizar los desechos producidos? Explique.
- 8.- Tienen planes a futuro en cuanto al tratamiento de desechos se refiere? Explique.

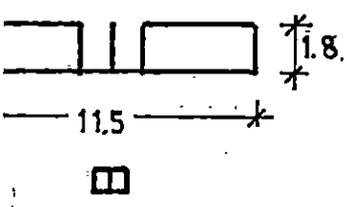


Tanque

Esc. 1:300



Rodete (planta)  
Esc. 1: 100

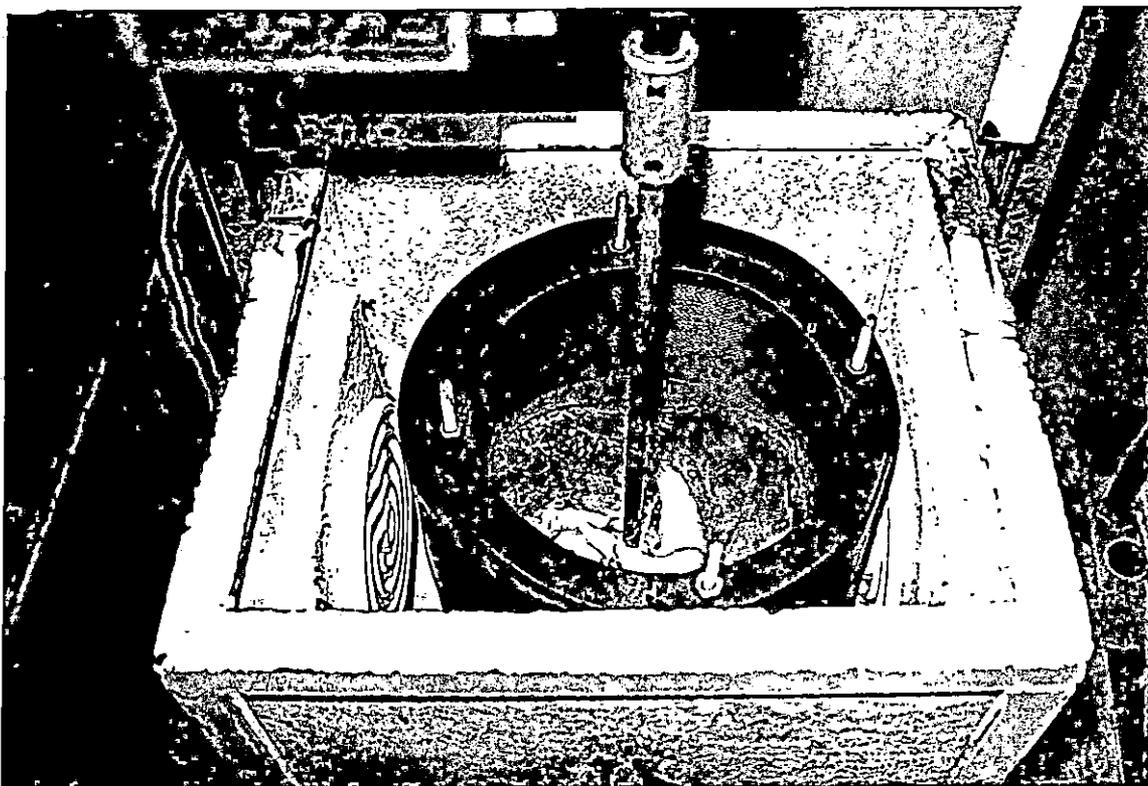


... y rodete  
Esc. 1: 300

ANEXO 2.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASA DE CARNAZA DE TENERIA:  
COTAS EN CM.  
DIBUJO: J.R. RAMIREZ GUZMAN  
UES-FIA-EIQ.

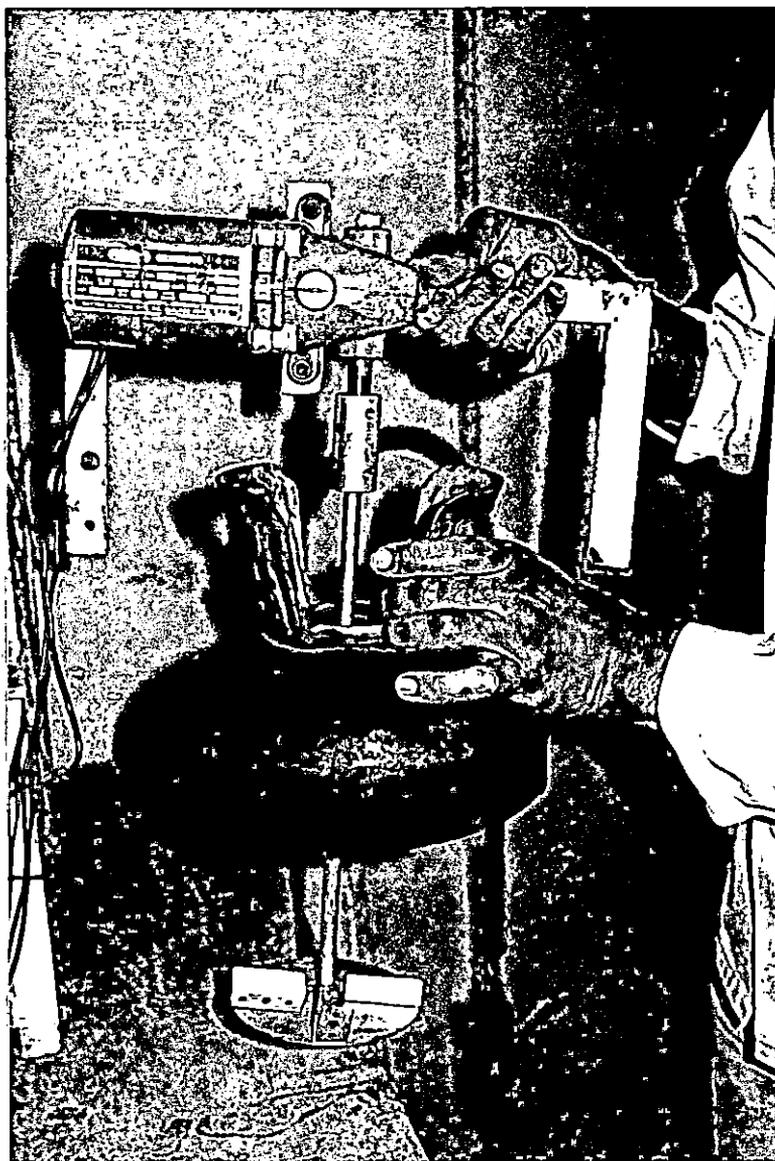
## ANEXO 2.2

VISTA SUPERIOR E INTERNA DEL TANQUE, RODETE, SISTEMA DE AISLAMIENTO Y UBICACION DE RESISTENCIAS PARA EL SISTEMA DE SEPARACION DE GRASAS DE CARNAZA DE TENERIA.



## ANEXO 2.3

SISTEMA DE AGITACION INTEGRADO, FORMADO POR MOTOR Y AGITADOR  
DE 1 RODETE CERRADO DE TURBINA DE 4 PALAS PLANAS.



# ASSAB TEMPERATURE GUIDE



ACAVISA de C. V.

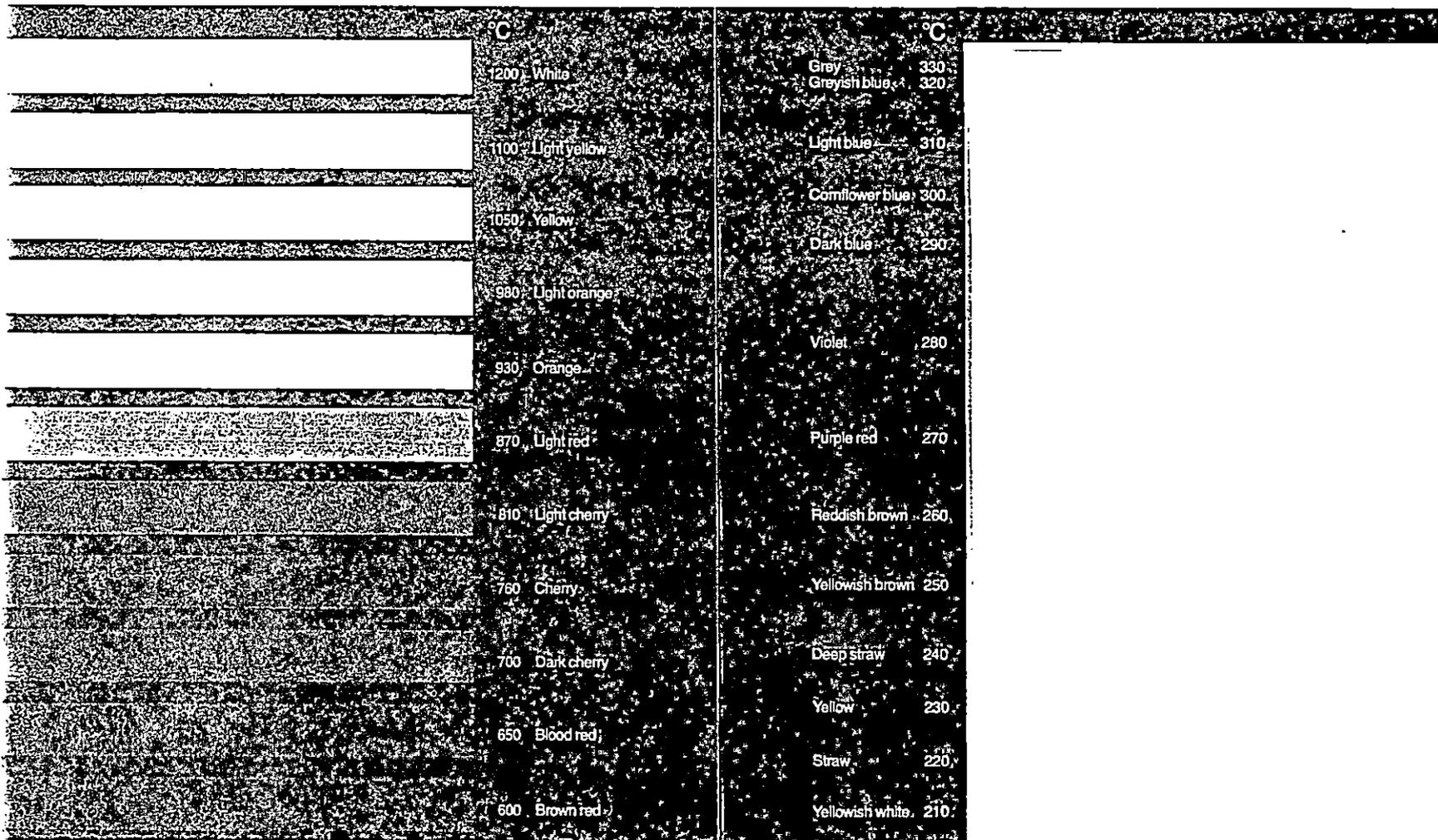
Apartado Postal 439  
25 Av. Sur N° 763, C. P. 01-167,  
Tel: 71-1700, FAX (503) 71-4490,  
San Salvador, El Salvador, C. A

## Forging and hardening colours

The STEEL should be viewed in a dark or faintly lighted room and must not be exposed to direct light.  
The CHART should be viewed in normal diffused daylight and not in sunlight or artificial light.

## Tempering colours for unalloyed and low alloyed steels

This colour chart applies to a tempering time of about 30 minutes. The colours can best be observed on a polished steel surface.



CODIGO DE COLORES PARA LA ESTIMACION DE LA TEMPERATURA EN ACEROS

ANEXO 3

## ANEXO 4

Propiedades de Transferencia de Calor del Vapor de Agua  
a 101.32 kPa (1 atm abs) (Unidades Inglesas)

$T$ (°F)	$\rho$ $\left(\frac{\text{lb}_m}{\text{pie}^3}\right)$	$c_p$ $\left(\frac{\text{btu}}{\text{lb}_m \cdot ^\circ\text{F}}\right)$	$\mu \times 10^3$ $\left(\frac{\text{lb}_m}{\text{pie} \cdot \text{s}}\right)$	$k$ $\left(\frac{\text{btu}}{\text{hr} \cdot \text{pie} \cdot ^\circ\text{F}}\right)$	$N_{Pr}$	$\beta \times 10^3$ (1/°R)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/°R · pie <sup>3</sup> )
212	0.0372	0.451	0.870	0.0145	0.96	1.49	$0.877 \times 10^6$
300	0.0328	0.456	1.000	0.0171	0.95	1.32	$0.459 \times 10^6$
400	0.0288	0.462	1.130	0.0200	0.94	1.16	$0.243 \times 10^6$
500	0.0258	0.470	1.265	0.0228	0.94	1.04	$0.139 \times 10^6$
600	0.0233	0.477	1.420	0.0257	0.94	0.943	$82 \times 10^3$
700	0.0213	0.485	1.555	0.0288	0.93	0.862	$52.1 \times 10^3$
800	0.0196	0.494	1.700	0.0321	0.92	0.794	$34.0 \times 10^3$

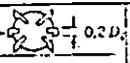
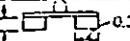
## (Unidades SI)

$T$ (°C)	$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \times 10^3$ (Pa · s, o kg/m · s)	$k$ (W/m · K)	$N_{Pr}$	$\beta \times 10^3$ (1/K)	$g\beta\rho^2/\mu^2$ (1/K · m <sup>3</sup> )
100.0	373.2	0.596	1.888	1.295	0.02510	0.96	2.68	$0.557 \times 10^8$
148.9	422.1	0.525	1.909	1.488	0.02960	0.95	2.38	$0.292 \times 10^8$
204.4	477.6	0.461	1.934	1.682	0.03462	0.94	2.09	$0.154 \times 10^8$
260.0	533.2	0.413	1.968	1.883	0.03946	0.94	1.87	$0.0883 \times 10^8$
315.6	588.8	0.373	1.997	2.113	0.04448	0.94	1.70	$52.1 \times 10^3$
371.1	644.3	0.341	2.030	2.314	0.04985	0.93	1.55	$33.1 \times 10^3$
426.7	699.9	0.314	2.068	2.529	0.05556	0.92	1.43	$21.6 \times 10^3$

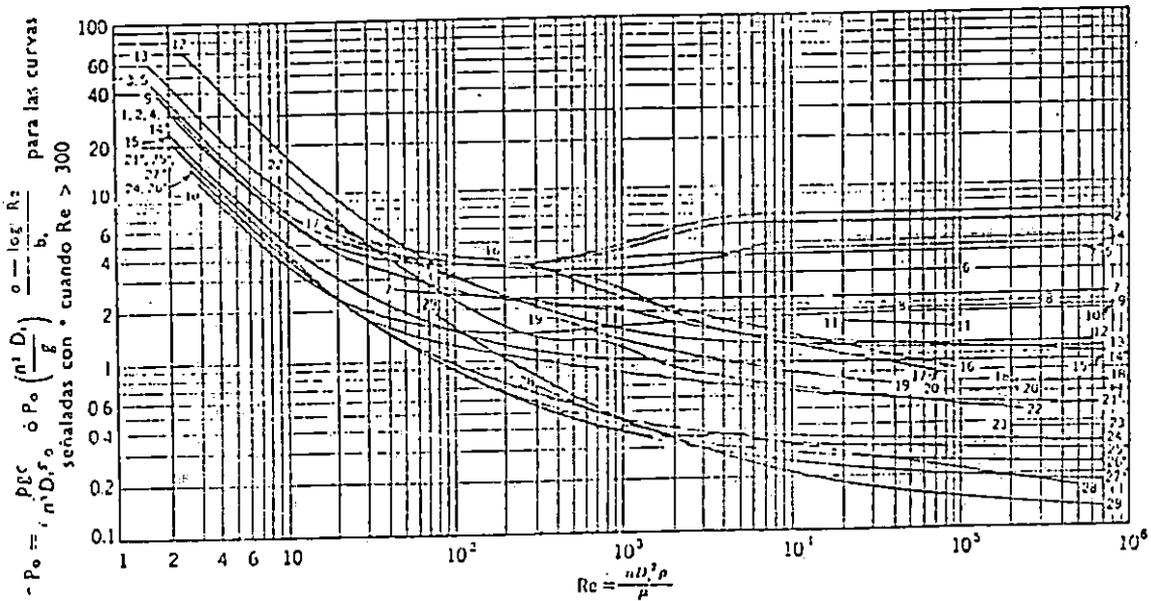
Referencia: D. L. Timrot y N. B. Vargaftik, *J. Tech. Phys.* (U.R.S.S.), 10, 1063 (1940);  
R. H. Perry y C. H. Chilton, *Chemical Engineers' Handbook*, 5a. Ed., New York: McGraw-Hill,  
Inc., 1973; J. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill y J. G. Moore, *Steam Tables*, New York  
John Wiley & Sons, Inc., 1969. National Research Council: *International Critical Tables*, New  
York McGraw-Hill, Inc., 1929; L. S. Marks, *Mechanical Engineers' Handbook*, 5a. Ed. Ed. New  
York: McGraw-Hill, Inc., 1951.

ANEXO 5

CARTA PARA LA ESTIMACION DEL NUMERO DE POTENCIA PARA DIVERSAS GEOMETRIAS DE TANQUES AGITADOS (13).

Tipo de rodetete	D <sub>i</sub> D <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub> D <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub> D <sub>i</sub>	Hojas cort.		N. <sup>o</sup>	Ref.	Tipo de rodetete	D <sub>i</sub> D <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub> D <sub>i</sub>	Z <sub>i</sub> D <sub>i</sub>	Hojas cort.		N. <sup>o</sup>	Ref.
				N. <sup>o</sup>	w/D <sub>i</sub>							N. <sup>o</sup>	w/D <sub>i</sub>		
Turbina de 6 palas planas, 0,25 D <sub>i</sub> →  0,2 D <sub>i</sub>	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,17	1	7	Dos paletas  0,25 D <sub>i</sub>	4,35	4,3	0,29	3	0,11	8	3
Igual que en el n. <sup>o</sup> 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	2	7	Cuatro paletas. Ver n. <sup>o</sup> 8	3	3	0,5	0		16	2
Igual que en el n. <sup>o</sup> 1	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,04	4	7	Dos paletas. Ver n. <sup>o</sup> 8	3	3,2	0,33	0		20	4
Igual que en el n. <sup>o</sup> 1: a = 1, b = 40	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		14*	7	Dos paletas. Ver n. <sup>o</sup> 8	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	10	7
Turbina de 6 palas curvadas Tam. de palas como en n. <sup>o</sup> 1 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	3	7	Dos paletas. Ver n. <sup>o</sup> 8 Ancho de paleta = 0,13 D <sub>i</sub>	1,1	0,5	0,19	0		29	10
Turbina 6 palas forma flecha Tam. de pala como en n. <sup>o</sup> 1 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	5	7	Dos paletas. Ver n. <sup>o</sup> 8 Ancho de paleta = 0,17 D <sub>i</sub>	1,1	0,4	0,10	0		29	10
Turbina radial con anillo deflector 				0		7	9	Hélice de 3 palas Paso de la hélice = 2 D <sub>i</sub> 	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	15	7
Turbina cerrada, de 6 palas. Anillo deflector de 20 hojas	2,4	0,74	0,9	0		11	6	Igual que el n. <sup>o</sup> 15; a = 1,7, b = 18	3,3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		21*	7
Semejante, mas no idéntica a la n. <sup>o</sup> 11	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		12	7	Igual que el n. <sup>o</sup> 15, pero con paso = 1,33 D <sub>i</sub>	16			3	0,06	18	5
Igual que la 12, pero sin anillo deflector.	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	13	7	Igual que el n. <sup>o</sup> 15, pero con paso = 1,09 D <sub>i</sub>	9,6			3	0,06	23	5
Turbina axial de 8 palas con ángulo de 45°. Ver n. <sup>o</sup> 17	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	9	7	Igual que el n. <sup>o</sup> 15, pero con paso = 1,05 D <sub>i</sub> , a = 2,3, b = 18	2,7	2,7-3,9	0,75-1,3	0		27*	7
Turbina axial 4 palas con ángulo de 60° 	3	3	0,50	0		17	2	Igual que el n. <sup>o</sup> 15, pero con paso = 1,04 D <sub>i</sub> , a = 0, b = 18	4,5	2,7-3,9	0,75-1,3	0		25*	7
Turbina axial de 4 palas con ángulo de 45°. Ver n. <sup>o</sup> 17.	5,2	5,2	0,87	0		19	2	Igual que el n. <sup>o</sup> 15, pero con paso = D <sub>i</sub>	3	2,7-3,9	0,75-1,3	4	0,10	24	7
Igual que la n. <sup>o</sup> 19	2,4-3,0	2,4-3,0	0,4-0,5	0		22	2	Igual que el n. <sup>o</sup> 15, pero con paso = D <sub>i</sub> ; a = 2,1, b = 18	3	2,7-3,9	0,75-1,3	0		26*	7
Disco con 16 paletas 	2,5	2,5	0,75	4	0,25	6	1	Igual que el n. <sup>o</sup> 15, pero con paso = D <sub>i</sub>	3,8	3,5	1,0	0		28	8

D<sub>i</sub> = diámetro del rodetete; D<sub>d</sub> = diámetro del depósito; n = n.<sup>o</sup> de revoluciones por segundo; w = ancho de las hojas del cortacorrientes; Z<sub>i</sub> = altura que está el rodetete sobre el fondo del depósito; Z<sub>l</sub> = altura del nivel del líquido en el depósito.



Consumo de energía de diversos agitadores, expresado por el parámetro de potencia, Po, y del número de Reynolds, Re. Para las curvas señaladas con \*, la influencia de la superficie libre es considerable, por lo que se ha tenido en cuenta el número de Froude, Fr = g/n²D<sub>i</sub>, para Re superiores a 300.

ANEXO 6

VALORES DE F CRITICO PARA DETERMINADOS GRADOS DE LIBERTAD DEL ERROR Y NIVELES DE SIGNIFICANCIA

Grados de libertad para el denominador	α	Grados de libertad para el numerador (mayor cuadrado medio)															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	16	20
1	.10	39.86	49.50	53.59	55.83	57.24	58.20	58.91	59.44	59.89	60.20		60.70		61.22		61.74
	.05	161	200	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245		246	248
	.01	4,052	4,999	5,403	5,625	5,764	5,859	5,928	5,981	6,022	6,056	6,082	6,106	6,142		6,169	6,203
2	.10	8.53	9.00	9.16	9.24	9.29	9.33	9.35	9.37	9.38	9.39		9.41		9.42		9.44
	.05	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.36	19.37	19.38	19.39	19.40	19.41	19.42		19.43	19.44
	.01	98.49	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.34	99.36	99.38	99.40	99.41	99.42	99.43		99.44	99.45
3	.10	5.54	5.46	5.39	5.34	5.31	5.28	5.27	5.25	5.24	5.23		5.22		5.20		5.18
	.05	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.88	8.84	8.81	8.78	8.76	8.74	8.71		8.69	8.66
	.01	34.12	30.82	29.46	28.71	28.74	27.91	27.67	27.49	27.34	27.23	27.13	27.05	26.92		26.83	26.67
4	.10	4.54	4.32	4.19	4.11	4.05	4.01	3.98	3.95	3.94	3.92		3.90		3.87		3.84
	.05	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.93	5.91	5.87		5.84	5.80
	.01	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.54	14.45	14.37	14.24		14.15	14.02
5	.10	4.06	3.78	3.62	3.52	3.45	3.40	3.37	3.34	3.32	3.30		3.27		3.24		3.21
	.05	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.78	4.74	4.70	4.68	4.64		4.60	4.56
	.01	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.45	10.27	10.15	10.05	9.96	9.89	9.77		9.68	9.55
6	.10	3.78	3.46	3.29	3.18	3.11	3.05	3.01	2.98	2.96	2.94		2.90		2.87		2.84
	.05	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.96		3.92	3.87
	.01	13.74	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.60		7.52	7.37
7	.10	3.59	3.26	3.07	2.96	2.88	2.83	2.78	2.75	2.72	2.70		2.67		2.63		2.59
	.05	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.63	3.60	3.57	3.52		3.49	3.44
	.01	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	7.00	6.84	6.71	6.62	6.54	6.47	6.35		6.27	6.15
8	.10	3.46	3.11	2.92	2.81	2.73	2.67	2.62	2.59	2.56	2.54		2.50		2.46		2.42
	.05	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.34	3.31	3.28	3.23		3.20	3.15
	.01	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.19	6.03	5.91	5.82	5.74	5.67	5.56		5.48	5.36
9	.10	3.36	3.01	2.81	2.69	2.61	2.55	2.51	2.47	2.44	2.42		2.38		2.34		2.30
	.05	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.13	3.10	3.07	3.02		2.98	2.93
	.01	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.62	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	5.00		4.92	4.80
10	.10	3.28	2.92	2.73	2.61	2.52	2.46	2.41	2.38	2.35	2.32		2.28		2.24		2.20
	.05	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.97	2.94	2.91	2.86		2.82	2.77
	.01	10.04	7.56	6.55	5.97	5.64	5.39	5.21	5.06	4.95	4.85	4.78	4.71	4.60		4.52	4.41
11	.10	3.23	2.86	2.66	2.54	2.45	2.39	2.34	2.30	2.27	2.25		2.21		2.17		2.12
	.05	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.86	2.82	2.79	2.74		2.70	2.65
	.01	9.65	7.20	6.22	5.67	5.32	5.07	4.88	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29		4.21	4.10
12	.10	3.18	2.81	2.61	2.48	2.39	2.33	2.28	2.24	2.21	2.19		2.15		2.10		2.06
	.05	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	3.00	2.92	2.85	2.80	2.76	2.72	2.69	2.64		2.60	2.54
	.01	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.65	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05		3.98	3.86
13	.10	3.14	2.76	2.56	2.43	2.35	2.28	2.23	2.20	2.16	2.14		2.10		2.05		2.01
	.05	4.67	3.80	3.41	3.18	3.02	2.92	2.84	2.77	2.72	2.67	2.63	2.60	2.55		2.51	2.46
	.01	9.07	6.70	5.74	5.20	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.85		3.78	3.67
14	.10	3.10	2.73	2.52	2.39	2.31	2.24	2.19	2.15	2.12	2.10		2.05		2.01		1.96
	.05	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.77	2.70	2.65	2.60	2.56	2.53	2.48		2.44	2.39
	.01	8.86	6.51	5.56	5.03	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70		3.62	3.51
15	.10	3.07	2.70	2.49	2.36	2.27	2.21	2.16	2.12	2.09	2.06		2.02		1.97		1.92
	.05	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.70	2.64	2.59	2.55	2.51	2.48	2.43		2.39	2.33
	.01	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56		3.48	3.36
16	.10	3.05	2.67	2.46	2.33	2.24	2.18	2.13	2.09	2.06	2.03		1.99		1.94		1.89
	.05	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.45	2.42	2.37		2.33	2.28
	.01	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.61	3.55	3.45		3.37	3.25
17	.10	3.03	2.64	2.44	2.31	2.22	2.15	2.10	2.06	2.03	2.00		1.96		1.91		1.86
	.05	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.62	2.55	2.50	2.45	2.41	2.38	2.33		2.29	2.23
	.01	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.45	3.35		3.27	3.16
18	.10	3.01	2.62	2.42	2.29	2.20	2.13	2.08	2.04	2.00	1.98		1.93		1.89		1.84
	.05	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29		2.25	2.19
	.01	8.28	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.85	3.71	3.60	3.51	3.44	3.37	3.27		3.19	3.07

## ANEXO 7

TABLA t DE STUDENT (15).

Degrees of Freedom	Probability of Obtaining a Value as Large or Larger			
	0.100	0.050	0.010	0.001
1	6.314	12.706	63.657	
2	2.920	4.303	9.925	31.598
3	2.353	3.182	5.841	12.941
4	2.132	2.776	4.604	8.610
5	2.015	2.571	4.032	6.859
6	1.943	2.447	3.707	5.959
7	1.895	2.365	3.499	5.405
8	1.860	2.306	3.355	5.041
9	1.833	2.262	3.250	4.781
10	1.812	2.228	3.169	4.587
11	1.796	2.201	3.106	4.437
12	1.782	2.179	3.055	4.318
13	1.771	2.160	3.012	4.221
14	1.761	2.145	2.977	4.140
15	1.753	2.131	2.947	4.073
16	1.746	2.120	2.921	4.015
17	1.740	2.110	2.898	3.965
18	1.734	2.101	2.878	3.922
19	1.729	2.093	2.861	3.883
20	1.725	2.086	2.845	3.850
21	1.721	2.080	2.831	3.819
22	1.717	2.074	2.819	3.792
23	1.714	2.069	2.807	3.767
24	1.711	2.064	2.797	3.745
25	1.708	2.060	2.787	3.725
26	1.706	2.056	2.779	3.707
27	1.703	2.052	2.771	3.690
28	1.701	2.048	2.763	3.674
29	1.699	2.045	2.756	3.659
30	1.697	2.042	2.750	3.646
35	1.690	2.030	2.724	3.591
40	1.684	2.021	2.704	3.551
45	1.680	2.014	2.690	3.520
50	1.676	2.008	2.678	3.496
55	1.673	2.004	2.669	3.476
60	1.671	2.000	2.660	3.460
70	1.667	1.994	2.648	3.435
80	1.665	1.989	2.638	3.416
90	1.662	1.986	2.631	3.402
100	1.661	1.982	2.625	3.390
120	1.658	1.980	2.617	3.373
∞	1.6448	1.9600	2.5758	3.2905

## ANEXO 8

SECUENCIA DEL PROCESO UTILIZADO PARA LA RECUPERACION DE GRASA  
EN CARNAZA RESIDUAL DE TENERIAS.

- 1.- Almacenamiento en la Tenería.
- 2.- Traslado a la Planta Piloto.
- 3.- Reducción de tamaño de la carnaza.
- 4.- Pesarla.
- 5.- Colocar tanque de recepción.
- 6.- Cargar la carnaza al equipo.
- 7.- Cargar el agua requerida.
- 8.- Montar el sistema motor-agitador-tapa.
- 9.- Colocar termometro.
- 10.- Poner en operación las resistencias y el agitador.
- 11.- Esperar hasta una temperatura equivalente a 5°C menor que la deseada.
- 12.- Desconectar las resistencias, manteniendo la agitación; esperar que la temperatura se estabilice.
- 13.- Verificar la temperatura y si es necesario usar una resistencia en la posición "Low" para llegar a la temperatura requerida, proceda de esta manera para mantener la temperatura constante durante el tiempo de agitación.
- 14.- Con la temperatura constante, espere hasta que concluya el tiempo de operación.
- 15.- Desconectar la resistencia, manteniendo la operación.
- 16.- Colocar el tamiz sobre el tanque de recepción y abrir la válvula para verter la emulsión grasa-agua cuando aún se encuentre caliente.
- 17.- Esperar por espacio de 6 a 8 horas para la separación de fases y favorecer la solidificación de la grasa.
- 18.- Separar el sistema motor-agitador-tapa.
- 19.- Retirar cesta-tamiz y separar los sólidos.
- 20.- Guardar sólidos.
- 21.- Lavar tamiz, y cesta-tamiz.
- 22.- Colocar dentro del sistema la cesta-tamiz.

- 23.- Verter la emulsión grasa-agua del tanque de recepción dentro del embudo de separación.
- 24.- Retirar la grasa del tanque de recepción.
- 25.- Guardarla.
- 26.- Permitir la sedimentación de los sólidos, durante 15 minutos.
- 27.- Lavar el tanque de recepción.
- 28.- Abrir la válvula, (1/2 vuelta), del embudo separador hasta evacuar 1/3 de su volumen (inspección).
- 29.- Regular la válvula a 1/4 de vuelta y purgar el líquido restante, hasta que el nivel alcance el cuello de la botella.
- 30.- Separar la grasa adherida del recipiente y la sobrenadante y sumarla a la obtenida en el numeral 24.
- 31.- Lavar el tanque de recepción y el embudo de separación.

## ANEXO 9.1

## METODO AOAC 26.020-26.021 PARA LA DETERMINACION DEL INDICE DE YODO EN GRASAS Y ACEITES.

## Iodine Absorption Number of Oils and Fats

## Hanus Method

## Final Action

(All reports should specify method used.)

## 28.021

*Reagent*

*Hanus iodine soln.*—Dissolve 13.2 g pure I in 1 L HOAc that shows no reduction with dichromate and  $H_2SO_4$ . Add enough Br to double halogen content as detd by titrn (ca 3 mL). The I may be dissolved by heating, but soln should be cold when Br is added. Hanus I soln may also be prepd as follows: Measure 825 mL HOAc and dissolve 13.615 g I in it with aid of heat. Cool, and titr. 25 mL with 0.1N  $Na_2S_2O_3$ , 50.037–50.038. Measure another portion of 200 mL HOAc and add 3 mL Br. To 5 mL of this soln add 10 mL 15% KI soln, and titr. with the 0.1N  $Na_2S_2O_3$ . Calc. vol. Br soln required to double halogen content of remaining 800 mL I soln as follows:

$X = B/C$ , where  $X$  = mL Br soln required;  $B = 800 \times$  thiosulfate equiv. of 1 mL I soln; and  $C =$  thiosulfate equiv. of 1 mL Br soln. If necessary, reduce mixed soln. to proper concn by diln with HOAc.

## 28.022

*Determination*

Weigh ca 0.5000 g fat, or 0.2500 g oil (0.1000–0.2000 g of oils that have high absorbent power), into 500 mL g-s flask or bottle and dissolve in 10 mL  $CHCl_3$ . With pipet, add 25 mL Hanus I soln, draining pipet definite time, and let stand 30 min in dark, shaking occasionally. (For accurate results use exact time. Excess I should be  $\geq 60\%$  of amt added.)

Add 10 mL 15% KI soln, shake thoroly, and add 100 mL freshly boiled and cooled  $H_2O$ , washing down any free I on stopper. Titr. I with std 0.1N  $Na_2S_2O_3$ , adding it gradually, with const shaking, until yellow soln turns almost colorless. Add few drops starch indicator, 2.150(b), and continue titrn until blue entirely disappears. Toward end of titrn, stopper bottle and shake violently, so that any I remaining in soln in  $CHCl_3$  may be taken up by KI soln.

Conduct 2 blank detns along with detn on sample. Number of mL 0.1N  $Na_2S_2O_3$  required by blank ( $B$ ) minus mL used in detn ( $S$ ) gives  $Na_2S_2O_3$  equiv. of I absorbed by the fat or oil. Calc. % by wt of I absorbed (I number, Hanus method).

$$I \text{ number} = [(B - S) \times N \times 12.69] / g \text{ sample}$$

where  $N$  is normality of  $Na_2S_2O_3$  soln.

## ANEXO 9.2

## METODO AOAC 28.032 PARA LA DETERMINACION DEL INDICE DE ACIDEZ.

28.031 See 26.031, 10th ed.

**Fatty Acids (Free) in Crude and Refined Oils**

**Titration Method**

**Final Action**

**National Cottonseed Products Association Method**

28.032 **Determination**

(a) *In crude oils.*—Weigh 7.05 g well mixed oil into 250 mL flask or 4 oz bottle. Add 50 mL alcohol, previously neutrd by adding 2 mL phthln soln and enough 0.1N NaOH to produce faint permanent pink. Titr. with 0.25N NaOH, 50.034–50.035, with vigorous shaking until permanent faint pink appears and persists  $\geq 1$  min. Report as % free fatty acids expressed as oleic acid; mL 0.25N NaOH used in titrn corresponds to this %.

(b) *In refined oils.*—To ca 50 mL alcohol in clean, dry 150 mL flask, add few drops of the oil and 2 mL phthln. Place flask in H<sub>2</sub>O at 60–65° until warm, and add enough 0.1N NaOH to produce faint permanent pink. Weigh 56.4 g oil into the neutrd alcohol and titr. with 0.1N NaOH, 50.034–50.035, occasionally warming and violently shaking mixt. until same faint permanent pink appears in supernate alcohol. Multiply mL 0.1N NaOH by 0.05 and report as % free fatty acids expressed as oleic acid.

Free fatty acids may also be expressed in terms of acid value (mg KOH necessary to neutze 1 g sample). Acid value = % free fatty acids (as oleic)  $\times 1.99$ .

Y CON INCORPORACION Y ARQUITECTURA

de