



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO
PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO**

Brenda Lucia Padilla Velásquez

Asesorado por el Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO
PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

BRENDA LUCIA PADILLA VELÁSQUEZ

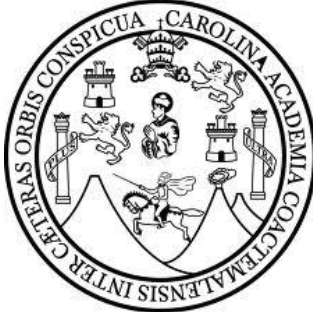
ASESORADO POR EL ING. GAMALIEL GIOVANNI ZAMBRANO RUANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO


DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dina Lissette Estrada Moreira
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
EXAMINADOR	Ing. Víctor Humberto de León
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha noviembre 2012.



Brenda Lucia Padilla Velásquez

Guatemala, 07 agosto de 2013

Ingeniero Químico
Víctor Manuel Monzón Valdez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Respetable Ingeniero Monzón:

Con un respetuoso saludo me dirijo a usted para informarle que he revisado y aprobado el Informe final de trabajo de graduación titulado: **“DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO”**. Elaborado por la estudiante de Ingeniería Química Brenda Lucia Padilla Velásquez con numero de carne 200110477.

Agradezco a usted la atención a la presente.

Atentamente,



Ing. Qco. MSc. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano
Colegiado No. 686
Asesor



Guatemala, 26 de agosto de 2013
Ref. EI.Q.TG-IF.047.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-083-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Brenda Lucia Padilla Velásquez.**

Identificada con número de carné: **2001-10477.**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO
PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Químico: **Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano.**

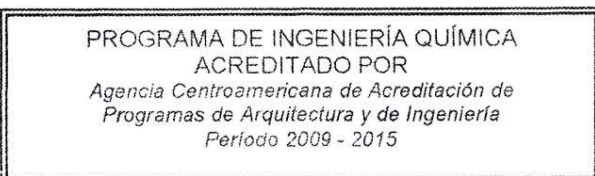
Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **BRENDA LUCIA PADILLA VELÁSQUEZ** titulado: "**DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.


Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA P0ILOTO**, presentado por la estudiante universitaria: **Brenda Lucia Padilla Velásquez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, septiembre de 2013

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme guiado durante toda mi carrera, ser mi fortaleza en momentos de debilidad, brindarme una vida llena de aprendizaje y experiencias. Por llenarme de bendiciones para ser una mejor persona.
- Mis padres** Elcidia Velásquez y Julio Padilla (q.e.p.d.). Por ser quienes me dieron la vida, me instruyeron y me hicieron una gran mujer. Por sus consejos y su amor.
- Mi esposo** Alejandro Cordón. Por su apoyo, paciencia, amor e inteligencia. Por ayudarme en todo momento y no dejarme vencer.
- Mi hijo** José Rodrigo Cordón. Por ser mi inspiración, mi motivo de alegría y superación, por ser el ángel de mi vida.
- Mi hermana** Emely Padilla. Por ser una importante influencia en mi carrera, su ayuda y cariño.

Mis abuelos

Por brindarme su amor, el apoyo, sus sabios consejos. Especialmente a Gertrudis Velásquez, por creer en mí, sus oraciones y su ejemplo.

Roberto Melgar

Por confiar en mí y motivarme a seguir adelante para luchar en la vida. Por su ejemplo y cariño, por estar siempre donde lo necesitaba, gracias por sus palabras de ánimo y aliento.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi segunda casa durante mucho tiempo, verme crecer y convertirme en una profesional.
Facultad de Ingeniería	Por formarme académicamente e instruirme.
Escuela de Ingeniería Química	Por enseñarme a amar y a respetar lo que más quiero: la química. Por ser quien soy ahora.
Ing. Murphy Paiz	Por su amistad, ayuda y apoyo en toda mi carrera.
Ing. Gamaliel Zambrano	Por su apoyo, paciencia y tiempo invertido en la realización del presente trabajo de graduación. Por sus sabios consejos y su amistad.
Ing. Jorge M. Estrada	Por ser una persona con dedicación a su profesión, su carisma y ser siempre comprensivo con sus alumnos; por la gran amistad brindada en todos estos años.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Evaporación.....	5
2.2. Principios básicos, factores que afectan a la velocidad de evaporación	7
2.2.1. La diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición	8
2.2.2. Área de transferencia	8
2.2.3. Película superficial.....	9
2.2.4. Coeficiente global de transferencia de calor (U)	9
2.2.5. Propiedades del alimento	9
2.3. Evaporador	10
2.3.1. Componentes básicos de un evaporador	11
2.4. Parámetros que intervienen en el diseño de evaporadores.....	11
2.4.1. Características del líquido que se concentra	12
2.4.2. Concentración.....	12
2.4.3. Viscosidad	12

2.4.4.	Formación de espumas	13
2.4.5.	Formación de incrustaciones.....	13
2.4.6.	Sensibilidad a la temperatura	13
2.4.7.	Calor específico.....	14
2.4.8.	Temperatura de ebullición	14
2.4.8.1.	Factores que influyen en el punto de ebullición de la solución	14
2.5.	Materiales de construcción.....	16
2.6.	Equipos auxiliares de los evaporadores.....	17
2.7.	Colector de condensado	17
2.8.	Capacidad de un evaporador	18
2.9.	Coeficientes de transmisión de calor.....	19
2.9.1.	Coeficientes de la película de vapor.....	20
2.9.2.	Coeficientes del líquido	20
2.9.3.	Coeficientes globales	21
2.10.	Economía de un evaporador	22
2.11.	Diseño de un sistema de evaporación	23
2.12.	Diseño de un evaporador de efecto simple	23
2.13.	Tipos y selección de evaporadores según las propiedades de las diluciones.....	25
2.13.1.	Evaporadores de circulación natural	25
2.13.1.1.	Evaporador abierto.....	26
2.13.1.2.	Evaporadores de tubos horizontales ...	28
2.13.1.3.	Evaporadores de tubos cortos verticales	29
2.13.1.4.	Evaporadores de tubos largos.....	30
2.13.2.	Evaporador de circulación forzada	35
2.14.	Sistema de evaporación, conservación de la energía térmica	36

2.14.1.	Evaporación de efectos múltiples	36
2.14.1.1.	Alimentación en paralelo	38
2.14.1.2.	Alimentación en contracorriente	38
2.14.2.	Pre calentamiento del alimento.....	39
2.14.3.	Recompresión del vapor	39
2.15.	Funcionamiento del evaporador con serpentín.....	40
2.16.	Operación de agitación.....	40
2.16.1.	Agitadores para tanques abiertos o cerrados de montaje fijo	42
2.16.2.	Potencia en los sistemas de agitación.....	42
2.16.3.	Tipos de agitadores	44
2.16.3.1.	Agitador de hélice	44
2.16.3.2.	Agitadores de turbina.....	45
2.16.3.3.	Agitadores de palas	46
2.17.	Mantenimiento del equipo.....	47
2.18.	Tipos de alimentos que se pueden elaborar a partir de la evaporación utilizando la marmita	48
2.18.1.	Salsas saladas.....	48
2.18.1.1.	Elaboración de salsa de tomate.....	49
2.18.2.	Mermeladas y jaleas.....	53
2.18.2.1.	Elaboración de mermelada de fresa ...	54
2.18.3.	Yogurt	59
2.18.4.	Manjares.....	62
2.18.4.1.	Elaboración de manjar de leche de vaca	63
2.18.5.	Jugos concentrados.....	65
2.18.5.1.	Elaboración de jugo concentrado de <i>berries</i>	67

3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	69
3.1.	Variables	69
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	70
3.3.	Recursos humanos disponibles	70
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	71
3.5.	Técnica cualitativa.....	71
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	72
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	73
4.	RESULTADOS.....	75
4.1.	Diseño de la marmita, intercambiador de calor tipo serpentín, agitador y soporte.....	75
4.2.	Balances de masa respectivos al sistema de evaporación de simple efecto	79
4.3.	Balances de energía respectivos al sistema de evaporación de simple efecto.....	79
4.4.	Costos	80
4.4.1.	Costo de materia prima (acero inoxidable).....	80
4.4.2.	Costos de transporte aranceles aduaneros.....	81
4.4.3.	Costo de fabricación y mano de obra.....	82
4.4.4.	Costos totales.....	83
4.5.	Planos de diseño y representación en 3D.....	84
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	87
	CONCLUSIONES.....	93
	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA.....	99

APÉNDICE	103
ANEXOS.....	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama general de entradas y salidas del proceso de evaporación.....	6
2.	Evaporador de efecto simple.....	24
3.	Evaporador abierto tipo marmita con chaqueta.....	27
4.	Evaporador abierto tipo marmita con serpentín	27
5.	Evaporador de tubos horizontales.....	28
6.	Evaporador de tubos cortos verticales	29
7.	Evaporador de tubos largos de película ascendente	31
8.	Evaporador de película descendente	32
9.	Evaporador de película ascendente-descendente	33
10.	Evaporador de calandria	34
11.	Evaporador de circulación forzada con intercambiador de calor externo	35
12.	Evaporador de circulación forzada con intercambiador de calor interno	36
13.	Evaporación de múltiples efectos.....	37
14.	Tipos de agitadores.....	46
15.	Salsas	49
16.	Diagrama de flujo de la preparación de salsa de tomate	52
17.	Mermeladas, jaleas y salsas dulces	54
18.	Cantidad de pectina a agregar en la elaboración de mermeladas	55
19.	Diagrama de flujo de la elaboración de mermelada de fresa	57
20.	Diagrama de flujo de la elaboración de jalea de fresa.....	58
21.	Yogurt	60

22.	Diagrama de flujo para la elaboración de yogurt	61
23.	Manjares	62
24.	Diagrama de flujo de la elaboración de manjar de leche de vaca.....	64
25.	Rangos típicos de calidad en jugos	65
26.	Jugos concentrados.....	67
27.	Diagrama de flujo para la elaboración de jugo concentrado de <i>berries</i>	68
28.	Recolección y ordenamiento de la información	73
29.	Diseño en tres dimensiones de la marmita con agitador y serpentín interno: vista frontal, lateral derecha, superior y trasera	85
30.	Diseño en tres dimensiones de la marmita con agitador y serpentín interno, vista semitransparente	86

TABLAS

I.	Variables independientes.....	69
II.	Variables dependientes	69
III.	Variables y dimensiones del cuerpo de la marmita.....	75
IV.	Variables y dimensiones del intercambiador tipo serpentín	76
V.	Variables y dimensiones del sistema de agitación.....	76
VI.	Variables y dimensiones del sistema de soporte de la marmita	77
VII.	Variables y dimensiones del sistema de soporte del motor reductor	77
VIII.	Mangueras para vapor y condensado.....	78
IX.	Chumaceras	78
X.	Balances de masa	79
XI.	Balances de energía	80
XII.	Descripción y costo de acero inoxidable.....	81
XIII.	Costos de operación de soldadura TIG y mano de obra.....	82
XIV.	Costos totales	83

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura de la marmita (m)
h_{sp}	Altura del serpentín (m)
At	Área de transferencia de calor (m^2)
λ_w	Calor latente de vaporización (Kcal/Kg)
U	Coefficiente global de transferencia de calor ($J/s\ m^2\ K$)
E	Corriente del evaporado (Kg/h)
S	Corriente en el concentrado (Kg/h)
C	Corriente en el condensado (Kg/h)
F	Corriente en la alimentación (Kg/h)
ρ	Densidad del concentrado (Kg/L)
φ_{ext}	Diámetro externo del serpentín (m)
φ_{int}	Diámetro interno del serpentín (m)
h_F	Entalpía de alimentación (Kcal/Kg)
h_S	Entalpía de concentrado (Kcal/Kg)
h_w	Entalpía de condensado (Kcal/Kg)
H_E	Entalpía del agua evaporada (Kcal/Kg)
H_w	Entalpía del vapor en la cámara de calefacción (Kcal/Kg)
ε	Espesor del serpentín (m)
Q	Flujo de calor (Kcal/h)
W	Flujo de vapor (Kg/h)
X_E	Fracción molar en el evaporado (adimensional)

X_{Fi}	Fracción molar del componente i en la alimentación (adimensional)
X_{Si}	Fracción molar del componente i en el concentrado (adimensional)
X_S	Fracción molar en el concentrado (adimensional)
X_F	Fracción molar en la alimentación (adimensional)
ΔT	Gradiente de temperatura (K)
l	Largo del serpentín (m)
L_A	Longitud de los anillos del serpentín (m)
L_{EV}	Longitud del serpentín en la entrada del vapor (m)
L_{sp}	Longitud del serpentín (m)
L_{sc}	Longitud del serpentín en la salida del condensado (m)
m_i	Masa del componente en i (Kg) ingredientes a usar
m	Masa del concentrado (Kg)
m_F	Masa total de alimentación (Kg)
P	Perímetro de los anillos del serpentín (m)
r	Radio de la marmita (m)
R	Radio de los anillos del serpentín (m)
r_s	Radio del serpentín (m)
R_d	Rendimiento de la evaporación (porcentaje)
T_{eb}	Temperatura de ebullición del concentrado (K)
T_{sat}	Temperatura de saturación del vapor de agua entrante (K)
T	Tiempo de operación (h)
V	Volumen del concentrado (L)
V_t	Volumen total de la marmita (m ³)

GLOSARIO

Área de transferencia	Área en el cual se da el paso de energía térmica de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.
Calor	Forma de energía que se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que están a temperaturas distintas.
Calor específico	Cantidad de calor necesario por unidad de masa, para provocar un incremento de temperatura en un grado, sin que se produzca cambio de fase.
Cédula	Relación entre presión de operación y el esfuerzo del acero en la tubería, a mayor cédula mayor espesor de pared y menor diámetro interno. Se le conoce también como <i>Iron Pipe Sizes</i> (IPS)
Chumacera	Combinación de un rodamiento radial de bolas, sello y un alojamiento de hierro colado de alto grado o de acero prensado, suministrado de varias formas en donde gira un eje.

Conducción de calor	Mecanismo de transferencia de energía calorífica entre dos sistemas, basado en el contacto directo de sus partículas sin flujo neto de materia y que tiende a igualar la temperatura dentro de un cuerpo o entre diferentes cuerpos en contacto, por medio de transferencia de energía cinética de las partículas.
Convención	Forma de transferencia de calor que se produce por intermedio de un fluido, que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido.
Densidad	Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de una sustancia.
Disolución	También llamada solución, es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias, que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporción que varía entre ciertos límites
Ebullición	Proceso físico en el que la materia pasa a estado gaseoso. Se da cuando la temperatura de la totalidad del líquido iguala al punto de ebullición del líquido a esa presión.

Entalpia	Magnitud termodinámica cuya variación expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema puede intercambiar con su entorno.
Evaporación	Proceso físico que consiste en el paso lento y gradual de un estado líquido hacia un estado gaseoso, tras haber adquirido suficiente energía para vencer la tensión superficial.
Evaporador	Intercambiador de calor capaz de hervir la solución y un dispositivo para separar la fase vapor del líquido en ebullición.
Marmita	Evaporador comercial más simple que puede calentarse directamente, provisto de una camisa de calentamiento externa o de un serpentín interno a través del cual pasa el medio transferidor de calor.
Operación unitaria	Proceso de transformación donde hay un intercambio del tipo físico, de una materia prima en otro producto de características diferentes.
Presión atmosférica	Presión que ejerce el aire sobre la Tierra.
Punto de ebullición	Temperatura en la cual la presión de vapor del líquido iguala a la presión de vapor del medio en el que se encuentra.

Soluto	Compuesto de menor proporción al solvente en una disolución.
Solvente	Sustancia que permite la dispersión de otra sustancia en esta a nivel molecular o iónico. Es el medio dispersante de la disolución, generalmente es agua.
Temperatura	Magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Está relacionada directamente con la parte de la energía interna.
Termosensibilidad	Susceptibilidad de un material a cambios de temperatura.
Transferencia de calor	Es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura
Viscosidad	Oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Muestra una tendencia de oposición de fluir ante la aplicación de una fuerza.

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo de graduación, es el diseño de un evaporador tipo marmita con serpentín interno para la elaboración de diversos alimentos que requieren proceso de evaporación.

La evaporación es una operación unitaria importante en los procesos de alimentos, para la preservación y conservación de los mismos por medio de la remoción de agua.

Para satisfacer las necesidades de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la formación de estudiantes con conocimientos superiores en el manejo y preparación de alimentos, se realizó el diseño del equipo de evaporación para prácticas de laboratorio.

El diseño del equipo cumple con la debida revisión bibliográfica, principalmente en la determinación de ecuaciones para el dimensionamiento de la marmita y el intercambiador de calor tipo serpentín para un funcionamiento efectivo.

La estimación de costos para la fabricación del equipo toma en cuenta el tipo de material adecuado y apto para las condiciones higiénicas en el manejo de los alimentos, según las dimensiones calculadas durante el diseño, transporte, aranceles aduanales y mano de obra.

La característica principal del equipo es el intercambiador de calor tipo serpentín que se encuentra en el interior de la marmita, cuya transferencia de calor será óptima para un contacto directo con la alimentación y así minimizar las pérdidas de calor.

El dispositivo diseñado puede ser aplicado de manera adecuada para la elaboración de diversos alimentos a nivel piloto como los manjares, jaleas, mermeladas, salsas, jugos, yogurt, pasteurizaciones en general, etc.

OBJETIVOS

General

Diseñar un evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno para la elaboración de diversos alimentos que requieren un proceso de evaporación a nivel de planta piloto, ubicado en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Específicos

1. Efectuar los cálculos de ingeniería para el diseño de la marmita, intercambiador de calor tipo serpentín, sistema de agitación y soporte con sus respectivos dimensionamientos.
2. Establecer los balances de masa y energía respectivos al sistema de evaporación de simple efecto.
3. Representar el diseño de la marmita, serpentín, sistema de agitación y soporte con todos sus materiales en planos de diseño, así como los planos de ubicación del equipo en el laboratorio.
4. Especificar los costos de materiales para la construcción del equipo de evaporación según diseño.

INTRODUCCIÓN

La evaporación es una operación unitaria importante en la industria de alimentos, teniendo una gran aplicación para diferentes productos.

Se utiliza generalmente para concentrar distintas soluciones, mediante una secuencia de transformaciones físicas con transportes de masa y energía para la obtención de un producto con características requeridas, en otras palabras persigue la separación, que consiste en eliminar ciertas cantidades de solvente de una solución para concentrarlas.

El estudio que se especifica en este trabajo de investigación, es enfocado a los distintos tipos de prácticas a nivel piloto que se puedan generar, en la elaboración de diversos alimentos para la realización de caracterizaciones, muestreo, análisis, control, selección y decisión de un producto alimenticio debidamente controlado y apto para el consumo humano en un equipo diseñado para su fin.

El trabajo técnico de diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno está enfocado hacia el aprovechamiento de los recursos energéticos, el buen uso del vapor de agua y aplicación de conocimiento técnico adquirido en la carrera de ingeniería química.

1. ANTECEDENTES

Los seres humanos han procesado los alimentos desde hace mucho tiempo y una de las maneras de conservación más antiguas es por medio de la remoción del solvente por ebullición; generalmente agua, para aumentar su concentración sin perder sus propiedades nutritivas, destruyendo hongos, bacterias y levaduras.

La forma más simple y antigua de los evaporadores se conocen como ollas o charolas, las cuales eran colocadas sobre placas calientes para remover el exceso de agua de los alimentos.

La fabricación de ollas como utensilios almacenadores de alimentos siempre ha acompañado al hombre desde sus inicios. La superficie de la placa caliente era un intercambiador de calor simple donde el agua se desprendía en el área como flujo de vapor, consecuente de la baja velocidad de flujo. A este tipo de ollas o charolas se les conoce actualmente como marmitas que en sus inicios fueron construidas de barro, cerámica, vidrio, aleaciones metálicas, actualmente de acero inoxidable. En el estudio avanzado de este tipo de equipos se generaron los diferentes tipos de evaporadores de simple y múltiple efecto, en donde el proceso se realiza a presión de vacío para mayor eficiencia y son utilizadas a nivel industrial.

Se produjeron a partir de la llegada de los españoles, aunque nunca se dejó de producir ollas de barro. La introducción de estas ollas con ornamentos y de diversos materiales se dio debido a la revolución industrial en virtud a la fabricación de maquinarias que trabajaban metales, misma que se diversificó hasta la fabricación de ollas a través de troqueles que funcionaban a base de pedales en forma hidráulica.

La situación mundial de los años cuarenta, con la aparición del aluminio en la industria de la guerra, hicieron que el ramo se especializara en artículos de peltre, incrementando la producción.

La creación de las marmitas se atribuye al físico Francés Denis Papin en 1707, como uno de los frutos de sus descubrimientos en torno al estudio de las propiedades y aprovechamiento industrial del vapor. Creó la máquina de vapor llamándola retorta, con un diámetro máximo de 21 pulgadas, una altura de 26 pulgadas y con un volumen total de 150 litros, al cual se le suministraba calor por combustión en la parte inferior. La maquina se encontraba encerrada en una obra de ladrillo que disminuía las pérdidas de calor.

Las marmitas han sido utilizadas en muchos sistemas de evaporación de diversos alimentos que conllevan a ventajas operativas, una de ellas es la buena transferencia de calor y de masa bajo condiciones controladas de temperatura y presión, otra es la operación del sistema tipo bach, donde la alimentación es intermitente y la descarga se realiza hasta que se obtiene la concentración final deseada.

Luego de una exhaustiva revisión bibliográfica se determinó que en Guatemala los estudios similares sobre diseños de marmitas para elaboración de alimentos a nivel de laboratorio son muy escasos, las únicas investigaciones realizadas son con base en estudios financieros, sobre compra de este tipo de equipos, así como implementación de automatización de procesos.

Investigaciones sobre el uso de marmitas para elaboración de alimentos se encontraron en países como Colombia, Ecuador, Bolivia, Chile, Venezuela y México; estas son utilizadas en la elaboración de mermeladas, jarabes de azúcar, cocción de hortalizas, concentrados, entre otras pero su enfoque principal va orientada hacia la industria o estudios farmacéuticos, por esta razón se toma como referencia principal la teoría del *Manual del ingeniero químico*, en el diseño térmico de equipos para transmisión de calor, junto con los conocimientos adquiridos durante la carrera.

Sin duda alguna la evaporación es una de las operaciones unitarias infaltables en el campo de la ingeniería química, tanto así, que el equipo diseñado como la marmita, el serpentín y el intercambiador de calor, constituyen un complemento en el sector operacional de un laboratorio de alimentos, coadyuvando así a la solución de la problemática de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala en lo referente a falta de equipos y laboratorios especializados para las prácticas en alimentos que utilizan vapor como factor de calentamiento, e iniciando una línea de producción futura a nivel planta piloto.

2. MARCO TEÓRICO

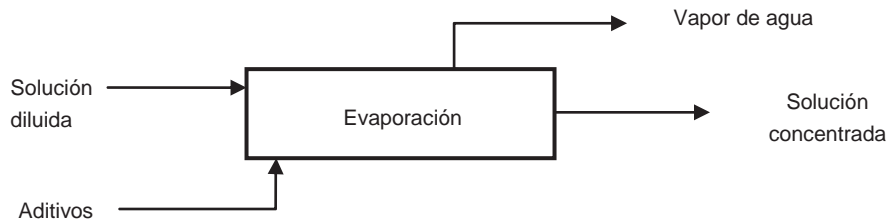
2.1. Evaporación

La evaporación es una operación unitaria utilizada para la remoción parcial o total de agua por medio de la ebullición, aumentando la concentración de los sólidos presentes.

La evaporación en los alimentos es un proceso previo al secado, congelación o esterilización para reducir la cantidad de agua, esto favorece la preservación de los alimentos en valores nutricionales, la coloración y los sabores.

La forma más sencilla de evaporación es la que se lleva a cabo a presión atmosférica; sin embargo, se debe controlar la temperatura y el tiempo que el alimento permanece en el proceso, ya que muchos alimentos se deterioran con el excesivo calor, este método prolonga la exposición del producto a altas temperaturas. Por esa razón en muchas industrias se utilizan los sistemas de evaporación al vacío, para permitir la remoción de agua a bajas temperaturas; simultáneamente con esta técnica, y con el uso de varios evaporadores se logra mejor eficiencia en el proceso.

Figura 1. **Diagrama general de entradas y salidas del proceso de evaporación**



Fuente: elaboración propia.

La característica fundamental de la evaporación, es la separación del soluto no volátil del solvente, que generalmente en los alimentos es el agua.

La superficie calefactora es una fuente calórica que se logra generalmente con vapor de agua y elimina el solvente por medio de la ebullición haciendo que éste evapore, en la proporción que se requiera dando lugar a la concentración del soluto.

“La evaporación es la separación de componentes por efecto térmico, en donde se obtienen dos productos de distintas composiciones físicoquímicas. En la mayoría de los casos, el producto evaporado, solvente volátil, es un producto sin valor comercial, mientras que el líquido concentrado, soluto no volátil es el que tiene importancia económica”¹.

Cada producto a evaporar tiene comportamiento diferente de acuerdo a sus características físicoquímicas, las cuales definen su termosensibilidad, precipitación, aglomeración o polimerización.

¹ McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 512

El tratamiento inadecuado puede producir un deterioro parcial o total de los diferentes componentes involucrados en el líquido y modificar las propiedades del mismo. Por esta razón son importante los estudios a escala laboratorio, en forma experimental para determinar el equipo adecuado para cada tipo de evaporación y sus necesidades, los cuales permiten determinar variables termodinámicas, coeficientes térmicos, comportamientos en ebullición, grados de ensuciamiento, concentraciones límites y todo lo necesario para asegurar un apropiado diseño y construcción de los equipos.

El tipo de alimento líquido determina buena parte de las características del comportamiento de la evaporación.

En general es necesario un tratamiento térmico suave o moderado lo que involucra bajos tiempos de permanencia o residencia del material en el evaporador; las incrustaciones que producen los alimentos por los lodos que se adhieren a la superficie de intercambio, ocasionándose la consecuente disminución en la capacidad de producción. Además es frecuente la formación de espumas, que ocasionan arrastres y pérdidas del producto.

2.2. Principios básicos, factores que afectan a la velocidad de evaporación

La velocidad de evaporación está determinada por la velocidad de transferencia de calor al alimento y la velocidad de transferencia de materia desde el alimento que está siendo sometido al proceso de evaporación.

Los factores que influyen sobre la velocidad de transferencia de calor y que determinan el tiempo de evaporación son:

- La diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición
- Área de transferencia
- Película superficial
- Coeficiente global de transferencia de calor (U)
- Propiedades del alimento

2.2.1. La diferencia de temperatura entre el vapor y el líquido en ebullición

A medida que el líquido se concentra el punto de ebullición aumenta, la diferencia de temperatura entre el líquido en evaporación y el elemento calefactor disminuye, por lo que la velocidad de transferencia de calor se reduce.

Evaporando a presión reducida o al operar en vacío esta diferencia se aumenta ya que desciende el punto de ebullición del líquido.

2.2.2. Área de transferencia

El área de transferencia depende de la geometría del equipo. El aumento de residuos en la superficie de intercambio reduce la velocidad de transferencia de calor. Desnaturalizaciones de proteínas o depósitos de polisacáridos sobre estas superficies, dan lugar a que se quemé y descomponga el producto final.

2.2.3. Película superficial

La resistencia a la transmisión de calor en el evaporador suele ser debida principalmente a la capa superficial del líquido.

En muchos alimentos la viscosidad aumenta a medida que progresa su concentración, lo que disminuye la velocidad de transferencia de calor, además de permanecer el alimento más tiempo en contacto con las superficies calefactoras, lo que actúa en detrimento de su calidad.

2.2.4. Coeficiente global de transferencia de calor (U)

Las propiedades físicas de los fluidos (vapor de calentamiento y el alimento), la conductividad térmica del material del intercambiador de calor, las paredes del evaporador y el régimen del flujo (espesor capa convectiva) afectan la velocidad de evaporación.

2.2.5. Propiedades del alimento

Las propiedades del alimento son: viscosidad, sensibilidad a la temperatura y resistencia a la corrosión.

A mayor viscosidad, menor velocidad de circulación y menores coeficientes de transmisión de calor. La viscosidad aumenta con la concentración del alimento.

Las temperaturas de operación deberán ser bajas y los tiempos de residencia deben ser cortos, los alimentos son muy delicados al tratamiento térmico, provocando daños en sus propiedades nutricionales

Los principales factores que influyen en los gastos de un proceso de evaporación son las pérdidas de concentrado y los gastos energéticos. Las pérdidas de producto se deben a:

- Formación de espumas, que disminuyen la velocidad de transferencia de calor y dificultan la separación del vapor.
- El arrastre por parte del concentrado, en forma de niebla, por la corriente de vapor extraída del producto.

Para reducir al mínimo este fenómeno se colocan separadores, para reducir el consumo energético de la operación, se puede usar la recompresión del vapor, el precalentamiento o múltiples efectos.

2.3. Evaporador

Un evaporador consiste básicamente de un intercambiador de calor capaz de hervir la solución y un dispositivo para separar la fase vapor del líquido en ebullición.

En su forma más simple puede ser una olla de líquido colocada sobre una placa caliente. La superficie de la placa caliente es un intercambiador de calor simple.

En otras palabras un evaporador es un equipo que trabaja con transferencia de calor para la concentración de soluciones diluidas. El fenómeno de transferencia de calor se da desde la cámara de calefacción hacia la cámara de ebullición mediante el mecanismo de conducción.

2.3.1. Componentes básicos de un evaporador

Los sistemas de evaporadores industriales normalmente constan de:

- Un intercambiador de calor para aportar el calor sensible y el calor latente de evaporación del alimento líquido. En la industria de los alimentos normalmente se utiliza como medio de calentamiento vapor saturado.
- Un separador en el que el vapor se separa de la fase líquida concentrada. En los sistemas que operan a presión atmosférica el separador puede omitirse.
- Un condensador para condensar el vapor y eliminar el condensado del sistema.

2.4. Parámetros que intervienen en el diseño de evaporadores

Los parámetros que intervienen en el diseño del equipo son propiedades usadas en la ingeniería para establecer los puntos básicos del funcionamiento óptimo del equipo, son variables que definen el proceso de la evaporación.

2.4.1. Características del líquido que se concentra

“La solución práctica a un problema de evaporación está profundamente afectada por el carácter del líquido que se concentra”².

La gran variedad de características de dichos líquidos lo que amplía esta operación desde una sencilla transmisión de calor hasta un arte separado.

2.4.2. Concentración

Aunque la disolución que entra como alimentación de un evaporador puede ser suficientemente diluida teniendo muchas de las propiedades físicas del agua, a medida que aumenta la concentración de la disolución adquiere cada vez un carácter individualista. La densidad y la viscosidad aumentan con el contenido de sólidos hasta que la disolución se transforma en saturada o resulta inadecuada para una transmisión de calor adecuada.

La ebullición continuada de una disolución saturada da lugar a la formación de cristales, que deben ser separados para evitar incrustaciones. La temperatura de ebullición de la disolución puede también aumentar considerablemente al aumentar el contenido de sólido y puede ser mucho mayor que la del agua a la misma presión.

2.4.3. Viscosidad

Los líquidos muy viscosos tienden a reducir las velocidades de circulación y a reducir los coeficientes de transferencia de calor.

² McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 513

En general, la viscosidad de una solución sometida a evaporación aumenta con la concentración, es de esperar que a medida que discurre la evaporación descienda la velocidad de transferencia de calor.

2.4.4. Formación de espumas

Algunas sustancias orgánicas forman espuma durante la evaporización. Una espuma estable acompaña al vapor que sale del evaporador dando lugar a un importante arrastre. En casos extremos toda la masa de líquido puede salir con el vapor y perderse.

2.4.5. Formación de incrustaciones

Algunas disoluciones depositan costras sobre las superficies de calefacción, se incrustan.

En estos casos el coeficiente global disminuye progresivamente hasta que llega un momento en que es preciso interrumpir la operación y limpiar los tubos, cuando las costras son duras e insolubles, la limpieza resulta difícil y costosa.

2.4.6. Sensibilidad a la temperatura

“Muchos productos alimenticios son sensibles a ciertas temperaturas elevadas y se dañan en tiempos relativamente cortos, por lo que hay que tener en cuenta el diseño del equipo para evitar que el alimento permanezca por tiempo prolongado y su descarga sea rápida”³.

³ McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 514

2.4.7. Calor específico

El calor es la energía que fluye de los cuerpos de mayor a los de menor temperatura. El cuerpo que recibe calor aumenta su temperatura y el que cede calor la disminuye la misma.

El calor específico es el calor necesario a suministrar para elevar esa temperatura, a partir de este parámetro se puede calcular la cantidad de energía requerida para incrementar la temperatura del alimento a evaporar.

2.4.8. Temperatura de ebullición

Es la temperatura a la cual se produce la transición de la fase líquida a la fase gaseosa en el proceso de evaporación. Se define como el punto de ebullición a una presión total aplicada; es decir, la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a una atmósfera.

2.4.8.1. Factores que influyen en el punto de ebullición de la solución

- Presión externa

Un líquido hierve cuando la presión de vapor que ejerce es igual a la presión externa a la que se ha sometido.

En el caso de los productos alimenticios el solvente suele ser el agua, sustancia cuyas relaciones de presión de vapor y temperatura son bien conocidas.

- Elevación del punto de ebullición (EPE)

La presión de vapor de la mayor parte de las disoluciones acuosas es menor que la del agua a la misma temperatura. Para una presión dada, la temperatura de ebullición de las disoluciones es mayor que la del agua pura.

“El aumento del punto de ebullición sobre el del agua se conoce con el nombre de elevación del punto de ebullición de la disolución”⁴.

Es pequeño para disoluciones diluidas y para disoluciones de coloides orgánicos pero puede alcanzar un valor de hasta 65 °C para disoluciones concentradas de sales inorgánicas. La elevación del punto de ebullición tiene que restarse de la caída de temperatura que se predice a partir de las tablas del vapor de agua.

La elevación real del punto de ebullición con el cambio de concentración con frecuencia puede conocerse mediante la regla de Dühring, regla empírica que establece que el punto de ebullición de una solución es función lineal del punto de ebullición del solvente a la misma presión.

- Efecto de la carga del líquido y la fricción

Si la profundidad del líquido en un evaporador es apreciable, el punto de ebullición correspondiente a la presión en el espacio de vapor es el punto de ebullición solamente de las capas superficiales del líquido.

⁴ McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 518

Una gota de líquido situada a una distancia de Z metros por debajo de la superficie está sometida a la presión del espacio de vapor más una carga de Z metros de líquido y por consiguiente, tiene un punto de ebullición más elevado.

Cuando la velocidad del líquido es grande, las pérdidas por fricción en los tubos aumentan junto con la presión media del líquido. Por tanto, en un evaporador real el punto de ebullición correspondiente a la presión existente en el espacio de vapor aumenta.

Este aumento del punto de ebullición disminuye la caída media de temperatura entre el vapor de agua condensante y el líquido y reduce la capacidad de un evaporador.

La reducción no puede estimarse cuantitativamente con precisión, pero el efecto cualitativo de la carga de líquido, especialmente con elevadas alturas de líquido y grandes velocidades, no puede ignorarse.

2.5. Materiales de construcción

Siempre que es posible, los evaporadores se construyen con algún tipo de acero. Sin embargo, muchas disoluciones atacan a los metales ferrosos y se produce contaminación. En estos casos se utilizan materiales especiales tales como el cobre, níquel, acero inoxidable, grafito y plomo.

Estos materiales tienen un elevado costo y resulta especialmente deseable obtener elevadas velocidades de transmisión de calor con el fin de minimizar el costo del equipo.

2.6. Equipos auxiliares de los evaporadores

Debido a que casi todos los sistemas de evaporación empleados en el proceso de alimentos en la industria operan a presión inferior a la atmosférica, se precisan condensadores de vapor y bombas de vacío o inyectores.

La atmósfera presente en un evaporador consta de:

- Vapor condensable
- Gases incondensables (aire que penetra en el sistema por las fugas y el resultante de la desgasificación de los líquidos de alimentación).

En la evaporación a vacío, la presión parcial del vapor de agua y la de los gases incondensables son eliminados por una bomba o inyector.

2.7. Colector de condensado

Debe resaltarse que para conseguir la máxima economía térmica y transferencia de calor, todo equipo que utilice vapor como medio de calentamiento del proceso debe estar dotado de sistemas adecuados de eliminación del condensado y de purga de gases inertes.

Los intercambiadores de calor que no han sido adecuadamente purgados y que están parcialmente inundados de agua son causa del bajo rendimiento de las plantas de evaporación.

2.8. Capacidad de un evaporador

La capacidad de un sistema de evaporación es la cantidad de masa de solvente (agua) evaporado por hora.

Esta capacidad está íntimamente relacionada con la velocidad de transmisión de calor “ q ” a través de la superficie de calefacción de un evaporador. El conocimiento de esta velocidad es un requisito importante en el diseño, en la selección y en la operación de evaporadores.

$$q = U * A * \Delta T \quad \text{Ecuación 1 Ref. 14}$$

Si la alimentación que entra en el evaporador está a la temperatura de ebullición correspondiente a la presión existente en el espacio de vapor, todo el calor transmitido a través de la superficie de calefacción es utilizado en la evaporación y la capacidad es proporcional a q , si la alimentación está fría, el calor que se requiere para calentarla hasta su temperatura de ebullición puede ser bastante grande y consecuentemente, se reduce la capacidad para un valor dado de q , toda vez que el calor utilizado para calentar la alimentación no está disponible para la evaporación.

Por lo contrario, si la alimentación está a una temperatura superior a la de ebullición en el espacio de vapor, una parte de la alimentación se evapora espontáneamente mediante equilibrio adiabático con la presión del espacio de vapor y la capacidad es superior a la correspondiente a q . Este proceso recibe el nombre de evaporación *flash*.

La caída de temperatura a través de la superficie de calefacción depende de la disolución que se evapora, de la diferencia de presión entre la cámara de vapor y el espacio de vapor situado encima del líquido en ebullición.

La altura de líquido en los tubos también influye sobre la caída de temperatura debido a que la pérdida por fricción en los tubos aumenta la presión efectiva del líquido.

Cuando la disolución tiene las características del agua pura, su temperatura de ebullición puede obtenerse a partir de las tablas de vapor de agua conocida la presión.

“En los evaporadores reales la temperatura de ebullición de una disolución está afectada por dos factores: el ascenso del punto de ebullición y la carga del líquido”⁵.

2.9. Coeficientes de transmisión de calor

Según la ecuación 1, la velocidad de transmisión de calor y la capacidad del evaporador están afectadas tanto por la caída de temperatura como el coeficiente global de transmisión de calor.

La caída de temperatura está fijada por las propiedades del vapor de agua y del líquido que hierve, excepto por la carga hidrostática que no depende de la construcción del evaporador. Por otra parte, el coeficiente global está fuertemente influenciado por el diseño y la forma de operación del evaporador.

⁵ McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 521

La resistencia global a la transmisión de calor entre el vapor de agua y el líquido en ebullición es la suma de cinco resistencias individuales: la resistencia de la película de vapor, las dos resistencias de las caras, interior y exterior de los tubos; la resistencia de la pared del tubo; y la resistencia del líquido en ebullición.

El coeficiente global es el inverso de la resistencia total. En la mayoría de los evaporadores el factor de ensuciamiento del vapor de agua condensante y la resistencia de la pared del tubo es muy pequeño y generalmente pueden despreciarse en el cálculo de evaporadores.

“En un evaporador de pared de tubo grueso, la resistencia puede ser una parte importante de la resistencia total”⁶.

2.9.1. Coeficientes de la película de vapor

El coeficiente de la película de vapor de agua es elevado, aún para la condensación en película. A veces se adicionan promotores al vapor de agua para provocar la condensación en gotas y aumentar más el coeficiente. Dado a que la presencia de gases no condensables reduce sustancialmente el coeficiente de película del vapor, es preciso tomar precauciones para purgar los no condensables y prevenir la entrada de aire cuando el vapor de agua está a una presión inferior a la atmosférica.

2.9.2. Coeficientes del líquido

El coeficiente del lado del líquido depende en gran medida de la velocidad del líquido sobre la superficie de calefacción.

⁶ YUNUS, Çengel. *Transferencia de calor y masa*. p. 155.

Estos coeficientes suelen ser mayores en los sistemas de circulación forzada que en los de circulación natural. En la mayoría de los evaporadores, especialmente en los que tratan materiales viscosos, la resistencia del lado del líquido controla la velocidad global de transmisión de calor hacia el líquido en ebullición.

La circulación forzada conduce a coeficientes elevados del lado del líquido aun cuando la ebullición dentro de los tubos es suprimida por la elevada carga estática. La formación de costras sobre los tubos de un evaporador añade una resistencia térmica equivalente a un factor de ensuciamiento.

2.9.3. Coeficientes globales

Debido a la dificultad de medir los elevados coeficientes de película individuales en un evaporador, los resultados experimentales generalmente se expresan en función de coeficientes globales, que están basados en la caída neta de temperatura corregida para tener en cuenta la elevación del punto de ebullición.

Los coeficientes globales están, por supuesto, influenciados por los mismos factores que los coeficientes individuales; pero si una resistencia (tal como la película del líquido) es controlable, variaciones importantes de las demás resistencias apenas tendrían efecto sobre el coeficiente global.

Una pequeña acumulación de costras reduce el coeficiente a una pequeña fracción de los valores para tubos limpios.

“En lo evaporadores de circulación natural el coeficiente global es sensible a la caída de temperatura y a la temperatura de ebullición de la disolución. Con líquidos de baja viscosidad los coeficientes de transmisión de calor son elevados”⁷.

2.10. Economía de un evaporador

La economía de un sistema de evaporación es la masa total de solvente evaporada, por cada masa de vapor de agua alimentado al sistema de evaporación.

El principal factor que influye sobre la economía de un evaporador es el número de efectos. Mediante un diseño adecuado, la entalpía de vaporización del vapor de agua que entra en el primer efecto puede utilizarse una o más veces dependiendo del número de efectos.

La economía también está influenciada por la temperatura de la alimentación. Si la temperatura es inferior a la de ebullición en el primer efecto, para el calentamiento de la carga se utiliza una parte de la entalpía de vaporización del vapor de agua y solamente una parte queda disponible para la ocupación. Si la temperatura esta a una temperatura superior a la de ebullición, la vaporización súbita que se produce contribuye a generar una evaporación adicional a la producida por la condensación del vapor de agua.

Desde el punto cuantitativo la economía de un evaporador es totalmente una cuestión de balance de entalpía.

⁷ PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico*. p. 11-136

2.11. Diseño de un sistema de evaporación

El diseño de un evaporador se toma generalmente como la determinación del área de transferencia de calor y el consumo de vapor requerido para efectuar una separación específica a unas condiciones determinadas de operación en estado estacionario. Además es optimizar la capacidad de evaporación y la economía de vapor para reducir costos de operación.

Por otro lado para el diseño de sistemas de evaporación es necesario tener presente las características del producto a evaporar para decidir el tipo de materiales en la construcción del evaporador.

Debido a los problemas de crecimiento microbianos, el equipo debe diseñarse de tal manera que pueda limpiarse con facilidad.

Por último dado el grado de degradación de los materiales biológicos como la leche, los jugos cítricos y los extractos vegetales durante la evaporación por temperaturas altas, es necesario mantener la temperatura baja durante la evaporación, por lo que esta debe hacerse al vacío para reducir el punto de ebullición de la solución; todo esto implica también probar y calcular la resistencia del evaporador para que resista presiones inferiores a la atmosférica.

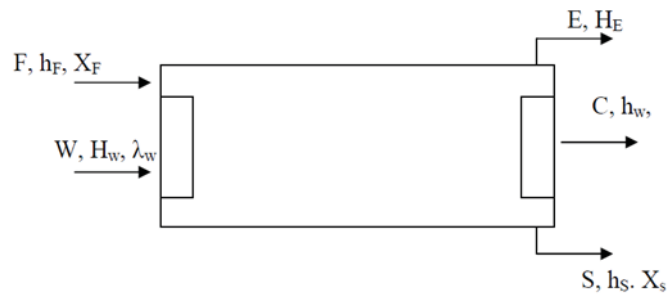
2.12. Diseño de un evaporador de efecto simple

Las ecuaciones que describen un evaporador de efecto simple se derivan de la siguiente manera. Los balances de materia por componente para el soluto y el solvente son:

Balance del solvente } Flujo de alimentación, flujo de líquido concentrado, flujo de vapor, fracción en masa del soluto y del solvente.
 Balance del soluto }
 Balance de materia total }

Balance de energía } Entalpía de alimentación, entalpía del concentrado, entalpía del vapor, velocidad del calor transferido.

Figura 2. Evaporador de efecto simple



Fuente: elaboración propia

Donde:

F = alimentación	h_w = entalpía de condensado
h_F = entalpía de alimentación	C = condensado
X_F = concentración de alimentación	h_S = entalpía de concentrado
W = calor del vapor	X_S = concentración del producto
H_w = entalpía del vapor	S = concentrado
E = agua evaporada	H_E = entalpía del agua evaporada

2.13. Tipos y selección de evaporadores según las propiedades de las diluciones

Los evaporadores se clasifican en dos grupos, de circulación natural y de circulación forzada. Los evaporadores de circulación forzada son más costosos en operación que los de circulación natural, pero son necesarios cuando los problemas de concentración involucran soluciones de flujo pobre, incrustante y con ciertas características térmicas.

Las altas velocidades que se obtiene por las bombas de recirculación son los únicos medios de prevenir la formación de depósitos excesivos cuando hay tendencias a la formación de incrustaciones, además están bien adaptados para un control preciso de flujo.

2.13.1. Evaporadores de circulación natural

Estos se usan unitariamente o en efecto múltiple para los requerimientos más simples de evaporación y se clasifican en cinco clases principales:

- Abiertos
- De tubos horizontales
- De tubos cortos verticales o de cesta
- De tubos verticales largos
- Calandria con tubos verticales

2.13.1.1. Evaporador abierto

Son los evaporadores comerciales más simples que existen y son muy populares por su bajo costo. Aunque el depósito de estos evaporadores puede calentarse directamente, lo más frecuente es que estén provistos, bien de una camisa de calentamiento externa o de un serpentín interno a través del cual pasa el medio transferidor de calor. En estas unidades las velocidades de evaporación son bajas y la economías de térmica es pobre.

Los depósitos pueden cerrarse para permitir la operación a vacío. La agitación favorece la transferencia de calor, aumentando su velocidad y reduce el riesgo del quemado del producto que contacta con las superficies de calentamiento.

Estos evaporadores simples se usan para concentrar alimentos como la pulpa de tomate en la preparación de sopas y salsas, elaboración de manjares en la ebullición de mermelada y productos de confitería entre otros.

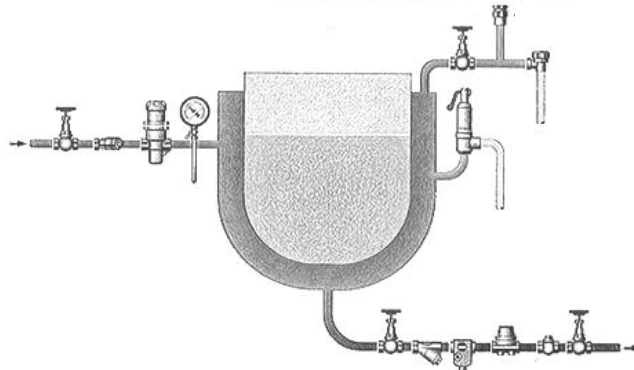
Los evaporadores de camisa pequeños son muy útiles, pero en los de mayor capacidad la relación superficie transferente de calor a volumen de líquido se reduce considerablemente y el calentamiento se hace menos efectivo.

“Los serpentines de calentamiento internos que se instalan en las unidades mayores pueden dificultar la circulación del líquido y reducir por tanto la velocidad de transferencia de calor”⁸.

⁸ BRENNAN, Butters J.G., *Las operaciones de ingeniería de los alimentos*. p. 380

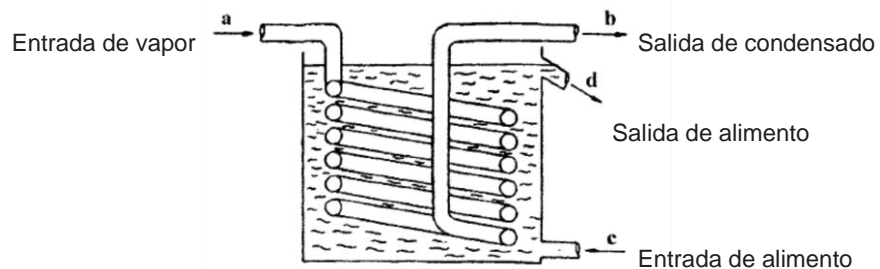
Generalmente cuando se requieren unidades de gran capacidad son preferibles otros tipos de evaporadores que ofrecen mayores ventajas.

Figura 3. **Evaporador abierto tipo marmita con chaqueta**



Fuente: BRENNAN, Butters J.G.; COWELL, Lilly. Las operaciones de ingeniería de los alimentos. p. 380.

Figura 4. **Evaporador abierto tipo marmita con serpentín**

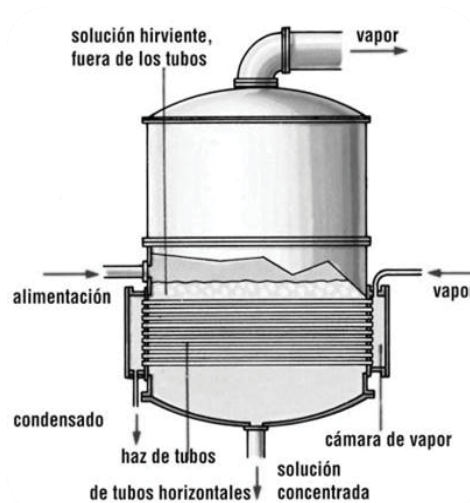


Fuente: http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020145448/1020145448_02.pdf Consulta: diciembre de 2012 p. 12.

2.13.1.2. Evaporadores de tubos horizontales

En este tipo de evaporador la parte inferior de la cámara está atravesada por un banco de tubos horizontales calentados internamente por vapor. Por encima del calentador existe un amplio espacio para permitir la separación por gravedad de las gotitas líquidas que son arrastradas con el vapor desprendido del líquido de la base. Para reducir aún más el arrastre y facilitar la separación pueden disponerse en el interior de este espacio láminas de choque separadoras. El banco de tubos horizontales dificulta la circulación y en consecuencia los coeficientes globales de transmisión de calor de este tipo de evaporadores son bajos, destinados originalmente a la evaporación de líquidos de escasa viscosidad que no formaban espumas ni costras.

Figura 5. Evaporador de tubos horizontales



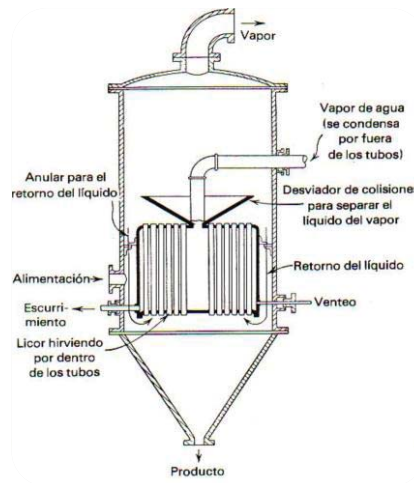
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/29577400/Evaporacion>. Consulta: noviembre de 2012.

p. 7.

2.13.1.3. Evaporadores de tubos cortos verticales

Este tipo de unidad se usa mucho en procesos industriales, llegándose a conocer como el evaporador estándar y normalmente tiene un cuerpo cilíndrico, como en el caso de tubos horizontales. En él se condensa sobre la superficie exterior de tubos dispuestos verticalmente. “La calandria o conjunto de tubos que atraviesan la cámara de vapor frecuentemente posee un tubo de retorno central que normalmente ocupa al menos el 40 % del área de flujo de los tubos de ascensión. Puesto que el líquido situado en el tubo de retorno está más frío que el de los tubos calentadores de ascenso se crea corrientes de circulación natural la longitud de los tubos oscila entre 0.5 y 2 m y el diámetro entre 12 y 75 mm”⁹.

Figura 6. Evaporador de tubos cortos verticales



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/29577400/Evaporacion>. Consulta: noviembre de 2012.

p. 9.

⁹ McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 516.

Cuando se concentran por evaporación líquidos formadores de costras, los tubos deberán estar cubiertos por el líquido para que la deposición de material sea mínima. Las unidades pueden equiparse con calandrias de cesta que se pueden desmontar fácilmente para limpiarlas.

Este tipo de evaporador alcanza buenas velocidades de evaporación con líquidos de viscosidad moderada, no corrosivos y poco tendentes a la formación de costras. Entre sus aplicaciones típicas se hallan la concentración de soluciones de azúcar de caña, de azúcar de remolacha, glucosa, extracto de malta, sal y zumos de frutas.

2.13.1.4. Evaporadores de tubos largos

Estos evaporadores constan de una cámara vertical provistos de cambiadores de calor tubulares. Como medio de calentamiento suele utilizarse vapor que se condensa en el interior de la cámara.

- Evaporadores de película ascendente

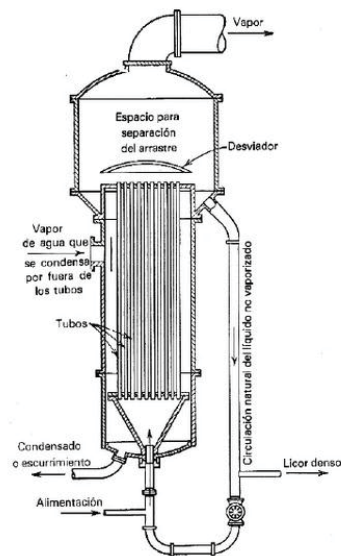
Los evaporadores de este tipo poseen tubos de 3 a 12 m de longitud y 25 a 50 mm de diámetro. El líquido penetra por la parte inferior de los tubos, precalentando casi a ebullición y comienza a hervir al ascender una corta distancia.

La expansión debida a la vaporización hace que se formen burbujas de vapor que ascienden a alta velocidad por los tubos arrastrando líquido hacia la parte superior. A medida que el líquido asciende se va concentrando y en condiciones óptimas, el vapor arrastra hacia arriba la pared de los tubos una fina película de líquido que se concentra rápidamente.

La mezcla de vapor líquido que emerge por la parte superior de los tubos pasa seguidamente a un separador en el que se elimina el vapor. El líquido concentrado para ser recirculado o se puede pasar un segundo evaporador para proseguir su concentración.

“El tiempo de residencia en la zona de calentamiento es corto y los valores U son elevados, razón por la cual los evaporadores de película ascendente son útiles para concentrar productos sensibles al calor”¹⁰.

Figura 7. **Evaporador de tubos largos de película ascendente**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/29577400/Evaporacion>. Consulta: noviembre de 2012.

p. 14.

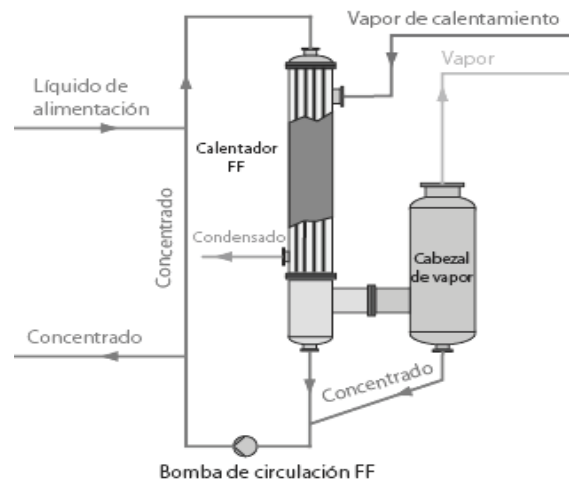
¹⁰ McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. p. 517.

- Evaporadores de película descendente

El líquido de alimentación precalentado entra por la parte superior del haz de tubos. A medida que tiene lugar la evaporación, el vapor que se forma desciende por la parte central de los tubos formando un chorro de alta velocidad que arrastra el líquido. En los tubos no existe cabeza hidrostática de líquido, es posible mantener una baja temperatura de ebullición uniforme. Los tiempos de residencia son cortos y por tanto la unidad es excelente para la concentración de productos sensibles al calor. Se usa con profusión para concentrar jugos cítricos y leches condensadas operando a vacío.

Los evaporadores de película descendente están adquiriendo importancia creciente en la industria de los alimentos, especialmente en el sector lácteo.

Figura 8. **Evaporador de película descendente**

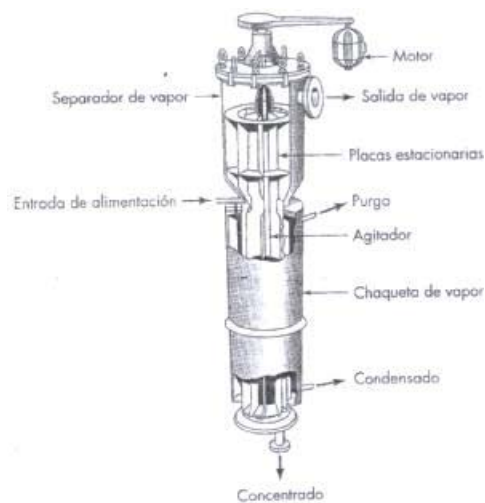


Fuente: <http://www.ecoplaning.fi/index.php/evaporador-de-pelicula-descendente> Consulta: febrero de 2013.

- Evaporadores de película ascendente descendente

Frecuentemente se utiliza una combinación de la evaporación en película ascendente y en película descendente. En este tipo de evaporador el líquido de alimentación diluido se concentra parcialmente en la sección de película ascendente y a continuación el producto más viscoso pasa a la región de película descendente. Con estas combinaciones se consiguen altas velocidades de evaporación.

Figura 9. **Evaporador de película ascendente-descendente**



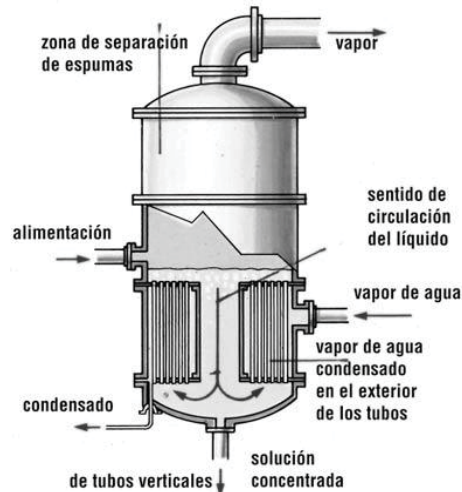
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/16721787/11/EVAPORADORES-DE-TUBOS-LARGOS>

Consulta: enero de 2013.

- Evaporador de calandria con tubos verticales

En esta unidad la calandria esta fuera del espacio separador de vapor. La construcción es simple y permite fácil acceso al haz de tubos. La calandria frecuentemente se distribuye por un cambiador de calor de placas, que resulta particularmente útil cuando es previsible la deposición de costras o la degradación del producto. A pesar de que se mantiene en recirculación grandes volúmenes de líquido los evaporadores de este tipo que operan a presiones reducidas se usan profusamente para la concentración de productos alimenticios sensibles al calor como la leche, los extractos carnicol y los jugos de frutas.

Figura 10. **Evaporador de calandria**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/29577400/Evaporacion>. Consulta: noviembre de 2012.

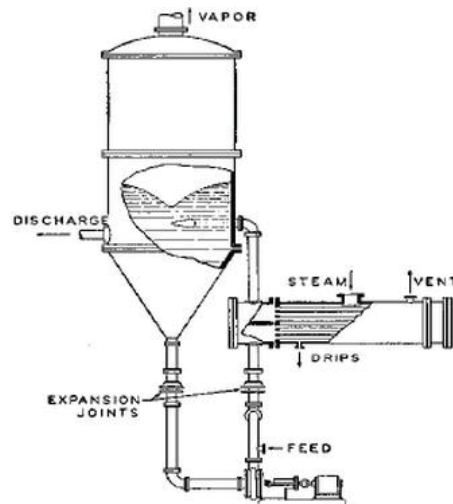
p. 8.

2.13.2. Evaporador de circulación forzada

Los evaporadores con calandrias externas con frecuencia operan como unidades de circulación forzada. Tales unidades son capaces de concentrar líquidos viscosos, mayores a $150 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, con lo que se consigue mantener velocidades de circulación adecuadas mediante centrífugas. “El empleo de una bomba para asegurar la circulación sobre la superficie de calentamiento hace posible separa las funciones de transmisión de calor, separación de vapor líquido y cristalización”¹¹.

En algunos evaporadores de cristalización se monta una hélice impulsora en el tubo central de retorno al objeto de aumentar la circulación del líquido.

Figura 11. Evaporador de circulación forzada con intercambiador de calor externo

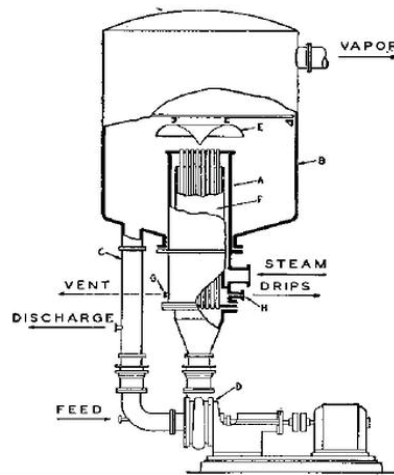


Fuente: <http://es.scribd.com/doc/29577400/Evaporacion>. Consulta: noviembre de 2012.

p. 22.

¹¹ PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico*. p. 11-137

Figura 12. **Evaporador de circulación forzada con intercambiador de calor interno**



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/29577400/Evaporacion>. Consulta: noviembre de 2012.
p. 21.

2.14. Sistema de evaporación, conservación de la energía térmica

El vapor que sale de un evaporador contiene calor que se pierde si este se deja escapar. La reutilización de este calor reduce los costos de operación de la planta.

2.14.1. Evaporación de efectos múltiples

El vapor que sale de un evaporador puede utilizarse como medio de calentamiento de la calandria de un segundo evaporador, siempre que la temperatura de ebullición de este evaporador sea lo suficientemente baja para mantener una diferencia de temperatura apropiada.

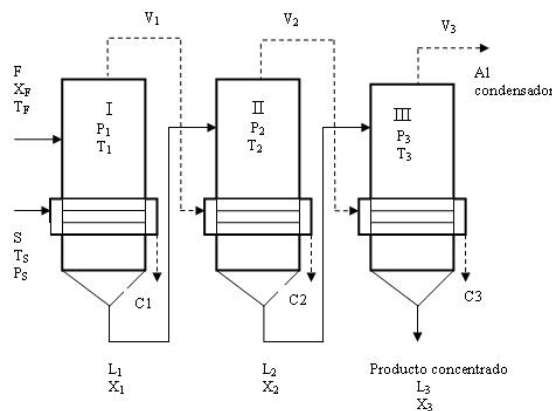
Esto se consigue mediante la operación de efectos sucesivos a presiones cada vez más reducidas. La reutilización del calor por este método puede extenderse a varios efectos y se denomina evaporación de efectos múltiples.

Debe entenderse que la evaporación de efectos múltiples no proporciona mayores rendimientos que los que se obtienen con los sistemas de efecto único de igual superficie cambiadora de calor.

Cuanto mayor sea el número de efectos, tanto mayor es la economía de vapor. El precio de la economía de vapor y el capital que cuestan la instalación aumentan con el número de efectos.

El costo de “n” efectos es aproximadamente “n” veces el costo de un efecto simple y por tanto, el costo de capital de una planta se eleva rápidamente al aumentar el número de efectos. El número óptimo de efectos es aquel en que se equilibran los costos de operación reducidos y los mayores costos de capital invertido.

Figura 13. **Evaporación de múltiples efectos**



Fuente: <http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/02/rcm.htm>. Consultado: 19 de enero de 2013.

2.14.1.1. Alimentación en paralelo

Se usa normalmente en los evaporadores de cristalización. Este modo de operación permite mejor control de la operación de cristalización y evita la necesidad de bombear mezclas densas entre diferentes efectos.

El líquido de alimentación va hacia delante en la misma dirección que los evaporadores, es decir, del primer efecto al segundo, de este al tercero, etc. Solo se requiere una bomba de extracción y el efecto final opera a baja presión.

En este sistema de alimentación la viscosidad del líquido que se procesa aumenta durante su paso a través de la planta debido tanto al aumento progresivo de concentración, como la reducción progresiva de la temperatura de un efecto a otro.

El coeficiente global de transferencia de calor es por lo tanto bajo en los últimos efectos. Es menor el riesgo de que el líquido más viscoso sea dañado por el calor debido a la menor temperatura de los últimos efectos.

En la calandria del primer efecto se condensa vapor de agua de alta calidad. Si inicialmente el líquido de alimentación tiene una temperatura inferior a su punto de ebullición, parte del calor transferido es utilizado en el precalentamiento del líquido de alimentación.

2.14.1.2. Alimentación en contracorriente

En este sistema de alimentación es preciso intercalar bombas entre los diferentes efectos.

El líquido de alimentación más frío y diluido se calienta con el vapor más agotado, fluyendo líquido y vapor a contracorriente. Con este sistema se consigue cierta economía de vapor.

El aumento de la viscosidad por concentración se compensa por las mayores temperaturas que va adquiriendo el líquido, ya que el líquido creciente viscoso encuentra superficies cada vez más calientes al pasar de un efecto al siguiente.

2.14.2. Precalentamiento del alimento

Un segundo método empleado en la conservación del calor consiste en usar el vapor caliente de un evaporador de efecto único para precalentar el líquido de alimentación frío. Puesto que la temperatura del vapor es baja, el área de la superficie de calentamiento debe ser grande.

2.14.3. Recompresión del vapor

Este método el vapor de un evaporador se comprime y retorna a la calandria. Al aumentar la presión aumenta la temperatura de condensación del vapor.

Existen dos métodos de recompresión:

- La recompresión mecánica del vapor utilizando una bomba mecánica.
- La recompresión térmica del vapor empleando un compresor de chorro de vapor.

2.15. Funcionamiento del evaporador con serpentín

En la operación de un solo efecto, la alimentación es ingresada y se acondiciona en el evaporador, el vapor de agua pasa a través de los tubos de forma que, la alimentación se pone en contacto con la superficie caliente del serpentín y se produce una parte de la evaporación total.

Las principales características de funcionamiento de un evaporador con serpentín interno calentado con vapor de agua dependen de la capacidad del mismo y de la economía. La capacidad se define en número de kilogramos de agua vaporizada por hora. La economía es el número de kilogramos vaporizados por kilogramo de vapor calentado que entra a la unidad.

2.16. Operación de agitación

La agitación de líquidos o de sólidos en líquidos se efectúa con el objeto de lograr una distribución uniforme de los componentes entre sí por medio del flujo.

El flujo es producido por medios mecánicos, generalmente cuando se mezclan líquidos miscibles o sólidos en líquidos se puede lograr un mezclado íntimo, pero con líquidos inmiscibles y materiales muy viscosos o pastosos el grado de agitación logrado es menor.

La eficiencia del proceso de agitación depende de una efectiva utilización de la energía que se emplea para generar el flujo de componentes.

“Para lograr proporcionar un suministro de energía adecuado hay que considerar las propiedades físicas de los componentes, el diseño del agitador que transmite la energía y la configuración del tanque de mezclado”¹².

Los materiales a ser mezclados pueden ser líquidos de muy baja viscosidad hasta pastas altamente viscosas. Esencialmente existen dos tipos de sistemas de agitación:

- Sistema estacionario conteniendo un sistema de impulsión montado en un eje que rota. Para mezclar líquidos de alta consistencia como líquidos viscosos moderados, pastas, grasas, etc., se emplean impulsores tipo agitador de ancla, de paletas contrarrotatorias o de compuerta.
- Sistema móvil con impulsor móvil o estacionario, generalmente utilizado para materiales altamente consistentes como masa o plásticos fundidos.

Generalmente el equipo consiste en un recipiente cilíndrico (cerrado o abierto) y un agitador mecánico, montado en un eje y accionado por un motor eléctrico. Las proporciones del tanque varían ampliamente, dependiendo de la naturaleza del problema de agitación.

El fondo del tanque debe ser redondeado, con el fin de eliminar los bordes rectos o regiones en las cuales no penetrarían las corrientes del fluido, es conocido como zona muerta.

¹² ALVARADO J. *Métodos para medir propiedades físicas en Industrias de Alimentos*. p. 245

Sobre un eje suspendido desde la parte superior va montado un agitador. El eje está accionado por un motor, conectado a veces, directamente al mismo, pero con mayor frecuencia a través de una caja de engranajes reductores. El agitador crea un cierto tipo de flujo dentro del sistema, dando lugar a que el líquido circule por todo el recipiente y vuelva al agitador.

2.16.1. Agitadores para tanques abiertos o cerrados de montaje fijo

Los hay acoplados en forma directa, estos están diseñados para aplicaciones con volumen pequeño, baja viscosidad o aplicaciones en que se requiere trituración del producto. Los agitadores de acoplado de engranaje (caja reductora), son eficientemente usados en productos con más alta viscosidad o aplicaciones con un volumen más elevado.

Estos agitadores varían desde 1/3 a 5 caballos de fuerza (HP) y hay disponibles con diferentes velocidades y con una variedad de hélices. Estos agitadores son disponibles ya sea con motor eléctrico o motores de aire, así como también pueden ser equipados con variador de velocidades.

2.16.2. Potencia en los sistemas de agitación

“La potencia introducida a un sistema de agitación de líquidos por medio de un agitador se determina por su velocidad de rotación, la configuración del mezclador y las propiedades físicas de la mezcla”¹³.

¹³ GEANKOPLIS, C.J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. p. 164

Un factor importante en el diseño del sistema de agitación es la potencia necesaria para mover el impulsor. Puesto que la potencia requerida para un sistema dado no puede predecirse teóricamente, se tienen correlaciones empíricas para estimar los requerimientos de potencia. La presencia o ausencia de turbulencia puede correlacionarse con el número de Reynolds del impulsor.

Por medio de un análisis se pueden relacionar estos parámetros a la potencia requerida. Si las dimensiones lineales tales como la profundidad del líquido en el tanque, el diámetro del tanque, el número, dimensiones y posición de los deflectores se encuentran en una relación geométrica con el diámetro del impulsor, entonces el suministro de potencia al agitador puede expresarse a través de la siguiente ecuación:

$$N_{Re} = \left(\frac{D^2 N \ell}{\mu} \right) \quad \text{Ecuación 2, Ref. 11}$$

Donde:

D_i = diámetro del impulsor agitador (m)

N = velocidad de rotación (rps)

ℓ = densidad del fluido (Kg/m^3)

μ = viscosidad del fluido ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)

El N_{Re} representa la relación de la fuerza aplicada a las fuerzas viscosas de resistencia.

2.16.3. Tipos de agitadores

Los agitadores son unidades de proceso que están destinados para garantizar la homogeneidad del alimento. Existen diferentes tipos de acuerdo al medio, la configuración de la unidad de trabajo y el efecto deseado.

2.16.3.1. Agitador de hélice

Es el más común que consiste en una o más hélices fijadas a un eje giratorio que crea corrientes en el líquido. Un agitador de hélice, es un agitador de flujo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos pocos viscosos.

Los agitadores de hélice más pequeños, giran a toda la velocidad del motor, unas 1 150 o 1 750 rpm; los mayores giran de 400 a 800 rpm.

Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de líquido de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al líquido estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria.

Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el líquido. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño. Para tanques extraordinariamente grandes, del orden de 1 500 m³ se han utilizado agitadores múltiples, con entradas laterales al tanque.

2.16.3.2. Agitadores de turbina

Compuesto por un componente impulsor con más de cuatro hojas montadas sobre el mismo elemento y fijas a un eje rotatorio. Son más pequeños que las palas y giran a velocidades de 30 a 500 rpm. El eje debe estar colocado en el centro del tanque. Producen corrientes radiales y rotatorias.

La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales.

El rodete puede ser abierto, semicerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50 % del diámetro del tanque. Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en líquidos poco viscosos, producen corrientes intensas, que se extienden por todo el tanque y destruyen las masas de líquido estancado.

En las proximidades del rodete existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Las componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor con el fin de que el rodete sea más eficaz.

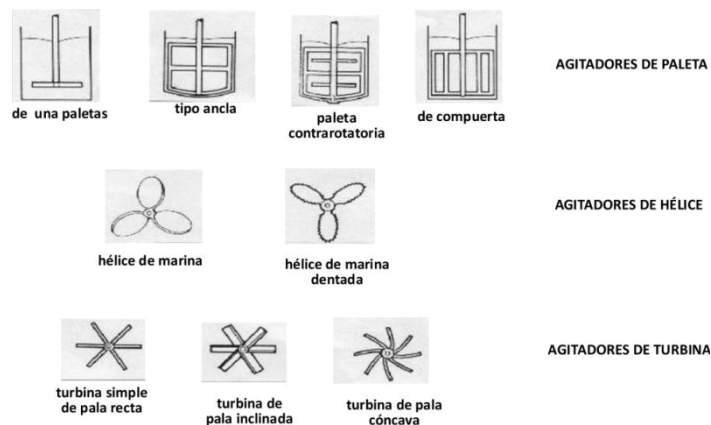
2.16.3.3. Agitadores de palas

Son los agitadores formados por una o varias paletas. Las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente, sin que exista movimiento vertical respecto del agitador a menos que las paletas estén inclinadas.

Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia abajo. Las paletas también pueden adaptarse a la forma del fondo del tanque, de tal manera que en su movimiento rascan la superficie o pasan sobre ella con una holgura muy pequeña.

Consisten en una hoja plana sujeta a un eje rotatorio, normalmente el eje está montado en el centro del tanque y gira a velocidades de 20 a 150 rpm. Las corrientes que se producen son giratorias.

Figura 14. Tipos de agitadores



Fuente:

<http://cbi.izt.uam.mx/iq/Laboratorio%20de%20Operaciones%20Unitarias/Practicas%20Laboratorios/PRACTICA1.pdf> Consulta: junio de 2013.

Para el diseño del agitador de la marmita se considero el agitador tipo ancla, que consiste en una paleta de manera que se adapta prácticamente al recipiente lo cual da la apariencia de herradura o ancla.

Su característica principal es que trabajan a muy poca velocidad cuando se requiere un bajo nivel de turbulencia en un fluido viscoso.

Son eficaces para fluidos pseudoplásticos y en general, de alta viscosidad, en los que es necesario tener concentrada la capacidad de mezcla cerca de la pared, consiguiéndose un campo de flujo más efectivo.

2.17. Mantenimiento del equipo

Es de fundamental importancia el mantenimiento del equipo para que este funcione adecuadamente a su propósito, después de cada operación este debe ser limpiado y acondicionado adecuadamente para una nueva operación, la limpieza debe de cumplir con las normas de calidad para la elaboración adecuada de alimentos para evitar la contaminación de los productos posteriores a cada operación.

Es necesario por el diseño del equipo la limpieza con agua a presión y vapor a presión para esterilizarlo, esta es una de las forma más flexible en la que restos del alimento pueden ser removidos, aquellos vestigios grasosos, melosos y viscosos pueden ser removidos manualmente previo al lavado con vapor a presión.

Es importante que se revisen todas las piezas cada cierto período de tiempo para evitar daños en el equipo como lo son mangueras, acoples, medidores, tuberías, trampas de vapor, parte mecánica y parte eléctrica.

El tiempo de vida del equipo está determinado al uso que se le dé y al cuidado que se le proporcione.

2.18. Tipos de alimentos que se pueden elaborar a partir de la evaporación utilizando la marmita

Los diferentes tipos de alimentos que pueden ser elaborados en la marmita, toma en cuenta los parámetros importantes como: viscosidad, temperatura de ebullición y sensibilidad térmica, con el fin de obtener una concentración deseada en el producto final.

2.18.1. Salsas saladas

Las salsas son mezclas de hortalizas comestibles con especias que se utilizan para condimentar o aderezar las comidas. Se obtienen a partir del proceso de evaporación o remoción de agua. Con la reducción, al evaporar el líquido el resultado es un sabor concentrado, tipo esencia.

Por evaporación no solo se concentran sabores, el cuerpo de la salsa es también modificado llegando a un mejor sabor. Se pueden agregar nuevos sabores con vinos blancos, tintos o alcoholes, tales como coñac, brandy, tequila, etc. En una preparación clásica como de salsa, primeramente se reduce los vinos o los alcoholes con los demás condimentos como la pimienta y las hierbas a un cuarto del volumen original. Mientras que se reduce esta mezcla los sabores de todos los ingredientes se concentran, dando su particular su gusto distintivo.

La salsa es terminada agregando un enlace, una crema o una mantequilla que es un agente para dar cuerpo y al mismo tiempo proporciona riqueza a la salsa final. Esto se hace por infusión proporcionado por medio de expansión de aromas o sabores gracias a la elevación de la temperatura.

El abanico de las salsas existentes es muy amplio, así como el número de ingredientes que las componen. Estos ingredientes, junto con el proceso de fabricación, son los responsables de las diferentes texturas y sabores.

Figura 15. **Salsas**



Fuente: http://gastrosoler.com/pagina_nueva_108.htm Consulta: enero de 2013.

Existen en el mercado variedad de salsas y pastas que se presentan en frascos o latas, diferenciándose por su condimentación y espesor (grado de concentración).

2.18.1.1. Elaboración de salsa de tomate

Para la utilización del equipo se toma el ejemplo del proceso de elaboración de salsa de tomate que es un producto que se obtiene por evaporación parcial del agua contenida en la pulpa de tomate y adición de sal, especias y vinagre. La salsa guarda las propiedades organolépticas del tomate, y en el proceso se puede agregar azúcar para dar un sabor dulce y espesantes para lograr mayor consistencia.

Se cuantifican los tomates que entran al proceso para determinar rendimientos. Se seleccionan tomates maduros, completamente rojos, con la pulpa firme. Los tomates deben ser bien lavados eliminando suciedad, resto de pesticidas y microorganismos superficiales. Los tomates se escaldan sumergiéndolos en agua y se calientan a 90 - 95 °C durante 5 minutos, con el propósito de destruir responsables de las pérdidas de color, reducir contenido de microorganismos presentes y ablandar el tomate para facilitar la extracción de la pulpa. Se extrae la pulpa con un despulpador o con una licuadora luego debe colarse para eliminar semillas y cascaras.

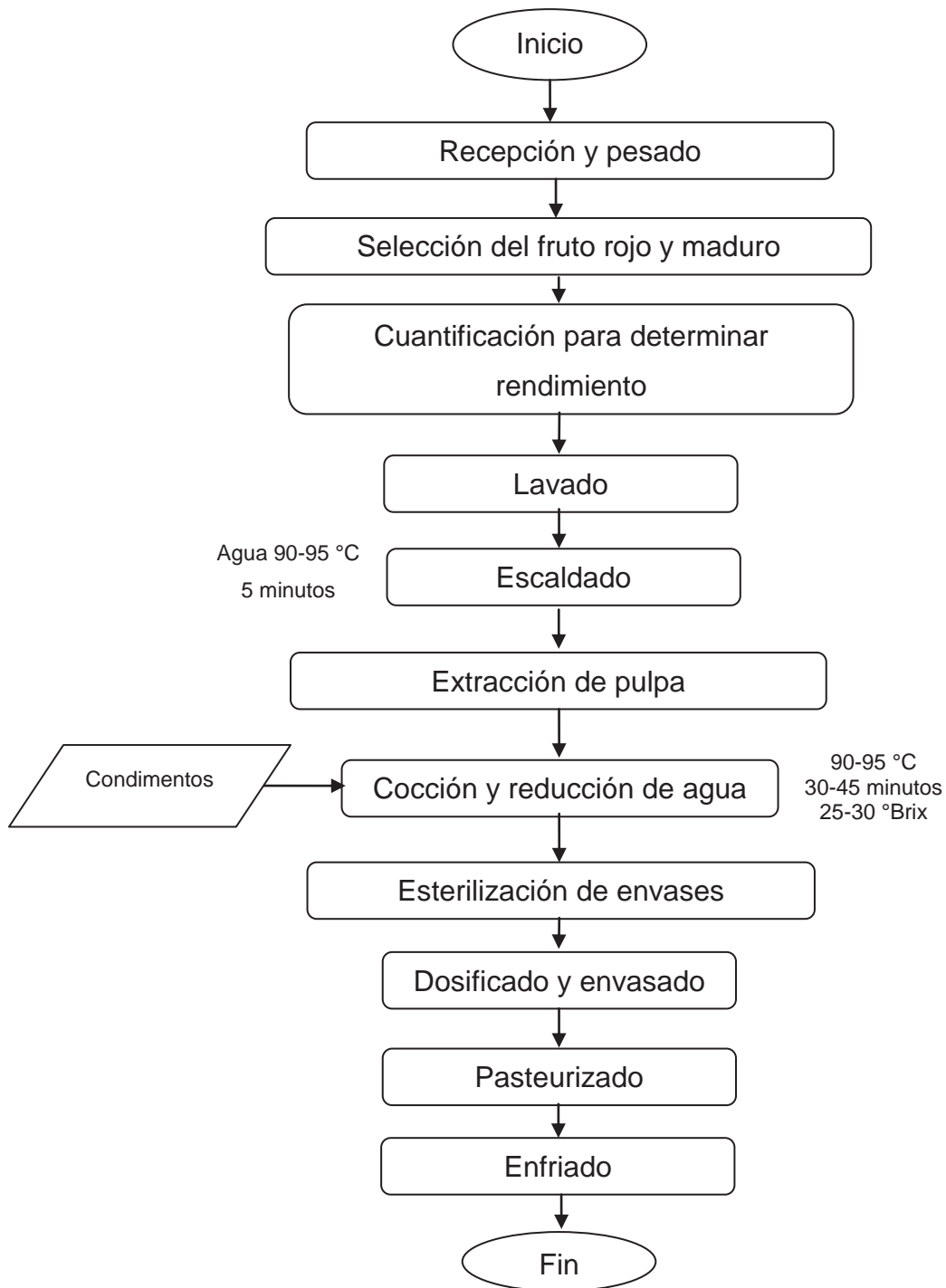
La pulpa se cocina en una marmita por un tiempo de 30 a 45 minutos, a una temperatura de 90-95 °C, agitando suave y constantemente. El tiempo de cocción estará determinado por la concentración final que se desee, por lo general oscila entre 25 y 30 °Brix. En esta parte se agrega sal en una proporción del 2 %, con relación al peso de la pulpa, es decir, a 100 Kg. de pasta elaborada, se deben de agregar 2 Kg. de sal. También pueden agregarse condimentos tales como: ajo, orégano y albahaca.

La escala Brix se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en los alimentos. Los grados Brix miden la cantidad de sólidos solubles presentes en un jugo o pulpa expresados en porcentaje de sacarosa. Los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua presentes en los jugos de las células de una fruta. Se determinan empleando un refractómetro calibrado.

El envasado se hace en frascos o botellas de vidrio que han sido previamente esterilizados. La salsa se vierte a una temperatura mínima de 85 °C, y para evitar que queden burbujas de aire los envases se golpean suavemente en el fondo a medida que se van llenando.

Dejar un espacio sin llenar equivalente al 10 % del volumen del envase. Se pasteurizan los envases para eliminar los microorganismos que pudieran haber sobrevivido a las temperaturas del proceso y así garantizar la vida útil del producto. El pasteurizado se hace calentando los envases a 95 °C por 10 minutos. Al finalizar el tratamiento se termina de cerrar las tapas y se enfrían a temperatura ambiente.

Figura 16. Diagrama de flujo de la preparación de salsa de tomate



Fuente: elaboración propia.

2.18.2. Mermeladas y jaleas

Las mermeladas son un tipo de conserva de consistencia untable elaboradas por cocción de frutas u hortalizas con distintos azúcares. El producto se presenta como una mezcla ínfima de componentes de frutas enteras o en trozos. La proporción de fruta y azúcar depende del tipo de mermelada y de la maduración del fruto.

La proporción de frutas y hortalizas no debe ser inferior a 40 % del producto terminado, excepto para frutas cítricas, en que se admite el 35 %. Cuando la naturaleza de la materia prima lo exija (higos, frutillas, frambuesas y semejantes), se admitirá la presencia de piel y/o semillas en la proporción en que naturalmente se encuentren en la fruta fresca.

El producto terminado debe contener una cantidad de sólidos solubles no menor al 65 %.

Cuando la mezcla alcanza valores superiores a los 100 °C el ácido y la pectina de las frutas reaccionan con el azúcar (45-50 °Brix), se elimina la cantidad excesiva de agua en la mezcla y se concentra haciendo que cuando se enfríe quede sólida.

La jalea es la confitura elaborada por concentración del jugo filtrado de frutas o de extractos acuosos filtrados de frutas u hortalizas, con distintos azúcares (65 °Brix). El producto tiene una consistencia semisólida; gelatinosa firme y limpia al corte. Debe presentar un aspecto límpido, sin partículas observables a simple vista y contener una cantidad de sólidos solubles no menor de 65 %. Las jaleas de frutas cítricas pueden contener finos trozos longitudinales de la cáscara sana y limpia de la fruta correspondiente.

Figura 17. **Mermeladas, jaleas y salsas dulces**



Fuente: <http://ml1423.ve.ofertopia.com/a/Curso-Elaboracion-De-Mermeladas-h5i76.html>.

Consulta: enero de 2013.

2.18.2.1. Elaboración de mermelada de fresa

Para la utilización del equipo se toma como ejemplo la elaboración de mermelada de fresa en el cual consiste en una rápida concentración de la fruta mezclada con azúcar hasta llegar al contenido de azúcares de 65-68 %, que corresponde a un contenido en sólidos solubles de 65-68 °Brix.

Durante la concentración se evapora el agua contenida en la fruta, los tejidos se ablandan y la fruta absorbe los azúcares soltando pectina y ácidos. El grado de la pectina es la cantidad de azúcar que puede coagular en condiciones optimas, es decir, a un a condición de azúcares al 60 % y a un pH de 3 - 3,4 proporciona una consistencia gelatinosa y firme. En muchas ocasiones la cantidad de pectina a añadir, varía en función de la cantidad de la pectina natural que contiene la fruta en forma natural. En el caso de las fresas la cantidad de pectina a agregar no debe sobre pasar el 1 % en peso.

Figura 18. **Cantidad de pectina a agregar en la elaboración de mermeladas**

FRUTA	PECTINA (%)	% Máx. de conservador	PH
Fresa	1	0.1	3.3
Nispero	-	0.1	3.6
Papaya	0.5	0.1	3.8
Mango	0.45	0.1	3.8
Piña	0.5	0.1	3.5
Naranja (jugo)	1.2	0.1	3.1
Melocotón	0.5	0.1	3.7
Manzana	0-0.25	0.1	3.3
Membillo	-	0.1	3.3
Tomate de árbol	-	0.1	3.3

Fuente: UNAM. Manual de elaboración de mermeladas.

<http://cordon.celsysperu.com/mermelada/doc/elaboracion-mermeladas-14978.pdf>

Consulta: junio de 2013.

Para la conservación de los alimentos como las mermeladas y jaleas se utiliza el ácido benzoico, benzoato de sodio, sorbato de potasio entre otros. Son efectivos contra levaduras y mohos en concentraciones de entre 0.1 – 0.2 %.

Para la elaboración de mermelada de fresa se utiliza en peso pulpa de fresas 50 %, azúcar 48,88 %, ácido cítrico 0.1 %, pectina 1 % y sorbato de sodio 0.02 %.

Se seleccionan las fresas según tamaño y color, se descartan las frutas con daños físicos. Debe utilizarse fruta fresca con el grado justo de maduración o una mezcla de fruta madura con no madura. Se lavan para eliminar restos de pesticidas y partículas extrañas adheridas a la fruta.

Luego procede al blanqueado térmico a 85 - 90 °C durante 3 - 5 minutos con el propósito de destruir las enzimas responsables de las pérdidas de color y cambio de sabor, reducir contenido de microorganismos presentes y ablandar el fruto.

Una parte de las fresas se cortan en pequeños trozos y otra parte se licua, luego se lleva a cocción para la concentración y la reducción de agua con un inicio del 10 % del azúcar y el ácido cítrico durante 20 min hasta que se disuelva el contenido de azúcar.

Se agrega el resto del azúcar y se deja hervir por 40 min a una temperatura 100 °C en constante agitación hasta alcanzar los 65 - 68 °Brix.

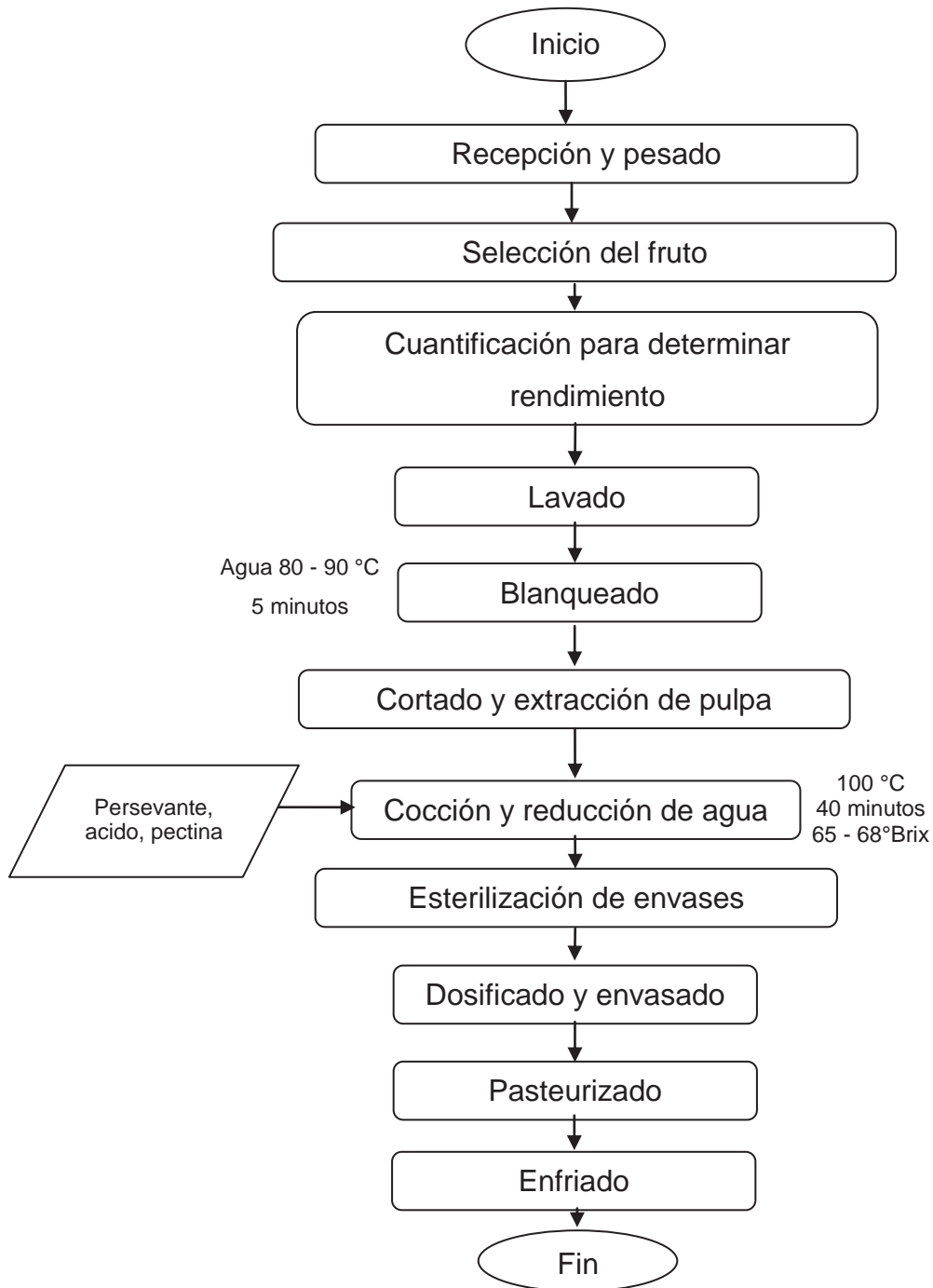
La pulpa de la fresa debe ser reblandecida a temperatura media con suavidad hasta su total reblandecimiento, no debe añadirse el azúcar hasta que la fruta se vea blanda y deshecha. Una vez añadida el azúcar y disuelta debe hervir con rapidez hasta alcanzar el punto de gelificación.

La ebullición muy prolongada con azúcar oscurece el color y daña el sabor. Una cocción escasa puede hacer que la mermelada sea muy suelta y líquida. Esto puede ser también por escasa cantidad de pectina o de ácido. Una mermelada poco hervida puede provocar fermentación al ser almacenada.

Se puede retirar la espuma formada para evitar burbujas en la formación del gel de la mermelada.

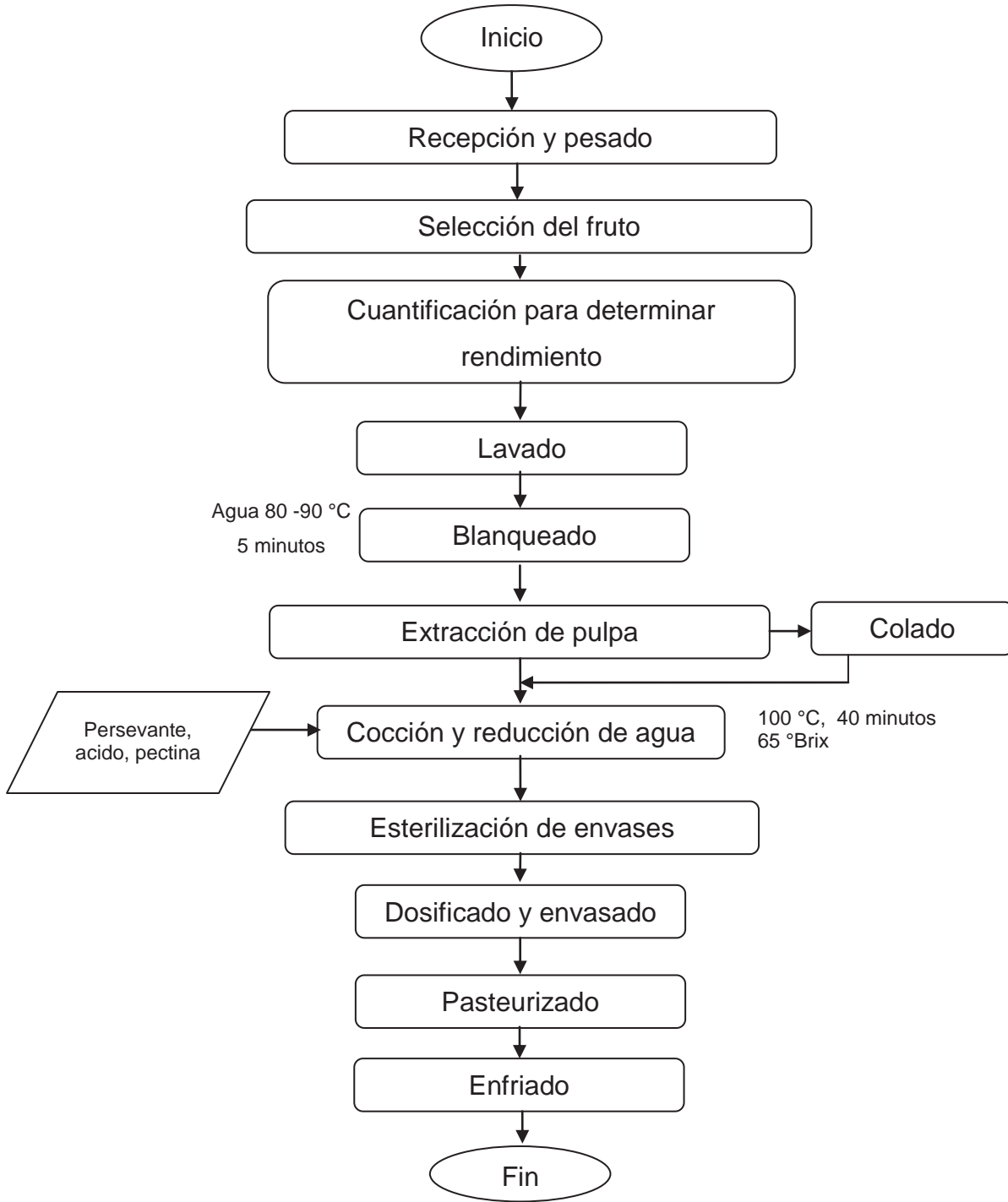
El envasado no debe realizarse a menos de 85 °C, en envases previamente esterilizados, dejando sin llenar el 10 % del envase y se sellan de manera hermética, posteriormente se deja enfriar a temperatura ambiente.

Figura 19. Diagrama de flujo de la elaboración de mermelada de fresa



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diagrama de flujo de la elaboración de jalea de fresa



Fuente: elaboración propia.

2.18.3. Yogurt

El yogurt es un producto lácteo obtenido mediante la fermentación bacteriana de la leche.

En la preparación de este tipo de alimento la marmita es utilizada para:

- La concentración de la leche en donde se evapora parte del agua, entre 10 y 20 %, a una temperatura promedio de 70 °C. Un método más sencillo y económico para concentrar la leche, es la adición de leche descremada en polvo a la leche fresca. Esta adición se hace gradualmente y con agitación constante, luego la leche es precalentada hasta 70 °C, que luego pasa al proceso de homogenizado. La adición de leche en polvo varía entre 1 y 5 %, sobre el peso de leche fresca utilizada.
- La pasteurización de la misma, llevándolo a temperaturas por debajo de su punto de ebullición, suficientemente alta para la destrucción de microorganismos patógenos y reducir la carga total microbiana.

Se agrega azúcar y es llevada a bajas temperaturas para la incubación en donde se inoculan los microorganismos especiales para la fermentación que da como resultado final el yogurt.

El cultivo o fermento para yogurt, está constituido por la combinación de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*, en la relación 1:1.

La fermentación de la lactosa, el azúcar de la leche, en ácido láctico es lo que da al yogurt su textura y sabor tan distintivo. A menudo se le añade fruta, vainilla, chocolate y otros saborizantes.

Para que el yogurt adquiera su típica consistencia no solo es importante que tenga lugar la coagulación ácida, sino que también se ha de producir la desnaturalización de las proteínas del suero, en especial de la β -lacto globulina. Esta proteína se produce a temperaturas aproximadas a 75 °C, consiguiéndose los mejores resultados de consistencia (en las leches fermentadas) a una temperatura cercana a los 80 - 85 °C.

El tratamiento térmico óptimo consiste en calentar a 70 - 75 °C en intercambiadores de calor y mantener esta temperatura durante 15 minutos, en marmitas generalmente se utilizan temperaturas alrededor de los 80 - 85 °C por 15 minutos o a 63 - 65 °C durante 30 minutos, enfriándola después mediante baño de agua fría.

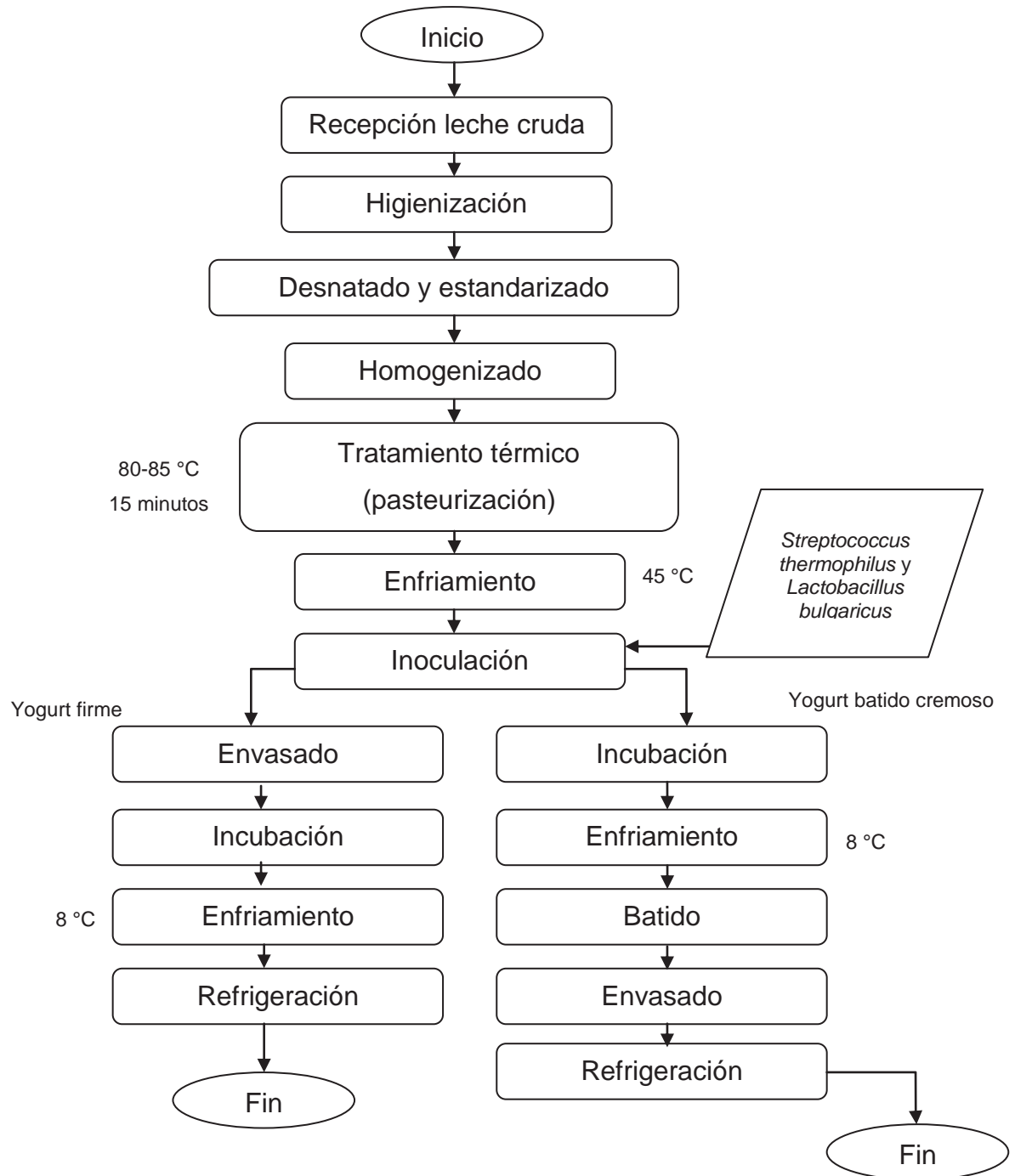
Esta combinación temperatura/tiempo también se emplea en la preparación del cultivo y es muy habitual en los procedimientos.

Figura 21. **Yogurt**



Fuente: <http://canditu.files.wordpress.com/2008/11/yogurt.html> Consulta: enero de 2013.

Figura 22. Diagrama de flujo para la elaboración de yogurt



Fuente: [http://3.bp.blogspot.com/-](http://3.bp.blogspot.com/-xN6hsLbmcTM/TuQevIE0rdI/AAAAAAAAAUc/Pu87QBv1kzU/s1600/yogurt.png)

[xN6hsLbmcTM/TuQevIE0rdI/AAAAAAAAAUc/Pu87QBv1kzU/s1600/yogurt.png](http://3.bp.blogspot.com/-xN6hsLbmcTM/TuQevIE0rdI/AAAAAAAAAUc/Pu87QBv1kzU/s1600/yogurt.png) Consulta: junio de 2013.

2.18.4. Manjares

Los manjares son productos lácteos obtenidos por concentración mediante el sometimiento de calor a presión normal con azúcares y otros aditivos permitidos.

El proceso de elaboración del dulce de leche o manjar y el principio de su conservación, se basan en la concentración de sólidos, especialmente azúcares, por evaporación del agua contenida en la leche, lo que impide el ataque de microorganismos.

El proceso de la concentración se lleva a cabo en evaporadores en donde se llevan a punto de ebullición por un tiempo determinado para evitar el daño de las proteínas, es muy importante el sistema de agitación para evitar que se pegue en el equipo y se formen cristales que hacen que tenga una textura arenosa.

Figura 23. **Manjares**



Fuente:

http://1.bp.blogspot.com/_iLHy10kTw2Y/TGv7SGvnBil/AAAAAAAAADM/OrzyDOwGC3I/s400/arquivo2%5B1%5D.html Consulta: enero de 2013.

2.18.4.1. Elaboración de manjar de leche de vaca

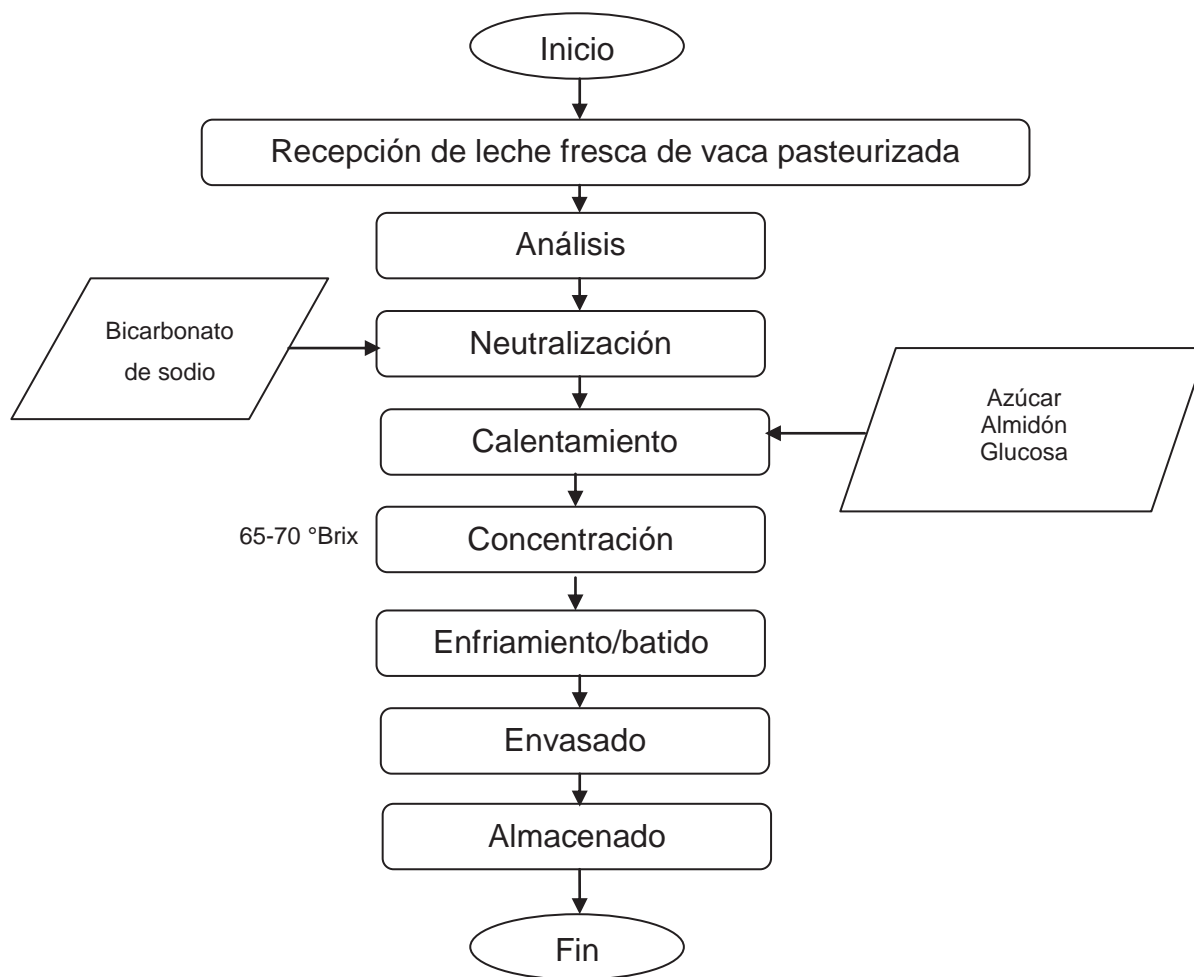
La leche de vaca de buena calidad debe ser cuantificada para conocer cuánto entrará al proceso. Seguidamente se filtra para eliminar cuerpos extraños. Se realizan pruebas de acidez, porcentajes en grasa, antibióticos y sensoriales.

Al realizar estos análisis y se comprueba la calidad de la leche se procede al calentamiento donde la leche es sometida a 50 °C por 30 minutos, tiempo en el cual se agrega bicarbonato de sodio para neutralizar la acidez natural de la propia leche, el azúcar que aporta los sólidos solubles que ayudan a concentrar el producto, el almidón que mejora la consistencia reduciendo el tamaño de cristales formados y la glucosa que mejora la viscosidad y previene la cristalización.

Se prosigue con el proceso de concentración donde la mezcla es calentada hasta los 65 - 70 °Brix medidos con un refractómetro y en agitación constante, incorporando el aire que determina el color final del producto.

Envasar a una temperatura no menor de 70 °C para evitar el endurecimiento del producto en el equipo.

Figura 24. Diagrama de flujo de la elaboración de manjar de leche de vaca



Fuente:

http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/ae620s/pprocesados/lact1.htm

Consulta: junio de 2013.

2.18.5. Jugos concentrados

Los jugos concentrados son producto de la remoción parcial de agua contenida en los zumos de las frutas para la conservación de la misma. Existen distintos tipos de jugos concentrados de frutas en los que se destacan con: pulpa, clarificados o turbios.

Se pueden elaborar jugos, pulpas y concentrados de cualquier fruta. En los concentrados los jugos se someten al proceso de remoción de agua presente, hasta alcanzar un nivel de sólidos deseados. Los parámetros típicos de calidad para algunos productos se presentan a continuación:

Figura 25. Rangos típicos de calidad en jugos

PRODUCTO	TIPO [®]	RANGOS TÍPICOS OBSERVADOS		RAZÓN	HONGOS Y LEVADURAS (ufc/ml)
		°Brix	% acidez*		
Guanábana	P	10,1-14,5	0,65-0,70	15,5-20,8	10 ² -10 ⁴
Guayaba	P	6,8-8,3	0,30-0,47	12,5-22,7	10 ² -10 ⁴
Mango	P	6,8	0,30	22,7	10 ²
Naranja	C	63,2-65,2	4,44-7,98	8,2-14,4	10 ² -10 ⁴
Parchita	J	13,0-15,6	3,05-4,55	3,1-4,7	10 ⁴ -10 ⁵
Piña	C	58,0-59,5	2,85-3,89	15,3-20,5	10 ²
Tamarindo	P	17,6	2,32	6,1-7,5	10 ⁴
Tomate	C	24,0-30,0	1,08-2,74	10,6-19,7	10 ² -10 ⁴
Toronja	C	57,6-59,0	7,65-9,86	6,3-7,7	10 ² -10 ⁴

®: C: concentrado J: jugo P: pulpa
* expresada como g ácido cítrico/100 g.

Fuente: BARREIRO, José A. Operaciones de conservación de alimentos. p. 112

Los procedimientos para la elaboración de concentrados de jugos incluyen procesos preliminares de selección, clasificación y lavado; seguido de una etapa de extracción de jugo o pulpa de la fruta.

Los procesos de extracción dependen del tipo de fruta, el producto es molido y el jugo es extraído generalmente en prensas de tornillo y posteriormente centrifugados para remoción de sólidos.

La extracción de jugos cítricos sigue un proceso diferente, generalmente se exprimen introduciendo un tubo en su interior con orificios por donde fluye el jugo al aplicarse presión externa sin remover la cutícula o son exprimidos mecánicamente.

Existen diversos métodos de concentración de jugo de fruta, entre los cuales el más utilizado es la evaporación al vacío en evaporadores de doble o triple efecto. La temperatura de concentración suele oscilar entre 50 - 70 °C, con presiones de vacío correspondiente a dicha temperatura.

Para la elaboración a escala en una planta piloto se pueden utilizar evaporadores simples conocidos como marmitas abiertas, debido a que están dispuestos a presión atmosférica, inducen una pérdida de sustancias volátiles responsables del aroma y sabor del producto, en el caso de los concentrados de cítricos, usualmente se mezcla el jugo concentrado con una fracción de jugo fresco sin concentrar. La intensidad del sabor suele compensarse con aceites esenciales provenientes de la epidermis de las frutas en un porcentaje aproximado de 0,014 % en volumen.

2.18.5.1. **Elaboración de jugo concentrado de berries**

El procedimiento empieza con la molienda de los frutos para la extracción fácil de los jugos, luego son macerados y pasados por un tratamiento enzimático a 50 °C por dos horas para la destrucción enlaces proteínicos, con el objetivo de facilitar el prensado y la extracción al máximo de coloración.

El siguiente paso es el prensado, etapa en la cual es extraído el jugo de la pulpa utilizando presas mecánicas o neumáticas. Posteriormente son pasados por un nuevo tratamiento térmico para la eliminación de cargas microbianas a una temperatura de 85 °C por 5 minutos y luego enfriado a 50 °C.

Dependiendo del tipo de jugo concentrado es pasado por distintos filtros hasta la obtención de la turbidez deseada. Luego es concentrado para la remoción parcial del agua contenida en el jugo hasta alcanzar una concentración de sólidos deseados aproximadamente 65 °Brix.

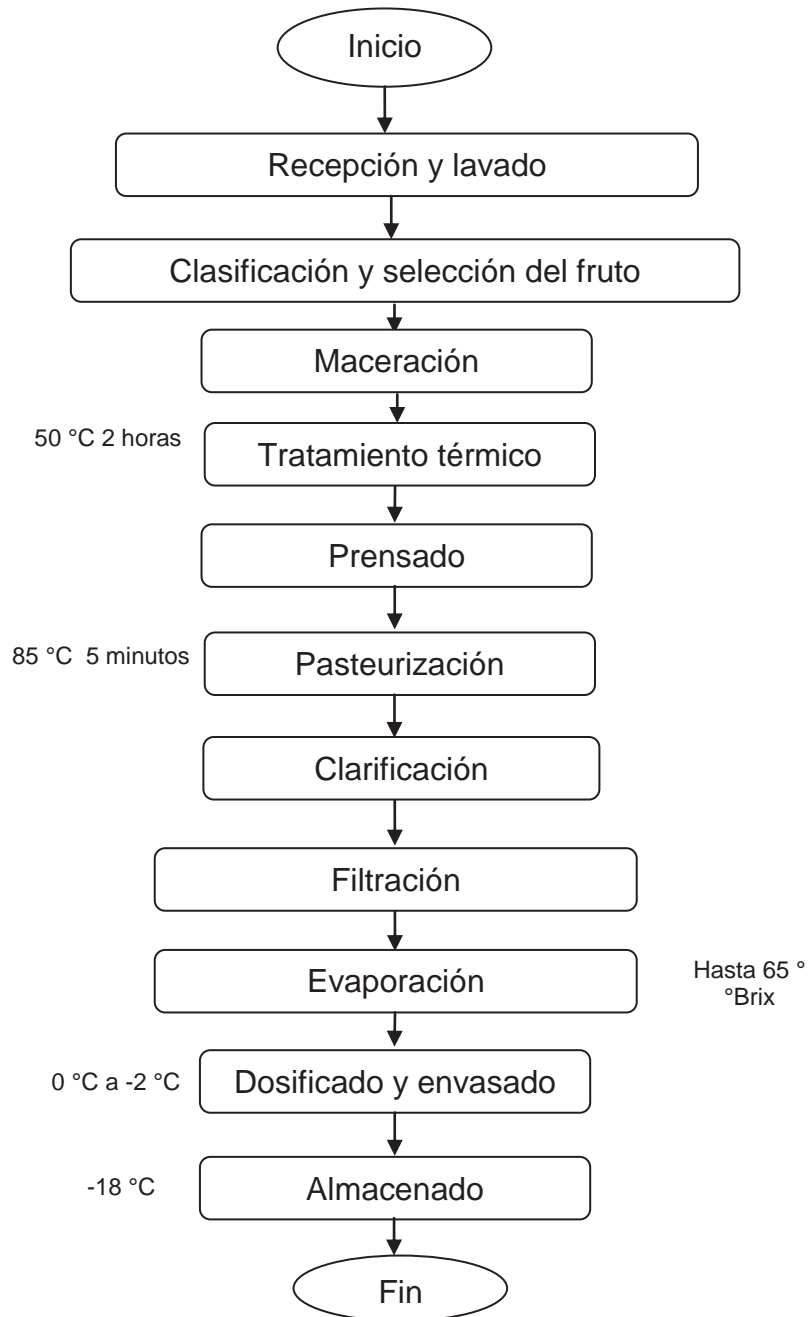
El concentrado es envasado entre 0 °C y -2 °C y almacenados a una temperatura -18°C.

Figura 26. **Jugos concentrados**



Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/-Z2yw-KlpSEM/UafhF-xkzil/AAAAAAAAEdM/PRuzbcdk08E/s1600/jugos-fruta.jpg> Consulta: junio de 2013.

Figura 27. Diagrama de flujo para la elaboración de jugo concentrado de *berries*



Fuente: http://www.ulavirtual.cl/courses/VEG5/document/V_JUGOS.ppt Consulta: junio de 2013.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Las variables en la investigación representan un concepto de vital importancia dentro del proyecto. Las variables, son los conceptos que forman enunciados del proceso y del diseño del equipo.

Tabla I. **Variables independientes**

De proceso	De diseño de equipo
Presión de vapor	Diámetro de la marmita
Temperatura de ebullición del alimento	Diámetro del serpentín
Volumen de alimentación	Materiales de construcción
Flujo másico de alimentación	Espesor del material

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Variables dependientes**

De proceso	De diseño de equipo
Eficiencia del proceso	Tipo de agitador
Viscosidad	Potencia del motor
Tiempo de retención en la marmita	Área de transferencia de calor
Calor latente de vaporización	Altura marmita
Volumen de la marmita	Altura serpentín
Calidad de agua para el vapor	Altura del soporte
	Longitud del soporte
	Costos del material

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El propósito principal del diseño del evaporador tipo marmita con serpentín interno y agitador, es complementar los estudios teóricos de evaporación en los alimentos para prácticas de laboratorio de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, equipo propuesto para ser ubicado dentro de las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería, con una mira a futuro para la creación de la línea de producción de alimentos a nivel planta piloto, así como la gestión de residuos.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador: Brenda Lucia Padilla Velásquez

Asesor académico: Ing. Qco. MSc Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

Se contará con el apoyo de las siguientes personas:

- DEIQ: Ing. Qco Víctor Manuel Monzón Valdez
- DCII: Inga Qca. Telma Maricela Cano Morales
- CCII: Ing. Qco. Mario José Mérida Meré
- Ing. Qco. Jorge Mario Estrada

3.4. Recursos materiales disponibles

Área delimitada disponible de 1,00 m x 1,50 m para la implementación del equipo de evaporación de alimentos tipo marmita, en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Software utilizados: AutoCAD 2011 y Google Sketch Up 8, para planos de diseño e imagen en 3D.

3.5. Técnica cualitativa

La investigación realizada está enfocada en el diseño de un evaporador tipo marmita para prácticas estudiantiles, obtención de planos especificando su dimensionamiento y materiales.

Para la obtención de los planos se tomó en cuenta las dimensiones del espacio para la ubicación del equipo en el laboratorio para implementar a un futuro una línea de producción completa de alimentos.

La investigación que se realizó se fundamentó en la variable cualitativa de la selección de los posibles ensayos de muestreo, análisis, control, selección y decisión de productos alimenticios aptos para el consumo humano.

Esta estrategia cualitativa permitió conocer los procesos con que se realiza la elaboración de diversos alimentos, los cuales requieren evaporación para solucionar la problemática de falta de equipo y de laboratorios que enriquecen el conocimiento teórico en el área de alimentos.

Se siguió el modelo del Método Científico, ya que se realizaron los pasos de una observación, identificación y planteamiento del problema, una formulación y diseño de la solución; que concierne a este trabajo de graduación y su respectiva interpretación.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para el alcance de los objetivos se utilizó la información adecuada, cuya denominación se reconoció como parte documental. Para esto se usó la dinámica de recolección y ordenamiento de la información.

- Fase 1: investigación teórica del proceso de evaporación en los alimentos

Durante esta etapa se recopiló toda la información proveniente de la literatura que ayudó a la interpretación de los resultados obtenidos en el proceso de investigación. Se compilaron las ecuaciones matemáticas y ecuaciones de diseño que se utilizaron en el desarrollo del modelo.

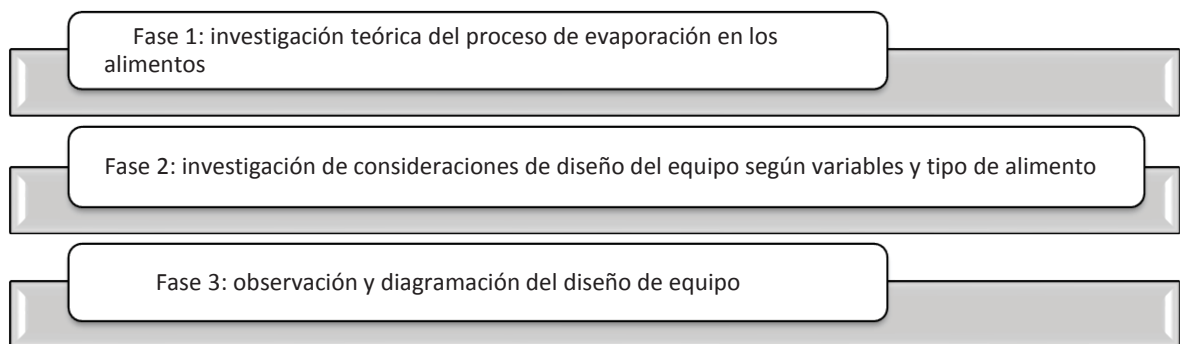
- Fase 2: investigación de consideraciones de diseño del equipo según variables y tipo de alimento

Durante esta fase se hizo una investigación de los diferentes tipos de alimentos que utilizaran el proceso de evaporación, se puso énfasis en las variables de operación, como temperatura, presión, viscosidad, precipitación entre otras. Según criterios de diseño se tomaron en cuenta la factibilidad de los recursos y la disposición de materiales, formas y costos de construcción e instalación.

- Fase 3: observación y diagramación del diseño de equipo

En esta última fase se observó el proceso de evaporación simple efecto tipo *bach* para la implementación del proceso hacia las prácticas de laboratorio, se procedió a la diagramación del proceso según cálculos de diseño realizados.

Figura 28. **Recolección y ordenamiento de la información**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para la recolección de datos se consultó a personal especializado en la construcción de marmitas industriales, de donde se obtuvieron datos de las capacidades mínimas volumétricas del equipo según material de fabricación, se tomaron en cuenta el tipo de alimento y se estimó a partir de ello un volumen adecuado para el equipo a nivel planta piloto.

A través de la consulta se logró la recopilación de información adicional de los materiales adecuados de construcción por las diferentes temperaturas de trabajo, presión y la facilidad de limpieza para evitar la contaminación del producto.

Parte fundamental de información es el costo de materiales convenientes económicos, resistentes y los más utilizados. A partir de ello se determinó por higiene y resistencia, el material conveniente para la construcción de la marmita y sus partes.

De acuerdo a la recolección de datos planteada, la parte metodológica del trabajo de graduación consistió en la clasificación de la información obtenida, evaluando las mejores posibilidades y condiciones de diseño y selección correcta para cumplir con las normas de calidad de un producto alimenticio adecuado para el consumo humano.

4. RESULTADOS

4.1. Diseño de la marmita, intercambiador de calor tipo serpentín, agitador y soporte

Para el diseño del evaporador tipo marmita y sus partes se efectuaron los cálculos de ingeniería, dando como resultado las diferentes variables de dimensionamiento del equipo.

Tabla III. **Variables y dimensiones del cuerpo de la marmita**

Variable	Dimensión
Altura total	0,4908 m
Diámetro	0,5000 m
Espesor	0,0031 m
Capacidad volumétrica nominal	0,0800 m ³
Capacidad volumétrica real	0,0760 m ³
Material	Acero inoxidable AISI 316L

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno, diseño del evaporador tipo marmita.

Tabla IV. **Variables y dimensiones del intercambiador tipo serpentín**

Variable	Dimensión
Longitud total	5,4592 m
Numero de vueltas en el interior de la marmita	5
Espesor	0,0029 m
Diámetro interno	0,0209 m
Diámetro externo	0,0267 m
Altura del serpentín en la marmita	0,2454 m
Cédula	40
Material	Acero inoxidable AISI 316L

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno, diseño del intercambiador tipo serpentín.

Tabla V. **Variables y dimensiones del sistema de agitación**

Variable	Dimensión
Longitud del eje de rotación	0,4598 m
Longitud paleta pequeña	0,2000 m
Longitud paleta grande	0,2500 m
Ancho de cada paleta	0,0160 m
Diámetro del eje de rotación	0,0254 m
Tipo de paletas	Ancla
Viscosidad máx. permitida	100 Pa*s
Material	Acero inoxidable AISI 316L/430

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno, diseño del sistema de agitación.

Tabla VI. **Variables y dimensiones del sistema de soporte de la marmita**

Variable	Dimensión
Longitud	0,7890 m
Ancho	0,4980 m
Alto	0,4800 m
Espesor	0,0250 m
Material	Acero inoxidable AISI 304L

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno, diseño de la estructura del soporte del equipo.

Tabla VII. **Variables y dimensiones del sistema de soporte del motor reductor**

Variable	Dimensión
Longitud	0,6500 m
Ancho	0,2000 m
Espesor	0,0100 m
Material	Acero inoxidable AISI 316L

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno, diseño de la estructura del soporte del equipo.

Tabla VIII. **Mangueras para vapor y condensado**

Variable	Dimensión
Longitud	3 m
Diámetro interno	0,0254 m
Material cubierta y tubo	EPDM (Etileno-propileno-dieno-monómero)
Capas	Alambre de acero trenzado de alta resistencia a la tensión
Presión máxima	1,7232 MPa
Temperatura máxima	503,15 K
Tipo de vapor	Saturado

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno mangueras de vapor y condensado.

Tabla IX. **Chumaceras**

Variable	Dimensión
Longitud	0,1397 m
Altura	0,0206 m
Material	Termoplástica/cojinete acero inox.
Diámetro	0,0254 m
Carga dinámica	14 000 N
Carga estática	7 000 N

Fuente: Anexos, Chumaceras.

4.2. Balances de masa respectivos al sistema de evaporación de simple efecto

Con base en la conservación de la materia, que establece que en un sistema cerrado permanece constante, se determinaron las entradas y salidas de los componentes del sistema de evaporación simple.

Tabla X. Balances de masa

Balance	Ecuación
Balance de masa global	$F = E + S$
Balance de masa parcial	$FX_F = EX_E + SX_S$

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno, balances de masa.

4.3. Balances de energía respectivos al sistema de evaporación de simple efecto

El balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía intercambiada o acumulada dentro de un sistema. Se determinaron con base en la transferencia de calor del sistema.

Tabla XI. **Balances de energía**

Balance	Ecuación
Balance de energía	$Fh_F + W\lambda_W = EH_E + Sh_S$
Área de transferencia de calor	$At = 2\pi rl$
Calor latente de vaporización	$\lambda_W = H_W - h_W$
Gradiente de temperatura	$\Delta T = T_{sat} - T_{eb}$
Flujo de calor	$Q = W * \lambda_W$
Coefficiente global de calor	$q = U * At * \Delta T$

Fuente: Apéndice C, Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno, balances de energía.

4.4. **Costos**

Los costos estimados se realizaron a partir de la materia prima a utilizar, su transporte, almacenaje, impuestos y mano de obra para su construcción.

4.4.1. **Costo de materia prima (acero inoxidable)**

Cotizaciones realizadas en Goodfellow, Pennsylvania, USA. Estimación de costos del material para la fabricación de la marmita, el agitador, el intercambiador de calor tipo serpentín, soportes del motor reductor y soporte de la marmita.

Tabla XII. Descripción y costo de acero inoxidable

Área/longitud	Acero inoxidable	Especificación	Tamaño	Costo * (Q)
Cuerpo de la marmita y tapaderas 0,389 m ²	Plancha	316L acabado 2B ε=0,033 m	1,219 x 2,438 m	3 968,00
Serpentín (IDC) 5,425 m	Tubería	316L sin costura de ¾" ø nominal cedula 40	6,100 m	9 584,00
Parte inferior de la marmita 0,392 m ²	Semiesfera	316L acabado 2B ε=0,033 m	ø 0,500 m	4 560,00
Puente del motor reductor 0,130 m ²	Pletina	316L acabado 2B ε=0,010 m	0,500 x 0,500 m	1 584,00
agitador 1,130 m	Vara cuadrada	316L ε=0,016 m	2000 m	2 480,00
Eje del agitador y eje del sistema basculante 0,660 m	Vara redonda	403 1" ø	1,000 m	1 600,00
Soporte del equipo 3,886 m	Pletina	304L ε=0,025 m Ancho: 0,080 m	0,080 x 4,000 m	4 720,00
Soporte del equipo 0,629 m	Pletina	304L ε=0,025 m Ancho: 0,100 m	0,100 x 1,000 m	1 520,00
			Total	30 006,00
			Descuento 5%	1 500,00
			Total	Q 28 515,20

*cambio Q8,00 x US \$1 ,00

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Costos de transporte aranceles aduaneros

Transporte de materia prima desde Coraopolis, Pennsylvania - Miami, y Miami - Guatemala según proforma de la figura 62 de anexos con un valor de Q 8 760,00.

Derechos Arancelarios a la Importación (DAI), Impuesto al Valor Agregado (IVA), regulados por la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) según impuestos indirectos vigentes, con un valor total de Q 4 028,06.

4.4.3. Costo de fabricación y mano de obra

Los costos de fabricación del equipo y mano de obra, fueron consultados en una empresa especializada en dotaciones industriales, construcción de equipos industriales, equipos para industria alimenticia y manejo de acero inoxidable.

Tabla XIII. Costos de operación de soldadura TIG y mano de obra

Tipo de costos	
Material de aporte 316, 304	Para soldadura TIG
Costo de soldadura	Almacenamiento de materias primas
	Preparación de los materiales para soldadura, corte y dobléz
	Armado de componentes
	Soldadura
	Operaciones subsecuentes mecánicas
	Tratamientos térmicos
	Inspección
Costo de componentes de soldadura	
Costos directos	Costo de consumibles
	Costos de mano de obra
Costos indirectos	Gastos generales
Costo total de soldadura y mano de obra	Q 37 000,00

Fuente: elaboración propia.

4.4.4. Costos totales

Los costos totales son aquellos tanto directos como indirectos, en los que se incurre en el proceso de construcción del equipo.

Tabla XIV. Costos totales

Tipo de costos	Costos (Quetzales)
Costo de materia prima (acero inoxidable)	28 515,20
Transporte	8 760,00
IVA y aranceles	4 028,06
Costo de fabricación y mano de obra	37 000,00
Moto reductor 1/3 Hp y chumaceras	6 629,50
Mangueras, acoples, manómetro	2 850,00
Accesorios	3 000,00
Total	Q 90 782,80

Fuente: elaboración propia.

4.5. Planos de diseño y representación en 3D

Representaciones gráficas del dimensionamiento del evaporador y sus partes. Cada plano diseñado a escala 1:100 en vista superior, frontal y lateral, elaborados con AutoCAD 2011. Representados en apéndice C, páginas 137 a 143.

- Plano del diseño del cuerpo de la marmita.
- Plano del diseño del soporte del motor reductor y tapaderas.
- Plano del diseño del sistema de agitación.
- Plano del diseño del intercambiador de calor tipo serpentín.
- Plano del diseño del soporte de la marmita.
- Plano de marmita con agitador y serpentín interno.
- Plano de ubicación del equipo en el laboratorio.

Figura 29. **Diseño en tres dimensiones de la marmita con agitador y serpentín interno: vista frontal, lateral derecha, superior y trasera**



Fuente: elaboración propia, con programa de Google Sketch Up 8.

Figura 30. **Diseño en tres dimensiones de la marmita con agitador y serpentín interno, vista semitransparente**



Fuente: elaboración propia, con programa de Google Sketch Up 8.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La marmita es un tanque de alimentación para el proceso de evaporación, diseñado con una capacidad real de 77 L (0,077 m³) con el propósito de eliminar en forma parcial o total el agua contenida y aumentar la concentración de sólidos presentes. La forma de la marmita es cilíndrica con fondo semiesférico para evitar las zonas muertas o regiones críticas donde existan puntos de acumulación y quemado del producto que provocan una reducción sensible del coeficiente de transmisión de calor. Posee dos tapaderas en forma de segmento circular con un ángulo de elevación de 2° permitiendo que el sistema opere a presión atmosférica.

El evaporador se diseñó con un espesor de pared calibre 10 de acero inoxidable AISI 316L, grado de resistencia a la deformación, dureza y tenacidad, con un acabado superficial ligeramente reflexivo 2B, superficie higiénica y de fácil limpieza, con una distribución térmica homogénea, resistente al impacto y al desgaste. Cuenta con una descarga en forma de boca que se encuentra en la parte frontal superior y está sujeta a la estructura para evitar el derramamiento del producto.

El equipo tiene dos soportes laterales unidos a la estructura para sostener el puente donde se coloca el motor reductor de 1/3 Hp al cual se le conecta el cuerpo principal del agitador, un eje cilíndrico de una pulgada (0,0254 m). El puente fue diseñado para soportar el peso del motor, la caja reductora y el sistema de agitación.

El serpentín constituye la superficie de intercambio, forma un sistema de transporte del vapor de agua que circula en él, con el objeto de provocar un alto coeficiente de transferencia de calor. Tubería sin costura con una longitud de 5,4592 m distribuido en una calandria de 5 anillos con un espesor de 0,00287 m, cédula 40, en el interior de la marmita a una altura máxima de 0,2454 en forma cóncava, con el fin de que no esté expuesto durante el proceso de la evaporación y evitar que se den pérdidas de calor y se queme el alimento formando costras que podrían perjudicar la funcionalidad del equipo. Al estar ubicado en el interior de la marmita hace que aumente el área de transferencia, provocando que sea de manera homogénea en todo el alimento y en cada paso del serpentín, se produce una parte de la evaporación total.

La ventaja de este tipo de intercambiador de calor además de tener un tamaño acorde a la geometría del equipo es de menor tamaño que la del tipo chaqueta, se facilita las labores de instalación y reduce el espacio necesario en el laboratorio, disminuye considerablemente los costos de mantenimiento y ofrece una alta eficiencia en la transferencia térmica. Para la construcción del intercambiador de calor se tomó en cuenta los materiales con buena conductividad térmica, la buena resistencia a la corrosión, higiene y durabilidad; siendo este el acero inoxidable tipo AISI 316L.

Para el sistema de vapor de saturación se acopla al intercambiador de calor mangueras de 1,500 m de largo cada una, con un diámetro nominal de $\frac{3}{4}$ pulgada, material de alambre de acero trenzado y etileno propileno dieno monómero (EPDM) para una alta resistencia a la tensión a presiones máximas de 250 PSI (1,7236 MPa) y temperatura de 230 °C (503,15 K).

El sistema de agitación cumple con la función de mantener el movimiento continuo de la mezcla del alimento durante la operación, está diseñado de la misma forma que el fondo de la marmita y el serpentín; cóncavo semiesférico, que incrementa la velocidad de transferencia de calor.

Se diseñó con el objeto de lograr una distribución uniforme de los componentes entre sí por medio del flujo de forma laminar, con ello evitar el efecto cono que provoca la exposición del intercambiador generando pérdidas de calor. El agitador produce corrientes de convección en el interior del evaporador incrementando el coeficiente global de transmisión de calor conseguido en el proceso. El flujo es producido por medios mecánicos con un motor reductor donde el eje de rotación está anclado a él, en un sistema estacionario. Este sistema de agitación tipo ancla posee dos palas de diferente tamaño, dispuesto por 2 deflectores que rompen el movimiento tangencial del alimento permitiendo su movimiento dentro de la marmita. El tipo de material para este sistema de agitación es el acero inoxidable 316L en forma cuadrada de 16 mm de espesor (0,0160 m), material anticorrosivo, higiénico y de fácil limpieza.

El soporte del evaporador se diseñó de manera que le permitiera tener un movimiento basculante controlado por una manivela con trinquete para la descarga del producto de manera fácil y con precisión. La marmita tiene dos ejes rotatorios en sus costados a una altura media que se acoplan a las chumaceras dispuestas en el soporte tipo trapezoidal. Su estructura y forma permiten la distribución adecuada del peso del equipo permaneciendo fijo sobre la superficie. El tipo de material para el soporte es un acero inoxidable tipo AISI 304L muy similar en cuanto a características y propiedades del AISI 316L pero con menor cantidad de carbono en su estructura molecular.

El soporte del equipo fue diseñado con un material sólido tipo pletina rectangular de manera que el peso sea uniformemente, con un espesor de 25 mm (0,0250 m) y altura de 0,048 m.

El acero inoxidable es usado por su resistencia a la oxidación, dureza, higiene y belleza de acabado. Los de la serie 300 son considerados aceros austeníticos, aceros que por sus propiedades son de alta resistencia a la corrosión; el tipo 316L es utilizado para la construcción de piezas que demandan alta resistencia a la corrosión localizada; equipo de las industrias química, farmacéutica, textil, petrolera entre otros. El tipo 304L se utiliza a restringir la precipitación de carburos que resultan de la soldadura, especialmente cuando las partes no pueden recibir tratamiento térmico después de soldar como lo es el soporte del equipo.

Se establecieron los balances de masa y energía como los fundamentos de transferencia de calor dadas en las tablas X y XI de resultados que describen a un evaporador de efecto simple, para que el estudiante pueda determinar en prácticas de laboratorio según el tipo de alimento que se prepare en el equipo de evaporación los flujos de alimentación y concentrado, flujos de vapor, fracciones de masa del soluto y solvente, entalpías, velocidades de transferencia de calor, coeficientes, conductividades térmicas, gradientes de temperaturas, áreas de transferencia etc.

En la sección de resultados y apéndice c, fueron representados los diseños de las diferentes partes del evaporador con sus respectivas dimensionales y materiales, en 2D y 3D, para una mejor identificación de las características de construcción y la ubicación dentro del laboratorio.

En el presente trabajo, en la sección 2.18 del marco teórico se mencionaron los posibles alimentos que pueden ser preparados con este equipo de evaporación, con sus respectivos diagramas de flujo del proceso, tiempos y concentraciones finales, con el fin de poder establecer las posibles prácticas a nivel piloto.

Debido a las características específicas del material de construcción del equipo, acero inoxidable 316L y 304L, se cotizó en los Estados Unidos de América en el estado de Pennsylvania, al cual se le adjuntaron los costos de embalaje, transporte, IVA y los impuestos por internación a Guatemala. Ver Sección 4.4.1 tabla XII y sección 4.4.2 de resultados.

Por medio de la empresa especializada en manejo de acero inoxidable, se cotizó la mano de obra, soldadura TIG y construcción del equipo con base en los planos proporcionados por el estudio realizado en este trabajo de graduación y tomando en cuenta opiniones de expertos en la construcción de estos equipos para nivel piloto e industriales y accesorios dando un costo total de Q 90 782,80.

CONCLUSIONES

1. El evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno diseñado, cumple con el propósito señalado en el objetivo general de este trabajo de graduación, proporcionando un equipo de proceso de evaporación simple a nivel planta piloto, para reforzar los conocimientos teóricos adquiridos de evaporación y manejo de alimentos para realizar prácticas con el mismo.
2. Los cálculos de ingeniería para el diseño del evaporador de efecto simple fueron realizados para establecer las condiciones adecuadas de funcionamiento, según los diferentes tipos de alimentos que puedan prepararse como salsas saladas, salsas dulces, jugos concentrados, manjares, pasteurizaciones entre otras, con el fin de obtener un producto apto para estudios de laboratorio y análisis del proceso de evaporación.
3. Con base en criterios de diseño, propiedades fisicoquímicas de los alimentos se establecieron los parámetros más importantes como la densidad, viscosidad, coeficientes globales entre otros, en el diseño de la marmita y sus componentes para la construcción, el tipo de material adecuado y espesores de pared para la buena transferencia de calor.

4. Se diseñó la marmita con una capacidad de 77 L, la cual cumple con los requisitos de diseño para ser un equipo apto a nivel planta piloto, con el fin de aumentar la concentración de sólidos presentes en el alimento por medio del proceso de evaporación. El intercambiador de calor tipo serpentín ubicado en el interior de la marmita, está diseñado para acoplarse a la forma cóncava semiesférica del fondo del tanque y optimizar la transferencia de calor. El agitador de pala tipo ancla fue diseñado para mantener un movimiento continuo y homogéneo en la mezcla e incrementar la velocidad de transferencia produciendo corrientes de convección que aumentan el coeficiente global de transferencia de calor, reduciendo los tiempos de permanencia del alimento en el equipo. El agitador puede soportar hasta una viscosidad del medio de 100 Pa*s.

5. Establecimiento de balances de masa y energía, así como los fundamentos de transferencia de calor, con el fin de que el estudiante pueda establecer los flujos de entrada y salida, fracciones molares de los ingredientes en la alimentación, cálculos de calor en el evaporador, vapor requerido en el proceso de elaboración del alimento, obtención de caracterizaciones, muestreos, análisis, control, selección y decisión de un alimento apto para el consumo humano.

6. Elaboración de planos de diseño de vista superior, frontal y lateral del cuerpo de la marmita y sus partes; los que se utilizaron en la construcción de un modelo tridimensional que integra todas las partes diseñadas; serpentín interno, agitador y soportes de acuerdo al tamaño del espacio de la ubicación dentro del laboratorio.

7. Para la diseño del equipo se propone el uso del material acero inoxidable tipo AISI 304L y 316L, el cual posee buena conductividad térmica, alta resistencia a la corrosión, factor de higiene y limpieza excelentes, buena resistencia mecánica con alta durabilidad, no magnético y de mantenimiento fácil.
8. Los costos de construcción según materia prima, embalaje, impuestos de internación, IVA, mano de obra de soldadura y construcción tienen un valor total de Q 90 782,80.

RECOMENDACIONES

1. Al tratarse de la elaboración de alimentos, se debe operar bajo condiciones de Buenas Prácticas de Manufactura, desde el inicio de un proceso para garantizar la calidad del mismo, también mantener los criterios de diseño en cuanto al tipo de materiales a utilizar, ya que fueron analizados minuciosamente para evitar la contaminación de los mismos, para ello se recomienda utilizar el acero inoxidable austenítico de clasificación 300 con propiedades anticorrosivas.
2. Para un mantenimiento óptimo del equipo, es recomendable la utilización de agua o vapor de agua a presión elevada, ya que esta es una de las formas más factibles para remover vestigios grasos, melosos y viscosos característicos de los alimentos que puedan incrustarse en el intercambiador de calor o en las paredes de la marmita.
3. No se debe sobrepasar el 70 % de la capacidad de la marmita para evitar un derrame del alimento con el movimiento del agitador, tampoco debe estar por debajo de la mitad de la altura de la marmita para evitar que durante el proceso de la evaporación el serpentín quede descubierto y existan pérdidas de calor o se produzca quemado en algunos puntos del alimento.

4. Al ser un proceso que requiere vapor de agua se recomienda que el equipo esté dispuesto de indicadores de presión y temperatura.

5. El tipo de soldadura para la construcción del equipo debe de ser del tipo TIG, se considera la más adecuada debido a que por desplazar el aire, eliminar la posibilidad de contaminación de la soldadura, es más resistente, dúctil y menos sensibles a la corrosión.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVARADO, Juan. *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, 2001. 410 p. ISBN 13: 978-842-000-9391
2. ARREGLE, Jean. *Procesos y tecnologías de maquinas*. 2a ed. Valencia, España: UPV, 2002. 224 p. ISBN: 97-884-9705-2733
3. BAUMAN, Guillermo Daniel. *Preparación de yogurt*. [en línea]. Argentina: Instituto Politécnico Superior Gral. San Martín, marzo 2007. <<http://www.monografias.com/trabajos38/yogurt/yogurt2.shtml>> [Consulta: enero de 2013].
4. BARRERO, José A. *Operación de conservación de alimentos*. Venezuela: Equinoccio, 2006. 365 p. ISBN: 980-237-210-2.
5. BRENNAN, J.G. *Las operaciones de ingeniería de los alimentos*. 3a ed. Zaragoza, España: Acribia, 1998. 714 p. ISBN: 97-884-2000-8523
6. CASTELLANOS MUÑOZ, Diego. *Elaboración de manjar blanco*. [en línea]. Bogotá: Universidad de la Salle, octubre de 2012. <<http://clubensayos.com/Temas-Variados/Manjar-Blanco/665556.html>> [Consulta: enero de 2013].

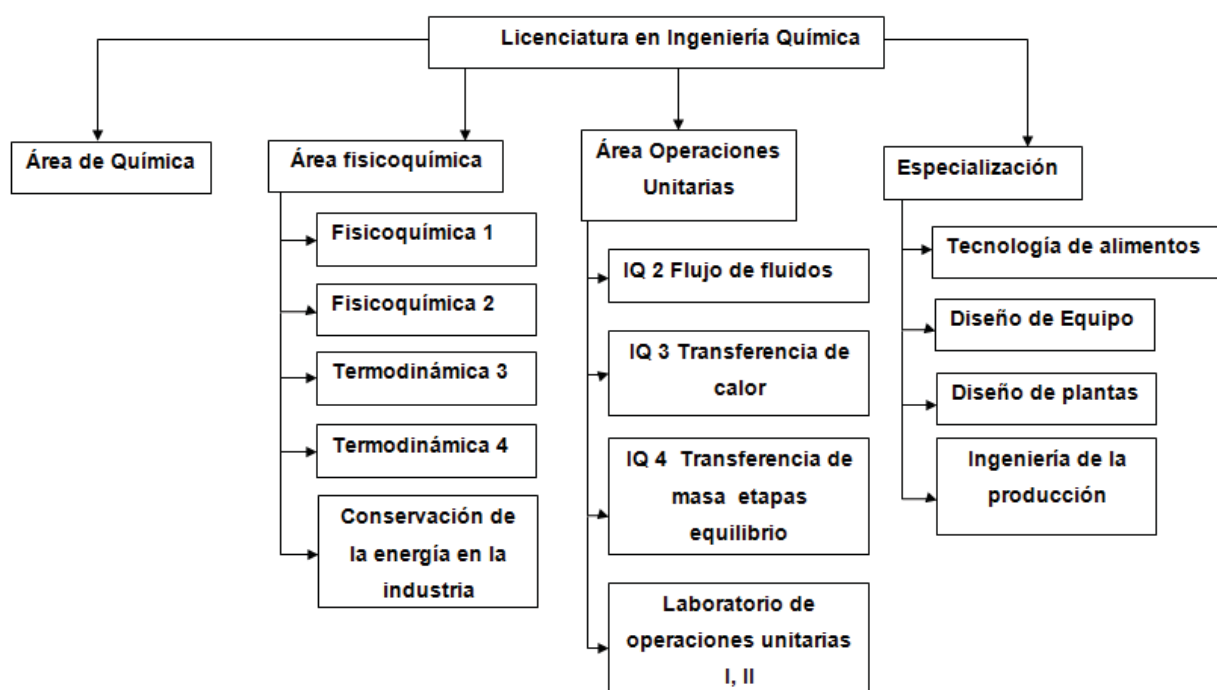
7. CHILUISA, María Belén; FREIRE, Luis Miguel; RUÍZ, Clara Isabel. *Elaboración de mermeladas en marmitas*. [en línea]. Ecuador: Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química Superior, diciembre 2010. 9 p. <<http://es.slideshare.net/ElianaRomero/mermelada-15910365>> [Consulta: febrero de 2013].
8. CHOQUE PEÑAFIEL, Franz Fabio. *Diseño y calculo de una marmita de cocción con vapor para producir mermelada*. [en línea] Bolivia: Universidad Técnica de Oruro, Junio 2011. 111 p. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica. <[http://tesis.dpicuto.edu.bo/facultad - nacional - de - ingenieria / 47-ingenieria-mecanica/1722-diseno - y - calculo - de - una - marmita - de - coccion - con - vapor - para -producir -mermelada.htm](http://tesis.dpicuto.edu.bo/facultad-nacional-de-ingenieria/47-ingenieria-mecanica/1722-diseno-y-calculo-de-una-marmita-de-coccion-con-vapor-para-producir-mermelada.htm)> [Consulta: febrero de 2013].
9. DESROSIER, Norman. HABITUD, Antonio (trad.) *Conservación de alimentos*. 16a ed. México: CECSA, 1997. 453 p. ISBN-63-119-22
10. ELECTROLUX, Therma Line. *Marmitas*. [en línea]. Suiza: 16 p. <[http://tools.professional.electrolux.com/ Mirror/ Doc / BR / BR_BR-9JEDB _1_5_4_4_9JEDBE.pdf](http://tools.professional.electrolux.com/Mirror/Doc/BR/BR_BR-9JEDB_1_5_4_4_9JEDBE.pdf)> [Consulta: marzo de 2013].
11. GEANKOPLIS, C.J. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. 3a ed. México: CECSA, 1998. 1108 p. ISBN-0-9603070-0-1

12. GUERRERO RODRÍGUEZ, Jorge Ulises. *Evaluación financiera para la adquisición de una marmita para la preparación de salsa tipo kétchup en una empresa industrial*. [en línea]. Tesis de Licenciatura en Ciencias Económicas. Universidad Panamericana, Facultad de Ciencias Económicas, enero 2011. 215 p. <http://upana.edu.gt/web/upana/tesis-educacion/doc_view/311-tec3-162-g934> [Consulta: marzo de 2013].
13. INSTITUTE OF AGRICULTURE AND NATURAL RESOURCES. *Serie de procesamiento de alimentos, jaleas y mermeladas de frutas*. [en línea]. Nebraska: University of Nebraska-Lincoln, marzo de 2007. 5 p. <<http://ianrpubs.unl.edu/live/g1604s/build/g1604s.pdf>> [Consulta: abril de 2013].
14. McCABE, Warren L. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 7a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 1165 p. ISBN-13:978-970-10-6174-9
15. MENDOZA BAUTISTA, Israel Ebenezer. *Diseño de automatización del proceso de cocimiento de productos alimenticios en la industria utilizando equipos de cocción (marmitas)*. [en línea]. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. mayo 2004. 134 p. <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0113_EO.pdf> [Consulta: febrero de 2013].
16. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos*. 6a ed. México: Prentice Hall, 2006. 626 p. ISBN-970-26-0805-8

17. OROZCO FLORES, Martha. *Operaciones unitarias*. México: Limusa, 1998. 236 p. ISBN: 968-18-5518-3
18. PERRY, Robert. *Manual del ingeniero químico*. 7a ed. Madrid, España: McGraw-Hill, 2001. Volumen II. ISBN: 0-07-079741-5
19. ROSERO VELASCO, Diego Fernando. *Informe de salsa de tomate*. [en línea] Colombia: Universidad del Valle Cali, Colombia. 2007. 31 p. <<http://www.ilustrados.com/documentos/salsa-tomate-080807.pdf>> [Consulta: marzo de 2013].
20. TEKHNE, J. *Elaboración de salsa de tomate por remoción de agua*. [en línea]. Santiago, Chile: Centro de Experimentación y Capacitación en Tecnología Apropriada. 8 p. < <http://es.scribd.com/doc/19220160/Elaboracion-de-La-Salsa-de-Tomate>> [Consulta: mayo de 2013].
21. TORRES BRITO, Sergio Bladimir. *Diseño y construcción e instalación de un tanque marmita de 2800 L y rediseño de lavadora de botellas de la Empresa Licoram*. [en línea]. Ecuador: Tesis de Licenciatura en Ingeniería Electromecánica. Escuela Politécnica del Ejercito Latacunga, octubre 2010. 183 p. <<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4067/1/T-ESPEL-0762.pdf>> [Consulta: enero de 2013].
22. YUNUS, Çengel. *Transferencia de calor y masa*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 2007. 901 p. ISBN-13: 978-0-07-312930-3

APÉNDICE A

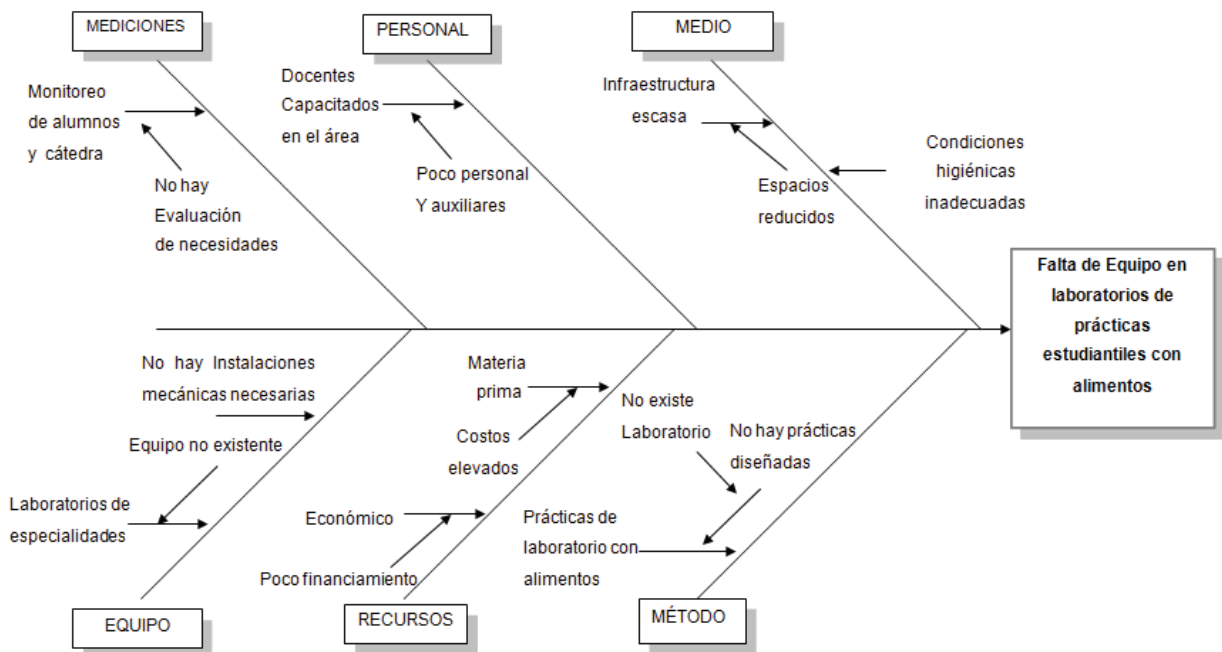
Figura 1. Tabla de requisitos académicos



Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE B

Figura 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

APÉNDICE C

Muestra de Cálculo

A. Cálculos y criterios para el diseño del evaporador tipo marmita con agitador y serpentín interno

Los cálculos correspondientes al diseño del evaporador tipo marmita y sus partes dependen de los balances de masa y energía así como de los fundamentos de transferencia de calor.

- Cálculo de la masa del concentrado

Uno de los factores previos a la realización de los balances de masa y energía, es la obtención de la masa del concentrado.

$$\rho = m/V \quad \text{Ecuación 3, Ref. 7}$$

Donde:

ρ = densidad del concentrado (Kg/L)

m = masa del concentrado (Kg)

V = volumen del concentrado (L)

- Cálculo de la masa de alimentación

La masa de alimentación es de mucha utilidad para el cálculo de las corrientes de alimentación, concentrado y sus respectivas fracciones molares.

$$m_F = \sum m_i \text{ de ingredientes a utilizar. Ecuación 4, Ref. 7}$$

Donde:

m_F = masa de alimentación total (kg)

m_i = masa de ingredientes a utilizar (kg)

- Cálculo de la corriente de alimentación (F)

La alimentación al evaporador se deduce de la siguiente ecuación:

$$F = \frac{m_F}{t} \text{ Ecuación 5}$$

Donde:

F= corriente de alimentación (Kg/h)

m_F = masa de alimentación total (Kg)

t= tiempo de operación (h)

- Cálculo de la corriente del concentrado (S)

Corriente del producto obtenido evaporado en un tiempo determinado

$$S = \frac{m_S}{t} \text{ Ecuación 6}$$

Donde:

S= corriente del concentrado (Kg/h)

m_s= masa total del concentrado (Kg)

t= tiempo de operación (h)

- Cálculo de las fracciones molares en la alimentación

$$X_{Fi} = \frac{m_i}{m_F} \text{ Ecuación 7}$$

Donde:

X_{Fi}= fracción molar del componente i en la alimentación (adimensional)

m_i= masa del componente en i (Kg)

m_F= masa total de alimentación (Kg)

- Cálculo de las fracciones molares en el concentrado

$$X_{Si} = \frac{F x_{Fi}}{S} \text{ Ecuación 8}$$

Donde:

X_{Fi}= fracción molar del componente i en la alimentación (adimensional)

X_{Si}= fracción molar del componente i en el concentrado (adimensional)

F= corriente de alimentación (Kg/h)

S= corriente del concentrado (Kg/h)

- Balance de masa global

$$F = E + S \text{ Ecuación 9}$$

Donde:

F = corriente de alimentación (Kg/h)

E= corriente del evaporado (Kg/h)

S= corriente del concentrado (Kg/h)

$$FX_F = EX_E + SX_S \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

F = alimentación (Kg/h)

X_F= fracción molar en la alimentación (adimensional)

S= concentrado (Kg/h)

X_S= fracción molar en el concentrado (adimensional)

E= agua evaporada (Kg/h)

X_E= fracción molar de en el evaporado (adimensional)

- Balance de energía

El balance de energía se utiliza para el cálculo de la cantidad de calor que ocurre de una cámara a otra.

$$F + W = E + S + C + Q_p \quad \text{Ecuación 11}$$

$$Q_p = 0$$

$$Fh_F + WH_W = EH_E + Sh_S + Ch_W \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W = C$$

$$Fh_F + WH_W = EH_E + Sh_S + Wh_W$$

$$Fh_F + W(H_W - h_W) = EH_E + Sh_S$$

$$\lambda_W = H_W - h_W$$

$$Fh_F + W\lambda_W = EH_E + Sh_S \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

F = corriente en la alimentación (Kg/h)

C = corriente en el condensado (Kg/h)

S = corriente en el concentrado (Kg/h)

W = corriente de vapor alimentado al serpentín (Kg/h)

E = corriente del evaporado (Kg/h)

h_S = entalpía de concentrado (Kcal/Kg)

h_F = entalpía de alimentación (Kcal/Kg)

h_w = entalpía de condensado (Kcal/Kg)

H_w = entalpía del vapor en la cámara de calefacción (Kcal/Kg)

H_E = entalpía del agua evaporada (Kcal/Kg)

λ_w = calor latente de vaporización (Kcal/Kg)

Q_p = pérdidas de calor (Kcal/h)

La capacidad que tenga el evaporador para evaporar un producto va a estar en función de las leyes de transferencia de calor, a mayor cantidad de calor que se transfiera desde la cámara de calefacción a la cámara de ebullición se va a eliminar mayor cantidad de solvente que se encuentre presente en la mezcla al concentrar y depende del área de transferencia de calor, el gradiente de temperatura y el coeficiente de transferencia de calor.

- Cálculo de área de transferencia de calor

La cámara de calefacción en este sistema se refiere al intercambiador de calor tipo serpentín incrustado de forma interna en la marmita, su área de transferencia queda determinada por el cálculo del área de un cilindro sin considerar las bases circulares debido al hecho de que el serpentín es abierto.

$$A_t = 2\pi r l \quad \text{Ecuación 14, Ref. 22}$$

Donde:

A_t = área total de transferencia de calor (m^2)

r = radio del serpentín (m)

l = largo del serpentín (m)

- Cálculo de coeficiente global de transferencia de calor

$$q = U * A_t * \Delta T \quad \text{Ecuación 15, Ref. 14}$$

Donde:

U = coeficiente global de transferencia de calor ($J/s \, m^2 \, K$)

A_t = área de transferencia de calor (m^2)

ΔT = gradiente de temperatura (K)

- Cálculo de gradiente de temperatura

$$\Delta T = T_{sat} - T_{eb} \quad \text{Ecuación 16, Ref. 14}$$

Donde:

ΔT = gradiente de temperatura (K)

T_{sat} = temperatura de saturación del vapor de agua que entra (K)

T_{eb} = temperatura de ebullición del concentrado (K)

- Cálculo del calor latente de vaporización

Se deduce a partir de la diferencia de entalpías entre el vapor y el líquido.

$$\lambda_w = H_w - h_w \text{ Ecuación 17, Ref. 5}$$

Donde:

λ_w = calor latente de vaporización (Kcal/Kg)

h_w = entalpía de condensado (Kcal/Kg)

H_w = entalpía del vapor en la cámara de calefacción (Kcal/Kg)

- Cálculo de flujo de calor

$$Q = W * \lambda_w \text{ Ecuación 18, Ref. 5}$$

Donde:

Q = flujo de calor (Kcal/h)

W = flujo de vapor (Kg/h)

H_w = entalpía del vapor en la cámara de calefacción (Kcal/Kg)

h_w = entalpía del condensado (Kcal/Kg)

- Elevación del punto de ebullición

En el caso de disoluciones concentradas, que no se comportan idealmente, la predicción del punto de ebullición se puede realizar mediante una ley empírica conocida con el nombre de Regla de Dühring, según la cual, el punto de ebullición de un líquido o de una disolución es una función lineal del punto de ebullición de una sustancia de referencia, normalmente el agua, referidos ambos a la misma presión. Por consiguiente, si se representa la temperatura de ebullición de la disolución frente a la del agua a la misma presión, se obtiene una línea recta. Para distintas concentraciones se obtienen distintas líneas rectas, no necesariamente paralelas. El trazado de estas rectas se puede realizar fácilmente si se dispone de dos temperaturas de ebullición de la disolución a dos presiones distintas

El punto de ebullición determinado mediante la regla de Dühring corresponde a la superficie libre del líquido. En muchos evaporadores, la ebullición se produce a cierta profundidad, con lo que la presión sobre el líquido en contacto con dicha superficie, (donde se produce la ebullición), es mayor que la existente sobre la superficie libre, debido a la presión hidrostática correspondiente a la altura del líquido. El incremento del punto de ebullición debido a la carga hidrostática disminuye la diferencia media de temperatura entre el vapor de calefacción y la disolución hirviente, con la consiguiente pérdida de capacidad en el evaporador

Para obtener valores más cercanos a los reales se hace uso de la diferencia de la logarítmica media de las temperaturas (MLDT) cuyo cálculo da como resultado la variación de la temperatura durante el proceso de la evaporación.

- Cálculo de rendimiento de la evaporación

$$R_d = E/W * 100 \text{ Ecuación 19, Ref. 5}$$

Donde:

R_d = rendimiento de la evaporación (%)

E= evaporado

W= vapor de Calefacción

B. Diseño del evaporador de simple efecto o marmita

- Criterios importantes para el diseño de la marmita
 - Necesidad de servicios (energía eléctrica, agua, vapor de agua)
 - Tipo de evaporador, tamaño y materiales de construcción
 - Superficie total de transferencia de calor
 - Tamaño y tipo de accesorios, materiales de construcción
- Propiedades físicas y químicas de las sustancias diluidas y espesas
 - Punto de ebullición
 - Densidades
 - Viscosidades
 - Porcentaje de sólidos
 - Condiciones de operación
 - Cantidad de sustancia diluida por unidad de tiempo
 - Horas de operación
 - Temperatura de sustancia diluida

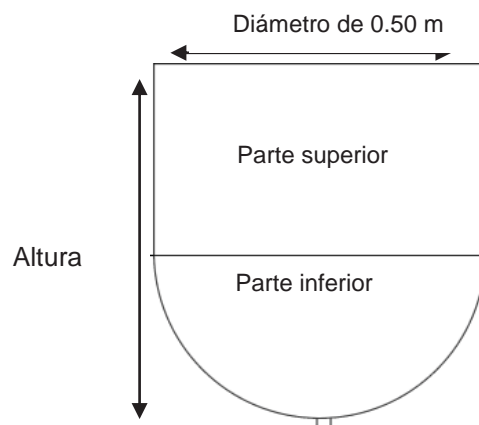
- Capacidad nominal de la marmita

La marmita es el tanque de almacenamiento de la alimentación, operación de evaporación y descarga del producto, la misma ha sido diseñada para una alimentación de 80 Litros o $0,08 \text{ m}^3$ nominal que es ideal para planta piloto. Para una operación óptima la alimentación sugerida no debe sobrepasar los litros que corresponde al 70 % de su capacidad total.

- Altura de la marmita

Para el cálculo de la altura de la marmita se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Figura 3. **Diseño de marmita**



Fuente: elaboración propia.

Para el volumen del cilindro (parte superior de la marmita)

$$V = \pi * r^2 * h \quad \text{Ecuación 20}$$

Para el volumen de la semiesfera (parte inferior de la marmita)

$$V = \frac{2}{3} * \pi * r^3 \quad \text{Ecuación 21}$$

Volumen total de la marmita

$$Vt = (\pi * r^2 * h) + \left(\frac{2}{3} * \pi * r^3\right) \quad \text{Ecuación 22}$$

Altura total de la marmita

$$ht = \frac{Vt - \left(\frac{2}{3} * \pi * r^3\right)}{\pi * r^2} + r \quad \text{Ecuación 23}$$

$$ht = \frac{0,08 - \left(\frac{2}{3} * \pi * 0,25^3\right)}{\pi * 0,25^2} + 0,25 = 0,4908 \text{ m}$$

Donde:

ht: altura de la marmita (m)

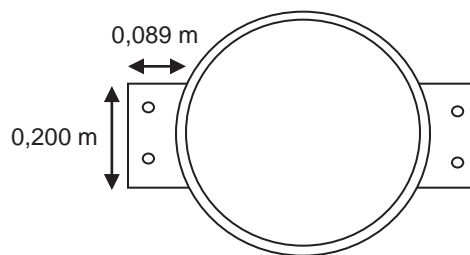
Vt: volumen total de la marmita (m³)

r: radio de la marmita (m)

- Soporte del puente del motor reductor en la marmita

Para el soporte del puente del motor reductor se diseñan dos alas centradas una de cada lado de la marmita de acero inoxidable 316L, con longitud de 0,089 m * 0,200 m con un espesor de 0,01 m dispuesto con orificios para 2 tornillos hexagonales de acero inoxidable de ½ pulgada (0,0127 m) * 1 ½ pulgada (0,0381 m) en cada ala, con arandela y roldana.

Figura 4. **Soportes en la marmita para el puente del motor reductor**



Fuente: elaboración propia.

- Diseño del intercambiador de calor tipo serpentín

El serpentín acoplado a la marmita es la cámara de calefacción. Es el elemento que sirve de medio para el transporte del vapor de agua, diseñado en forma de espiral con un espesor de 0,00287 m distribuido en una calandria de 5 anillos dispuestos horizontalmente en forma cóncava como la parte inferior en el interior de la marmita, de acero inoxidable AISI 316L.

Es necesario colocar adecuadamente el serpentín desde la base de la marmita hasta la altura conveniente en la evaporación para evitar pérdidas de calor durante la operación.

El volumen de la alimentación disminuye con el tiempo de forma progresiva y es un factor fundamental no permitir que quede al descubierto el serpentín en ningún momento ya que el alimento corre el riesgo de quemarse.

- Altura del serpentín en la marmita

Por criterios de diseño se dispone colocar el serpentín a 1/2 de la altura de la marmita, caso contrario se estaría entrando a una distancia de riesgo al quedar descubierto durante el proceso de la evaporación.

$$h_{sp} = \frac{1}{2} h \quad \text{Ecuación 24}$$

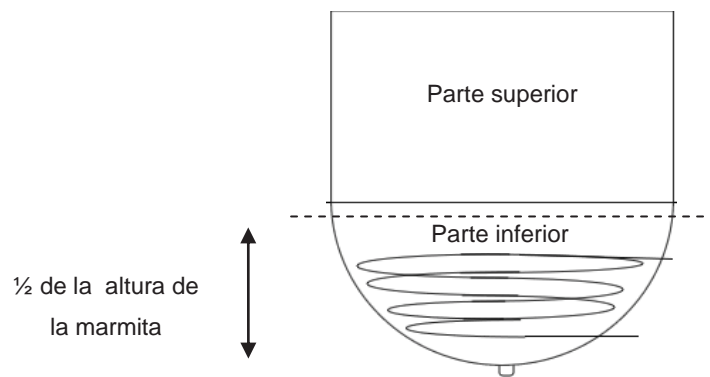
$$h_{sp} = \frac{1}{2} 0,4908 = 0,2454 \text{ m}$$

Donde:

h_{sp} : altura del serpentín (m)

h : altura de la marmita (m)

Figura 5. **Altura del serpentín en la marmita**



Fuente: elaboración propia.

- Diámetro interno del serpentín

Para el cálculo del diámetro interno del serpentín se utilizó la siguiente ecuación:

$$\varphi_{ext} = \varphi_{int} + 2\varepsilon \quad \text{Ecuación 25}$$

De la tabla F.1, bibliografía 12, para tuberías de acero inoxidable de ¾" nominal, el diámetro externo es de 26,7 mm (0,0267 m) y el espesor es de 2.9 mm (0,0029 m)

$$\varphi_{int} = 26.7 - 2(2.87) = 20.96 \text{ mm} \approx 0.02096 \text{ m}$$

Donde:

φ_{ext} : diámetro externo del serpentín (m)

φ_{int} : diámetro interno del serpentín (m)

ε : espesor del serpentín (m)

- Longitud de los anillos del serpentín

Para la determinación de la longitud de los anillos del serpentín se procedió a realizar una gráfica en base a la medición de la semiesfera con una separación de 0,03 m entre la pared de la marmita y entre anillos una separación de 0,01 m.

Utilizando regresión cuadrática se obtuvieron los puntos más cercanos a la forma de la marmita obteniendo así el radio de cada anillo.

$$y = 0.04x^2 - 4E - 15x + 3 \quad \text{Ecuación 26}$$

La obtención final del perímetro del anillo a partir de la siguiente ecuación:

$$P = 2\pi * r_s \quad \text{Ecuación 27}$$

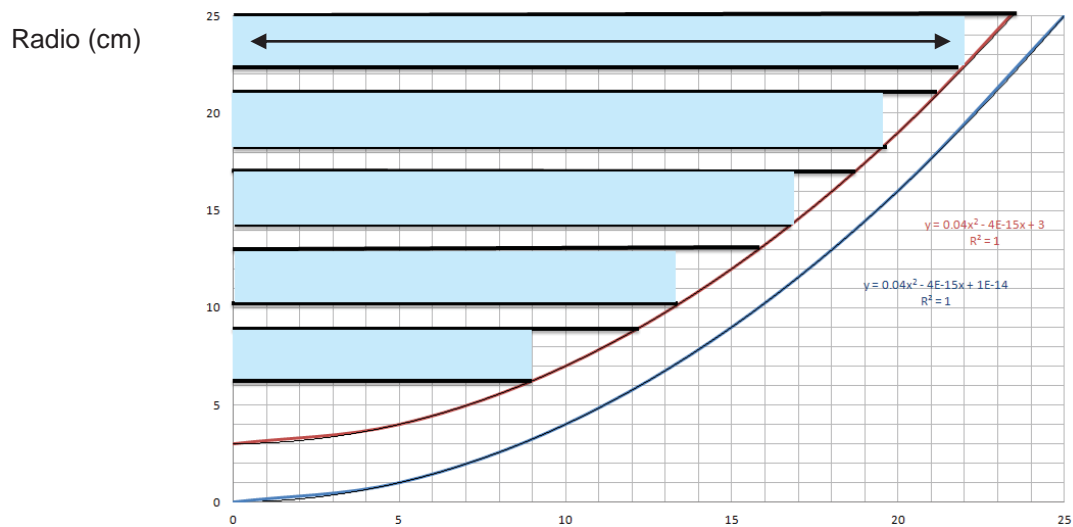
$$\sum P = L_A \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

P= perímetro de los anillos del serpentín (m)

r_s = radio de los anillos del serpentín (m)

Figura 6. **Determinación de longitud de los anillos del serpentín**



Fuente: elaboración propia, con programa Microsoft Office Excel 2007.

Tabla I. Longitud de cada anillo en el serpentín

Numero de anillo	Radio del anillo (m)	Perímetro (m)
1	0,2172	1,3647
2	0,1820	1,2246
3	0,1453	1,0663
4	0,1086	0,8809
5	0,0719	0,6427
	Sumatoria	5,1792

Fuente: elaboración propia.

- Longitud del serpentín total

Para el cálculo de la longitud del serpentín se utilizó la siguiente ecuación:

$$L_{sp} = L_A + L_{EV} + L_{SC} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$L_{sp} = 5,1792 + 0,187 + 0,093 = 5,4592 \text{ m}$$

Donde:

L_s : Longitud del serpentín (m)

L_A : Longitud de los anillos del serpentín (m)

L_{EV} : Longitud del serpentín en la entrada del vapor (m)

L_{SC} : Longitud del serpentín en la salida del condensado (m)

- Diseño del sistema de agitación y soporte del motor reductor

El sistema de agitación cumple la función de mantener el movimiento a la mezcla durante la operación de evaporación. Este sistema de agitación permite que el calor que es transmitido por el serpentín sea de manera uniforme en toda la mezcla evitando así que se quemé en algunos puntos.

El fondo del tanque es de forma cóncava y no plana, para eliminar las esquinas o regiones agudas y críticas en las que no penetrarían las corrientes de fluido. La profundidad o altura del líquido es aproximadamente igual al diámetro del tanque.

El agitador es instalado sobre un eje suspendido, es decir, un eje sostenido en la parte superior. El eje es accionado por un motor a través de una caja reductora de velocidad.

El agitador provoca que el líquido circule a través del tanque hacia las paredes y eventualmente regrese el centro.

Para el evaporador de simple efecto o marmita, con serpentín horizontal, se ha dispuesto de un puente de longitud de 0,65 m y un ancho de 0,20 m con espesor de 0,01 m que se acopla a un motor reductor de corona sin fin monofásico 110/220 V de 1/3 Hp con eje angular a 90° con torque de 20-75 lb/in con velocidad de 30 rpm de salida, mismo que se conecta a un eje de acero de 1 pulgada de diámetro (0,0254 m) con una longitud de 0,4598 m, a este eje va soldada una cuña de 0,0063 m de ancho, 0,0300 de largo y 0,0033 de alto y que le permite fijarse al eje del reductor y darle el movimiento anti-horario continuo.

Figura 7. **Motor reductor de corona sin fin monofásico con eje angular a 90°**

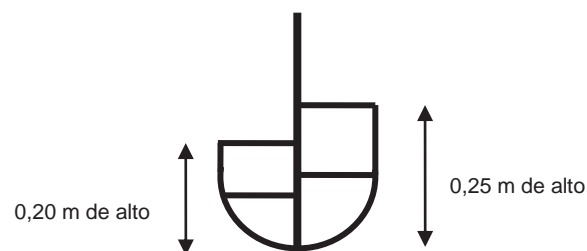


Fuente: <http://www.transtecno.com/es/products/stock/CM/> Consulta: junio de 2013

Al sistema del motor se le agrego un agitador de tipo paletas diseñadas para flujo tangencial que se utilizan para fluidos de viscosidad moderada para evitar el efecto cono dentro de la marmita y así evitar la alimentación sobrepase el nivel al inicio de la operación.

Las paletas de agitación son huecas con lo que mantiene un movimiento homogéneo y laminar de la mezcla. Se dividen en 2 partes: una grande de 0,25 m de alto y una pequeña de 0,20 m ambas con 0.016 m de espesor y en forma de tipo ancla.

Figura 8. **Sistema de paletas de agitación**



Fuente: elaboración propia.

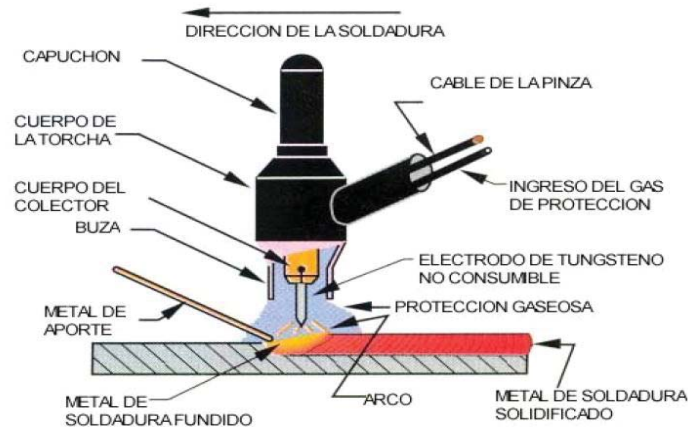
1. Descripción general del sistema de agitación: dos brazos en forma adaptada de la marmita, uno largo y uno corto para realizar una mezcla homogénea del alimento y distribución de la transferencia del calor.
 2. Campo de flujo a generar: tangencial
 3. Régimen a alcanzar: laminar
 4. Velocidad tangencial máxima: 2 m/s
 5. Viscosidad permitida del medio: hasta 100 Pa*s
 6. Posición del rodete: 0.080-0.085 m de la pared de la marmita
- Material de fabricación de la marmita, intercambiador de calor, sistema de soporte del motor-reductor y sistema de agitación

Acero inoxidable tipo AISI, ASTM, NMX 316/316L o UNS S31600/S31603: acero resistente a la corrosión por picaduras, para soldadura recomendada con electrodos BOHLER UTP 6820, MOLC/TIG=BOHLER-UTP A 6820 MOLC.

Basados en la norma ASME/ANSI B16.25, se encontró que el método adecuado para la soldadura de acero inoxidable es del tipo GTAW o TIG (*Tungsten inert gas*).

Este un sistema de soldadura de arco con protección gaseosa, que utiliza el intenso calor de un arco eléctrico generado entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza a soldar, donde puede o no utilizarse metal de aporte.

Figura 9. Soldadura TIG



Fuente: http://www.tecnoficio.com/soldadura/soldadura_TIG_1.php consulta: marzo de 2013.

Se utiliza gas de protección cuyo objetivo es desplazar el aire, para eliminar la posibilidad de contaminación de la soldadura por el oxígeno y nitrógeno presente en la atmósfera

La gran ventaja de este método de soldadura es, básicamente, la obtención de cordones más resistentes, más dúctiles y menos sensibles a la corrosión que en el resto de procedimientos, ya que el gas protector impide el contacto entre el oxígeno de la atmósfera.

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con un mínimo de un 10,5 % de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo.

La aleación 316 y 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas.

Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío. Se añade molibdeno para aumentar la resistencia a la corrosión especialmente en entornos que contienen cloruros. El bajo contenido en carbono de la aleación 316L otorga una mejor resistencia a la corrosión en estructuras soldadas.

- Mangueras de vapor y condensado

Las mangueras de vapor deben tener una longitud de $L=1,5$ m, estas deben facilitar la descarga para que no queden templadas al momento del mismo. Es necesario que sean flexibles para su manejo adecuado, con diámetro interno de $\frac{3}{4}$ " correspondiente a los 0,01905 m.

Resistente a temperaturas elevadas y especiales para manejo de vapor saturado y agua caliente, con cubierta y tubo de EPDM (*ethylene propylene diene monomer*) con capas de alambre de acero trenzado de alta resistencia a la tensión y soporte para presiones de hasta 250 PSI, a los extremos de las mangueras acoples para vapor con un soporte de hasta 200 PSI.

Figura 10. Manguera de tubo EPDM



Vapor

Características

Tubo: EPDM
Cubierta: EPDM
Capas: Alambre de acero trenzado de alta resistencia a la tensión
Diámetro: $\frac{3}{8}$ " a 2"
Presión: 250 P.S.I.
Temperatura max: 230°C

Aplicaciones

Todos los tipos de vapor – saturado y sobresaturado.

Fuente: http://www.solmaq.com/pdf/catalogo_maguerasycorreas.pdf consulta: marzo de 2013

Figura 11. **Acoples para manguera hembra y macho**

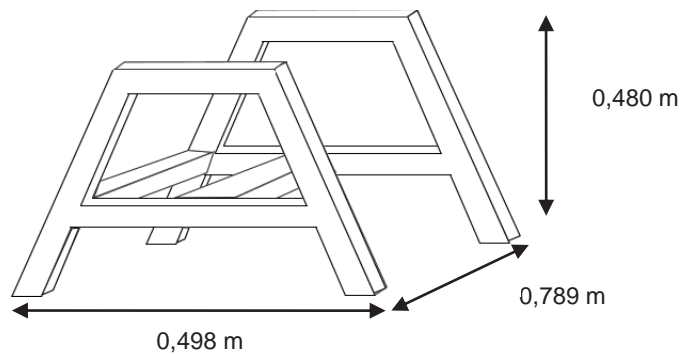


Fuente: http://www.galpa.com.ar/files/acople_sk_515.jpg Consulta: junio de 2013

- **Diseño de la estructura del soporte del equipo**

La estructura externa del equipo se diseño en base al evaporador tipo marmita oscilante, en acero inoxidable con una forma similar a un trapecio, misma que se mantiene firme sobre su base ayudando al descargue del producto. Las dimensiones del diseño corresponden a la longitud de separación entre las patas y su altura.

Figura 12. **Estructura del soporte del equipo**



Fuente: elaboración propia.

- Sistema de volteo de la marmita

Sistema de volteo mediante una manivela con trinquete que no ofrece peligro alguno, unida a uno de los sujetadores de la marmita de 1" de diámetro (0.0254 m) con giro en ambas direcciones.

Figura 13. **Manivela con trinquete**



Fuente: http://www.efinox.com/122620-1045-large_leocame/volante-marmita-alpha-delta-angelo-po.jpg Consulta: junio de 2013.

- Cálculos para la estimación de costos de materiales

Para los cálculos del material de construcción de equipo se estimaron las áreas y longitudes de las partes de la marmita.

- Área lateral de la parte cilíndrica de la marmita

$$A_{\text{lat cilindro}} = 2\pi * r * h \quad \text{Ecuación 30}$$

$$A_{\text{lat cilindro}} = 2 \pi (0,25) * (0,2408) = 0,3782 \text{ m}^2$$

Donde:

$A_{lat\ cilindro}$ = área lateral de la parte cilíndrica de la marmita (m^2)

r = radio de la marmita (m)

h = altura de la marmita (m)

- Área superficial de la parte inferior de la marmita

$$A_{sup} = 2\pi * r^2 \quad \text{Ecuación 31}$$

$$A_{sup} = 2\pi * (0.25)^2 = 0.3927 \text{ m}^2$$

Donde:

A_{sup} : área superficial de la semiesfera, parte inferior de la marmita (m^2)

r = radio de la marmita (m)

- Área del soporte del puente del motor reductor unidos a la marmita

2 secciones rectangulares de $0,089 * 0,20$ m, cada una con un área de:

$$A = b * h \quad \text{Ecuación 32}$$

$$A = 0,089 * 0,20 = 0,0178 \text{ m}^2$$

La parte de la sección circular del cuerpo de la marmita con un área de:

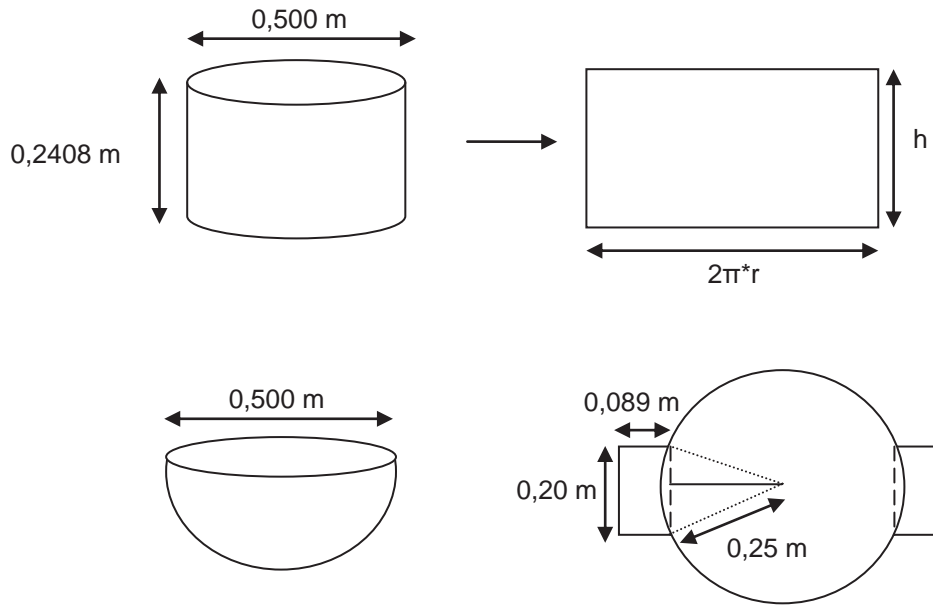
$$A = \frac{\pi * r^2 * \theta}{360^\circ} - \frac{1}{2} b * h \quad \text{Ecuación 33}$$

$$A = \frac{\pi * 0,25^2 * 21^\circ}{360^\circ} - \frac{1}{2} 0,200 * 0,084 = 0,003 \text{ m}^2$$

Área de las alas del soporte del motor reductor unidas a la marmita
 Cada ala con una área de: $0,0178 - 0,003 = 0,0148 \text{ m}^2$

$A = 0,0296 \text{ m}^2.$

Figura 14. **Áreas superficiales de la marmita**



Fuente: elaboración propia.

- Longitud de material para el agitador tipo ancla

Eje de rotación:

Varilla redonda de 1" (0,0254 m) de diámetro con un peso aproximado de 3,850 kg/m en acero inoxidable 430 y largo de 0,4598 m.

Paletas:

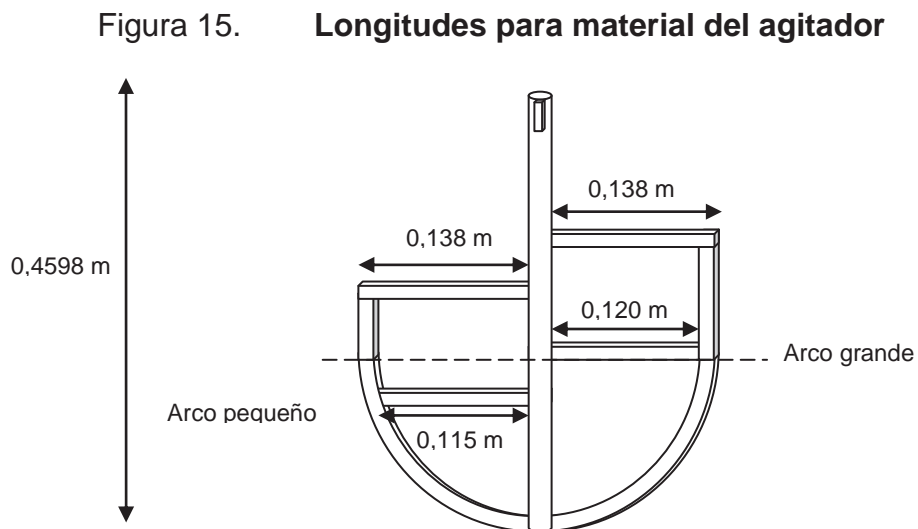
Varilla cuadradas de 0,016 m (16,00 mm) con un peso aproximado de 2 kg/m de acero inoxidable 316L

Longitud: Bases superiores de $0,138 \text{ m} * 2 = 0,276 \text{ m}$

Deflectores de $0,115 \text{ y } 0,120 = 0,235 \text{ m}$

Arco pequeño $0,050 \text{ m} + 0,2346 \text{ m} = 0,2846 \text{ m}$

Arco grande $0,100 \text{ m} + 0,2346 \text{ m} = 0,3346 \text{ m}$



Fuente: elaboración propia.

- Longitud de tubería del intercambiador da calor tipo serpentín

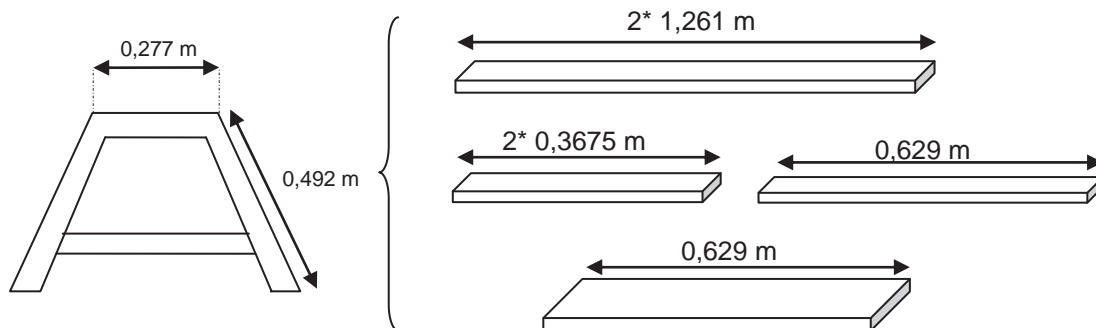
El serpentín está diseñado en 5 vueltas en forma espiral cóncava que se ajusta a la parte inferior de la marmita tipo semiesfera, con una longitud total de 5,425 m, tubería redonda de 3/4 pulgadas de diámetro nominal, diámetro interno de 0,02096 y diámetro externo de 0,0267, con un espesor de 0,0029 de acero inoxidable 316L.

- Longitud de pletinas para el soporte de la marmita basculante.

Soporte en forma trapezoidal para la marmita, con una longitud total de 3,886 m. Pletina de espesor de 20 mm (0,0020 m) y ancho de 80 mm (0,080 m) para las partes laterales en forma de A y la unión entre ellas en la parte trasera.

Una pletina de espesor de 20 mm (0,0020 m) y ancho de 100 mm (0,100 m) para la unión entre las partes laterales en forma de A, en la parte central con una longitud de 0,629 m.

Figura 16. Longitud de pletinas para el soporte de la marmita



Fuente: elaboración propia.

- Área del puente del motor reductor

Sección rectangular de 0,13 m², pletina de acero inoxidable 316L con un espesor de 10 mm (0,01 m), con dos pestañas que agarran los soportes laterales de la marmita. Ver figura 7 del apéndice C, diseño del sistema de agitación y soporte del motor reductor.

Tabla II. **Áreas y longitudes para la estimación de costo en la construcción de la marmita**

	Área (m ²)	longitud (m)
Área cilíndrica de la marmita AISI 316L 1/8 “	0,3782	-
Área inferior marmita, semiesfera AISI 316L 1/8 “	0,3927	-
Longitud de varillas cuadradas 16 mm AISI 316L	-	1,130
Longitud de tubería ¾” nominal AISI 316L	-	5,425
Longitud de pletinas 20 mm* 80 mm AISI 304L	-	3,886
Longitud de pletinas 20 mm* 100 mm AISI 304L	-	0,629
Longitud varilla eje de rotación del agitador 1” diámetro AISI 430	-	0,460
Longitud de pletina del puente del motor 10 mm* 250 mm AISI 316L	-	0,670

Fuente: elaboración propia.

- Volumen real de la marmita

Para el cálculo del volumen real de la marmita se toman en cuenta los volúmenes desplazados por el serpentín interno y el agitador de la capacidad nominal de la marmita que es de 80 L (0,08 m³)

- Volumen del agitador

Para el cálculo del volumen del agitador, se procedió a la separación de sus partes según el apéndice C. Cálculos para la estimación de costos de materiales, longitud de material para el agitador tipo ancla.

$$V = b * l * h \quad \text{Ecuación 34}$$

Barras superiores	$0,2760 * 0,016^2 = 7,060 \text{ E-5 m}^3$
Deflectores	$0,2350 * 0,016^2 = 6,016 \text{ E-5 m}^3$
Arco pequeño	$0,2846 * 0,016^2 = 7,285 \text{ E-5 m}^3$
Arco grande	$0,3346 * 0,016^2 = 8,565 \text{ E-5 m}^3$

$$V = \pi * r^2 * h \quad \text{Ecuación 35}$$

Barra central	$\pi * (0,012)^2 * 0,395 = 0,0002 \text{ m}^3$
---------------	--

Volumen total del agitador	$4,894 \text{ E-4 m}^3 \text{ (0,4894L)}$
----------------------------	---

- Volumen del serpentín

El cálculo del volumen del serpentín se estimo según la ecuación número 30 del inciso anterior, que corresponde al volumen de cuerpos cilíndricos, con un valor total de $0,0029 \text{ m}^3$ (2,899 L)

El volumen real de la marmita es calculada de la siguiente manera:

$$V_{RM} = V_n - V_{ta} - V_s \quad \text{Ecuación 36}$$

$$V_{RM} = 80 - 0.4894 - 2.899 = 76.61 \text{ L}$$

Para una operación óptima la alimentación sugerida no debe sobrepasar los 53,62 L litros que corresponde al 70% de su capacidad total.

Tabla III. Hoja técnica de diseño

Información	Descripción	Indicador	Unidad
Requerimiento de servicios	Energía eléctrica	110/220	V
	Vapor de agua saturada	mínimo 12 máximo 200	PSI
Marmita	Calibre	10	-
	Espesor	0,003	m
	Volumen nominal	0,080	m ³
	Área	0,771	m ²
	Peso	21,42	kg
	Acero inoxidable	316L	AISI/ASTM
Intercambiador de calor	Serpentín interno	0,027 m ø nominal	m
	Diámetro externo	0,027	m
	Diámetro interno	0,021	m
	Espesor	0,003	m
	Longitud de tubería	5,459	m
	Peso	9,280	kg
	Acero inoxidable	316L	AISI/ASTM
Soporte motor reductor	Ancho	0,200	m
	Largo	0,670	m
	Espesor	0,010	m
	Peso	6,220	kg
	Acero inoxidable	304L	AISI/ASTN
Agitador	Longitud de cara	0,016	m
	Arco pequeño	0,200	m
	Arco grande	0,300	m
	Ancho	0,301	m
	Alto	0,250	m
	Eje de rotación	0,025 ø	m
	Peso	4,031	kg
	Acero inoxidable	304 L / 430	AISI/ASTN
Accesorios	Trampas de vapor	¾	Pulg.
	Acoples	¾	Pulg.
	Termómetro	150	°C
	Mangueras EPDM	1,500	m
	Válvulas de bola	¾	Pulg.
	Válvula reguladora de vapor	¾	Pulg.
	Manómetro	60	PSI
	Motor reductor	1/3	Hp
	Tornillos acero inox. 316	Hexagonal ½ x 1 ½ ,	Pulg.
	Tuercas	Ala / hexagonales ½	Pulg.
	Roldanas, arandelas	½	Pulg.

Fuente: elaboración propia.

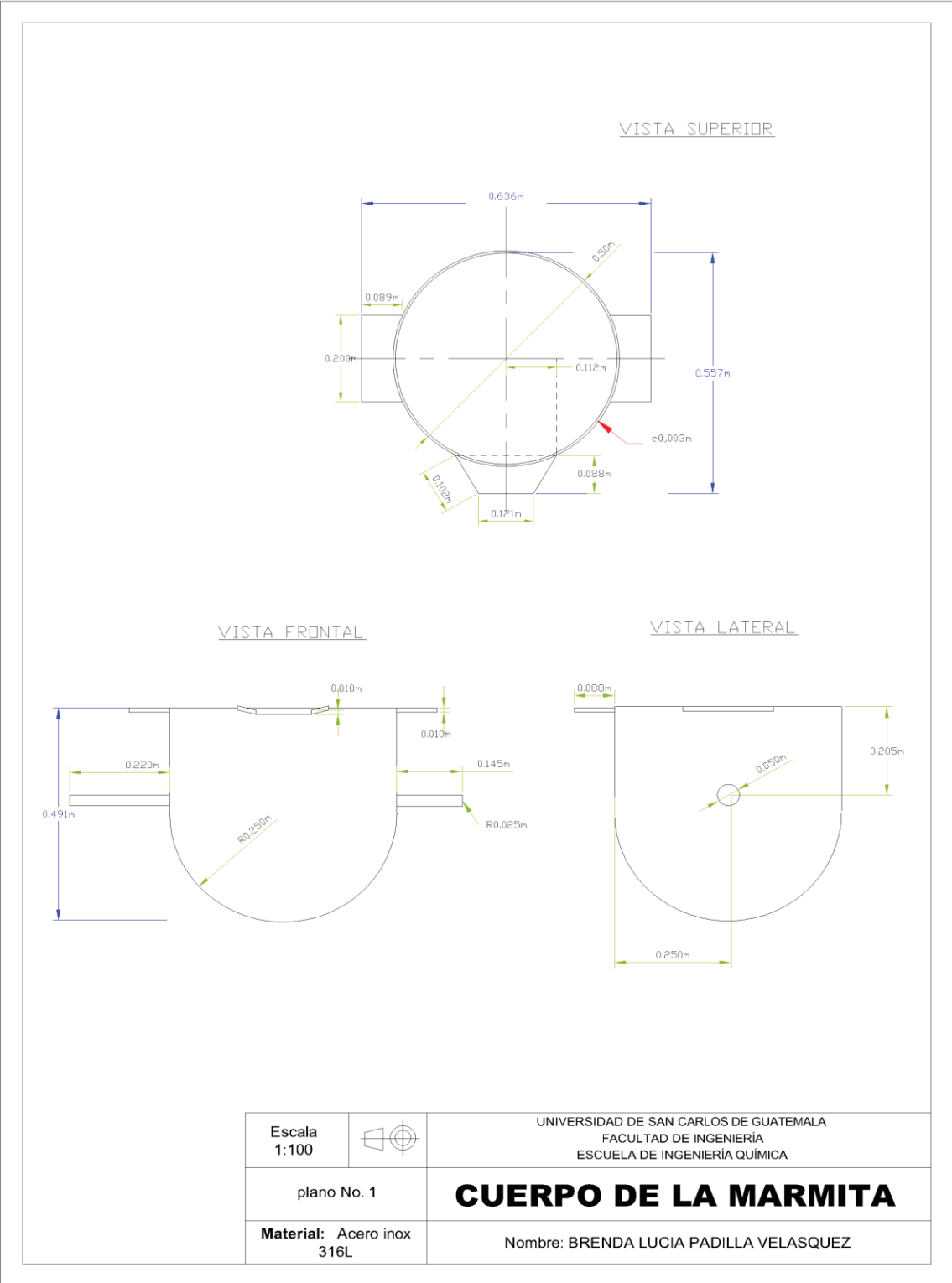
- Planos de diseño

Planos de diseño del equipo y sus partes a escala 1:100 formato A3, en el orden siguiente:

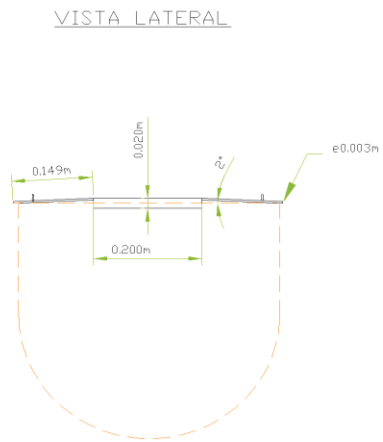
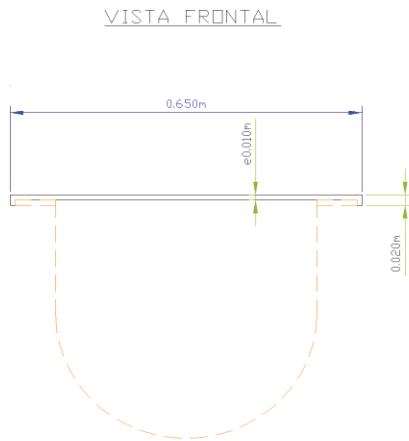
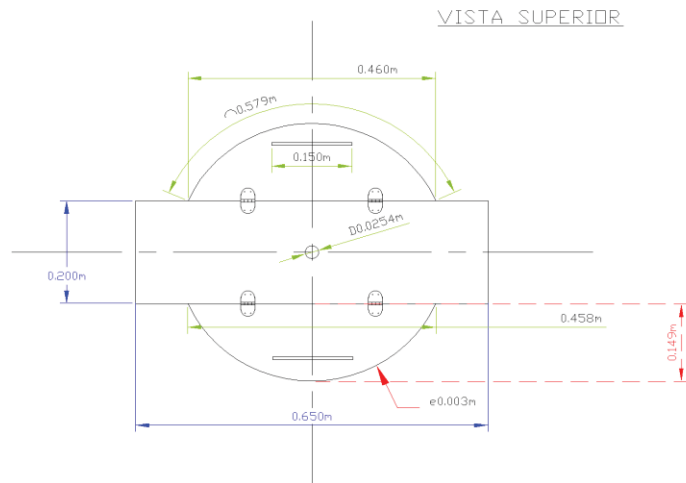
Plano No.

1. Cuerpo de la marmita, material: acero inoxidable 316L.
2. Soporte motor reductor y tapaderas, material: acero inoxidable 316L.
3. Agitador, material: acero inoxidable 316L/430 eje.
4. Serpentín, material: acero inoxidable 316L.
5. Soporte de la marmita, material: acero inoxidable 304L.
6. Marmita con serpentín interno y agitador, material: acero inoxidable 316L/304L
7. Ubicación del equipo en el laboratorio

Elaborados con programa de AutoCAD 2011.



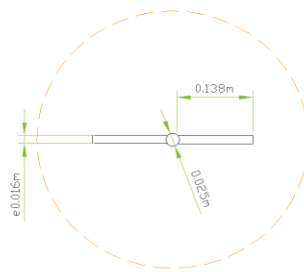
Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2011.



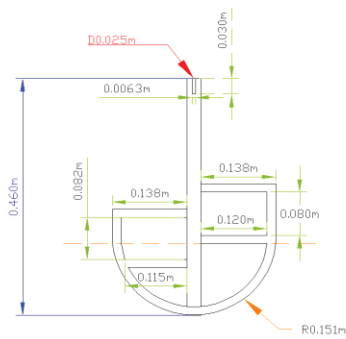
Escala 1:100		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
plano No. 2	SOPORTE MOTOR REDUCTOR Y TAPADERAS	
Material: Acero inox 316L	Nombre: BRENDA LUCIA PADILLA VELASQUEZ	

Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2011.

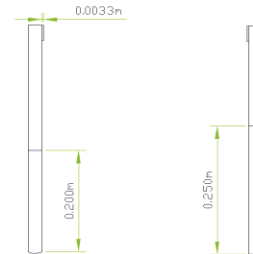
VISTA SUPERIOR




VISTA FRONTAL



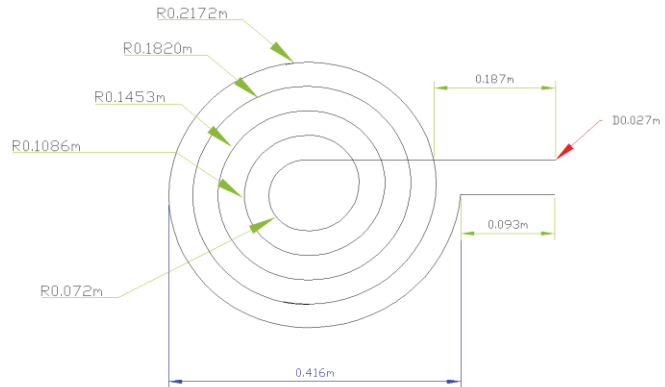
VISTA LATERAL



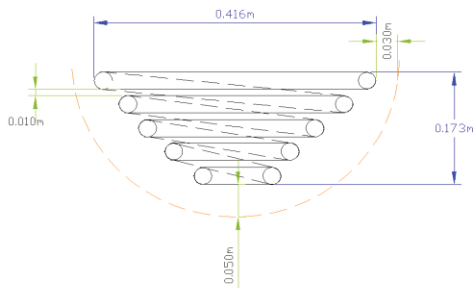
Escala 1:100		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
plano No. 3		AGITADOR
Material: Acero inox 316L/430 eje.		Nombre: BRENDA LUCIA PADILLA VELASQUEZ

Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2011.

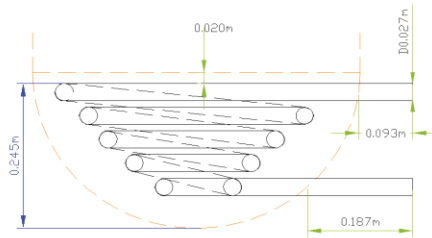
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



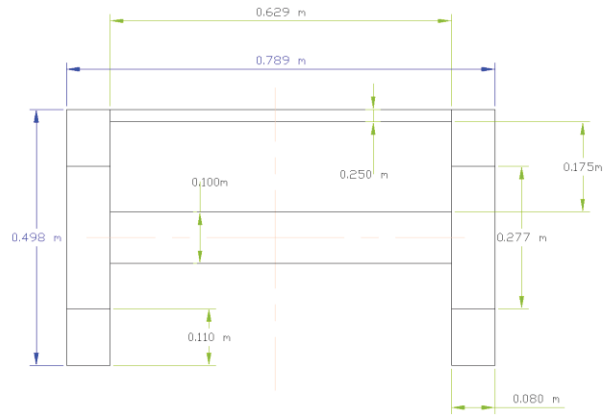
VISTA LATERAL



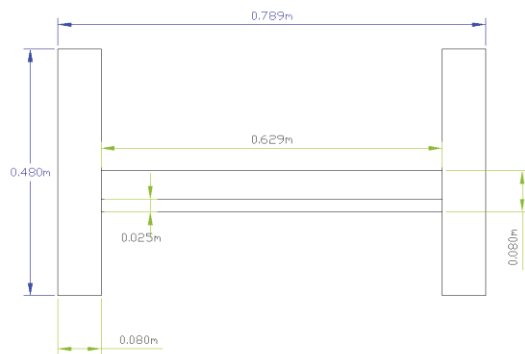
Escala 1:100		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
plano No. 4		SERPENTÍN (IDC)
Material: Acero inox 316L		Nombre: BRENDA LUCIA PADILLA VELASQUEZ

Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2011.

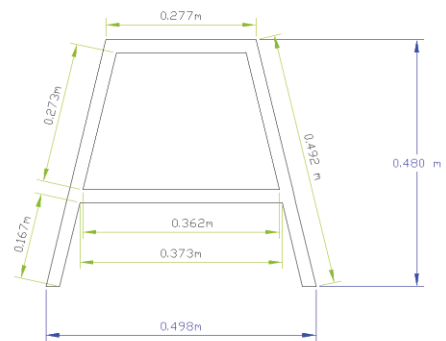
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL

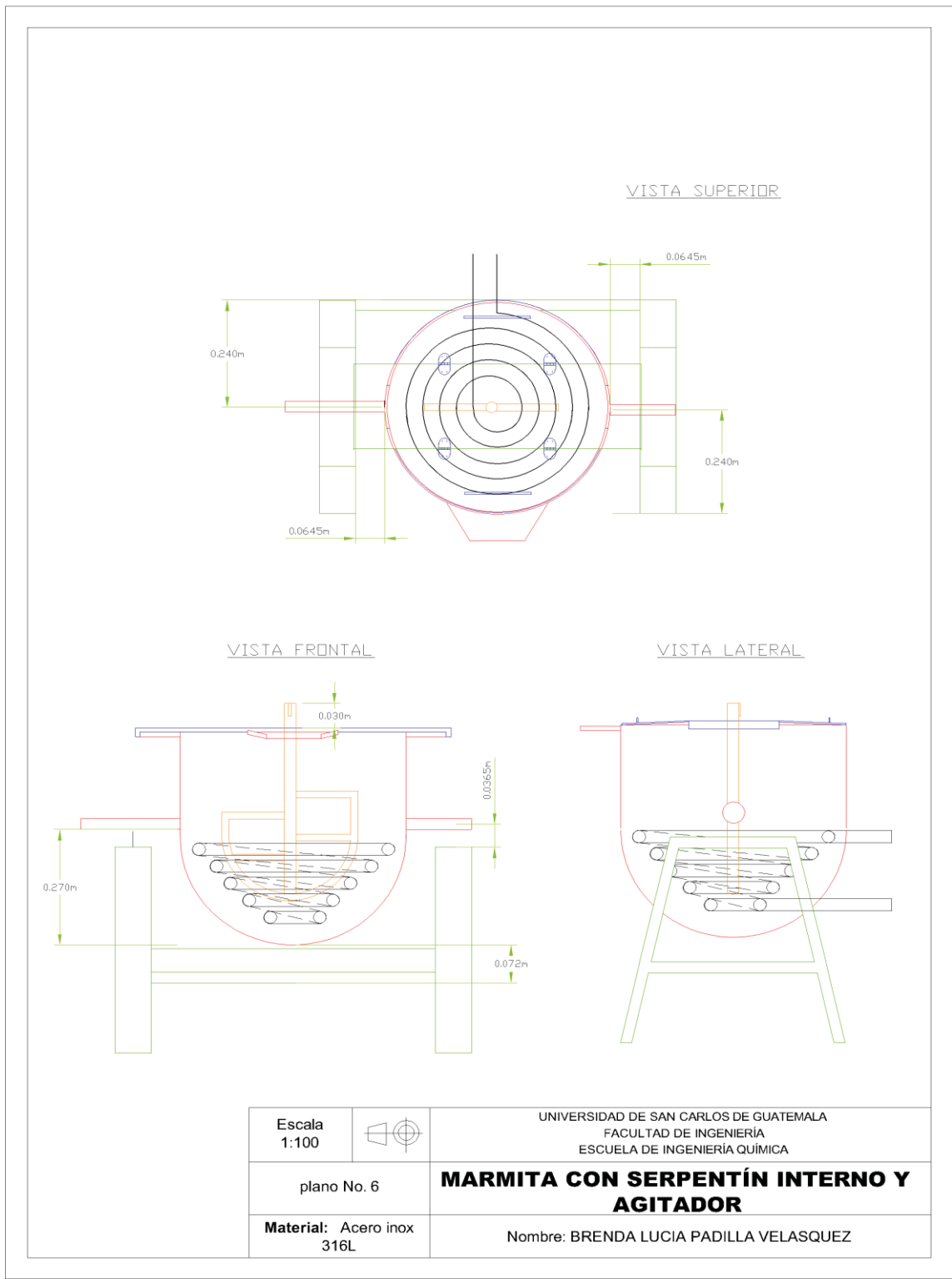


VISTA LATERAL

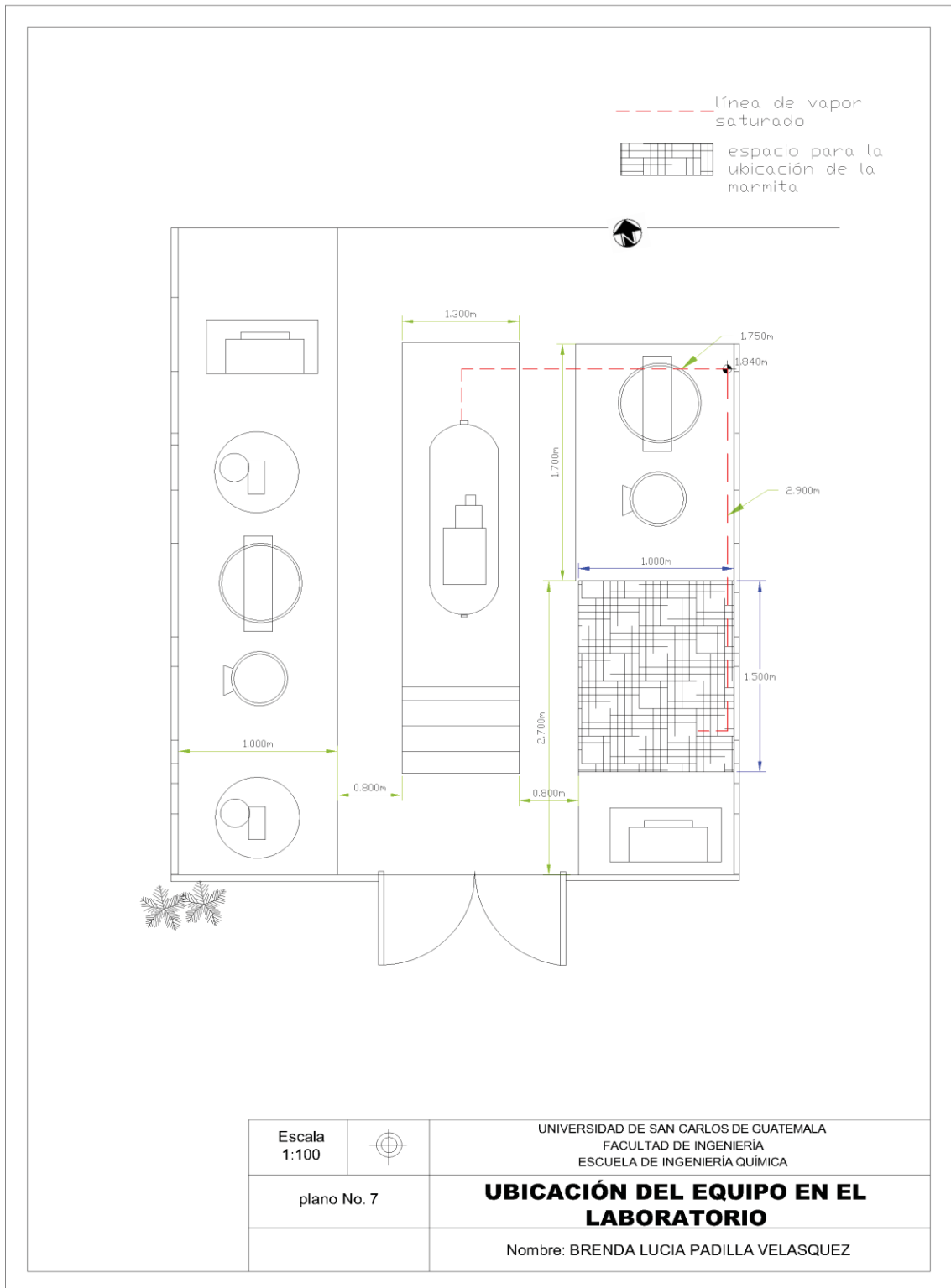


<p>Escala 1:100</p> 	<p>UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p>
<p>plano No. 5</p>	<p>SOPORTE DE LA MARMITA</p>
<p>Material: Acero inox. 304L</p>	<p>Nombre: BRENDA LUCIA PADILLA VELASQUEZ</p>

Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2011.



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2011.



Fuente: elaboración propia, con AutoCAD 2011.

ANEXOS

Ubicación del equipo de evaporación en las instalaciones del Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería.

Figura 1. Área delimitada disponible de 1,00 m x 1,50 m para la implementación del equipo de evaporación



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Consulta: 28 febrero de 2013.

Figura 2. **Área delimitada disponible de 1,00 m x 1,50 m para la implementación del equipo de evaporación**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Consulta: 28 febrero de 2013

Figura 3. **Ubicación de la caldera y área para la descarga del condensado**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Consulta: 28 febrero de 2013

Figura 4. **Línea de vapor disponible en el Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Consulta: 28 febrero de 2013

Figura 5. **Conexiones eléctricas disponibles en el Laboratorio de Extractos Vegetales, LIEXVE**



Fuente: Laboratorio de Investigación de Extractos Vegetales, LIEXVE, sección Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería. Consulta: 28 febrero de 2013

Figura 6. Proforma de motor reductor y chumaceras

Proforma No.
0001897



GUATEMALA	12	MARZO	2013
BRENDA PADILLA			
ATENCION BRENDA PADILLA			

No.	CANTIDAD	DESCRIPCION	ENTREGA	P. Unitario	TOTAL
1	1 UNIDAD	MOTORREDUCTOR HMQ 520 0.33HP 1PH 110/220V RATIO 60/1-30 VUELTAS SALIDA FINAL EJE DE 1" MARCA LEESON USA	INMEDIATA	Q. 5,395.00	Q. 5,395.00
2	2 UNIDAD	CHUMACERA TERMOPLASTICA 205-16 1" COJINETE ACERO INOX MARCA ASAHI	INMEDIATA	Q. 617.25	Q. 1,234.50
TOTAL					Q. 6,629.50

Nota: Los precios ya incluyen I.V.A.






Condiciones de Venta: CONTADO / PREVIA VENTA
Validez: 8 DIAS / PREVIA VENTA
Forma de Pago: CONTADO

Quedamos a sus ordenes para cualquier duda y/o aclaracion. Nuestro lema el cliente es primero.

AVE. PETAPA Y 29 CALLE ESQUINA ZONA 12
Telefono(s) PBX 2326-1200
info@servicaindustrial.com

CRISTIAN PORRAS
ASESORIA Y VENTAS
5308-4865
CPORRAS@SERVICAINDUSTRIAL.COM

Figura 7. Proforma de mangueras, acoples y manómetro

		COTIZACION	BA-	13839
20 calle 8-17 zona 11 col. Mariscal (Administracion y Ventas) TEL. 23835100 / FAX: 2475-0779 e-mail:byron.famagro@gmail.com e-mail:famagro3@itelgua.com				 
Cliente	GUATELU			
Atencion	LUCRECIA			
Tel			Requisicion	
Vendedor	BYRON AGUILAR CEL/ 57034165		Credito:	
FECHA	12-mar.-13		Contado:	X
CANTIDAD	MEDIDA	DESCRIPCION	UNITARIO	TOTAL
1	UNID	MANGUERA PARA VAPOR DE 3/4" X 3MTS DE LARGO CON 2 ACOPLER MACHOS Y 2 ACOPLER HEMBRAS PARA VAPOR DE 3/4"Y MANOMETRO CARATULA 4" RAIZ 1/4" HORIZONTAL SECO CAJA INOX DE 0 A 200 PSI	Q2,850.00	Q2,850.00
		MANGUERA (250 PSI- 450°F)		
			TOTAL	Q2,850.00
<i>Observaciones</i>				
<i>Lugar de Entrega:</i>	SUS BODEGAS			
<i>Tiempo de Entrega:</i>	INMEDIATA			

Fuente: Famagro, 20 calle 8-17 zona 11.

Figura 8. Proforma de acero inoxidable para el equipo No.1



Todos los materiales para Investigación Científica y Fabricación

Acero Inoxidable - AISI 316L
Fe/Cr18/Ni10/Mo 3

Última actualización
5 de julio de 2013
FF210401

Lamina



Espesor: Calibre 10
Temple: Recocido
Tolerancias > 0.050 mm espesor ± 10%

Código pedido	Tamaño	
840-588-14	4' x 8'	USD 496,00

Tubo



Diámetro exterior: 3/4" nominal
Espesor de pared: 2.87 mm
Diámetro interior: 29.6 mm
Temple: Recocido
Tolerancias
Diámetro exterior: > 5 mm ± 5%
Espesor de pared: ± 10%
Longitud: < 100 mm ± 1 mm
> 100 mm ± 5%

Código pedido	Longitud	
970-571-43	6,10 m	USD 1198,00

Esferas y Semiesferas



Diámetro: 500 mm
Tolerancia: ±12,7 µm
Esfericidad: 2,50 µm
Grade: precision semiesferica
Espesor: 3,43 mm nominal
Tolerancias Diámetro (estándar): ±5%

Código pedido	Cantidad	
359-714-09	1	USD 570,00

Pletina



Espesor: 10 mm
Temple: Recocido
Tolerancias > 0.050 mm espesor ± 10%

Código pedido	Tamaño	
940-155-04	200 x 700 mm	USD 198,00

Vara cuadrada



Longitud de la cara: 16 mm
Temple: Recocido
Tolerancias > 0.050 mm espesor ± 10%

Código pedido	Tamaño	
324-334-43	2,00 m	USD 310,00

Goodfellow Corporation

125 Hookstown Grade Road, Coraopolis, PA 15108-9302, USA
Correo electrónico: info@goodfellowusa.com
Teléfono: 1 800 821 2870
Fax: 1 800 283 2020

Embalaje

Condiciones de envío

Descuento por pedir EN-LINEA 5 % on the prices displayed here.

Embalajes incluidos en el precio

Los precios incluyen la entrega pero no los impuestos locales

Fuente: <http://www.goodfellow.com>. Consultado: julio de 2013

Figura 9. Proforma de acero inoxidable para el equipo No. 2



Todos los materiales para Investigación Científica y Fabricación

Acero Inoxidable - AISI 304L

Fe/Ni18/Cr10

Última actualización
5 de julio de 2013

FA140230

Pletina



Espesor: 25 mm
Temple: Recocido
Tolerancias > 0.050 mm espesor 10%

Código pedido	Tamaño	
550-019-22	80 x 4000 mm	USD 590,00

Pletina



Espesor: 25 mm
Temple: Recocido
Tolerancias > 0.050 mm espesor 10%

Código pedido	Tamaño	
726-798-54	100 x 1000 mm	USD 190,00

Acero Inoxidable - AISI 430

Fe81/Cr17/Mn/Si/C/S/P

Última actualización
5 de julio de 2013

FF237920

Vara Redonda



Diámetro: 25 mm
Tolerancias Diámetro: > 10 mm ± 5%
Longitud: > 100 mm ± 5%

Código pedido	Longitud	
413-092-32	1000 mm	USD 200,00



Entrega y Embalajes incluidos en el precio
Los precios incluyen la entrega pero no los impuestos locales

Total	USD 3752,00
Descuento total a 5%	187,60
	USD 3564,40

Goodfellow Corporation

125 Hookstown Grade Road, Coraopolis, PA 15108-9302, USA
Correo electrónico: info@goodfellowusa.com
Teléfono: 1 800 821 2870
Fax: 1 800 283 2020

Embalaje Embalajes incluidos en el precio
Condiciones de envío Los precios incluyen la entrega pero no los impuestos locales
Descuento por pedir EN-LINEA 5 % on the prices displayed here.

Fuente: <http://www.goodfellow.com>. Consultado: julio de 2013

Figura 10. Proforma de transporte de materia prima



SUR AMERICA RUTAS INTERNACIONALES, S.A.

**Guatemala,
29 de julio de 2013
REF. 04-011-IM-AR**

SEÑORES: Brenda Lucia Padilla Velásquez
Presente.

Estimada Brenda:
A continuación encontrará nuestra propuesta para la importación de PIEZAS DE ACERO INOXIDABLE DE DIFERENTES DIMENSIONES.

Flete Marítimo Consolidado

ORIGEN: CORAOPOLIS PA
ZIP CODE: 15108
DESTINO: GUATEMALA, GUATEMALA
TIEMPO ESTIMADO DE TRANSITO PA- MIAMI: 4 DIAS
TIEMPO ESTIMADO DE TRANSITO MIAMI-GUATEMALA: 8 DIAS
PESO: 442.80 LIBRAS
VOLUMEN: 300 PIES CUBICOS

Flete Marítimo	USD	420.00
Documentación:	USD	50.00
BL:	USD	25.00
Bunker:	USD	45.00
In-Land :	USD	555.00

TOTAL DE FLETE MARITIMO: USD 1,095.00

Gastos por revisión SAT en puerto (selectivo rojo) prorrateado

Observaciones:

- Incluye gastos en origen por flete interno
- Seguro opcional de bodega a bodega, contra todo riesgo con una prima de 0.70%.**
- La presente cotización incluye únicamente los servicios descritos.
- No incluye el pago por almacenaje en almacenadora fiscal.
- La plancha de acero inoxidable se ha considerado como pies cúbicos lineales ya que no se puede colocar ningún tipo de carga sobre ella.
- Esta cotización puede variar si los pesos y volumen cambian.

Observaciones:

- Incluye gastos en origen por flete interno
- Seguro opcional de bodega a bodega, contra todo riesgo con una prima de 0.70%.**
- La presente cotización incluye únicamente los servicios descritos.
- No incluye el pago por almacenaje en almacenadora fiscal.
- La plancha de acero inoxidable se ha considerado como pies cúbicos lineales ya que no se puede colocar ningún tipo de carga sobre ella.
- Esta cotización puede variar si los pesos y volumen cambian.

Cualquier consulta adicional no dude en contactarnos. Esperamos poder servirle pronto.

Atentamente,

Marlon Zaldaña
Cel.: (502) 47707870

SARI EXPRESS, S.A.
3era. Avenida 6-87 Zona 14 Colonia El Campo
TEL. 2368-2886 / 2367-5784 / 2366-2819 / 2367-6178 Fax: 2337-1191

Fuente: SARI EXPRESS S.A, 3 avenida 6-87 zona 14 colonia El Campo.

Figura 11. Impuestos de importación



SUR AMERICA RUTAS INTERNACIONALES, S.A.

Guatemala,
29 de julio de 2013
REF. 04-011-IM-DAI-IVA



SEÑORES: Brenda Lucia Padilla Velásquez
Presente.

Estimada Brenda:

A continuación encontrará los derechos arancelarios a la importación y el impuesto al valor agregado de los
PIEZAS DE ACERO INOXIDABLE DE DIFERENTES DIMENSIONES.

- | | |
|---|---|
| 1- Plancha de acero inoxidable tipo 316L:
4 x 8 pies calibre 10
precio \$496.00
DAI: 0.00
IVA: Q.466.39 | 5- Barras o varas cuadradas solidas
de acero inox. tipo 316L
longitud de las caras 16 mm
largo: 2 mts
precio \$310.00
DAI: Q.0.00
IVA: Q.291.49 |
| 2- Tubo acero inoxidable tipo 316L:
Diámetro nominal 3/4"
largo: 6.10 mts
precio \$1198.00
DAI: Q.0.00
IVA: Q.1,126.47 | 6- Pletinas de acero inoxidable 304L
80 x 4000 x 25 mm
precio \$590.00
DAI: Q.0.00
IVA: Q.554.77 |
| 3- Media esfera de acero inoxidable tipo 316L
espesor de 3.43mm , radio 25cm
precio \$570.00
DAI: Q.446.64
IVA: Q.589.57 | 100 x 100 x 25 mm
precio \$190.00
DAI: Q.0.00
IVA: Q.178.66 |
| 4- Pletinas de acero inoxidable tipo 316L
200 x 700 mm espesor 10 mm
precio \$198.00
DAI: Q.0.00
IVA: Q.186.18 | 7- Barra o vara redonda solida
acero inoxidable tipo 403
longitud: 1 m
precio \$200.00
DAI: Q.0.00
IVA: Q.188.06 |

TOTAL \$3752.00
(-5% descuento) \$3564.40

TOTALES:
DAI: Q.446.47
IVA: Q.3,581.59

TOTAL IMPUESTOS DE IMPORTACION: Q.4,028.06

Cualquier consulta adicional no dude en contactarnos. Esperamos poder servirle pronto.

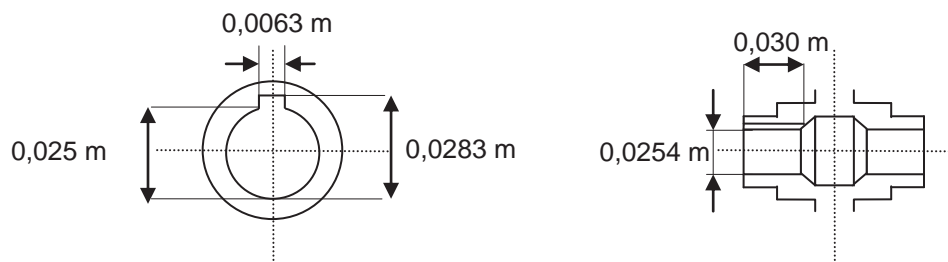
Atentamente,

Marlon Zaldaña
Cel.: (502) 47707870

SARI EXPRESS, S.A.
3era. Avenida 6-87 Zona 14 Colonia El Campo
TEL. 2368-2886 / 2367-5784 / 2366-2819 / 2367-6178 Fax: 2337-1191

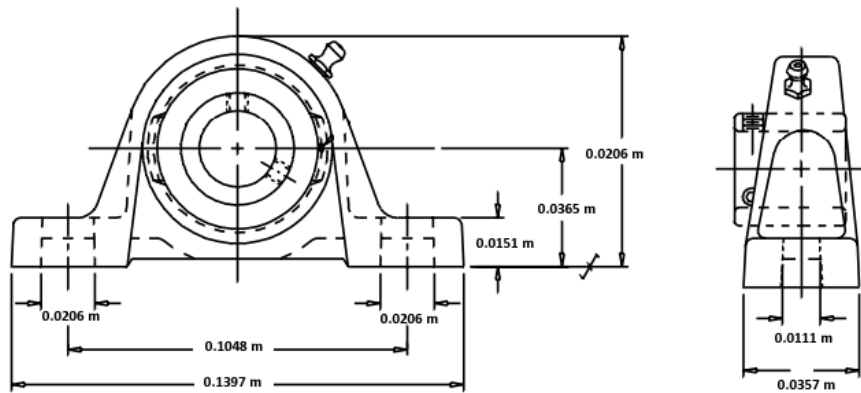
Fuente: SARI EXPRESS S.A, 3 avenida 6-87 zona 14 colonia El Campo.

Figura 14. Eje que se acopla al motor reductor



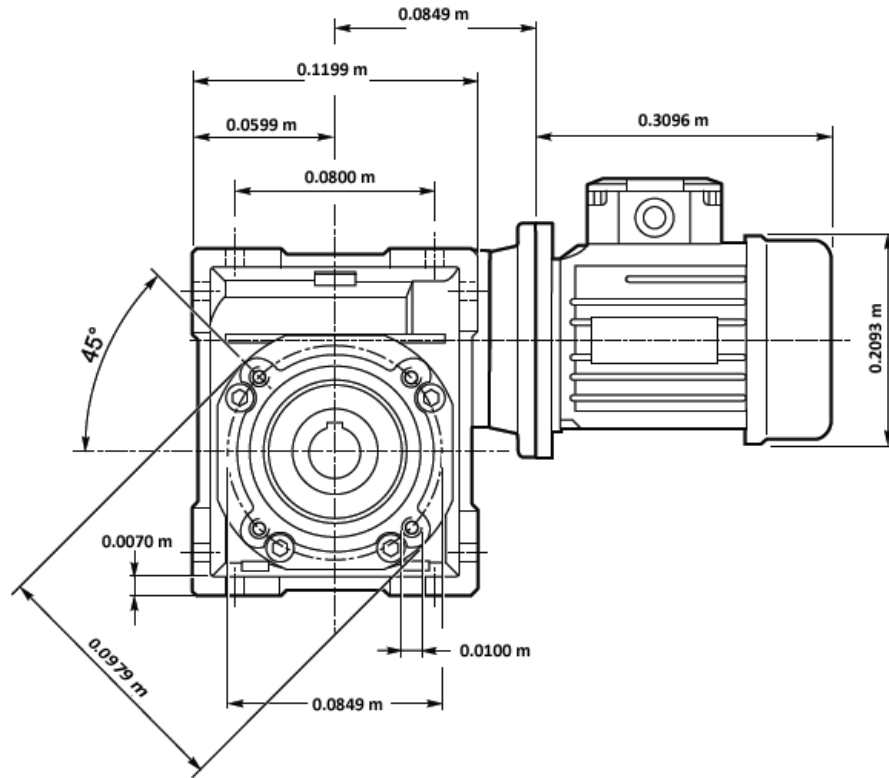
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Chumaceras de 1" de diámetro de cojinete



Fuente: Especificaciones de la chumacera, Servica Industrial. Av. Petapa y 29 calle zona 12.

Figura 16. Dimensiones del motor reductor



Fuete: Especificaciones del motor reductor, Servica Industrial. Av. Petapa y 29 calle zona 12.

