

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Mecánica

SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
**Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica,  
con énfasis en Sistemas Térmicos y Energía**

PROYECTO PROFESIONAL SP-6215

**Informe de Investigación**

**COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS  
MARMITAS DE GAS PROPANO, VAPOR Y ELÉCTRICAS.**

Elaborado por:  
Alvaro Sequeira Montero  
Carné universitario 754181

2005

## HOJA DEL TRIBUNAL

### COMPARACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LAS MARMITAS DE GAS PROPANO, VAPOR Y ELÉCTRICAS.

Trabajo de Graduación para aspirar al grado de Maestría Profesional en Ingeniería Mecánica, con énfasis en Sistemas Térmicos y Energía, presentado por Alvaro Sequeira Montero, el día 8 de agosto del 2005 ante el Tribunal calificador integrado por:



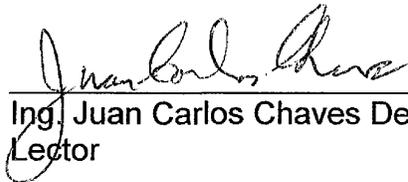
---

Ing. Carlos Umaña Q, M. Sc.  
Representante del Decano del S.E.P.



---

Ing. Elmer Arias Arias, M. Sc.  
Profesor Guía



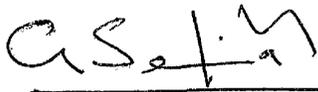
---

Ing. Juan Carlos Chaves De Oña, Ph. D.  
Lector



---

Ing. Jhymmer Rojas Vázquez, Máster en Ingeniería Mecánica  
Lector



---

Alvaro Sequeira Montero  
Postulante

## PENSAMIENTO

Ningún  
camino fácil  
te llevará  
a algo que  
merezca  
la pena

*Proverbio*

## DEDICATORIA

A mi esposa Marta Eugenia por su agradable compañía, apoyo y sus cristalinos consejos, ... siempre.

A mis hijos, Alvaro José, Natalia, Laura y Ana Patricia, por hacerme reír en todo momento.

A mi tío Chema, quién junto con mis padres (q.d.D.g), me inculcaron valores desde temprano, que al transcurrir el tiempo se han convertido en guía.

Gracias.

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Elmer Arias por su acertada guía en la realización de este Trabajo.

A los ingenieros Juan Carlos Chaves y Jhymer Rojas por sus valiosos aportes al Proyecto.

A los profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica, especialmente a: Ing. Alejandro Pacheco, Ing. Luis Carlos González, Ing. Jorge Lafuente e Ing. Carlos Umaña, por sus valiosas enseñanzas y su sincera amistad.

# CONTENIDO

	<i>página</i>
<b>HOJA DEL TRIBUNAL .....</b>	<b>i</b>
<b>PENSAMIENTO.....</b>	<b>ii</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 JUSTIFICACION.....	1
1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	2
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.3 ANTECEDENTES.....	2
<b>2. GENERALIDADES SOBRE LAS MARMITAS .....</b>	<b>3</b>
2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MARMITAS .....	3
<b>3. CÁLCULOS DE LA ENERGÍA CALÓRICA SUMINISTRADA POR EL QUEMADOR DE GAS PROPANO .....</b>	<b>7</b>
3.1 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DE LA MARMITA DE GAS.....	7
3.2 TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE LA MARMITA DE GAS.....	9
3.2.1 <i>Calor absorbido por el producto</i> .....	10
3.2.2 <i>Flujo de calor máximo entre el vapor de la chaqueta y el producto</i> .....	11
3.2.3 <i>Tiempo de calentamiento de una marmita de vapor</i> ..	12
<b>4. EVALUACIÓN DE LOS COSTOS AL UTILIZAR UNA MARMITA DE VAPOR, UNA ELÉCTRICA Y UNA ALIMENTADA CON AGUA CALIENTE PROVENIENTE DE UN CALENTADOR DE GAS PROPANO .....</b>	<b>14</b>
4.1 MARMITA DE VAPOR.....	14
4.1.1 <i>Tiempo de calentamiento</i> .....	22
4.1.2 <i>Costo de instalación</i> .....	23
4.1.3 <i>Costo de operación</i> .....	24
4.2 MARMITA ELÉCTRICA.....	25
4.2.1 <i>Tiempo de calentamiento</i> .....	25
4.2.2 <i>Costo de instalación</i> .....	26
4.2.3 <i>Costo de operación</i> . ....	27
4.3 MARMITA DE AGUA CALIENTE PROVENIENTE DE UN CALENTADOR DE GAS PROPANO .....	28
4.3.1 <i>Tiempo de proceso</i> .....	28

<b>5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
5.1 MARMITA DE GAS .....	29
5.2 ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN DE UNA MARMITA DE VAPOR Y UNA ELÉCTRICA.....	30
5.2.1 <i>Marmita de vapor y marmita eléctrica</i> .....	30
5.2.2 <i>Análisis económico para determinar el tipo de marmita a utilizar</i> .....	30
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>34</b>
<b>8. SIMBOLOGÍA.....</b>	<b>36</b>
<b>9. APÉNDICE.....</b>	<b>37</b>

## RESUMEN

Dado las altas inversiones en equipamiento e infraestructura para la generación de vapor para el uso en marmitas y el alto costo de la energía así como los largos tiempos de respuesta para las marmitas eléctricas, se pretende con este trabajo analizar la alternativa del uso del gas propano como fuente de energía. Se plantean dos sistemas; directamente con un quemador de gas, e indirectamente con agua caliente desde un generador de agua caliente a gas.

Se realizan los cálculos de la energía necesaria para calentar un producto, agua en este caso, en una marmita con una capacidad de 225 litros. Esto se compara con la capacidad de los quemadores disponibles en el mercado local, determinándose que no es suficiente. Resultan tiempos de calentamiento extremadamente largos por cuanto el área, característica de las marmitas típicas, no permite la adecuada transferencia de calor, debido a que no hay área suficiente para un intercambio eficiente entre superficie de la marmita y los gases de combustión. Los tiempos de calentamiento son inclusive mayores a los de las marmitas eléctricas. Por lo tanto, la alternativa de utilizar directamente un quemador de gas propano como fuente de energía en una marmita no resulta factible. También se descarta el sistema de utilizar agua caliente proveniente de un calentador con gas propano, pues se determinó que el tiempo de calentamiento es mayor que el de las marmitas eléctricas.

Con el fin de dar a la Industria Alimentaria elementos de juicio para la elección de una marmita, se realizó un estudio comparativo del costo de inversión y producción utilizando marmitas de vapor versus marmitas eléctricas.

Se determinó que la inversión inicial en equipos, tanques de almacenamiento, tuberías y accesorios que se debe realizar para producir vapor para uso en una marmita es de  $\$15\,130\,577,00$  y el costo de operación es de  $\$5\,866,55$  por hora. Mientras que en el caso de la marmita eléctrica, la inversión inicial es de  $\$1\,600\,000,00$  y el costo de operación es de  $\$1\,301,65$  por hora.

Tal vez el factor más importante no es el costo de operación por hora, sino el costo de lograr la función, pues como se ha dicho, los tiempos son más largos utilizando marmitas eléctricas. Por esta razón el estudio tuvo como alcance determinar este costo como un aporte que contribuya a la Industria Alimentaria a seleccionar la marmita óptima. Para realizar este estudio se asumieron dos marmitas en iguales condiciones de operación para preparar agua pasteurizada, similar al agua embotellada vendida en el comercio. En este estudio se determinó que, a pesar de la alta inversión que representa, las marmitas de vapor resultan una mejor opción. La utilidad anual es casi cuatro veces mayor que en el caso de una marmita eléctrica y su tiempo de recuperación es cerca de cuatro meses.

Cabe aclarar que en los cálculos no se consideran algunos gastos directos e indirectos que influyen en las utilidades. El objeto de este trabajo fue focalizar los costos relativos a la inversión inicial y los costos energéticos de producción.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 JUSTIFICACION

Las marmitas son sistemas de calefacción indirecta ampliamente utilizados en la industria alimentaria y farmacéutica.

Normalmente, tanto local como en el ámbito internacional, se fabrican estos equipos de dos formas. Una utiliza vapor de una caldera, llamada por este motivo marmita de vapor; la otra utiliza resistencias eléctricas, llamada marmita eléctrica.

La utilización de marmitas de vapor implica altas inversiones para la industria por la necesidad de una infraestructura costosa; i.e. caldera con su respectiva sala, sistema para almacenamiento y tratamiento de agua, almacenamiento y alimentación de combustible, sistemas de tuberías y accesorios, así como la disponibilidad para la emisión de gases de combustión. Por lo general estas inversiones en equipamiento se justifican únicamente cuando se tienen altas demandas de vapor; para el consumo de vapor de una o dos marmitas pequeñas no tienen sentido ni viabilidad económica.

Por otro lado, la utilización de marmitas eléctricas tiene dos inconvenientes. El primero es que utilizan agua líquida saturada como fluido térmico y por lo tanto solo se dispone de calor sensible para transferencia, lo que hace que resulten térmicamente muy ineficientes. En especial por los largos periodos de operación requeridos para lograr la función. El otro aspecto es el alto costo de operación por el consumo de energía eléctrica.

Por lo anterior, es común encontrar en las pequeñas empresas situaciones de sub-utilización de equipamiento por un lado, y falta de competitividad por altos costo de operación por otro. Ante esta situación, se pretende con este trabajo, realizar un estudio que contemple la factibilidad técnica y económica al utilizar gas propano como fuente de energía en las marmitas.

El uso del gas propano en marmitas no ha sido estudiado, sin embargo en algunos talleres industriales e industrias alimentaria su utilización es amplia pero empírica.

No se pretende entrar en consideraciones y detalles de diseño de las marmitas, pues esto ha sido considerado en trabajos de graduación anteriores.

## 1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos del proyecto son:

### 1.2.1 Objetivo general.

Analizar la factibilidad técnica de utilizar gas propano como fuente de energía en marmitas de dos maneras, i.e. directamente con un quemador de gas, e indirectamente con agua caliente desde un generador de agua caliente a gas. Además realizar una comparación técnico-económica de las marmitas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Definir la forma, presión de operación, material, espesores del recipiente y de la chaqueta, así como el fluido térmico más conveniente para utilizar en la chaqueta de una marmita de gas con una capacidad de 225 litros (60 galones).
- Hacer los cálculos que relacionen las variables masa, temperaturas y capacidad térmica del producto a procesar, con la energía necesaria para calentarlo.
- Determinar la cantidad de energía necesaria para calentar el producto, y compararlo con el flujo de calor que brindan los quemadores de gas propano disponibles en el país con el propósito de diseñar un sistema de combustión que sea posible de construir localmente.
- Realizar un estudio comparativo de la inversión y de los costos energéticos de operación para utilizar marmitas de vapor, eléctricas y de gas propano.

## 1.3 ANTECEDENTES

Con el propósito de determinar la existencia de investigaciones o experiencias realizadas con anterioridad sobre el tema, se consultó en centros de documentación –tanto nacionales como extranjeros- sobre aspectos de diseño de marmitas de gas al utilizar directamente el gas propano como combustible en estos equipos. Sin embargo no se determinaron trabajos específicos sobre marmitas de gas.

## 2. GENERALIDADES SOBRE LAS MARMITAS

Este capítulo presenta algunos aspectos básicos sobre el tipo, funcionamiento y algunas consideraciones prácticas de las marmitas.

### 2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS MARMITAS

Las mayoría de las marmitas consisten básicamente de una cámara de calefacción conocida como camisa o chaqueta, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar (figura 1).

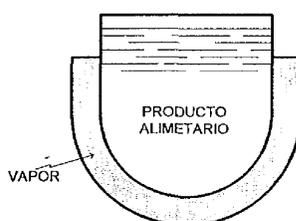


Figura 1  
Esquema básico de una marmita de vapor

Normalmente el calentamiento en Costa Rica se realiza por medio de dos formas, una la mostrada en la figura 2, que consiste en hacer circular vapor a cierta presión por la cámara de calefacción. En este caso el vapor es suministrado por una caldera, y por este motivo es llamada marmita de vapor. En estas marmitas, la chaqueta tiene conexiones para la entrada de vapor y salida de condensado.

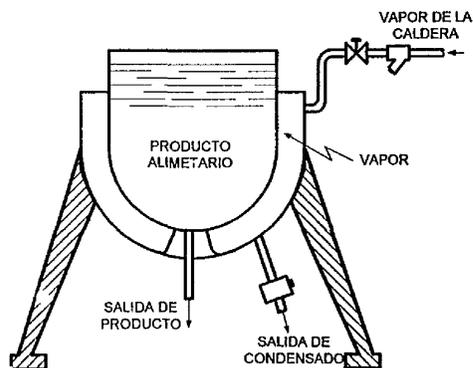


Figura 2  
Marmita de vapor

El otro tipo de calentamiento es el mostrado en la figura 3, que consiste en calentar el agua que se encuentra en la cámara de calefacción por medio de resistencias eléctricas. Las marmitas que utilizan este tipo de calentamiento se conocen como marmitas eléctricas.

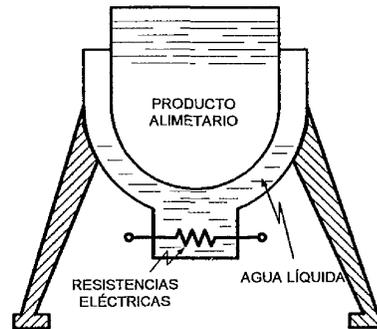


Figura 3  
Marmita eléctrica

Existe una tercera forma de calentamiento, que es por medio de la combustión de gas propano en el propio sitio de la marmita. Sin embargo ésta no ha sido estudiada en Costa Rica, y en algunos pocos lugares que la utilizan su uso es empírico.

Las marmitas se construyen de acero inoxidable o cobre. El cobre tiene la ventaja de poseer mayor conductividad térmica que el acero inoxidable, sin embargo tiene el inconveniente de contaminar el alimento y de actuar como catalizador en la destrucción de la vitamina C.

Normalmente las marmitas tienen forma hemisférica y pueden estar provistas de un agitador mecánico.

Independientemente de la forma de calentamiento, se pueden encontrar dos tipos de marmitas: abiertas y cerradas. En las marmitas abiertas el producto es calentado a presión atmosférica, mientras que en las marmitas cerradas se emplea vacío. El uso de vacío facilita la extracción de aire del producto y permite hervirlo a temperaturas menores que las requeridas a presión atmosféricas, esto evita o reduce la degradación de aquellos componentes del alimento que son sensibles a las altas temperaturas, y por lo tanto favorece la conservación de las características sensoriales (color, sabor, aroma, textura) y del valor nutritivo, obteniéndose así productos de mejor calidad. Sin embargo, el costo de las marmitas a vacío es mayor, pues aún cuando el sistema de calefacción es similar

al de las marmitas abiertas, estas cuentan con un sistema para la producción de vacío y un sistema de condensación que permite recoger el agua y las sustancias volátiles extraídas al producto. El presente estudio se aplicará a marmitas tanto abiertas como cerradas.

A continuación se mencionan las principales consideraciones prácticas, que deben tomarse en cuenta con el fin de asegurarse el uso eficiente de las marmitas:

### ***Marmitas de vapor.***

- En la chaqueta debe minimizarse el aire mezclado con el vapor de agua por las siguientes razones :

- a. La presencia de aire reducirá la temperatura del vapor.
- b. El aire reducirá la rapidez de transmisión de calor.
- c. El aire interferirá con la distribución de calor.

Por estas razones se requiere de una adecuada purga de aire.

- En estas marmitas, debe existir una purga adecuada del condensado, debido a que su presencia en la chaqueta, reduce la superficie de calefacción y disminuye la rapidez de la transmisión de calor.

### ***Marmitas eléctricas.***

- Por las siguientes razones el nivel de agua líquida en la chaqueta debe ser el indicado por el fabricante,:

a. Si el nivel aumenta, el espacio disponible para la cámara de vapor disminuye, de manera que el tiempo de calentamiento del producto aumenta.

b. Si el nivel disminuye, hay peligro que las resistencias eléctricas queden descubiertas de agua líquida, produciendo un calentamiento indeseable en el fondo de la marmita, que produce expansiones no uniformes que generan deformaciones en el fondo de la marmita.

- En la chaqueta debe minimizarse el aire presente, por las siguientes razones :

- a. La presencia de aire reducirá la temperatura del agua líquida y de vapor.
- b. El aire reducirá la rapidez de transmisión de calor.
- c. El aire interferirá con la distribución de calor.

Por estas razones se requiere de una adecuada purga de aire, en el momento de introducir el agua líquida en la chaqueta.

Además se debe cargar de producto la marmita, antes de conectar las resistencias eléctricas. Igualmente, hay que asegurarse de desconectar la corriente eléctrica de las resistencias, antes de desalojar el producto de la marmita. Esto para que siempre haya producto que disipe o absorba la energía que producen las resistencias.

La agitación aplicada al producto, debe ser capaz de mantener el fluido en movimiento sobre la superficie de intercambio de calor, con el fin de obtener coeficientes de transmisión de calor elevados y prevenir recalentamientos locales.

Con respecto a la utilización de las marmitas, estas pueden cumplir con muchas funciones diferentes. Comúnmente se utilizan en la concentración de productos en estado líquido y semilíquido como jaleas, néctares, mermeladas, confituras, jarabes y salsas.

También se emplean para deaerear y pasteurizar productos tales como jugos y néctares, escaldar y cocinar frutas y hortalizas, pelar productos químicamente, mezclar los ingredientes de un producto, preparar y calentar líquidos de cobertura, etc.

### 3. CÁLCULOS DE LA ENERGÍA CALÓRICA SUMINISTRADA POR EL QUEMADOR DE GAS PROPANO

En este capítulo se presentan los principales cálculos de la energía calórica del sistema de combustión de una marmita gas y el tiempo de calentamiento.

Como se indicó al final de la sección 1.1, este trabajo no tiene entre sus objetivos el diseño del cuerpo de la marmita, por lo que en este capítulo se calcula la cantidad de energía necesaria para calentar el producto y se compara con el flujo de calor de los quemadores de gas propano distribuidos en el país que tienen relación con el proyecto.

#### 3.1 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DE LA MARMITA DE GAS

La marmita que tendrá el sistema de combustión de gas diseñado, está compuesta de tres partes (ver figura 4) :

- a. El recipiente.
- b. La chaqueta de calentamiento
- c. Pozo o zona e intercambio de calor entre el quemador y el agua líquida de la chaqueta.

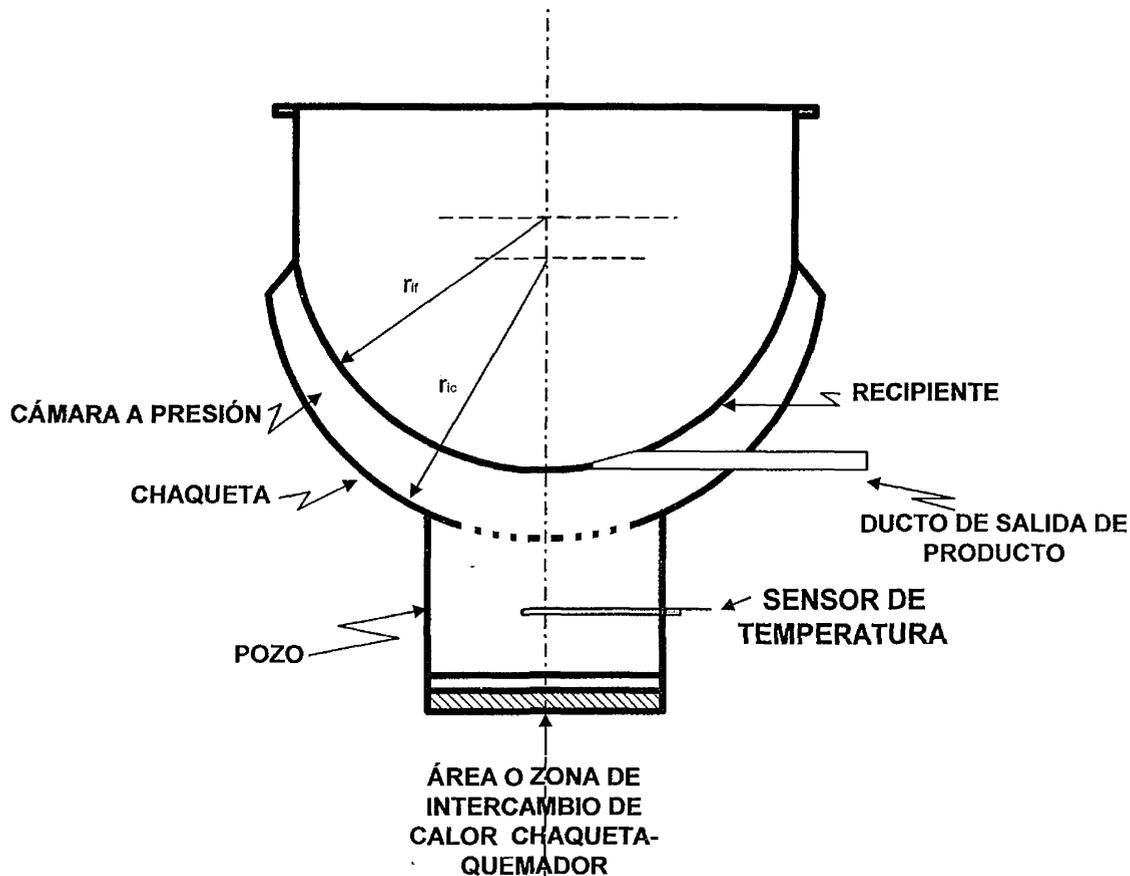


Figura 4  
Marmita de gas propano

Las marmitas pueden ser de varias formas, tales como hemisféricas, elipsoidales o toriesféricas, esto dependiendo de la forma de su fondo. La marmita analizada en el presente proyecto, tiene forma hemisférica, idéntica a la indicada en la figura 4, una capacidad de 225 litros y una presión máxima de 0,2 MPa manométricos (30 lb/plg<sup>2</sup><sub>rel</sub>). Esta decisión se tomó debido a que la industria metalmecánica relacionada con el proyecto, construye la mayoría de las marmitas con esta forma, éste volumen y normalmente de acero inoxidable. Además por lo general, utilizan una presión máxima de operación de 0,2 MPa manométricos. En el cuadro 1, se resumen estas características.

Cuadro 1  
Características generales de la marmita

Capacidad	Forma	Material	Presión de operación
<i>I</i> (Gal)	Hemisférica	Acero inoxidable	kPa <sub>man</sub> (lb/plg <sup>2</sup> <sub>rel</sub> )
225,0 (60)			207 (30)

Partiendo de esta premisa, se procedió a especificar la configuración geométrica de la marmita. Esta se hizo tomando como base los resultados del trabajo final del Proyecto de Graduación (referencia 16).

El cuadro 2 indica los valores de algunas de las características geométricas de la marmita contempladas en este estudio (ver figura 4).

Cuadro 2  
Características geométricas de la marmita

Capacidad	Radio interno del fondo ( $r_{if}$ )	Radio interno de la chaqueta ( $r_{ic}$ )	Espesor del recipiente ( $e_{r.a.i}$ )*	Espesor de la chaqueta ( $c$ )*
<i>I</i> (Gal)	mm (plg)	mm (plg)	mm (plg)	mm (plg)
225,0 (60)	381,0 (15)	393,7 (15,5)	3,175 (1/8)	3,175 (1/8)

\* Se indican los datos de ( $e_{r.a.i}$ ) y ( $c$ ) utilizados en el proceso de construcción y no los de diseño, pues cuando se utilizaron los datos de diseño, se presentaron pliegues o arrugas en el material al realizar el abollonado o "tumbado" (Referencia 1).

### 3.2 TIEMPO DE CALENTAMIENTO DE LA MARMITA DE GAS.

Para poder determinar el tiempo de calentamiento al utilizar una marmita de gas y compararlo con el tiempo que se tiene al utilizar una marmita de vapor, -que es la que tiene menor tiempo de proceso, se procedió de la siguiente manera.

Se calculó el calor absorbido por el producto ( $Q_{pr}$ ) y el flujo de calor máximo ( $FC_R$ ) que se transfiere por la superficie de intercambio de calor del recipiente. Después se comparó este valor con las capacidades de los quemadores disponibles y se seleccionó el más adecuado. Por último para encontrar el tiempo de calentamiento, se dividió ( $Q_{pr}$ ) entre la capacidad del quemador seleccionado.

A continuación se indica el procedimiento realizado.

### 3.2.1 Calor absorbido por el producto

El calor latente proveniente del vapor de la chaqueta, es igual al calor sensible absorbido por el producto, más la pérdida de calor que se presenta en el producto y el cuerpo de la marmita.

El calor sensible absorbido por el producto es igual a 51 624 kJ, y se calculó de la siguiente manera,

$$Q_{pr} = V \rho C_p (\Delta T)_p \quad (1)$$

donde,

$Q_{pr}$  : Calor sensible absorbido por el producto (kJ).

$V$  : Volumen de producto por calentar ( $m^3$ ).

$\rho$  : Densidad del producto por calentar ( $kg./m^3$ ).

$m$  : masa de producto alimentario a calentar (kg).

$C_p$  : Calor específico a presión constante del alimento a calentar (kJ/kg K).

$(\Delta T)_{pr}$ : Ámbito de temperatura del producto ( $^{\circ}C$ ).

Para calcular el dato de ( $Q_{pr}$ ), se utilizaron los valores de las propiedades físicas del agua, debido a que sus valores son muy representativos, además que es un nutriente muy conocido, y por lo tanto va a servir como sustancia patrón.

$$\rho = 997 \text{ kg}/m^3 \quad (\text{referencia 7})$$

$$(\Delta T)_{pr} = (80 - 25) ^{\circ}C = 55 ^{\circ}C.$$

$$C_p = 4,184 \text{ kJ}/kg ^{\circ}C \quad (\text{referencia 7})$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación (1), se obtiene el valor de ( $Q_{pr}$ ), que es de 51 624 kJ.

Por lo tanto, el quemador debe entregar este calor, más un 5% (54205 kJ) de este calor que corresponde al calor perdido por el producto y el cuerpo de la marmita (referencia 16, página 81).

### 3.2.2 Flujo de calor máximo entre el vapor de la chaqueta y el producto

El flujo máximo de calor ( $FC_g$ ) que se da entre el vapor de la chaqueta y el producto es de 113 kJ/s. Éste se calculó de la siguiente manera,

$$FC_g = U_g A_g (\Delta T)_g \quad (2)$$

donde,

$A_g$  : área de intercambio de calor del recipiente entre la chaqueta y el producto ( $m^2$ ).

$U_g$  : coeficiente global de transferencia de calor entre el vapor de la chaqueta y el producto ( $w/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

$\Delta T_g$  : diferencia entre la temperatura del vapor saturado de la chaqueta ( $T_v$ ) y la temperatura promedio del producto ( $T_m$ ), ( $^\circ C$ ).

La temperatura promedio ( $T_m$ ) es la semi-suma de las temperatura inicial y final del producto o sea  $52,5 \text{ } ^\circ C$ , por lo tanto

$\Delta T_g$  es  $81,5 \text{ } ^\circ C$  [ $134 - (25 + 80)/2$ ]  $^\circ C$ , donde  $134 \text{ } ^\circ C$  es la temperatura del vapor saturado de agua a una presión de  $0,3 \text{ MPa}$  ( $30 \text{ psig}$ ).

$A_g$  tiene un valor de  $0,916 \text{ m}^2$  y  $U_g$  de  $1\ 509,96 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$  y se tomaron de la referencia 16, página 63). Sustituyendo estos valores en la ecuación (2), se tiene que ( $FC_g$ ) es igual a,

$$FC_g = 113 \text{ KW/s } (385\ 572 \text{ Btu/h}).$$

Con este valor, se consultó a distribuidores nacionales de equipos y accesorios de gas propano (referencia 9), la existencia de un quemador con esta capacidad, sin embargo no fue posible encontrarlo, pues el quemador que más se acerca a las condiciones deseadas es el siguiente,

**Cuadro 4**  
**Características del quemador brindadas por el distribuidor**

Marca	País de fabricación	Capacidad kJ/s (Btu/h)	Forma	Diámetro externo	Distribuidor
FMP	EE.UU.	7,4 (25 000)	Circular	203 mm (8 plg)	Cía. Fernando Delgado, S.A.

El tiempo de calentamiento ( $t_R$ ) al utilizar el quemador indicado anteriormente es,

$$t_R = [54\ 693 \text{ kJ} / (25\ 000 \text{ Btu/h})] [(1 \text{ Btu/h}) / (2,931 \times 10^{-4} \text{ kJ/s})] = 7465 \text{ s}$$

$$t_R = 2\text{h}, 5 \text{ minutos.}$$

Con el propósito de tener una idea de si es mucho o poco este tiempo, se comparó éste con el que se tiene en una marmita de vapor. A continuación se indica este cálculo.

### 3.2.3 Tiempo de calentamiento de una marmita de vapor

Utilizando el valor del coeficiente total de transferencia de calor ( $U$ ) y del área de intercambio (tomados de la referencia 16, página 63), se calculó el tiempo promedio de calentamiento de una marmita de vapor que funciona a 0,2 MPa (30 psig).

Se sabe que el flujo de calor promedio ( $FC_v$ ) que se transfiere por la superficie de intercambio de calor del recipiente de la marmita de vapor es igual a,

$$FC_v = U_v A_v (\Delta T)_v \tag{3}$$

donde,

$A_v$  : área de intercambio de calor del recipiente ( $m^2$ ).

$U_v$  : coeficiente global de transferencia de calor entre el vapor de la chaqueta y el producto ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

$\Delta T_v$  : diferencia entre la temperatura del vapor saturado de la chaqueta ( $T_v$ ) y la temperatura promedio del producto ( $T_m$ ), ( $^\circ C$ ).

La temperatura promedio ( $T_m$ ) se indicó anteriormente y es la semi-suma de las temperatura inicial y final del producto, por lo tanto

$\Delta T_v$  es  $81,5\text{ }^\circ\text{C}$  (tiene el mismo valor de  $\Delta T_g$  calculado anteriormente en la sección 3.2.2).

Sustituyendo los diferentes valores en la ecuación (3), se tiene que ( $FC_v$ ) es igual a,

$$FC_v = 113 \text{ kJ/s.}$$

En la sección 3.2.1, se calculó el calor ( $Q_{pr}$ ) que se debe suministrar a una marmita para calentar el alimento desde una temperatura de  $25\text{ }^\circ\text{C}$  a  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , el cual es de  $54\ 205\ \text{Kj}$ .

Por lo tanto, el tiempo de calentamiento ( $t_c$ ) utilizando una marmita de vapor es,

$$t_c = Q_{pr} / FC_v = 54\ 205 \text{ kJ} / 113 \text{ kJ/s} = 480 \text{ s,} \quad (4)$$

que corresponde a 8 minutos de proceso.

De manera que la alternativa de utilizar gas propano como fuente de calentamiento en una marmita, no es viable y no se continuará con su diseño.

## 4. EVALUACIÓN DE LOS COSTOS AL UTILIZAR UNA MARMITA DE VAPOR, UNA ELÉCTRICA Y UNA ALIMENTADA CON AGUA CALIENTE PROVENIENTE DE UN CALENTADOR DE GAS PROPANO

En este capítulo se calculan y analizan para una marmita de un volumen de 225 litros (60 galones), la inversión inicial y los costos de operación de una marmita de vapor, una eléctrica y una que utilice agua caliente proveniente de un calentador de agua de gas propano.

Estos costos toman en cuenta el valor de los equipos y tuberías para abastecer la marmita del respectivo fluido térmico y el valor de la misma marmita. También se calculan los gastos de operación (combustible, electricidad, agua y/o productos para el tratamiento químico y mecánico) en que se incurre al poner a funcionar estas marmitas.

### 4.1 MARMITA DE VAPOR

A continuación se presenta una breve explicación de cada uno de los equipos y accesorios de servicio, que deben ser instalados al utilizar una marmita de vapor. Éstos se indican en las figuras 5 y 6, y en el cuadro 5 se resumen las características más importantes.

### Caldera de vapor

En este caso, se utiliza una caldera de vapor que suplirá a la marmita del vapor requerido para satisfacer sus necesidades calóricas.

Con el propósito de hacer una comparación de costos sobre el uso de una marmita por caso, se asume que se utilizará una caldera de diesel de 156 kg/h (referencia 17, página 1). Pues según datos de la referencia 16, página 82, una marmita de 225 litros de volumen, consume 97 kg/h.

Es importante tener presente que con la capacidad de la caldera seleccionada, se esta satisfaciendo solo a una marmita de vapor, aunque normalmente se aprovecha contar con una caldera mucho más grande y de un precio mayor, para realizar también otras actividades importantes en la planta, como el suministro de vapor a otros equipos, limpieza de los equipos y del local, etc. La caldera seleccionada trabajará a un 70 % de su capacidad, que es el nivel donde tiene mayor eficiencia (referencia 21, página 14).

### Tanque de retorno de condensados

Su función es la de recoger los condensados que vienen de la planta de proceso donde se encuentra operando la marmita. Una vez recogidos, son mezclados en este tanque con agua de alimentación fresca, para que ingresen de nuevo a la caldera. Su tamaño va a depender de la cantidad de condensado que retorne, pues, para evitar cavitación en la bomba de suministro, se debe mezclar con agua fresca para bajar su temperatura.

El Reglamento de calderas de Costa Rica, indica que es terminantemente prohibido conectar las calderas directamente a las cañerías de servicios de agua potable. Para el abastecimiento de agua de las calderas, se instalará un tanque de retorno de condensados, al que se conectarán los aparatos de alimentación y que tendrá medidores de nivel o indicadores de nivel y alarmas de bajo nivel, con el objeto indicar en todo momento la cantidad de agua disponible. (referencia 13, página 8, artículo 27, inciso (f)). Este tanque normalmente viene incluido como un accesorio de la caldera, por lo tanto el precio de la caldera también lo incluye.

### Filtro de agua

El propósito de utilizar un filtro en el agua de alimentación, es eliminar por medio de un material poroso, los sólidos en suspensión que podría contener esta agua.

Por lo general, y en especial en aguas de ríos, un primer paso es agregar cloro al agua que se va a filtrar, de manera que se mantenga bajo el crecimiento de bacterias y algas que puedan prosperar en el filtro. La selección del tipo de filtro, debe hacerse posterior a un estudio detallado de las condiciones y problemas que presenta cada caso en particular (referencia 4, página 16). Sin embargo se va a asumir que el agua que va conectado al filtro, viene directamente de las cañerías de servicio de agua potable y que éste tiene una capacidad de 45 l/h (12 GPM) (referencia 2, página 1).

### Suavizador de agua (intercambiador iónico)

Con el propósito de evitar la formación de incrustaciones en la caldera, se utiliza el suavizador de agua, que es un mecanismo para ablandar externamente el agua de alimentación de la caldera y obtener así agua con dureza cercanas a cero. El agua dura es la que tiene un alto contenido de sales de calcio y magnesio: bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos (referencia 6, página 5). En nuestro caso se utilizará un suavizador de 53 litros por minuto (14 galones por minuto) de agua (referencia 16, página 2), adecuado para la caldera seleccionada.

### Sistema de tratamiento químico

El sistema de tratamiento químico, es un tratamiento interno en la caldera que se le da al agua de alimentación. Se persigue la eliminación de la fragilización del metal y también de la "dureza del agua" que no ha sido eliminada por el suavizador. Además previene la oxidación y precipita los lodos del agua de alimentación.

El tratamiento interno puede variar desde el uso de aditivos simples para ablandamiento, hasta el control preciso de todos los constituyentes. Las sustancias químicas usadas, se mezclan con el agua en el interior de la caldera, reaccionando directamente con los agentes productores de incrustaciones, formando lodos o sedimentos eliminables. Las sustancias químicas pueden adicionarse en forma continua, o por cargas, pero en todo caso hay que tomar en cuenta, tanto el consumo de agua, como el tipo de dureza de ésta (referencia 6, página 25).

Para el suministro continuo del producto químico, se recomienda la utilización de un tanque de almacenamiento de 208 l (55 galones) y una bomba dosificadora (referencia 17, página 3).

### Tanque de almacenamiento de agua

Este tanque es abastecido por la tubería de alimentación de agua. Es utilizado para poder disponer de una masa segura de agua de alimentación, independientemente si la fuente principal de abastecimiento tiene algún problema. Su volumen se calcula con base en el tiempo que se desee operar la caldera sin suministro del agua de alimentación. Pueden ubicarse en forma aérea, o enterrados. La ventaja que se tiene si el tanque es aéreo, es que el agua baja por la acción de la fuerza de la gravedad al tanque de retorno de condensados y por lo tanto no se necesita bomba para trasegar el fluido. Sin embargo, si el tamaño del tanque es muy grande no se recomienda hacerlo aéreo, pues la estructura que soporta el tanque también será muy grande, robusta y lógicamente muy costosa.

En nuestro caso el tanque de almacenamiento de agua que se utilizará será aéreo y de 4 m<sup>3</sup>.

### Tubería de alimentación de agua

Es la encargada de llevar el agua de alimentación desde la fuente de agua que se tenga, hasta el filtro. Normalmente esta fuente puede ser agua de un pozo, o de un río, o de la cañería. Dependiendo que tan cerca o larga este situada la caldera de esta fuente, así será la longitud de esta tubería. Con el propósito de poder calcular el costo de esta tubería, se va a asumir que en total tendrá un largo de veinte metros y tendrá un diámetro nominal de 31,75 mm (1¼").

### Tubería de distribución de vapor

Esta tubería se inicia en el propio generador de vapor, o sea la caldera en nuestro caso. Su función es la de transportar el vapor hasta el lugar donde se va a utilizar. Con el propósito de irlo acondicionando y controlando, se incorporan una serie de accesorios como manómetros, trampas de vapor, regulador de presión, contracciones de diámetro, etc. Es importante que esta tubería este bien aislada, para evitar que se pierda energía calórica innecesariamente en su recorrido desde la caldera hasta la marmita. Su longitud va a depender de la distancia que se encuentre la marmita de la caldera. Se asumirá que el largo de esta tubería es de treinta metros y tendrá un diámetro nominal de 31,75 mm (1¼").

### Bombas de agua

El Reglamento de Calderas de Costa Rica, exige dos sistemas independientes de alimentación de agua para las calderas de hasta veinticinco metros cuadrados de superficie de calefacción (referencia 13, página 8, artículo 27, inciso b).

Cuando se adquiere un paquete de generación de vapor, normalmente vienen incorporadas dos bombas junto con la caldera. Con el propósito de que el desgaste y mantenimiento sea similar, se recomienda operar por periodos parecidos cada una de estas bombas. En nuestro caso, el precio de la caldera también incluye dos bombas de agua.

### Tubería de retorno de condensados

Con el propósito de aprovechar el agua líquida y el calor sensible que se tiene después que el vapor en la marmita y las tuberías han cedido su calor latente, éste se recoge, y por medio de una tubería que se conoce como retorno de condensados, se envía al tanque que tiene este mismo nombre. Es importante recuperar esta agua, pues además que tiene energía, es agua industrialmente pura, ya que ha sido tratada anteriormente. Se asume que el tanque de retorno de condensados y la caldera se encuentran muy cerca, por lo tanto el largo de la tubería de retorno de condensados es de treinta metros y tendrá un diámetro nominal de 12,7 mm ( $\frac{1}{2}$ ”).

### Cañuelas para aislante térmico de las tuberías y accesorios

Se utilizan para forrar las tuberías de distribución de vapor y de retorno de condensados, y así disminuir las pérdidas de calor. Los productos más comúnmente utilizados son los fabricados a base de fibra de vidrio y de lana mineral.

En nuestro caso, como la temperatura máxima va a ser la temperatura a la salida de la caldera, se recomienda utilizar aislante de fibra de vidrio, cuya temperatura máxima de operación es de 232 °C (referencia 10), ligeramente superior a la del vapor a la salida de la caldera.

Las cañuelas deben recubrirse con una lámina de aluminio para proteger el ambiente y por consiguiente los alimentos de posibles contaminaciones. Se debe tener cuidado de que la tubería y los accesorios, queden bien aislados térmicamente. Además las pegas o uniones de la lámina de aluminio, deben

asegurar que ninguna parte de la cañuela quede expuesta al ambiente. La longitud de esta cañuela será de treinta metros para la tubería de vapor y treinta metros para la tubería de retorno de condensados, cuyos diámetros nominales internos serán de 31,75 mm (1¼") para la tubería del vapor y 12,7 mm (½ ") para la de retorno de condensados.

### Regulador de presión

Para disminuir la presión del vapor que viene de la caldera y va a la marmita, se instala un regulador de presión cerca de la marmita. Regularmente las marmitas se operan a una presión del vapor que varía entre 0,1 MPa y 0,2 MPa. Sin embargo con el propósito de transportar la mayor cantidad de vapor de la caldera a la marmita, se utiliza una presión mucho mayor, pues de esta manera el volumen específico del vapor es menor. Esta presión (la de transporte de vapor), se recomienda sea cercana a la presión máxima de operación de funcionamiento de la caldera. En nuestro caso el regulador seleccionado tendrá una presión de entrada de 862 kPa (125 lb/plg<sup>2</sup> rel) y una presión de salida de 207 kPa (30 lb/plg<sup>2</sup> rel).

### Trampas de vapor

La trampa de vapor es una válvula automática que permite eliminar el condensado que se forma tanto en la marmita, como en las tuberías de vapor. Además permite eliminar el aire y los gases incondensables.

Básicamente existen tres tipos de trampas que se pueden utilizar al instalar una marmita de vapor: las trampas mecánicas, las trampas termostáticas y las trampas termodinámicas (referencia 18, página 25) .

Las tres dan un buen resultado al utilizarse, sin embargo debido a que las termodinámicas tienen una gran capacidad de descarga de condensado, son simples, su mantenimiento es sencillo y son robustas y muy resistentes al golpe de ariete y las vibraciones, se recomienda su uso al instalar una marmita de vapor.

### Manómetros

Son instrumentos utilizados para medir presiones. Se instalan "aguas abajo" después del regulador de presión, cerca o en la misma marmita y en la tubería de alimentación de vapor, para saber la presión a la que se está operando.

Deberán estar bien iluminados en todo momento, exentos de vibraciones y pueden ser convenientemente regulados. Deben ser de un tamaño tal, que las graduaciones y la posición de la aguja, pueda ser determinada por una persona con visión normal que esté situada dentro del área de operación usual. Estarán graduados a una presión aproximada al doble de la presión máxima de trabajo (referencia 13, artículo 28, página 8).

#### Tanque de almacenamiento de combustible (diesel)

De acuerdo a la referencia 13, artículo 22, página 7, indica entre varias cosas que si el tanque de abastecimiento de combustible es menor a 1000 litros, deberá ser de lámina metálica de no menor de tres punto dos milímetros de espesor; ser cerrado e irá provisto de un tubo de ventilación para conducir los gases fuera del local ocupado por la caldera. También indica, que los depósitos de combustible líquido superior a 1 000 litros deberán quedar fuera del recinto de la caldera, a una distancia mínima de 3 metros, o a la distancia que señale la norma NFPA. Además que para calderas tipo "C" o "D" la distancia mínima será de cuatro metros de la caldera o lo mínimo que señale la norma NFPA. Estos depósitos deberán quedar a una distancia mínima de tres metros de la vía pública y de los predios vecinos, o lo que señale la norma NFPA.

Nuestro tanque tendrá un volumen de 2 m<sup>3</sup> y estará a 10 m de la caldera.

#### Tubería de suministro de combustible

Esta tubería conduce el diesel desde el tanque de almacenamiento a la caldera. Tendrá una longitud de 10 m y debido a que contempla también la tubería de retorno del diesel desde la caldera de nuevo al tanque de almacenamiento, tendrá longitud total de 20 m y un diámetro nominal de 9,5 mm (3/8").

Accesorios de la tubería de vapor, de la tubería de alimentación de agua, de la tubería de retorno de condensados y de la tubería del combustible (válvulas de paso, uniones de tope, codos, válvulas de un solo sentido y "tees").

Algunos de estos son utilizados para controlar la cantidad de flujo, otros para variar la dirección del flujo, otros permiten desarmar la tubería sin dañarla, otros para unir secciones de tubería y otros para asegurarse que el fluido que se esta transportando no se devuelva.

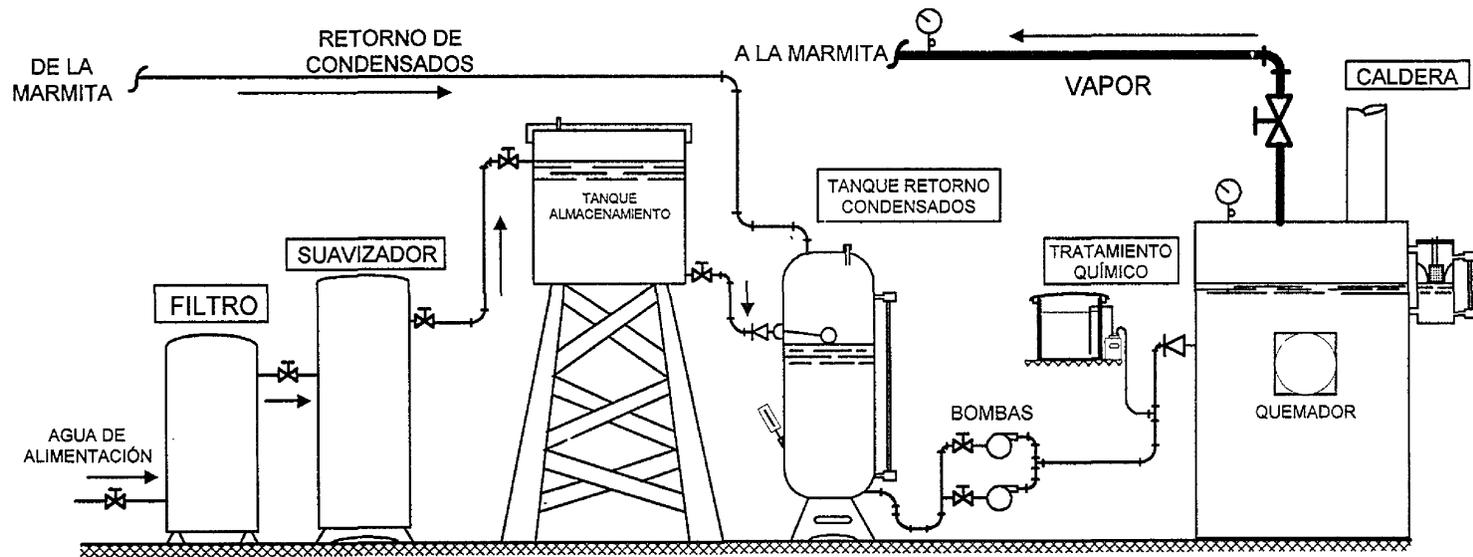


Figura 5  
Equipo necesario para alimentar de agua una cadera, al utilizar una marmita de vapor

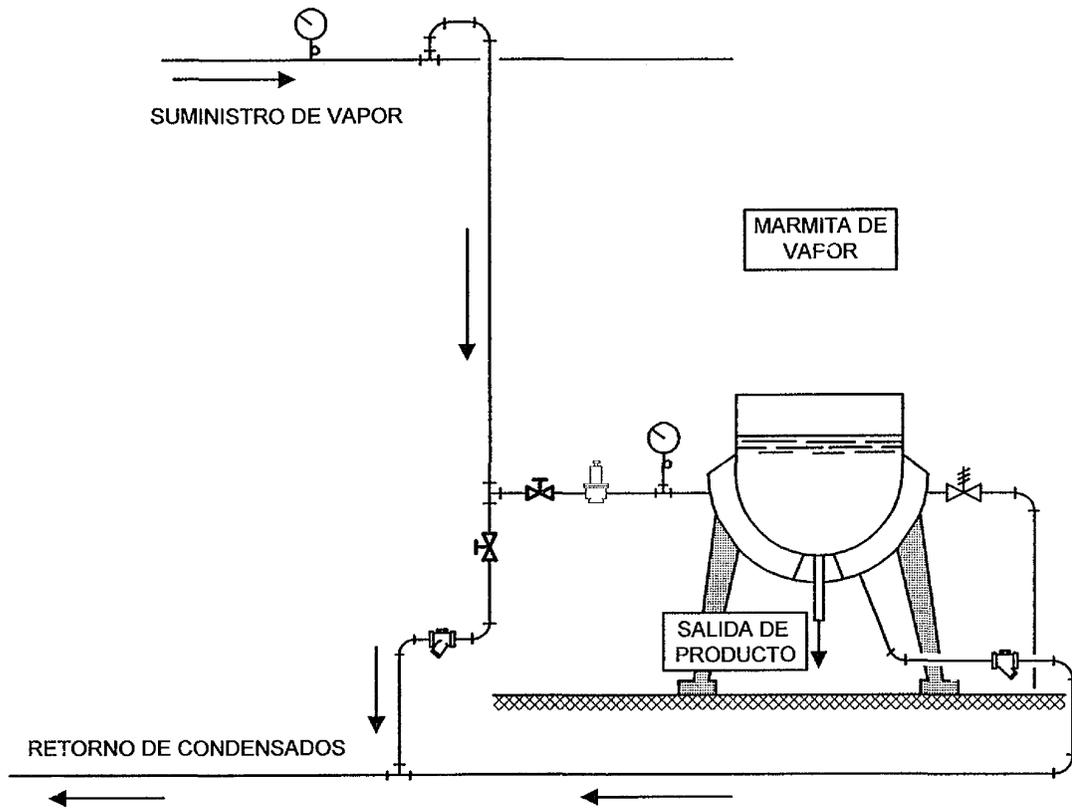


Figura 6

Suministro de vapor y retorno de condensados en una marmita

#### 4.1.1 Tiempo de calentamiento

El tiempo de calentamiento se calculó en la sección 3.2.3 y es de 8 minutos.

#### 4.1.2 Costo de instalación

Con base en la información de las referencias 1, 2, 17 y 19 se preparó el siguiente cuadro que indica el valor de los equipos, accesorios y tuberías necesarios para una producción y utilización adecuada del vapor al utilizar una marmita.

**Cuadro 5**  
Costo del equipo necesario para la utilización de una marmita de vapor

Equipo	Capacidad, dimensiones o cantidad	Marca	Distribuidor	Valor (ivi) (¢)
Marmita	225 litros (60 galones)	Taller Tainea	Taller Tainea	1 430 823
Filtro de agua	45 l/h (12 GPM)	Aquathin	Moya-Roldan	536 935
Caldera, bombas de agua y diesel y tanque de retorno de condensados	156 Kg/h	York Shipley	Setec	9 284 577
Suavizador de agua	53 litros/minuto	Diamont modelo KF-30-1	Setec	442 637
Sistema de tratamiento químico	Tanque: 308 litros Bomba: 19 litros/día	Bomba: Chemtech	Setec	863 683
Tanque de almacenamiento de agua	4 m <sup>3</sup>	Setec	Setec	809 703
Tubería de alimentación de agua	Ø = 1 ¼", largo = 20 m	_____	Válvulas y equipos S.A.	64 959
Tubería de alimentación de vapor	Ø = 1 ¼", largo = 30 m	_____	Válvulas y equipos S.A.	84 722
Tubería de retorno de condensados	Ø = ½", largo = 30 m	_____	Válvulas y equipos S.A.	32 984
Aislante térmico de las tuberías con barrera de papel de aluminio.	Ø <sub>i</sub> = 1¼" (31,75 mm), largo = 30 m	_____	Válvulas y equipos S.A.	127 536
	Ø <sub>i</sub> = ½" (12,7 mm), largo = 30 m	_____	Válvulas y equipos S.A.	101 149
Regulador de presión	De 125 a 30 psig	Spirax Sarco	Setec	431 842
3 Trampas de vapor	De 125 a 30 psig	Spirax Sarco	Setec	283 396
4 Manómetros	2 u de 0 a 30 psig y 2 u de 0 a 160 psig	Winter'r	Setec	15116
Tanque de almacenamiento de diesel	2 m <sup>3</sup>	Setec	Setec	539 802
Tubería de alimentación de diesel	Ø = 3/8" (9,5 mm), 20 m	_____	Válvulas y equipos S.A.	80 713
<b>Costo total (ivi) (¢)</b>				<b>15 130 577*</b>

\*Ajustado al tipo de cambio: 1\$ = ¢477,70 del 14 de junio del 2005

### 4.1.3 Costo de operación

Con el propósito de comparar los costos de operación de las marmitas por mes, se asumirá que éstas funcionan 5 horas por día, 5 días a la semana y 4 semanas por mes.

#### Consumo de diesel

El flujo de calor suministrado al alimento, es cedido por el vapor que ha sido producido en la caldera y conducido y acondicionado hasta la chaqueta de la marmita.

Este flujo de calor se calculó anteriormente (sección 3.2.3) y es de 113 kJ/s.

Además se asume que:

- la caldera tiene una eficiencia térmica del 75 %,
- la pérdida de calor en la tubería que conduce el vapor es de un 15 % del calor generado en la caldera y que es suministrado a la marmita,
- debido a la purga de la caldera, se pierde un 8 % del calor del vapor generado y utilizado por la marmita.

Por lo tanto el flujo de combustible (FC) es igual a,

$$FC = ((113 \text{ kJ/s}) * 1,15 * 1,08)/(75 \% * \text{P.C.}) \quad (5)$$

donde,

P.C.: Poder calórico del diesel = 36 260 kJ/l, (referencia14)

Entonces,

FC = 18,6 l/h de diesel.

Si el costo del litro de diesel es de  $\phi$  286,00 por litro (referencia 14), se tiene un costo por hora de  $\phi$  5 319,60 al utilizar diesel como combustible en la caldera que alimentará de vapor a la marmita.

Utilizando la información anterior y la de las referencias 11, 20 y 12 se indica en el siguiente cuadro, el consumo y el costo por hora de los diferentes rubros necesarios para una producción adecuada, al utilizar vapor en una marmita de vapor.

**Cuadro 6**  
Consumo y costo por hora de los diferentes rubros al operar una marmita de vapor

Rubro	Consumo (l/h)	Costo (¢/h)
Combustible (diesel)	18,60	5 319,60
Agua (5 % agua purga caldera y 5% agua de reposición de consumo de la marmita)	8,00 5,00	5,00 3,13
Producto químico (tratamiento del agua)		
VAPEN 300	0,02	22,90
VAPEN 220	0,02	22,90
Mano de obra de operación y mantenimiento (¢ 3 942,00 ;jornada)	_____	493,00
<b>Costo total/h</b>	_____	<b>5 866,55*</b>

\*Costos al 14 de junio del 2 005

## 4.2 MARMITA ELÉCTRICA

### 4.2.1 Tiempo de calentamiento

Se sabe que el calor que se debe suministrar a una marmita para calentar el alimento ( $Q_{pr}$ ) es de 54 205 kJ (sección 3.2.1).

El flujo de calor suministrado al alimento de la marmita ( $FC_E$ ), es cedido por el fluido térmico que se encuentra en la chaqueta y que ha sido calentado por las resistencias eléctricas de la marmita.

Este flujo de calor ( $FC_E$ ) es,

$$(FC_E) = U_E A_E (\Delta T)_E \quad (6)$$

donde,

$A_E$  : área de intercambio de calor del recipiente ( $m^2$ ).

$U_E$  : coeficiente global de transferencia de calor entre el fluido de la chaqueta y el producto ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ).

$\Delta T_E$  : diferencia entre la temperatura del fluido de la chaqueta ( $T_a$ ) y la temperatura promedio del producto ( $T_m$ ), ( $^{\circ}\text{C}$ ).

La temperatura promedio ( $T_m$ ) se indicó en la sección 3.2.2, Por lo tanto  $\Delta T$  es  $81,5^{\circ}\text{C}$ . ( $U_E$ ) tiene un valor de  $300,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , ( $A_E$ ) es  $0,916 \text{ m}^2$  (referencia 16, páginas 98 y 63 respectivamente). Sustituyendo estos valores en la ecuación (6), se tiene que ( $FC_E$ ) es igual a,

$$FC_E = 22,4 \text{ kJ/s} = 22,4 \text{ kW}.$$

Sustituyendo el valor de ( $Q_{pr}$ ) y el de ( $FC_E$ ) en la ecuación (4), se tiene que el tiempo de calentamiento ( $t_c$ ) es,

$$t_c = 54\,205 \text{ kJ} / 22,5 \text{ kJ/s} = 2\,410 \text{ s},$$

que corresponde a cerca de 41 minutos de proceso.

#### 4.2.2 Costo de instalación

En este caso no se necesita tantos equipos y accesorios de servicio, como en el caso anterior. Esto porque la fuente de calor que son resistencias eléctricas, están instaladas en la misma marmita. Además al adquirir una marmita, esta ya viene equipada con los accesorios necesarios como:

- Termostato.
- Contactor.
- Botonera.
- Cables para corriente eléctrica.
- Visor de nivel de agua.
- Válvula de alivio.
- Manómetro.

En el siguiente cuadro se indica el valor de una marmita eléctrica (referencia 1),

**Cuadro 7**  
Costo de una marmita de eléctrica.

<b>Equipo</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Marca</b>	<b>Distribuidor</b>	<b>Valor (¢)</b>
Marmita	225 litros (60 galones)	Taller Tainea	Taller Tainea	1 600 000 *

\*Ajustado al tipo de cambio: 1\$ = ¢477,70 del 14 de junio del 2005

#### 4.2.3 Costo de operación

De la sección 4.2.1 se sabe que el flujo de calor suministrado al alimento ( $FC_E$ ) es 22,4 kJ/s. Por lo tanto el consumo de energía eléctrica ( $C.E.E.$ ) en una hora es igual a,

$$C.E.E. = (22,5 \text{ kW}) * 1\text{h} = 22,5 \text{ kW-h}$$

Debido a que al calcular el costo de la electricidad hay que tomar en cuenta tanto la energía como la potencia eléctrica consumida, se calculó el consumo y costo por mes y después se dividió entre 100, que es la cantidad de horas que tiene nuestro mes de trabajo.

En el siguiente cuadro se indica el consumo de electricidad por hora y por mes y su costo al utilizar una marmita eléctrica.

**Cuadro 8**  
Consumo y costo por mes de la energía eléctrica al operar una marmita eléctrica

<b>RUBRO</b>	<b>CONSUMO</b>		<b>COSTO (¢/hora)</b>	<b>COSTO (¢/mes)</b>
	Hora	Mes		
ENERGÍA (kW-h)	22,50	2250	1 301,65	130 162,50
<b>Costo total Energía (¢)</b>			<b>1 301,65</b>	<b>130 162,50</b>

Por lo tanto el costo por hora de la energía eléctrica al operar una marmita eléctrica es de ¢ 1301,65 si se laboran 100 horas por mes.

## 4.3 MARMITA DE AGUA CALIENTE PROVENIENTE DE UN CALENTADOR DE GAS PROPANO

### 4.3.1 Tiempo de proceso

Con el propósito de comparar con otras fuentes de energía el tiempo de calentamiento al utilizar una marmita que usa agua líquida a 90 °C (referencia 17, página 4) como fluido de calentamiento, se calculó su tiempo de proceso.

Debido a que la marmita utilizará agua líquida, se usará el valor del coeficiente total de transferencia de calor ( $U$ ) de 300,38 W/m<sup>2</sup> °C, tomado de la referencia 16, página 98.

La forma de la marmita es idéntica a la marmita de vapor de la referencia 16, por lo tanto también se utilizará el mismo valor del área de intercambio ( $A$ ) que es de 0,916 m<sup>2</sup>.  $\Delta T$  es la diferencia entre la temperatura del fluido de la chaqueta ( $T_{ac}$ ) y la temperatura promedio del producto ( $T_m$ ). La temperatura promedio ( $T_m$ ) se indicó en la sección 3.2.2, por lo tanto  $\Delta T$  es 37,5 °C [90 - (25 + 80)/2] (°C). Sustituyendo estos valores en la ecuación (6), se tiene que el flujo de calor promedio que se transfiere por la superficie de intercambio de calor del recipiente de la marmita ( $FC_{AC}$ ) es,

$$FC_{AC} = 10,5 \text{ kJ/s.}$$

El tiempo promedio de calentamiento de esta marmita, se calculó de la siguiente forma. Se sabe que el calor que se debe suministrar a una marmita para calentar el alimento desde una temperatura de 25 °C a 80 °C es de 54 205 KJ (sección 3.2.1).

Sustituyendo este valor y el de ( $FC_{AC}$ ) en la ecuación (4), se tiene que el tiempo de calentamiento ( $t_c$ ), para esta marmita es,

$$t_c = 54\,205 \text{ kJ} / 10,5 \text{ kJ/s} = 5\,162,5 \text{ s,}$$

que corresponde a 1 horas y 26 minutos de proceso.

Este tiempo, al igual que el que se tiene en una marmita de gas propano es muy grande y por lo tanto este tipo de calentamiento o equipo no se utilizará, ni tampoco se evaluarán los costos de instalación y operación.

## 5. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1 MARMITA DE GAS

El costo de inversión para un sistema de marmitas a vapor es alto (¢15 130 577,00, sección 4.1.2), en comparación con el marmitas eléctricas (¢ 1 600.000,00, sección 4.2.2), con la desventaja que ésta última tiene tiempos de calentamiento mucho mayores, hasta cinco veces. Por esta razón, se desarrolló un método de cálculo para estimar la energía utilizando un quemador de gas propano directo y otro para producir agua caliente como fuente de calentamiento.

Se determinó que el tiempo de calentamiento utilizando un quemador de gas propano es mayor de dos horas. Esto contrasta con ocho minutos utilizando vapor y también mayor al requerido por una marmita eléctrica que es de 41 minutos.

Esto evidencia que la utilización de un quemador de gas propano como fuente de calentamiento en una marmita no es viable. El flujo máximo de calor de los quemadores disponibles en el mercado nacional es de 7,4 kJ/s (25 000 Btu/h) (sección 3.2.2). Lo requerido es por lo menos 57 kJ/s (194 492 Btu/h) para una condición de 54 693 kJ en 16 minutos, que es el doble de tiempo de calentamiento que se dura en una marmita de vapor. Esto resulta por cuanto la geometría de las marmitas no permite un recorrido de los gases de combustión desde el quemador y a través de una superficie de transferencia lo suficientemente grande para lograr un resultado satisfactorio.

La posibilidad de utilizar agua caliente proveniente de un calentador de gas propano se desechó pues se determinó, que el tiempo de calentamiento es también mayor que el de una marmita eléctrica, condición que no es deseable aumentar.

Con el propósito de brindar a la Industria Alimentaria criterios para la selección de marmitas, se realizó un estudio comparativo de los costos de inversión y operación de una marmita de vapor y de una eléctrica.

## 5.2 ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN DE UNA MARMITA DE VAPOR Y UNA ELÉCTRICA.

En esta sección se compara la inversión y los costos energéticos de operación por hora de una marmita de vapor abastecida por una caldera a diesel y para una marmita eléctrica. Se plantea el escenario para pasteurizar agua, un proceso similar al agua embotellada vendida en el comercio para consumo humano. El agua es una materia prima en la cual el cálculo de costos energéticos es simple pues sus propiedades físicas son conocidas. Además, se tiene la ventaja de que el análisis realizado es comparable a cualquier otro producto.

### 5.2.1 Marmita de vapor y marmita eléctrica

#### Costos de instalación y operación

De los cuadros 5 y 7, se tiene que para poder operar una marmita de vapor se debe realizar una inversión en equipos mayor a los quince millones de colones, mientras que para una marmita eléctrica esta inversión es de solo un millón seiscientos mil colones. En el caso del vapor, la estimación de la inversión se hace únicamente para la marmita, pero debe considerarse que existiría disponibilidad para otros usos, lo que resulta en una ventaja.

Según el cuadro 6, la marmita de vapor tiene un costo de operación por hora de ₡5 866,55, que es más de cuatro veces del costo mostrado en el cuadro 8 para una marmita eléctrica. Sin embargo, la producción de agua pasteurizada en este periodo es de 1 125 litros, muy diferente a la producción con marmitas eléctricas que es de 292 litros (casi cuatro veces menor).

### 5.2.2 Análisis económico para determinar el tipo de marmita a utilizar

Este análisis se preparó con base en la información de la sección 5.2.1. y se resume en el cuadro 9. Se asume un precio de venta del agua una vez pasteurizada de ₡ 53,00 por litro; de manera que un recipiente de 5 galones, que es la forma más económica que se encuentra en los establecimientos de venta, tendrá un precio de ₡1 000.00. Este precio es ligeramente inferior a los ofrecidos en el mercado por los otros productores. El periodo de producción mensual se asume que será de 100 horas.

Se determinó que a pesar de la inversión tan alta en el caso de las marmitas de vapor, este sistema representa una mejor opción y por lo tanto se recomienda su selección, pues con esta marmita se produce casi cuatro veces

más por mes que con una marmita eléctrica. Además, la utilidad anual de la marmita de vapor es casi cuatro veces más que en el caso de la marmita eléctrica. El tiempo de recuperación es de un poco más de cuatro meses en el caso de la marmita de vapor y casi dos meses en el caso de la marmita eléctrica. Sin embargo no se están tomando en cuenta una serie de gastos directos e indirectos que influyen en las utilidades, pero que no son de interés de este proyecto, pues lo que interesa aquí son los costos relacionados con la inversión inicial y los costos energéticos de producción.

Utilizar marmitas de vapor implica instalar una caldera, además de una serie de accesorios complementarios, que incrementan la inversión inicial que se debe realizar, sin embargo normalmente se aprovecha la utilización de una caldera mucho más grande y lógicamente de un precio mayor, para realizar también otras actividades importantes en la planta, como el suministro de vapor a otros equipos, limpieza de los equipos y del local, etc. En este estudio se asume que la caldera utilizada únicamente es para abastecer a la marmita de vapor.

**Cuadro 9**  
**Análisis económico de una marmita de vapor y una eléctrica**

Marmita de vapor				Marmita electrica			
Inversion Inicial (I <sub>0</sub> )		¢15.130.577,00		Inversion Inicial (I <sub>0</sub> )		¢1.600.000,00	
Depreciación a 15 años	¢1.008.705,13	Linea recta		Depreciación a 15 años	¢106.666,67	Linea recta	
Precio de venta	¢53,00			Precio de venta unitario	¢53,00		
		HORA	MENSUAL			HORA	MENSUAL
Costo para producir vapor		¢5.866,55	¢586.655,00	Costo de energia	¢1.301,65	¢130.165,00	
Producción litros		1.125,00	112.500,00	Producción litros	292,00	29.200,00	
Costo Agua /litro	¢0,60			Agua /litro	¢0,60		
Depreciación (CNE)	¢1.008.705,13	Anual		Depreciación (CNE)	¢106.366,67	Anual	
Estudio Mensual				Estudio Mensual			
Ventas	¢5.962.500,00			Ventas	¢1.547.600,00		
Costos para producir vapor	¢586.655,00			Costos de energia	¢130.165,00		
Costo de agua	¢67.500,00			Costo de agua	¢17.520,00		
CNE	¢84.058,76			CNE	¢8.888,89		
Utilidad Bruta	¢5.224.286,24			Utilidad Bruta	¢1.391.026,11		
Impuestos 30%	¢1.567.285,87	<b>Utilidad anual</b>		Impuestos 30%	¢417.307,83	<b>Utilidad anual</b>	
Utilidad Neta (U.N)	¢3.657.000,37	¢43.884.004,41		Utilidad Neta (U.N)	¢973.718,28	¢11.684.619,33	
Tiempo de recuperacion (I <sub>0</sub> /U.N)	4,14 meses			Tiempo de recuperacion (I <sub>0</sub> /U.N)	1,64 meses		
Años	1	2	3	Años	1	2	3
Utilidad anual	¢28.753.427,41	¢43.884.004,41	¢43.884.004,41	Utilidad anual	¢10.084.619,33	¢11.684.619,33	¢11.684.619,33

CNE: COSTOS NO EROGABLES

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para una marmita cuya capacidad es de 225 l, se concluye lo siguiente:

- No es conveniente utilizar el gas propano en quemadores directos en estas marmitas, debido a que el tiempo de calentamiento requerido es muy largo e inclusive mayor que el de una marmita eléctrica. Similar situación se da con una marmita abastecida con agua caliente proveniente de un calentador de gas propano.
- Los costos de inversión asociados a la instalación del sistema de una marmita de vapor son mucho mayores (más de nueve veces), que los de una marmita eléctrica.
- Para esta capacidad, al utilizar una marmita eléctrica se tienen tiempos de calentamiento del producto mayores (más de cinco veces) que con una marmita de vapor.
- La producción diaria es mayor al utilizar una marmita de vapor que una marmita eléctrica (casi cuatro veces más). Sin embargo los costos energéticos por hora con una marmita de vapor son más de cuatro veces que con una marmita eléctrica.
- La utilidad en sistemas que utilizan marmitas de vapor es cerca de cuatro veces mayor que la obtenida con una marmita eléctrica y por lo tanto estas marmitas representan la mejor opción para la industria.

Se recomienda:

- Divulgar a la Industria Metalmeccánica los resultados obtenidos de esta investigación con respecto a marmitas de gas de 225 l, a fin de evitar gastos innecesarios en el diseño y construcción de estas marmitas.
- Informar a la Industria Alimentaria de las ventajas que conlleva la utilización de marmitas de vapor, pues debido a su mayor volumen de producción se tiene mayor utilidad, a pesar de sus mayores costos de inversión y gastos de operación.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. ALFARO, E. 2003. Precios de las marmitas de vapor y las eléctricas. TAINEA S.A. San José. Comunicación personal.
2. AQUATHIN. 2004. Cotización de filtros multimedia en 1" y 1 ½ ". Moya Roldán, S.A. San José. 11 Marzo. 2 p.
3. ARAYA, C. 2004. Costo de las tarifas eléctricas. I.C.E. San José. Comunicación personal.
4. BEST INTERNATIONAL, INC. Manual de tratamientos de agua
5. BUSTAMANTE, J. 2005. Propuesta de evaluación financiera. San José. Comunicación personal.
6. CAJA COSTARRICENSE DE SEGURO SOCIAL. 1972. Tratamiento de aguas para equipos e instalaciones de hospitales. Sección de Mantenimiento. 120 p.
7. CENGEL, Y., BOLES, M. Termodinámica. Tomo I. Segunda edición. México, D.F. McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.
8. CORDERO, J. 2004. Propuesta de análisis económico. Universidad de Costa Rica, Escuela de Economía. San José. Comunicación personal.
9. DELGADO, J. A. 2003. Tipos y precios de los quemadores de gas. Cía. Fernando Delgado, S.A. San José. Comunicación personal.
10. FIBERGLAS COLOMBIA S.A. Cañuelas. Aislamiento para tuberías.
11. LA GACETA. 2004. Tarifas para los servicios medidos de acueductos y alcantarillados. N° 54. Página 56 – página 57.
12. MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. Departamento de salarios. Primer semestre 2004. Salarios mínimos. San José.
13. MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL. 1998. Reglamento de calderas. La Gaceta N° 65, San José, 2 de abril.

14. QUESADA, B. 2005. Costo y características de combustibles. Recope. San José. Comunicación personal.
15. QUIRÓS, R. 2005. Normas para la redacción de referencias bibliográficas. CITA. Ciudad Universitaria Rodrigo Facio.
16. SEQUEIRA, A. 1989. Elementos de diseño de una marmita. Informe de Proyecto de Graduación para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería Mecánica. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería.
17. SERVICIOS TÉCNICOS S. A. 2003. Cotización C-0312-1116 de caldera, dosificador de producto químico, regulador de presión, trampas de vapor, manómetro, tanque para almacenamiento de agua, tanque para almacenamiento de diesel y un calentador de agua. San José. Diciembre. 4 p.
18. SPIRAX SARCO, INC. Curso sobre técnicas para el uso eficiente del vapor. 90 p.
19. VÁLVULAS Y EQUIPOS S. A. 2004. Factura proforma 4271 de tubería y aislante térmico. San José. Marzo. 2 p.
20. VAPOR Y ENFRIAMIENTO S. A. 2004. Cotización. Productos para caldera. Alajuela. Abril. 2p.
21. YGNIS. sf. Manufacturing program for the industry. Ygnis Kessel A. G. Friedenstrasse 4.

## 8. SIMBOLOGÍA

A	: Área de intercambio de calor (m <sup>2</sup> )
A <sub>E</sub>	: Área de intercambio de calor del recipiente entre la chaqueta y el producto en la marmita eléctrica (m <sup>2</sup> )
A <sub>g</sub>	: Área de intercambio de calor del recipiente entre la chaqueta y el producto (m <sup>2</sup> )
A <sub>V</sub>	: Área de intercambio de calor del recipiente (m <sup>2</sup> )
c	: Espesor de la chaqueta (mm)
C.E.E.	: Consumo de energía eléctrica (kW-h)
CNE	: Costo no erogable
C <sub>p</sub>	: Calor específico a presión constante del alimento a calentar (kJ/kg K)
ρ	: Densidad del producto por calentar (kg/m <sup>3</sup> )
e <sub>rai</sub>	: Espesor del recipiente (mm)
FC	: Flujo de combustible (l/h)
FC <sub>AC</sub>	: Flujo de calor suministrado por una marmita de agua caliente (kJ/s)
FC <sub>E</sub>	: Flujo de calor suministrado por una marmita eléctrica (kJ/s)
FC <sub>g</sub>	: Flujo de máximo de calor suministrado por una marmita de gas (kJ/s)
FC <sub>V</sub>	: Flujo de calor promedio (kJ/s)
m	: Masa de producto alimentario a calentar (kg)
P.C	: Poder calórico (kJ/l)
Q <sub>pr</sub>	: Calor sensible absorbido por el producto (kJ)
r <sub>ic</sub>	: Radio interno de la chaqueta (mm)
r <sub>if</sub>	: Radio interno del fondo del recipiente (mm)
t <sub>c</sub>	: Tiempo de calentamiento (s)
T <sub>m</sub>	: Temperatura promedio (°C)
t <sub>R</sub>	: Tiempo de calentamiento de la marmita de gas (s)
ΔT	: Diferencia entre la temperatura del fluido de la chaqueta (T <sub>ac</sub> ) y la temperatura promedio del producto (T <sub>m</sub> ) (°C)
ΔT <sub>E</sub>	: Diferencia entre la temperatura del fluido de la chaqueta (T <sub>a</sub> ) y la temperatura promedio del producto (T <sub>m</sub> ) en marmita eléctrica, (°C)
ΔT <sub>g</sub>	: Diferencia entre la temperatura del vapor saturado (T <sub>v</sub> ) y la temperatura promedio del producto (T <sub>m</sub> ) en la marmita de gas, (°C)
(ΔT) <sub>pr</sub>	: Ámbito de temperatura del producto (°C)
ΔT <sub>V</sub>	: Diferencia entre la temperatura del vapor saturado de la chaqueta (T <sub>v</sub> ) y la temperatura promedio del producto (T <sub>m</sub> ) en la marmita de vapor, (°C)
U	: Coeficiente total de transferencia de calor (W/°C m <sup>2</sup> )
U <sub>E</sub>	: Coeficiente global de transferencia de calor entre el vapor de la chaqueta y el producto de la marmita eléctrica (W/°C m <sup>2</sup> )
U <sub>g</sub>	: Coeficiente global de transferencia de calor entre el vapor de la chaqueta y el producto de la marmita de gas (W/°C m <sup>2</sup> )
V	: Volumen de producto por calentar (m <sup>3</sup> )

## 9. APÉNDICE

Cuadro A.1  
Características de los fluido térmicos utilizados

Fluido	Poder calórico inferior	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Precio (¢/l)
Diesel	* 42 709,5 kJ/kg	* 849	* ¢ 286,00
Agua	_____	_____	** ¢ 0,6

Fuente:

Fecha: 14-06-05

\* RECOPE, funcionario: Basilio Quesada

\*\* LA GACETA.2004. N° 54.

Cuadro A.2  
Tarifa eléctrica utilizada

Sector industrial, tarifa: T3

	Temporada alta (¢/kW-h)	Temporada baja (¢/kW-h)
<b>Energía</b> (consumos menores de 3000 kW-h)		
<b>kW-h</b>	63,20	52,50
<b>Energía</b> consumos entre 3000- 20000 kW-h		
<b>kW-h</b>	37,80	31,40
<b>Potencia</b>		
<b>kW</b>	5 915,00	4 909

Fuente:

Fecha: 14-06-05

I.C.E, funcionario: Víctor Bonilla