

**ROBUSTECIMIENTO Y AUTOMATIZACION DE LA MARMITA MT-20, EN LA PLANTA  
PILOTO DE ALIMENTOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS,  
OPTIMIZANDO SU UTILIZACION EN LA INVESTIGACION DE PROCESOS EN LA  
INDUSTRIA DE ALIMENTOS**



**JOSE GREGORIO CABRERA ESPAÑA  
ELIN DARIO SARRIA PATIÑO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
GRUPO I + D EN INGENIERIA FÍSICA  
INGENIERÍA FÍSICA  
POPAYÁN  
2009**

**ROBUSTECIMIENTO Y AUTOMATIZACION DE LA MARMITA MT-20, EN LA PLANTA  
PILOTO DE ALIMENTOS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS,  
OPTIMIZANDO SU UTILIZACION EN LA INVESTIGACION DE PROCESOS EN LA  
INDUSTRIA DE ALIMENTOS**

**JOSE GREGORIO CABRERA ESPAÑA  
ELIN DARIO SARRIA PATIÑO**

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Físico**

**Director  
Ing. Mario Milver Patiño**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
GRUPO I + D EN INGENIERIA FÍSICA  
INGENIERIA FÍSICA  
POPAYÁN  
2009**

## NOTA DE ACEPTACION

---

---

---

---

Director \_\_\_\_\_

Ing. Mario Milver Patiño

Jurado \_\_\_\_\_

Ing. Leonairo Pencue

Jurado \_\_\_\_\_

Mg. Germán Bacca Bastidas

Fecha de sustentación: Popayán, Julio 24 de 2009



## AGRADECIMIENTOS

### Los autores manifiestan sus agradecimientos

Al PADRE ETERNO SIN NOMBRE Y SIN FIN y a Cristo Jesús Anciano de Días RAM RI DAM, por concederme la Vida, la Inteligencia, la Consciencia y la Sabiduría para llevar este proyecto a feliz término.

A mi FAMILIA, de manera muy especial a mi Padre DANIEL RAMIRO SARRIA Varón de Dios y Amigo Verdadero, a mis tías: LASTENIA Mi Segunda Madre, ALBA INÉS, LEONOR, DÉBORA, ALICIA, MERCEDES Y CARMEN SARRIA por su apoyo, preocupación, consejo, y sobre todo mucho AMOR Y COMPRENSIÓN incondicional durante todo este tiempo.

A mi compañero José G. Cabrera E. por su paciencia, colaboración, gran interés, y excelente trabajo.

Y en general a todas aquellas personas que con su colaboración amorosa y desinteresada contribuyeron con su granito de arena en la realización de este trabajo. En forma especial a el profesor Luis Fernando Echeverri por poner su confianza en nosotros en el momento en que pocos creyeron que esto sería una realidad; a Juan Manuel Caicedo, sus conocimientos y colaboración nos fueron de gran utilidad; al Ing. Andrés Chantre que además de colaboración nos dio esperanza y entusiasmo para seguir adelante, así como también a la Ing. Lucila Certuche, Ing. Fernando Grass, Ing. Sandra Godoy y al Ing. Mario Patiño.

E. Darío Sarria Patiño

Mis agradecimientos a Dios, a mi Madre MARINA ESPAÑA, a mi Padre y a mi Hermano que desde el cielo me dieron fuerzas para seguir adelante en esta carrera, y en general a mi Familia especialmente a Mi esposa Gladys a mi hija Sofía, y a todas aquellas personas me apoyaron durante mi carrera.

José G. Cabrera España

## Tabla de contenido

RESÚMEN .....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1 SECTOR DE APLICACIÓN: LA MARMITA.....	3
1.1 TIPOS DE MARMITA. ....	4
1.1.1 Marmita a vapor. ....	4
1.1.2 Marmita a gas. ....	5
1.1.3 Marmita industrial “Dispensador de Asfalto”. ....	6
1.1.4 Marmita de cocción. ....	6
1.1.5 Marmita de presión. ....	7
1.1.6 Marmitas basculares.....	7
1.2 BENEFICIOS DE LAS MARMITAS. ....	8
1.3 DESCRIPCION MARMITA MT-20. ....	8
1.4 FUNCIONAMIENTO. ....	9
1.5 LIMITACIONES DE LA MARMITA MT-20. ....	10
1.6 ALIMENTOS PROCESADOS EN LA MARMITA MT-20. ....	11
1.6.1 Arequipe. ....	11
1.6.2 Salsa de tomate ketchup. ....	12
2 FUNDAMENTOS CIENTIFICOS Y TECNOLOGICOS .....	14
2.1 ASPECTOS TERMODINÁMICOS.....	14
2.1.1 Transmisión de calor por conducción. ....	14
2.1.2 Transmisión de calor por convección. ....	15
2.1.3 Transmisión de calor por radiación. ....	16
2.1.4 Calor específico, calor latente y entalpía. ....	18
2.1.5 Importancia del aislamiento en la disminución de las pérdidas de calor en los equipos.....	19
2.1.6 Volumen de control. ....	19
2.1.7 Líquido comprimido y líquido saturado. ....	20
2.1.8 Vapor saturado y vapor sobrecalentado. ....	21
2.1.9 Temperatura de saturación y presión de saturación. ....	21
2.1.10 Válvulas.....	22
2.2 MOTORES ELECTRICOS. ....	22
2.2.1 Motores AC.....	23

2.2.2	Motores DC.....	24
2.2.3	Motores Universales. ....	30
2.3	SENSORES. ....	39
2.3.1	Encoder ITR8105. ....	39
2.3.2	Sensor de Temperatura LM35. ....	40
2.4	ACTUADORES. ....	42
2.4.1	Motor Eléctrico.....	42
2.5	DISPOSITIVOS DE REGULACIÓN.....	43
2.5.1	Variador de potencia de estado solido. ....	43
2.5.2	Relevo de estado solido.....	45
3	DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
3.1	ADECUACIÓN DE MOTOR. ....	47
3.2	CONTROL DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN. ....	47
3.3	SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA MARMITA MT-20.....	52
3.4	SISTEMA DE CONTROL NIVEL AGUA DEL ENCAMISADO. ....	54
3.5	SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRONICO DEL QUEMADOR A GAS. ....	57
4	ANALISIS Y RESULTADOS.....	58
4.1	SISTEMA DE CALENTAMIENTO ....	58
4.1.1	Cálculos Termodinámicos ....	61
4.2	CONTROL DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN ....	61
4.3	COSTOS DE OPERACIÓN GANADOS CON LAS IMPLEMENTACIONES. ....	63
4.3.1	Costo total de las implementaciones ....	64
5	CONCLUSIONES ....	65
	ANEXOS.....	66
	BIBLIOGRAFÍA ....	73

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Datos del Fabricante del Variador de Velocidad .....	44
Tabla 2. - Presupuesto Total.....	64



## INDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Flujo de calor emitido por una superficie para varios valores de $e$ . ...	17
Gráfico 2. Curva de $P_{sat}$ vs $T_{sat}$ .....	22
Gráfico 3. Velocidad de giro vs Corriente de excitación en un motor universal ..	32
Gráfico 4. Torque vs Corriente de excitación en un motor universal.....	33
Gráfico 5. Velocidad de giro vs Torque en un motor universal .....	33
Gráfico 6 - Torque de motores según su tamaño .....	49
Gráfico 7 - Tiempo para alcanzar la temperatura de saturación en las bobinas..	50
Gráfico 8 - Temperatura Vs. Tiempo con 20 litros de Producto .....	58
Gráfico 9 - Temperatura Vs. Tiempo con 90 litros de Producto .....	59
Gráfico 10 - Temperatura Vs. Tiempo en el procesamiento de arequipe .....	60
Gráfico 11 - Control Velocidad de Agitación .....	62
Gráfico 12 - Temperatura del motor en el tiempo .....	63



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Marmita a vapor. ....	4
Figura 2- Marmita industrial. ....	5
Figura 3 - MARMITA DE COCCIÓN .....	6
Figura 4- MARMITA MT-20 JAVAR, imagen suministrada por el fabricante. ....	9
Figura 5. Riesgos de Operación .....	11
Figura 6. Transferencia unidimensional de energía por conducción. ....	15
Figura 7 - Desarrollo de la capa limite en la transferencia de calor por convección.....	16
Figura 8 - Sistema abierto (camisa de la marmita) .....	20
Figura 9 - Esquema General de un Motor AC .....	24
Figura 10 - Esquema general de un Motor DC .....	25
Figura 11. Principio de funcionamiento de motores DC. ....	26
Figura 12 - Análisis de giro del Motor DC.....	27
Figura 13 - Detalles de los giros del Motor DC .....	27
Figura 14 - Esquema de un Motor Universal .....	31
Figura 15 - Diagramas de bloques y de Tiempos del Control por Angulo de Fase .36	
Figura 16 - Diagramas de bloques y de Tiempos del Control Chopper .....	38
Figura 17. Sensor óptico de ranura. ITR8105 .....	40
Figura 18 - Sensor de Temperatura LM35 .....	40
Figura 19 - Etapa de Amplificación para el LM35 .....	41
Figura 20 - Motor DC referencia BD6219 .....	43
Figura 21 - Variador de estado sólido de referencia TV24A50 .....	44
Figura 22 - Dimensiones del Variador de estado sólido .....	44
Figura 23 - Relevé de Estado Sólido .....	45
Figura 24 - Acople motor - caja reductora.....	47
Figura 25 - Diagrama de control de Velocidad .....	48
Figura 26 - Potenciómetro de precisión como elemento variador del ángulo de fase .....	49
Figura 27 - Motor Paso a paso PM55L-048.....	49
Figura 28 - Algoritmo simplificado del control .....	51
Figura 29. Válvula de seguridad de vapor NUEVA.....	52
Figura 30. Tapa Metálica .....	53
Figura 31. Calor radiado a) sin y b) con la tapa metálica.....	53
Figura 32 - Entrada de agua al encamisado de la marmita.....	54
Figura 33. - Panel frontal del instrumento con detalle del pulsador para inyección de agua.....	55
Figura 34. - Electroválvula .....	55
Figura 35. - Sensores Ópticos para nivel de agua. ....	55
Figura 36. - Diagrama de Control de Nivel de agua .....	56

Figura 37. a) Vista del tapón para la salida de agua del encamisado. b) Red de tubo en cobre para salida de agua del encamisado, con válvula de paso de agua. ....56

Figura 38. - Encendido electrónico. ....57



## RESÚMEN

En la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca, en el área de lácteos y *fruver*<sup>1</sup>, se cuenta con una marmita enfocada a procesos de investigación y desarrollo académicos, además, de su concepción original de tipo industrial.

A través del análisis de su funcionamiento y operatividad, se estableció un conjunto de limitaciones para ser corregidas, con el fin de utilizar este dispositivo en la investigación, ampliando las posibilidades que ofrece en su estado original en cuanto al control de los procesos que se llevan a cabo en dicha marmita.

Un estudio termodinámico permitió establecer los principales objetivos de rediseño estructural, cuya aplicación mejoró el desempeño de la máquina en términos de eficiencia y calidad.

Con el empleo de Microcontroladores, se desarrolló un sistema de control para manipular distintas variables de acuerdo a requerimientos de diversos experimentos de procesos investigativos que involucran a la marmita.

## INTRODUCCIÓN

La revolución industrial trajo a Colombia la máquina de vapor y con ella la marmita, que posteriormente fue utilizada en la industria de alimentos.

Una marmita es un recipiente metálico generalmente cubierto con una tapa adaptable debido a que tiene instalado un agitador. Esta máquina posee un sistema de doble camisa para calentamiento que consiste en una cavidad hermética que se llena con agua, donde se genera un cambio de fase desde líquido comprimido, líquido saturado y una mezcla saturada de líquido-vapor a presión constante. La idea es aprovechar la temperatura de esta mezcla para inyectar una determinada cantidad de energía térmica en el procesamiento de los productos.

En ella se cocina alimentos en grandes cantidades, en nuestro caso su objetivo esencial es extraer agua del producto procesado mediante evaporación. A nivel industrial, se emplea para procesar cierto tipo de alimentos, como por ejemplo: obtención de arequipe, pasteurización de pulpa de fruta, premezclas de néctares y jugos, concentrado de jugo de tomate y mermeladas. La labor esencial que esta máquina realiza sobre los alimentos es transferirles calor en grandes cantidades de una forma moderada, con el fin de evaporar agua y obtener productos con un predeterminado grado de concentración de sólidos. La marmita cuenta con un agitador electro-mecánico que permite acelerar hasta cierto grado la evaporación de agua del producto y funciona a un número fijo de revoluciones por minuto.

El objetivo de este trabajo es dar una solución concreta a varias limitaciones que presenta una de las marmitas ubicada en la Planta Piloto de Alimentos, específicamente relacionadas con procesos aplicados en vegetales de la Facultad De Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca. Con este trabajo se pretende generar una herramienta académica para el estudio de procesos donde se requiera controlar la velocidad de agitación, mejorar la operatividad y lograr una eficiencia notable en el calentamiento.

## 1 SECTOR DE APLICACIÓN: LA MARMITA

La Marmita o primera olla a vapor fue creada en Francia por el inventor, matemático y FÍSICO Denis Papin a finales de 1679 y 1680<sup>2</sup>, también conocida como “digesteur”, es predecesora de las ollas a presión actuales, esta marmita consistía básicamente en dos ollas, una dentro de la otra, provista de una válvula de seguridad y una tapadera muy ajustada, que incrementaba la presión interna del vapor, elevando el punto de ebullición del líquido de cocción. Podía hacer hervir el agua a una temperatura más alta de lo normal permitiendo la cocción rápida de alimentos a altas presiones. Cocinaba más rápido que las ollas convencionales de aquella época, aunque inicialmente fue creada para la extracción de grasas de los huesos. Esta olla dispone de una válvula de seguridad inventada también por Papin, la cual no se comercializó hasta el S. XX.

En 1682, Denis Papin invitó a los miembros de la “Royal Society”<sup>3</sup> a una cena en la que se sirvieron por primera vez viandas cocinadas en la olla que él había inventado. Después de la cena, uno de los miembros escribió que gracias al “Digesteur”, las carnes más duras de los vacunos más viejos, resultaron tiernas y sabrosas.

En 1919 se concede la primera patente de lo que se denominó “Olla Express” a Jose Alix Martínez, de Zaragoza, España. Así aparece con el número de patente 71143 en el Boletín Oficial de Propiedad Industrial que se publicó el 16 de Noviembre de 1919. Pero la primera patente reconocida en la historia de olla marmita se concedió en Francia, en 1948, cuando M. Devedjian fabricó un modelo de cocción rápida al que llamó “cocotte minute”. Años después en 1952 George Laverne perfeccionó el invento con un nuevo modelo de ollas de gran capacidad (Hasta 300 litros) que llevaban un sistema de cierre especial. Este modelo tuvo un gran éxito y fue muy popular en Francia. Al año siguiente, en 1953, salió a la luz “La supercuchote” fabricada por los hermanos Lescure. En 1954 la patente de esta marmita se comercializa en España con el nombre de “SEB-MAGEFESA” y las ollas se fabrican por montones.

A nivel industrial se utiliza para procesar alimentos a gran escala, como mermeladas, arequipe, jaleas, chocolate, dulces, confites, también carnes, bocadillos, salsas, etc. También se utiliza en la industria química farmacéutica.

Generalmente todas las marmitas son construidas en acero inoxidable y tienen capacidad de muchos litros desde 5 hasta 5000 Lts. o más.

## 1.1 TIPOS DE MARMITA.<sup>4</sup>

### 1.1.1 Marmita a vapor.

Esta marmita utiliza un sistema de calentamiento muy común en la industria alimentaria, en especial para el procesamiento de frutas y hortalizas. Consiste básicamente en una cámara de calentamiento conocida como camisa o chaqueta de vapor, que rodea el recipiente donde se coloca el material que se desea calentar. En la figura 1 se puede observar este tipo de marmitas.

El calentamiento se realiza haciendo circular el vapor a cierta presión por la cámara de calefacción, en cuyo caso el vapor es suministrado por la caldera.

Usualmente la marmita tiene forma semiesférica y puede estar provista de agitador mecánico y un sistema de volteo para facilitar la salida del producto. Se pueden encontrar dos tipos de marmitas según sea abierta o cerrada. En la abierta el producto es calentado a presión atmosférica, mientras que en la cerrada se emplea vacío. El uso de vacío facilita la extracción de aire del producto por procesar y permite hervirlo a temperaturas menores que las requeridas a presión atmosférica, lo que evita o reduce la degradación de aquellos componentes del alimento que son sensibles al calor, favoreciendo la conservación de las características organolépticas y el valor nutritivo de la materia prima, con lo que se obtienen productos de mejor calidad. Este equipo se emplea para el mezclado y calentamiento del puré, azúcar y benzoato, así como de la pectina y azúcar, la cual se efectúa en dos marmitas por separado.



Figura 1 - Marmita a vapor.

## EVAPORADOR

En esta parte del proceso se cocina la mezcla de los ingredientes para la preparación de la mermelada. El evaporador es una marmita con doble chaqueta cerrada.

## TANQUE DE AGITACIÓN

En este tanque (marmita con chaqueta sencilla) se efectúa la agitación final de la mezcla. Construidas en acero inoxidable o acero al carbono. Presión de diseño hasta 50 psi. Con aislamiento en lana de fibra de vidrio y lámina en acero inoxidable.

### 1.1.2 Marmita a gas.

Las Marmitas a gas, llevan quemador tipo atmosférico, automático, con sistema de seguridad de llama, encendido electrónico y ducto para la evacuación de gases. Incluyen controles de presión y como accesorios adicionales consta de un sistema de agitación: desde 20 hasta 180 rpm, un sistema de volcamiento para descarga de material y controles como son: Manómetros, válvula de seguridad y registros para drenaje. Esta construida en acero inoxidable tiene menor pérdida de temperatura por un mejor aislamiento del cuerpo de la marmita. Modelo a gas de calor indirecto, es decir trabaja con doble camisa en donde circula vapor. Tiene válvula de seguridad para la presión, control de calor y niveladores de agua.



Figura 2- Marmita industrial.

### 1.1.3 Marmita industrial “Dispensador de Asfalto”.

Marmita redonda para fundir que tiene un crisol de acero inoxidable (Calibre 18) y casco (calibre 20) que facilita la limpieza del mismo. Ver figura 2. Se puede elegir el modelo de 6 o el de 12 cuartos de galón. Incluye un soporte para montaje de banco ajustable y para trabajo pesado que se ajusta a cualquiera de los dos tamaños. El control de la temperatura dual permite una temperatura independiente para la olla (0-350°) y para la válvula (1-10°). El visor digital puede leerse en Centígrado o Fahrenheit. Otras características incluyen: calentador cobertor de Múltiple-circuito para un calor uniforme; dispensador de válvula de bola de 1” anti goteo, 7-1/4” sobre la superficie de trabajo; calentador de válvula de 50 W; aislamiento de fibra de vidrio de 3” (76mm); tapa de aluminio separada; cordón eléctrico de 6 pies. Capacidad de 6 cuartos de galón - 800 W; O.D. = 10-1/4” día. x 14” alto (260 x 356mm). I.D. = 6-3/4” día. x 7-1/4” profundidad (171 x 184mm). Capacidad 12 cuartos de gallón - 1,200 W; O.D. = 15” día. x 17” alto (381 x 432mm). I.D. = 10” día. x 9-1/2” profundidad (254 x 241mm). (Válvula y controles excluidos).

### 1.1.4 Marmita de cocción.

En la construcción de máquinas para el sector del procesamiento de carne y pescado ha resultado una serie de marmitas de cocción con una calidad excelente y unos requisitos de mantenimiento mínimos. La podemos observar en la figura 3. Puntos fuertes: Ahorro de energía, es fácil de usar y de mantener y es segura en caso de accidentes.



Figura 3 - MARMITA DE COCCIÓN



- Fácil de usar
- Ahorro de energía
- Ajustar los parámetros de tiempo y temperatura.
- Cocción en fases.
- Velocidad variable del regulador.
- Fácil de mantener gracias al agitador extraíble con rascadores

Muy seguro

- Al control separado en el armario de control.
- Al brazo fijo.
- Al motor del agitador con transmisión en la base.

También estas marmitas son aptas para alimentos gracias a los componentes de acero inoxidable y muy ergonómico gracias a las patas regulables, se presentan con capacidades de 300 a 2.000 litros.

#### **1.1.5 Marmita de presión.**

La marmita de presión es una máquina multifuncional que permite tiempos de cocción más cortos para poder preparar en menos tiempo, por ejemplo, estofados.

#### **1.1.6 Marmitas basculares.**

Esta marmita está suspendida entre dos columnas y puede bloquearse en la posición deseada de forma hidráulica. La cuba bascula de manera muy uniforme, sin golpes. Gracias a la boca de vertido de gran tamaño, puede vaciarse el contenido de forma cómoda y sin derrames y tiene una capacidad de 300 a 2.000 litros.

## 1.2 BENEFICIOS DE LAS MARMITAS.

- ✓ Es indispensable para procesos de concentración en la industria de alimentos.
- ✓ Se utiliza generalmente a nivel industrial para procesar alimentos nutritivos, mermeladas, jaleas, chocolates, dulces y confites, carnes, bocadillos, sales, salsas, etc.
- ✓ Además se utiliza en la industria química farmacéutica.
- ✓ Se utiliza para procesar alimentos en grandes cantidades.
- ✓ La agitación se hace de una manera electromecánica, evitando el esfuerzo humano, permitiendo una agitación constante y homogénea.
- ✓ El encamisado permite un calentamiento controlado del producto, ya que la temperatura del encamisado está alrededor de los 100°C, dependiendo de la presión en el mismo.
- ✓ Su estructura rígida logra un procesamiento del alimento de una forma segura. Ya que el recipiente contenedor del producto está en una posición estable, evitando su caída y derrame.

## 1.3 DESCRIPCION MARMITA MT-20.

Marmita de referencia MT-20 ubicada en la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca. Fabricada por industrias JAVAR, de Colombia. Está sujeta a una estructura de hierro rígido, y con una palanca para rotarla, ver figura No.4. Consta de un motor eléctrico AC a 120V y ½ HP, de 1800 rpm el cual está conectado a un moto reductor y éste a su vez al agitador, el cual gira a una velocidad de 25 rpm. Esta marmita está construida en acero inoxidable calibre 132 y tiene una capacidad de 120 Lt., de los cuales solo se emplean de 20 a 40 Lt. El sistema de calentamiento es a gas (propano) el cual consta de un quemador de 75000 BTU/h de potencia, el cual se enciende manualmente mediante un piloto y una válvula puesta en la parte frontal del equipo. La marmita tiene incorporado un encamisado que se llena con agua (máximo 12 Lt. aprox.) cuyo nivel se puede observar a través de una mirilla colocada en la parte exterior de la olla. Tiene además una tapa que permite ajustarse al agitador. Tiene una entrada de agua por medio de un tapón roscado el cual se debe retirar para llenar el encamisado. Consta también de un manómetro (0-100 psi) y una válvula de alivio de presión de vapor.



Figura 4- MARMITA MT-20 JAVAR, imagen suministrada por el fabricante.

#### 1.4 FUNCIONAMIENTO.

La marmita básicamente tiene:

- a) Un recipiente de metal con tapa
- b) Un manómetro
- c) Una válvula de alivio de presión
- d) Una agitador
- e) Quemador a gas
- f) Encamisado con mirilla de nivel de agua
- g) Palanca de rotación
- h) Perilla de control de flujo de gas

Después de llenar el encamisado con agua hasta cierto nivel dado por el usuario, se llena el recipiente con el producto a procesar. Luego se enciende el motor eléctrico con el fin de poner el agitador en movimiento, este se mueve constantemente siempre a la misma velocidad. El encendido del quemador se hace manualmente; primero se enciende el piloto y después se gira la perilla para que el gas fluya hacia el quemador. La combustión en el quemador transmite grandes cantidades de calor inicialmente al encamisado con agua, el cual se va calentando en forma gradual hasta hervir, de tal forma que el producto recibe calor gradualmente a través del encamisado, y no directamente desde el quemador. El agua en el encamisado no hierve a temperatura normal sino aproximadamente a 116°C, lo que permite una mayor inyección de calor en el alimento procesado. Cuando la presión del vapor sobrepasa los 25 psi, la válvula de alivio se dispara eliminando el excedente y relajando la presión sobre

la camisa. El producto se retira de la marmita cuando haya alcanzado cierta temperatura y posea también, ciertas condiciones organolépticas.

### 1.5 LIMITACIONES DE LA MARMITA MT-20.

Se observó que esta máquina no funciona bajo los requerimientos estipulados por el usuario; se maneja un tiempo mínimo de trabajo de 2 horas, pues el proceso de solidificación de ciertos productos es muy lento, alcanzando tiempos de 4 y 6 horas. Y se enfatiza que la velocidad del agitador debería ser regulable, pues no todos los productos se deben agitar a la misma velocidad, ya que esto incrementa sustancialmente la energía interna del producto y por ende el flujo de vapor de agua hacia el exterior, evento que puede resultar inadecuado en la calidad del producto final.

En las pruebas iniciales con agua, se observó también que la válvula de seguridad de vapor no funciona correctamente, dejando escapar vapor, lo que ocasiona que la mezcla vapor saturado dentro de la camisa pierda presión y no alcance la temperatura adecuada en el tiempo requerido para calentar el producto rápidamente.

Se pudo observar también que en el quemador hay grandes pérdidas de calor hacia los alrededores, lo que disminuirá la cantidad de energía que se inyecta en el encamisado, y por ende en el producto.

Por otro lado el sistema de encendido de la marmita presenta una falencia delicada, y es que si las flautas de gas se llegasen a apagar súbitamente, habría una fuga de gas ininterrumpida que podría generar serios problemas en la seguridad de los operarios. En las siguientes fotos (Ver figura 5.), podemos observar el daño hecho por la camisa de la marmita en la mano del operario cuando este la retiró afanosamente para evitar que la llama lo quemara, en un momento en que el quemador no encendía manualmente y se habían llevado a cabo varios intentos.



Figura 5. Riesgos de Operación

## 1.6 ALIMENTOS PROCESADOS EN LA MARMITA MT-20.

### 1.6.1 Arequipe.

El arequipe es un dulce tradicional de varios países de América Latina; se define como un producto de textura blanda y pegajosa, elaborado a partir del proceso de evaporación de leche con azúcar hasta lograr una concentración en el contenido de sólidos solubles de 65 a 70 °Bx. Este producto tiene un aporte calórico aproximado de 30 Kcal por porción (10 g)<sup>5</sup>.

El procedimiento para elaborar este producto es el siguiente<sup>6</sup>: en primer lugar se prepara la leche homogeneizándola, filtrándola y pesándola además de evaluar su acidez cuantitativa y su porcentaje de grasa; luego se descrema mediante centrifugado. Finalmente se divide la cantidad de leche en 2 partes iguales, guardando una en condiciones de refrigeración.

Una de las partes se adiciona a la marmita agregándole bicarbonato de sodio como agente neutralizante, pues durante el proceso de evaporación no solo se concentrarán los sólidos del jarabe (leche-edulcorantes-almidón) sino que además lo harán los iones hidronio provenientes de los ácidos de la leche, la neutralización permite conservar durante el proceso un bajo grado de acidez para evitar de esta manera que las proteínas de la leche se vean afectadas y se puedan desnaturalizar y coagular por efecto de las altas temperaturas asociadas al proceso. La leche previamente neutralizada se precalienta hasta 60 °C para realizar la adición de las materias primas considerando que su porcentaje de adición es respecto al peso total de la leche a procesar: azúcar 15%; glucosa en polvo 2%; almidón arcos 0,3% y citrato de sodio 0,1%.

Se evalúan los grados Brix y temperatura iniciales, y luego concentrar el producto hasta 55 grados Brix. Después adicionar la otra mitad de la leche previamente precalentada a 60 °C y con su respectiva cantidad de neutralizante.

Concentrar esta mezcla hasta 65 °Bx. Luego apagar el quemador de la marmita, y con agitación constante realizar un enfriamiento del arequipe hasta 60 °C adicionando con cuidado agua a la camisa de la marmita. Finalmente, se retira el agitador y se procede a envasar.

### 1.6.2 Salsa de tomate ketchup.

El origen del ketchup proviene del ketsiap chino, una salsa que acompañaba el pescado y la carne pero que no incluía tomate entre sus ingredientes. Los ingleses lo importaron del archipiélago malayo en el siglo XVIII. Pero el ketchup moderno fue ideado por el norteamericano Henry J. Heinz, quien en 1876 añadió el tomate en dicha salsa<sup>7</sup>.

**Elaboración por el método de CONCENTRACION<sup>8</sup>:**

**Ingredientes:** Jitomate fresco (maduro); *Condimento para Formulación/Lt. de puré*; Azúcar 250 gr; Sal 70 gr; Vinagre 300 ml; Agua 100 ml; Cebolla mondada y rebanada 10 gr; Clavo entero 2 gr; Canela entera 4 gr; Ajo mondado y rebanado 0.5 gr; Pimientas entera 2.5 gr; Chile Pimentón molido 0.5 gr.

**Procedimiento:** Se lava perfectamente el jitomate para disminuir impurezas de la superficie del producto y se selecciona, eliminando tomates mohosos. A continuación se realiza la extracción del jugo. Se cuela con una manta de cielo el jugo obtenido, para poder exprimir con las manos y permitir el paso de la pulpa y no así de las semillas. Si se desea, se puede utilizar una coladera de malla cerrada. A continuación se realiza la concentración en la marmita, hasta que el líquido se haya evaporado a la mitad del volumen inicial.

Terminada la concentración se mide el volumen de puré obtenido para poder adicionar el vinagre de especies. Deben adicionarse y mezclarse hasta homogenizar. Extracción de las especies por el vinagre.

Se pone todo a calentar el agua con las especies en un recipiente a fuego lento por espacio de una hora. Se cuela por una manta de cielo. Se le agrega el vinagre, el azúcar y la sal. Se añade el vinagre de especies a 2.0 litros de puré en estado hirviendo. **Se agita constantemente** hasta que hierva y se llenan, así calientes, las botellas de aproximadamente 460 mililitros, cerrándose inmediatamente y se esterilizan por 20 minutos.

En esta marmita también se procesan otro tipo de alimentos como: **pasteurización de pulpa de fruta, premezclas de néctares y jugos, y mermeladas.** Pero solo hemos hecho referencia a los que se preparan más a menudo en dicha maquina.



## 2 FUNDAMENTOS CIENTIFICOS Y TECNOLOGICOS

### 2.1 ASPECTOS TERMODINÁMICOS.

Dentro del procesamiento de alimentos en la marmita, la transferencia de calor hacia estos es un fenómeno esencial. Los productos que se procesan en ella tienen un alto contenido de agua, que se elimina mediante evaporación en un determinado porcentaje. De esta manera el calor existente en el medio de calentamiento se transmite al alimento para aumentar su temperatura hasta el punto de ebullición (calor sensible). La tensión de vapor aumenta y la transmisión de calor latente de vaporización provoca la formación de burbujas de vapor en el líquido en ebullición que es finalmente eliminado de la superficie. La velocidad de evaporación se halla determinada por la velocidad de transferencia de calor del encamisado de la marmita al alimento y la velocidad de transferencia de masa desde el alimento que está siendo sometido al proceso.

En muchos casos es deseable poder calentar o enfriar los alimentos tan rápidamente como sea posible. Esto mejora la economía del proceso por incremento de la capacidad, y generalmente resulta un producto de mejor calidad. Las velocidades y los mecanismos de transferencia de calor son muy importantes en nuestro caso, pues se desea una alta tasa de transferencia de calor hacia el alimento en un tiempo mínimo. Esta transmisión de calor hacia los alimentos se puede dar por convección, radiación o conducción o por su combinación y en la marmita se presentan estos tres fenómenos. La velocidad de calentamiento depende de una variedad de factores tales como el estado físico (es decir si es sólido, líquido o en estado de suspensión), el tamaño y la naturaleza del producto, sus propiedades térmicas (tales como calor específico y conductividad), el mecanismo de transferencia de calor y la temperatura, y la naturaleza del fluido de transferencia (agua)<sup>9</sup>.

#### 2.1.1 Transmisión de calor por conducción<sup>10</sup>.

Es la forma en que tiene lugar la transferencia de energía a escala molecular. Cuando las moléculas absorben energía térmica vibran sin desplazarse, aumentando la amplitud de la vibración conforme aumenta el nivel de energía. Esta vibración se transmite de unas moléculas a otras, sin que tenga lugar movimiento alguno de traslación.

Si existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, tendrá lugar una transmisión de calor desde la zona de alta temperatura hacia la que está a temperatura más baja. Ver figura 6. El flujo de calor será proporcional a un gradiente de



temperatura, representado por la siguiente ecuación con su respectiva constante:

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \text{Ec. 2-1}$$

Ley de Fourier de la conducción en cualquier sistema.

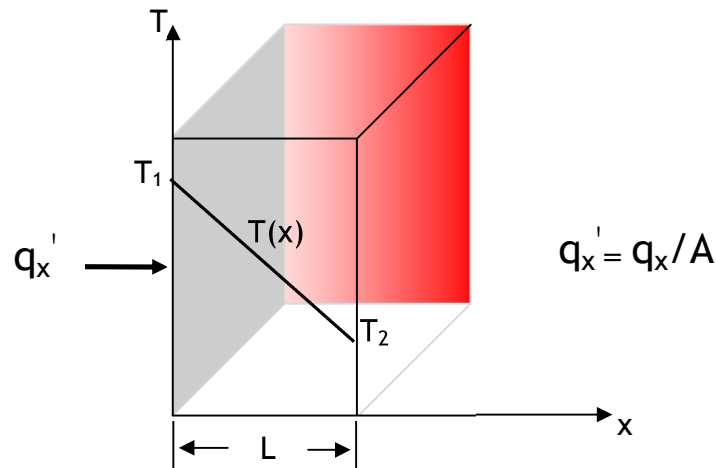


Figura 6. Transferencia unidimensional de energía por conducción.

Siendo  $Q_x$  el flujo de calor por conducción en la dirección  $x$  (W),  $k$  la conductividad térmica ( $W/m \cdot ^\circ C$ ),  $A$  el área (normal a la dirección  $x$ ) a través de la que fluye el calor ( $m^2$ ),  $T$  la temperatura ( $^\circ C$ ) y  $x$  la distancia (m).

### 2.1.2 Transmisión de calor por convección<sup>11</sup>.

Estamos especialmente interesados en la transferencia de calor por convección que ocurre entre un fluido en movimiento, agua en nuestro caso, y una superficie limitante (acero) cuando éstos tienen diferentes temperaturas. Considere el flujo del fluido sobre la superficie calentada de la figura 7. Una consecuencia de la interacción fluido–superficie es el desarrollo de una región en el fluido en la que la velocidad varía de cero en la superficie a un valor finito  $u_\infty$  asociado con el flujo. Esta región del fluido se conoce como capa límite hidrodinámica o de velocidad. Más aún, si las temperaturas de la superficie y del fluido difieren, habrá una región del fluido a través de la cual la temperatura varía de  $T_s$  en  $y=0$  a  $T_\infty$  en el flujo exterior. Esta región, denominada capa límite térmica, puede ser más pequeña, más grande o del mismo tamaño que aquella en la que varía la

velocidad. En cualquier caso, si  $T_s > T_\infty$  ocurrirá la transferencia de calor por convección entre la superficie y el flujo exterior.

El flujo de calor por unidad de área se expresa mediante la ley de Newton:

Ec. 2-2

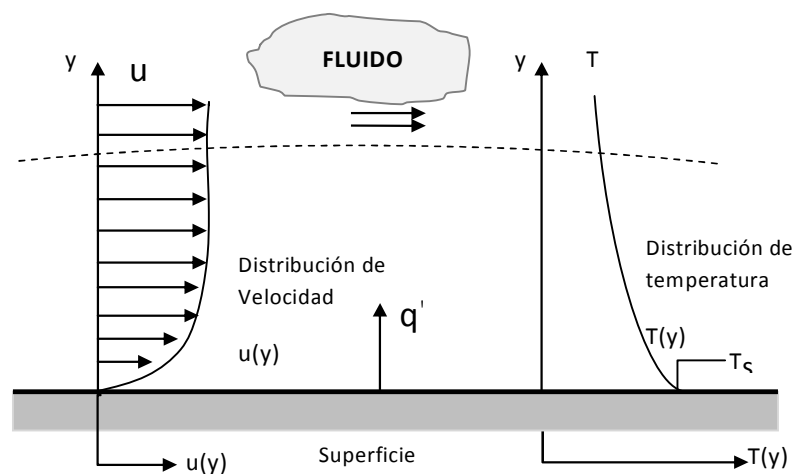


Figura 7 - Desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección.

En esta ecuación el flujo de calor  $q'$  por unidad de área, se expresa en función del gradiente de temperatura .  $A$  es el área ( $m^2$ ) y  $h$  es el coeficiente de transmisión de calor por convección superficial, en  $W/m \cdot ^\circ C$ . Los valores de  $h$  son mayores para convección forzada que para convección natural.

### 2.1.3 Transmisión de calor por radiación<sup>12</sup>.

Tiene lugar entre superficies mediante la emisión y posterior absorción de radiación electromagnética. A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no requiere ningún medio para su propagación y puede tener lugar incluso en el vacío.

La energía irradiada (o emitida) por una superficie es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia y depende de las características de la superficie. Ver el grafico 1. El flujo de calor emitido por una superficie se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{q}{A} = \sigma \epsilon T_A^4 \quad \text{Ec. 2-3}$$

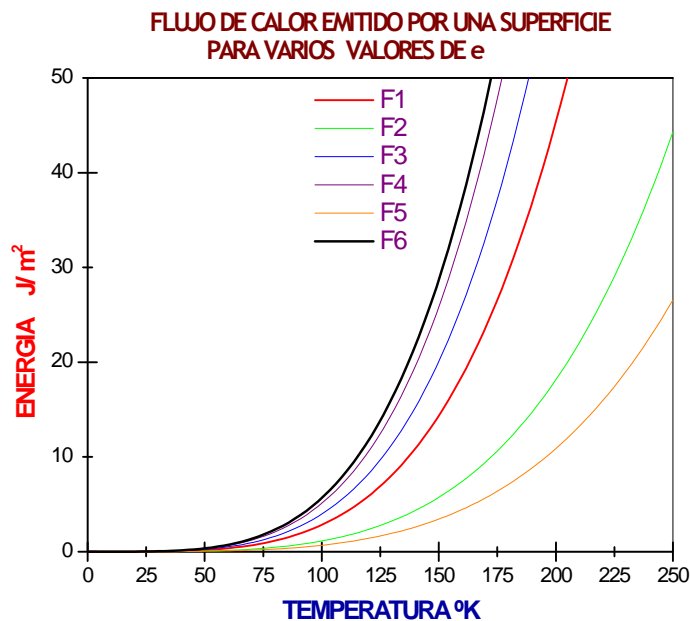


Gráfico 1. Flujo de calor emitido por una superficie para varios valores de e.

Siendo  $\sigma$  la constante de Stefan -Boltzman,  $5.669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ . Donde  $\epsilon$  es una propiedad radiativa de la superficie denominada *emisividad*. Con valores en el rango  $0 \leq \epsilon \leq 1$ , esta propiedad proporciona una medida de la eficiencia con que una superficie emite energía en relación con un cuerpo negro. Esto depende marcadamente del material de la superficie y del acabado.

Estos tres fenómenos físicos se llevan a cabo en la marmita en el sistema de calentamiento de la siguiente manera: la base del encamisado de la marmita recibe calor a una altísima temperatura desde el quemador, y por conducción este atraviesa la pared metálica; luego por convección se transmite al agua, de ésta por convección se transmite a la siguiente pared metálica, que nuevamente el calor la atraviesa por conducción, y finalmente es inyectado en el producto por convección. La radiación de energía se sucede especialmente con los alrededores (paredes-piso) de la marmita.

#### 2.1.4 Calor específico, calor latente y entalpía<sup>13</sup>.

Estas propiedades juegan un papel importante en los problemas de transferencia de calor, cuando se calientan o enfrían alimentos. Es necesario conocer el calor específico para determinar la cantidad de energía que se va a manipular. Esto puede dar una indicación del coste energético implicado, y en un proceso continuo tendrá influencia sobre el tamaño del equipamiento. Los valores de calor latente, que están asociados con los cambios de fases, juegan un papel importante en los procesos de congelación, cristalización, **evaporación** y deshidratación.

##### 2.1.4.1 Calor específico.

Es la medida de la cantidad de energía necesaria para elevar una unidad de temperatura la unidad de masa. Como se menciona atrás, es dependiente de la temperatura. Sin embargo para el propósito de muchos cálculos térmicos estas variaciones son pequeñas y se usa un valor medio del calor específico para el rango de temperatura considerado. Las unidades del calor específico son kilojulios por kilogramo por Kelvin ( $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{K}$ ), kilocalorías por kilogramo y Kelvin ( $\text{Kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{K}$ ). En la marmita se utiliza agua en el encamisado para calentar indirectamente al producto por lo tanto es de nuestro interés su calor específico:  $1,0 \text{ kcal}/\text{kg}\cdot^\circ\text{K}$  ó  $4,18 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{K}$  a  $59^\circ\text{F}$ ; igualmente el de la leche es de  $3,89 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{K}$  por encima del punto de congelación; del zumo de tomate a  $20^\circ\text{C}$  es de  $3,95 \text{ kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ .

##### 2.1.4.2 Calor latente.

Para fundir un sólido o *vaporizar un líquido se requiere una gran cantidad de energía*. La cantidad de esta que es absorbida o liberada durante el proceso de cambio de fase se llama calor latente. Específicamente, la cantidad de energía absorbida durante la evaporación se llama calor latente de evaporación y es equivalente a la energía liberada durante la condensación. Las magnitudes de los calores latentes dependen de la temperatura o presión en la que se sucede el cambio de fase: a 1 atm de presión, el calor latente de fusión del agua es de  $333,7 \text{ kJ}/\text{kg}$ , mientras que *el de evaporación es de  $2256.5 \text{ kJ}/\text{kg}$* ; esto nos da una idea de la gran cantidad de energía que hay que proporcionar a los productos con un alto contenido de agua, con el fin de extraerla de ellos mediante evaporación, haciendo uso de la marmita.

### 2.1.4.3 Entalpía.

O contenido de calor a presión constante es una propiedad termodinámica extensiva, es decir depende de la cantidad de materia presente, y se define como la suma de la energía interna más el producto de la presión por el volumen ( $h = u + Pv$ ), donde  $h$  se da en Julios,  $u$  es la Energía Interna en Julios,  $P$  es la presión en Pascales y  $V$  el volumen en metros cúbicos. Los cambios de entalpía tienen importancia en las operaciones de calentamiento o enfriamiento, porque la entalpía total de un sistema no puede medirse directamente, al igual que la energía interna, en cambio la variación de entalpía de un sistema sí puede ser medida experimentalmente. El cambio de la entalpía del sistema causado por un proceso llevado a cabo a presión constante, es igual al calor absorbido por el sistema durante dicho proceso.

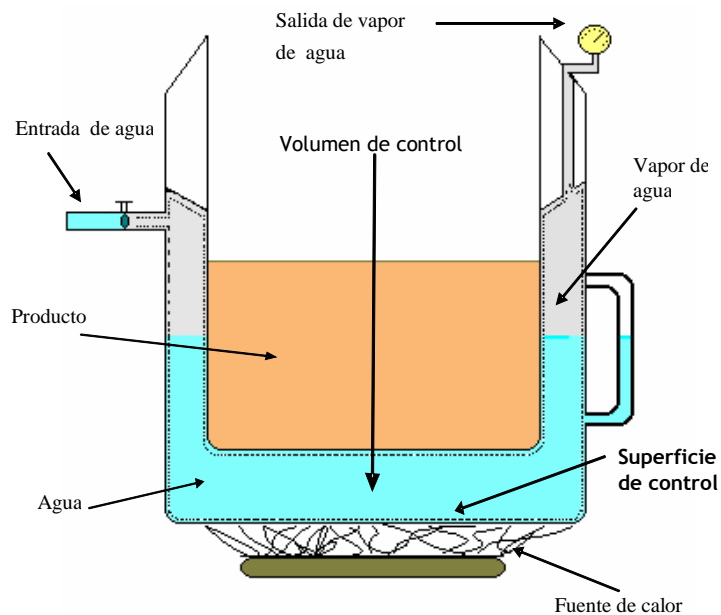
### 2.1.5 Importancia del aislamiento en la disminución de las pérdidas de calor en los equipos.<sup>14</sup>

Los equipos para el procesamiento de alimentos se suelen aislar para minimizar las pérdidas de calor hacia el entorno. Si no se aíslan, los equipos pueden tener pérdidas de calor por cualquiera de los 3 mecanismos de transmisión de calor: conducción, convección o radiación. Las pérdidas de calor por convección serán las más importantes, pues las corrientes de convección se desarrollarán fácilmente si existe una diferencia de temperatura entre el cuerpo y su entorno. Es necesario aislar para disminuir el flujo de calor entre el objeto y sus alrededores. El material aislante debe tener baja conductividad térmica y capacidad para frenar las corrientes de convección. Los materiales más utilizados para aislar incluyen el corcho, la magnesia, el vidrio y la lana.

### 2.1.6 Volumen de control.<sup>15</sup>

Un sistema abierto, o volumen de control como se llama con frecuencia, es una región seleccionada del espacio. Por lo común encierra a un dispositivo que comprende un flujo de masa como un compresor, una turbina o una tobera. El flujo a través de estos dispositivos se estudia mejor al seleccionar la región como volumen de control. Tanto la masa como la energía pueden cruzar la frontera de un volumen de control, la cual se denomina superficie de control. Ésta se ilustra en la figura 8.

Figura 8 - Sistema abierto (camisa de la marmita)



Como ejemplo se considera el sistema de calentamiento de la marmita mostrado en la figura 8. Se requiere determinar cuánto calor se debe transferir al agua que está en el tanque encamisado para suministrar un flujo permanente de energía térmica hacia el producto procesado. Puesto que saldrá agua en forma de vapor por medio de la válvula y será sustituida por agua fría, no conviene elegir una masa fija como sistema para el análisis. En su lugar, es posible concentrarse en el volumen formado por las superficies interiores del tanque y considerar los flujos de vapor y agua fría como las masas que entran y salen del volumen de control.

### 2.1.7 Líquido comprimido y líquido saturado.<sup>16</sup>

A 20° C y a 1 atm de presión, el agua existe en fase líquida y se denomina líquido comprimido o líquido su enfriado, lo que significa que no está a punto de evaporarse.

Si se transfiere calor al agua manteniendo la presión constante, como por ejemplo a 1 atm de presión, el agua empieza a calentarse hasta aumentar su temperatura a 100 °C. En este punto el agua sigue siendo un líquido, pero cualquier adición de calor, no importa cuán pequeña sea, ocasionará que un poco de líquido se evapore. Está por suceder un proceso de cambio de fase, de líquido

a vapor. Un líquido que está a punto de evaporarse recibe el nombre de líquido saturado.

### 2.1.8 Vapor saturado y vapor sobrecalentado.<sup>17</sup>

Una vez empieza la ebullición, el aumento de temperatura se detendrá cuando el líquido se evapore por completo. La temperatura permanecerá constante durante todo el proceso de cambio de fase, si la presión se mantiene constante. Cuando todo el líquido se evapora, cualquier decremento de la temperatura por pequeño que sea producirá una pequeña condensación (de vapor a líquido). Un vapor a punto de condensarse recibe el nombre de vapor saturado. Una mezcla de entre vapor y líquido se conoce como mezcla saturada de líquido-vapor, debido a que las fases líquida y de vapor coexisten en equilibrio.

Al tener un estado de vapor saturado, una transferencia adicional de calor resultará en un incremento tanto de su temperatura como de su volumen, así por ejemplo a 1 atm de presión el vapor puede tener una temperatura de 300°C, en este estado cualquier decremento pequeño sin llegar a 100°C, no producirá condensación. Un vapor que no está a punto de condensarse se denomina vapor sobrecalentado.

### 2.1.9 Temperatura de saturación y presión de saturación.<sup>18</sup>

La temperatura a la cual el agua empieza a hervir depende de la presión; en consecuencia al fijar la presión, se determina la temperatura de ebullición. A una presión dada, a la temperatura en la cual una sustancia pura empieza a hervir se le llama temperatura de saturación  $T_{\text{sat}}$ . Del mismo modo, a una temperatura determinada, la presión a la cual una sustancia empieza a hervir recibe el nombre de presión de saturación  $P_{\text{sat}}$ . Una dependencia de la presión de saturación y temperatura de saturación se muestra en el grafico 2.

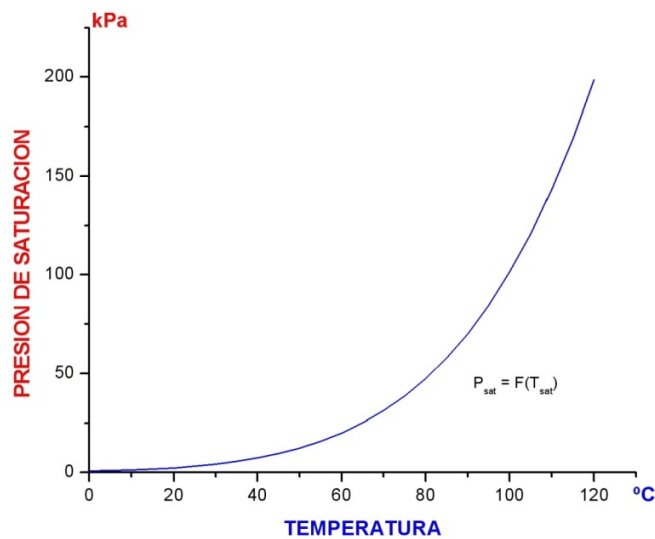


Gráfico 2. Curva de Psat vs Tsat

### 2.1.10 Válvulas.<sup>19</sup>

En diversos procesos, se emplean un gran número de válvulas, de tamaños y formas muy diferentes. A pesar de la amplia variedad de diseños, todas tienen un fin principal que es común: disminuir o detener el flujo de un fluido, en nuestro caso VAPOR. Algunas válvulas son del tipo «todo o nada», es decir, funcionan abriendo o cerrando totalmente, otras se diseñan de forma que pueden ser reguladas, reduciendo así la presión y la velocidad de flujo del fluido. Existen aun otras, que permiten el flujo solamente en una dirección, o en ciertas condiciones de temperatura y presión.

Existen en el mercado varios tipos de válvulas: de compuerta, de asiento, de pistón, de bola, de retención, etc. En nuestro caso nos interesaremos por la de **retención**; una válvula de retención permite el flujo solamente en una dirección. Se abre debido a la presión del fluido que circula hacia el exterior de la camisa de la marmita; cuando se detiene el flujo o tiende a invertirse, la válvula cierra automáticamente por medio de un resorte que hace presión sobre el disco.

## 2.2 MOTORES ELECTRICOS.

Dentro de los procesos industriales, los motores eléctricos son una pieza clave en la aplicación y distribución de fuerza, velocidad, giro, entre otros. En las



marmitas, estos actuadores electromecánicos generan el movimiento rotatorio de los agitadores, cuya función es garantizar una convección forzada para el calentamiento homogéneo de los alimentos procesados<sup>20</sup>. Dentro de las implementaciones objeto de este trabajo, está la de poder variar la velocidad de agitación de la marmita MT-20, por lo tanto es importante tener en cuenta este tipo de maquinas, como son los motores eléctricos.

Existen diferentes tipos de motores eléctricos, usados en la maquinaria para el proceso de alimentos. Entre ellos se encuentran: motores de corriente continua (DC), motores de corriente alterna (AC) y motores universales (que trabajan tanto en AC como en DC), entre otras variaciones y derivaciones de esta clasificación general. Nos centraremos en los motores DC, ya que es un tipo de estos motores el utilizado en la implementación.

### 2.2.1 Motores AC.

Los motores AC, ver figura 9, son maquinas eléctricas rotatorias que funcionan con fuentes de alimentación de corriente alterna, y está conformado principalmente por dos secciones más grandes como son el rotor y la carcasa. En esta carcasa se encuentra una base polar donde está arrollado un bobinado. Este conjunto se conoce como estator. A diferencia de los motores de corriente continua, los motores de corriente alterna no poseen en su rotor un sistema colector, prescindiendo de las escobillas, por tanto su construcción es más simple y requieren de un menor mantenimiento y con esto llegan a tener una vida útil más larga. Anteriormente cuando se requería de un funcionamiento a velocidad variable no eran considerados pues los mecanismos necesarios para variar la velocidad del motor CA son mucho más complejos que los requeridos para variar la velocidad en un motor CD<sup>21</sup>.

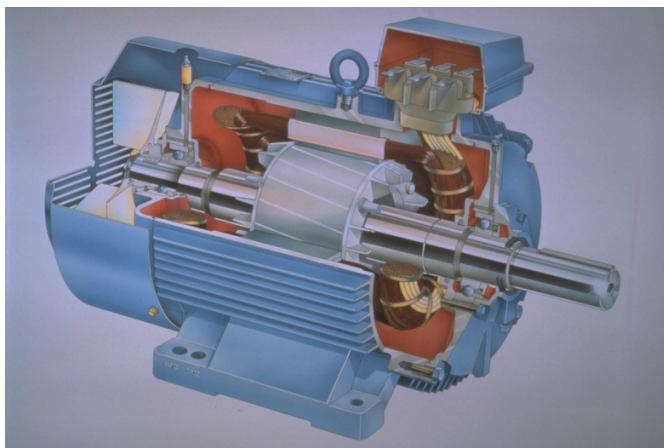


Figura 9 - Esquema General de un Motor AC

El motor eléctrico que genera el movimiento de agitación de la marmita MT-20, es un motor AC monofásico de la empresa SIEMENS, con 0.5 HP de potencia y 1800 r.p.m. Este tipo de motor en particular es un motor de fase partida, esto es tiene dos embobinados uno primario o auxiliar que funciona en el arranque hasta un 70% de su velocidad nominal y es desactivado por medio de un interruptor centrífugo, y un embobinado de trabajo que releva al embobinado auxiliar, y es el que funciona a la velocidad nominal de una manera estable.

### 2.2.2 Motores DC.

Este tipo de motores funcionan a partir de una fuente de corriente directa o continua. Son utilizados en una gama de aplicaciones, desde micro robots hasta maquinaria industrial. Una característica de nuestro interés es su fácil variación de velocidad.



Figura 10 - Esquema general de un Motor DC

Si se desarmara un motor de corriente continua se apreciaría que las dos secciones más grandes serían el rotor y una carcasa. Ver la figura 10. En esta carcasa se encuentra una base polar donde está arrollado un bobinado, este conjunto (base polar, bobinado, carcasa) se conoce como estator. El estator es la parte fija del motor y es el encargado de generar el campo magnético que influirá para que el rotor gire. El rotor es la parte móvil del motor, este es alimentado a través de conectores conocidos como escobillas.

El carbón de que están hechas las escobillas debe tener características específicas: ha de ser compacto, de gran homogeneidad y de dureza relativa; en ciertos casos se utilizan escobillas de grafito. De cualquier forma, el contacto entre las escobillas y el colector debe ser firme y constante, siendo este el motivo por el que el “portaescobillas” está dotado de un sistema de muelles que comprimen las escobillas contra los anillos.

Entre los polos del estator gira el rotor, armadura o inducido, mantenido en posición por los muelles de las tapas. El inducido está formado por un eje de acero templado, un núcleo de hierro laminado con ranuras longitudinales y el colector. El colector está constituido por piezas de cobre endurecido, separadas entre sí y del rotor por láminas de mica<sup>22</sup>.

### 2.2.2.1 Principios de Funcionamiento.<sup>23</sup>

Para explicar el funcionamiento de un motor de corriente continua, se considerará un motor elemental constituido por una espira de conductor que gira entre los polos de un imán permanente. Como el que se muestra en la figura 11.

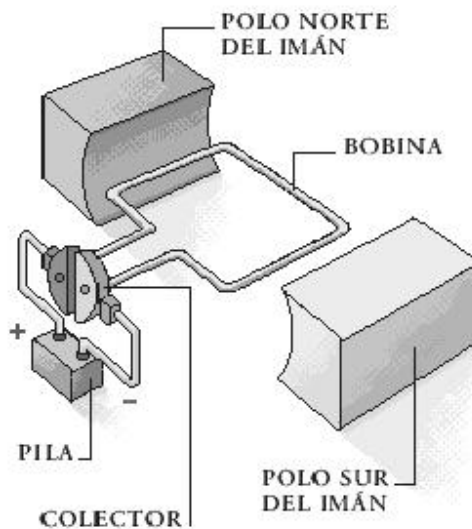


Figura 11. Principio de funcionamiento de motores DC.

La ley de Ampere o conocida en términos prácticos como “la ley de la mano derecha” es la herramienta más útil para comprender y determinar el sentido de giro de cualquier tipo de motor.

Para las figuras siguientes se considera el motor de CD visto de frente.

En la figura 11, la corriente que pasa por la espira hace que aparezca encima de ella un polo magnético norte y debajo un polo magnético sur. De esta forma, estos polos son atraídos por los polos de naturaleza opuesta del imán permanente y la espira gira en el sentido de las manecillas del reloj.

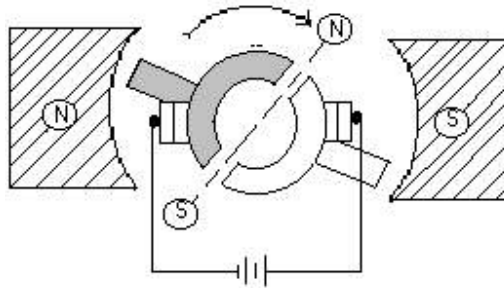


Figura 12 - Análisis de giro del Motor DC

En la figura 13a, la espira ha realizado un giro de  $90^\circ$  en relación con la posición anterior, y, de esta forma, sus polos se encuentran frente a los del imán permanente. Pero ahora se observará que debido a la acción del conmutador, que invierte el sentido de recorrido de la corriente por la espira, no es su polo sur el que está frente al norte del imán, sino el propio polo norte. De esta forma debido a la repulsión entre los polos del mismo nombre, la espira continúa girando en el mismo sentido hasta alcanzar la posición representada en la figura 13b.

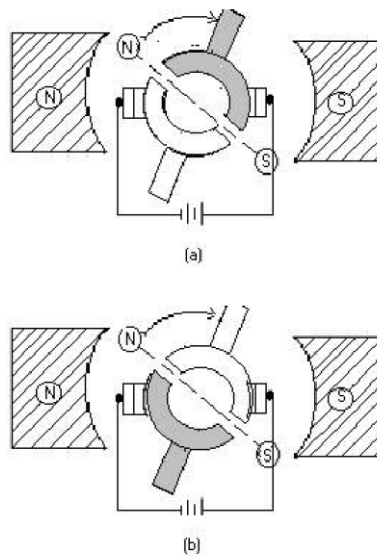


Figura 13 - Detalles de los giros del Motor DC

En esta nueva posición de la espira, que equivale a una rotación de  $180^\circ$  en relación con la anterior, ya hubo una nueva conmutación y como en el caso de la figura anterior, los polos de la espira están frente a los polos del mismo nombre del imán, y aquella continúa girando en el mismo sentido, permaneciendo así mientras haya una corriente circulando por ella.

Es importante conocer el funcionamiento del motor fundamental, ya que éste constituye la base del estudio de todos los motores de corriente continua. A este

efecto, es interesante recordar que la corriente que circula por la espira cambia de sentido en el momento exacto en que sus polos están frente a los polos de nombres contrarios del imán permanente. Si no realiza la conmutación, o si se hace en un momento inoportuno, el motor se parará y los polos de signos contrarios del imán y de la espira quedarían enfrentados.

En los motores reales, los inducidos están formados por bobinas múltiples, todas con el eje perpendicular al campo magnético producido por el estator. A causa del gran número de bobinas que tiene el motor, se puede suponer que el campo del inducido está siempre presente y localizado a una posición de 90° con respecto al campo del estator, lo que hace que haya siempre un par motor actuando sobre el inducido. El flujo en el rotor producido por el estator hace que el polo magnético norte del rotor sea repelido por el polo magnético norte del estator y atraído por el polo sur. La atracción y la repulsión se realizan simultáneamente, ejerciendo sobre el inducido un par motor que le hace girar de acuerdo con la ley de Ampere.

#### 2.2.2.2 Velocidad y Torque del Motor de Corriente Continua.<sup>24</sup>

Isaac Newton definió el trabajo mecánico como la integral de la fuerza por distancia, a través de la cual actúa:

$$w = Fdx \quad \text{Ec. 2-4}$$

De la ecuación anterior, si la fuerza está en Newtons y la distancia x, en metros, entonces la potencia (en watts), es la rapidez para hacer el trabajo:

$$P = \frac{dW}{dt} = f \frac{dx}{dt} \quad \text{Ec. 2-5}$$

Al ser un motor (de cualquier tipo) una máquina giratoria, lo correcto no es expresar la ecuación como una función en coordenadas cartesianas, sino, que una definición más específica sería el hacerlo en coordenadas polares:

$$W = \int f dx = \int fr d\theta \quad \text{Ec. 2-6}$$

Ahora, en la mecánica de rotaciones, la fuerza tangencial multiplicada por la distancia a la cual es aplicada, medida desde el eje de rotación se denomina par o torque ( $\tau$ ).

$$\tau = fr \quad \text{Ec. 2-7}$$

entonces,

$$W = \tau d\theta \quad \text{Ec. 2-8}$$

Entonces  $dW = \tau d\theta$ , de ahí que la potencia mecánica ésta dada por:

$$P = e i = \frac{dW}{dt} = \tau \frac{d\theta}{dt} = \tau \omega \quad \text{Ec. 2-9}$$

Donde  $\omega$  es la velocidad angular en radianes por segundo. Por consiguiente, el par puede calcularse partiendo de la potencia mecánica si se conoce la velocidad.

De la ecuación anterior es fácil concluir que si se tiene una carga constante, el torque ejercido al motor es constante. Si se desea aumentar la velocidad de un motor con una carga fija, se debe entonces aumentar la potencia suministrada al motor, para ello se debe aumentar el voltaje o aumentar la corriente; una forma de aumentar la corriente manteniendo el voltaje constante, es teniendo un motor especial al cual se le pueda disminuir la resistencia interna. Así, para que la relación  $V = IR$  se mantenga, si se disminuye la resistencia, entonces automáticamente la corriente aumenta y con esto la velocidad, pero presentará el grave inconveniente de que los devanados internos del rotor se calentaran debido al gran aumento de flujo de corriente. Entones la forma más sencilla de variar la velocidad de los motores de CD es variando el voltaje del rotor, tal y como se realiza en los sistemas de control de velocidad.

Si se aumenta el voltaje del rotor necesariamente aumenta la corriente del motor pues debido a que la resistencia interna de los motores utilizados no puede ser variada, al aumentar el voltaje (V) y para que la relación  $V = IR$  se mantenga, la corriente debe aumentar, esta interacción voltaje corriente, se refleja en la potencia consumida  $P = VI$ .

La ventaja de esta relación es que el aumento de voltaje o de corriente para generar una nueva velocidad es mucho menor al que se presentaría si solo uno de los parámetros fuera aumentado. De ahí que la velocidad de un motor CC no depende solamente de la carga, también de la intensidad de campo y de la tensión aplicada. Cuanto más pesada sea la carga, mayor será el torque requerido y por tanto mayor será la potencia requerida por el motor para funcionar con una determinada velocidad.

Reescribiendo la ecuación:

$$e i = \tau \omega \quad \text{Ec. 2-10}$$

Se aprecia que para mantener una relación par-velocidad constante, se debe mantener una relación voltaje-corriente constante.

Si se tratara de un motor paso a paso esto se lograría manteniendo un voltaje fijo, energizando únicamente uno de los devanados del rotor, así la corriente circulante genera un polo norte en el rotor el cual se “junta” con el polo sur del estator y por consiguiente el polo sur del rotor estará enfrentado al polo norte del estator, así el motor no se moverá y el torque se mantendrá. Los motores paso a paso no son motores que se utilicen para aplicaciones industriales, pero el principio explicado se aplica de igual forma para los motores CD industriales.

Para mantener torque en un motor, una corriente debe fluir en el rotor, pero para generar esa corriente, debe de existir una fuente de tensión. Así pues, para que el motor no gire  $e_i$  debe ser cero y dado que la corriente debe existir, el factor nulo es el voltaje.

### 2.2.3 Motores Universales.<sup>25</sup>

Los motores universales, son una clase de motores de corriente directa, Se designa así al motor de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en serie con el bobinado inducido, son utilizados en aplicaciones donde se requiere control de la velocidad y un alto torque. Sus aplicaciones típicas van desde el campo de los electrodomésticos hasta las más complejas maquinarias de potencia. Por favor ver la figura 14.

Debido a su configuración estos motores pueden ser alimentados tanto con corriente alterna como directa, por lo que recibe el nombre de “motor universal”.

Un motor universal está conformado por tres partes principales:

**Estator:** Contiene los devanados de campo para generar el flujo magnético radial.

**Rotor:** Devanados de la armadura alimentados con corriente eléctrica a través de escobillas para generar el flujo magnético.

**Escobillas:** Contacto mecánico de la fuente de poder y los devanados del rotor.

Si una fuente DC es conectada al motor universal, las bobinas del estator se comportan como un imán permanente y el motor universal se comporta como un motor DC, con una excepción: no invierten la dirección de giro. Cuando se invierte la corriente el continúa girando en la misma dirección, porque al invertir la corriente del rotor, también se invierte la corriente de los electroimanes.



En efecto, cada polo del motor cambia de norte a sur, o de sur a norte. Como todos los polos cambian su polaridad, el motor continuará girando en la misma dirección.

Como el motor universal siempre rota en la misma dirección independientemente de la dirección de la corriente, éste trabaja también cuando se conecta a una fuente AC.

Para cambiar la dirección de rotación del motor, las bobinas del estator deben ser reconectadas, para invertir la dirección de los polos.

Cuando un motor universal opera conectado a una fuente de poder AC, el motor no experimenta ningún torque durante la corriente inversa, pero el torque promedio es suficiente para hacer girar el motor, como si estuviese conectado a una fuente de corriente directa.

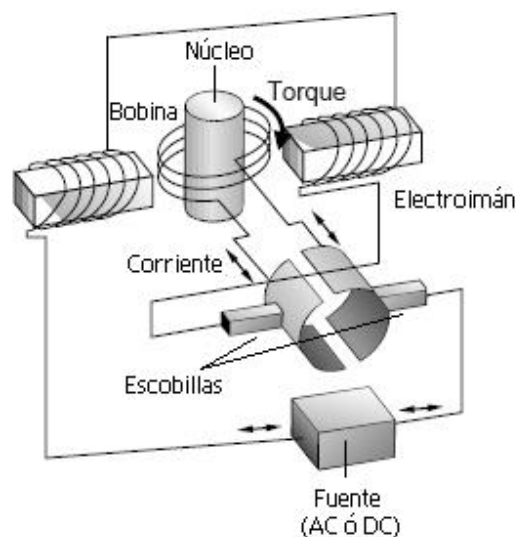


Figura 14 - Esquema de un Motor Universal

La conexión en serie del inductor y el inducido implica que la corriente es la misma en todo el circuito. El flujo es proporcional a la corriente.

$$\Phi = K.I \quad \text{Ec. 2-11}$$

Se tiene que la velocidad de giro es

$$\omega = (V - IR_f) / K\Phi \quad \text{Ec. 2-12}$$

Con la ecuación 5.8, se obtiene

$$w = \left( \frac{V}{K^2 \cdot I} \right) - \left( \frac{R_t}{K^2} \right) \quad \text{Ec. 2-13}$$

Como se observa en la anterior expresión la velocidad de giro del motor es inversamente proporcional a la corriente, esto se puede ver en mejor en el grafico 3.

Este tipo de motores es muy sensible al cambio de corriente, si la corriente es muy baja el motor tiende a embalsarse.

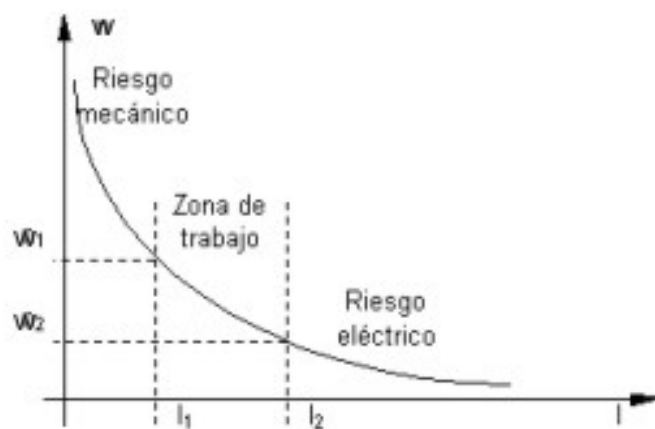


Gráfico 3. Velocidad de giro vs Corriente de excitación en un motor universal

Con respecto al torque se tiene que

$$T = K \cdot \Phi \cdot I \quad \text{Ec. 2-14}$$

Y la ecuación 4-11

$$T = K^2 \cdot I^2 \quad \text{Ec. 2-15}$$

Se puede observar que el torque es proporcional al cuadrado de la corriente.

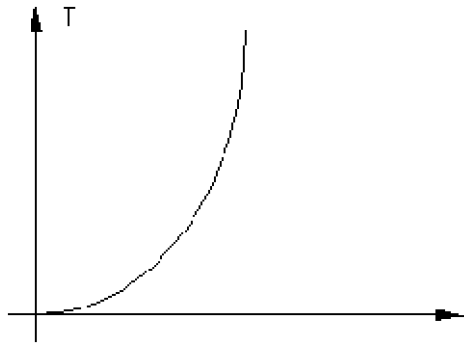


Gráfico 4. Torque vs Corriente de excitación en un motor universal

De las ecuaciones vistas anteriormente, se deduce la relación entre la velocidad de giro y el torque:

$$w = \left( V / K \cdot \sqrt{T} \right) - K \quad \text{Ec. 2-16}$$

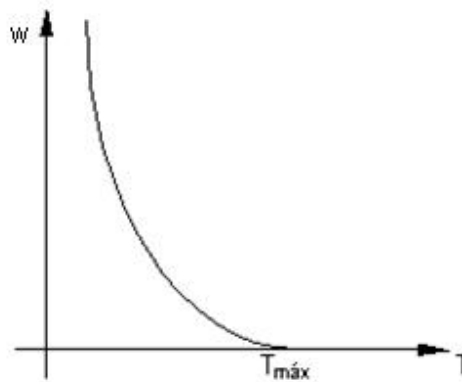


Gráfico 5. Velocidad de giro vs Torque en un motor universal

Se observa que la velocidad del motor tiene una dependencia proporcional del voltaje e inversa del torque o carga. Ver gráfico 5.

Esta es la característica más importante de este motor. Que cuando no hay resistencia (par pequeño) el motor se puede embalar, no debe trabajar en vacío. Pero el motor tiene el máximo par en el momento del arranque.

Debido a estas características el motor se utiliza en la tracción eléctrica, es el de mayor par en el momento del arranque (trenes, subtes, puentes grúa, etc).

Estas son características deseadas en la agitación proporcionada en la marmita MT-20.

La marmita, objeto del presente trabajo, está dotada con un motor asíncrono monofásico, con las siguientes especificaciones técnicas:

- MARCA: SIEMENS
- MODELO: 1LF3-082-4YA90
- MOTOR MONOFASICO
- POTENCIA: 0.5 HP
- REVOLUCIONES: 1800 RPM
- BOBINADO AUXILIAR E INTERRUPTOR CENTRIFUGO
- CONSUMO DE CORRIENTE: 6.2 A @ 115 V

Según los requerimientos de optimización de la marmita, se debe controlar la velocidad de los agitadores, en un rango comprendido entre 25 y 60 r.p.m. El motor original, viene acoplado a una caja reductora cuya relación es de 70:1. La máxima velocidad de rotación que dicho motor original es capaz de entregar a la caja de reducción es de 1800 r.p.m. que tras la relación de reducción se convierten en aproximadamente 25 r.p.m., la cual corresponde solamente al grado mínimo del rango deseado.

Otra limitación analizada sobre el motor original, consiste en que éste es de “fase partida”, lo que implica que está compuesto por dos bobinados de estator: el bobinado principal y el auxiliar (o de arranque). Cuando el motor arranca, trabaja sólo con el embobinado auxiliar y por medio de un interruptor centrifugo cuando alcanza aproximadamente el 70% de su velocidad nominal, activa el embobinado principal, que está construido para trabajar de forma continua y es al que se le puede aplicar la carga durante los periodos largos de trabajo.

Los anteriores argumentos, llevaron al equipo de desarrollo, a estudiar la necesidad de reemplazar este el motor.

Entre las diversas posibilidades para la sustitución, se estudiaron diferentes tipos tanto de corriente alterna como directa, contemplando la limitación del espacio a ser ocupado por el nuevo motor dentro de la marmita.

El motor elegido como reemplazo fue un motor universal con las siguientes características:

- MARCA: GENERAL ELECTRIC
- MODELO: BD6219
- MOTOR UNIVERSAL
- POTENCIA: 2 HP
- REVOLUCIONES: 15000 RPM
- CONSUMO DE CORRIENTE: 10 A @ 115 V

La relación introducida por la caja de reducción, permite un rango de control de la rotación de los agitadores de 20 y 215 r.p.m., que cubre e incluso supera el rango objetivo.

La velocidad de este motor puede ser controlada fácilmente por diferentes técnicas, ya que es ajeno a la limitación del doble embobinado del motor original de la marmita.

Una ventaja adicional es el hecho de que este tipo de motores, tiene un alto par a baja corriente, entre otros beneficios ya mencionados en el análisis teórico de los motores universales.

### 2.2.3.1 Control de Velocidad para Motores Universales.

Un mayor requerimiento para motores eléctricos de aplicaciones de uso general, es la habilidad de controlar su velocidad.

Hoy en día, dos soluciones electrónicas son comúnmente utilizadas en la industria para realzar el control de velocidad: Control del ángulo de fase y Control Chopper. Ambas soluciones tienen sus fortalezas y debilidades.

#### 2.2.3.1.1 Control de Angulo de Fase.<sup>26</sup>

El control de ángulo de fase es una solución simple y de bajo costo para cambiar la velocidad de un motor universal a través del empleo de un *triac*. La compuerta del *triac* puede ser controlada directamente por los puertos de salida de un microcontrolador y el drenador y el surtidor son conectados al motor como si se tratase de un interruptor. Ver figura 15.

Las ventajas de esta solución son:

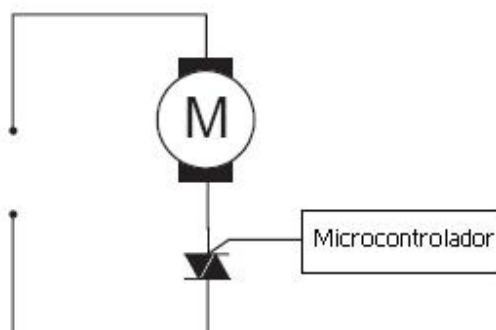
- Simpleza
- Bajo Costo
- Total control de velocidad

Por otro lado, las deficiencias son:

- Alto ruido en las escobillas
- Corto tiempo de vida
- Alta corriente de rizado

- Pobre inducción electro magnética

(a) Diagrama de bloques



(b) Diagrama de Tiempo

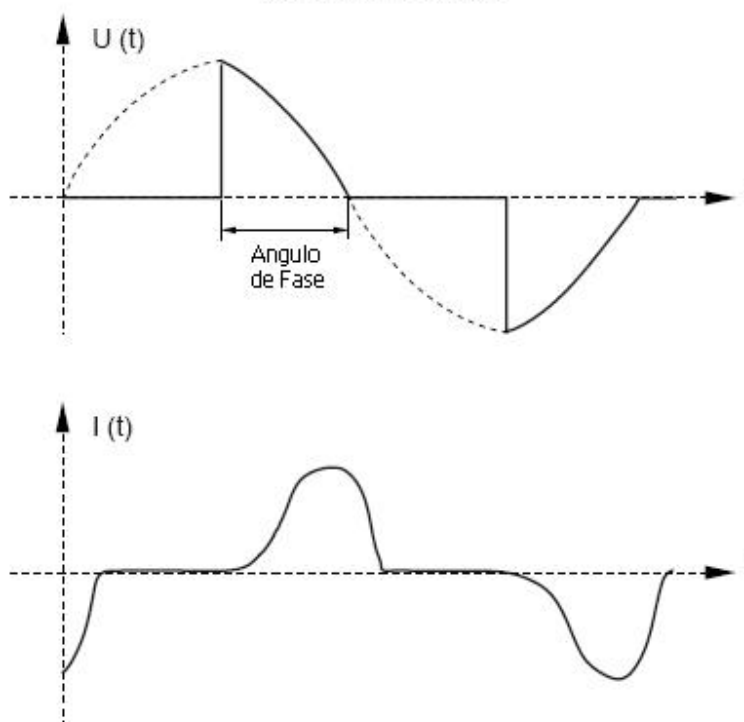


Figura 15 - Diagramas de bloques y de Tiempos del Control por Angulo de Fase

### 2.2.3.1.2 Control Chopper.<sup>27</sup>

El control por Modulación de Ancho de Pulso (PWM), es otra solución para controlar la velocidad del motor universal. Ver figura 16. El voltaje AC del primario es rectificado y luego conmutado a alta frecuencia por un MOSFET de potencia o un IGBT. La frecuencia de conmutación se encuentra comúnmente en un rango de 10 a 20 KHz.

El control PWM es la más avanzada solución para controlar la velocidad de un motor universal. Como resultado de la aplicación de esta técnica, se obtiene una baja corriente de rizado, lo que reduce los armónicos y por lo tanto se obtiene un mejor aprovechamiento de la inducción electromagnética.

La reducción de los armónicos, comparado con el control de ángulo de fase reduce las pérdidas de cobre y de hierro, lo que se traduce como mayor eficiencia del motor.

Controlar un motor en chopper, también reduce el ruido acústico, que es un importante factor hoy en día que no puede ser subestimado.

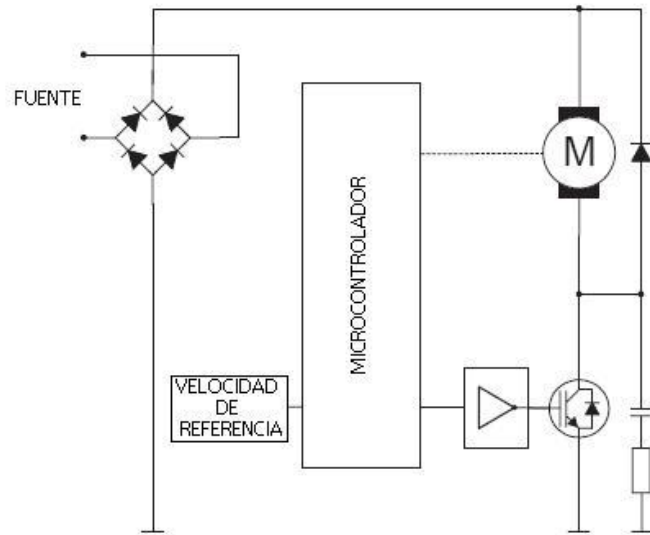
Las ventajas de esta solución son:

- Alta eficiencia del motor.
- Bajo ruido acústico.
- Buen comportamiento de la corriente.

Las desventajas son:

- Necesidad de un mayor número de componentes
- Alto costo
- Se requiere filtrado de la frecuencia de chopper

(a) Diagrama de Bloques



b) DIAGRAMA DE TIEMPO

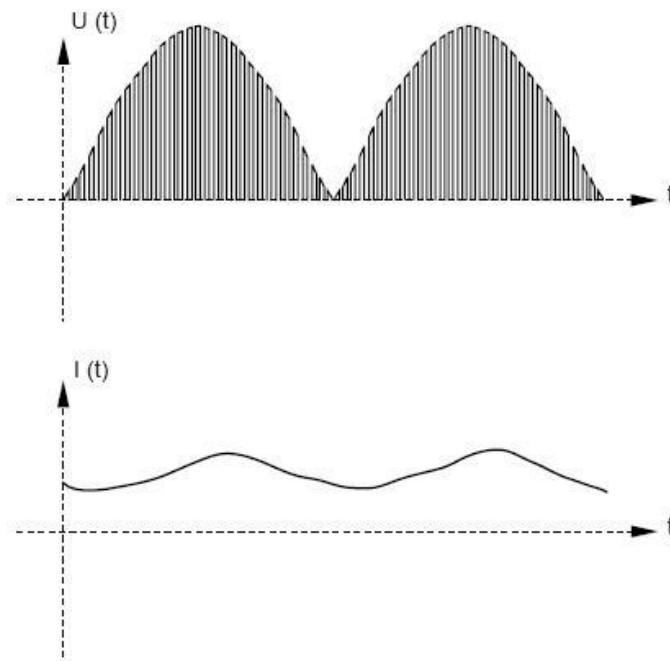


Figura 16 - Diagramas de bloques y de Tiempos del Control Chopper



Tras elaborar pruebas de control con el método *chooper*, se presentó una tendencia permanente a la ruptura de los *mosfets* de potencia, ocasionando el embalaje del motor o su detención total. Un conjunto de mediciones permitió establecer que la causa de este problema estaba directamente relacionada con el filtrado de la frecuencia y el análisis de un circuito para la elaboración de dicho filtrado, arrojó costos demasiado altos para el presupuesto de dicho proyecto. Los anteriores motivos llevaron al equipo de desarrollo a tomar la decisión de emplear el control por ángulo de fase, ya que sus desventajas no son procedentes en la aplicación sobre el motor a controlar y por el contrario sus fortalezas cubren de manera amplia los requerimientos planteados. Es de aclarar que el control por ángulo de fase había sido descartado de forma inicial solo por una comparativa contra las principales ventajas del método *chooper*. Un factor adicional que rectificó esta decisión fue una investigación en el mercado local que estableció la disponibilidad comercial de tecnologías de estado sólido, que corrigen las desventajas teóricas del control de ángulo de fase.

## 2.3 SENSORES.

Dentro del diseño del sistema de control de velocidad de agitación de la marmita, se hace uso de un sensor que detecta cada giro del motor y lo transmitiera en forma de señal digital, para esto se usó el *encoder ITR8105*, que por su respuesta y diseño físico se acoplara al diseño electrónico y mecánico que se obtiene del giro del eje del motor.

El motor en su desempeño al operar la marmita, está obligado a superar cargas por un largo tiempo durante la agitación, lo que hizo necesario sensor su temperatura la cual no debe superar la máxima soportada por el componente más sensible a ella, el cual es la película aislante de los alambres de las bobinas, que es de alrededor de 85°C. Se usó el sensor de temperatura LM35DZ , que cumple con las características requeridas.

### 2.3.1 *Encoder ITR8105.*

El ITR8105 (*Slot Optical Switch*) es un conjunto de diodo emisor infrarrojo acoplado a un fototransistor en un empaquetado plástico. Su encapsulado está diseñado para optimizar la resolución mecánica, eficiencia de acople y aislamiento de la luz ambiente. La cavidad entre los dos dispositivos optoelectrónicos provee un espacio en el cual cualquier interrupción de la señal infrarroja conmuta la señal de salida de estado alto (*on*) a estado bajo (*off*), con una alta respuesta en tiempo al switcheo (0.2 MHz).

Para detectar y censar el giro del motor se usa el *ITR8105*, en el cual, al producirse una rotación, un obstáculo pasa a través de este, generando una señal digital de salida, que después de ser tratada es leída por el Micro controlador y procesada para la obtención de la velocidad de giro. Ver esquema del dispositivo en la figura 17.

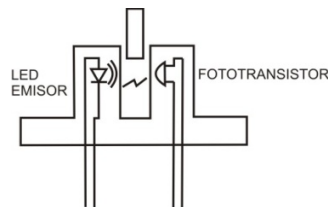


Figura 17. Sensor óptico de ranura. ITR8105

### 2.3.2 Sensor de Temperatura LM35.



Figura 18 - Sensor de Temperatura LM35

El LM35DZ, es un circuito integrado sensor de temperatura de alta precisión, cuyo voltaje de salida es proporcional a la temperatura en grados centígrados de acuerdo a la ecuación de transferencia:

$$V_0 = 10T \quad \text{Ec. 2-17}$$

Donde,

$V_0$  es el voltaje de salida del sensor en mV y  $T$  es la temperatura medida en grados centígrados.

Este sensor no necesita calibración y su precisión a temperatura ambiente es de  $\pm 0.25^\circ\text{C}$  y de  $\pm 0.75^\circ\text{C}$  en escala completa desde  $-55^\circ\text{C}$  a  $150^\circ\text{C}$ . Ver figura 18.

### Especificaciones Técnicas:

Calibrado directamente en °C (Grados Centígrados)  
Factor de escala lineal de 10mV/°C  
0.5°C de precisión garantizada (a +25°C)  
Escala de temperatura total de -55° a +150°C  
Voltaje de Operación de 4 a 30 V  
Consumo de Corriente inferior a 60µA  
Auto-calentamiento de 0.08°C en aire fresco  
No linealidad típica de ±1/4°C  
Baja impedancia de salida de 0.1 W por 1 mA de carga  
Encapsulado T0-92

Ya que el sistema de procesamiento de la señal se fundamenta en el convertor análogo - digital (ADC) de un microcontrolador PIC de tecnología TTL, el rango de salida del sensor, debe ser amplificado tras su desacople, para aprovechar al máximo la escala de digitalización de voltajes análogos de entre 0 y 5 voltios. Vea por favor la figura 19.

Con base en las hojas del fabricante, se elaboró un circuito de dos etapas empleando el amplificador operacional LM358:

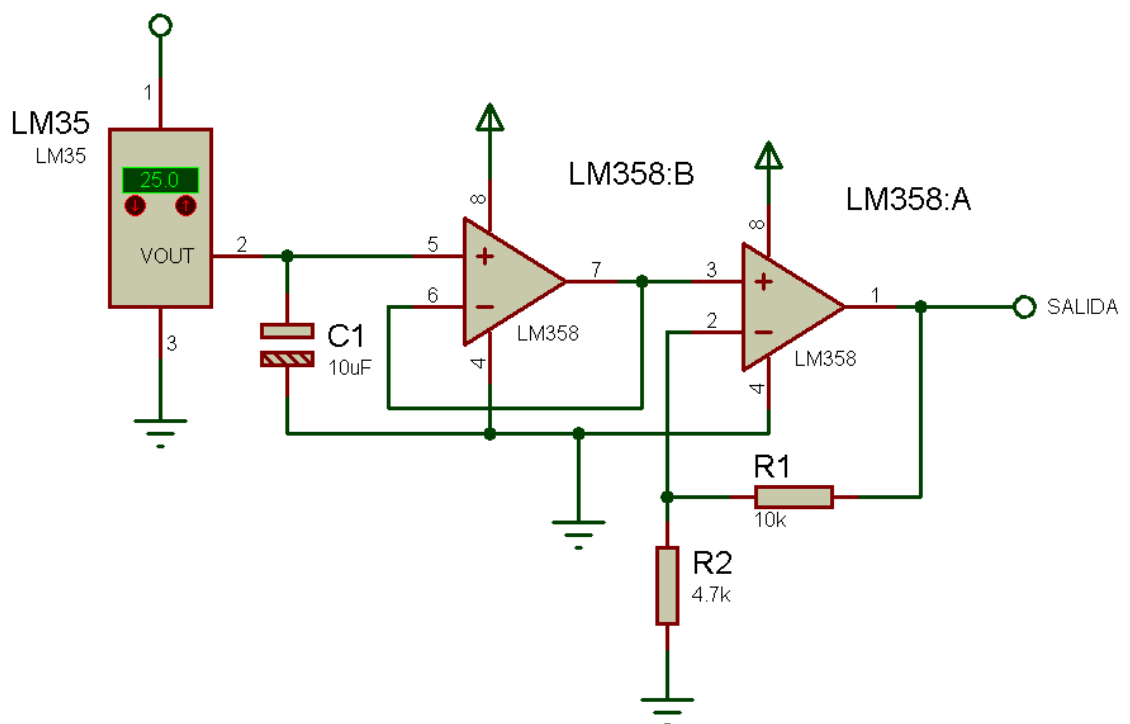


Figura 19 - Etapa de Amplificación para el LM35

La primera etapa, conformada por el LM358:B, es un seguidor de tensión, que garantiza un voltaje de salida igual al voltaje de entrada, independientemente de la carga que se le acopla. Este seguidor de tensión, se implementa con el fin de evitar la atenuación de la señal por acople directo con un amplificador de baja impedancia de entrada.

La segunda etapa, conformada por el LM358:A y las dos resistencias R1 y R2, es un “amplificador no inversor” cuya ecuación es la siguiente:

$$V_o = V_i \left( 1 + \frac{R1}{R2} \right) \quad \text{Ec. 2-18}$$

donde,

$V_o$  es el voltaje de salida y  $V_i$  es el voltaje de entrada del amplificador.

Para el circuito se emplearon resistencias de  $R1=10K\Omega$  y  $R2=4.7K\Omega$ , lo que permite tener entre 0 y 4.67 Voltios a temperaturas entre 0 y  $150^\circ\text{C}$ , gracias a que su factor de amplificación según la ecuación dada es de 3.13.

Si se considera el sistema del sensor y la etapa de amplificación como un todo, entonces la ecuación que representa el voltaje de salida en función de la temperatura de entrada es:

$$V_o = (33.13)T \quad \text{Ec. 2-19}$$

Donde,

$V_o$  es el voltaje de salida del sensor en mV y  $T$  es la temperatura medida en grados centígrados.

## 2.4 ACTUADORES.

En el sistema de control de velocidad de agitación de la marmita, como actuador se tiene al motor eléctrico, que transforma la señal del sistema de control de velocidad electrónico en un movimiento mecánico rotatorio deseado.

### 2.4.1 Motor Eléctrico.

En este trabajo se utilizó un motor eléctrico de referencia BD6219 de General Electric de 2 HP de potencia. Sus características principales son:

- MARCA: GENERAL ELECTRIC
- MODELO: BD6219

- MOTOR UNIVERSAL
- POTENCIA: 2 HP
- REVOLUCIONES: 15000 RPM
- CONSUMO DE CORRIENTE: 10 A @ 115 V

En la siguiente figura se puede ver el motor DC desarrollado por el fabricante\* .



Figura 20 - Motor DC referencia BD6219

## 2.5 DISPOSITIVOS DE REGULACIÓN.

### 2.5.1 Variador de potencia de estado solido.

Este dispositivo de referencia **TV24A50** se empleó para la regulación de la velocidad del motor DC. Es un control tipo DIAC-TRIAC-SCR para alta potencia y confiabilidad, con un rango de corriente de carga de **50 A rms** y **110-220 VAC**. Los variadores de potencia de estado sólido son destinados al control de potencia y temperatura en lugares en donde existe dificultad de colocación de un sensor de medición (circuitos de lazo abierto). La salida en estado sólido, permite ajustar la potencia en un rango lineal de 12 a 97% del voltaje aplicado, posibilitando un ajuste perfecto de la temperatura deseada. Proporcionan un aumento de la vida útil de los elementos de calentamiento al funcionar en voltaje reducido constante, sin conmutaciones. El potenciómetro externo puede ubicarse a una distancia de hasta 50 metros del resto del circuito.

En la figura 21 y 22 se puede observar el Variador de Estado Sólido de referencia **TV24A50**, sus características físicas, y en la tabla 1 sus características eléctricas.

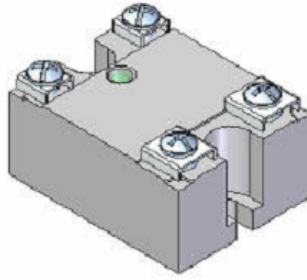


Figura 21 - Variador de estado sólido de referencia TV24A50

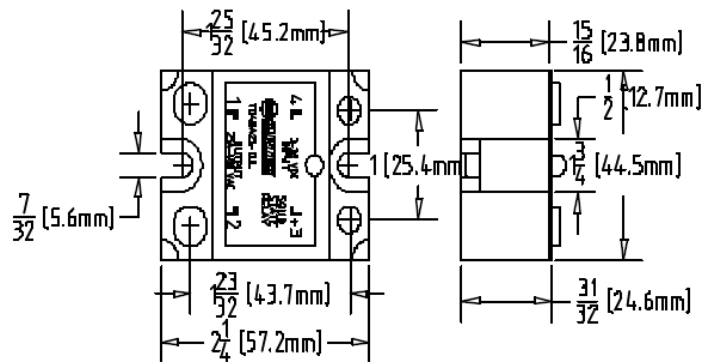


Figura 22 - Dimensiones del Variador de estado sólido

Tabla 1 - Datos del Fabricante del Variador de Velocidad

MODELOS MONOFASICOS DE CONTROL AC, CON DETECTOR DE CRUCE POR CERO , CON SCR'S				
MODELO	Rango de Corriente de Carga (Arms)	Voltaje de Control (VAC)	Voltaje de Línea (VACrms)	I <sup>2</sup> .T Para Fusibles (Amp <sup>2</sup> .seg)
TV24A50	50	50 o 100	110 o 120	1680

### 2.5.2 Relevos de estado sólido.



Figura 23 - Relevos de Estado Sólido

Se llama **relé de estado sólido SSR<sup>28</sup>** a un circuito híbrido, normalmente compuesto por un opto acoplador que aísla la entrada, un circuito de disparo, que detecta el paso por cero de la corriente de línea y un triac o dispositivo similar que actúa de interruptor de potencia. Por favor ver figura 23. Su nombre se debe a la similitud que presenta con un relé electromecánico; este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico.

Los relés de estado sólido para corriente alterna (AC) son circuitos híbridos compuesto de un TRIAC de potencia (o dos SCR montados paralelos e inversos) y un opto acoplador. De esta forma es posible aislar totalmente la carga de alto voltaje (117VAC o más) del circuito de control que opera a +5V o en un rango de 3 ~ 32 VDC. Un circuito de “Zero Cross” está normalmente Incluido en estos dispositivos para optimizar el control de la AC. Este dispositivo es usado generalmente para aplicaciones donde se presenta un uso continuo de los contactos del relé que en comparación con un relé convencional generaría un serio desgaste mecánico.

Los SSR tienen numerosas aplicaciones industriales y militares, la separación entre el control y la salida se obtiene por medio de un transformador, que asegura un alto aislamiento (10 a 9 Ohms), y al mismo tiempo bajas pérdidas en el estado de apagado.

## Características Eléctricas

### Relé de Estado Sólido 15A/240VAC

Voltaje de Control: 10~32 VDC

Corriente de Control: 35mA @ 28VDC

Voltaje de Conmutación (ON): 10VDC

Voltaje de Conmutación (OFF): 0.4VDC

Voltaje Máx. de la Carga: 250VDC

Corriente en la salida: 15ADC

Corriente de Pérdida (Salida) 20 $\mu$ A @ 25°C

Corriente de Pérdida (salida) 100 $\mu$ A @ 100°C

Tiempo de Conmutación (ON) 120 $\mu$ s

Tiempo de Conmutación (OFF) 150 $\mu$ s

Fortaleza Dieléctrica 1500VAC



### 3 DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 ADECUACIÓN DE MOTOR.

Para hacer uso del nuevo motor, se hizo necesario realizar un acople hacia la caja reductora, ya que esta tiene una forma especial y contiene aceite lubricante para los elementos mecánicos en movimiento que están en contacto, como lo son el tornillo sin fin y piñones, como también los rodamientos, este acople debe quedar en forma hermética para evitar el escape de aceite al exterior. Ver figura 24. Y se debe mantener una alineación con todos los elementos que están en rodamiento. Para evitar el paso del aceite lubricante hacia el exterior se adecuó un juego de retenedores, los cuales permiten un sellamiento por presión en las partes giratorias.

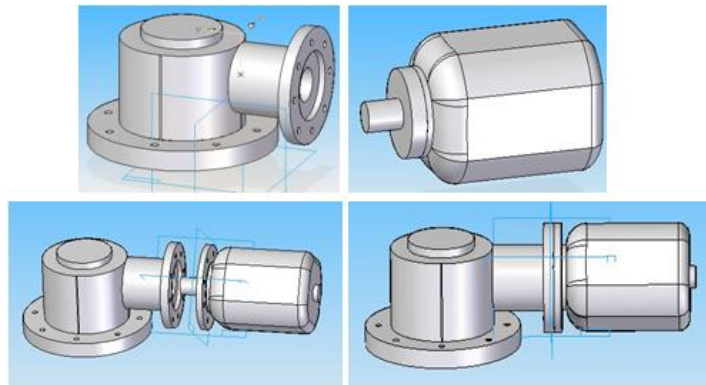


Figura 24 - Acople motor - caja reductora

Para el sensado del giro del motor se diseñó un sistema de guaya giratoria acoplada al motor, que transmite las revoluciones de esta a la tarjeta del sensor, la cual estaba en una posición externa al motor, en donde está protegida de elementos contaminantes que afecten el normal funcionamiento de esta.

#### 3.2 CONTROL DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN.

Para el control de velocidad de giro del motor (ver figura 25 y 28) partimos del hecho de que este tipo de motores no tiene una relación directa de la velocidad con la corriente cuando desempeña un trabajo, ya que la velocidad de giro depende de la carga aplicada, como también la fuerza de empuje de las escobillas con los contactos y el rodamiento.

Se desarrolla un control electrónico basado en Microcontrolador en un sistema de lazo cerrado.

El sistema manipula el voltaje de excitación del motor, por variación del ángulo de fase, en base a un control proporcional digital (P), para generar un cambio en la velocidad de giro del motor.

El control Proporcional está basado en la siguiente ecuación de diferencias

$$m(t) = K_p * e(t) \quad \text{Ec. 3-1}$$

Donde:

$m(t)$  es la función que genera un cambio de forma discreta (pulsos) hacia un actuador para proporcionar un corrimiento en el disparo del ángulo de fase ( $\Delta\theta$ ) del voltaje aplicado al motor.

$K_p$  es la constante de control proporcional, la cual se calcula de forma experimental, ya que por la gran cantidad de variables no controlables que afectan al sistema generan un modelo complejo de la planta.

$e(t)$  es el error entre la velocidad de referencia y la velocidad real medida.

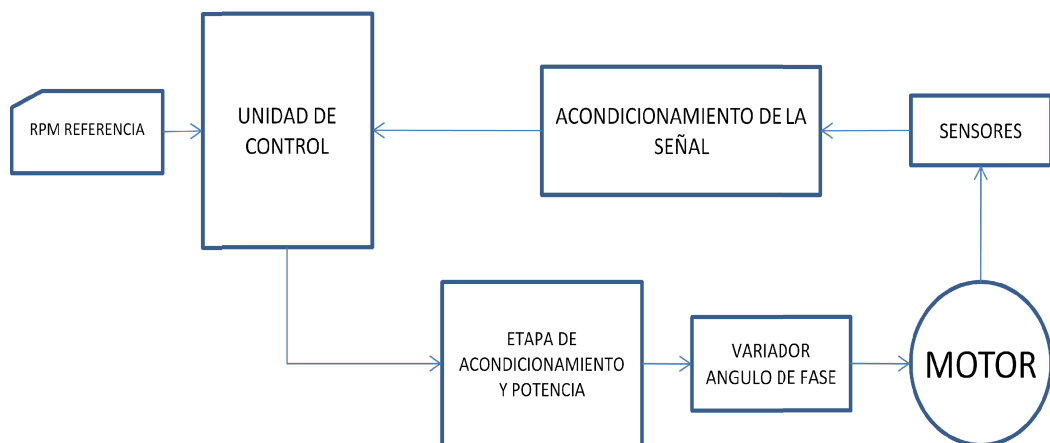


Figura 25 - Diagrama de control de Velocidad

Como mencionamos anteriormente la manipulación de la velocidad, se realiza por medio del cambio del Angulo de fase, para ello utilizamos el variador de potencia de estado sólido. A través de un potenciómetro de precisión de hilo de 20kΩ y de 10 vueltas, conectado al variador, manipulamos el disparo del ángulo de fase.

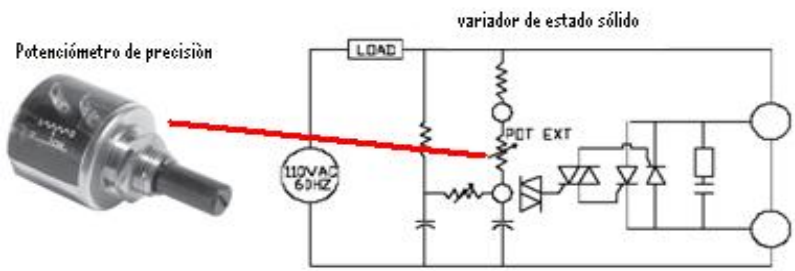


Figura 26 - Potenciómetro de precisión como elemento variador del ángulo de fase

Para realizar el control electrónico la posición de giro de este potenciómetro es operada desde el sistema microcontrolado, por medio de la actuación de un motor paso a paso, cuyas especificaciones requeridas son principalmente: Un buen torque, y bajo calentamiento en las operaciones, ya que los procesos efectuados en la marmita son de largo tiempo (de hasta 6 horas).

El motor paso a paso seleccionado<sup>29</sup> es el motor unipolar PM55L-048. Ver figura 27, de la empresa Minebea, que dentro de la gama de sus motores paso, este es el de mejor torque y bajo calentamiento (ver grafico 6 y 7). Con 48 pasos por rotación completa.



Figura 27 - Motor Paso a paso PM55L-048

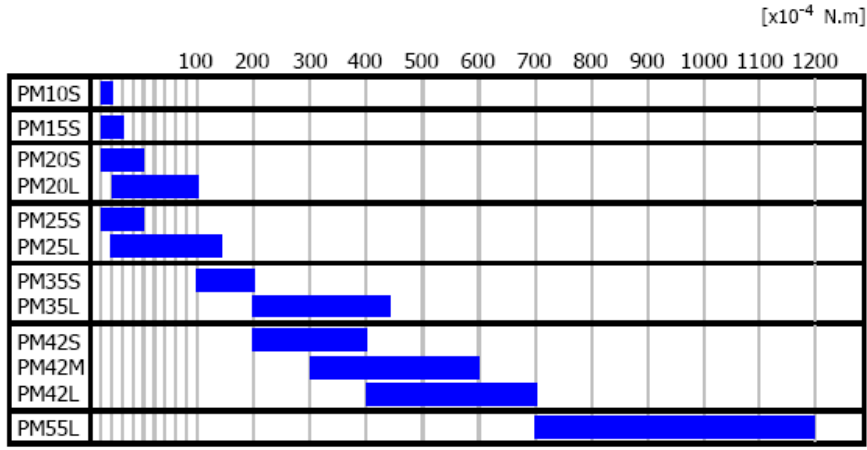


Gráfico 6 - Torque de motores según su tamaño

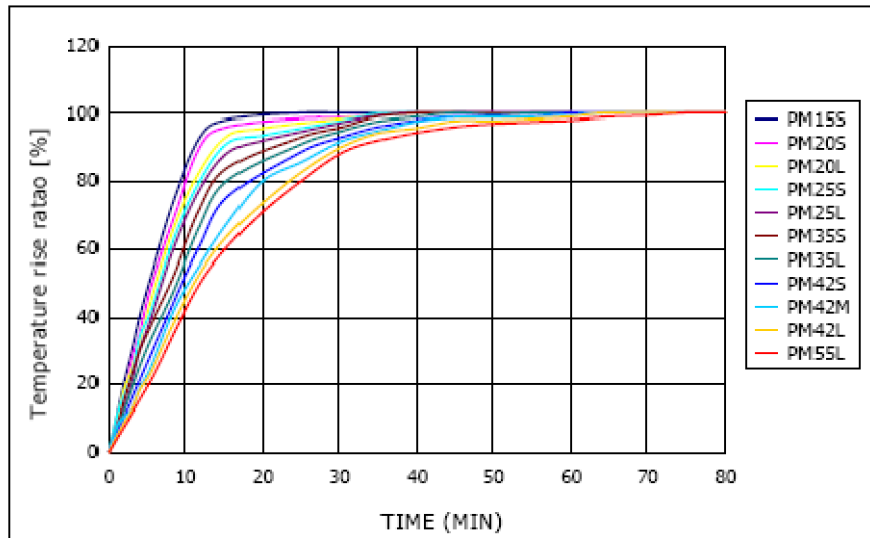


Gráfico 7 - Tiempo para alcanzar la temperatura de saturación en las bobinas

Para lograr acoplar el motor paso a paso al potenciómetro de precisión, se adecua un conjunto de poleas y bandas que permiten la transmisión del movimiento del motor paso a paso al potenciómetro logrando hasta aproximadamente 3800 posiciones del potenciómetro y así 3800 variaciones del ángulo de fase. Esto permite tener más precisión al momento de generar el control.

Por medio de una unidad de control, cuyo elemento principal es el Microcontrolador Pic18F452 de Microchip, este recibe la señal digital de giro del motor, a través del algoritmo calcula la velocidad de giro de los agitadores, por relación de la caja reductora 70:1 y la compara con la velocidad de giro programada. Esta diferencia o error entre las velocidades hace que la unidad de control genere unos giros del motor paso a paso y este por medio del potenciómetro acoplado a él, varié el ángulo de fase y así la velocidad del motor. Entre mayor sea la diferencia, más rápido será el giro del motor paso a paso, y entre menor sea la diferencia, la velocidad se acercara de forma suave a la velocidad deseada. En caso de sobrepasar la velocidad programada el giro del motor paso a paso será en sentido contrario produciendo un decremento y acercamiento a la velocidad buscada.

Un diagrama de flujo simplificado del control es:

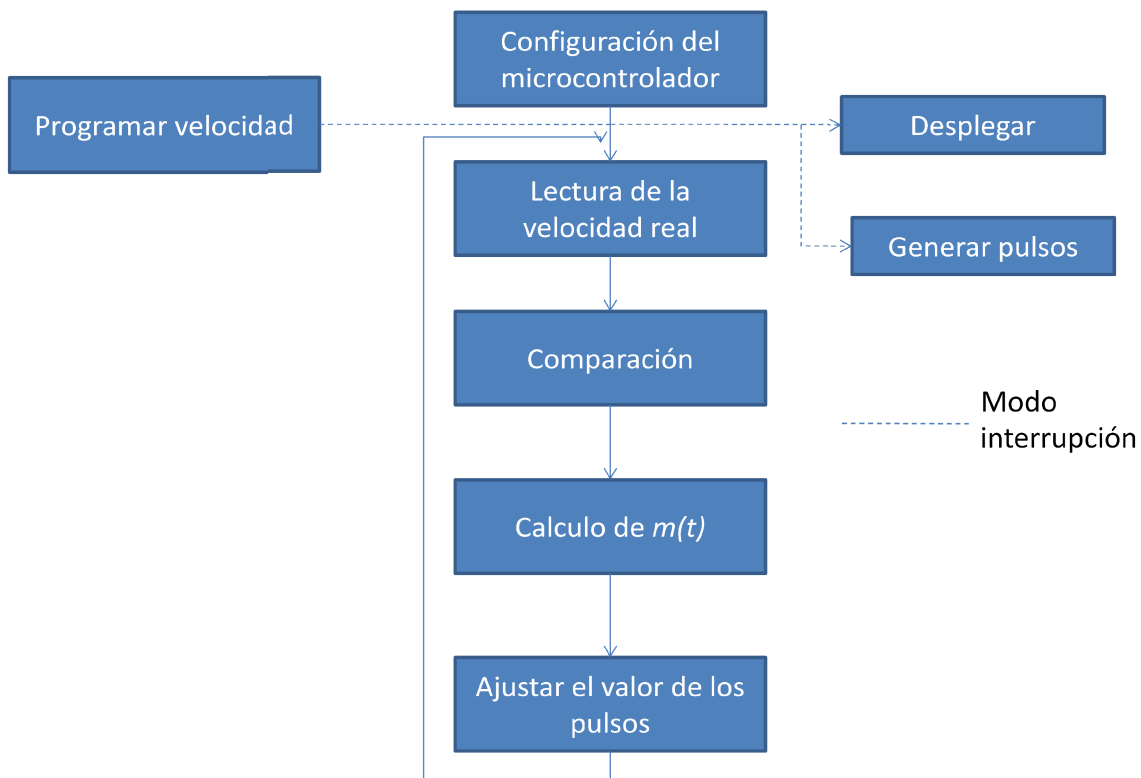


Figura 28 - Algoritmo simplificado del control

### 3.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE LA MARMITA MT-20.

Haciendo un análisis físico del proceso de calentamiento de la Marmita se observó lo siguiente: en el interior del encamisado se presenta una mezcla de líquido saturado y vapor sobrecalentado, éste último alcanza una presión máxima de 25 psi cuya temperatura de saturación es de 115 °C a la cual hierve el agua constantemente. Esto significa que el volumen de agua se puede incrementar, pero no así la temperatura, pues depende de la presión (ver Gráfico 2.) Es decir el sistema dentro del encamisado está a una presión constante la cual está determinada por la presión de disparo de la válvula de seguridad, por lo tanto si se le suministra más calor al sistema manteniendo la presión constante la temperatura no superará la de saturación, y el alimento no recibirá una mayor inyección de energía. Esto quiere decir que esa presión de saturación es muy importante mantenerla y por ende la temperatura, lo cual **depende en gran parte de la válvula de seguridad**. En las pruebas realizadas inicialmente se observó que la presión no superaba los 10 psi (68,95 kPa), que según la tabla A-4<sup>30</sup> (Anexo 4), para esta presión la temperatura de saturación es de 89,57 °C, con la cual la inyección de calor hacia el producto disminuye haciendo que el proceso demore una mayor cantidad de tiempo. Dentro del desarrollo del proyecto llegamos a la conclusión de reemplazar la válvula de seguridad antigua, por una válvula de seguridad nueva y calibrada a 30 psi de referencia 0G2663.1C marca CONBRACO, con lo cual se garantiza la temperatura de saturación en los 116 °C. Ver figura 29.



Figura 29. Válvula de seguridad de vapor NUEVA

Por otro lado, para incrementar la cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe el producto inicialmente era necesario variar la potencia calorífica del quemador, pero esto se logra construyendo o comprando otro; pero por limitaciones presupuestales esto no se llevó a cabo. A cambio de esto, la implementación que se ideó para reducir las pérdidas de calor en el quemador fue construir una tapa en acero inoxidable de 3 cm de espesor, con fibra de vidrio por dentro como aislante térmico, asegurada en la parte inferior de la Marmita con tornillos, dejando un espacio de 5mm aprox. entre la tapa y el borde de la camisa con el objetivo de que la llama tenga suficiente oxígeno para la combustión. De esta manera el calor irradiado que se perdía (800 W aprox; en gastados en 1 hora es: 800 Wh), ahora será absorbida en su mayor parte hacia adentro, inyectándose en el agua de la camisa, lo que incrementara su temperatura en una menor cantidad de tiempo. El efecto ilustrado de esta implementación lo podemos observar en las siguientes ilustraciones. Ver figuras 30 y 31.

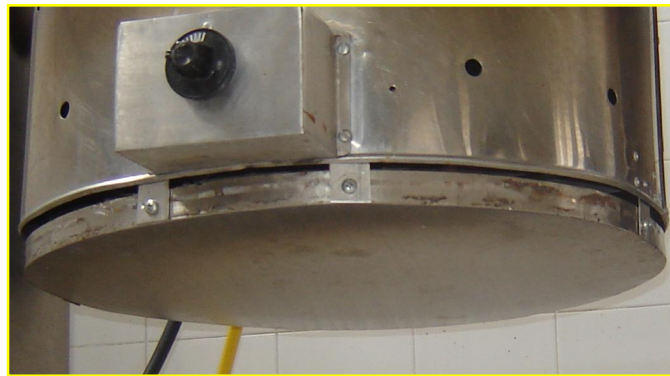


Figura 30. Tapa Metálica



a)



b)

Figura 31. Calor radiado a) Original de la marmita y b) con la tapa metálica.

### 3.4 SISTEMA DE CONTROL NIVEL AGUA DEL ENCAMISADO.

El propósito nuestro con el control de nivel es mantener constante el nivel de agua dentro del encamisado de la marmita evitando la evaporación total del líquido, ya que esto generaría un aumento en la temperatura del encamisado aumentando en una forma no controlada, alterando la estructura física de la marmita (ver figura 36). Otro aspecto importante es que se debe inyectar el agua en cantidades mínimas para no causar un descenso notable en la temperatura del encamisado, encargado de inyectar calor al producto.

Por otro lado, una de las limitaciones de la marmita MT-20, es el hecho de tener que inyectar agua al encamisado de forma manual con mangueras. Ver figura 32. Esto genera inoperatividad del sistema ya que para inyectar el agua se hace necesario quitar un tapón roscado de la entrada de agua.

Figura 32 - Entrada de agua al encamisado de la marmita



La solución por la que se optó fue la de implementar una red hidráulica a través de mangueras, y como actuador una electroválvula (ver figura 34), que es accionada por medio del sistema de control con su respectiva etapa de potencia, y también se optó por utilizar un switch de activación manual de la electroválvula para que el operario inyecta agua al nivel deseado. Ver figura 33.





Figura 33. - Panel frontal del instrumento con detalle del pulsador para inyección de agua



Figura 34. - Electroválvula

Como elemento sensor del nivel de líquido, se emplea llaves ópticas (ver figura 35), que están construidas por un conjunto de elementos opto electrónicos, como son un emisor infrarrojo y un fototransistor, que generan una señal digital cuando hay presencia de líquido entre los dos, por medio de un flotador que obstaculiza la señal. De esta forma el sistema detiene el paso del agua al encamisado.



Figura 35. - Sensores Ópticos para nivel de agua.

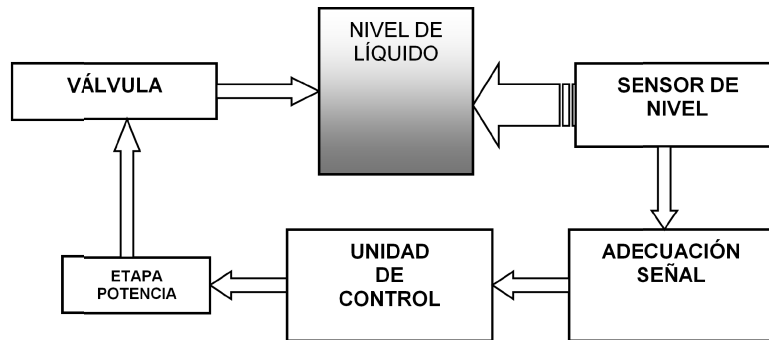


Figura 36. - Diagrama de Control de Nivel de agua

Al realizar varias pruebas de calentamiento, se observó que la cantidad de agua evaporada en el encamisado, era muy poca, de los 7 litros de agua inicial y luego de 4 horas de calentamiento y evaporación solo 0,5 litros se liberó en forma de vapor.

Dándonos claridad de que el sensado del nivel de agua durante el proceso, es innecesario. Solo hay que tener en cuenta la cantidad de agua al principio del proceso.

También se hizo evidente la necesidad de enfriar de forma adecuada los productos finales. Para ello se implemento una red de tubo en cobre desde el tapón de desagüe del encamisado de la marmita, hacia una válvula de paso de agua líquida y vapor, que permita la circulación de agua fría a través del encamisado, generando así un intercambio de calor, del producto con alta temperatura hacia el flujo de agua fría, hasta llegar a reducir la temperatura a la deseada. Ver figura 37.

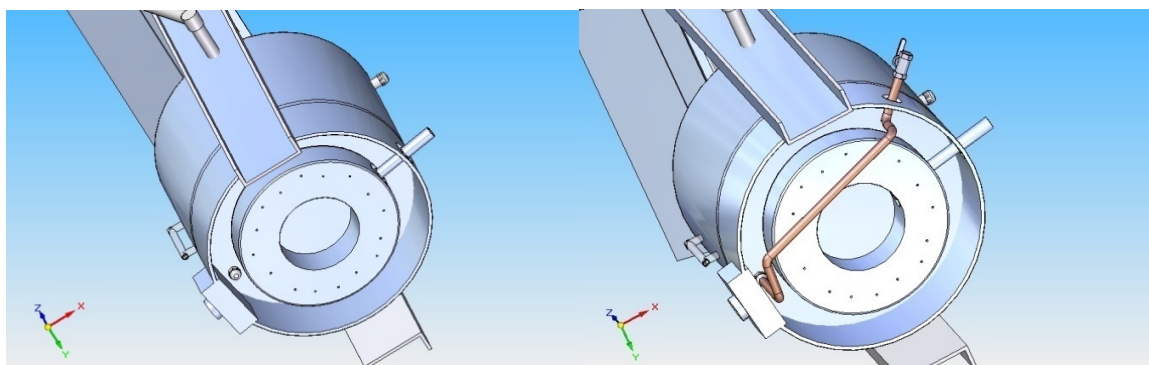


Figura 37. a) Vista del tapón para la salida de agua del encamisado. b) Red de tubo en cobre para salida de agua del encamisado, con válvula de paso de agua.

### 3.5 SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRONICO DEL QUEMADOR A GAS.

Otra limitación que presenta la marmita, es que el encendido del quemador a gas, se hace manualmente acercando un cerillo encendido el cual da ignición a un piloto, que luego al abrir completamente la válvula de paso del gas enciende el quemador principal. El sistema de encendido es riesgoso para el operario por el hecho de que hay que introducir la mano muy cerca del quemador para encenderlo. En caso de que se haya liberado excesivo gas la llama puede quemar los dedos del operario, además, terminar hiriéndose la mano en el borde de la camisa de la marmita.

La incorporación de un encendido electrónico al sistema consiste en instalar un dispositivo electrónico que eleva el voltaje generando un arco eléctrico entre un electrodo y el quemador a gas, produciendo la ignición del gas. Ver figura 38.

Dentro del protocolo de funcionamiento después de un aviso en la pantalla LCD y alarma sonora, el sistema genera la chispa de encendido durante 10 segundos, tiempo durante el cual el operario abre la válvula reguladora de gas y enciende los quemadores.

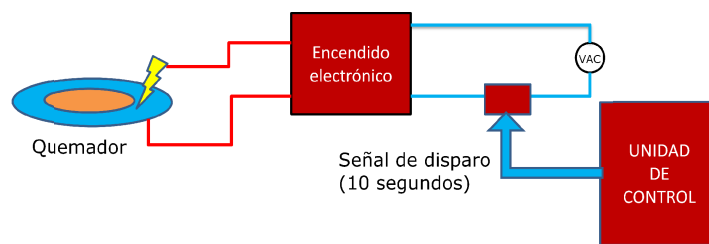


Figura 38. - Encendido electrónico.

## 4 ANALISIS Y RESULTADOS

### 4.1 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

A continuación se observan las diferencias establecidas por el sistema de calentamiento inicial, y el sistema de calentamiento modificado. Se hicieron pruebas de muestreo utilizando agua, agua con azúcar, arequipe y salsa de tomate.

Las pruebas de muestreo con agua, se llevaron a cabo de la siguiente manera:

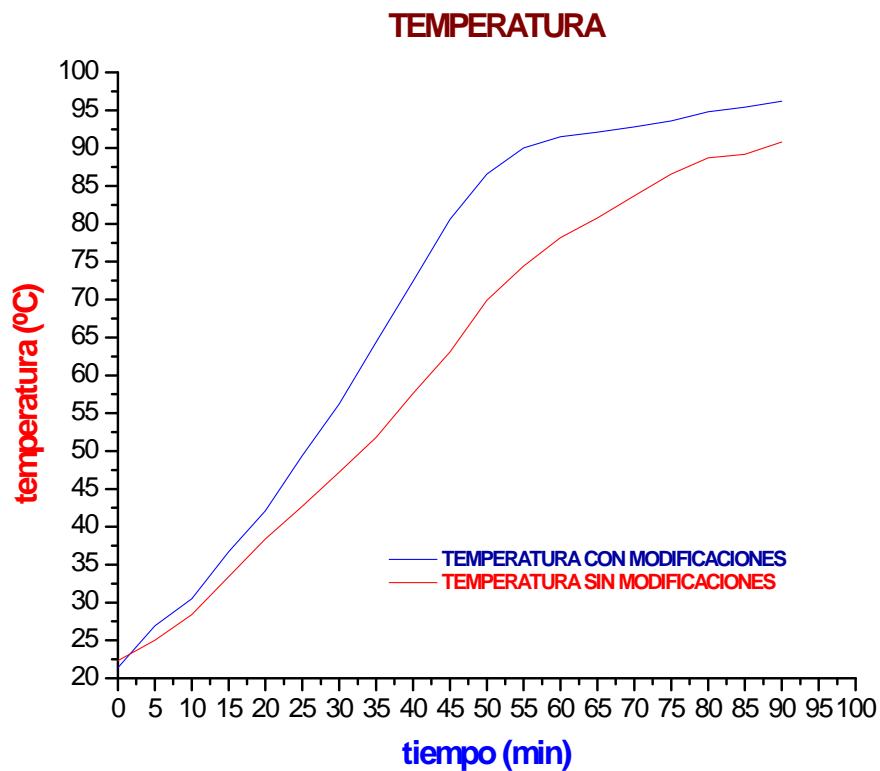


Gráfico 8 - Temperatura Vs. Tiempo con 20 litros de Producto

En la primera prueba empleamos 20 Lit. de agua pura como producto, 7 Lit. en la camisa y con la válvula de seguridad de vapor antigua puesta, con velocidad del motor a 25 rpm, y sin la tapa metálica puesta. En la segunda prueba se utilizaron los mismos parámetros, a diferencia de que esta vez usamos la válvula de seguridad de vapor nueva y la tapa metálica puesta. Ver grafico 8.

En el gráfico 8 se muestra el comportamiento de la temperatura dentro del agua a medida que avanza el tiempo, en este gráfico podemos observar dos curvas correspondientes a procesos diferentes, bajo las mismas condiciones a excepción de la oblea metálica. Los cambios en la temperatura son notables, lo que nos indica que en el proceso con la tapa puesta, la inyección de energía térmica en el producto es mucho mayor, en comparación al proceso realizado sin dicho elemento. Es importante anotar también que el primer proceso se llevo a cabo con la válvula de seguridad de vapor anterior, con fallas en su funcionamiento, debido a que no registraba cambios en la presión en el momento que debía hacerlo. En el segundo muestreo se cambio esta válvula por una nueva del mismo tipo, y efectivamente los cambios fueron notables, además del registro de la presión que ascendió hasta 24 psi. Con seguridad esta era una de las causas de por que al principio el sistema de calentamiento de la Marmita MT-20 se demoraba demasiado, pues la temperatura de saturación interior en el encamisado es de 115.6 °C a esa presión, que si no se consigue, el producto no recibirá una cantidad de calor suficiente para acelerar su procesamiento.

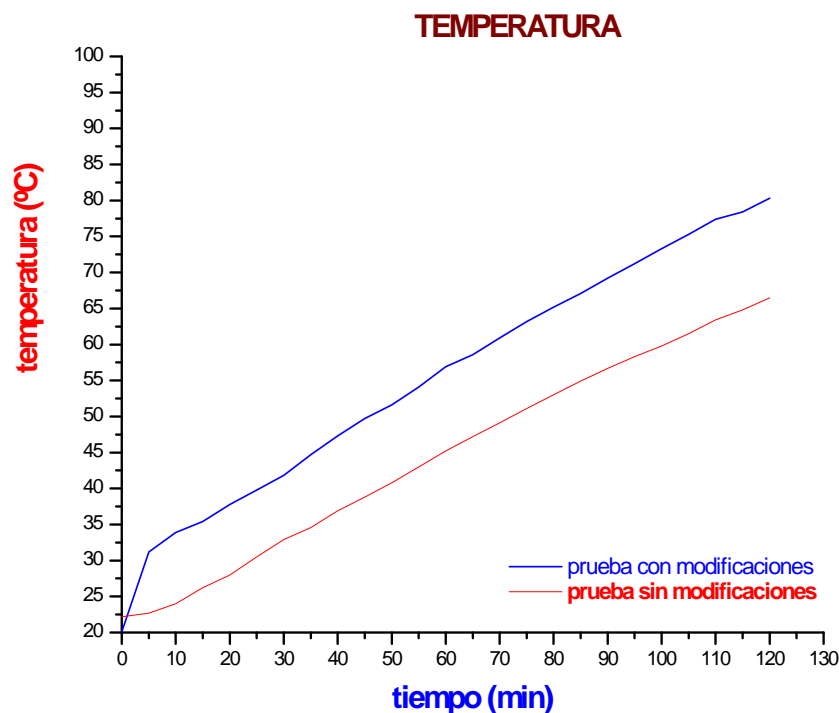


Gráfico 9 - Temperatura Vs. Tiempo con 90 litros de Producto

Se hizo también otra prueba con agua pura, pero esta vez con 90 lit., 7 lit. en la camisa (cantidad mínima), sin la tapa metálica con la válvula de seguridad de vapor anterior, y velocidad del motor a 25 rpm. En la segunda prueba se utilizaron los mismos parámetros, a diferencia de que esta vez usamos la válvula de seguridad de vapor nueva y la tapa metálica puesta. Por favor ver gráfico 9.

Lo que se pudo observar en esta prueba fue la absorción lenta de energía por parte del agua debido a que la cantidad de agua procesada fue mucho mayor, 4 y medio veces el volumen anterior, pero igual, podemos ver el cambio notable de temperatura de un proceso a otro.

En la tercera y cuarto muestra se procesó AREQUIPE, en estos se utilizó 40 Lit. de leche (20 cada prueba), a 30 rpm, 7 Lit. de agua en la camisa (cantidad mínima), tapa metálica puesta y válvula de seguridad nueva. El grafico 10 nos ilustra la T° vs tiempo:

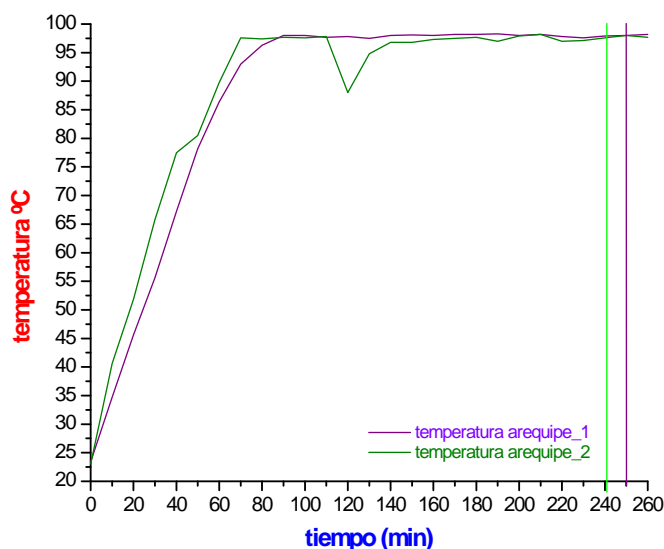


Gráfico 10 - Temperatura Vs. Tiempo en el procesamiento de arequipe

Los grados Brix, son una medida importante para saber si determinados alimentos procesados en esta mamita, tienen ya las condiciones organolépticas y físicas suficientes para dar por terminado el proceso. Se miden con un refractómetro, e indican el nivel de concentración de sólidos en el producto. En nuestro caso de 65 a 70 grados nos indican que el producto estaría listo para enfriarse y empacarse adecuadamente. En procesos anteriores bajo las mismas condiciones, sin las mejoras al sistema de calentamiento de la marmita, esta medida se obtenía entre las 5 y las 6 horas. Esta vez, se midió 66 grados Brix a las 4 horas en el caso del arequipe 2 y a las 4 horas 10 minutos el arequipe 1, lo que nos indica claramente que el sistema de calentamiento en este caso mejoró

notablemente, de pronto no para todos los alimentos procesados ahí, pero si para algunos de los mas comercializados, y el arequipe es uno de estos.

Podemos observar en los gráficos una diferencia en la temperatura, los procesos se ejecutaron en las mismas condiciones, la diferencia se presento en que el arequipe que preparo el ingeniero Fernando Grass utilizo todo el volumen de leche desde el inicio, mientras que el arequipe del Ing. Andrés Chantre se empezó inicialmente con la mitad, hasta el momento en que ésta llegase a cierto nivel de temperatura y entonces se agrego la otra mitad, esto lo podemos ver en la caída de temperatura a los 120 minutos de iniciado el procesamiento, en el gráfico 2. Obviamente 10 litros se calentaron más rápido, que los 20 del otro proceso en el mismo tiempo.

#### 4.1.1 Cálculos Termodinámicos

##### 4.1.1.1 Pérdidas Energéticas en el quemador

Por convección: sabemos que la ecuación que rige este fenómeno es

$$q = -hA(T_p - T_\infty)$$

La temperatura próxima a la llama, cuando está encendido el quemador es de aproximadamente  $563\text{ }^\circ\text{C} = 836,15\text{ }^\circ\text{K}$ . La conductividad térmica del aire  $6\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$  y la temperatura del aire  $22\text{ }^\circ\text{C} = 295,15\text{ }^\circ\text{K}$  y el área es de  $0,246\text{ m}^2$ . Haciendo el cálculo matemático obtenemos:  $798,5\text{ W}$

#### 4.2 CONTROL DE VELOCIDAD DE AGITACIÓN

Respecto al sistema de control de velocidad de agitación, se observó una respuesta adecuada (ver grafico 11). Al llegar el control a la velocidad programada se mantiene estable durante el resto del proceso. A pesar de que la red eléctrica es inestable, este sistema hace que la velocidad no se aleje más de una unidad en las R.P.M., regresando rápidamente a la requerida.

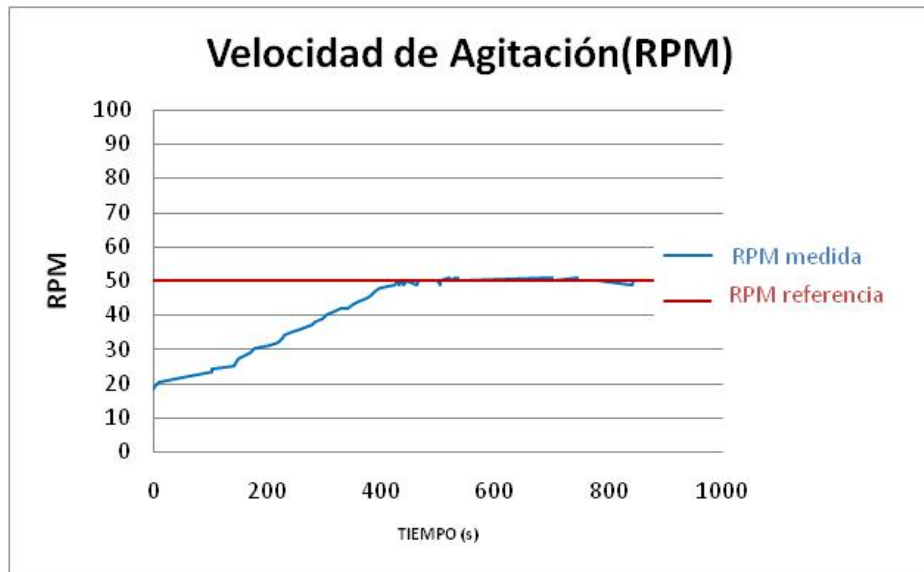


Gráfico 11 - Control Velocidad de Agitación

Un aspecto importante, es el que tiene que ver con la temperatura del motor, cuando está sujeto a una constante carga, que a medida que pasa el tiempo se va incrementando. Ver gráfico 12. De acuerdo a las observaciones hechas en los ensayos y elaboración de productos, la temperatura en el motor no supera los 45 C°, que fue en el caso extremo cuando se elaboró manjar blanco, siendo este un producto que generaba un carga muy alta. Hay que tener en cuenta que para el motor una temperatura crítica es alrededor de los 85 C°.



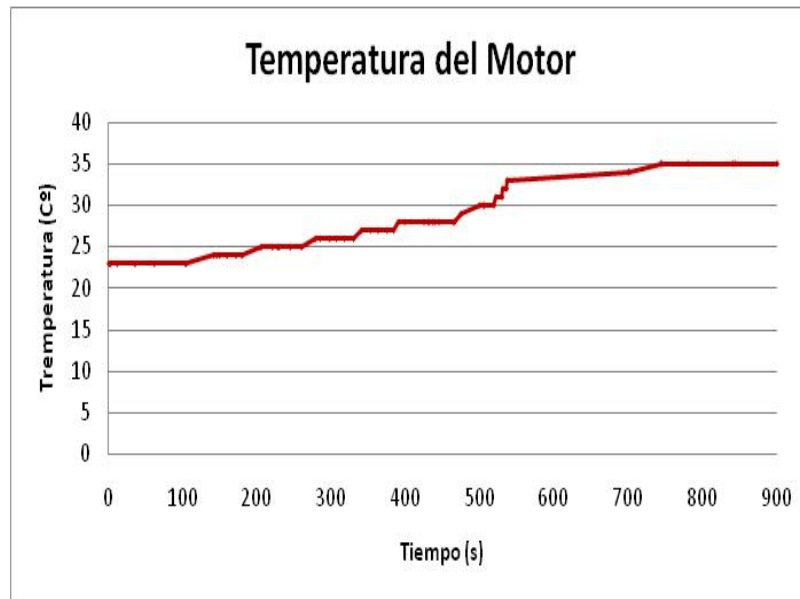


Gráfico 12 - Temperatura del motor en el tiempo

#### 4.3 COSTOS DE OPERACIÓN GANADOS CON LAS IMPLEMENTACIONES.

Uno de los objetivos de este proyecto era mejorar el sistema de calentamiento de la marmita MT-20, con el fin de reducir el tiempo de operación de la misma cuando se procesaran cierto tipo de alimentos y esto se consiguió satisfactoriamente. Por lo tanto esto tiene que verse reflejado en una disminución ostensible en los costos de operación de esta máquina en lo que se relaciona con el consumo de combustible, en este caso el gas propano.

El consumo energético del quemador es de 75000 Btu  $\approx$  22 Kwh El poder calorífico del propano es de  $P_c = 8000$  Kcal/ kg del propano.  $1 \text{ m}^3$  de gas equivale a 10829 Kwh La Empresa Caucana de Gas vende a la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias gas Propano a 2298,64 pesos el GALON.

Por otro lado  $1 \text{ Galón} = 0,003785 \text{ m}^3$ , por lo tanto  $1 \text{ m}^3 = 264,2$  Galones. Como el quemador consume 22 kWh - 800Wh (por pérdidas en el quemador) = 21,2 kWh aproximadamente, esto significa que consume  $0,001958 \text{ m}^3$ , equivalente a 0,5172 Galones por hora. Esta cantidad traducida en pesos es equivalente a: 1188,92 pesos la hora. Con las modificaciones se ahorran 2 horas que en pesos significan 2377,83 pesos.

Si esta marmita se utilizara regularmente 1 una vez por día, es decir 5 veces a la semana, en un mes son 20, y en el año 240 prácticas de laboratorio, esto significaría un ahorro de **570769,82 pesos anuales**. Esto representa **248,27 galones** de gas propano, o **0,940 m<sup>3</sup>** del mismo.

A esto hay que sumarle las pérdidas en el quemador en ausencia de la tapa metálica que son de aproximadamente 800 Wh = 0.8 kWh. Esto es equivalente a  $73,876 * 10^{-6} \text{ m}^3$  de gas Propano. Que a su vez equivale a 0,01952 Galones. Esto traducido a pesos es: 44,865 pesos la hora, que en 4 horas significa: 179,46 pesos. En 240 prácticas de laboratorio anuales estas pérdidas ascenderán a: 4370,20 pesos.

Para un total de  $570769,82 + 4370,20 = \mathbf{613.840 \text{ pesos}}$ . Equivalente a **267,04 Galones** de gas Propano ó **1,01 m<sup>3</sup>** del mismo en ganancias.

#### 4.3.1 Costo total de las implementaciones

De acuerdo a la Tabla 5, El presupuesto para la financiación del proyecto corrió a cargo de los estudiantes. Así:

Tabla 2. - Presupuesto Total.

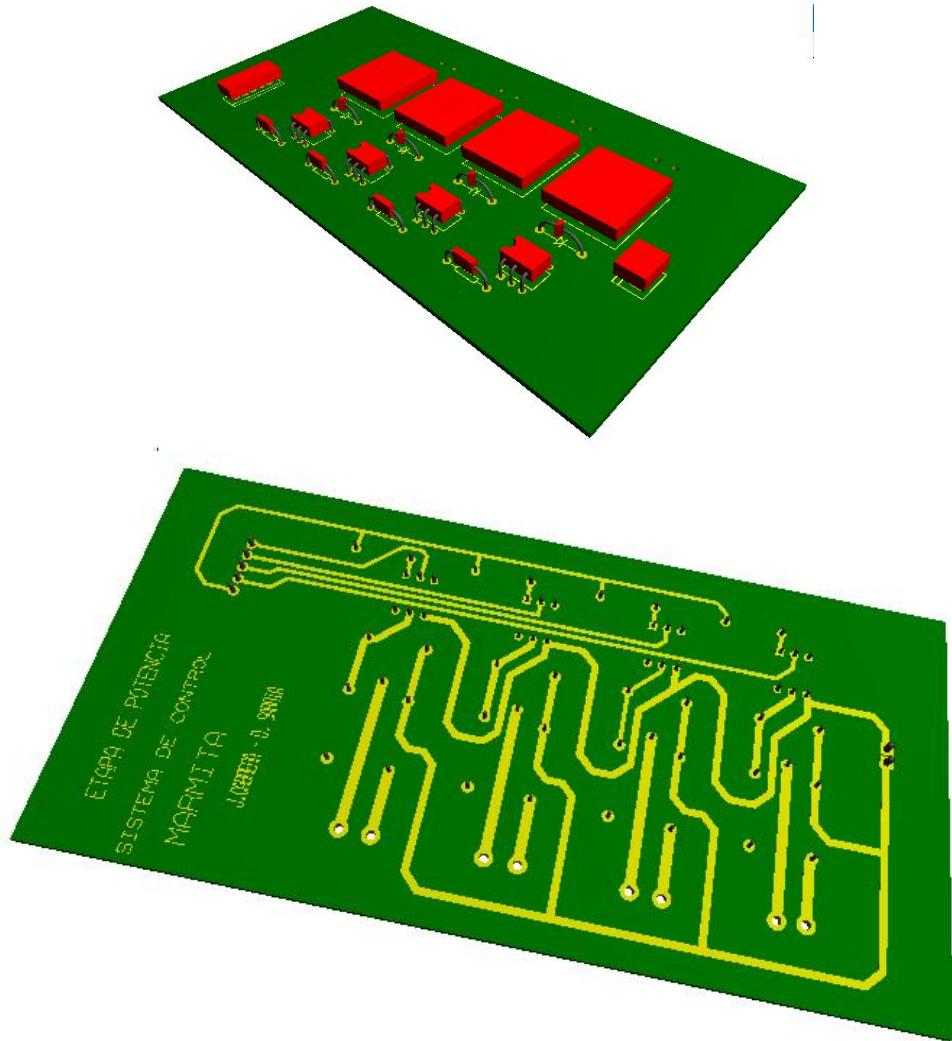
RUBROS	UNICAUCA	ESTUDIANTE	TOTAL (PESOS)
MATERIALES, PAPELERIA Y OTROS	0	1`935.000,00	1`935.000,00
TRANSPORTE	0	522.400.00	522.400.00
EQUIPO	0	150.000,00	150.000,00
<b>TOTAL:</b>	<b>0</b>	<b>2`607.400,00</b>	<b>2`607.400,00</b>

## 5 CONCLUSIONES

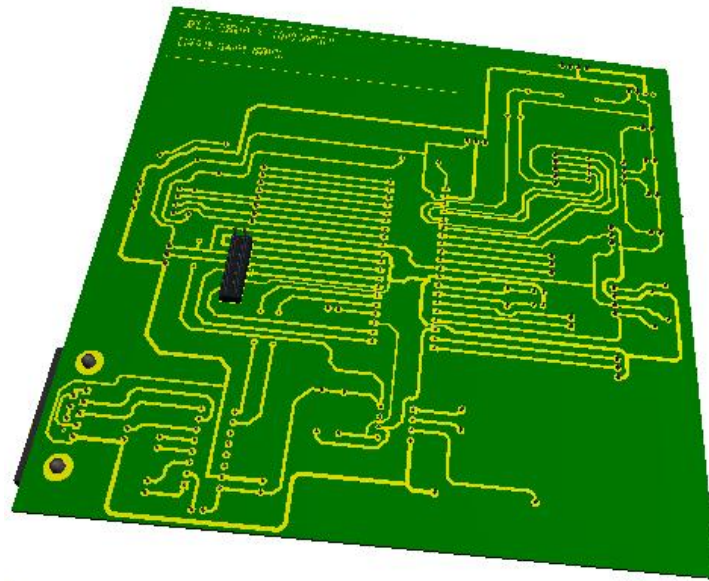
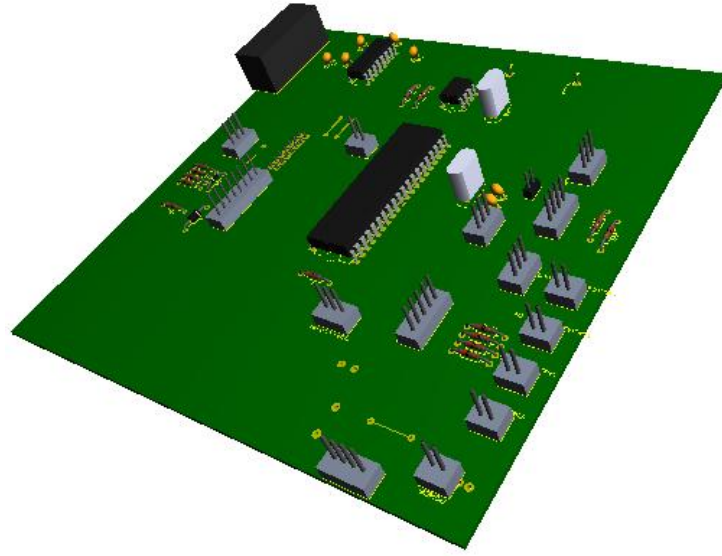
- La implementación del sistema de control en la marmita MT-20 ubicada en la Planta Piloto de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias permite mejorar el uso y aplicación de esta máquina en la industria de alimentos.
- El sistema de control desarrollado para el ángulo de fase de la corriente del motor demuestra que el empleo de tecnologías de estado sólido, hacen obsoletas las limitaciones teóricas de esta técnica y la posicionan en primer lugar por su relación costo beneficio frente a la técnica de control Chopper.
- *El atraso del comercio en cuanto al mercado de los dispositivos de tecnología de punta para instrumentación electrónica, es un factor que limita y retrasa significativamente los procesos de diseño y la toma de decisiones durante los procesos de desarrollo. Y este es un factor que debe ser tenido en cuenta para futuros trabajos.*
- *No existe en el mercado local una fuente confiable y de calidad para la producción de piezas metálicas de precisión, detalle que eleva los costos y altera los tiempos de desarrollo de los instrumentos, al ser necesario acudir a fabricantes de otras regiones.*
- A través del análisis de su funcionamiento y operabilidad, se corrigieron sus limitaciones, permitiendo enfocar este dispositivo hacia la investigación, ampliando las posibilidades que ofrecía en su estado original, en cuanto al control de los procesos que se llevaran a cabo en dicha marmita.
- Con las implementaciones realizadas en esta máquina se logro mejorar la eficiencia térmica del sistema de calentamiento, logrando obtener el producto final en un tiempo que está dentro del rango requerido por el usuario.
- Los resultados arrojados en las prácticas realizadas con las modificaciones hechas en la marmita MT-20, cumplieron con los objetivos planteados al inicio de este proyecto, y superaron las expectativas del usuario.

## ANEXOS

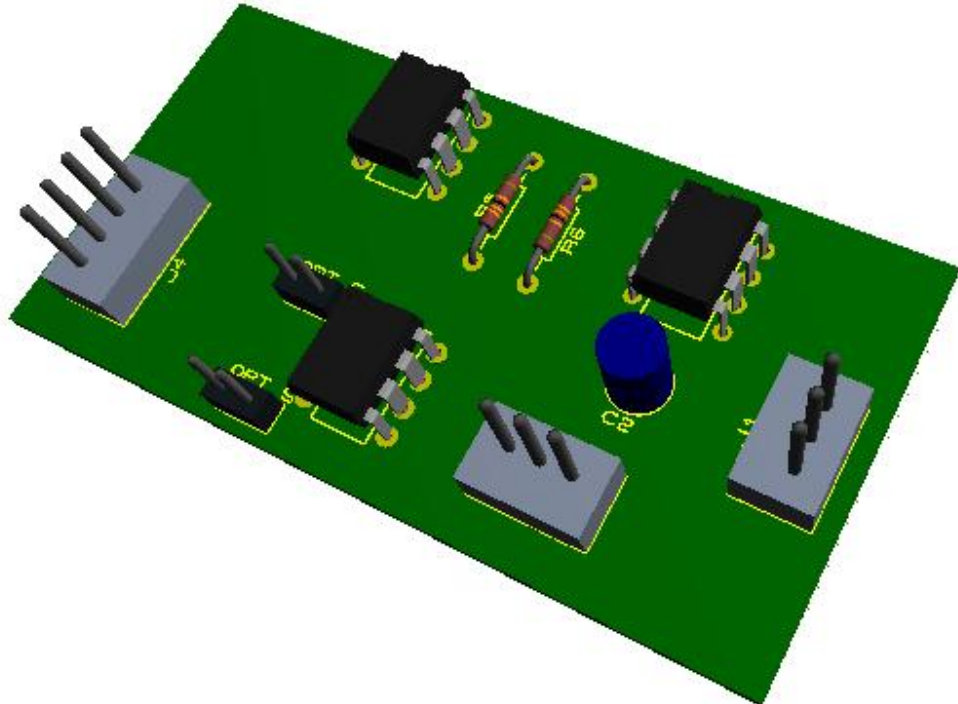
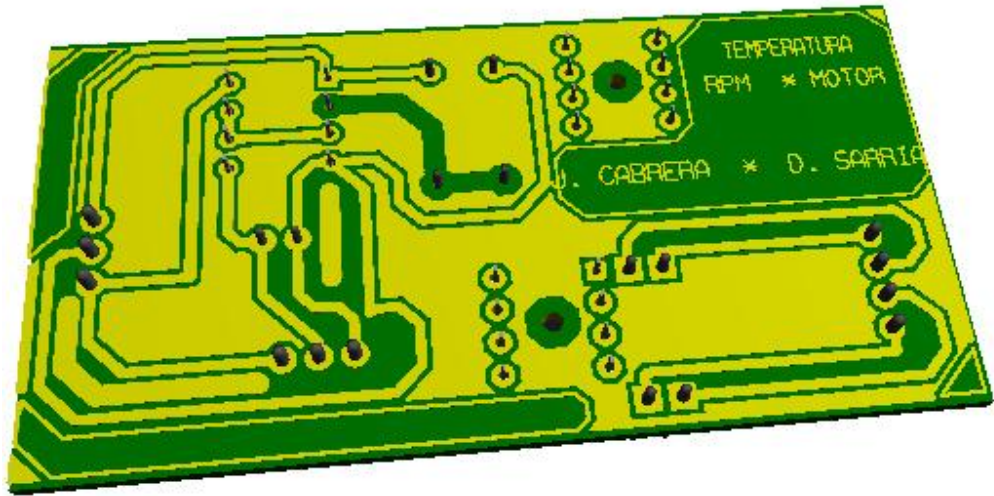
### Anexo 1. Tarjetas impresas de los circuitos implementados



Etapa de Potencia

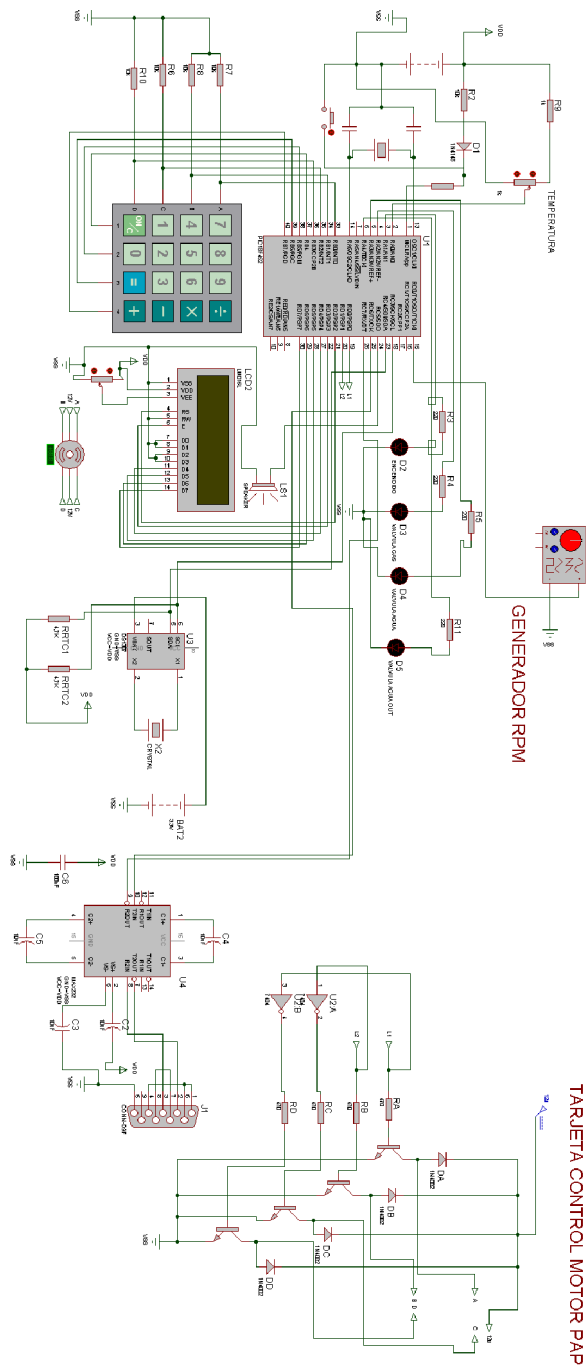


Tarjeta Principal de Control



Tarjeta Sensor RPM y Temperatura

## Anexo 2 - Esquemático del circuito de Control



Anexo 4 - Tabla A-4 Agua saturada. Tabla de Temperaturas.

TABLA A-4												
Agua saturada. Tabla de temperaturas												
Temp., T °C	Pres. sat., P <sub>sat</sub> kPa	Volumen específico, m <sup>3</sup> /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v <sub>f</sub>	Vapor sat., v <sub>g</sub>	Liq. sat., u <sub>f</sub>	Evap., u <sub>fg</sub>	Vapor sat., u <sub>g</sub>	Liq. sat., h <sub>f</sub>	Evap., h <sub>fg</sub>	Vapor sat., h <sub>g</sub>	Liq. sat., s <sub>f</sub>	Evap., s <sub>fg</sub>	Vapor sat., s <sub>g</sub>
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 
- <sup>1</sup> Abreviatura de “Frutas y Verduras”
- <sup>2</sup> [www.monografias.com/aplicaciones\\_termodinamica/SoulRebel TRABAJO N° 1 “LA MARMITA”.mht](http://www.monografias.com/aplicaciones_termodinamica/SoulRebel%20TRABAJO%20N%201%20LA%20MARMITA.mht)
- <sup>3</sup> Antigua sociedad científica del Reino Unido que fue muy reconocida en Europa
- <sup>4</sup> [www.monografias.com/aplicaciones\\_termodinamica/SoulRebel TRABAJO N° 1 “LA MARMITA”/tipos de marmita.mht](http://www.monografias.com/aplicaciones_termodinamica/SoulRebel%20TRABAJO%20N%201%20LA%20MARMITA/tipos%20de%20marmita.mht)
- <sup>5</sup> Fellows, Peter. Tecnología del Procesado de los Alimentos: Principios y Prácticas. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
- <sup>6</sup> *Ibíd.*, P. 115
- <sup>7</sup> [www.monografias.com/ Proceso de elaboración de la salsa de tomate - monografias.mht](http://www.monografias.com/Proceso%20de%20elaboraci%C3%B3n%20de%20la%20salsa%20de%20tomate%20-%20monografias.mht)
- <sup>8</sup> Fellows, op. Cit., p. 145.
- <sup>9</sup> Cornwell, Keith. Transferencia de Calor. Editorial Limusa, 1981.
- <sup>10</sup> Cornwell, Op. Cit., p. 47.
- <sup>11</sup> Cornwell, Op. Cit., p. 49.
- <sup>12</sup> Cornwell, Op. Cit., p. 50.
- <sup>13</sup> Lewis, M. J. y McLean, A. D. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Prácticas. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
- <sup>14</sup> Singh, Paul R. Introducción a la Ingeniería de Alimentos. Editorial Acribia S.A. 1998.
- <sup>15</sup> Çengel A., Yunus. Termodinámica. McGraw Hill. 2002.
- <sup>16</sup> Çengel A., Op. Cit., Pág.114.
- <sup>17</sup> Çengel A., Op. Cit., Pág.115.
- <sup>18</sup> Çengel A., Op. Cit., Pág.115.
- <sup>19</sup> [www.Quiminet.com/valvulas\\_de\\_seguridad.mht](http://www.Quiminet.com/valvulas_de_seguridad.mht)
- <sup>20</sup> Irvin L. Kosow, Control Maquinas Eléctricas, Editorial Reverte, pág. 225

---

<sup>21</sup> Ibid. P. 227.

<sup>22</sup> Ibid. P. 235.

<sup>23</sup> Ibid. P. 236.

<sup>24</sup> Gilberto Enríquez Harper. El ABC de las máquinas eléctricas III: Instalacion y control de motores de corriente alterna/ Installation and control of Motors Of Alternative Current. Editorial Limusa, 2006 páginas pag 355.

<sup>25</sup> Ibid. P. 360.

<sup>26</sup> Ibid. P. 362.

<sup>27</sup> Ibid. P. 397.

<sup>28</sup> De su sigla en inglés: *Solid State Relay*

<sup>29</sup> Minebea Motor Manufacturing Corporation, Selection of PM Motors. Minebea Co., Ltd. 2004

<sup>30</sup> Tabla A-4. Çengel A., Op. Cit., Pág.890

## BIBLIOGRAFÍA

1. Fellows, Peter. Tecnología del Procesado de los Alimentos: Principios y Prácticas. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
2. Lewis, M. J. y McLean, A. D. Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. Prácticas. Zaragoza, España. Editorial Acribia S.A.
3. Ramshaw, Raymond. Electrónica de Potencia; Potencia controlada por Tiristor para motores eléctricos. Barcelona-México, 1982.
4. Mompin Poblet, José. Transductores y medidores electrónicos. Barcelona, 1977.
5. Cornwell, Keith. Transferencia de Calor. Editorial Limusa, 1981.
6. Boylestad, Robert. Electrónica y Teoría de Circuitos. Prentice Hall. 1997.
7. Owen, Bishop. Circuitos electrónicos para seguridad doméstica. Barcelona, 1982
8. Çengel A., Yunus. Termodinámica. Tomos I y II. McGraw Hill. 1998
9. Heumann, K. Fundamentos de la Electrónica de potencia. Berlin-Madrid, 1977.
10. Sugandhi, K.K. Tiristores: Conceptos y Aplicaciones. Editorial Limusa. México, 1985.
11. Maloney, Timothy J. Electronica Industrial. Prentice Hall. Mexico, 1983
12. Lilen, Henry. Tiristores y Triacs. Editorial Marcombo. Barcelona
13. Gilberto Enríquez Harper. El ABC de las máquinas eléctricas III: Instalacion y control de motores de corriente alterna/ Installation and control of Motors Of Alternative Current. Editorial Limusa, 2006 páginas pag 355 a 397
14. Irvin L. Kosow, Control Maquinas Eléctricas, Editorial Reverte, pag 225