



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA:**

**CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA MADURADORA DE  
QUESOS PARA LA MICROEMPRESA.**

**AUTOR:**

**GUILLERMO ANDRÉS PACHECO ANDRADE**

**DIRECTOR:**

**ING. DIEGO ORTIZ**

**IBARRA – ECUADOR**

**2015**

# CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA MADURADORA DE QUESOS PARA LA MICROEMPRESA.

Guillermo Andres Pacheco Andrade

*Carrera de ingeniería en Mecatrónica, Universidad Técnica del Norte  
Ibarra, Ecuador*

[guillermoandrespacheco@gmail.com](mailto:guillermoandrespacheco@gmail.com)

**Resumen.** Este proyecto consiste en una cámara frigorífica que presta todas las condiciones necesarias de sanidad, humedad y temperatura, a través de un control de bajo costo, además, construida de forma modular con materiales de fabricación nacional. Este tipo de cámara frigorífica por su bajo costo puede ser implementada en pequeñas empresas del país. El principal trabajo fue la implementación de un sistema de refrigeración y humidificación eficiente sin presencia de aire forzado que garantice una temperatura de 12°C a 15°C y humedad de 75%HR a 85%HR. con esto se pudo obtener un producto de mejor calidad reduciendo el tiempo de maduración de 5 a 3 semanas.

## 1. INTRODUCCIÓN

La microempresa de productos lácteos “Las Mercedes” realizaba el proceso de maduración manualmente y en cuartos de ladrillo. Este proceso tenía muchas dificultades ya que la humedad se la mantenía mediante sacos de

arena los cuales eran mojados de forma manual cada cierto periodo de tiempo y la temperatura se la trataba de estabilizar aumentando el espesor de las paredes y ubicándolas en los lugares cercanos a los páramos, como en la ciudad de Cayambe, además una persona debía supervisar la maduración de los quesos debiendo verificar estos parámetros y tratar de controlarlos de alguna forma para no tener problemas como:

- Hinchazón
- Putrefacción
- Defectos de paladar
- Defectos del cuerpo y textura

Ejemplo de putrefacción de queso por mal manejo de parámetros de humedad y temperatura en el proceso de maduración



Fig.1 Putrefacción del queso  
Autor: Martín, (2012)

## 2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La cámara con dimensiones 2 m de ancho por dos 2 m de largo y dos 2,4 m de alto está compuesta de un sistema de refrigeración, el cual consta de aislamiento térmico, sistema de evaporación, unidad condensadora, además de un sistema de humidificación por aspersión y el sistema de control.

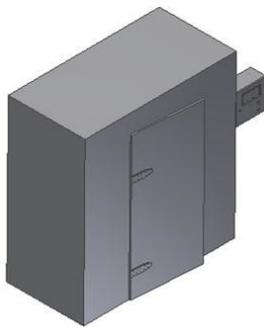


Fig.2 Cámara de maduración  
Fuente: Autor

### 2.1. Sistema de Refrigeración

El intercambio de calor a través de paredes techos y pisos de una cámara varía según su estructura, material del cual este construida, tiene su propio coeficiente de aislamiento y su espesor, además del área expuesta a diferencias de temperatura del espacio refrigerado (interior de la cámara) con la temperatura del ambiente. Para la determinación la capacidad del equipo es necesario saber los siguientes factores como: la carga de transmisión de calor, infiltraciones de aire, la carga del producto y las cargas suplementarias a las que esta expuestas la cámara.

### 2.1.1. Cálculo de carga térmica

Para el cálculo de la carga térmica se considera una temperatura al interior de la cámara de 10°C, una temperatura exterior de 25°C, conductividad térmica (k) para las paredes y techo de poliuretano y el piso de concreto de 0.263 y 12 (BTU·in/pies<sup>2</sup>·hr·°F) respectivamente, utilizando esta formula se obtuvo las siguientes cargas:

$$Q=U \times A \times \Delta T$$

Carga paredes y techo ( $Q_1$ ), Carga piso ( $Q_2$ ), Infiltraciones de aire ( $Q_3$ ), Carga por producto ( $Q_4$ ), Cargas suplementarias ( $Q_5$ ), Carga debido a las personas ( $Q_6$ ) de la siguiente manera para obtener la carga total a la que está expuesta la cámara:

$$Q_t = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_t = 548.38 + 3299.6 + 253.7 + 481.24 + 34.1 + 720$$

$$Q_t = 5337.02 \text{ BTU/h}$$

### 2.1.2. Selección de Unidad condensadora

La selección de la unidad condensadora se ha basado en la carga total de calor obtenida anteriormente que es de 5337.02 BTU/h, lo cual permitió encontrar la unidad condensadora equivalente a ½ HP de capacidad frigorífica de 5500 BTU/h a una temperatura de 7,2°C.



Fig. 3 Unidad condensadora  
Fuente: (Tecumseh, 2013)

### 2.1.3. Selección de Evaporador.

Para este equipo se utilizó un evaporador de tipo estático TermoCoil modelo EBS-050-E con una capacidad calorífica de 6050 BTU/h con un DT diferencia de temperatura de evaporación y temperatura ambiente de 10, de dimensiones 0.83 x 0.33 x 0.08 m, con el fin de garantizar la facilidad de control de humedad y temperatura.

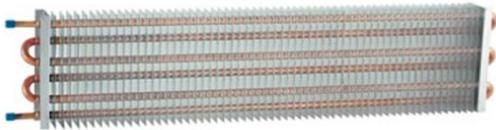


Fig.4 Evaporador estático  
Fuente: (Dufrio, 2014)

### 2.1.4. Posicionamiento de evaporador.

En la cámara existirá un intercambio de calor por medio de radiación donde el cuerpo frío será el evaporador el cual absorberá el calor de los cuerpos más calientes que en este caso es el queso.

Para el posicionamiento se utilizó la ley de la inversa de los cuadrados que nos dice que el calor transferido por radiación disminuye según

el cuadrado de la distancia recorrida (William C. & William M., 2000).

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Donde se tiene:

T1= Temperatura a distancia 1

T2= Temperatura a distancia 2

d1= distancia 1

d2= distancia 2

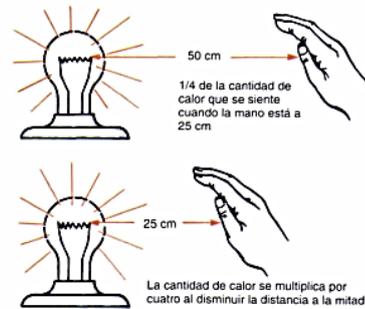


Fig.4 Ley Inversa de los cuadrados

Fuente: (William C. & William M., 2000)

Basándose en esta ley y las especificaciones del fabricante se procedió a poner el evaporador en la parte central de la cámara para que exista una buena distribución de temperatura, y no exista problemas de goteos de condensación sobre el producto.

### 2.1.5. Pruebas de Temperatura y humedad

Con el fin de garantizar la temperatura y humedad requerida para la maduración del queso, durante 9 días se realizó la toma de estos datos dentro de la cámara de maduración para

esto se dividió la cámara en sectores lo que facilitó el análisis de los resultados y posicionamiento del sensor ya que no existía un software que permita la simulación de este fenómeno.

Tabla 1. Sectores de toma de datos

	Sector derecho	Sector Medio	Sector izquierdo
Sección inferior	A1,B1,C1	A2,B2,C2	A3,B3,C3
Sección media	A4,B4,C4	A5,B5,C5	A6,B6,C6
Sección superior	A7,B7,C7	A8,B8,C8	A9,B9,C9

Con los datos recolectados de las diferentes sectores de la cámara de maduración se obtuvo un promedio de temperatura, humedad y la respectiva desviación estándar de las diferentes los sectores A, B, C correspondiente a las paredes de la cámara, a continuación se obtuvo un promedio general de temperatura y humedad de las secciones de la pared posterior, pared lateral derecha, pared lateral izquierda, con el promedio de temperatura y humedad de las paredes de la cámara se obtuvo la temperatura superior, media e inferior para identificar si cada una de la secciones cumplen con el requerimiento de humedad y temperatura para la maduración por último se obtuvo que la cámara tiene un promedio de temperatura de 13.01°C con una variación de  $\pm 0.88^\circ\text{C}$ , la humedad promedio es de 77,43% con una variación de  $\pm 4,04\%$  lo cual garantiza los parámetros de maduración del queso que son de 12°C a 15°C

de temperatura y 70% a 90% de humedad relativa.

Tabla 2. Temperatura y humedad por niveles

Cámara de Maduración		
	Humedad (%)	Temperatura(°C)
<b>Superior</b>		
Promedio	75,55	12,88
DS	3,95	0,85
<b>Medio</b>		
Promedio	75,75	12,87
DS	4,15	0,84
<b>Inferior</b>		
Promedio	80,98	13,27
DS	4,01	0,97

### 2.1.6. Sistema de Control

Se escogió el controlador Full Gauge MT-530 ya que cumple con los requisitos de control tanto como de temperatura como para humedad, además no es necesario implementar una alarma visual y sonora ya que este lo incorpora en su hardware, este controlador además tiene tres salidas tipo relé lo cual permite una conexión adicional además de las necesarias, adicionalmente registra máximos y mínimos tanto de humedad y temperatura lo que permite al usuario controlar estos parámetros además de su fácil conexión vía RS 485.

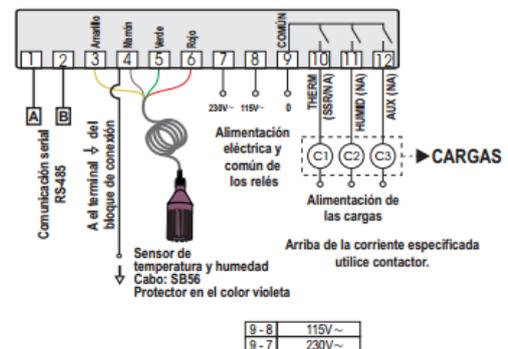


Fig.5 Diagrama de conexiones controlador Fuente: Full Gauge, 2015

### 2.1.7. Conservación de temperatura de la cámara

Para el cálculo se obtuvo una temperatura inicial de 12 °C cuando se apaga el sistema de refrigeración y una temperatura de 14°C al cabo de 45 minutos, estos datos se consiguieron durante las pruebas de temperatura y humedad, con la puerta cerrada durante toda las pruebas con esto se consiguió la ecuación que representa la variación de temperatura en cualquier instante de tiempo.

$$T = 25 - 13 \left( \frac{11}{13} \right)^{\frac{t}{45}}$$

Con lo que se obtuvo que a la cámara antes de llegar a la temperatura ambiente le toma 722.81 minutos es decir 12 horas.

### 3. CONCLUSIONES

- Mediante la implementación de esta cámara, se optimiza el proceso de maduración de quesos, reduciendo tiempo de cuatro a dos semanas.
- El análisis de los defectos en el proceso de maduración del queso ayudó a corregir todos los parámetros de temperatura y humedad que afectan, para obtener un producto de calidad.
- Gracias al software interno del controlador la calibración de parámetros se la realizó con mayor precisión, menor tiempo y su versatilidad de aplicación ayudó a reducir costos de fabricación de la cámara.

- La inversión del proyecto es fácilmente recuperable debido a la disminución de tiempo y al aumento de producción de queso por lo que se analizó que el proyecto se pagará en aproximadamente 5 meses.

- Cuando se tiene un evaporador estático se toma en cuenta la posición del mismo de acuerdo a la radiación de calor para que exista una temperatura uniforme dentro de la cámara.

### 4. RECOMENDACIONES

- Se debe usar equipo de protección personal como botas de caucho, overol de trabajo y guantes debidamente desinfectados durante el proceso de fabricación y maduración del queso para evitar la contaminación del producto y las posibles pérdidas por contaminación.

- El personal bajo ninguna circunstancia deberá abrir la caja de control cuando el equipo esté en funcionamiento.

- Cuando la alarma de la cámara se active quiere decir que existe una variación excesiva de temperatura o humedad por lo que se debe informar inmediatamente al personal técnico.

- Se debe hacer una desinfección luego de cada cosecha de queso con desinfectante Ecoxi 100 de grado alimenticio para que no exista la posible formación de focos de hongos dentro de la cámara que puedan afectar el proceso de maduración del queso.

- Se recomienda realizar un mantenimiento técnico de la cámara cada 6 meses para garantizar su correcto funcionamiento.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Copeland Corporation. (2008). *Manual de Refrigeración*. Sidney, Gran Bretaña: Pittsburgh.
- Danfoss. (2014). *Termostatos*. Recuperado el 16 de julio de 2015, de <http://www.danfoss.com/Spain/Products/Categories/Group/RA/Thermostatic-Expansion-Valves/Thermostatic-Expansion-Valves-Exchangeable-Orifice/7e55a30d-3b82-4450-8ee0-073b94f88cd7.html>
- Dufrio. (2014). *Sistemas inteligentes de refrigeración*. Recuperado el 05 de agosto de 2015, de [www.dufrio.com.br](http://www.dufrio.com.br)
- Dupont. (2014). *La nueva generación de refrigerantes para refrigeración fija*. Recuperado el 20 de julio de 2015, de [http://www2.dupont.com/Opteon\\_Stationary/es\\_ES/index.html](http://www2.dupont.com/Opteon_Stationary/es_ES/index.html)
- Full Gauge. (2010). *Full Gauge Controls*. Recuperado el 05 de octubre de 2015, de <http://www.fullgauge.com/>
- Giraldo, D., & Tabares, I. (1997). *Teoría de control*. México D. F.: Prentice Hispanoamericana.
- Kern, D. Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. Mexico: Prince Continental.
- Martín, P. (12 de diciembre de 2012). *Defecto en los quesos*. Recuperado el 05 de agosto de 2015, de <http://quesodeoveja.org/otros-defectos-en-los-quesos/>
- McCabe, W. L. (1998). *Operaciones Unitarias en Energía Química*. Recuperado el 01 de julio de 2015, de [http://www.academia.edu/8348642/Operaciones\\_Unitarias\\_en\\_Ingenier%C3%ADa\\_Qu%C3%ADmica](http://www.academia.edu/8348642/Operaciones_Unitarias_en_Ingenier%C3%ADa_Qu%C3%ADmica)
- Meyer, M. (2010). *Elaboración de Productos Lácteos*. Argentina: Editorial trillas.
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de Control Moderna*. Mexico: PRENTICE-HALL.
- RIMA Internacional. (2002). *Ailante, reflectante, barreras radiantes y capas de control de radiación*. Olathe, EEUU: RIMA-I.
- Solant Aislantes. (enero de 2015). *Aislación térmica*. Recuperado el 12 de agosto de 2015, de [isolant.com.ar/lexico.html](http://isolant.com.ar/lexico.html)
- Tecumseh. (24 de enero de 2013). *Unidades condensadoras*. Recuperado el 10 de agosto de 2015, de <http://www.tecumseh.com/es/South-America/Products/Condensing-Units>
- Villegas G., A. (2004). *Tecnología Quesera*. Buenos Aires, Argentina: Trillas ediciones S. A.
- William C., W., & William M., J. (2000). *Tecnología de Refrigeración y aire acondicionado*. México D. F.: Paraninfo.
- Kuroki, T.; Sato, T.; Nabeshima, T.; Nishijima, K. (2010). *Comparative study of digital PI control algorithm for Dc-to-dc converters*. Obtenido de IEEE Xplore: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6147303>

## 6. BIOGRAFÍA DEL AUTOR

### Guillermo Andres Pacheco Andrade



Nace en la ciudad de Quito perteneciente a Ecuador, el 24 de Junio de 1990.

Realizó sus estudios primarios en la escuela La Victoria. Sus estudios

secundarios los curso en el Colegio Liceo Aduanero en la especialidad de Físico Matemático.

Actualmente es egresado de la Universidad Técnica del Norte de Ibarra-Imbabura en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica en el 2015. Área de interés: Diseño mecánico, automatización de procesos, energías renovables.