

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ATEMPERADOR DE CHOCOLATE

Arley Hernandez Vergel¹
Luz Alba Caballero Pérez²

Resumen

La calidad de los productos ofrecidos por los fabricantes de chocolates depende del templado, el diseño del equipo atemperador es fundamental en este proceso. El objetivo principal del presente trabajo fue el de diseñar y construir un atemperador de chocolate para el Centro Experimental de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Pamplona, (CETA). Inicialmente se establecieron los requerimientos exigidos para el diseño y construcción del atemperador de chocolate: definición de capacidades, materiales a emplear entre otros. Se realizaron los cálculos y el diseño preliminar del atemperador de chocolate tomando como referencia diseños existentes de equipo. Seguidamente se inició la fase de construcción del equipo atemperador de chocolate de acuerdo al diseño propuesto. Una vez construido se realizaron las pruebas de funcionamiento y puesta a punto del atemperador de chocolate diseñado y construido con sus respectivos ajustes para garantizar su eficaz funcionamiento y uso para el cual fue diseñado. Finalmente se diseñó un manual para el uso y mantenimiento del atemperador de chocolate. Se diseñó y construyó un atemperador de chocolate acorde a las necesidades de formación de los futuros profesionales en Ingeniería de Alimentos dentro del Centro experimental de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Pamplona.

Palabras clave: Atemperador, Construcción, Chocolate, Diseño, Maquina. Abstract

¹ Programa Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona, Km 1 Vía B/manga, Pamplona, Colombia

² Programa Ingeniería de Alimentos. Grupo Investigaciones GIBA. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Universidad de Pamplona, Km 1 Vía B/manga, Pamplona, Colombia. Correo electrónico: luzcaballero@unipamplona.edu.co

Abstract

Leaving terminate this project, it fails to meet the specifications and features required by the experimental food technology center at the University of Pamplona (CETA) on the design and construction of the chocolate tempering machine, which facilitate the practical to be performed by teachers and students of food engineering program. In carrying out this project is vital to make a preliminary study on the different types and designs atemperadores chocolate on the market, where you can be aware of how this type of machinery and to select the model most convenient to continue to build the tempering machine in order to identify the advantages and disadvantages, according to this, a preliminary design is created, later to obtain the final design and build. According to the training needs of future professionals in Food Engineering where they can carry out research projects , laboratory and thesis and possible sale of training or education for the wider community within experimental Technology Center food at the University of Pamplona.

Keywords: Desuperheater, Chocolate, Construction, Design, Machine.

1. Introducción

La Universidad de Pamplona por medio del programa de Ingeniería de Alimentos ofrece a sus estudiantes la posibilidad de realizar diferentes prácticas sobre manipulación, manejo y transformación de los alimentos, una línea muy importante dentro de este campo es la de producción de chocolate, la cual es nueva y no cuenta con equipos adecuados para su producción, esta línea de producción contempla importantes equipos, uno de ellos es el atemperador de chocolate el cual sirve para mantener la temperatura del chocolate dispuesto para hacer coberturas. El programa de Ingeniería Mecánica por medio de las tesis de grado de sus estudiantes ha venido solucionando algunos requerimientos hechos por los laboratorios de la universidad. En este caso, el diseño y construcción de un atemperador de chocolate, el cual es

de vital importancia para la realización de las prácticas académicas, donde se puede llevar la teoría a la parte práctica y así poder comparar los resultados obtenidos. El desarrollo de este proyecto deja como Interés, la intención de seguir incursionando en la industria de alimentos, campo que está relacionado con los sistemas de refrigeración y transferencia de calor en la mayoría de los procesos, donde la finalidad de estos es tratar los alimentos en las mejores condiciones.

Hoy en día los países sur americanos pretenden competir en el mercado mundial del cacao en calidad, apuntando a mercados de cacao fino y de aroma [13 ; 14], ya que nuestro cacao es apetecido por industrias, chocolatería *gourmet* y consumidores que reconocen el valor de un chocolate diferenciado por estas características, las cuales no solo dependen del proceso de fermentación y secado, como se piensa erróneamente, sino que depende desde la variedad, ambiente, tipo de suelos y manejo de la plantación, pasando por la cosecha, desgrane, fermentación, secado, almacenamiento y tostado.

La función es proporcionar calor para fundir y mantener la cobertura a una temperatura adecuada para la utilización continua [1]. La templadora de chocolates es una máquina que temple el licor de chocolate. Todos los fabricantes de chocolates utilizan esta máquina. El producto que ofrecen al mercado los fabricantes de chocolates depende del tipo de templado, en conclusión una de las reglas para la calidad del producto final es el templado [9].

El templado del chocolate es el proceso por el cual se somete al chocolate a cambios de temperatura definidos para provocar una cristalización particular de su elemento graso, la manteca de cacao. La estructura así lograda genera las características que conocemos: brillo, buena textura y fácil desmolde [11; 12]. A continuación se detalla algunas técnicas del temple de chocolate [9].

Tabla 1. Temperatura de fusión de las diferentes coberturas existentes

Tipo de Cobertura	Temperatura de Fusión
Cobertura Negra	Entre 45°C y 50°C
Cobertura Blanca	45°C
Cobertura Láctea	40°C

Fuente: <http://www.afuegolento.com/noticias/45/firmas/murua/1859/>

Se define el calor como la forma de energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. Un análisis termodinámico se interesa en la cantidad de transferencia de calor conforme un sistema pasa por un proceso, de un estado de equilibrio a otro. La ciencia que trata de la determinación de las velocidades de esas transferencias de energía es la **transferencia de calor** [10; 11].

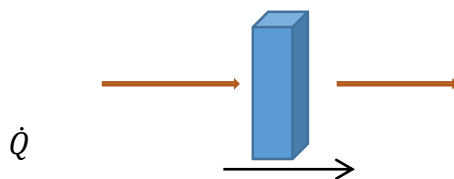
- **Conducción**

Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones de esas partículas, la conducción puede tener lugar en los sólidos. *Figura 2.* [10].

$$\dot{Q}_{cond} = KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (w)$$

Dónde:

K = conductividad térmica, T = temperatura, A = área perpendicular a la dirección del flujo de calor, X = espesor de placa, \dot{Q}_{cond} =velocidad de transferencia de calor.



$$T=T(x) \quad x$$

Figura 2. Transferencia de calor por conducción. **Fuente:** Autor

2. Metodología

Para definir la metodología que se empleo fue necesario conocer las propiedades y los diferentes elementos que determinan el proceso de fusión de chocolate y así poder implementar el procedimiento más adecuado para el diseño del dispositivo, por esta razón se hace una breve descripción de los datos que se tuvo en cuenta [7].

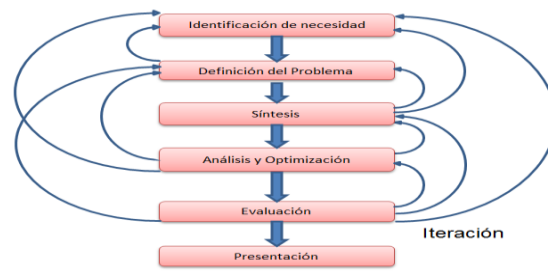


Figura 1. Método de diseño. Fuente: Ingeniería Mecánica Diseño 8 ed Shigley

3. Resultados.

3.1. Cálculos del contenedor de chocolate.

Para empezar con el diseño se debió calcular el volumen del chocolate en estado líquido.

Chocolate negro liquido $d \cong 1.157 \frac{g}{cm^3}$ y $m = 15 Kg = 15000 g$

$$V = \frac{m}{d} = \frac{15000 g}{1.157 \frac{g}{cm^3}} = 12,964.5635 cm^3$$

Al conocer el volumen aproximado del chocolate, se procedio a realizar el diseño del recipiente de acuerdo a la altura deseada, la cual es $h = 20 cm$.

$$V = \pi r^2 * h$$

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi h}} = \sqrt{\frac{12,964.5635}{3,1416 * 15}} = 14.3644 \text{ cm}$$

Debido a que el volumen del chocolate sólido es mayor que en estado líquido, se debió aumentar el valor de las dimensiones para que el recipiente tenga más de capacidad, para eso también se agregó una curvatura en forma de cono en el fondo del recipiente, esto con el fin de tener un mejor drenado del chocolate. *Figura 3.*

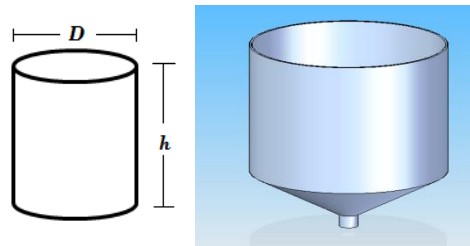


Figura 3. Volumen de un cilindro. **Fuente:** Autor, *Básicas y Agrícolas*

3.2 Convección forzada interna

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p(T_e - T_i) \quad (W)$$

Condiciones iniciales

Se necesita calentar agua gradualmente a razón de 4 °C por ciclo hasta una temperatura aproximada de 60 °C, el agua circula por una tubería de ¾ de pulgada completamente lisa en la superficie interior, que tiene una sección de L= 32 cm de largo con un diámetro interno de 4 pulgadas, donde se ubicaron resistencias térmicas, para determinar el flujo de calor necesario para este proceso.

Datos:

$$\dot{V} = 28 \frac{L}{min} = 4.6666 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \text{ gasto volumetrico ; } \dot{m} = 0.466666 \frac{kg}{s} \text{ gasto de masa}$$

$$D_{int} = 4in = 0.1016 m ; T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C} ; T_e = 24 \text{ }^\circ\text{C}$$

Figura 4. Sección de la tubería donde se calentara el Agua.. **Fuente:** Autor



Se calcula la temperatura media, para hallar las propiedades físicas del agua cuando varía su temperatura en cada ciclo asumiendo que no hay pérdida de calor en el recorrido del agua por la tubería.

$$T_m = \frac{T_i + T_e}{2} \text{ (}^\circ\text{C)}$$

La **Tabla A9** del libro **Transferencia de Calor Yonus A. Çengel**. Muestra las propiedades físicas del agua de acuerdo a su temperatura.

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * (T_e - T_i) \quad (Kw)$$

$$\dot{Q} = 0.466666 \frac{kg}{s} * 4.1806 \frac{kJ}{kg \text{ }^\circ\text{C}} * (24^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 7.803 Kw$$

Tabla 2. Variación del Flujo de Calor.

$T_m \text{ }^\circ\text{C}$	22	26	30	34	38	42	46	50	54	58
$\dot{Q} Kw$	7.803	7.8	7.799	7.799	7.8	7.802	7.803	7.804	7.807	7.810

Fuente: Autor

Se calcula el número de Reinold para verificar en qué estado se encuentra el flujo de agua, si es Laminar o Turbulento.

$$Re_D = \frac{V_m * D_{int}}{\gamma}$$

Dónde:

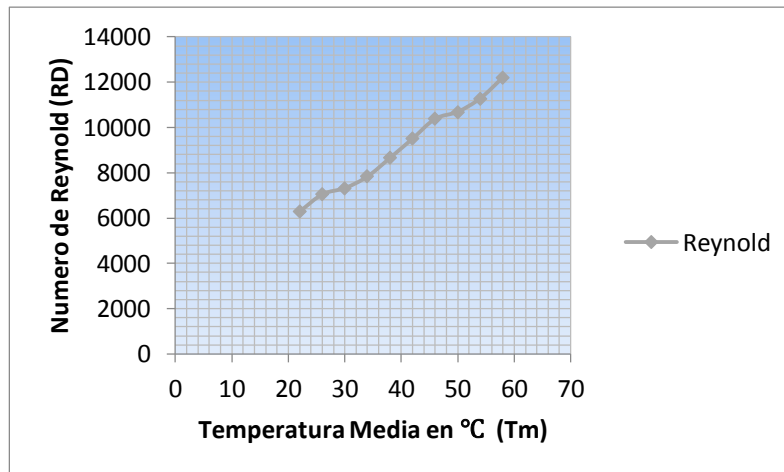
$$V_m = \frac{\dot{V}}{A_c}; \gamma = \frac{\mu}{\rho} ; A_c = \text{área transversal de la tubería}; A_s =$$

$$\text{área de la superficie interna de la tubería}; A_c = \frac{1}{4} \pi D_{int}^2 = 8.10732 \times 10^{-3} \text{ m}^2 ; A_s = PL =$$

$$\pi D_{int} L = 0.10214 \text{ m}^2 ; ; \dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Tabla 3. Variación de Reinold al aumentar la Temperatura del agua.

T_m °C	22	26	30	34	38	42	46	50
Re_D	6301.934	7054.523	7328.616	7839.401	8660.196	9509.280	10382.197	10691.547
	1	7	4	8	1	7	0	2



Fuente: Autor

Figura 5. Variación en el número de Reinold. **Fuente:** Autor

En la Tabla 3 y Figura 5. Se puede observar como el número de Reinold tiende aumentar a medida que la temperatura se eleva, esto se debe a que las propiedades del agua van cambiando a medida que se agranda su temperatura. Como se puede observar en la Tabla 10. La variación del flujo de calor en mínima para cada ciclo que realiza el agua, por esta razón se asume que para calentar el agua gradualmente con un gasto de masa de $\dot{m} = 0.466666 \text{ kg/s}$ se debe suministrar calor a razón de 7.8 Kw . Se pudo determinar la temperatura superficial interna del tubo con la siguiente ecuación:

$$\dot{q}_o = h * (T_s - T_m) \quad \text{Kw}/\text{m}^2$$

Tabla 4. Variación del flujo de calor, Temperatura superficial, nusselt y coeficiente convectivo del agua.

T_m	$\dot{q}_o \text{ Kw}/\text{m}^2$	Nu	$h \text{ W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_s \text{ }^\circ\text{C}$
22	76.39514	53.0385	315.3076	264.2876
26	76.36577	55.1605	332.4288	255.7206
30	76.35598	55.8914	338.3190	255.6922
34	76.35598	57.2352	349.4389	252.5102
38	76.36577	59.2445	366.3712	246.4382
42	76.38535	61.2466	382.7912	241.5483
46	76.39514	63.1867	399.0215	237.4562
50	76.40493	63.8339	404.6164	238.8330
54	76.43430	65.1176	414.8683	238.2375
58	76.46367	67.0027	430.1758	235.7498

Fuente: Autor

Se despeja T_s de la ecuación.

$$T_s = T_m + \frac{\dot{q}_o}{h} \quad \text{ }^\circ\text{C}$$

Dónde h es el coeficiente de transferencia de calor y T_m es la temperatura media del agua.

$$\dot{q}_o = \frac{Q}{A_s}$$

Se determina el valor de nusselt y de h con las siguientes expresiones.

$$N_u = \frac{h \cdot D_{int}}{k} = 0.023 Re_D^{0.8} * P_r^{0.4} \quad ; \quad h = \frac{N_u * k}{D_{int}} \quad W/m^2 \cdot ^\circ C$$

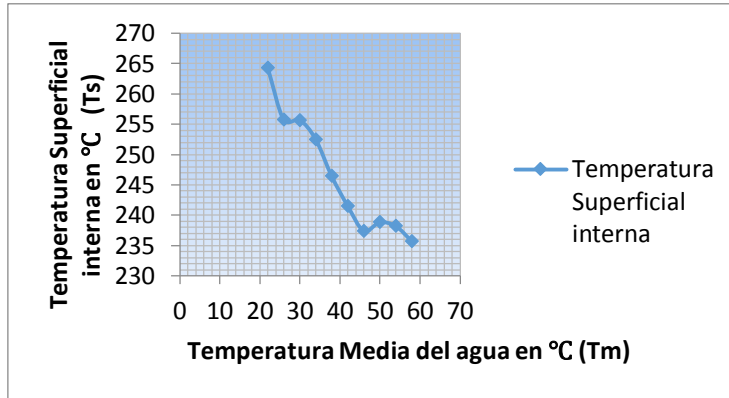


Figura 6. Variación de la temperatura interna superficial de la Tubería. **Fuente:** Autor

En la Figura 6. Se puede observar la curva de la temperatura superficial interna de la sección del tubo donde se aplica un flujo de calor a razón de 7.8 Kw, se ve claramente como empieza a bajar a medida que la temperatura media del agua sube.

3.3 conducción y convección de calor en el recipiente.

$$\dot{Q}_{cond} = KA_1 \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (a) \quad ; \quad \dot{Q}_{conv} = h_2 A_2 (T_2 - T_{\infty 2}) \quad (b)$$

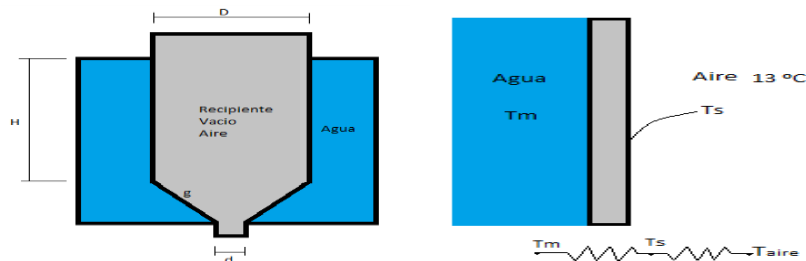


Figura 7. Contenedor. **Fuente:** Autor

Dimensiones y Propiedades

$A_1 =$ area superficial en contacto con el agua ; $A_2 =$ area en contacto con el aire.

$D_{ext} =$ diametro externo = 0.306 m ; $D_{int} =$ diametro interno = 0.300 m

$d_{ext} =$ diametro inferior externo = 0.032 m ; $d_{int} =$ diametro inferior interno = 0.025 m

$H =$ altura del cilindro = 0.215 m ; $g =$ distancia del cono = 0.105m

$L =$ espesor de la lamina de Acero = 0.003 m ; $h_2 =$ coeficiente convectivo del Aire = $80 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$

$k =$ coeficiente conductivo del Acero AISI 304 = $14.9 \text{ W/m }^\circ\text{C}$; $T_\infty =$ Temperatura del aire = $13 \text{ }^\circ\text{C}$

Primero se determina el área expuesta a conducción y convección de calor.

$$A_1 = 2\pi \frac{D_{ext}}{2} H + \pi \left(\frac{D_{ext}}{2} + \frac{d_{ext}}{2} \right) g \quad A_1 = 0.262433 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2\pi \frac{D_{int}}{2} H + \pi \left(\frac{D_{int}}{2} + \frac{d_{int}}{2} \right) g \quad A_2 = 0.256236 \text{ m}^2$$

Dónde:

$$\dot{Q}_T = \frac{T_m - T_{\infty 2}}{R_T} \quad y \quad R_T = R_{cond} + R_{conv}$$

$$R_{cond} = \frac{L}{KA_1} = \frac{0.003}{14.9 * 0.262433} = 7.6721 \times 10^{-4} \quad \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{conv} = \frac{1}{h_2 A_2} = \frac{1}{80 * 0.256236} = 48.7831 \times 10^{-3} \quad \frac{^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$\dot{Q}_T = \frac{22^{\circ}\text{C} - 13^{\circ}\text{C}}{7.6721 \times 10^{-4} \frac{\text{C}}{\text{W}} + 48.7831 \times 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{W}}} = 181.6335 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_2 A_2 (T_2 - T_{\infty 2}) \quad ; \quad T_2 = \frac{\dot{Q}_{conv}}{h_2 A_2} + T_{\infty 2}$$

$$T_2 = \frac{181.6335 \text{ W}}{80 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C} * 0.256236 \text{ m}^2} + 13^{\circ}\text{C} = 21.8606 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tabla 5. Velocidad de transferencia de calor y Temperatura Superficial.

T_m	Q_T (W)	T_2 ($^{\circ}\text{C}$)
22	181.6335	21.8606
26	262.3596	25.7987
30	343.0856	29.7368
34	423.8116	33.6748
38	504.5377	37.6129
42	585.2637	41.5510
46	665.9897	45.4890
50	746.7158	49.4271
54	827.4418	53.3652
58	908.1678	57.3032

Fuente: Autor

Se comprueba al observar la Figura 8. Que la temperatura superficial que va a estar en contacto con el chocolates, va a aumentar en forma lineal, lo cual es muy importante durante el proceso de atemperado.

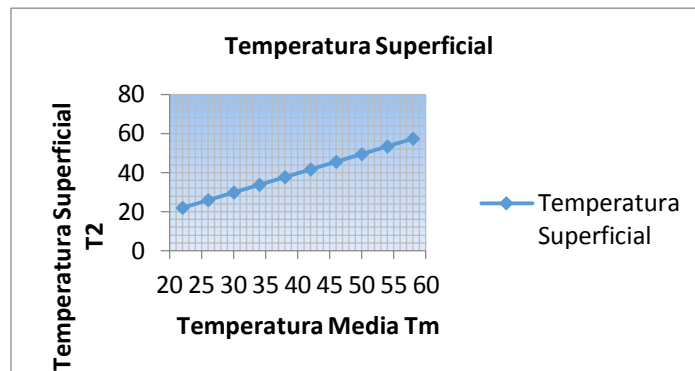


Figura 8. Comportamiento de la Temperatura superficial durante el proceso de atemperado.

Fuente: Autor.

En la Figura 9, se Muestra el esquema del proceso de atemperado y sus componentes.

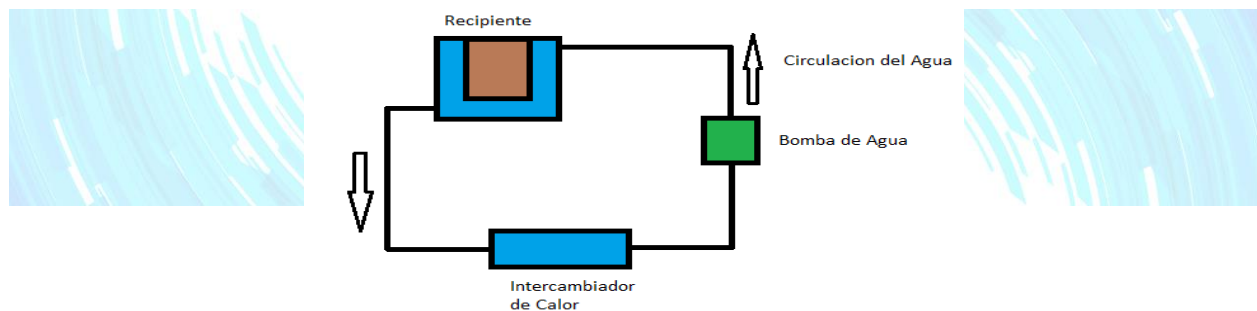


Figura 9. Esquema del atemperador de chocolate. **Fuente:** Autor..

5. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar una máquina atemperadora de chocolate basándose en especificaciones solicitadas por el centro experimental de tecnología de alimento de la Universidad de Pamplona (CETA), a emplear en las prácticas de los estudiantes del programa de Ingeniería de Alimentos.

- Se diseñó un manual de operación para la manipulación correcta de la maquina atemperadora de chocolate, para el manejo durante el proceso de atemperado y mantenimiento de la máquina en caso de falla.

6. REFERENCIAS

1. Rodríguez Ares José María, TEMAS GASTRONÓMICOS V, Enero de 2017. [Consultado]: 12 de Julio de 2017. Disponible en: www.eduinnova.es/monografias09/ene2010/TEMASG5.pdf.
2. Alvares Ibáñez Rubén, CHOCOVIC CACAO Y CHOCOLATE, Julio de 2010.[Consultado]: 30 de Septiembre de 2012. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/41518803/Curso-de-Chocovic-Cacao-y-Chocolate>
3. CODINI Melina y otros. Obtención y utilización de la manteca de cacao. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, Junio 2004. [Consultado]: 28 de Junio de 2012. Disponible en: redalyc.uaemex.mx/pdf/877/87701213.pdf
4. Pía Moguees María, Templado del Chocolate, Año 2005. [Consultado]: 28 de Junio de 2012. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/11708240/Templado-del-chocolate>
5. FLORES L. José L., MARTÍNEZ F. Juan C., CASILLAS G. Francisco J. Manual de buenas prácticas de higiene y sanidad, MEXICO, D.F. AGOSTO DE 1999. [Consultado]: 29 de Junio de 2012. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/documentos/sanidad.html>
6. DECRETO 3075 DE 1997, CAPITULO II, EQUIPOS Y UTENSILIOS. [Consultado]: 30 de Junio de 2012. Disponible en: <http://maquinariayequiposparafruver.blogspot.com/>
7. Peña Ramos Ruth Elizabeth, Parra Sosa John Hammer, diseño de un prototipo de máquina para fundir chocolate, 2007. [Consultado]: 13 de julio de 2012. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/123456789/.../66392P349.pdf>

8. Rueda Fernando, ACERO AISI 304 Y 304L, Octubre de 2009. [Consultado]: 14 de julio de 2012. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/63612149/Acero-Laminado-Aisi-304-y-Aisi-304I>
9. Ortega Muñoz Rómulo, diseño de un controlador digital de temperatura para la maquina templadora de chocolate, La Paz – Bolivia Agosto 2009. [Consultado]: 02 de octubre de 2012. Disponible en: http://www.cybertesis.umsa.bo:8080/umsa/2009/ortega_mr/html/index-frames.html
10. Yunus A. Çengel, Transferencia de Calor, segunda edición, McGraw-Hill Interamericana. [Consultado]: 05 de octubre de 2012.
11. Acevedo C. Arrieta A. Torres A. (2015). Influencia del contenido de manteca de cacao en las propiedades térmicas de muestras de chocolates por medio TGA y DSC modificando las concentraciones de grasa. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 13 N° 2. Pp: 155 - 163.
12. Vera R. José M.; Arrieta S. Alexandre; Quintana Lucas F.; García J. Alberto. (2017). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas como parámetros de calidad en la fermentación de clones de CACAO CCN51, TSC01. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN 1692-7125. Volumen 15 N° 2. Pp: 76 - 86.
13. González, Y., Pérez, E., & Palomino, C. (2012). Factores Que Inciden En La Calidad Del Chocolate. Actualización En Nutrición, 13(4), 314-331.
14. Quintana F., Lucas F. Gómez, Salomon Garcia, Alberto y Martinez, Nubia. (2015). Perfil sensorial del clon de cacao (theobroma cacao L.) CCN51. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaría. ISSN: 1692-7125. Volumen 13 N°1. Pp. 60 - 65.