



Seminario de Ingeniería Biomédica 2010

Estructura y elementos del equipo de pasteurización de leche materna de Tacuarembó.

Federico de Izaguirre¹

Monografía vinculada a la conferencia de la Dra. Delfina Pirez y el Dr. Gustavo Puentes titulada "Pasteurizadora de leche materna con control pleno del proceso" el 25 de mayo del 2010.

¹Estudiante de Ingeniería Eléctrica - Universidad de la República, Uruguay

Email: fedeiza@gmail.com;

Resumen

Fundamento - En este trabajo se describirá el funcionamiento de la pasteurizadora de leche materna del Banco de Leche del Hospital de Tacuarembó. También listarán los componentes tanto electrónicos como mecánicos de la pasteurizadora.

Metodología - Para comenzar, y como pilar de esta monografía, se visitó el Banco de leche en Tacuarembó, se desarmó y relevó la pasteurizadora de leche materna bajo la supervisión de su constructor el Dr. Gustavo Puentes, además se consultó a los usuarios sobre el funcionamiento de la misma. Para tener una mejor idea de cómo funciona la máquina se realizará un diagrama de bloques y se hará una lista de todos los componentes. Luego de listados todos los componentes necesarios se llevó a cabo un presupuesto. Para finalizar se propondrán mejoras al prototipo existente.

Resultados - La pasteurizadora desarrollada en Tacuarembó es un excelente equipo, que realiza de manera eficiente y simple su cometido. Buscarle mejoras no fue una tarea sencilla. Las dos mejoras más importantes son: el redondeado de las aristas internas del baño maría y el agregado de alas en la tapa, que devuelva al baño maría el agua condensada en la misma.

El coste de desarrollo y replicado se estimó en US\$4000, mientras que los materiales y la construcción de la estructura asciende a US\$3500. De esta manera el costo total del prototipo es US\$7500.

1. Introducción

La presente monografía fue inspirada por la conferencia expuesta por de la Dra. Delfina Pirez (Hospital de Tacuarembó) y el Dr. Gustavo Puentes (NUTRISIMA srl) titulada "*Pasteurizadora de leche materna con control pleno del proceso*", en el marco del Seminario de Ingeniería Biomédica.

Para llevar a cabo esta monografía se organizó un viaje al Hospital de Tacuarembó para poder hacer un estudio intenso de la maquina, relevar sus dimensiones, sus componentes y su funcionamiento.

En el correr de este documento se irán presentando los datos que fueron recabados, tanto en el hospital directamente de la maquina, así como también de las charlas con el creador de la misma y los usuarios. Se presentará una tabla con todos los componentes y su precio en el mercado. Finalmente se analizarán posibles mejoras.

2. Importancia de la lactancia materna y creación del BLH

Este apartado, intentará dar una idea al lector sobre la importancia de la lactancia materna y las ventajas de la leche materna respecto a los complementos alimenticios para bebés.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), *“La lactancia materna es la forma ideal de aportar a los niños pequeños los nutrientes que necesitan para un crecimiento y desarrollo saludables. Prácticamente todas las mujeres pueden amamantar, siempre que dispongan de buena información y del apoyo de su familia y del sistema de atención de salud. La OMS recomienda el calostro (la leche amarillenta y espesa que se produce al final del embarazo) como el alimento perfecto para el recién nacido, y su administración debe comenzar en la primera hora de vida. Se recomienda la lactancia exclusivamente materna durante los primeros 6 meses de vida.”*[1]

La OMS destaca entre los beneficios de la leche materna: *“es inocua y contiene anticuerpos que ayudan a proteger al lactante de enfermedades frecuentes como la diarrea y la neumonía. Además de los beneficios inmediatos para el niño, la lactancia materna contribuye a mantener una buena salud durante toda la vida.”*[1]

En cambio advierte sobre la leche artificial lo siguiente: *“La leche artificial no contiene los anticuerpos presentes en la leche materna y conlleva riesgos como las enfermedades transmitidas por el agua utilizada para reconstituir la leche. Una dilución excesiva con el fin de ahorrar puede acabar produciendo malnutrición.”*[1]

Considerando la importancia que la leche materna implica en la salud de los niños resulta imprescindible buscar la manera de que los niños uruguayos la reciban. Para resolver este problema se creó en el Hospital de Tacuarembó un banco de leche materna pasteurizada. *“La necesidad de contar con leche humana pasteurizada surge de las dificultades que presentan las madres para asegurar una producción fisiológica adecuada a las demandas de los recién nacidos. Por múltiples razones lograr que los niños reciban el alimento que necesitan no es sencillo aún cuando es natural y está al alcance de todos por ser gratuito. Con excepción de aproximadamente un 2% todas las mujeres son capaces de amamantar. Contar con recursos como el Banco de Leche Humana (BLH) permite disponer de un plan alternativo para los casos en que los motivos externos superan a los naturales.”*[2]

“Los bancos de leche humana pasteurizada, han demostrado, que ponen a disposición un producto que manteniendo las características y beneficios de la leche humana, luego del proceso de pasteurización quedan libres de los riesgos de transmisión de enfermedades como el SIDA, la hepatitis y otras que podrían transmitirse cuando el niño es alimentado por una madre substituta.”[2]

3. La pasteurizadora del BLH de Tacuarembó

Teniendo en cuenta lo significativo de contar con leche humana pasteurizada y el excelente trabajo conjunto realizado por el Hospital de Tacuarembó y la empresa de la industria láctea Nurtísima, se concretó un viaje a Tacuarembó para poder relevar la pasteurizadora construida. Todo lo descrito en esta sección es el resultado del relevamiento llevado a cabo el jueves 10 de junio del 2010 en el Hospital de de Tacuarembó, excepto los precios de los componentes.

La pasteurizadora consta de tres módulos, la estructura general, que a su vez se divide en más partes, un calefón, y un depósito con agua helada. Comenzaremos describiendo la estructura principal.

Estructura principal

La estructura principal es toda de acero inoxidable de 1mm de espesor. Si bien la forma de la estructura principal no es prismática, pero para tener una idea de su tamaño diremos que toda la estructura principal podemos contenerla en un prisma rectangular de las siguientes dimensiones: largo 95cm, ancho 40cm, altura 40cm. Esta estructura principal está dividida en cuatro sectores, recipiente para baño maría, caja de protección y comando, caja del motor de agite y el sector de válvulas hidráulicas. Además existe una carcasa de acero inoxidable que contiene al baño maría y es en la cual se unen la caja de protección y comando y la caja del motor de agite. Sus dimensiones son 53cm por 40cm y 35.5 cm de altura.

Baño maría

El recipiente para baño maría está en la parte central del aparato, sus dimensiones son: 46.5cm de largo, 34cm de ancho y 21.5cm de altura. Este recipiente tiene doble pared de acero inoxidable quedando una separación de 2cm entre la pared interna y la externa. Esta cavidad está rellena de espuma de polietileno como aislante térmico. La tapa principal, que es la que cierra el baño maría es de forma rectangular y sus dimensiones son: largo 53cm, ancho 40cm y espesor 2cm.

Además en la parte inferior en la pared que limita con la caja de protección y comando (mirada de frente sería la cara de la derecha) hay 2 tubos de acero inoxidable de 0.7cm de diámetro, donde se colocan los sensores de los termómetros digitales. En la parte superior de este mismo costado están ubicados los electrodos de nivel.

En la cara opuesta, la que da a la caja del motor de agite, se encuentra al fondo la resistencia de freidora para calentar el agua. En esta misma pared, a 3cm del borde superior se encuentra un orificio por donde pasa el eje del agitador. A 4cm del borde superior se encuentra una planchuela de 1cm de ancho, que recorre todo la cara del baño maría haciendo las veces de rompe-olas. Esta planchuela tiene una inclinación de unos 30° respecto a la vertical.

En los dos lados laterales se observan 2 cilindros de acero inoxidable de 0.7mm de diámetro que atraviesan el recipiente de lado a lado, estos cilindros sirven como guías para el carro, será por donde se deslizará el carro.

En el fondo del baño maría se encuentra la entrada y la salida de agua. La salida es simplemente un orificio al fondo, la entrada es un caño roscado, donde se enrosca un tapón con agujeros laterales, simplemente para que el agua no entre con dirección hacia los envases, esto es que el agua no salga hacia arriba.

En el interior del baño maría es donde se realiza todo el proceso de pasteurización, es donde estará el agua que será el medio físico para el intercambio de calor. Los envases con la leche a pasteurizar se colocan en un carrito que va dentro del baño maría.

El carrito

La base del carrito es una chapa perforada de acero inoxidable de 2mm de espesor y de superficie 29cm por 35cm. El carrito cuenta con paredes en los 4 costados de acero inoxidable de 2mm de espesor y 2cm de altura, y 2cm más arriba otra chapa de iguales características. En las cuatro esquinas sube, como guía del carro, una placa de acero inoxidable de 2mm de espesor, 2.5cm de ancho y 17cm de altura. En la parte superior de cada una de estas guías hay 4 roldanas de teflón, de 2.5cm de diámetro y 2cm de espesor, que serán las encargadas de darle movilidad al carro.

Caja de protección y comando

La caja de control y comando es donde se encuentran todos los componentes eléctricos con dicho fin, se encuentra a la derecha del baño maría, si se mira la pasteurizadora de frente. Sus paredes son de acero inoxidable, y sus dimensiones son 19 cm de lado, 40cm hacia atrás y 32cm de altura. Esta caja cuenta en su parte delantera con un tablero de comando, con indicadores de temperatura, llaves giratorias y luces indicadoras. También cuenta con una puerta que puede cerrarse con llave. Si se abre esta puerta se puede ver los circuitos de protección y comando. Los componentes que se encuentran en esta caja son los siguientes: tres llaves termo-magnéticas, un contactor, un PLC, un temporizador, un timbre, dos termómetros digitales, tres llaves de giro, siete lamparillas indicadoras, una toma de tierra y cables para interconectar los componentes.

Caja del motor de agite

Esta caja se encuentra a la izquierda del baño maría, mirando la máquina de frente. En la caja del motor de agite se encuentran: el motor de agite, un moto-reductor y un transformador para llevar el voltaje a un nivel adecuado. Sus dimensiones son: 18.5cm de lado, 40cm hacia atrás y 34cm de altura. Consta con una tapa superior asegurada con tornillos.

Sector de válvulas hidráulicas

Este compartimento se encuentra debajo del baño maría, sus dimensiones son: 53cm de largo, 40cm de ancho y 14cm de altura, comprende el espacio sobrante de la carcasa debajo del baño maría. Este sector cuenta con una tapa inferior que se encuentra asegurada por tornillos. Este compartimento cuenta con 3 solenoides que ofician de válvulas para la entrada de agua, además hay una bomba de desagote de agua, caños con agua a distintas temperaturas y los cables que comandan las válvulas y la bomba.

El calefón

El calefón es uno comercial de 30ltrs.

El depósito de agua fría

El depósito de agua fría es un barril de cerveza de 30ltrs. El enfriamiento se realiza con una unidad de refrigeración de un freezer. Un serpentín en el interior del barril es el encargado de enfriar el agua. Todo este equipo de frío se encuentra en el exterior y está recubierta con una caja de chapa de zinc galvanizada de dimensiones 1m de altura, 60cm de largo y 40 de ancho. En este depósito entra el agua a temperatura ambiente y sale a una temperatura de 5°C.

1.2.Funcionamiento

En este apartado se analizará el funcionamiento de la pasteurizadora. La pasteurizadora tiene dos funciones fundamentales: descongelar y pasteurizar la leche. La máquina tiene una llave giratoria que controla la energía general. Al colocarla en posición ON se encienden los termómetros y la luz que indica que el equipo tiene energía y se alimenta al PLC. Otra llave giratoria enciende y apaga el equipo. La tercera llave es la que selecciona la función.

El panel cuenta con 7 luces indicadoras. Una para indicar que hay energía, una para indicar si el equipo esta encendido, otra para indicar si está apagado. Una para indicar si está en proceso de descongelado y otra para pasteurización. Una sexta lámpara se enciende cuando está entrando o saliendo agua, esto es cuando está abierta alguna de las válvulas solenoide o está encendida la bomba de desagote. Finalmente una luz de alarma indica si hubo algún problema con la alimentación eléctrica.

Antes de describir como son las funciones conviene precisar dos cosas para no repetirlas durante las explicaciones siguientes. Primero que el agitador está siempre encendido, excepto cuando está entrando o saliendo agua de la maquina. Esto es cada vez que va a haber intercambio de agua el agitador se detiene. Y segundo, la forma que tiene el PLC de saber que el baño maría está lleno o vacío es mediante los electrodos de nivel, uno indica que se llegó al nivel superior y otro al inferior.

Descongelar

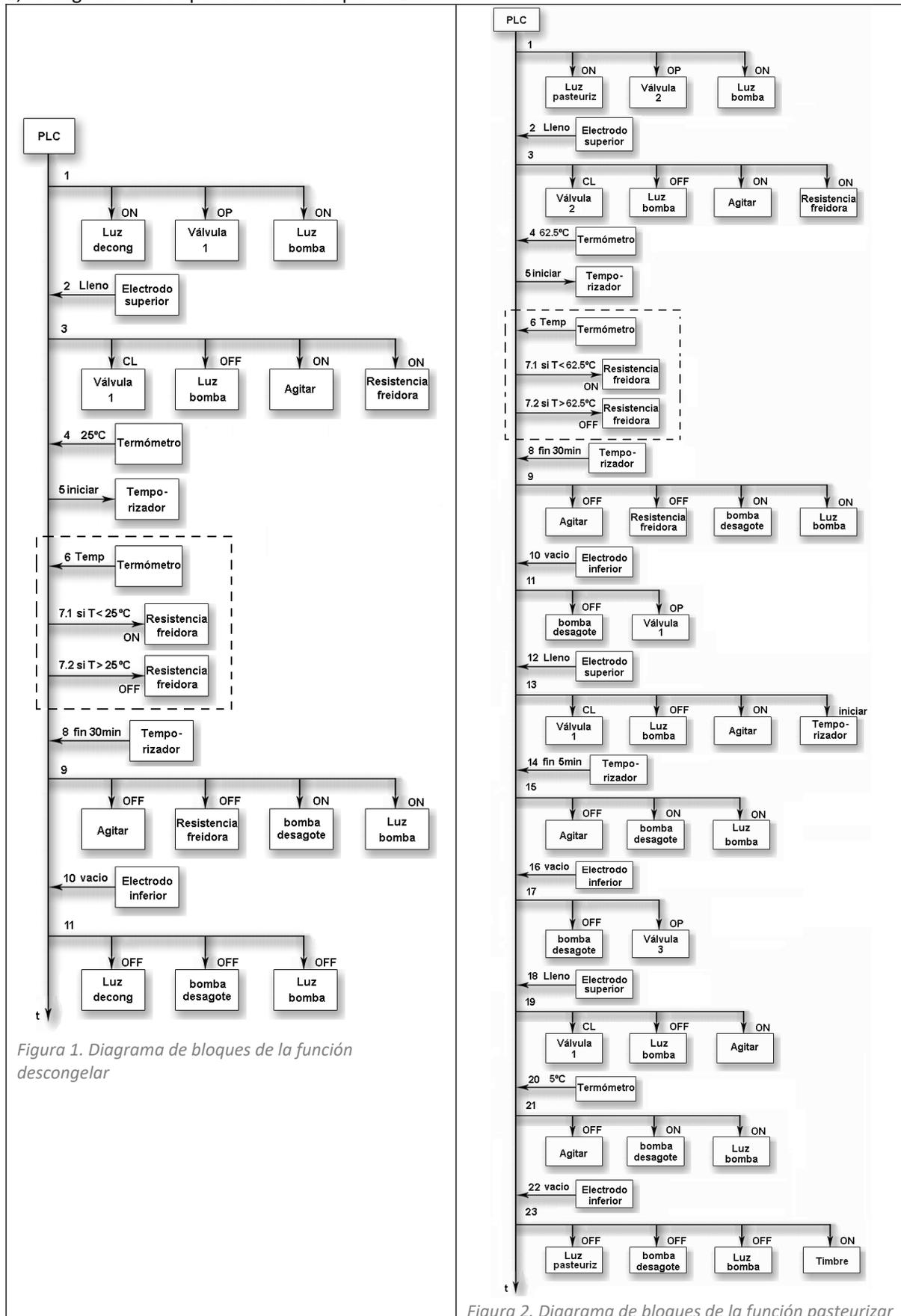
Al colocar la llave en posición “descongelar” se enciende la luz que indica que dicha función está en proceso y el PLC comienza a comandar el proceso. Se abre la válvula de ingreso de agua natural, y hasta que el agua alcanza el electrodo superior. En este momento se alimenta la resistencia de freidora, que comienza a calentar el agua. Cuando la temperatura del agua alcanza los 25°C se desconecta la resistencia. A partir de este momento el PLC, mediante la resistencia, mantendrá la temperatura en el entorno de los 25°C por 30 minutos. 30 minutos es tiempo calculado para el cual se descongelan 19 envases de la leche que ingresa a -18 °C. Pasado ese tiempo y terminando el proceso de descongelado se prende la válvula de desagote.

Pasteurizar

Se coloca la llave en posición “pasteurizar”, en ese instante se enciende la luz que indica que la pasteurización está en proceso y se le indica al PLC que se comience y comande el proceso. La primera acción será abrir la llave de ingreso de agua desde el calefón a 40°C. Cuando el nivel de agua alcance al electrodo superior se cierra la válvula. En este momento se enciende la resistencia de la freidora que calentará el agua hasta una temperatura de 62.5 °C, acto seguido se desconecta la resistencia y se le indica al temporizador que comience la cuenta regresiva de 30 minutos. El proceso de pasteurización consiste en mantener por 30 minutos la temperatura en 62.5°C y luego bajar de golpe la temperatura a 5°C. En este caso la resistencia se conectará cuando la temperatura del agua, medida por el termómetro digital, sea menor a 62°C y se desconectará cuando la temperatura del agua alcance los 63°C. Una vez que el temporizador indica que concluyeron los 30 minutos se enciende el motor de desagote. Cuando finaliza el desagote de agua se abre la válvula de ingreso de agua natural. Luego de transcurridos 5 minutos se enciende el motor de desagote. Luego se abre la válvula de agua helada a una temperatura de 2°C. Cuando el termómetro digital indica que la temperatura del agua aumenta a 5°C el proceso de pasteurización termina, nuevamente se enciende la bomba de desagote y le avisa al usuario que el proceso terminó con el encendido del timbre. En caso que el usuario no gire la llave de encendido y dé por finalizada la pasteurización, se abrirá nuevamente la válvula de agua helada para mantener la leche a una temperatura adecuada. Este proceso se repite indefinidamente hasta que se gire la llave a la posición OFF.

1.3. Diagrama de Bloques

A continuación se presenta en la figura 1, el diagrama de bloques de la función descongelar, y en la figura 2, el diagrama de bloques de la función pasteurizar.



1.4. Componentes y costos

En esta sección se presentará un listado con todos los componentes de la pasteurizadora existente en el banco de leche del hospital de Tacuarembó. En primer lugar se listarán todos los componentes eléctricos y sus precios en el mercado. Luego se estimará el costo aproximado de la construcción de la parte estructural y mecánica de la máquina. Y para finalizar se apreciará el costo de desarrollo y replicado del prototipo.

Componentes eléctricos

Componente	Modelo	Cantidad	Precio US\$
PLC (Telemecanique)	SR2 B201FU	1	430
Contactador	3SCJ8	1	45
Temporizador (Siemens)	3UG05	1	130
Llave termo-magnética (Sassin)	3SB1 63	3	45
Termómetro digital	TIC-17RGT	2	80
Llave giratoria (Telemecanique)	ZBE 101	3	30
Lamparilla		7	3
Timbre		1	30
Resistencia de freidora		1	60
Electrodos de nivel		2	30
Transformador		1	60
Motor de limpia parabrisas		1	80
Válvula solenoide		3	20
Motor de desagote		1	60
Unidad de Refrigeración		1	460
Calefón		1	250
Cables varios			50
Subtotal redondeado			US\$ 2180

Tabla 1 Componentes eléctricos y sus precios

Estructura y componentes mecánicos

Para la construcción de la carcasa, el baño maría con doble pared, la caja del motor y la caja de protección y comando, son necesarias dos placas de acero inoxidable de 1mm de espesor, 2.44m de largo y 1.22m de ancho. Estas dos placas tienen un costo aproximado de US\$650. Tras consultar a un estudiante avanzado de la carrera Tecnólogo mecánico, se llegó a la estimación de la construcción de la estructura en un taller metalúrgico de US\$250.

Para el carrito se debe hacer un cuidadoso estudio porque consta de diferentes partes y materiales. Las ruedas son de teflón, en barra de teflón de 2.5cm de diámetro y 6cm de largo tiene un costo estimado en US\$25. La chapa de acero inoxidable perforada, para la base, de 2mm de espesor y de superficie 29cm por 35cm, el precio es US\$40. Las chapas de acero inoxidable que le dan forma y resistencia al carrito son de 2mm, el área que ocupan todas no es muy grande, por lo que se puede estimar el precio de este material en US\$30. El trabajo de integrar de todos los materiales y construir el carrito se estima en US\$50.

El costo del eje del agitador y los rieles para el carrito se consideran en US\$30. El caño de entrada de agua de acero inoxidable, que dispone 3 conexiones para manguera se calcula que costará US\$40.

Para fabricar la protección para el equipo de refrigeración, es necesaria una chapa galvanizada lisa de 1m por 2m. El costo de esta chapa es de US\$50. El trabajo de realizar esta protección se estimó en US\$25. El depósito de agua helada es un barril de cerveza, una buena estimación para el costo de este es US\$150.

Para el abastecimiento de agua, se necesita 2m de manguera plástica con malla de tela de 1cm de diámetro, 3 mangueras de carga de lavarropas y una manguera de desagote. El costo de las mangueras será aproximadamente US\$30.

Sumando todos los componentes estructurales y mecánicos obtenemos un sub total de **US\$1370**.

Desarrollo y replicado del prototipo

Según datos aportados por el Dr. Gustavo Puentes el desarrollo del prototipo tardó tres semanas, mientras que el replicado se realizó en una semana. Se supondrá que se trabajó 5 días por semana y 8 horas diarias. De este modo se obtienen 150 horas para el desarrollo y 50 horas para el replicado. Se le aplicará la cifra de US\$20 por hora, por concepto de sueldos, gastos de laboratorio, soldadores, etc. Obtenemos así un valor del desarrollo de **US\$3000** y para el replicado **US\$1000**.

Considerando todo lo anterior se obtiene un valor total, para el prototipo, de **US\$7500**.

4. Mejoras

En esta sección se propondrán cambios para la pasteurizadora que mejoren en algún aspecto la máquina. Luego se analizará si el cambio es útil o no y si sería viable y ventajoso realizarlo. Los aspectos que se analizarán serán los siguientes: eléctrico, sanitario, ambiental y estructural.

Mejoras eléctricas

Desde el punto de vista eléctrico el equipo es muy simple y cumple en forma correcta todas sus funciones. Se buscaron mejoras conjuntamente con el Dr. Gustavo Puentes, pero solo se detectó una mejora. El problema es el tiempo que demora la resistencia de freidora en calentar el agua a la temperatura deseada. El Dr. Puentes ya tiene algunas ideas para solucionar este problema, la idea es simple, una resistencia más grande. Dado que no hay en plaza resistencias de mayor tamaño, se mandará a hacer una resistencia especial para la pasteurizadora. Este sería el único componente eléctrico de toda la máquina que será creada especialmente para ella.

Otra opción analizada junto con el Dr. Puentes fue la de poner 2 resistencias en paralelo. Pero si bien serviría para disminuir el tiempo de calentamiento, sería demasiado consumo encender las dos resistencias cuando se quiera mantener la temperatura en 62.5°C. Una opción sería contar con las dos resistencias para el calentamiento inicial y poder disponer solo de una cuando se quiera mantener la temperatura.

Mejoras sanitarias

Considerando la importancia del cuidado de la higiene en un equipo de uso médico y en particular esta aplicación que está destinada a niños recién nacidos, vale la pena detenerse a buscar mejoras en este aspecto. Al consultar al Dr. Puentes sobre que le mejoraría a las pasteurizadora mostró gran preocupación por los temas sanitarios. Así surgió una idea para mejorar la estructura de la máquina.

Las aristas del baño maría podría ser un lugar donde se acumule suciedades y bacterias. Hoy en día se le presta un importante cuidado al lavado de las aristas de dicho recipiente, utilizándose un cepillo para asegurar una buena limpieza. La mejora en este caso sería redondear todos los bordes del baño maría. Es un cambio estructural que quizás aumente el costo de la construcción de la estructura, pero que tiene una repercusión positiva desde el punto de vista sanitario.

Mejoras ambientales

Desde el punto de vista ambiental podría ser interesante estudiar la posibilidad de reutilizar el agua de cada pasteurización, destinado el agua, según su temperatura a una reserva de agua helada, natural o caliente. Esto provocaría una disminución en la cantidad de agua utilizada y un mejor consumo de energía eléctrica para acondicionar la temperatura del agua. Esto trae consigo un importante costo de construcción de infraestructura y un aumento considerable en la electrónica para el control de la salida de agua. Además el consumo de agua no es excesivo, aproximadamente 40 litros de agua, para pasteurizar de 7 a 9 litros de leche. Además esta implementación puede empeorar las condiciones sanitarias del equipo, por lo que la idea fue descartada.

Mejoras estructurales

La tapa de la pasteurizadora es plana y como cierre tiene un burlete. Tiene el siguiente defecto el agua que se condensa en la tapa se sale del baño maría. Para resolver este problema se plantearon 2 soluciones. La primera consiste en que la parte inferior de la tapa tenga forma de pirámide invertida para que el agua condensada vuelva al baño maría. Esta solución tiene el siguiente inconveniente, el agua condensada volvería al recipiente por el medio, por lo que caería encima de los envases que están en proceso de pasteurización. Desde el punto de vista sanitario esto no es bueno, por lo tanto la descartamos. La solución encontrada fue sugerida por el Dr. Puentes y consiste en colocar alas de retorno en cada uno de los bordes de la tapa. Inmediato al burlete con un ángulo de 60° respecto a la horizontal. Con esto el agua regresaría al recipiente por los costados del mismo.

Otra mejora posible en la estructura sería cambiar el lugar de las cuatro patas de apoyo ya que estas se encuentran ubicadas 2 en la caja de protección y comando y 2 en la caja del motor de agite. Como consecuencia el peso del baño maría lo soportan los tornillos que unen la carcasa y las cajas laterales. La

propuesta es cambiarlas y colocarlas en la carcasa. De esta manera los tornillos que unen las estructuras solo soportarán el peso de las cajas laterales.

Agradecimientos

Al Dr. Gustavo Puentes por su disposición y hospitalidad cuando se realizó la visita a Tacuarembó y por su colaboración en el relevamiento del equipo.

A las enfermeras que operan la pasteurizadora por su amabilidad y por su aporte del funcionamiento del equipo desde el punto de vista del usuario.

A Manuel Díaz, estudiante avanzado de Tecnólogo Mecánico, por el asesoramiento sobre los costos de los materiales y la construcción de las estructuras metálicas.

Referencias

1. Organización Mundial de la Salud, *Lactancia materna* <http://www.who.int/topics/breastfeeding/es/>, Junio 2010
2. Dra. Delfina Pirez y el Dr. Gustavo Puentes, *Pasteurizadora de leche materna con control pleno del proceso*, Conferencia en el Seminario de Biomédica 25 de Mayo 2010.