

Pasteurizador de leche para la elaboración de suero costeño¹

Milk pasteurizer for the elaboration of sour cream

Pasteurizador de leite para a elaboração de soro “costeiro”.

D.F. Tirado, B. Yacub, J.V. Cajal, L. Murillo, R.F. Leal, M.Y. Franco, B.M. Escobar, D. Acevedo

Recibido: enero 29 de 2016 - Aceptado: enero 13 de 2017

Resumen— El proceso de pasteurización consiste en el calentamiento de líquidos hasta una temperatura que permita la eliminación de microorganismos patógenos, y de esta forma, extender el tiempo de vida útil del producto. El prototipo pasteurizador automático de leche como primera etapa en la línea de producción de suero costeño es un aporte para pequeños productores que elaboran suero costeño a partir de leche cruda, que por normatividades establecidas en materia de salubridad e inocuidad se han visto afectados en la comercialización y venta de productos que no cumplen con las especificaciones técnicas exigidas. El objetivo de este trabajo fue el de diseñar y construir un equipo de pasteurización lenta. El prototipo

contó con motor agitador, sensores de temperatura de estado sólido (LM35), sensor de nivel de ultrasonido (SRF05), sistema de control y sistema de visualización de las respuestas emitidas por los dispositivos.

Palabras clave— Suero costeño, diseño, prototipo pasteurizador, control automático.

Abstract— The pasteurization process consists on heating liquids until a temperature that allows the elimination of pathogenic microorganisms, and in this way, extend the shelf life of the product. The automatic milk pasteurization prototype as the first stage in the production line of sour cream is a contribution for small producers who make sour cream from raw milk, which by established regulations in matters of health and safety have been affected in the commercialization and sale of products that do not comply with the required technical specifications. The objective of this work was to design and build a slow pasteurizing equipment. The prototype was equipped with an agitator motor, solid state temperature sensors (LM35), ultrasonic level sensor (SRF05), control system and system of visualization of the responses emitted by the devices.

Key words— sour cream, design, prototype pasteurizer, automatic control.

Resumo— O processo de pasteurização consiste no aquecimento de líquidos até alcançar uma temperatura que permita a eliminação de microrganismos patógenos, e assim, alargar o tempo de vida útil do produto. O protótipo pasteurizador automático do leite como primeira etapa na linha de produção de soro costeiro é uma contribuição para pequenos produtores que elaboram soro costeiro a partir do leite bruto, que por normatividades estabelecidas em matéria de sanidade e inocuidade foram afetados na comercialização e na venda de produtos que não cumprem com as especificações técnicas exigidas. O objetivo deste trabalho foi desenhar e construir um equipamento de pasteurização lenta. O protótipo contou com

¹Producto derivado del proyecto de Investigación “Diseño, construcción y modelación de un sistema de producción de suero costeño con control automático de temperatura, pH y tasa de crecimiento de microorganismos” ejecutado en la Universidad Antonio Nariño, sede Cartagena de Indias.

D.F. Tirado, Ph.D. (c) Ingeniería Química, M.Sc. Ingeniería Ambiental, Ingeniero de Alimentos. Universidad Complutense de Madrid (España). e-mail: ditirado@ucm.es.

B. Yacub, Especialista en administración. Docente Programa Ingeniería electrónica. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias (Colombia). e-mail: coordinador.electronica.cartagena@uan.edu.co.

J.V. Cajal, Especialista en educación. Docente Programa Ingeniería electrónica. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias (Colombia). e-mail: jucajal@uan.edu.co.

L. Murillo, Ph.D. (c) Ciencias técnicas. Docente Programa de Ingeniería electrónica. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena (Colombia). e-mail: luis.murillo@uan.edu.co.

R.F. Leal, Ingeniero Electrónico. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena (Colombia). e-mail:

M.Y. Franco, Ingeniero Electrónico, Universidad Antonio Nariño sede Cartagena (Colombia). e-mail: mofranco@uan.edu.co.

B.M. Escobar, Ingeniero Electrónico, Universidad Antonio Nariño sede Cartagena (Colombia). e-mail: bescobar@uan.edu.co.

D. Acevedo, Ph.D. Ingeniería de Alimentos. Docente Programa Ingeniería Electrónica. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias (Colombia). e-mail: diofanor3000@gmail.com.

um motor agitador, sensores de temperatura de estado sólido (LM35), sensor de nível de ultrassom (SRF05), sistema de controle e sistema de visualização das respostas emitidas pelos dispositivos.

Palavras chave— soro costeiro, desenho, protótipo pasteurizador, controle automático.

I. INTRODUCCIÓN

LA leche cruda, es decir, leche extraída directamente de la vaca, y los productos generados a partir de ella, pueden contener bacterias peligrosas para la salud. Estos microorganismos pueden estar presentes en la ubre de la vaca y llegar a la lecha cuando es extraída. También pueden llegar a la leche cuando algún elemento utilizado en la extracción, manejo y transporte de la leche se encuentra contaminado. Se han detectado bacterias peligrosas tales como la *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter*, *Staphylococcus aureus*, *Yersinia*, *Brucella*, *Coxiella* y *Listeria* [1, 2].

El proceso de pasteurización es el proceso utilizado para eliminar dichos microorganismos, y consiste en calentar la leche a altas temperaturas por un determinado tiempo con el fin de eliminar microorganismos patógenos para la salud humana y la inactivación de enzimas [3]. Existen diferentes métodos para pasteurizar la leche, los cuales se pueden dividir en general con base en la temperatura y el tiempo de exposición al cual es sometida la leche cruda [3]. Los procesos de pasteurización comunes son la pasteurización lenta o baja, pasteurización relámpago o pasteurización flash (HTST) y UHT (ultrapasteurización). En la pasteurización baja, la leche es depositada en tanques para derivados lácteos y se calienta a una temperatura de entre 62 °C y 65 °C durante 30 min. En la pasteurización HTST, la leche pasa por un intercambiador de calor donde se calienta entre 71 °C y 74 °C durante 15 s. Finalmente, en la pasteurización UHT, la leche se calienta entre 135 °C y 150 °C durante 6 s [3, 4]. Es importante resaltar que, si las condiciones de tiempo y temperatura no se cumplen, algunos microorganismos patógenos pueden sobrevivir. Por otro lado, el calentamiento excesivo de la leche puede disminuir o destruir las propiedades nutritivas presentes en ella [5].

Controlar automáticamente un proceso como el de la pasteurización permite una mejor optimización de la producción. Sin embargo, muchos de estos procesos se ven afectados debido a diferentes parámetros, los cuales representan un reto para controlar [6]. La automatización de un sistema de pasteurización juega un importante papel en el mejoramiento de la productividad en las operaciones de procesamiento de alimentos y es un tema muy activo en el campo de ingeniería. Es posible encontrar trabajos que emplean técnicas como el control predictivo, redes neuronales [7], lógica difusa y combinaciones de estas técnicas para la implementación de un sistema de control óptimo para la pasteurización [8, 9, 10, 11], [12, 13, 14].

El suero costero es un producto lácteo elaborado de manera artesanal, producido mediante la fermentación natural de la leche cruda [15], la cual, podría constituir un alto riesgo para la transmisión de enfermedades asociadas

a su calidad inicial y manipulación. Teniendo en cuenta lo anterior, el Gobierno Nacional expidió el Decreto 616 de 2006 [16] en el cual se prohíbe la comercialización de la leche cruda para el consumo humano. Sin embargo, esto afectó directamente a los pequeños productores de suero costero artesanal, pues implicó una inversión económica en infraestructura para la adecuación del proceso artesanal conforme a las especificaciones dadas por el gobierno. Además de lo anterior, los equipos necesarios pueden ser costosos para ser adquiridos por estos pequeños empresarios y no podrían cumplir con las necesidades de producción necesarias para ellos. Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se documenta el diseño y construcción de un prototipo pasteurizador automático de leche para la elaboración de suero costero, el cual requiere el control preciso de la variable de temperatura y tiempo ya que estas determinan la efectividad de la pasteurización. La ventaja de automatizar este tipo de procesos, radica en la posibilidad de procesar los datos obtenidos a través de sensores y así tomar las acciones adecuadas para controlar el proceso.

II. METODOLOGÍA

A.1. Diseño del equipo

Se realizó un levantamiento del proceso o secuencia de trabajo del prototipo, se calculó la resistencia necesaria para el calentamiento, se elaboró el respectivo diseño del tanque pasteurizador cumpliendo con la legislación vigente para los productos lácteos, se realizó el diseño de la estructura de montaje y sistema de refrigeración. De igual forma, se seleccionaron los circuitos acondicionadores de señal y de control del sistema pasteurizador. Se procedió a la selección de los componentes y dispositivos requeridos para el diseño y adicionalmente se construyó el programa de captura de datos y visualización de las variables a controlar como lo son la temperatura y nivel.

A.2. Montaje del equipo

Se construyeron los tanques de pasteurización y enfriamiento del agua, el sistema de refrigeración y la estructura. Luego se ensamblaron adecuando los sistemas de control, potencia, resistencia y eléctrico. Por último, se probaron los diferentes sistemas acoplados.

A.3. Pruebas de funcionamiento

En esta etapa se procedió a establecer pruebas de funcionamiento. Primero se confirmó que la estructura resistiera el peso de los tanques llenos de leche y el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración, se encendió la resistencia de calentamiento y los sistemas de bombeo. Una vez estuvo montado el sistema de control, se realizó una pasteurización con agua. Cuando se obtuvo un resultado aproximado al esperado, se realizaron cinco pruebas con leche cruda.

A.4. Diseño del tanque de pasteurización

Se seleccionó una capacidad de 30 L para operar. Luego se calcularon las dimensiones del tanque teniendo en cuenta las proporciones geométricas del agitador [17, 18, 19].

A.5. Cálculo de la resistencia de calentamiento

Para el cálculo de la cantidad de calor y potencia necesaria se aplicó la metodología propuesta por Barbosa [20]. Se tuvo en cuenta el volumen de leche a calentar, la cantidad de agua depositada en la chaqueta y el tiempo de pasteurización utilizando la Ecuación (1), en donde Q es la carga térmica o flujo de calor; m es la masa; C_p es el calor específico del fluido; ΔT es el cambio de temperatura. Una vez calculado el calor necesario, se estimaron unas pérdidas de calor del 10 %, por ende, se incrementó el calor de la resistencia a este valor adicional para solventar esta pérdida. Por otro lado, se calculó la potencia utilizando la Ecuación (2) donde P es la potencia en Vatios (W) y t es el tiempo en segundos (s).

$$Q = m \times c_p \times \Delta T \quad (1)$$

$$P = Q/t \quad (2)$$

A.6. Cálculo de la potencia del motor agitador

La potencia del motor agitador se calculó teniendo en cuenta la metodología propuesta por McCabe [19], Geankoplis [17] y Barbosa [20] según la Ecuación (3), donde P es la potencia en Vatios (W); N la velocidad del agitador en RPM; ρ la densidad del fluido; D_a el diámetro del rodete y N_{po} el número de potencia. El número de potencia (N_{po}) para un tanque sin placas deflectoras, se calculó utilizando la Ecuación (4), siendo ϕ la función de potencia representada por el valor leído en ordenadas de la curva de potencia correspondiente para un valor determinado del número de Reynolds (Re) y el número de Froude (Fr) representados en las Ecuaciones (6) y (7) respectivamente. En la Ecuación (5) a y b son constantes que dependen del tipo de agitador y curva.

$$P = N^3 \times \rho \times D_a^5 \times N_{po} \quad (3)$$

$$N = \phi(Fr)^y \quad (4)$$

$$y = (a - \log Re)/b \quad (5)$$

$$Re = (D_a^2 \times N \times \rho) / \mu \quad (6)$$

$$Fr = (N^2 \times D_a) / g \quad (7)$$

Por otro lado, la potencia para vencer la inercia se calculó teniendo en cuenta el torque necesario para elevar la velocidad angular Ecuación (8), donde T es el torque expresado en J y ω es la velocidad angular en rad/s.

$$P = T \times \omega \quad (8)$$

A.7. Diseño de la estructura de montaje

Se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: se calcularon los pesos máximos a ser soportados por la estructura teniendo en cuenta el volumen de la leche, el peso del agua, peso del tanque pasteurizador, peso del sistema de refrigeración, el peso del compresor y el peso de la estructura.

A.8. Sistema de refrigeración

Se determinaron las entalpías de condensación y evaporación. La temperatura de evaporación estuvo dada por la temperatura ambiente donde se instaló el sistema de refrigeración, que para este caso fue de 35 °C. El factor que se tuvo en cuenta para la selección de la temperatura de condensación fue la humedad relativa a la que se encontró el medio a enfriar utilizando la carta psicrométrica. La operación del sistema se determinó observando los diagramas y propiedades del refrigerante 134a analizados en el software Solkane 8.0. El aumento de entalpía del refrigerante en el evaporador se conoce como efecto del refrigerante (ER) y se calculó empleando la Ecuación (9), donde h_c es la entalpía del refrigerante a la salida del evaporador, evaluado como vapor saturado a la presión de baja y h_b es la entalpía del refrigerante a la entrada del evaporador evaluado a la presión de baja, la cual es también la entalpía del punto de líquido saturado a la salida del condensador.

La capacidad de refrigeración del sistema indica la cantidad de calor que este es capaz de extraer del foco frío en una unidad de tiempo, calculándose mediante la Ecuación (10), donde m es el flujo másico que circula a través de un sistema con el fin de producir una capacidad dada de refrigeración en kg/min.

$$ER = h_c - h_b \quad (BTU/lb) \quad (9)$$

$$Q_c = m \times ER \quad (10)$$

La cantidad de calor removido (CR) por libra de refrigerante en el condensador se calculó con la Ecuación (11), donde h_D y h_A son las entalpías del vapor sobrecalentado y la entalpía que se encuentra en la línea de líquido saturado respectivamente. La cantidad total de calor de rechazo (Q_C) del condensador se obtiene mediante la Ecuación (12).

$$CR = h_D - h_A \quad (kJ/kg) \quad (11)$$

$$Q_C = m \times (h_D - h_A) = m \times CR \quad (12)$$

A.9. Cálculo de la potencia teórica del compresor

El cálculo de la potencia teórica del compresor se realizó con ayuda de la Ecuación (13), donde W es el trabajo que realiza el compresor que es igual al calor de compresión, y m es el flujo másico.

$$P = W \times m \quad (BTU/min) \quad (13)$$

A.10. Diseño de la instrumentación

Los instrumentos que permitieron automatizar el proceso de pasteurización de la leche en el prototipo diseñado fueron un microcontrolador PIC16F877A; sensor ultrasónico de distancia SFR05; sensor de temperatura LM35 y componentes electrónicos (resistencias, capacitores, transistores, relé de estados sólidos y triacs). Se seleccionaron los dispositivos y medición de las variables de temperatura, nivel ultrasónico, microcontrolador PIC16F877A, teniendo en cuenta el rango, la exactitud, estabilidad, sensibilidad y costo. Para la selección del Display QY-2004a se tuvo en cuenta la

cantidad de las columnas y las filas apropiadas. Para el diseño de nivel SRF05 al microcontrolador PIC16F877A, se estableció la configuración de los pines del sensor. El PIC16F877A se programó para ejecutar las acciones que permitieron el control del proceso, la programación se hizo en el lenguaje CCS usando el software PIC C COMPILER, y para grabar el programa en el microcontrolador se usó el PICKIT 2. El oscilador utilizado para el funcionamiento del microcontrolador fue de 4MHz.

Las acciones que ejecutó el microcontrolador fueron las siguientes: verificar si la cantidad de agua en la chaqueta del tanque fue suficiente para realizar el proceso de acuerdo al volumen que se había establecido, verificar si fue suficiente el volumen de la leche en el tanque, calentar el agua a una temperatura específica para que a su vez caliente la leche, censar la temperatura del tanque de la leche y el refrigerador, controlar la temperatura en un determinado tiempo ya que la leche no puede exceder de 63 °C, encender el motor agitador de la leche, controlar 30 min de agitación y calentamiento. Después de pasar los 30 min, se activa la válvula solenoide de salida del agua caliente para no mezclarla con el agua fría del refrigerador. Una vez el sensor de nivel de la chaqueta está en nivel bajo, se recircula agua fría del refrigerador hasta obtener una temperatura ambiente al fluido.

A.11. Pruebas microbiológicas y fisicoquímicas realizadas a la leche pasteurizada en el prototipo

De acuerdo con el Decreto 616 de 2006 [16] se realizaron pruebas de recuento de microorganismos mesófilos, recuento de coliformes y recuento de coliformes fecales [21].

A.12. Características fisicoquímicas de la leche pasteurizada:

Los ensayos fisicoquímicos realizados fueron: pH mediante método potenciométrico según A.O.A.C. [22], acidez por titulación según A.O.A.C. [22], fosfátasa mediante método fluorimétrico NTC [23], sólidos totales y densidad NTC [24].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A.13. Ensayo de agitación

Se tomó 1L de leche pasteurizada y se le aplicó un ensayo de agitación de la siguiente manera: se vertió la leche en una licuadora y se encendió para simular el proceso de agitación a baja velocidad durante 2 min, observándose un aumento del volumen de la leche. Luego de la prueba se obtuvieron los siguientes resultados: volumen inicial: 1 L; volumen por agitación: 1,5 L; incremento de volumen: 50 %.

A.14. Diseño del tanque agitador

Para determinar el volumen total del tanque se tuvo en cuenta la siguiente información: volumen de leche a procesar: 30 L; volumen requerido por agitación: 50 % (15 L); factor o volumen de seguridad: 15 % (4,5 L) y volumen por diseño: 49,5 L. Los cálculos del diseño del tanque agitador fueron realizados de acuerdo a lo planteado por Acevedo et al. [25]

De acuerdo con las características y propiedades de la leche se construyó un tanque en acero inoxidable AISI

304 con fondo cónico a 35°. Este tanque con este tipo de cono y ángulo de inclinación garantiza la descarga de la leche. Con esta información se calcularon las dimensiones del tanque las cuales fueron: Diámetro del tanque igual a la altura (398 mm); diámetro del rodete (Da) de 0,132 m (132,6 mm). La tapa del tanque poseía el motor agitador, un termoposo para el sensor de temperatura LM35 y el sensor de nivel ultrasónico SFR005, el cual tenía como función dar el volumen de la leche. Dichos sensores estaban conectados a la etapa de control. Se seleccionó el agitador tipo turbina de hoja plana, donde el diámetro del agitador fue del 30% al 50 % del diámetro del tanque.

A.15. Resistencia de calentamiento

La resistencia de calentamiento (Q) y potencia (P) calculada fueron de 4219,25 kJ y P de 2,34 kW.

A.16. Potencia del motor agitador

La potencia para agitación de la leche se determinó teniendo en cuenta la densidad (1,029 g/mL), viscosidad de la leche (2,03 cP), la velocidad de rotación máxima que fue de 1500 rpm y la longitud del rodete. Estos datos fueron utilizados para relacionar ϕ que representa el valor leído en ordenadas de la curva de potencia [16, 18, 25]. Se obtuvo finalmente un valor Re de 37839,56; N_{po} de 0,2 y P de 8,34 hp.

A.17. Sistema de refrigeración

Se calculó la potencia de acuerdo a las propiedades del refrigerante 134a contenidos: ER de 65,56 BTU/lb; Q_c de 89,13 BTU/min; CC de 18,5 kJ/kg; CR de 73,52 BTU/lb; Q_c de 99,95 BTU/min y P de 0,25 hp/min.

Luego que la resistencia calentó el agua de la chaqueta del pasteurizador y la leche alcanzó los 63 °C de temperatura durante 30 min, se eliminó el agua y se alimentó la chaqueta con agua fría a 12 °C proveniente de un recipiente con 37 L de agua, que disminuyó la temperatura de la leche a 35 °C.

A.18. Diseño de la instrumentación

En el proceso de pasteurización de la leche, y a su vez, en la etapa de calentamiento, se empezó a sensar en el momento en que se encendió la resistencia de inmersión que está situada en la parte inferior del tanque. Una vez que la temperatura alcanzó el rango de (61 °C a 64 °C), esta se mantuvo estable. Esta tarea la realizó el microcontrolador, utilizando las señales que son emitidas por el sensor LM35. Para sensar la temperatura tanto de la leche como del sistema de refrigeración se hizo mediante un circuito que está formado por un amplificador cuya ganancia es de 2.44 y el voltaje de entrada de 1 V, ya que el rango máximo de temperatura que se operaría era de 100 °C y se asumió que la resistencia R_2 con un valor comercial en este caso de 22 k Ω .

A.19. Fase del sistema de refrigeración

Se leyó la temperatura para observar el proceso de enfriamiento. Para la integración del sensor al dispositivo se diseñó un circuito que permitió adaptarlo al microcontrolador, para este bosquejo se optó en primera instancia un esquema

de un circuito. En el diseño se incluyó una resistencia (R) de 8Ω y un capacitor de $1 \mu_f/16 V$. Se utilizó un circuito amplificado e inversor y un amplificador con ganancia $A = 1$, con retroalimentación negativa para acople de impedancia. El amplificador inverso cuenta con una ganancia $A = 2,44$ y el voltaje de entrada se tomó de $1 V$, ya que el rango máximo de temperatura que se iba a operar fue de $100 \text{ }^\circ\text{C}$, por otro lado, la resistencia R_2 se asumió con un valor comercial de $22 K$ según la Ecuación (14), donde A es la ganancia; V_0 es el voltaje de salida, V_i voltaje de entrada y R_1 es la resistencia.

$$A = V_0 / V_i \quad (14)$$

$$V_0 = V_i [1 + 22K/R_1] \quad (15)$$

$$R_1 = 15,27k \quad (16)$$

A.20. Montaje del sensor de temperatura

Se basó en la hoja técnica del mismo y la distribución de sus pines, apoyado en los parámetros del sensor se diseñó un circuito, que va impreso en una tarjeta junto con su etapa de amplificación. El pin que se utilizó para la lectura del microcontrolador fue RA1 (etapa de calentamiento de la leche) y RA2 (etapa de refrigeración).

A.21. Circuito etapa de potencia

En esta etapa se encuentran todos los dispositivos que hacen que los actuadores como las bombas, resistencia eléctrica, válvulas y motor cumplan su función en el proceso

A.22. Circuito etapa de control

En la etapa de control se muestra el microcontrolador que es el encargado de dar órdenes a los dispositivos para que el proceso se cumpla. Para este diseño, se tuvo en cuenta la configuración por software realizada a los mismos y los puertos dispuestos en el PIC16f877A para conectar cada dispositivo.

A.23. Teclado matricial 4x4

Está conectado al microcontrolador para el ingreso del set point de la variable de temperatura y la temporización del proceso de pasteurización. La conexión respectiva del teclado matricial al PIC16F877A se hizo en el puerto B para utilizar las resistencias “pull-up”.

A.24. Funcionamiento de etapa de potencia del sistema

Aquí se encuentran todos los circuitos swiche que se utilizan para la excitación de las válvulas, solenoides, bombas, resistencias de calentamiento y motor. Para aislar eléctricamente los circuitos electrónicos de la parte de potencia se emplearon circuitos opto-acopladores a saber: el IC-MOC-3010 (opto-fototransistores) y MOC 3041 (opto-fototriac).

A.25. Características microbiológicas y fisicoquímicas de la leche pasteurizada

Las características fisicoquímicas y microbiológicas de la leche después de la pasteurización dieron los siguientes

resultados: acidez: $0,14 \% \pm 0,02 \%$; pH: $6,7 \pm 0,04$; fosfatasa: negativa; sólidos totales: $11,30 \% \pm 0,7 \%$; densidad: $1,03 \text{ g/mL} \pm 0,03 \text{ g/mL}$; recuento de microorganismos mesófilos: 100 UFC/mL ; recuento de coliformes totales: 0 UFC/mL y recuento de coliformes fecales 0 UFC/mL . Se observó que la leche que se pasteurizó en el prototipo construido cumplió con las características de calidad exigidas por el Decreto 616 de 2006 [16] y la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4979 [24].

Finalmente, la experiencia práctica realizada utilizando el dispositivo automático tuvo buena aceptación por parte de los alumnos en el laboratorio, puesto que la manipulación resultó fácil de ejecutar por parte de los usuarios y con resultados de procesamiento satisfactorios.

IV. CONCLUSIONES

El pasteurizador está fabricado con materiales que garantizan un alto grado de inocuidad. Su estructura es cilíndrica, con acabado sanitario y así la limpieza puede realizarse de manera manual o automática. El sistema de control de temperatura y tiempo fue eficaz para garantizar que la leche pasteurizada cumpliera con las normas sanitarias. Además, se evidenció que ésta cumplió con las normas de calidad exigidas por las autoridades competentes. Este equipo puede ser, también, un punto de partida para realizar diferentes investigaciones en la pasteurización de otro tipo de bebidas.

REFERENCIAS

- [1] D. Acevedo, C. Granados y R. Torres, “Caracterización Reológica del Suero Costeño de Turbaco, Arjona, El Carmen de Bolívar y uno Comercial (Colombia),” *Información Tecnológica*, vol. 25, no. 3, pp. 3-10, Ene. 2014.
- [2] D. Acevedo, L. E. Guzmán y A. Rodríguez, “Cultivo iniciador para la producción del suero costeño,” *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 10, no. 1, pp. 16-20, Ene. 2012.
- [3] D. Acevedo, A. Rodríguez y A. Fernández, “Efecto de las variables de proceso sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis del Suero Costeño colombiano,” *Información Tecnológica*, vol. 21, no. 2, pp. 29-36, Ene. 2010.
- [4] D. Acevedo, A. Rodríguez y A. Fernández, “Efectos simultáneos de las variables de proceso sobre las propiedades de flujo del Suero Costeño,” *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 11, pp. 112-117, 2013.
- [5] L. Chams, K. Cury y Y. Aguas, “Evaluación microbiológica de suero costeño y valoración higiénica en puntos de venta en Montería, Córdoba,” *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, vol. 4, no. 2, pp. 344-352, Nov. 2012.
- [6] B. Yacub, J. Cajal, D. Acevedo, L. Murillo, R. Leal, y D. F. Tirado, “Diseño de un prototipo fermentador de leche semiautomático para la elaboración de suero costeño,” *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 1, pp. 95-102, Ene. 2016.
- [7] W. Peng, J. Zhong, J. Yang, Y. Ren, T. Xu, S. Xiao y H. Tan, “The artificial neural network approach based on uniform design to optimize the fed-batch fermentation condition: application to the production of iturin A,” *Microb Cell Fact*, vol. 13, no. 54, pp. 2-10, Abr. 2014.
- [8] K. Mohamed, “Aspects of artificial neural networks as a modelling tool for industrial processes,” *Int. Arab J. Inf. Technol*, vol. 2, no. 4, pp. 334-339, Oct. 2005.
- [9] M. T. Khadir, y J. V. Ringwood, “Linear and nonlinear model predictive control design for a milk pasteurization plant,” *Control and intelligent systems*, vol. 31, no. 1, pp. 37-44, Feb. 2003.
- [10] S.S. Admuthé y R.H. Chile, “Comparative Study of Temperature

- Control in a Heat Exchanger Process”, *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 7, no. 9, p.p. 1019-1027, Ene. 2012.
- [11] S. Niamsuwan, P. Kittisupakorn y I. M. Mujtaba, “Predictive Control Strategy for Temperature Control for Milk Pasteurization Process”. In *23rd European Symposium on Computer Aided Process Engineering*, vol. 32, p. 109, Jun. 2013.
- [12] M. T. Khadir y J. V. Ringwood, “First principles modelling of a pasteurisation plant for model predictive control,” *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, vol. 9, no. 3, pp. 281-301, Jun. 2003.
- [13] S. Niamsuwan, P. Kittisupakorn y M. M. Mujtaba, “Model Predictive Control Approach to Improve the Control Performance in Pasteurizing Milk Process,” *Proceedings of 21th Thailand Chemical Engineering and Applied Chemistry (TIChE) International Conference*. Songkla, Thailand, 2011.
- [14] A. Negiz, P. Ramanauskas, A. Çinar, J. E. Schlessler y D. J. Armstrong, “Modeling, monitoring and control strategies for high temperature short time pasteurization systems—3. Statistical monitoring of product lethality and process sensor reliability,” *Food Control*, vol. 9, no. 1, pp. 29-47, Feb. 1998.
- [15] M. D. Kapadi y R. D. Gudi, “Optimal control of fed-batch fermentation involving multiple feeds using differential evolution,” *Process Biochemistry*, vol. 39, no. 11, pp. 1709-1721, Jul. 2004.
- [16] Ministerio de protección social de Colombia. Decreto No. 616. (2006). Reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercializa, expendi, importe o exporte en el país. 32p.
- [17] C. J. Gankoplis. (1998). *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. México. Compañía editorial continental, S.A.-de C.V, pp 163-165.
- [18] N. Chopey, and T. Hicks. (1886). *Manual de cálculos de Ingeniería Química*. México. Mc Graw-Hill, pp. 633-640.
- [19] W. L. McCabe. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. España, 4ª edición, McGraw-Hill, pp. 821-863.
- [20] J. E. Barbosa, D. C. Villada, y S. A. Mosquera, “Diseño y construcción de un equipo osmódeshidratado para el desarrollo de nuevos productos agroalimentarios,” *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 11, no. 1, pp. 37-46, Ene. 2013.
- [21] NTC 4458. (2007). Método para el recuento de coliformes y *Escherichia coli*.
- [22] AOAC, *Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists*. (1990). 15th. Pub. by the A.O.A.C. Washington D.C.
- [23] NTC 5026. (2001). Leche y productos lácteos. Determinación de la actividad de la fosfatasa alcalina usando un método fluorimétrico.
- [24] NTC 4979 - Leche y productos lácteos. determinación del contenido de sólidos totales en leche, crema de leche, leche evaporada, leche condensada azucarada, arequipe, dulce de leche, helados y queso. 2001.
- [25] D. Acevedo, J. Torres, D. F. Tirado Armesto, K. González-Morelo, J. Ramírez-Navas, E. Castillo, M. Torrenegra, C. Granados, G. Urbina, “Productos lácteos autóctonos del caribe colombiano, Colombia. Casa Editorial S.A., pp. 134. ISBN: 978-958-46-7187-5

Diego Felipe Tirado Armesto es Ingeniero de Alimentos y M.Sc. en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cartagena-Colombia. Es candidato a Ph.D. de la Universidad Complutense de Madrid-España. Correo electrónico: ditirado@ucm.es.

Bashir Yacub Bermudez es Especialista en administración. Docente Programa Ingeniería electrónica. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias.

Juan Vicente Cajal Barrios es Especialista en educación. Docente Programa Ingeniería electrónica. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias.

Luis Murillo Fernández es M.Sc. Docente Programa de Ingeniería electrónica. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias.

Rony Federman Leal Betancour es Ingeniero Electrónico. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias.

Mónica Yulieth Franco Plata es Ingeniero Electrónico. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias.

Brahin Miguel Escobar Ismael es Ingeniero Electrónico. Universidad Antonio Nariño sede Cartagena de Indias.

Diofanor Acevedo Correa es Químico Farmacéutico e Ingeniero de Alimentos de la Universidad de Cartagena-Colombia. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimento de la Universidad Nacional (Colombia). Ph.D. en Ingeniería de Alimentos de la Universidad del Valle-Colombia. Actualmente es Docente de planta de la Universidad Antonio Nariño, Correo electrónico: diofanor3000@gmail.com.