

SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE CUAJADA PARA LA ELABORACIÓN DE QUESO ARTESANAL

MECHATRONIC SYSTEM FOR THE PRODUCTION OF CURD FOR THE PREPARATION OF HANDMADE CHEESE

ALMENDRAS GONZALES, R. S., TORO GARCIA, J. M.

RESUMEN

Se estima que Santa Cruz tiene una producción diaria de 1200000 litros de leche. En la actualidad existe una gran cantidad de PYMES que se dedican a la producción de queso. En su mayoría estas tienden a producir el queso de manera artesanal. Una de las mayores dificultades que se tiene en el momento de producir queso son el de controlar los parámetros que intervienen en las 5 etapas: Recepción de la materia prima, pasteurización, coagulación, corte de la cuajada, desuerado, tales como el control de temperatura, tiempo, adición de reactivo coagulante, como también reducir el contacto físico y ambiental de la materia prima, todos estos parámetros inciden en el rendimiento como en la inocuidad del producto. El diseño de un sistema mecatrónico dimensionando la estructura para el suministro de materia prima, la capacidad y el tamaño del sistema termo-mecánico de la marmita, la estructura de la mesa desueradora para la producción de la cuajada, la estructura del depósito del suero lácteo, los sensores, actuadores, unidades de control y monitoreo para aumentar la producción de cuajada en la elaboración de queso en 14 %, cumpliendo a cabalidad con todos los parámetros regidos, sin alterar el salado y moldeado artesanal.

PALABRAS CLAVE

Pasteurizado, Sistema mecatrónico, Queso criollo, Cuajada, Control y monitoreo.

ABSTRACT

Santa Cruz is estimated to have a daily production of 1,200,000 liters of milk. Currently there are a large number of SMEs that are dedicated to the production of cheese. Most of them tend to produce the cheese in an artisanal way. One of the greatest difficulties encountered when producing cheese is to control the parameters that intervene in the 5 stages: Reception of the raw material, pasteurization, coagulation, cutting the curd, draining, such as temperature control, time, addition of coagulant reactive, as well as reducing the physical and environmental contact of the raw material, all these parameters affect the performance as well as the safety of the product. The design of a mechatronic system sizing the structure for the supply of raw material, the capacity and size of the thermo-mechanical system of the kettle, the structure of the dewatering table for the production of the curd, the structure of the dairy serum, the sensors, actuators, control and monitoring units to increase the curd production in cheese making by 14%, fully complying with all the regulated parameters, without altering the salting and artisanal molding.

KEYWORDS

Pasteurized, Mechatronic system, Creole cheese, Curd, Control and monitoring.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la producción de cuajada en la propiedad se divide en 5 etapas: Recepción de la materia prima, pasteurización, coagulación, corte de la cuajada, desuerado.

La leche que se extrae de las ordeñadoras es filtrada por embudos que llegan hacia los recipientes de acero inoxidable con capacidad de 100 litros. La producción diaria promedio de leche es de 770 litros, mientras el promedio mensual alcanza 23100 litros y anualmente se tiene un promedio de 277200 litros. A partir de esta materia prima se elaboran 89 kg de queso promedio diariamente que equivalen a 2670 kg mensuales y 32040 kg anuales.

La leche se calienta en el mismo recipiente de producción hasta una temperatura de 60 a 65 °C o más conocido como pasteurización VAT, una vez llegada a esta temperatura proceden a que la leche pasteurizada se enfríe durante 30 minutos hasta llegar a la temperatura de 34 a 38 °C.

Se utiliza el cuajo comercial (Cuajo Hansen), la cantidad a emplearse se determina según las indicaciones del fabricante. Generalmente se añade el 0,015 %, es decir 1,5 gr en 75 litros de leche, una vez descendida la temperatura entre 34 a 38 °C, se activa la enzima del cuajo y se deja actuar durante 45 minutos.

Transcurrido el tiempo de reposo se observa que la cuajada se ha precipitado y está lista para ser cortada, se introduce la lira y empieza el proceso de cortado que tiene un tiempo de duración entre 20 a 25 minutos.

Realizado el corte se deja reposar durante 5 minutos, posteriormente a ese tiempo el suero lácteo sale a la superficie del recipiente y proceden a extraer la cuajada de manera manual en un tiempo estimado de 25 a 30 minutos.

En síntesis, el proceso realizado con 5 etapas se concluye con la producción de la cuajada en 180 minutos y la obtención del producto final el queso criollo.

Parámetros y variables para Aplicar en la Producción de la Cuajada Analizado los parámetros y variables que maneja la propiedad, se decidió aprovechar algunas de estas y alguno fueron remplazadas en medida de aumentar su productividad.

En la recepción de la leche se observa el ingreso de leche cruda al recipiente de la marmita, con la finalidad de controlar que el pH este entre los valores de 6,4 a 6,9, cumpliendo con las normas de calidad de leche NB 33009:2003. (IBNORCA, 2015)

Tabla 1. Características Físicoquímica de la leche cruda según IBNORCA

Densidad a 20 °C, g/cm ³	1,028 a 1,034
Acidez titulable (ácido láctico), %	0,15 a 0,18
pH	6,6 a 6,8
Proteínas mínimo, %	3,00
Materia grasa mínimo, %	2,60
Lactosa, %	4,50
Cenizas, %	0,70
Sólidos totales, %	10,80

(IBNORCA, 2015)

DESARROLLO

Se estableció implementar el método de pasteurización HTST por ser óptimo para pasteurizando la leche cruda a una temperatura de 72 °C en 15 segundos. (SENASAG, 2011).

La coagulación se producirá por el reactivo o cuajo en polvo, respetando las medidas que sugiere el fabricante de 1,5 gramos

de reactivo por 75 litros de leche, a una temperatura controlada de 34 °C y en el lapso de 45 minutos.

Concluida su coagulación se comienza al corte de la leche precipitada a una temperatura de 34 °C, en un tiempo de corte 15 minutos. El tamaño de los granos de cuajada tendrá un promedio de 10 mm, por el dimensionamiento de las liras de corte.

Transcurrido el tiempo de corte se procedió al vaciado de la cuajada en la mesa desueradora, comprobando que su pH se encuentre entre los valores de 5,3 a 5,5. (Dergal, 2006).

Por último, se deja reposando en la mesa desueradora 5 minutos, eliminando el exceso de suero lácteo para su posterior salado, moldeado y prensado artesanal, respetando las exigencias de calidad de la producción actual. Por tanto, se dispuso de manejar el tiempo, la adición del cuajo (reactivo), el pH y la temperatura como parámetros y variables para el proceso de producción de la cuajada.

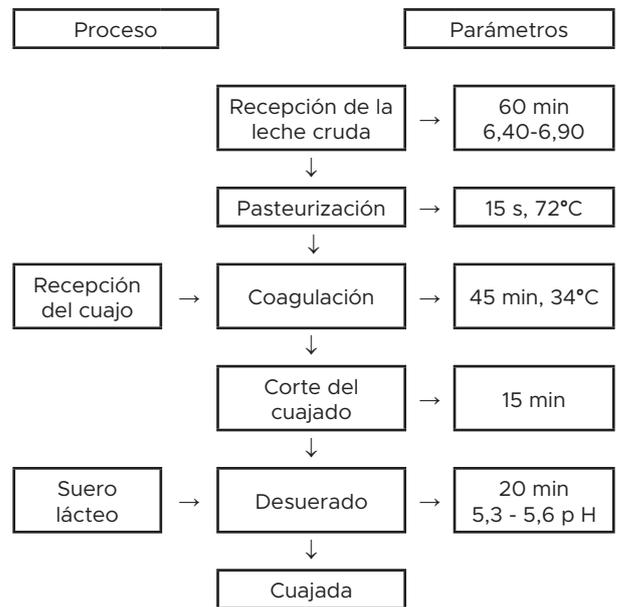


Figura 1. Diagrama de bloques propuesto para el proceso de producción de cuajada.

Con los parámetros y variables aplicados, este proceso propuesto tiene una duración total de 155 minutos.

Diseño del Sistema Termo-Mecánico para la producción de la cuajada

El sistema Termo-Mecánico diseñado garantizar que todas sus partes físicas cumplan con las funciones que exige la obtención de la cuajada, y también que no interfieran con el correcto funcionamiento de sus componentes adyacentes.

Para el diseño del sistema completo, se determinó en usar acero inoxidable AISI 304 que es el más versátil y uno de los aceros inoxidables más usados de la serie 300, gracias a sus excelentes propiedades para el conformado y el soldado, tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. La resistencia a la corrosión es excelente. Tiene una elevada resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C.

La marmita se conforma básicamente por una camisa que rodea a un recipiente interno que contiene el material a calentarse, esta camisa externa que concentra el agua procede a transferir el calor a la camisa interna. Este mismo calor es transmitido por resistencias eléctricas de inmersión, contando con una entrada y un desfogue para la circulación de agua en la camisa de calentamiento. La marmita se fabricará en acero inoxidable AISI 304, la cual será de forma cilíndrica.

El Dimensionamiento de la camisa interna se adecuo volumen de

leche máximo por jornada laborar con un máximo de 475,5 litros o 0,475 m³. Para garantizar que se mezcle la leche con el cuajo y se corte la cuajada apropiadamente, el volumen que ocupará el nivel del líquido se debe sobredimensionar en un 10 % del total. Es decir 0,523 m³. Se dio al radio un valor de 0,450 m, dando un área de 0,636 m² y una altura para el cilindro de 0,822 m, de acuerdo con el diámetro se seleccionó el espesor de 3 mm como espeso mínimo.

Para verificar la correcta selección del espesor se realiza el análisis hidrostático para verificar las posibles deformaciones del tanque ejercidas por el fluido en reposo. Considerando una densidad de la leche de 1032 kg/m³ se determinó la presión hidrostática de 8819,06 N/m²

Para calcular la presión que soporta, se toma en cuenta el punto de fluencia o esfuerzo permisible del acero inoxidable 304, con un valor de 310000000 N/m², espesor del cilindro, esfuerzo permisible (0,7), eficiencia de la soldadura (0,003) se tiene que la lámina soporta una presión de esfuerzo de 1440903,03 N/m². Por último, se procedió a determinar el factor de seguridad que estará sometido la lámina de acero $n = 163,38$ si $n > 1$ se demuestra de que la presión hidrostática es soportada por el contenedor.

El contenedor sufrirá una deformación de 0.0000533 mm, debido a la presión que ejerce la leche sobre las paredes del recipiente, lo cual significa que no afectará en el rendimiento

Mediante simulación en SolidWork se determinó que el contenedor sufrirá una deformación de 0,0000533 mm, debido a la presión que ejerce la leche sobre las paredes del recipiente, lo cual significa que no afectará en el rendimiento.

Para dimensionar la camisa externa se calculó la masa de la leche, la cantidad de energía que se necesita para elevar la temperatura de la leche, la masa que ocupara el agua en la camisa externa y se determinó una altura de 1,100 m y un diámetro de 1,000 m.

La energía necesaria para el sistema de calentamiento se determinan las temperaturas máximas y mínimas. Se toma como temperatura máxima la ebullición de la leche 100,17 °C y la temperatura de pasteurización como temperatura mínima 72 °C, también se conoce el calor específico de la leche 0,84 cal/g °C. Con todos los datos se procede al cálculo de cantidad de calor necesaria de 12,77 kW. las resistencias eléctricas seleccionadas fueron 3 resistencias eléctricas Asturgó de 4500 W.

Se utilizó el programa Aislam, para el cálculo de calor disipado, debido a que el material de construcción utilizado tiene una alta conductividad térmica y calor disipado $Q > 100$ W se decidió implementar un aislante térmico de lana de poliuretano de 115 mm. El sistema de agitación se compone principalmente de dos elementos, uno de homogenización y otra de corte. El agitador seleccionado fue el agitador tipo Hydrofoil tipo B que cuenta con características favorables en función al diámetro de la camisa interna con un ancho 150 mm, diámetro 430 mm, radio 165 mm además de escoger la línea de espesores de 6 mm, evitando que este se deforme al ejercer su fuerza contra el fluido viscoso.

La lira es un elemento que se emplea para cortar la cuajada, una vez que transcurre el proceso de coagulación de leche. Una lira de excelente calidad está hecha de un marco de acero inoxidable con hilos horizontales y verticales de nylon. Las dimensiones propuestas fueron 0,864 m de ancho y 0,960 m de alto con un eje de 18 mm de diámetro.

La distancia entre hilo e hilo de la lira se dividirá en dos partes: la horizontal con 27,5 mm y la vertical 26 mm.

La potencia del motor determinada de acuerdo con el número de Reynolds que relaciona la viscosidad y densidad del fluido, además de la velocidad de rotación. Fue de $W = 0,34$ HP Ya conocido la potencia del motor requerida para el agitado y lira de corte, es necesario seleccionar un motor de 0,34 HP o mayor. Para el soporte de la marmita se optó por usar perfiles cuadrados con sección de 140 x 140 x 5 mm

La mesa desueradora consta dos formas geométricas: una rectangular de 350 x 1800 x 700 mm y la segunda pirámide rectangular acoplada de 195 mm de alto. Para su soporte se usó perfiles de tubo cuadrado de acero inoxidable con sección 40 x

40 x 4 mm. En la simulación en SolidWorks se utilizó la herramienta de análisis estático, donde por medio de la fuerza ejercida del fluido en vigas (5295 N/m²) se calcula presión ejercida en la misma, con la misma fuerza del fluido (5295 N/m²) se procede a realizar el estudio de deformación que ejerce la fuerza en vigas. Para el sistema de desuerado solo contaremos con una abertura para la salida del residuo, esta abertura es de 51 mm de diámetro. La etapa de desuerado consiste en el drenado de suero lácteo, asistido por la placa separadora para la filtración de la cuajada Este filtro consiste en una plancha que cubra parte de sección de la mesa con dimensiones de 700 x 600 mm, la parte interna del tanque y esta perforada con orificios de 5 mm, separados a cada 35 mm, formando un patrón rectangular. La placa tiene una particularidad, esta no es una placa fija y tiene la disponibilidad de ser retirada si es que se lo requiere.

El depósito de suero lácteo se encarga de almacenar el líquido sobrante que se genera al momento del corte de la cuajada y es traspasado a la mesa desueradora. Se definió una capacidad mayor a este de 1000 litros, con una presión máxima permisible de 10 bares, un diámetro de 1000 mm y altura de 1250 mm, un peso total de 94 kg contando con entrada y salida de fluido de 51 y 38,1 mm respectivamente.

La potencia de la bomba para el suero láctico debe de ser de 0,165 HP o mayor.

El diseño Termo-mecánico que consiste en medir variables de sensores convertidas en señales, de estas señales el controlador lógico programable, PLC, genera señales eléctricas de salida que envía a los actuadores que determinan la calibración respectiva.

Motor Trifásico de 0,75 HP WEG de 6 polos Características Motor HP Fuente: (WEG, 2021) Se escogió el motor de 0,75 HP, por la condición de que cuenta con una velocidad de 960 rpm

Selección del Variador de frecuencia CFW10 Easy Drive Selección de Motorreductor reductor ortogonal de dos etapas de la marca Motovario 1455 RPM

Selección de Bomba Sanitaria MATINOX de Hasas Selección de Electroválvulas Se seleccionó el de la serie 5653E-12-47 debido a que coincide la salida de producto con la válvula mariposa.

Sensor de temperatura P t100 de níquel del fabricante SIEMENS

Sensor de pH Electrodo de pH (HI 1331B) de marca HANNA INSTRUMENTS.

Sensor de nivel VEGAPOINT 11 VEGAPOINT 21 fusibles para motor de 0,75 HP Tipos: aM, Calibre: 4 A

Dimensionamiento de fusible para motores de bombas centrifugas de 0,5 HP Tipos: aM Calibre: 2 A

Dimensionamiento de fusibles para las resistencias eléctricas de inmersión Tipos: aM Calibre: 16 A

Selección de disyuntores termomagnéticos entre 3 y 15 veces la corriente térmica

Selección de contactores SIEMENS 3RW3026-1BB14

Selección de Guardamotor paralas 2 bombas centrifugas SIEMENS 3RV2011-1CA10

Circuito de potencia es el circuito por el cual se pasa voltaje a los elementos de potencia por medio de relés y contactores permitiendo el accionamiento de éstos. Se deben considerar elementos de protección como fusibles, relés térmicos y guardamotors, así como se debe proveer lámparas de señalización por posibles.

Para el montaje de tablero eléctrico se ha considerado elementos electromecánicos de accionamiento del circuito de potencia, así como elementos captadores o sensores.

Se necesita un PLC que tenga capacidad de controlar las siguientes variables digitales 3 pulsadores de Marcha 1 motorreductor, 1 pulsador de Paro, 2 bombas Sanitarias Inox, 1 pulsador de Emergencia, 2 electroválvulas y 3 Resistencias eléctricas, un factor a considerar para la elección es el manejo de los softwares, el IMATIC S7-1200 con CPU 1214C de Siemens.

El HMI que se escogió es uno con el cuál se está familiarizado,

este tiene una pantalla de 320 x 240 Píxeles de resolución y 6 pulgadas. Este HMI es capaz de conectarse con el PLC anterior mediante el protocolo TCP/IP, colocando la dirección IP del HMI. De la marca Siemens se escogió el HMI Basic Panel KTP600. El uso del HMI KTP600 para operación de la máquina. se tiene dos pantallas principales, una que da la bienvenida al operario y otra que muestra las etapas del proceso de producción de la máquina. La primera etapa se concentra en el llenado de la marmita, el pasteurizado, la coagulación el Corte de la Cuajada y el Desuerado.

DISCUSIÓN

Durante el diseño de la máquina se analizó en escoger un PLC que requiera las necesidades del sistema (Serie S7-1200), pero así mismo, se consideró la posibilidad de ampliar el sistema de control mediante módulos de expansión para la adquisición de más pines de entrada como de salidas, con la posibilidad de aumentar más elementos de control o de recolección de datos. Por parte del HMI, se escogió uno de alta calidad y de alta resolución para visualizar de una manera más amplia la interfaz y al mismo tiempo ofrecer la opción a añadir más gráficas, si es que se añadieran nuevas funciones. El sistema está desarrollado utilizando bloques definidos por el usuario, esto quiere decir que es más sencillo entender el código, ya que utiliza un mismo bloque para diferentes entradas y salidas, variando solo ciertos detalles si se quisiera añadir más funciones al código. El sistema está dividido en parte de bloques, fallas y controles generales tanto de funcionamiento de válvulas y motores, como de fallas generales. Funcionalidad Evidenciar la funcionalidad significa

asegurar que el resultado sea práctico. Los sistemas de control fueron realizados, de acuerdo con las especificaciones del volumen de materia prima y de temperatura que se requiera en línea producción. Al mismo tiempo, el sistema se rige en base a tiempos determinados como ser el pasteurizado con una duración total de 15 segundos, 45 minutos en el proceso de coagulación, 15 min en la parte del corte de la cuajada y 20 minutos en el proceso final de desuerado. De igual forma la funcionalidad depende mucho de la parte mecánica debido a que en esta parte se diseñó y se escogió bajo el criterio de disponibilidad de materia prima de la propiedad, para que en disposición de la máquina pueda ejecutar los movimientos y funciones necesarias. En cuanto al monitoreo, el HMI se encarga de obtener los datos actualizados en tiempo real con la finalidad de que el usuario cerciore que los niveles de las variables de producción estén entre los rangos establecidos: Volumen en línea de producción, temperatura y pH de materia prima.

El sistema posee elementos de protección mecánica y eléctrica para las posibles fallas que se presenten durante el periodo de agitación o corte de la cuajada, así también cuenta con un botón de emergencia como disyuntores de seguridad para la desconexión del equipo de la línea eléctrica, deteniendo a su paso el sistema y requiriendo de una nueva puesta en marcha antes de volver a utilizar el equipo.

Los datos técnicos mostrados a continuación, son un resumen de los puntos más destacados que componen al sistema para la producción de cuajada

El rendimiento actual por litro de leche de 0,116 kg queso, con la implantación del diseño propuesto será de 0,135 kg, el aumento del rendimiento es de un 14%.



REFERENCIAS

- Carballo, C. A. (2020). Mecánica de Fluidos. Repositorio TEC. Chain, N. S. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. En N. S. Chain, Preparación y evaluación de proyectos (págs. 321-322). Bogotá: McGraw.
- Cooperación Alemana al Desarrollo - GIZ. (2013). Catálogo de maquinaria para procesamiento de lácteos. En M. A. Rafael Escobar, Catálogo de maquinaria para procesamiento de lácteos (págs. 15-35). Lima: Ilata SAC.
- Dergal, S. B. (2006). Química de los alimentos. México: Pearson Educación de México. EduServer. (24 de 02 de 2019). Obtenido de EduServer: <https://eduserver.com/p/c26650>
- Fragosa, L. G. (2010). Diseño y optimización de un sistema pasteurizador de leche para productores pequeños, mediante simulación en EES. Diseño y optimización de un sistema pasteurizador de leche para productores pequeños, mediante simulación en EES. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Chihuahua.
- IBNORCA. (2007). Productos Lácteos. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.
- IBNORCA. (2015). Leche cruda y Fresca. Santa Cruz: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad. Ilieva, M. (16 de Octubre de 2015). <https://slideplayer.es/>. Obtenido de <https://slideplayer.es/>: <https://slideplayer.es/slide/4011992/>
- Martin, J. C. (2010). Automatismos industriales. Madrid: Editex. Montas, M. (3 de Junio de 2013). <http://mayrasbuffet.blogspot.com/>. Obtenido de <http://mayrasbuffet.blogspot.com/2013/06/el-queso-elaboracion-diferentestipos.html>
- SENASAG. (2011). Reglamento para la inspección y certificación sanitaria de la leche y los productos lácteos. Trinidad: Servicio Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad Alimentaria.
- Vassallo, F. R. (2004). Esquemas eléctricos y electrónicos. Valencia: Creaciones Copyright.
- Vega, C. J. (2017). Diseño de la automatización de un prototipo de línea de producción de quesos maduros. Diseño de la automatización de un prototipo de línea de producción de quesos maduros. Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

CITA

