UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO – CAMPUS SUR

CARRERA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:
AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESO FRESCO SEMIBLANDO ENTERO DE LA EMPRESA EL CAMPESINO

AUTOR:
RICARDO BOLÍVAR RAMOS SORIA

TUTOR:
ANÍBAL ROBERTO PÉREZ CHECA

Quito, marzo del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ricardo Bolívar Ramos Soria con documento de identificación N° 1716696589 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado "AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESO FRESCO SEMIBLANDO ENTERO DE LA EMPRESA EL CAMPESINO", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de : Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el nombre que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ricardo Bolívar Ramos Soria
C.I. N°. 1716696586
Quito, marzo 2018

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, "AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESO FRESCO SEMIBLANDO ENTERO DE LA EMPRESA EL CAMPESINO" realizado por Ricardo Bolívar Ramos Soria, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Ing. Aníbal Roberto Pérez Checa
C.I. N° 1711423440
Quito, marzo 2018

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR ii
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR iii
ÍNDICE DE FIGURAS vii
ÍNDICE DE TABLAS viii
RESUMEN ix
ABSTRACT x
INTRODUCCIÓN xi
CAPÍTULO 1 1
ANTECEDENTES 1
1.1 Tema 1
1.2 Planteamiento del Problema 1
1.3 Justificación 2
1.4 Objetivos 2
1.4.1 Objetivo General 2
1.4.2 Objetivos Específicos 2
CAPÍTULO 2 3
MARCO CONCEPTUAL 3
2.1 Queso 3
2.2 Pasteurización 3
2.3 Cuajo 4
2.4 Elaboración del Queso 4
2.4.1 Tratamiento de la Leche 5
2.4.2 Coagulación 5

2.4.3 Corte de la cuajada y su desuerado 5
2.4.4 Moldeo 5
2.4.5 Prensado 6
2.4.6 Salado 6
2.4.7 Maduración y afinado 6
CAPÍTULO 3 7
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN 7
3.1 Proceso de Producción 7
3.2 Análisis del estado actual de elaboración del queso fresco semiblando 8
3.3 Tiempos de producción 13
3.4 Metodología 14
3.5 Identificación de las etapas del proceso a automatizar. 14
3.6 Identificación de las variables del proceso 15
3.7 Implementación de herramientas y piezas mecánicas 16
3.8 Soporte de motor de agitación 16
3.9 Agitador 16
3.10 Lira 17
3.11 Adicionador de ingredientes 18
3.12 Acondicionamiento de las instalaciones de vapor y agua 19
3.13 Acondicionamiento de las instalaciones de vapor 20
3.14 Acondicionamiento de las instalaciones de agua 21
3.15 Cálculo, dimensionamiento y selección de equipos eléctricos 22
3.16 Cálculo del motor 22
3.17 Cálculo del número de Reynolds 22
3.18 Cálculo del número de Potencia 23
3.19 Cálculo de la potencia del motor 24
3.20 Voltaje de red 25

3.21 Cálculo de la Corriente.....25
3.22 Cálculo de Protecciones 25
3.23 Selección de Accionamientos 26
3.24 Selección del Sensor de Temperatura 27
3.25 Selección del PLC 28
3.26 Diagrama Eléctrico.....29
3.27 P&ID 32
3.28 Software PLC.....33
3.28.1 Selección de modo de operación……..32
3.28.2 Modo manual……32
3.28.3 Modo automático…….....34
3.28.4 Calentamiento……..35
3.28.5 Enfriamiento……..… 36
3.29 Software HMI…… 37
CAPÍTULO 4……40
PRUEBAS Y RESULTADOS……40
4.1 Pruebas 40
CONCLUSIONES.....42
RECOMENDACIONES 44
REFERENCIAS 45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de elaboración de queso……4
Figura 3.1 Elaboración del queso fresco semiblando 7
Figura 3.2 Elaboración del queso fresco semiblando en la empresa "El Campesino"..8
Figura 3.3 Termómetro……..9
Figura 3.4 Agitación manual de la leche……9
Figura 3.5 Interruptor de la bomba de agua……10
Figura 3.6 Válvulas……...…..……10
Figura 3.7 Serpentín……11
Figura 3.8 Corte de la cuajada……12
Figura 3.9 Soporte del motor……...15
Figura 3.10 Agitador……...16
Figura 3.11 Lira……...16
Figura 3.12 Adición de ingredientes……17
Figura 3.13 Adecuaciones para el agitador……..18
Figura 3.14 Adecuación para termocupla……18
Figura 3.15 Instalaciones actuales de vapor……19
Figura 3.16 Instalaciones de vapor……..19
Figura 3.17 Instalaciones de agua……20
Figura 3.18 Instalaciones de electroválvulas……...20
Figura 3.19 Gráfica del número de potencia……22
Figura 3.20 Tablero de control……25
Figura 3.21 Tablero de control interior……...29
Figura 3.22 Diagrama de flujo del modo de operación……31
Figura 3.23 Diagrama de flujo modo manual……..32
Figura 3.24 Diagrama de flujo modo automático……33
Figura 3.25 Diagrama de flujo calentamiento……..34
Figura 3.26 Diagrama de flujo del enfriamiento……..36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Tiempos del proceso……13
Tabla 3.2 Identificación de problemas……14
Tabla 3.3 Medida de la marmita……..14
Tabla 3.4 Elementos de mando y visualización……...24
Tabla 3.5 Comparación de sensores de temperatura……26
Tabla 3.6 Selección de PLC……..27
Tabla 3.7 Índices de rentabilidad……38

RESUMEN

La empresa de lácteos “El Campesino” ha venido desarrollando durante sus veinte años de vida empresarial la producción del queso fresco semiblando de forma manual, razón por la cual, y con el afán de prestar una mejora en la calidad de su producto y en concordancia con la modernización actual ha experimentado el desarrollo de la automatización de una de sus marmitas de producción. Mediante la ejecución de trabajos mecánicos de adaptación de los equipos eléctricos y electrónicos se ha logrado manufacturar un equipo en armonía con el entorno de la planta y de fácil manejo para el operario, así como también con la aplicación de un PLC las etapas de producción se realizan sin la necesidad de un operario permanente, permitiendo una mejora sustancial en la producción y en la calidad del producto debido a la estandarización de la calidad del producto. La implementación de la automatización en la empresa marca una innovación a nivel local de la forma de producción permitiendo ser pioneros en el mejoramiento de los procesos productivos en las empresas de producción de queso fresco semiblando. Como resultado de la automatización se obtuvo una disminución en el tiempo del proceso, por ende una mejora en la rentabilidad económica de la empresa debido a que el operario destinado a la supervisión de la temperatura y agitación permanente de la leche puede desarrollar otras actividades propias del proceso de elaboración del queso fresco semiblando.

ABSTRACT

The company of lactic “El Campesino” has come developing during his twenty years of entrepreneurial life the production of the semi-soft cottage cheese of manual form, reason for which, and you have experienced the development of the automatization of an one belonging to his kettles of production with the enthusiasm of rendering an improvement in the quality of your product and in concordance with the present-day modernization. It has been been able to manufacture an equipment in accord with the surroundings of the plant by means of the electric and electronic teams' execution of mechanical works of adaptation and user-friendly for the laborer, as well as with a PLC's application the stages of production come true without the need of a permanent laborer, permitting a substantial improvement in production and in the quality of the product due to the standardization of the quality of the product. An invention dials the implementation of the automatization at the company to local level of the form of production allowing to be pioneer in the improvement of the productive processes at the companies of production of semi-soft cottage cheese. You obtained a decrease in the time of the process as a result of automatization, for there an improvement in the cost-reducing company profitability owed to than the laborer once the supervision was destined of temperature and permanent dairy agitation can develop others own activities of the process of elaboration of the semi-soft cottage cheese.

INTRODUCCIÓN

El Campesino, es una empresa familiar ubicada en la parroquia de Alóag, zona agrícola y ganadera, dedicada a la elaboración de queso fresco semiblando entero, cuyo mercado principal es la ciudad de Guayaquil; la producción diaria de queso fresco semiblando entero en la planta es de 250 unidades, la capacidad de la marmita es de 500 litros de leche, la leche utilizada como materia prima es recogida en las fincas de los alrededores de la zona, siendo aproximadamente 40 proveedores.

La producción en la empresa es desarrollada de forma manual en su totalidad, siendo susceptible de pérdidas de materia prima, y en consecuencia generando tiempos de producción largos.

La implementación del sistema automático, permitirá determinar que la empresa de lácteos El Campesino obtendrá un incremento sustancial en la calidad del producto y la producción, pudiendo así ser más competitiva en el ámbito local y nacional. Para cumplir los objetivos de éste proyecto, el desarrollo capitular se dividió de la siguiente manera.

Capítulo 1, se describe el problema de estudio, la justificación, los objetivos y la metodología que son la base para el presente proyecto.

Capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, donde se recopila la información necesaria de la elaboración de queso fresco semiblando y de la empresa El Campesino.

Capítulo 3, se hará un estudio del proceso actual de producción utilizado en la empresa El Campesino para la elaboración de queso fresco semiblando, identificando las variables del sistema. Además, se diseña e implementa el nuevo sistema para mejorar la productividad del proceso.

Capítulo 4, luego de la implementación se realizará la validación del desarrollo de la automatización del proceso de elaboración de queso fresco semiblando entero de la empresa El Campesino mediante pruebas de funcionamiento.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Tema

Automatización del proceso de elaboración de queso fresco semiblando entero de la empresa El Campesino.

1.2 Planteamiento del Problema

Las prácticas tradicionales vigentes en el proceso de elaboración de queso fresco semiblando de la empresa de lácteos El Campesino limitan su capacidad de crecimiento, entre las causas encontramos: subutilización del personal, dado que, al ser necesario la presencia permanente de un operario durante las etapas de pasteurización, incluido el calentamiento, enfriamiento, adición de ingredientes y corte de la cuajada, no permite la ejecución de otras tareas propias de la producción, además que el operario al estar en contacto permanente con el producto, el mismo que por el proceso genera humedad y calor es susceptible de daños físicos, ocasionando lesiones en su piel o posibles quemaduras.

La necesidad del monitoreo permanente de la temperatura por parte del operario con el termómetro manual está directamente relacionado con la calidad y volumen de producción del queso fresco semiblando, por lo tanto, existe la posibilidad de errores de lectura y medida.

Es necesario la agitación manual y permanente de la leche por parte del operario para evitar la adherencia en las paredes de la marmita y en consecuencia la pérdida de transferencia de calor e incremento de los tiempos de producción.

El proceso de corte de la cuajada está determinado por la fuerza del operario, razón por la cual pude ocasionar que la misma no posea la contextura y volumen necesarios para la elaboración de este tipo de queso.

1.3 Justificación

La automatización del proceso de elaboración del queso fresco semiblando de la empresa contribuirá al mejoramiento de estándares sanitarios de producción, así como también al mejoramiento de la calidad del producto al mantener una constante en sus características, permitiendo una familiarización y distinción del mismo en el consumidor final.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un proyecto para la automatización del proceso de elaboración de queso semiblando entero en la empresa de Productos Lácteos "El Campesino", para el mejoramiento en la calidad y tiempo de producción.

1.4.2 Objetivos Específicos

• Analizar el proceso actual de elaboración del que fresco semiblando en la empresa "El Campesino" para delinear su forma de operación y recoger datos de producción.

• Diseñar un sistema automatizado para el control del proceso de elaboración del queso fresco semiblando, para que cumpla con los requisitos de la empresa.

• Implementar el sistema de control automático en la marmita existente en la planta de producción de la empresa "El Campesino", para que se acople al sistema automático a implementar.

• Realizar las pruebas de funcionamiento del proceso para recoger datos y contrastarlos con los indicadores del proceso anterior.

• Analizar la relación costo – beneficio de la implementación del sistema automático, para medir su rentabilidad.

• Elaborar un manual de operación del sistema para que sirva de guía a los operarios de la empresa de lácteos El Campesino.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1 Queso

Se entiende por queso el producto blando, semiduro, duro y extra duro, madurado o no, que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche, obtenido mediante coagulación total o parcial de la proteína de la leche, por acción del cuajo u otros coagulantes idóneos, y por el escurrimiento parcial del suero que se desprende como consecuencia de la coagulación, respetando el principio de que la elaboración del queso resulta en una concentración de proteína láctea y que por consiguiente, el contenido de proteína del queso deberá ser evidentemente más alto que el de la mezcla de los ingredientes lácteos ya mencionados en base a la cual se elaboró el queso. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION, 2012)

2.2 Pasteurización

Para destruir los microorganismos de la leche es necesario someterlos a tratamientos térmicos, la temperatura puede ocasionar transformaciones no deseables en la leche, que provocan alteraciones de sabor, rendimiento, y calidad principalmente.

El proceso de pasteurización fue idóneo a fin de disminuir casi toda la flora de microorganismos saprofitos y la totalidad de los agentes microbianos patógenos, pero alterando en lo mínimo posible la estructura física y química de la leche, así como también las sustancias con actividad biológica tales como enzimas y vitaminas.

La temperatura y tiempo aplicados en la pasteurización aseguran la destrucción de los agentes patógenos tales como Mycobacterium, tuberculosis, Brucellos, Solmonellas, etc., pero no destruye los microorganismos mastiticos tales como el Staphilococus aereus o el Streptococuspyogenes, como así tampoco destruye algunos micro organismos responsables de la acidez como los Lacotobacillus. (PORTAL LECHERO, 2016)

2.3 Cuajo

El cuajo de ternera es elemento indispensable para la elaboración de muchos quesos, es probable que fuera fruto de la casualidad, pero en algún momento de nuestra historia, algún ser humano introdujo leche en uno de los estómagos de un rumiante, probablemente para usarlo como recipiente, constatando que pasado un tiempo la leche se transformaba en algo sólido. Se había cuajado el primer queso, y con un poco más de investigación se descubrió que era el líquido presente en el estómago el que provocaba ese cambio en la leche, a ese líquido lo llamamos cuajo animal y puede proceder de cabras, corderos o vacas. La substancia activa que provoca esta transformación en la leche es la quimosina o renina. Su presencia en la leche provoca la separación de la caseína del suero. (COCINISTA, 2016)

2.4 Elaboración del Queso

El proceso general para la elaboración de quesos consta de siete pasos principales los cuales se pueden observar en la Figura 2.1.

Figura 2.1 Proceso de elaboración del queso

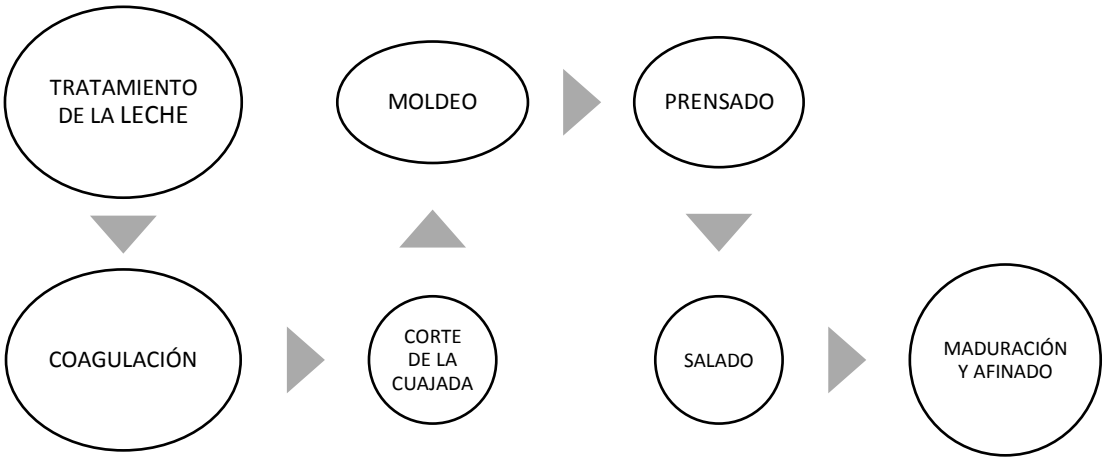


Diagrama de flujo del proceso general de elaboración del queso, Ricardo Ramos

En el cual se puede apreciar que es un proceso secuencial, el éxito del producto radica en que todos los procesos que lo constituyen estén de desarrollados de manera correcta. A continuación, se detallan cada uno de estos.

2.4.1 Tratamiento de la Leche

Esta fase consiste en el filtrado de la leche para eliminar macro-sustancias extrañas procedentes de su manipulación. A continuación, puede añadirse o eliminarse nata, según el tipo de queso que se quiera elaborar.

2.4.2 Coagulación

En la cuba de elaboración la leche se eleva la temperatura, y se le añaden, dependiendo del tipo de queso que se quiera elaborar, fermentos lácticos o coagulantes de tipo vegetal o animal (cuajo).

Después del tratamiento y coagulación, la leche se transforma pasando de un estado líquido a un estado sólido o semisólido, debido a la aglutinación de las micelas de la proteína "caseína", formándose un gel (cuajada) que retiene además los glóbulos de grasa, agua y sales.

2.4.3 Corte de la cuajada y su desuerado

Una vez transcurrido el tiempo de coagulación y comprobando que el gel o cuajada tienen la consistencia y textura adecuada, se procede a su corte mediante unos instrumentos denominados liras que presentan una serie de hilos tensos y paralelos entre sí. El tamaño del corte y la pisión de la cuajada (en granos) determinaran el tipo de queso a elaborar.

2.4.4 Moldeo

Consiste en el llenado de los granos de la cuajada en moldes. Estos moldes son actualmente de acero inoxidable o de plástico alimenticio, aunque antiguamente podían ser de esparto o madera.

2.4.5 Prensado

Una vez llenados los moldes pasa al prensado, que tiene como finalidad dar la forma definitiva al queso, evacuar el suero y el aire atrapado entre los granos y favorecer la unión de los granos de la cuajada. La presión y la duración del prensado dependerán del tipo de quesos que se desee elaborar. En la mayoría de las queserías actualmente se realiza la presión de forma mecánica.

2.4.6 Salado

Esta fase tiene el propósito fundamental de regular el proceso microbiano evitando el crecimiento de microorganismos indeseables, contribuir al desuerado de la cuajada, formar la corteza y potenciar el sabor. Puede realizarse en seco, recubriendo la superficie del queso con cloruro sódico (sal), o por inmersión en un baño de salmuera (agua y sal).

2.4.7 Maduración y afinado

En esta fase los quesos son mantenidos en cámaras o cuevas de maduración donde se controla la temperatura, la humedad y la aireación.

Durante esta fase existen procesos mecánicos frecuentes como el volteo de los quesos, consiguiendo que la maduración sea uniforme y evitando que se deformen, el cepillado de las cortezas y en algunos casos frotamientos de la corteza con salmuera. (PONCELET, 2016)

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se muestra el diseño, construcción e implementación de un sistema de control que permita manejar procesos como: pasteurización, adición de ingredientes, agitación, cuajado y corte de manera automática.

Para la interacción del proceso con el operador sobre un tablero de control se colocará una HMI, la misma que permitirá visualizar al operario el estado y etapa del proceso, siendo necesario que mediante un motor se realice el control de la agitación del producto en la etapa de pasteurización, así como también mediante bombas se realizará la adición automática de ingredientes en las temperaturas indicadas por el proceso de elaboración propio de la empresa de lácteos "El Campesino", y con el mismo motor, al realizar el cambio de herramienta, se desarrollará la etapa de corte de la cuajada.

3.1 Proceso de Producción

Para la elaboración del queso fresco semiblando se utiliza como materia prima la leche de vaca, la misma que es recolectada de las fincas productoras de la zona de la parroquia de Alóag, además se utiliza cloruro de calcio y cuajo, los mismos que permiten los cambios físicos de la leche para la obtención del producto. Como se observa en la Figura 3.1 éste proceso consta de diez etapas.

En el cual se puede observar que los pasos constitutivos para la elaboración de queso fresco semiblando es un proceso secuencial constituido de 10 etapas en las cuales el fabricante guarda mucho cuidado precautelando el máximo aprovechamiento de la materia prima, viéndose reflejada en la calidad y cantidad de quesos obtenidos.

Figura 3.1 Elaboración del queso fresco semiblando

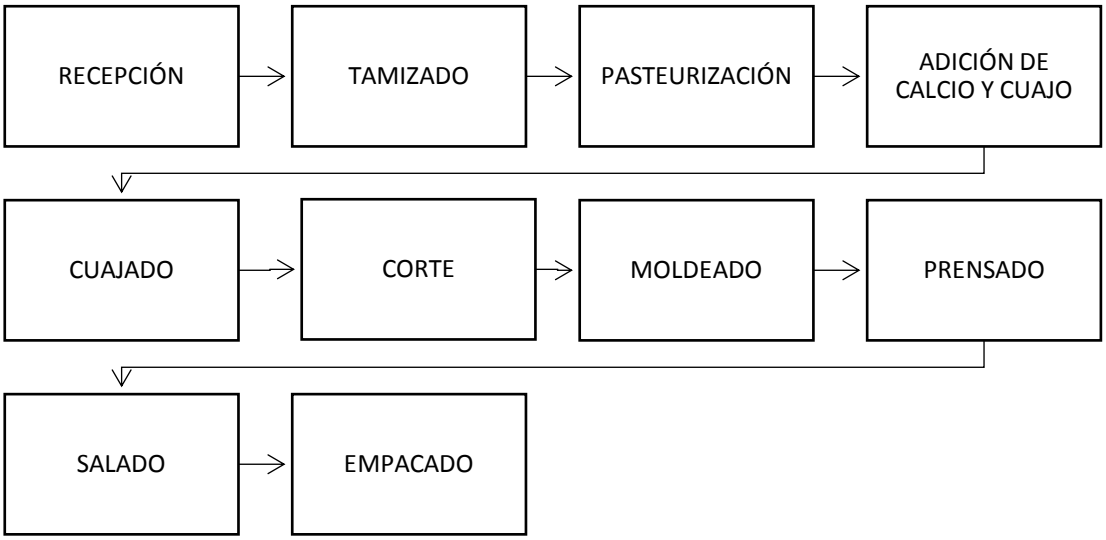


Diagrama de flujo del proceso de elaboración del queso fresco semiblando, Ramos Ricardo

3.2 Análisis del estado actual de elaboración del queso fresco semiblando

El proyecto está enfocado en la automatización del proceso en las etapas de pasteurización, adición de ingredientes y corte de la cuajada, dado que en la actualidad el mismo es desarrollado de manera manual con la presencia permanente de un operario para la agitación continua de la materia prima, control de la temperatura para la apertura y cierre de las válvulas de ingreso de vapor y/o agua, purga y adición de ingredientes. Así como también el corte manual de la cuajada. Como se observa en la Figura 3.2. son cuatro las etapas a intervenir con la automatización.

En la Figura 3.2 se observa las acciones necesarias en cada una de las etapas de elaboración de queso fresco semiblando, las mismas que son desarrolladas en su totalidad de manera manual por parte del operario.

Figura 3.2 Elaboración del queso fresco semiblando en la empresa "El Campesino"

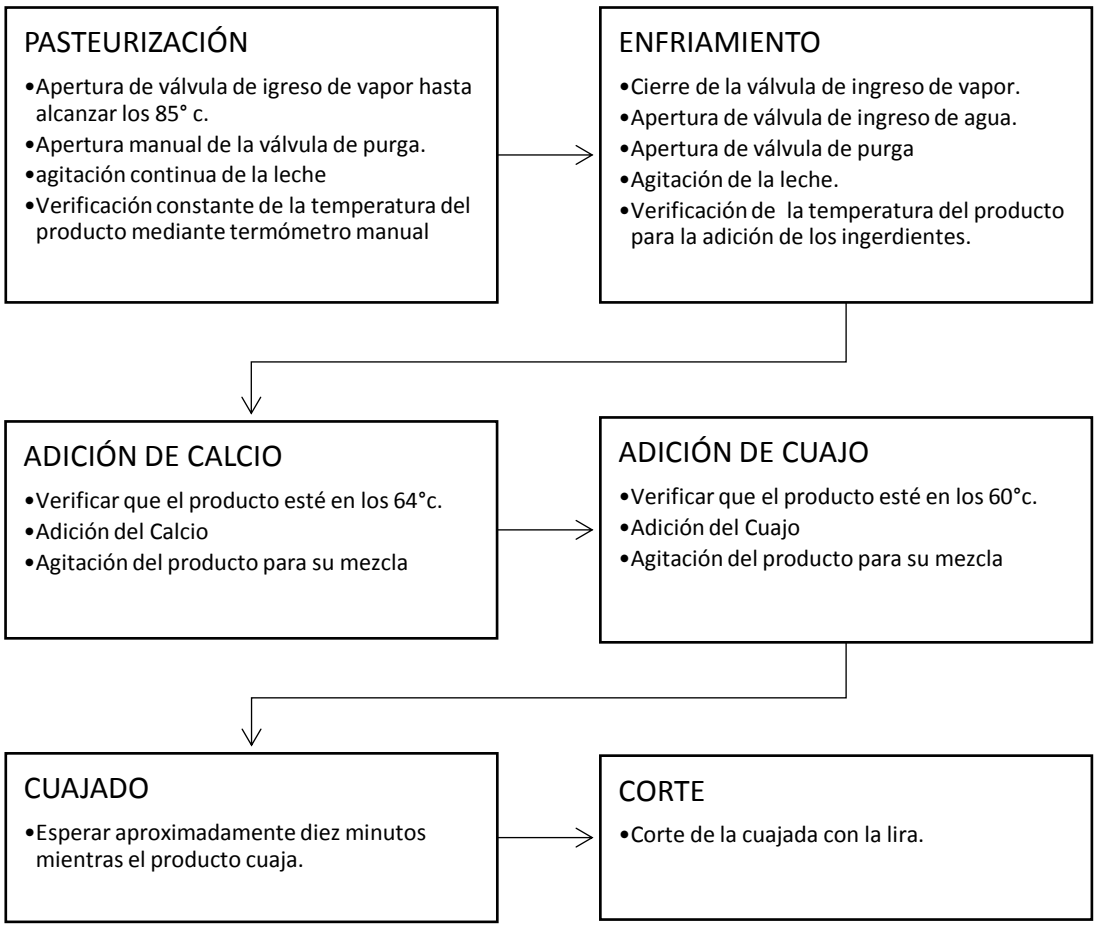


Diagrama de flujo de la elaboración del queso fresco semiblando en la empresa “El Campesino”, Ricardo Ramos

El control de la temperatura se lo realiza con un termómetro plástico que es introducido en el producto como se muestra en la Figura 3.3., la desventaja de utilizar este instrumento de medida radica en que su precisión y medida depende del observador.

Para evitar que la leche por efectos de la pasteurización se adhiera a las paredes de la marmita y exista pérdidas en la transferencia de calor y por consiguiente el incremento en el tiempo de producción es necesario la agitación continua mediante una herramienta manual. Lo que implica la presencia permanente de un empleado como se muestra en la Figura 3.4.

Figura 3.3 Termómetro

Termómetro plástico, Ricardo Ramos

Figura 3.4 Agitación manual de la leche

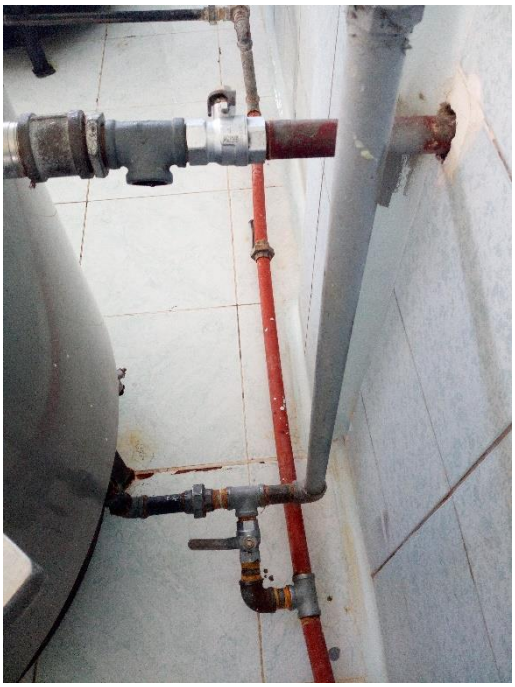
Agitación manual de la leche, Ricardo Ramos

Cuando la leche ha alcanzado la temperatura de 85 °C empieza el proceso de enfriamiento en el cual se enciende la bomba de agua de la cisterna desde el interruptor ubicado en el área de recepción de leche, se cierra la válvula de ingreso de vapor y se apertura la válvula de ingreso de agua, al mismo tiempo que la de purga. Como se puede observar en la Figura 3.5 y la Figura 3.6 respectivamente.

Figura 3.5 Interruptor de la bomba de agua

Interruptor dela bomba de agua en el exterior de la planta, Ricardo Ramos.

Figura 3.6 Válvulas



Válvulas manuales de vapor y agua, Ricardo Ramos

Para acelerar el proceso de enfriamiento se introduce dentro de la marmita con leche un serpentín, dentro del cual fluye agua fría, complementándose con el flujo interno del agua por la marmita. Como se puede observar en la Figura 3.7.

Figura 3.7 Serpentín

Serpentín para enfriamiento, Ricardo Ramos

Mediante el monitoreo periódico de la temperatura se puede establecer el momento exacto para la adición manual de los ingredientes como son el calcio y cuajo a los 64 °C y 60°C respectivamente, temperaturas que son esenciales en el proceso ya que, de esta etapa dependerá la de producción y calidad del producto final. La mezcla de estos ingredientes es desarrollada por la empresa, cabe mencionar que tanto el calcio como el cuajo son productos en estado sólido, a los cuales se les añade agua para su adición en la leche dentro de la marmita. (Campesino")

Luego de reposar por aproximadamente diez minutos la leche habrá cuajado y se procede al corte mediante la utilización de la lira, instrumento que mediante el entrelazado de hilos paralelos de nylon corta la cuajada, este proceso es de sumo cuidado para evitar la trituración de la cuajada y por ende la pérdida de volumen en los trozos de cuajo que en lo posterior formarán el queso fresco semiblando. Como se puede observar en la Figura 3.8.

Figura 3.8 Corte de la cuajada

Corte manual de la cuajada con la lira, Ricardo Ramos

3.3 Tiempos de producción

El tiempo está determinado por el control de la agitación, que evita que se genere una capa de leche solidificada en las paredes de la marmita, la misma que reduce la transferencia del calor, además imposibilita la distribución uniforme de calor en todo el volumen de la leche.

El control inadecuado de la temperatura ya sea este por descuido o falta de visibilidad en el termómetro por acción del vapor generado por la ebullición de la leche y la dificultad que genera el tomar manualmente el termómetro puede provocar que la materia prima se pierda o no se consiga el número estimado de quesos, tomando en cuenta que por cada queso se necesitan 4 litros de leche.

En la etapa de enfriamiento se incrementa el tiempo de producción porque es necesario insertar el serpentín en la marmita, además del agua que fluye dentro de la misma. En consecuencia, por lo indicado y debido a la intromisión elementos externos hace que el proceso sea susceptible de contaminación.

De acuerdo a lo indicado en los párrafos anteriores podemos visualizar en la Tabla 3.1 el tiempo promedio necesario para cada etapa del proceso.

Tabla 3.1 Tiempos del proceso

PROCESO	**TIEMPO (minutos)**
PATEURIZACIÓN	45
ENFRIAMIENTO	40
CUAJADO	10
CORTE	5

Tiempos del proceso de producción manual, Fuente:Ricardo Ramos

3.4 Metodología

Para el desarrollo de la automatización del proceso de la elaboración del queso fresco de la empresa de lácteos "El Campesino" es necesario enfocar no solo los efectos de producción, sino también el impacto directo en la rentabilidad económica e industrial dentro del campo de producción de lácteos dentro de la zona.

Por lo tanto, para la implementación de la automatización es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos;

- Identificación de las etapas del proceso a automatizar.
- Identificación de las variables del proceso.
- Implementación de herramientas y piezas mecánicas.
- Acondicionamiento de las instalaciones de vapor y agua.
- Cálculo, dimensionamiento y selección de equipos eléctricos.
- Programación del PLC.
- Pruebas de funcionamiento.
- Capacitación del personal de la empresa.

3.5 Identificación de las etapas del proceso a automatizar.

Basado en el análisis del estado actual de funcionamiento se determina que es necesario llevar a cabo la automatización en el proceso de pasteurización, adición de ingredientes y corte de la cuajada. En la Tabla 3.2 se observa los inconvenientes presentados.

Tabla 3.2 Identificación de problemas

PROCESO	PROBLEMA	DETALLE
PATEURIZACIÓN	Calentamiento	Las válvulas de ingreso y purga de vapor son manuales.
	Temperatura	La medición es manual
	Pérdida de calor	La ubicación de las válvulas de ingreso y purga no permiten el total aprovechamiento de la energía calórica suministrada por el caldero.
	Agitación	Es necesario la presencia permanente de un empleado.
	Enfriamiento	Las válvulas de ingreso y purga de agua son manuales.
		Utilización de un serpentín externo.
ADICIÓN DE INGREDIENTES	Temperatura	La medición es manual.
	Adición de calcio	La adición y mezcla es manual, y depende de la medición de la temperatura.
	Adición de cuajo	La adición y mezcla es manual, y depende de la medición de la temperatura.
CORTE DE LA CUAJADA	Lira	Es una herramienta que ingresa y sale de la marmita, teniendo contacto con el exterior.
		El corte de la cuajada está determinado por la fuerza del operario.

Identificación de problemas en la producción manual, Fuente: Ricardo Ramos

3.6 Identificación de las variables del proceso

La variable que determina las etapas del proceso es la temperatura, ya que de esta depende que acción que deberá tomar el operario en el estado actual o el PLC al momento de la implementación de la automatización del proceso.

3.7 Implementación de herramientas y piezas mecánicas

Para el desarrollo del proyecto es necesario la implementación de piezas mecánicas en acero inoxidable en la marmita ya existente como son el soporte para el motor de agitación, agitador, lira y mecanismo de adición de ingredientes.

Para la construcción y acondicionamiento de las piezas y herramientas mecánicas es necesario determinar las medidas de la marmita que va a ser automatizada, datos que se visualizan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Medidas de la marmita

MEDIDA	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Volumen	Vm	500	Litros
Radio interno	rm	580	Milímetros
Diámetro interno	Øm	1160	Milímetros
Ancho de la camisa	e	35	Milímetros

Medidas de la marmita que será automatizada, Fuente: Ricardo Ramos

3.8 Soporte de motor de agitación

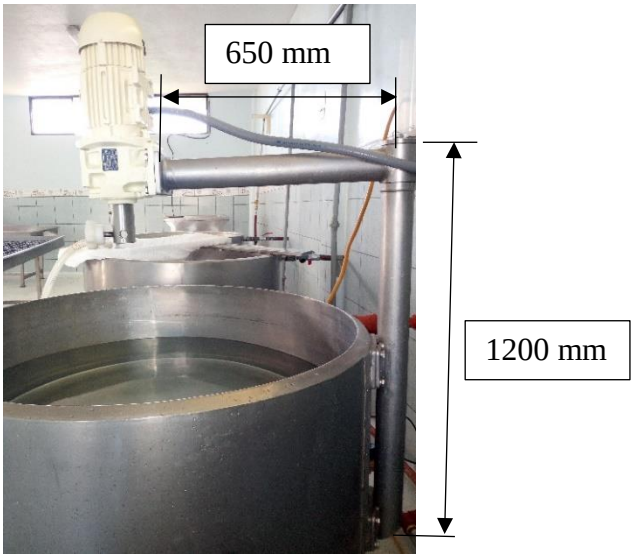
El soporte de agitación es construido en acero inoxidable con un brazo abatible para la fácil operación de los usuarios, sin interferir en el área de trabajo cuando no es utilizado como se muestra en la Figura 3.9.

3.9 Agitador

El agitador es una de las herramientas de mayor importancia dentro del proceso, ya que de este dependerá la transferencia uniforme de calor al momento de calentar y también la disminución del tiempo de enfriamiento por acción de su movimiento.

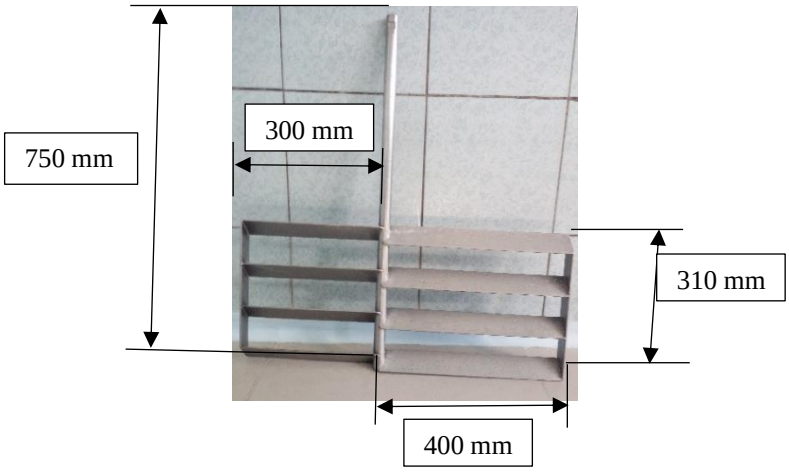
El agitador seleccionado es uno tipo rejilla de paletas planas inclinadas, el mismo que por sus características permite una distribución del calor en todo el fluido, además generando corrientes que contrarrestan los efectos de las fuerzas centrifugas de la agitación. Como se puede observar en la Figura 3.10.

Figura 3.9 Soporte del motor



Soporte del motor de agitación, Ricardo Ramos

Figura 3.10 Agitador



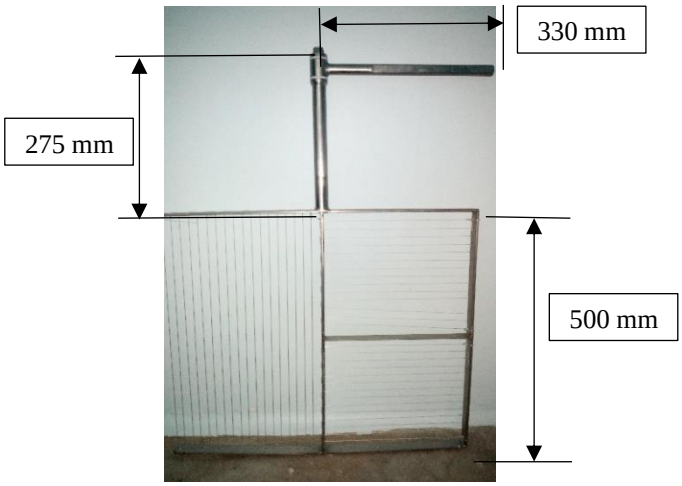
Agitador de rejilla de paletas planas, Ricardo Ramos.

Los cálculos del diseño del agitador los puede encontrar en el Anexo 1

3.10 Lira

La Lira es la herramienta que mediante hilos de nylon entrecruzados realiza el corte de la cuajada, formando trozos, los cuales serán transportados a los moldes para la realización de los quesos, la lira se incorpora en el cabezal del motor agitador y mediante la activación del motor realiza el corte de la cuajada, la lira posee un eje rotatorio para realizar el corte longitudinal y transversal de la cuajada. Como se puede observar en la Figura 3.11.

Figura 3.11 Lira



Lira para el corte de la cuajada, Ricardo Ramos

Los cálculos del diseño de la lira los puede encontrar en el Anexo 2.

3.11 Adicionador de ingredientes

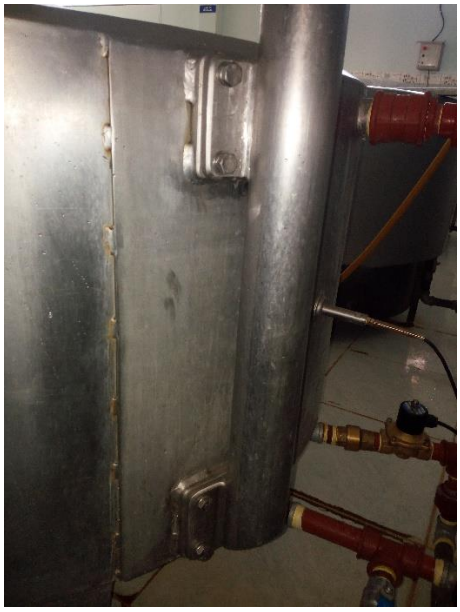
El mecanismo para la adición de ingredientes se compone de dos mini bombas para líquidos ubicadas en un soporte de acero inoxidable conectadas mediante tuberías a los depósitos de los ingredientes por el conducto de ingreso y directamente hacia la marmita por el conducto de salida. Como se puede observar en la Figura 3.12.

Figura 3.12 Adición de ingredientes

Adicionador de calcio y cuajo, Ricardo Ramos

Cabe mencionar que además de lo ya indicado que se realizó la adecuación de la marmita con la colocación de refuerzos para la base del agitador, el orificio para la implementación de la sonda de temperatura y reparaciones necesarias en su estructura para su funcionamiento. Como se puede observar en la Figura 3.13 y la Figura 3.14.

Figura 3.13 Adecuaciones para el agitador



Refuerzo de la pared de la marmita para la base de agitador, Ricardo Ramos

Figura 3.14 Adecuación para termocupla

Agujero para sonda de temperatura, Ricardo Ramos

3.12 Acondicionamiento de las instalaciones de vapor y agua

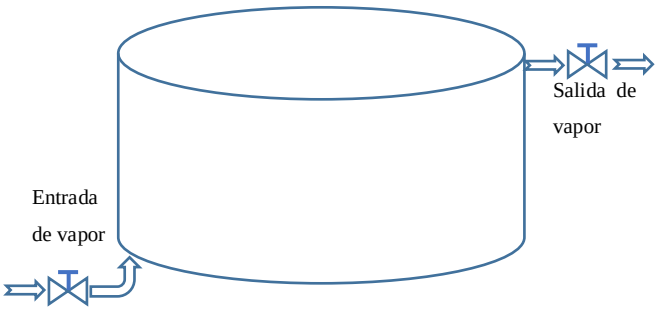
Para la automatización del proceso es necesario el cambio de las válvulas manuales tanto de vapor como de agua por electroválvulas para su control automático, para el aprovechamiento de la energía calórica proporcionada por el caldero, así como

también el entendimiento del sentido de flujo del vapor y el agua dentro de la marmita, ya que de esto dependerá la ubicación de las electroválvulas de control.

3.13 Acondicionamiento de las instalaciones de vapor

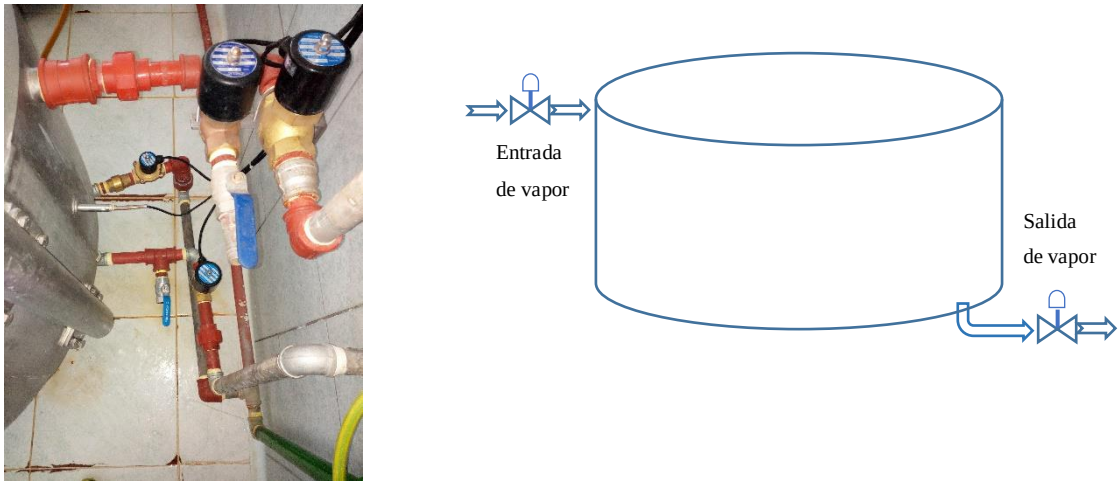
La conexión de válvulas y tuberías actuales presentan un desperdicio del calor en la etapa de pasteurización debido al sentido de ingreso del vapor, ya que el mismo ingresa por la parte inferior de la marmita hacia la purga ubicada en la parte superior, provocando que la condensación del vapor se represe en el interior de la marmita limitando el paso del vapor, así como también la apertura total de la purga no permite el aprovechamiento total del vapor (véase Figura 3.15), razón por la cual es necesario el cambio de sentido del flujo del vapor, siendo este desde la parte superior, hacia la purga en la parte inferior, y mediante programación se realizará una apertura y cierre periódica de la purga para el aprovechamiento total del vapor y la expulsión del agua producida por la condensación del vapor. Como se puede observar en la Figura 3.16.

Figura 3.15 Instalaciones actuales de vapor



Instalaciones manuales de vapor, Ricardo Ramos

Figura 3.16 Instalaciones de vapor

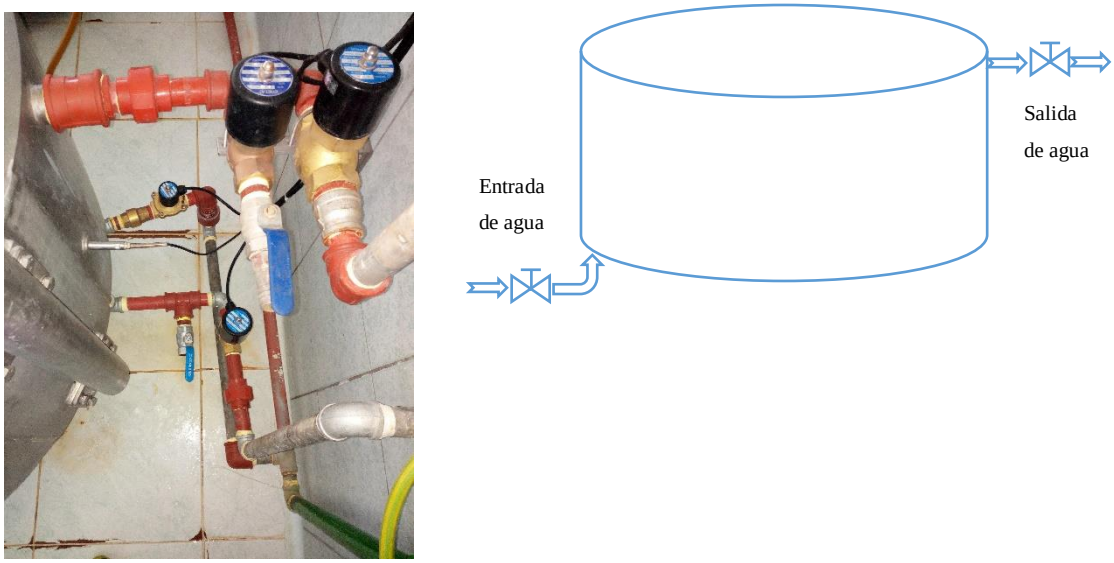


Instalaciones automatizadas de vapor, Ricardo Ramos

3.14 Acondicionamiento de las instalaciones de agua

Las instalaciones de agua existentes no presentan inconvenientes en su funcionamiento, por lo tanto, en necesario tan solo el cambio de las válvulas manuales por las electroválvulas para el control automático, cabe indicar por lo tanto que el sistema tendrá dos purgas independientes, una para el vapor en la parte inferior y otra en la parte superior junto a la electroválvula de ingreso de vapor para la purga del agua, esto ya que por efectos propios de la gravedad y la densidad del vapor y agua, esta última empujará hacia el exterior el vapor existente en la marmita en la etapa de enfriamiento. Como se puede observar en la Figura 3.17.

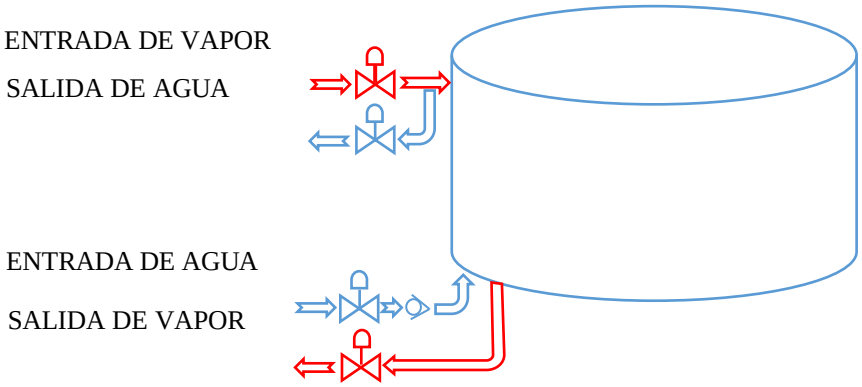
Figura 3.17 Instalaciones de agua



Instalaciones automatizadas de agua, Ricardo Ramos

De acuerdo a lo indicado en los párrafos anteriores el conjunto de válvulas automatizadas quedará como se muestra en la Figura 3.18.

Figura 3.18 Instalaciones de electroválvulas



Instalaciones de válvulas automatizadas de vapor y agua, Ricardo Ramos

3.15 Cálculo, dimensionamiento y selección de equipos eléctricos

En el proceso de automatización de la elaboración del queso fresco semiblando se identifican elementos necesarios para su funcionamiento como el motor, las electroválvulas, el sensor de temperatura, PLC, bombas para el adicionador con sus respectivas protecciones eléctricas y accionamientos.

3.16 Cálculo del motor

Para la implementación del motor agitador es necesario realizar los cálculos de la potencia consumida a través de números adimensionales, relacionado por medio de gráficos del número de Reynolds y el número de Potencia, las gráficas dependerán de las características geométricas del agitador.

3.17 Cálculo del número de Reynolds

El número de Reynolds se encarga de describir el movimiento característico del líquido en el tanque de agitación, y está en función de la velocidad generada por el impulsor, de la viscosidad dinámica del líquido, la densidad de la mezcla y del diámetro del impulsor. (CATARINA, 2009)

$$NR_e = \frac{\phi r^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \qquad \text{Ec. (3.1)}$$

Donde:

ϕr^2: Diámetro del rodete (m^2)

N : Velocidad rotacional (rps)

ρ : Densidad del fluido (Kg/m^3)

μ : Viscosidad del fluido (Kg/ms)

Por lo tanto,

$$NR_e = \frac{0.87^2 \cdot 0.67 \cdot 1029}{2.1 * 10^{-3}}$$

$$NR_e = 35 * 10^5$$

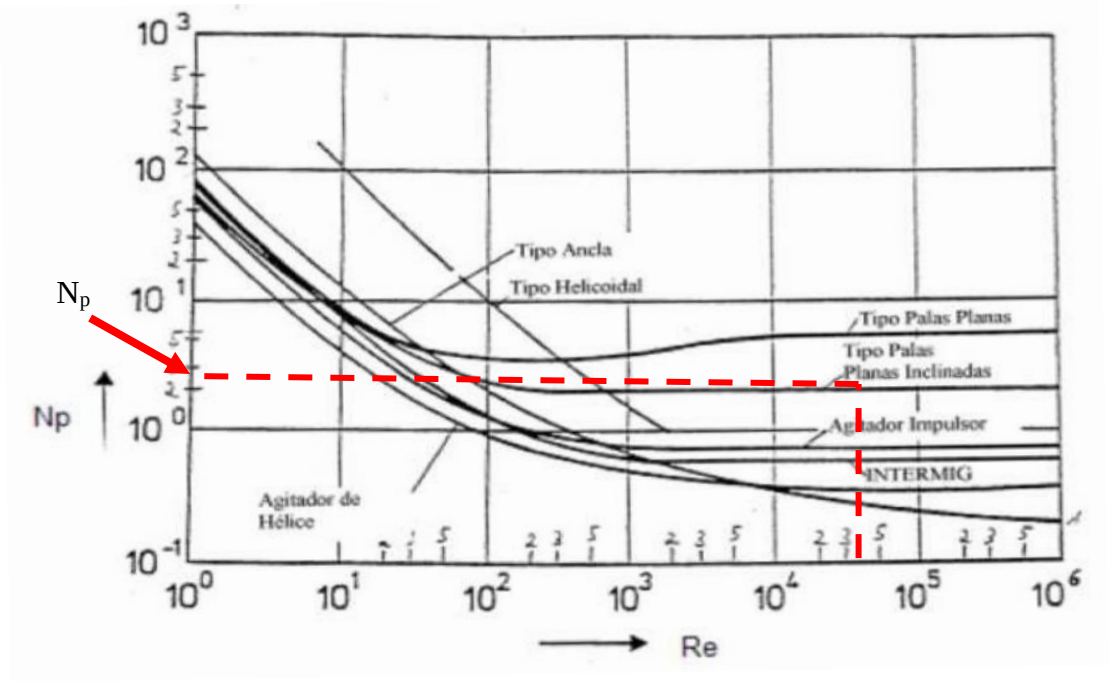
Del valor obtenido se determina de acuerdo al número adimensional corresponde a un régimen turbulento ya que es un $NR_e > 10000$.

3.18 Cálculo del número de Potencia

El número de potencia es adimensional y se encarga de establecer la relación existente entre el consumo de potencia generado por el impulsor, la densidad del líquido, la velocidad de rotación del impulsor y su diámetro. Es decir, es la razón de fuerzas externas implicadas en la agitación a fuerzas inerciales por unidad de volumen del fluido. Este número adimensional es resultado es resultado del esfuerzo necesario del impulsor para contrarrestar la fricción generada entre el fluido en movimiento y las paredes y el fondo del tanque de agitación, así también por la resistencia misma producida por los deflectores radiales. (CATARINA, 2009)

Por medio de la gráfica del número de potencia en función del número de Reynolds de la Figura 3.19, se calcula el número de potencia.

Figura 3.19 Gráfica del número de potencia



Gráfica número de potencia vs. Número de Reynolds, *(HARROT, 2002)*

De la gráfica se obtiene que el número de potencia es 2.84 dado para el agitador de tipo palas planas inclinadas.

3.19 Cálculo de la potencia del motor

Para el cálculo de la potencia del agitador se utiliza la siguiente ecuación de Mc Cabe – Smith.

$$P = Np * \frac{\rho * N^3 * \emptyset r^5}{g_c} \qquad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde:

$N_{p:}$ número de potencia

ρ: densidad del fluido (Kg/m^3)

g_c: factor gravitacional de conservación ($Kgm.m/N.\ s^2$)

N: velocidad de rotación (rps)

Por lo tanto,

$$P = 2.84 * \frac{1029 * 0.8^3 * 0.87^5}{1}$$

P= 745.7 watts ≈ 1 HP.

3.20 Voltaje de red

El voltaje presente en la red eléctrica instalado en la planta de producción es de 220 VAC bifásico, por lo tanto, los cálculos siguientes serán en base a esta información.

3.21 Cálculo de la Corriente

Para el cálculo correspondiente a la corriente en el funcionamiento del motor agitador se utilizará la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P}{V} \qquad \text{Ec. (3.3)}$$

Donde:

I: corriente (A)

P: potencia (watts)

V: voltaje (v)

Por lo tanto,

$$I = \frac{745.7}{220}$$

I = 3.4 A.

3.22 Cálculo de Protecciones

La protección seleccionada para el sistema está determinada por las corrientes inmersas en proceso como:

Motor Agitador: 6.8 A.

Motor de la Bomba de agua: 6.8 A.

Electroválvulas:≈1 A.

De acuerdo a la información dada el sistema en su máxima operación consume una corriente de aproximadamente 15 amperios, por lo tanto, se coloca por criterio de diseño una protección de 20 amperios.

3.23 Selección de Accionamientos

Los accionamientos a utilizar en la automatización están determinados en base a la facilidad que otorgará al operario, así como también a la flexibilidad que proporciona el PLC.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente y a la disposición de tener un funcionamiento manual y automático y para la visualización del estado de operación de los dispositivos implementados en el sistema se detalla en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Elementos de mando y visualización

DISPOSITIVO	FUNCIÓN
Selector 3 posiciones	Interruptor de selección manual, automático y apagado.
Pulsador de emergencia	Paro general
Interruptor dos posiciones	Interruptor de motor
3 Pulsadores	Pulsadores de electroválvulas
Interruptor dos posiciones	Interruptor de bomba de agua de la cisterna.
HMI	Pantalla de visualización
Luces	Luces indicadoras de estado de dispositivos.
Buzzer de alarma	Luz piloto con sirena para alarma

Elementos de mando y visualización en tablero de control, Ricardo Ramos

La distribución de los elementos de mando y visualización se muestran en la Figura 3.20 en la cual observamos el tablero de control el mismo que ha sido desarrollado mediante norma para su operación.

Figura 3.20 Tablero de control

Tablero de control con elementos de mando y visualización, Ricardo Ramos

3.24 Selección del Sensor de Temperatura

Para la selección del sensor de temperatura se realizará un cuadro comparativo de ventajas y desventajas entre los diferentes tipos existentes en el mercado y que se adapten a las condiciones de producción del queso fresco semiblando, garantizando su funcionamiento, robustez y precisión para el monitoreo de la temperatura, variable importante para la ejecución de las diferentes etapas de producción. Como se puede observar en la Tabla 3.5.

De acuerdo a la información detallada en la Tabla 3.5 y en función de la necesidad en el desarrollo de la automatización del proceso de elaboración del queso fresco semiblando se utilizará una Termocupla del tipo PT-100, por ser simple, robusta, económica, además que no requiere fuente de voltaje adicional, características necesarias para su implementación.

Tabla 3.5 Comparación de sensores de temperatura

SENSOR DE °T	TERMOCUPLA	RTD	TERMISTOR
VENTAJAS	Simple	Más exacta	Señal de salida alta
	Robusta	Más estable	Rápido
	Económica	Más lineal	Medición a dos hilos
	Diferentes formas		Más sensible
	Rangos altos de temperatura		
	No requiere fuente de poder		
DESVENTAJAS	No lineal	Costosa	No lineal
	Bajo voltaje (señal)	Lenta	Temperatura limitada
	Requiere referencia	Requiere fuente de poder	Frágil
	Menos estable	Poca variación en la resistencia	Requiere fuente de poder
	Menos sensible	Resistencia absoluta baja	Auto calentamiento
		Auto calentamiento	

Cuadro comparativo de sensores de temperatura, *(sapiensman, s.f.)*

3.25 Selección del PLC

Para la selección del PLC que controlará las acciones del proceso de elaboración del queso fresco semiblando se realiza un cuadro comparativo de las características de los controladores lógicos, en el cual se evaluará conveniencia técnica, económica y operacional de acuerdo a las características de la empresa y sus necesidades como se muestra en la Tabla 3.6 garantizando la operatividad en los ciclos de producción de la empresa.

Tabla 3.6 Selección de PLC

PLC	LOGO	S7 - 1200
VENTAJAS	Simple	Diseño escalable
	Robusta	Comunicación industrial
	Económica	Soluciones de gama baja de automatización
	8 entradas digitales	2 entradas analógicas
	4 salidas tipo relé	
	Expandible por módulos	
DESVENTAJAS	No posee entrada analógica	Costosa

Cuadro de ventajas y desventajas de la selección del PLC, Ricardo Ramos

El PLC seleccionado para la ejecución de la automatización del proceso de elaboración del queso fresco semiblando es el SIEMENS LOGO 230RC, debido principalmente a su valor económico y de acuerdo a la aplicación que se va a brindar, ya que al ser un proceso específico no implica la aplicación de un autómata de nivel industrial más avanzado.

3.26 Diagrama Eléctrico

En el diagrama eléctrico se puede diferenciar las conexiones realizadas en el tablero de control para el funcionamiento de la marmita automatizada por etapas, como son protecciones, controlador, aisladores (relés), protecciones térmicas, borneras de conexión, y accionamientos manuales. Véase Anexo 3.

En las líneas R y S de ingreso de 220 VAC están conectados un breaker de protección por cada una, el mismo que protegen al sistema de sobre consumo de corriente.

Los pulsadores P1, P2 y P3 que corresponden a los accionamientos manuales de las electroválvulas EV1, EV2, EV3 y EV4, están conectadas a las entradas I2, I3 e I4 respectivamente en el PLC, y permiten la entrada y salida de datos hacia el controlador. El interruptor de dos posiciones S1, correspondiente al control manual del motor agitador se encuentra asociado a la entrada I5 del PLC.

El interruptor de selección de tres posiciones que permite la selección del modo de operación del equipo, a este se encuentran conectadas las entradas I5 e I6 del PLC, que de acuerdo a su posición determinará el modo de operación ya sea este manual o automático.

El interruptor de selección de tres posiciones S3 permite el accionamiento de la bomba de agua de la cisterna, la misma que posee un modo manual y automático de operación. El accionamiento del interruptor de paro de emergencia efectúa una acción mecánica que corta por completo el flujo de energía en el tablero, garantizando de esta manera la seguridad de los operarios y la planta en el caso de ser requerido.

Las salidas del PLC se encuentran asociadas a relés, los cuales tienen por función aislar las salidas del PLC y evitar un daño en el mismo, en el caso de los motores utilizados tanto para el agitador como para la bomba de agua está conectados sistemas de protección térmicos.

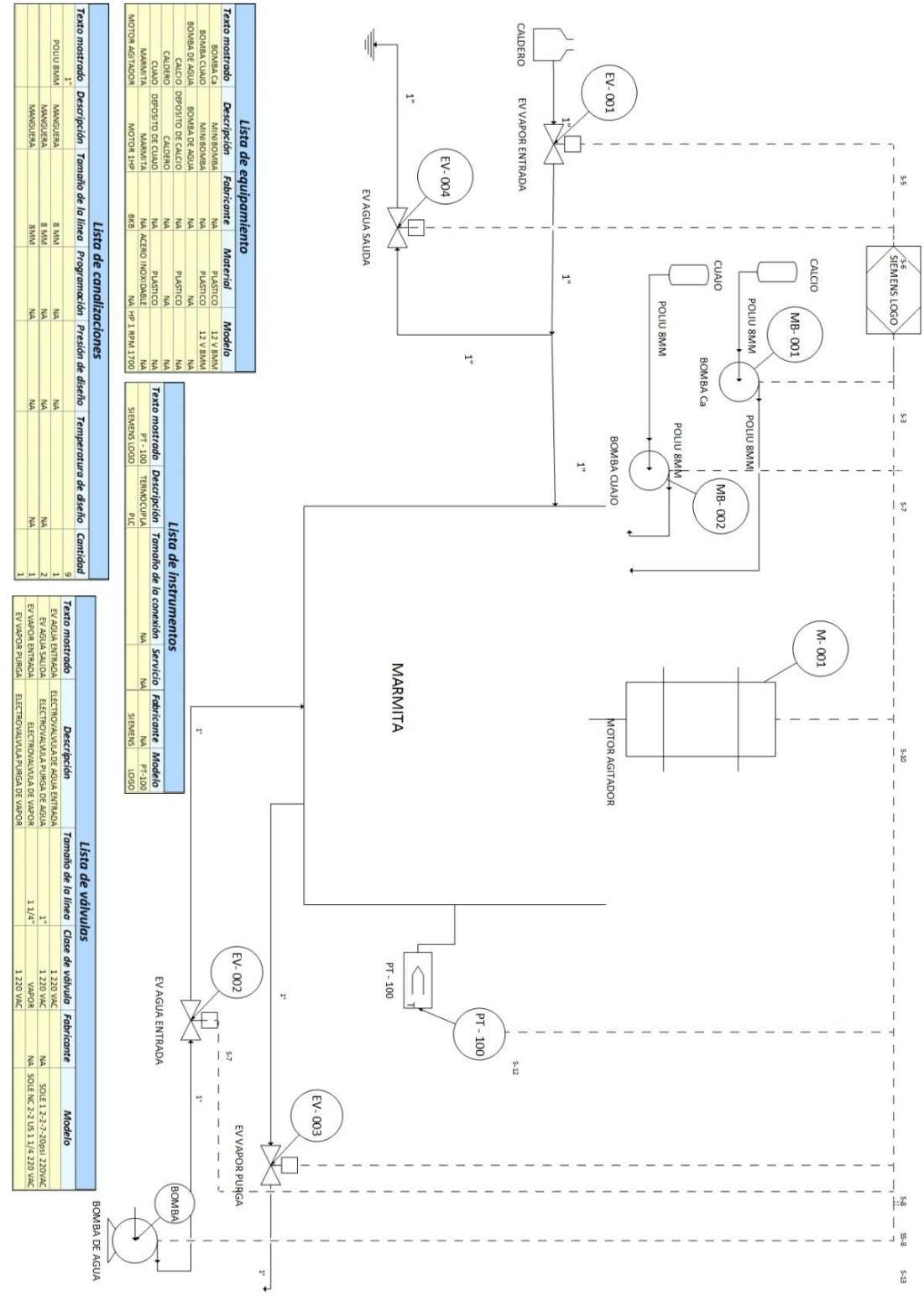
La termocupla PT-100 se encuentra conectada directamente al módulo de adquisición analógica acoplado al PLC.
En el tablero de control se encuentran luces de visualización que muestran el estado de operación de las electroválvulas, las mismas que están asociadas a la activación de los relés.

En el tablero de control para un sencillo conexionado entre los elementos internos y externos al mismo, se han instalado un conjunto de borneras. Como se puede observar en la Figura 3.21.

Figura 3.21 Tablero de control interior

Vista interior del Tablero de Control, Ricardo Ramos.

3.27 P&ID



Lista de equipamiento

Texto mostrado	Descripción	Fabricante	Material	Modelo
BOMBA Ca	MINBOMBA	NA	PLASTICO	12 V 8MM
BOMBA CUAJO	MINBOMBA	NA	PLASTICO	12 V 8MM
BOMBA DE AGUA	BOMBA DE AGUA	NA	NA	NA
CALCIO	DEPOSITO DE CALCIO	NA	PLASTICO	NA
CALDERO	CALDERO	NA	NA	NA
CUAJO	DEPOSITO DE CUAJO	NA	PLASTICO	NA
MARMITA	MARMITA	NA	ACERO INOXIDABLE	NA
MOTOR AGITADOR	MOTOR 1HP	BKB	NA	HP 1 RPM 1700

Lista de Instrumentos

Texto mostrado	Descripción	Tamaño de la conexión	Servicio	Fabricante	Modelo
PT - 100	TERMOCUPLA	NA	NA	NA	PT-100
SIEMENS LOGO	PLC			SIEMENS	LOGO

Lista de canalizaciones

Texto mostrado	Descripción	Tamaño de la línea	Programación	Presión de diseño	Temperatura de diseño	Cantidad
1"						9
POLIU 8MM	MANGUERA	8 MM	NA	NA	NA	1
	MANGUERA	8 MM	NA	NA	NA	2
	MANGUERA	8 MM	NA	NA	NA	1
	MANGUERA	8MM	NA	NA	NA	1

Lista de válvulas

Texto mostrado	Descripción	Tamaño de la línea	Clase de válvula	Fabricante	Modelo
EV AGUA ENTRADA	ELECTROVALVULA DE AGUA ENTRADA	1"	1 220 VAC	NA	SOLE 1 2-2-7-20psi 220VAC
EV AGUA SALIDA	ELECTROVALVULA PURGA DE AGUA		1 220 VAC		
EV VAPOR ENTRADA	ELECTROVALVULA DE VAPOR	1 1/4"	VAPOR	NA	SOLE NC 2-2 US 1 1/4 220 VAC
EV VAPOR PURGA	ELECTROVALVULA PURGA DE VAPOR		1 220 VAC		

3.28 Software PLC

3.28.1 Selección de modo de operación

El software de programación está desarrollado en función de la señal de temperatura receptada por la termocupla PT- 100 ubicada en la marmita y en contacto con la leche. Mediante el selector manual del tablero de control seleccionamos el tipo de operación del equipo, ya sea manual o automático. Como se puede observar en la Figura 3.22.

Figura 3.22 Diagrama de flujo del modo de operación

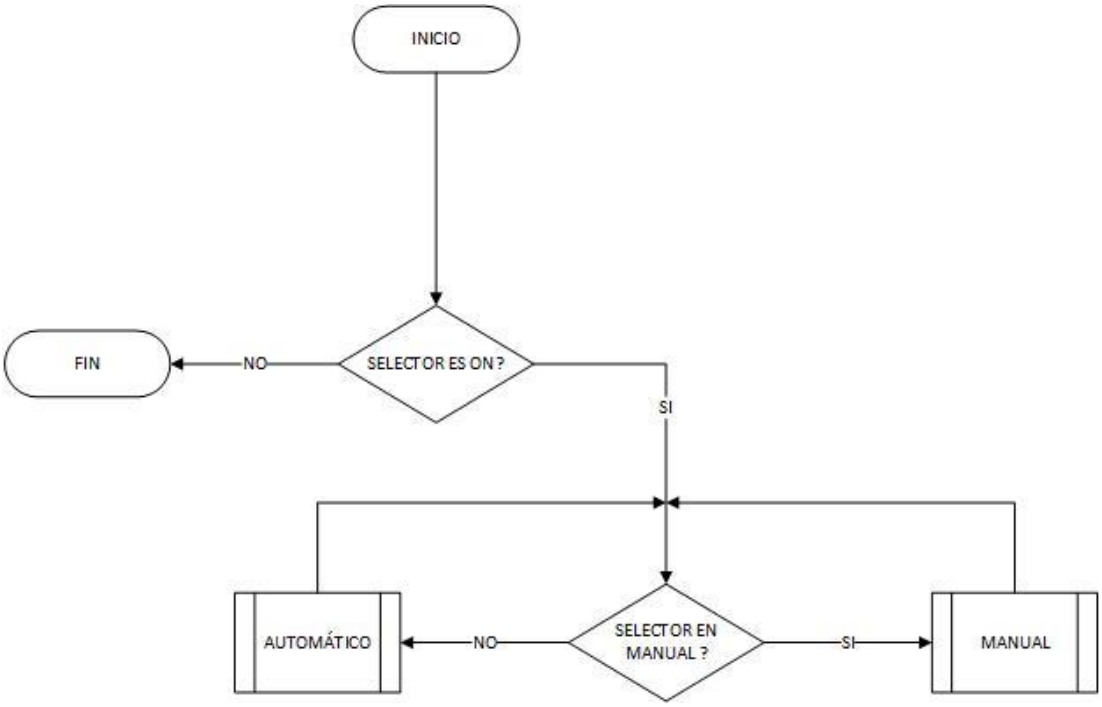


Diagrama de flujo del modo de operación automático y manual

3.28.2 Modo manual

Al seleccionar la operación manual se permite el accionamiento mediante los interruptores o pulsadores de los dispositivos de control como son electroválvulas, bombas de adición, bomba de agua de la cisterna y motor agitador. Como se puede observar en la Figura 3.23.

Figura 3.23 Diagrama de flujo modo manual

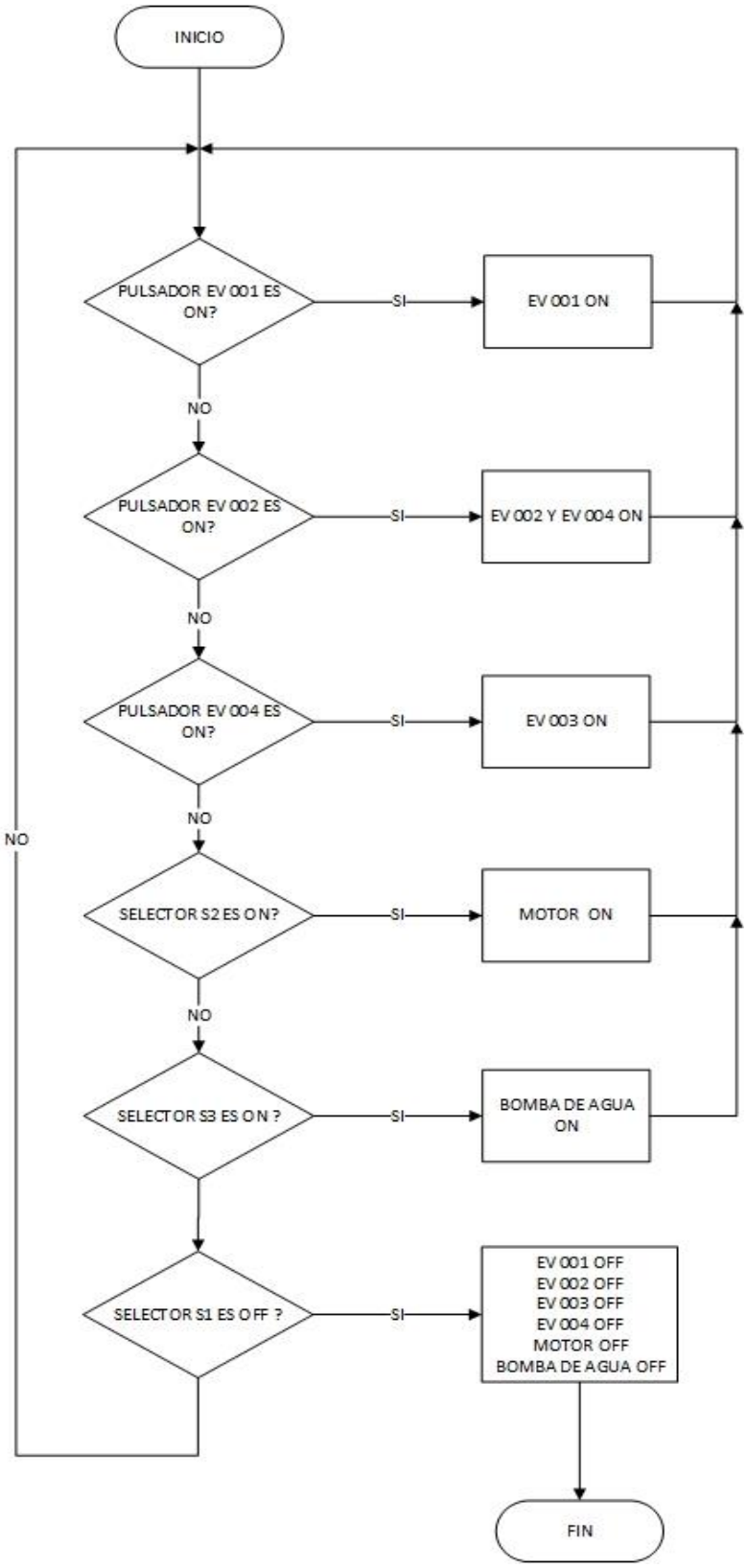


Diagrama de flujo modo manual, Ricardo Ramos

3.28.3 Modo automático

Figura 3.24 Diagrama de flujo modo automático

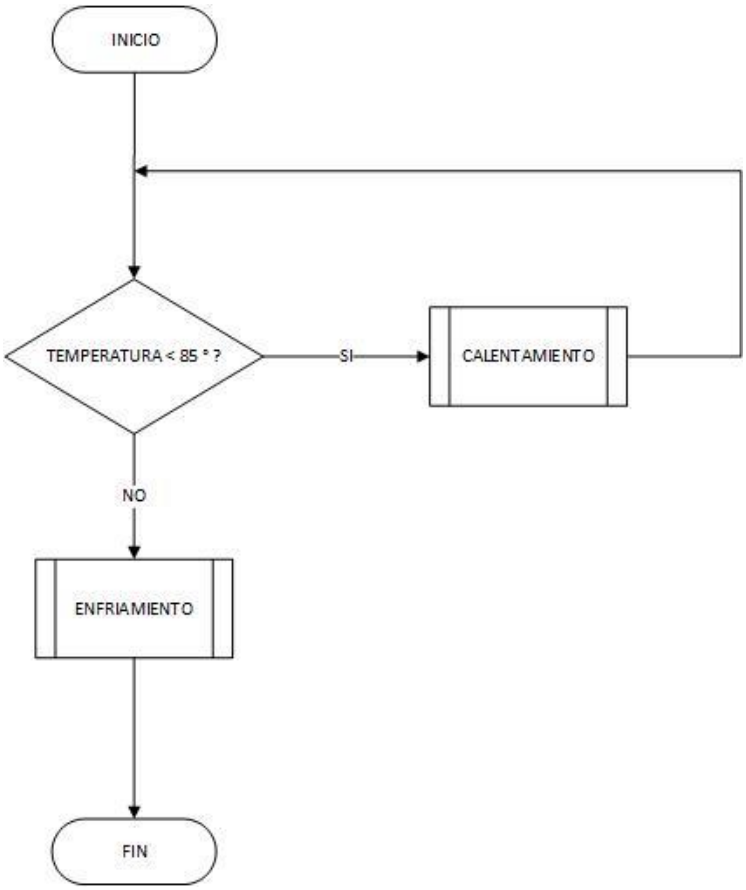


Diagrama de flujo modo automático, Ricardo Ramos

En la selección del modo automático, de acuerdo a la señal de temperatura el proceso determina la etapa correspondiente, ya sea el calentamiento o enfriamiento de la leche para su pasteurización.

3.28.4 Calentamiento

Figura 3.25 Diagrama de flujo calentamiento

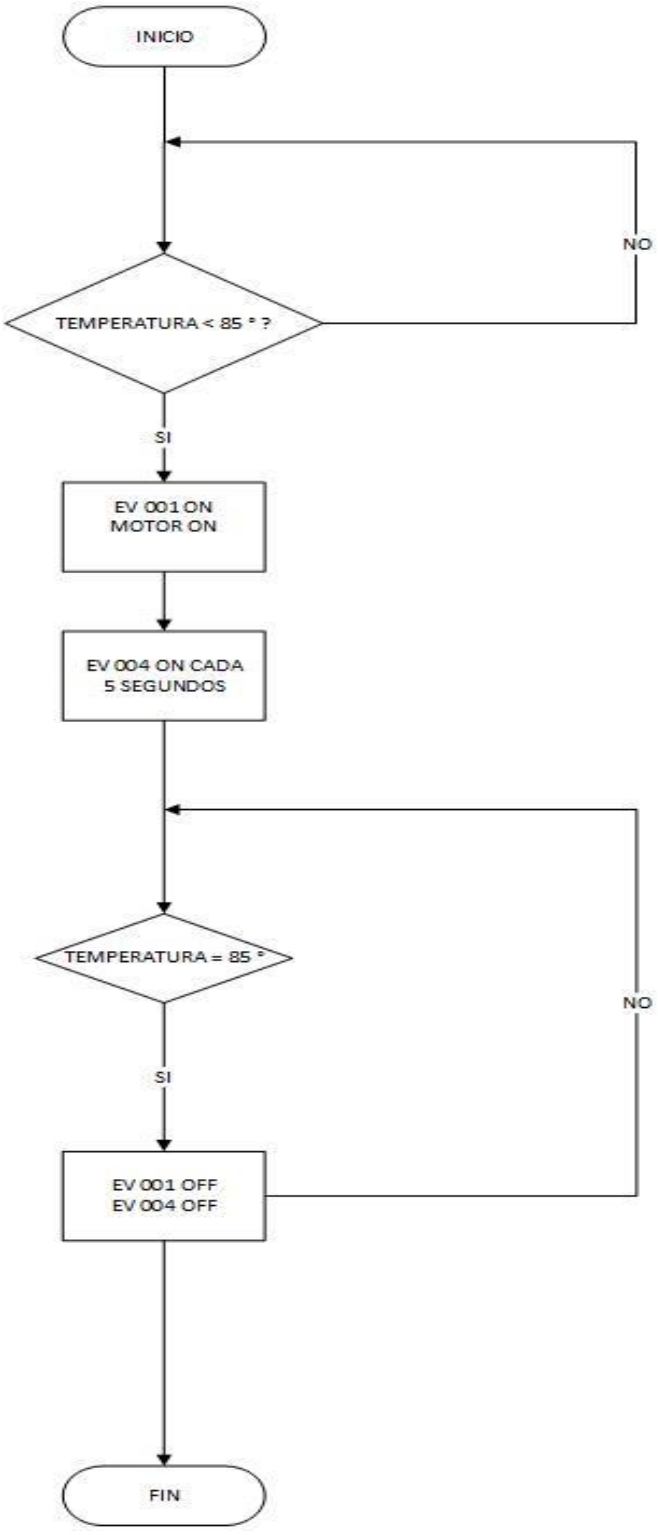


Diagrama de flujo de la etapa de calentamiento de la leche, Ricardo Ramos

El proceso inicia con la activación de la electroválvula de ingreso de vapor, al mismo tiempo es activado el motor agitador, el que permanecerá encendido durante todo el

proceso, ya que su función de agitación permite la transferencia de la temperatura durante el proceso de calentamiento y enfriamiento respectivamente, para el aprovechamiento máximo del calor generado por la caldera, la electroválvula de purga de vapor es accionada intermitentemente cada 5 segundos, evacuando de esta forma el agua producto de la condensación del vapor en conjunto con el vapor remanente.

El proceso de calentamiento estará activo hasta cuando la temperatura de la leche haya alcanzado los 85 °C, temperatura en la cual inicia el proceso de enfriamiento.

3.28.5 Enfriamiento

Cuando la temperatura de la leche a alcanzado los 85° C el PLC, cierra las electroválvulas de ingreso y purga de vapor, y al mismo tiempo enciende la bomba de agua de la cisterna (acción que ha sido implementada fuera de la planificación inicial, para la optimización y mejoramiento de la operación de la planta), además se realiza la apertura de las electroválvulas de ingreso y salida de agua.

Durante el proceso de calentamiento y enfriamiento el motor agitador, ya que mediante el agitador de paletas planas inclinadas contribuye a la distribución uniforme de la temperatura.

Mediante el monitoreo continuo de la temperatura y su procesamiento por el módulo de adquisición analógica del PLC Logo se determina que a los 64 °C se active la mini bomba de adición de calcio por un período de 10 segundos, suficiente para completar la descarga del ingrediente, así también cuando la temperatura ha descendido a los 62 °C es activada la mini bomba de adición de cuajo por un período de 10 segundos.
El motor agitador se detiene y la leche queda en reposo hasta que los efectos del cuajo se hagan presentes y la leche se transforme en cuajada cuando la temperatura de la leche es de 60°.

Una vez cuajada la leche se realiza el cambio de herramienta del agitador de paletas planas inclinadas por la lira, que es introducida con cuidado para evitar el daño del producto, una vez ubicada la lira se enciende de forma manual el motor y se realiza el corte.

Figura 3.26 Diagrama de flujo del enfriamiento

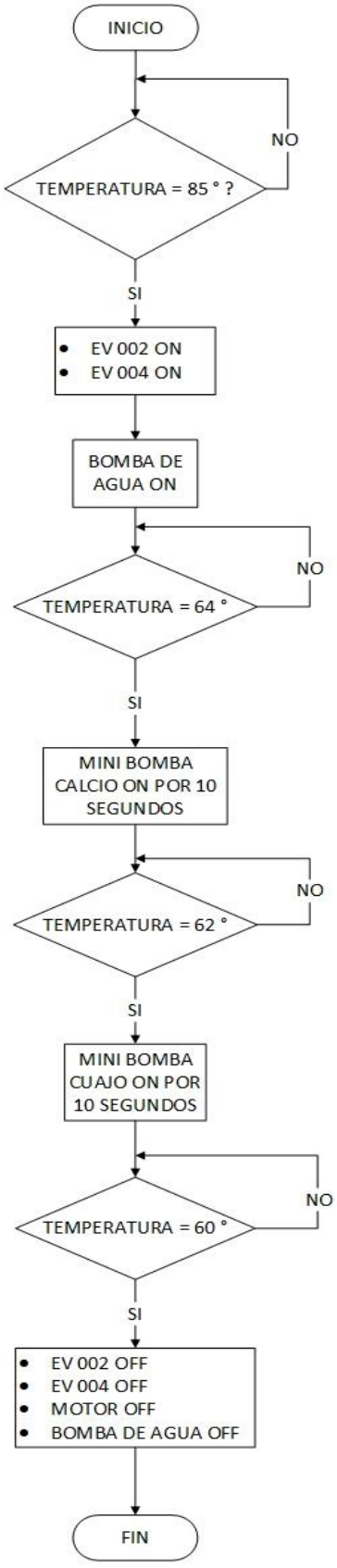


Diagrama de flujo de la etapa de enfriamiento de la leche, Ricardo Ramos

3.29 Software HMI

La interfaz HMI está desarrollada en una pantalla LOGO TD, y mediante su programación el operador puede observar en la misma información, tal como el nombre de la empresa, fecha y hora calendario y de manera especial la variación de la temperatura de la leche en el proceso.

CAPÍTULO 4
PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Pruebas

El desarrollo de la automatización del proceso de elaboración del queso fresco semiblando influye directamente en la rentabilidad de la empresa, dado que, al disminuir los tiempos de producción, optimización del tiempo de producción y la disminución de las horas hombre que necesita el proceso, se ve traducido en rentabilidad económica. Véase Anexo 4.

Para la demostración de tal efecto se muestran los índices de rentabilidad en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Índices de rentabilidad

PROCESO	***MANUAL***	***AUTOMÁTICO***	***UNIDAD***
CALENTAMIENTO	45	20	Minutos
ENFRIAMIENTO	40	15	Minutos
LITROS POR QUESO	4	3.7	Litros
PRODUCCIÓN (500 litros)	125	135	Unidades
OPERARIOS	1	1	Personas
TIEMPO DE OPERARIO EN LA PRODUCCIÓN	Todo el proceso	Dos minutos aproximadamente	minutos

Cuadro comparativo del estado manual y automático, Ricardo Ramos

De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 3.7 se determina lo siguiente:

- Mediante la automatización el proceso es un 2.25 veces más rápido en el tiempo de calentamiento, con respecto al proceso manual de elaboración por el aprovechamiento máximo del calor proporcionado por el vapor y el monitoreo automático de la temperatura.

Cálculo:

$$Rapidez = \frac{tiempo\ manual}{tiempo\ automático} \qquad \text{Ec. (4.1)}$$

Por lo tanto,

$$Rapidez = \frac{45}{20}$$

Rapidez = 2.25 veces mayor.

- La automatización muestra ser un 2.67 veces más eficiente en el tiempo de enfriamiento, por el proceso automático de agitación que provoca una distribución uniforme de la temperatura de la leche al contacto con las paredes de la marmita.

  Cálculo:

$$Rapidez = \frac{40}{15}$$

Rapidez = 2.67 veces.

- La automatización reduce en un 7.5 % el volumen requerido para la elaboración de cada queso porque al ser un controlado electrónicamente reduce totalmente el factor de error humano.

- Debido al mejoramiento en el proceso de producción por la estandarización del proceso en el monitoreo de la temperatura y agitación permanente se muestra un 8 % más de producción de quesos en relación a la forma tradicional d elaboración.

- La automatización permite la optimización del trabajo de los empleados, ya que el operario que permanecía pendiente del monitoreo de la temperatura y la agitación de la leche, tiene el tiempo necesario para realizar otras tareas dentro de la planta en el tiempo de producción.

CONCLUSIONES

El desarrollo de la automatización del proceso de elaboración del queso fresco semiblando de la empresa de lácteos “El Campesino” ha permitido la reducción de los tiempos de producción y la garantía de la estandarización de la calidad del producto, ya que al desarrollar el monitoreo automático de la variable de la temperatura y la agitación mecánica por el motor garantiza la estandarización del proceso, porque la verse disminuida la intervención del ser humano reduce los riesgo de error por descuido, olvido o falta de precauciones.

Del estudio realizado del estado actual de elaboración del queso fresco semiblando se identificó que en el proceso es necesario de la presencia permanente de un operador para la agitación y monitoreo de la temperatura disminuye su capacidad de realizar otras actividades, porque los tiempos y temperaturas dentro del proceso deben ser precisos para evitar la pérdida de materia prima.

El diseño de la automatización está determinado por los parámetros de producción dados por la planta, permitiendo que el proceso mantenga un estándar constante en la producción tanto en calidad como en cantidad, ocasionando un efecto directo en la rentabilidad de la empresa, porque al tener un control automático electrónico de la variable temperatura y la agitación constante en fuerza y velocidad, el proceso se torna repetitivo.

El desarrollo de las adecuaciones mecánicas en la marmita existente se realiza de acuerdo a los equipos seleccionados y sus características físicas para que sean de fácil operación y el aprovechamiento del área de trabajo sin interferir en de manera significativa en el resto de la planta, porque la implementación de la automatización guarda armonía con el entorno de la planta.

El sistema de control automático es implementado con un PLC, el cual mediante la adquisición de una señal analógica de temperatura permite gestionar los parámetros establecidos por la empresa para la ejecución del proceso de elaboración del queso

fresco semiblando, porque el autómata permite ordenar el proceso en tiempos de acuerdo a la variación de la temperatura.

Los datos recolectados de la operación manual y automática del proceso indican que presenta una mejoría marcada respecto al estado anterior, ya que muestra un mejoramiento en tiempo, consumo de energía y horas hombre.

RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos se recomienda a la empresa proyectar la automatización completa del proceso en las etapas posteriores que se realizan fuera de la marmita.

Con la flexibilidad que ofrece la automatización mediante un PLC, se indica que la empresa podría incursionar en la elaboración de otros tipos de queso.

En consecuencia, con la optimización del tiempo de producción se recomienda aprovechar el tiempo de los empleados para la ampliación de mercado comercial.

REFERENCIAS

Campesino", E. d. (s.f.). *Proceso de elaboración de queso fresco semiblando entero.*

CATARINA. (27 de 05 de 2009). *CATARINA*. Obtenido de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/cossio_c_hj/capitulo10.pdf

COCINISTA. (2016). *COCINISTA*. Obtenido de http://www.cocinista.es/web/es/enciclopedia-cocinista/ingredientes-del-mundo/cuajo-de-ternera.html

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION. (2012). *NTE INEN 1528: Norma general para quesos fresco*. Obtenido de https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.1528.2012.pdf

PONCELET. (2016). *PONCELET*. Recuperado el 21 de 09 de 2016, de http://www.poncelet.es/enciclopedia-del-queso/elaboracion.html

PORTAL LECHERO. (19 de 09 de 2016). *PORTAL LECHERO*. Obtenido de http://www.portalechero.com/innovaportal/v/725/1/innova.front/proceso_de_pasteurizacion_.html

HARROT, M. C.-S. (2002). *Operaciones Unitarias Ingeniería.* México D.F.: Mc Graw Hill.

ANEXOS

ANEXO 1

Cálculos para agitador tipo rejilla de palas planas inclinadas

- Longitud del brazo

$$L_B = \frac{5}{8} * \emptyset_m \qquad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

L_B: longitud del brazo

ϕm: Diámetro de la marmita

Por lo tanto:

$$L_B = \frac{5}{8} * 1.16$$

$$L_B = 0.725 \text{ m}$$

- Espesor del agitador

$$E_r = \frac{1}{10} * L_B \qquad \text{Ec. (2)}$$

Por lo tanto,

$$E_r = \frac{1}{10} * 0.725$$

$$E_r = 0.0725 \text{ m}$$

- Diámetro del rodete

$$\emptyset_r = \frac{3}{4} * \emptyset_m \qquad \text{Ec. (3)}$$

Por lo tanto,

$$\emptyset_r = \frac{3}{4} * 1.16$$

$$\emptyset_r = 0.87 \text{ m}$$

Anexo 2

Cálculos para la lira

- Espesor de la lira

$$\boldsymbol{E_l = \frac{1}{10} * L_B} \qquad \text{Ec. (4)}$$

Por lo tanto,

$$\boldsymbol{E_r = \frac{1}{10} * 0.725}$$

$$\boldsymbol{E_r = 0.0725\ m}$$

- Diámetro de la lira

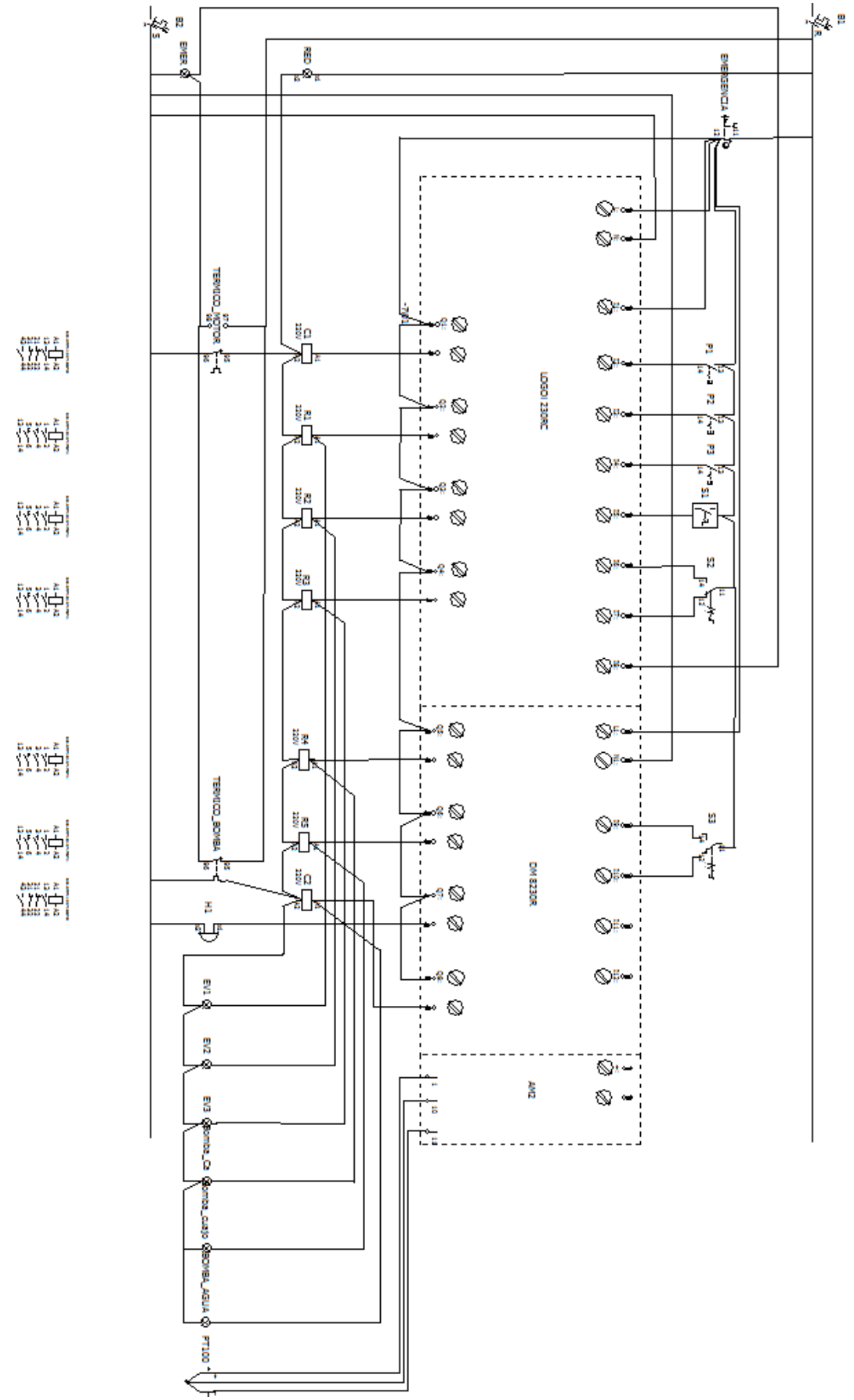
$$\boldsymbol{\emptyset_r = \emptyset_m - 0.04}$$

Por lo tanto,

$$\boldsymbol{\emptyset_r = 1.16 - 0.04}$$

$$\boldsymbol{\emptyset_r = 1.12\ m}$$

Anexo 3



Anexo 4

Tabla de recolección de datos de pruebas realizadas de la operación de la marmita automatizada, datos que han sido recolectados en las pruebas realizadas con agua en primera instancia y con leche en su etapa final de funcionamiento.

Tabla 3.6 Datos de pruebas

FECHA	*VOLUMEN*	*CALENTAMIENTO (MINUTOS)*	*ENFRIAMIENTO (MINUTOS)*	*# QUESOS*
21-Ago-17	350	13	10	AGUA
22-Oct-17	450	18	12	121
20-Nov-17	480	20	15	129
28-Dic-17	500	21	16	135

Datos recolectados de pruebas realizadas en la planta, Ricardo Ramos