

Diseño de la automatización de un prototipo en la línea de producción de queso doble crema para la empresa de lácteos la Esmeralda del municipio de Cerinza- Boyacá

Javier Enrique Saavedra Villamarin

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Tunja – Colombia

Diseño de la automatización de un prototipo en la línea de producción de queso doble crema para la empresa de lácteos la Esmeralda del municipio de Cerinza- Boyacá

Modalidad curso coterminal – Especialización en automatización industrial
Universidad Santo Tomás Bucaramanga.

Javier Enrique Saavedra Villamarin

Informe final

Director ING. Carlos Alberto Cardona Coy

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Electrónica

Tunja – Colombia

Mayo 2022

Advertencia

El contenido de este documento es solo responsabilidad de su autor. La Universidad Santo Tomas seccional Tunja y la facultad de Ingeniería Electrónica quedan exoneradas de todas las consecuencias y responsabilidades que pueda generar este proyecto.

NOTA DE ACEPTACIÓN:

Fecha: Día____Mes____Año____

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Dedicatoria

“Este trabajo se lo dedico a mi hija María Paz Saavedra Tobacia, quien ha sido la mayor motivación para salir adelante, su amor incondicional ha sido lo necesario para cumplir cada meta propuesta.”

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por todas las bendiciones brindadas, por permitirme culminar este proyecto de la mejor manera y brindarme fortaleza y sabiduría en los momentos donde así lo necesite.

A mi familia por todo su sacrificio y paciencia a lo largo de los años, por siempre estar de manera incondicional y brindarme la ayuda necesaria en todos los momentos de mi vida.

A los ingenieros que brindaron con la mayor disposición su conocimiento con el fin de aportar a la formación, tanto integral como profesional con la que cuento en este momento.

A la empresa procesadora de lácteos La Esmeralda por permitir el desarrollo de este proyecto, siempre brindando la mayor ayuda, información y colaboración, así como el personal de trabajo de la planta que con su paciencia y tiempo fueron fundamentales en la elaboración de este proyecto.

Finalmente quiero agradecer a todas las personas que de alguna u otra manera han influido de manera positiva en el desarrollo de este proceso que culmina de manera exitosa.

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	PROBLEMA	15
2.1	FORMULACIÓN DE PREGUNTAS.....	15
2.2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	15
2.3	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	16
3.	JUSTIFICACIÓN.....	17
4.	OBJETIVOS.....	18
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	18
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
5.	MARCO REFERENCIAL.....	19
5.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.	19
5.2	NORMATIVA LEGAL QUE RIGE LA ACTIVIDAD DE ELABORACIÓN DE QUESOS.	20
5.3	MARCO CONCEPTUAL	20
5.4	MARCO TEÓRICO.....	21
6.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
6.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.	27
6.2	POBLACIÓN.....	27
6.3	DESARROLLO METODOLÓGICO.....	28
7.	RESULTADOS	32
7.1	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	32
7.1.1	RECEPCIÓN.	32
7.1.2	PREPARACIÓN	33
7.1.3	EXTRACCIÓN DE SUERO E HILADO	34
7.2	DIAGRAMA P&ID	36
7.2.1	PROCESO P&ID	36
7.3	GRAFCET DE PROGRAMACIÓN.....	39
7.4	PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN	44
7.4.1	Configuración de dispositivos.	44
7.4.2	Configuración entradas analógicas.	45
7.4.3	Programación Ladder.....	47
7.4.4	Simulación interfaz HMI	49

7.4.4.1Vista de proceso.....	50
7.4.4.2Parámetros de operación.....	52
8. ESTIMACIÓN DE COSTOS.....	55
9. CONCLUSIONES	57
Bibliografía	59

Lista de Figuras

FIGURA 1: PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO DOBLE CREMA. FUENTE: AUTOR.....	21
FIGURA 2: DESARROLLO METODOLÓGICO. FUENTE: AUTOR.....	28
FIGURA 3: PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO DOBLE CREMA. FUENTE: AUTOR.....	38
FIGURA 4: GRAFCET DESCRIPTIVO FUENTE: AUTOR.....	41
FIGURA 5: CONEXIÓN DE DISPOSITIVOS. FUENTE: AUTOR	44
FIGURA 6: CONEXIÓN ENTRADAS ANALÓGICAS. FUENTE: AUTOR	45
FIGURA 7: CONEXIÓN ENTRADAS Y SALIDAS ANALÓGICAS. FUENTE: AUTOR	46
FIGURA 8: TRATAMIENTO SEÑAL ANALÓGICA A SEÑAL DIGITAL. FUENTE: AUTOR	46
FIGURA 9: PROGRAMACIÓN FUNCIÓN DE ESTADOS LADDER. FUENTE: AUTOR.....	47
FIGURA 10: FUNCIÓN CONEXIONES DE SALIDA. FUENTE: AUTOR.....	49
FIGURA 11: PANEL PRINCIPAL INTERFAZ HMI. FUENTE: AUTOR	49
FIGURA 12: VISTA DEL PROCESO INTERFAZ HMI. FUENTE: AUTOR.....	50
FIGURA 13: VISTA DEL PROCESO TANQUE DE ALMACENAMIENTO INTERFAZ HMI. FUENTE: AUTOR	51
FIGURA 14: VISTA DEL PROCESO TANQUE DE MEZCLADO INTERFAZ HMI. FUENTE: AUTOR.....	51
FIGURA 15: PARÁMETROS DE OPERACIÓN INTERFAZ HMI. FUENTE: AUTOR.....	52
FIGURA 16: CONFIGURACIÓN DE SENSORES PARÁMETROS DE OPERACIÓN INTERFAZ HMI. FUENTE: AUTOR.....	53
FIGURA 17: ASIGNACIÓN PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN SENSORES INTERFAZ HMI. FUENTE: AUTOR	53

FIGURA 18: ASIGNACIÓN PARÁMETROS DE OPERACIÓN EN SENSORES INTERFAZ HMI. FUENTE:
AUTOR 54

Lista de Tablas

TABLA 1:ESPECIFICACIONES PLC S7-1200 FUENTE: AUTOR	24
TABLA 2: ESPECIFICACIONES KTP700 FUENTE: (INDUSTRY.SIEMENS, S.F.)	26
TABLA 3: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN FUENTE: AUTOR	32
TABLA 4: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN FUENTE: AUTOR	34
TABLA 5: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PREPARACIÓN FUENTE: AUTOR	34
TABLA 6: ENTRADAS DEL PROCESO. FUENTE: AUTOR	39
TABLA 7: SALIDAS DEL PROCESO. FUENTE: AUTOR.....	40
TABLA 8 PRESUPUESTO RECURSOS FÍSICOS. FUENTE: AUTOR.....	56
TABLA 9: PRESUPUESTO RECURSOS HUMANOS. FUENTE: AUTOR	56

Lista de Ilustraciones

ILUSTRACIÓN 1: TANQUE DE ALMACENAMIENTO EMPRESA DE LÁCTEOS LA ESMERALDA.	33
ILUSTRACIÓN 2: TANQUE DE MEZCLADO EMPRESA DE LÁCTEOS LA ESMERALDA	35
ILUSTRACIÓN 3: HILADOR EMPRESA DE LÁCTEOS LA ESMERALDA.....	35

RESUMEN

La empresa de lácteos la esmeralda ha venido desarrollando por más de 30 años su actividad comercial, dedicándose a la producción y elaboración de quesos fresco, todo esto de manera artesanal, razón por la cual con el fin de prestar una mejora a sus productos se elabora este diseño de automatización para la línea de producción de queso doble crema.

Mediante la colaboración de tareas mecánicas y con el fin de una adaptación de equipos eléctricos, así como electrónicos se busca diseñar un entorno en la planta que de fácil manejo a operarios como también mejore procesos, y usando las aplicaciones que presta el PLC estandarice cada etapa sabiendo que la fabricación de queso es una labor repetitiva permitiendo una mejora en producción.

Lo principal es entender el proceso que lleva la elaboración de queso, desde la recepción de la leche a la planta hasta la fabricación en cada una de sus etapas donde cada detalle es vital para obtener el producto deseado.

En este diseño se elaboró una selección de instrumentos, así mismo, controladores y equipos necesarios, el graficet del proceso detallando cada etapa de la producción y se obtienen las ecuaciones del graficet, lo cual nos será de gran ayuda para la programación del PLC. Por último, la simulación que permitirá observar la interacción del operario con el proceso mediante una interfaz HMI, en esta se podrá tener control de cada variable, como corroborar el correcto funcionamiento de cada equipo.

1. INTRODUCCIÓN

La Esmeralda es una empresa familiar que está ubicada en el municipio de Cerinza- Boyacá, zona ganadera y agrícola, la cual se dedica a la fabricación, producción y distribución de queso fresco, donde su mercado principal es en las ciudades principales de Bogotá, Tunja y Duitama; la producción diaria de la empresa es de 400 quesos del tipo doble crema teniendo una capacidad de 800 litros de leche, esta materia prima principal es recogida de las fincas cercanas de la zona, lo cual, incentiva la economía principal de la región.

La producción de la empresa se lleva en su totalidad de manera manual, donde es habitual que por fallas humanas se cometan errores en la fabricación, por ende, perdidas de materia prima y como consecuencia alargue en los tiempos de trabajo y de distribución.

En la medida que se implemente el diseño en la planta, se observaría una mejora notoria en la calidad del producto final; lo cual, ayudaría a mejorar la competitividad en el sector evidenciado en un proceso ágil, confiable y de calidad.

La automatización en el área de alimentos es cada vez más común debido a la repetición de tareas, adicionalmente manejan una gran rentabilidad, siendo así una inversión fácil de recuperar. Lo anterior, teniendo en cuenta que el país tiene un creciente consumo de este producto y esta área permite suplir la demanda en los momentos que se aumenta la producción en ventas, en el entendido que es una zona altamente ganadera y productora de leche.

La empresa La Esmeralda fabrica diferentes productos derivados todos de la leche, como lo son: queso pera, cuajada y queso campesino; pero es de resaltar que la mayor producción de la empresa se centra en el queso doble crema. Es por esto, que se plantea el diseño en este tipo de queso en específico, pero siendo utilizable para las etapas de los otros productos ya que la recepción de la leche, pasteurización, coagulación, hilado y prensado son las mismas para los diferentes productos.

2. PROBLEMA

2.1 FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

Mediante el desarrollo del proyecto planteado se buscó dar respuesta a las siguientes preguntas.

- ¿Qué riesgos puede presentar el proceso de implementación de este proyecto?
- ¿Qué tipo de sensores, actuadores y controladores son adecuados para la lectura de las diferentes variables involucradas en el proyecto?
- ¿Cuáles son los beneficios de la automatización en procesos alimentarios?

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las practicas actuales que se tienen en los procesos de elaboración de quesos frescos de la empresa de lácteos La Esmeralda limita la capacidad de crecimiento y de producción, donde los procesos manuales y la constate monitorización de las variables necesarias hacen que sea permanente la presencia de operarios durante las diferentes etapas, impidiendo que se puedan emplear en otras tareas propias de la empresa.

Así mismo el constante contacto del operario con el producto puede agregar factores externos al producto, como suciedad, humedad o calor lo cual es susceptible a daños al ser el queso un alimento no perecedero e higiénicamente delicado.

Es necesario que la leche se encuentre en una agitación constante la cual es realizada por el operario, al no ser realizada de manera constante puede presentarse escenarios indeseados como la adherencia en las paredes de su recipiente y perdidas de transferencia de calor que da como resultado aumento en los tiempos de producción.

La empresa La Esmeralda sabe que un proceso de automatización es primordial, pues la alta demanda que tienen los productos ha generado la necesidad de abordar niveles requeridos de calidad constante del producto, velocidad en la producción, cumplimiento de las normas de higiene, alta disponibilidad y eficiencia en cada una de las etapas para llegar a un resultado rentable y con valor agregado al consumidor final.

Es por lo anterior, que se hace necesario automatizar la cadena de producción de queso doble crema; siendo de relevancia la reasignación de recursos humanos, pues se ha evidenciado problemas de pérdidas y desperdicios de materias primas que se traducen en reducción de la productividad y competitividad. Es por esto, que la garantía que ofrece el control de procesos permite que una empresa regional como lo es Lácteos La Esmeralda pueda optimizar los procesos y garantizar productos con parámetros de uniformidad y calidad idénticos.

2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En base a los procesos de fabricación de la empresa y a las situaciones que conllevan la producción de sus productos primarios, se limita el proyecto a un modelo de diseño donde se busca analizar la viabilidad al ser una implementación costosa, debido al alto valor de diferentes instrumentos que lo componen.

Es por lo anterior, que se plantea un diseño de automatización por medio de simulación, siendo esta iniciativa de proyecto de gran relevancia en los procesos de recepción de la leche, pasteurizado, adición del cuajo, mezclado, corte e hilado; todo esto, sin tener el compromiso de que la empresa realice una futura implementación en su fábrica o cambie sus técnicas de trabajo.

El diseño principal de este proyecto se dirige principalmente a la empresa de Lácteos la Esmeralda, la cual, tiene única sede en el municipio de Cerinza del departamento de Boyacá, donde se trabajará con la formula única de esta empresa por lo cual el proyecto tendrá aplicación única en esta sede mencionada y bajo los parámetros de la empresa.

3. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la industria busca optimizar procesos de producción, para este fin la automatización se convierte en una herramienta a la hora de mejorar procesos que tradicionalmente se realizan de manera manual y que se vuelven repetitivos, como lo son la mayoría de las tareas en el área de alimentos. La fabricación de quesos no es la excepción, con la creciente demanda de este producto, las empresas buscan estandarizar su fabricación.

Este trabajo tiene como finalidad analizar las ventajas de la automatización desde un primer acercamiento, tal como lo son; el diseño y el prototipo de una planta de producción. Así mismo, estandarizar y controlar las etapas de: recepción de la leche, pasteurizado, adición de cuajo e hilado que lleva la elaboración de este producto.

Con la estandarización de procesos la empresa de lácteos La Esmeralda lograría asegurar un producto óptimo, generando aumento en su producción y mayor cobertura del mercado llevando quesos a más lugares, lo que mejoraría considerablemente su competitividad en el sector.

4. OBJETIVOS.

4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño de automatización para los procesos de recepción de leche, pasteurización, cuajada e hilado en la producción de queso doble crema en la empresa Lácteos la Esmeralda en el municipio de Paipa, departamento de Boyacá, con el fin de mejorar la producción y obtener una reducción de tiempo durante procesos.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Seleccionar la instrumentación, sistemas de control y de comunicación necesaria para cada una de las etapas a simular en la fabricación de queso doble crema.
2. Elaborar un modelo de representación gráfica (Grafcet) para observar las secuencias que llevaran el proceso y determinar las ecuaciones en cada una de las etapas.
3. Desarrollar la programación del sistema PLC en busca de optimizar la producción.
4. Simular el sistema de la línea de producción desde el lenguaje industrial Ladder y agregar una interfaz HMI que permita observar el proceso.
5. Realizar el análisis financiero para calcular los costos necesarios en una eventual implementación.

5. MARCO REFERENCIAL.

5.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.

Los procesos alimentarios viven actualmente en un desarrollo cambiante y los productos lácteos constituyen un elemento de primera necesidad desde tiempos remotos, donde en un principio las preparaciones se realizaban de forma manual en hogares o industrias pequeñas, incluso en tiempos modernos observamos que gran cantidad del producto se sigue generando empresas de pequeña escala. Teniendo en cuenta esta situación, se han realizado diferentes avances y estudios con el fin de mejorar el proceso y tecnificar el resultado final.

Proyectos como “Diseño de la automatización de un prototipo de línea de producción de quesos maduros” desarrollado por Carlos Julio Vega Cuaical demuestra que no solo a nivel local se busca mejorar los procesos en este campo de producción; sino que en gran parte de Latinoamérica se busca mejorar las condiciones tanto sanitarias como laborales, buscando por medio de análisis funcional como investigación de campo obtener un diseño eficiente para mejorar en ese caso específico el tipo de queso madurado. Así mismo, Ángel Luis Reyes y Ever David Vergara proponen una implementación en la elaboración de queso costeño siendo un queso con denominación de origen protegido lo que quiere decir que solo se puede elaborar en lugares geográficamente específicos. (Incremento del consumo de queso en Colombia, 2016)

Se puede decir que cada empresa busca utilidades diferentes y cada investigador tiene sus propios métodos como en el caso de Edy Galindo que en su trabajo de investigación “Diseño de sistema automatizado para las etapas de pasteurización e hilado en el proceso de elaboración de queso de la empresa del altiplano productos lácteos del municipio de Jenesano – Boyacá.” Se enfoca en automatizar dos etapas que para muchos procesos lácteos son comunes y representan una gran mejoría, como los son la etapa de pasteurizado y la etapa de hilado; siendo estas donde más factores suelen fallar por los estándares de higiene, errores humanos o cualquier riesgo que pueda tener para el producto final. (Galindo, 2021)

5.2. NORMATIVA LEGAL QUE RIGE LA ACTIVIDAD DE ELABORACIÓN DE QUESOS.

Según el decreto 616 de 2006 de la constitución política de Colombia, se expide el reglamento básico técnico que debe cumplir la leche para el tratamiento y posteriormente el consumo humano. Dentro de esta actividad hay diferentes normas las cuales se deben cumplir para el desarrollo de este proceso, por ejemplo, el capítulo II en sus artículos 4 y 5 se habla de los requisitos básicos que se deben tener a la hora del registro ganadero con el fin de garantizar el mínimo riesgo de contaminación de leche.

En cuanto a la recolección y transporte de leche en el capítulo III se da a conocer las propiedades que debe tener la leche y sus derivados a la hora del transporte y tratamiento por parte del personal que vaya a operar. (Decreto 616 de 2006, 2006)

En cuanto al tratamiento específico en la producción de queso la norma NTC 750 se encarga de establecer las definiciones, clasificación y requisitos que deben cumplir los quesos para ser apropiados para consumo humano; desde los requisitos microbiológicos hasta las tomas de muestras para determinar las propiedades adecuadas y estandarizadas que debe tener el queso según la norma. (NORMA TÉCNICA NTC750, Productos lacetos.Queso, 2000)

5.3 MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo de este capítulo comprenden los términos básicos en la industria lechera, donde las propiedades de este compuesto principal son de vital importancia a la hora de obtener un producto de buena calidad.

A sí mismo, observaremos los principios teóricos que abarcan cada etapa para la elaboración del queso en este caso enfocado al queso doble crema desde la recepción de la materia prima, su preparación, moldeado y empacado.

Leche: Es el producto de la secreción mamaria normal de animales bovinos, bufalinos y caprinos lecheros sanos, obtenida mediante uno o más ordeños completos, sin ningún tipo de adición, destinada al consumo en forma de leche líquida o a elaboración posterior. (Decreto 616 de 2006, 2006)

Queso: El queso es un producto alimenticio que se obtiene del separar los componentes solidos de la leche, la cuajada con los líquidos, suero, esto mediante la coagulación de la leche cruda o leche pasteurizada y el adicionamiento de cuajo y el escurrimiento del suero que se produce de tal coagulación. (GRAJALES, 2009)

Queso doble crema: Es un derivado lácteo obtenido de la separación de las proteínas de la leche las cuales al agruparse forman la cuajada, esta separación se realiza por medio de la adición de bacterias como lo es el cuajo, luego se realiza el proceso característico de este tipo de queso que consiste en hilar esta cuajada hasta lograr una pasta elástica. (JIMÉNEZ, 2018)

Cuajo: Es una sustancia que tiene la propiedad de coagular o cuajar la leche, esta se obtiene a partir de la mucosa del estómago de la cría de algunos animales, cuya acción es transformar la caseína insoluble y coagular la leche. Este proceso de creación de cuajada de leche es una etapa fundamental en la elaboración de productos como el queso. (CUAICAL, 2017)

5.4 MARCO TEÓRICO

Proceso de elaboración de queso doble crema

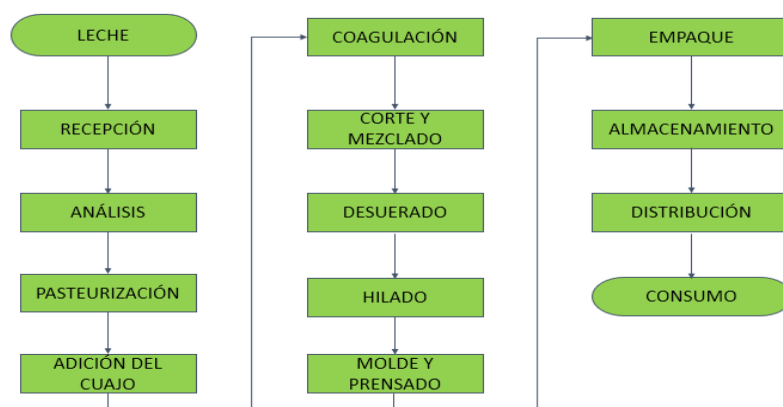


Figura 1: Proceso de elaboración del queso doble crema. Fuente: Autor

Recepción y análisis

Para el proceso de producción de quesos se comienza por el recibimiento de la materia prima que en este caso será la leche, la cual se transporta en camiones cisterna de depósito, que son provenientes de granjas productoras esto a partir del ganado vacuno o bovino.

En el momento de la recepción de la materia prima se realiza un control de calidad, a través, de un análisis microbiológico donde se determina el estado en que se encuentra la leche así mismo se toma su acidez, PH y grasa donde se verifica que cumpla con los requisitos necesarios para su tratamiento. (ANGEL LUIS REYES HERRERA, 2016)

Pasteurización.

En el momento de la recolección de la leche se pueden adquirir numerosas bacterias que pueden ser dañinas para la salud por lo cual el proceso de pasteurizado tiene como objetivo destruir estas bacterias que pueden afectar el producto final.

Este proceso consiste en el calentamiento de la leche hasta alcanzar una temperatura de entre 63°C y 65°C esto por unos 30 minutos, no se recomienda que la leche llegue a altas temperaturas por que puede perder sus propiedades principales en el momento de la coagulación, evidenciándose en una mayor adición de cuajo, mayor tiempo de desuerado y un cuajo más débil. (ANGEL LUIS REYES HERRERA, 2016)

Adición del cuajo y coagulación.

El cuajo es un líquido utilizado a la hora de la coagulación de la leche, dependiendo de la cantidad de cuajo agregada será la efectividad de la leche coagulada, para esto se determina que la leche debe estar a una temperatura de 38°C y debe estar en una agitación constante todo con el fin de tener una separación de la leche cuajada y el suero de leche.

Normalmente el tiempo de batido para que se forme la cuajada depende directamente de la acidez y el PH que posea la leche a la hora de su tratamiento para la utilización, se estima que por cada 100 litros de leche se agrega una cantidad de 400 gr de cloruro de calcio, lo cual, permite acondicionar la leche para su posterior adición de cuajo que sería de 7ml por cada 100 litros de leche.

La consecuencia de la cuajada es la solidificación de la leche que luego de unos 30 minutos de batido va a adquirir una apariencia gelatinosa de color blanco que indica que es la hora de cortar y pasar a la siguiente etapa. (Corrales Torres Daniel, 2005)

Corte y desuerado

Al realizar la separación del suero de la cuajada resultante, se busca obtener la consistencia deseada para luego prensar en moldes plásticos para eliminar los sueros que puedan quedar y darle más dureza.

Hilado

Para productos como el queso doble crema la etapa de hilado es fundamental, la cual, consiste en un mezclado constante de la cuajada resultante a una temperatura de 50°C por un tiempo de 30 a 35 minutos hasta conseguir una pasta elástica y consistente.

Empaque y almacenamiento.

El empaque se hace en el momento después del hilado al ser quesos frescos no se requiere de tiempo de maduración, por lo cual, se empaqueta en un material que no permita el paso de humedad. Por lo general, es un empaque plástico y se debe almacenar en refrigeración con el fin de evitar el crecimiento de microorganismos y se rotula con fecha y hora de cada lote de producción. (ANGEL LUIS REYES HERRERA, 2016)

Selección del PLC

Para procesos de automatización en prototipos de alimentos se busca que el fin sea la industrialización donde se emplean autómatas programables o bien conocidos PLC, donde la determinación de entradas y salidas será la principal característica que se tiene en cuenta a la hora de escoger el controlador a operar, (Señales de tensión o corriente, pulsos de 0/5 V, 0/24 V, tensiones alternas de 110V, 220V, tensiones continuas 12/24/48V , etc.) que permita manejar distintos equipos y etapas de manera simultánea como(sensores, actuadores , etc.) (Macias, 2011)

Con el fin de controlar una gran variedad de aplicaciones las características que posee el PLC S7-1200 es una alternativa idónea para este tipo de proyectos por su bajo costo, facilidad de operabilidad, diseño compacto y documentación que posee al ser procesos específicos no implica la utiliza de autómatas de nivel industrial más avanzado.

Fabricante	SIEMENS
Referencia	6ES7211-1AE40-0XB0
Tipo	2110
Memoria	30 Kbyte
Número máximo de módulos	0
Puertos	1
Norma Física	RJ45
Intensidad ED	ETH PROFINET
Entradas digitales	6
Tipo de entrada digital	DC24V DC24C -M
Intensidad ED	1mA
Salidas digitales	4
Tipo de salidas digital	DC24V
Intensidad SD	500mA
Entradas analógicas	2
Tipo de entradas analógicas	0 a 10V
Salidas analógicas	0
i5v	750mA
Ancho	90mm
Alto	100mm
Profundidad	75mm
Temperatura mínima	-20°C
Temperatura máxima	60°C
Peso	0,37kg
Tensión de alimentación	DC24V
Intensidad de alimentación	300mA

Tabla 1: Especificaciones PLC S7-1200 Fuente: Autor

Selección pantalla HMI

En el momento de planificar cualquier proyecto es importante tener en cuenta todos los factores que se verán involucrados, como lo son; las personas, los procesos y la tecnología. En estos procesos la conexión entre operario y maquina es crucial y realizar un entorno amigable es un objetivo necesario, es por esta razón que la implementación de una pantalla HMI se convierte en una herramienta que permite llevar el control de los procesos, permitiendo identificar la ejecución de que cada uno de manera correcta.

La pantalla HMI de referencia KTP 700 es una gran opción para este tipo de proyectos al ser de los mismos fabricantes SIEMENS tiene gran conectividad con el PLC seleccionado, así mismo, permite su simulación y su operación en etapas previas a la implementación física, es amigable al usuario al ser una pantalla táctil pero que a su vez tiene botones funcionales y fácil uso.

Serie del Fabricante	KTP 700
Tipo de Display	LCD
Tamaño del Display	7 pulg.
Resolución del Display	800 x 480pixels
Color del Display	Color
Número de Puertos	1
Tipo de Puerto	Ethernet
Tipo de Procesador	32 Bit RISC
Memoria Integrada	1.024 kB
Retroiluminación	Sí

Tensión de Alimentación	24 Vdc
Longitud	335mm
Índice de Protección IP	IP20, IP65
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+40°C
Profundidad	60mm
Temperatura de Funcionamiento Mínima	0°C
Dimensiones	335 x 275 x 60 mm

Tabla 2: Especificaciones KTP700 Fuente: (industry.siemens, s.f.)

6. DISEÑO METODOLÓGICO.

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

Con el fin de aplicar diversas estrategias se desarrollará una investigación aplicada, ya que se aborda un problema específico y se utilizarán conocimientos prácticos adquiridos durante el estudio del problema, así mismo, se busca impulsar una actividad laboral cotidiana y darle un impacto positivo.

Con esta investigación se pondrán en práctica las diversas habilidades y conocimientos adquiridos durante el proceso de formación, enfocándose en el área de automatización industrial, los cuales se evidencian en la selección de instrumentos, controladores, sensores, desarrollo de planos P&ID y programación de controladores como son PLC.

6.2 POBLACIÓN.

La elaboración de queso y derivados de la leche son una industria que vive un aumento constante al ser un producto de la canasta básica en toda Colombia. La zona de Boyacá, Cundinamarca y alrededores son grandes productores gracias a su ubicación geográfica que le permite tener un clima adecuado para la crianza de animales bovinos productores de leche, la empresa Lácteos La Esmeralda al ser una empresa con gran reconocimiento en la zona y al tener la capacidad de recepción de leche, busca aumentar su producción y tecnificar su planta mediante una primer etapa, la cual, es el diseño previo a una implementación que le permite calcular el impacto que esta estandarización tendrá.

6.3 DESARROLLO METODOLÓGICO

De manera general este proceso de automatización se compone de 8 etapas previas antes de su implementación, las cuales son:

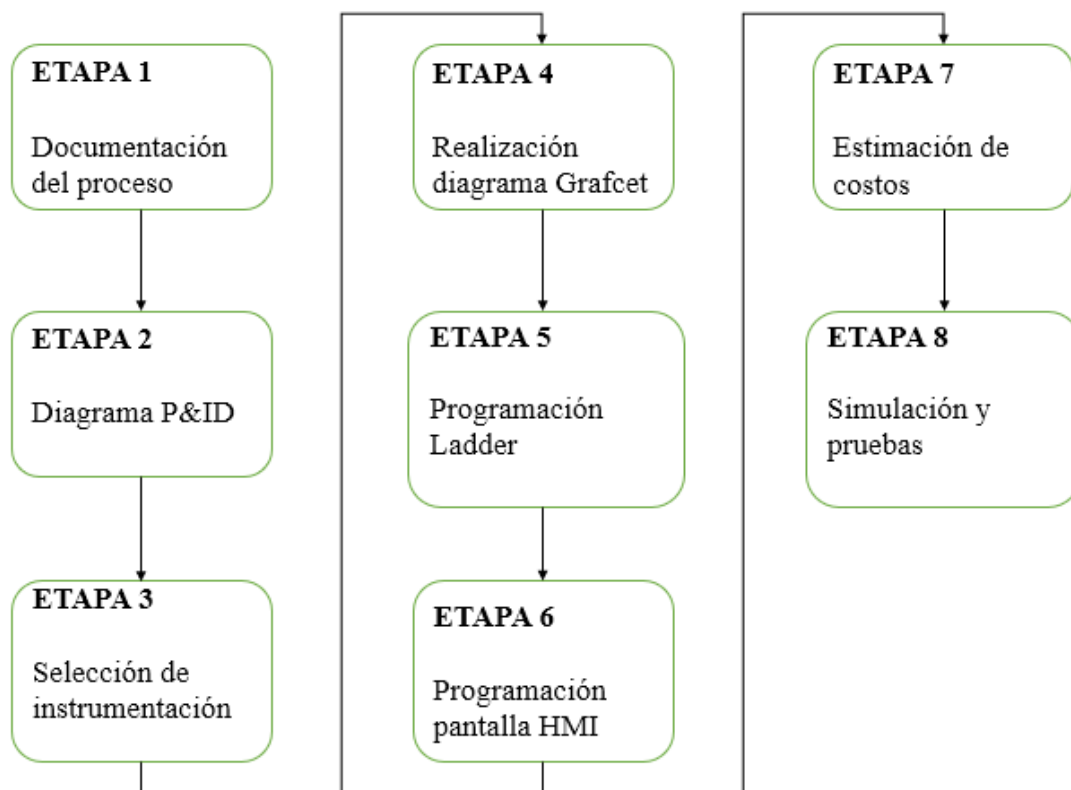


Figura 2: Desarrollo metodológico. Fuente: Autor

Documentación del proceso

Como primera etapa y previo a cualquier etapa de diseño, se lleva a cabo un estudio del proceso que lleva la elaboración de queso doble crema donde es importante conocer y documentar cada técnica y cuidados que tienen la receta que maneja la empresa Lácteos la Esmeralda, e identificar por medio de visitas a la planta de producción el nivel de tecnificación que posee y las etapas que requieren una automatización y los beneficios que esta tendría.

Diagrama P&ID

Tomando como referencia la norma ISA-S5.1-84 (R-1992) que se encarga de la identificación de cada instrumento y de la clasificación según sus lazos de control y variables de medida, se procede a la elaboración del diagrama de tuberías e instrumentación P&ID.

Este diagrama permitirá la identificación de sensores y actuadores requeridos en cada etapa a automatizar, así mismo relacionar a que etapa de control pertenece cada proceso y que variables se quieren controlar todo de una manera visual y de fácil identificación. (Creus, 2010)

Selección de la Instrumentación

Para la identificación de instrumentos se tiene en cuenta la descripción general del instrumento, el tipo de señal que utiliza, su ubicación ya sea que se encuentre en campo, accesibles al operador o en una ubicación auxiliar, el sistema de control al cuál está conectado, los equipos con los que se relacionan, tamaño e identificación de tuberías, número del P&ID en que se encuentra y su relación con la documentación de ingeniería, con esta información se puede elaborar una cotización de alto detalle y se realiza una estimación de costos tomando como referencia proveedores certificados y fabricantes especializados. (JUAN PABLO MEJÍA QUEVEDO, 2010)

Realización del diagrama Grafcet

Para esta etapa se dispone a la elaboración del diagrama grafcet el cual es un proceso que se distribuye por etapas, acciones asociadas y transiciones para ser llevado a cabo por secuencias y que permite una fácil comprensión y una posterior implementación a la programación Ladder, por medio de las ecuaciones que se pueden desarrollar gracias a estos diagramas.

La organización y la lógica hacen que este tipo de diagramas sean indispensables a la hora de llevar a cabo un proyecto de automatización y las condiciones que se determinen serán el inicio de la etapa de simulación y prueba.

Programación Ladder

Para el desarrollo de la programación del PLC se toma como referencia el diagrama Grafcet del sistema general y la herramienta de programación Tia portal en su versión 16; en la cual, se realiza el código a diseñar y posteriormente simular ya que este programa nos permite la realización de pruebas sin tener una implementación física.

Programación pantalla HMI

Para proyectos de automatización donde se hace necesario el trabajo de operarios, una interfaz hombre maquina (HMI) se hace indispensable, con el fin de identificar cada proceso y tener control sobre el mismo; se diseña una interfaz de fácil manejo, con datos precisos e información necesaria que visualice cada etapa del proceso y permita la operación de las personas encargadas del manejo y la producción del queso.

Estimación de costos

Una vez se cuente con la instrumentación definida es factible realizar una estimación de costos, que permita conocer que tan viable es la implementación, cuál va a ser la inversión necesaria y calcular el tiempo de retorno de la inversión.

Simulación y pruebas

El programa Tia portal, gracias a su extensión PLCSIM ofrece la posibilidad de realizar pruebas de simulación de manera online, sin ser necesario la implementación y observando de manera detallada cada etapa y subproceso que tiene la programación del PLC enlazada a la interfaz HMI. Permitiendo detectar errores, fallas en el sistema o problemas de conexión que son comunes y que se pueden presentar a la hora de una posible ejecución en la empresa.

7. RESULTADOS

7.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Para el desarrollo de la elaboración de queso doble crema se cuenta con etapas primordiales como son la recepción de la materia prima, análisis, tanque de mezclado, preparación, extracción de suero e hilado. Para lo cual, existen diferentes dispositivos que actúan en el proceso.

7.1.1 RECEPCIÓN.

Para el arranque del proceso se necesita como materia prima leche cruda que es recolectada en camiones previamente al inicio del proceso de producción, por medio de válvulas de flujo se permite el ingreso del producto hacia un tanque de almacenamiento hasta que un transmisor indicador de nivel se active e indique el llenado del tanque. Se le realiza un análisis organoléptico por parte del operario encargado de la recepción, el análisis consiste en realizar un censado de pH en busca de que se encuentre en un rango aceptable para su posterior tratamiento. (CUAICAL, 2017)

PREPARACIÓN	SENSOR Y ACTUADOR
Ingreso de materia prima (leche)	Ingreso por gravedad
Análisis organoléptico	Operario
Ingreso cantidad de leche	Válvula de flujo
Llenado tanque de almacenamiento	Sensor indicador de nivel
Medición PH	Sensor de PH
Agitador	Motor N°1

Tabla 3: Descripción del sistema de preparación Fuente: Autor



Ilustración 1: Tanque de almacenamiento empresa de lácteos La Esmeralda.

7.1.2 PREPARACIÓN

Para iniciar el proceso de preparación del queso doble crema, se busca tener una temperatura de 48 ° a 50° C con el fin de eliminar bacterias que pueda tener la leche, y por medio de una motobomba se conduce la leche ya pasteurizada hacia el segundo tanque donde se realiza la etapa de cuajado, para esto la leche debe un porcentaje de acides del 40 – 45 % y estar a una temperatura de 35° a 38°C por lo que se cuenta con una caldera que permite mantener la temperatura del tanque, se agrega el cuajo y se mantiene un mezclado constante por un tiempo de 45 minutos hasta que el suero de la leche se separe y la mezcla de cuajo se homogenice.

PREPARACIÓN	SENSOR Y ACTUADOR
Pasteurización	Sensor de temperatura (48°- 50° C)
	Tiempo (25 min)
	Sensor de nivel en alto
Adición del cuajo	Sensor de PH

	Temperatura (35° - 38° C)
Mezcla	Variador de frecuencia y motor AC (Motor N°4C)
	Tiempo de mezclado (45 min)

Tabla 4: Descripción del sistema de preparación *Fuente:* Autor

7.1.3 EXTRACCIÓN DE SUERO E HILADO

Al tener el queso cuajado se procede a realizar el corte de la cuajada para evitar grumos y la extracción del suero resultante por medio de gravedad una válvula de flujo permite el paso de la materia prima a un filtro que se encarga de separar los sólidos y los líquidos dirigiendo la cuajada a la hiladora y el suero a un tanque externo. Al estar a una temperatura de 50 °C se comienza el proceso de hilado donde un operario agrega la sal y citrato de sodio para que el queso tome la consistencia y la elasticidad deseada. Para estos dos procesos se contarán con sensores indicadores de nivel con el fin de evitar derrames manteniendo la seguridad.

PREPARACIÓN	SENSOR Y ACTUADOR
Ingreso de la mezcla (Suero, cuajada)	Válvula de flujo
	Sensor de nivel en alto
	Ingreso por gravedad
Hilado	Filtro separador
	Temperatura (45 ° C)
Adición sal y citrato de sodio	Operador
Agitador	Motor N° 3
	Tiempo de hilado (30 -35 min)
	Extracción de queso para su posterior empacado

Tabla 5: Descripción del sistema de preparación *Fuente:* Autor



Ilustración 2: tanque de mezclado empresa de lácteos La Esmeralda



Ilustración 3: Hilador empresa de lácteos La Esmeralda

7.2 DIAGRAMA P&ID

Para el diagrama P&ID se utilizó el software grafico Microsoft Visio que permite cumplir con la norma ISA-S5.1-84, en su código de identificación de instrumentos donde cada instrumento debe tener su nomenclatura correspondiente identificando su principio o variable medida, su lectura o función y por último su lazo de control.

Siguiendo las especificaciones del modo de operación de producción que se realiza al visitar la planta se diseña un diagrama de tuberías e instrumentos P&ID para una mayor comprensión de los procesos, así mismo para la selección de los instrumentos a utilizar y una mejor distribución al implementar equipos que ya posee la empresa y los cuales son aprovechables al momento de unificar las etapas mencionadas.

Se utiliza el software Microsoft Visio que al ser una herramienta de diseño se adapta muy bien a el modo grafico que se busca implementar y permite clasificar los instrumentos para tener la referencia, la función y la disposición que tendrán en el plano final.

7.2.1 PROCESO P&ID

El diseño consta de 4 lazos de control cada uno referenciado en el diagrama.

- Para el primer lazo de control se organiza lo relacionado a la recepción de la materia prima, donde un carro repartidor provee la leche e inicia el proceso de elaboración al pasar por una válvula de tipo bypass, esta seleccionada con el fin de facilitar el mantenimiento del proceso o evita errores al presentarse fallas en una de las dos válvulas.
- Después de pasar por un filtro se deposita la leche en el tanque de almacenamiento (TK-01) el cual es el centro del lazo de control N°2, se rige bajo el control de variables como la temperatura, el nivel y el PH que tiene la leche, cuando el switch indicador de nivel en bajo del tanque N°1 se active da inicio al proceso hasta que se active el switch de nivel en alto para evitar derrames y da la orden al PLC del evento que controla el agitador del tanque.

- La temperatura de esta etapa se controla por medio de un sensor que monitorea en tiempo real las variables a controlar y envía directamente al PLC, permitiendo aumentar o disminuir el flujo de vapor que suministra la caldera externa.
- Se ubica una válvula de flujo manual que permite al operario la toma de muestras de la leche para conocer el PH y acides previo a la siguiente etapa.
- Para la etapa de mezclado la leche se transporta al activarse la motobomba (M2) que permite el flujo de leche desde el tanque de almacenamiento (TK-01) hacia el tanque de mezclado (TK-02), se realiza un proceso igual al lazo de control uno que consiste en activar las válvulas de flujo tipo bypass con el fin de evitar derrames o materia prima de más. En el momento que el tanque se active el sensor de nivel en alto y que el PH sea el indicado se suministra el cuajo y se activa el motor encargado de mezclar la leche hasta obtener la consistencia deseada.
- Un controlador indicador de temperatura (TIC-001) mantendrá la temperatura del tanque de 35 a 38°C por un tiempo promedio de 45 minutos hasta que un switch indica el momento de fin de cuajo.
- En el momento de obtener el cuajo solido la motobomba N° 4 se encarga de retirar el suero y almacenarlo en el tanque de suero (TK-03) y por gravedad la cuajada se dirige hacia la hiladora pasando por un filtro que se encarga de separar líquidos de sólidos evitando al máximo el paso de suero de leche a la hiladora.
- Luego de que el transmisor de flujo FIT 301 indique que una cantidad mínima de suero se encuentra circulando y que el transmisor de nivel de la hiladora registre que hay material en el tanque se inicia el proceso de hilado.
- En la hiladora se realiza el batido del cuajo a una temperatura 45°C por 30 a 35 minutos o hasta conseguir la elasticidad característica del queso doble crema, nuevamente un switch ubicado en el tablero de control indicará el momento que finaliza la etapa de hilado y el momento en que se retira el queso, dependiendo del nivel del tanque de mezclado se repetirá el proceso de hilado o se inicia de nuevo el proceso en general.

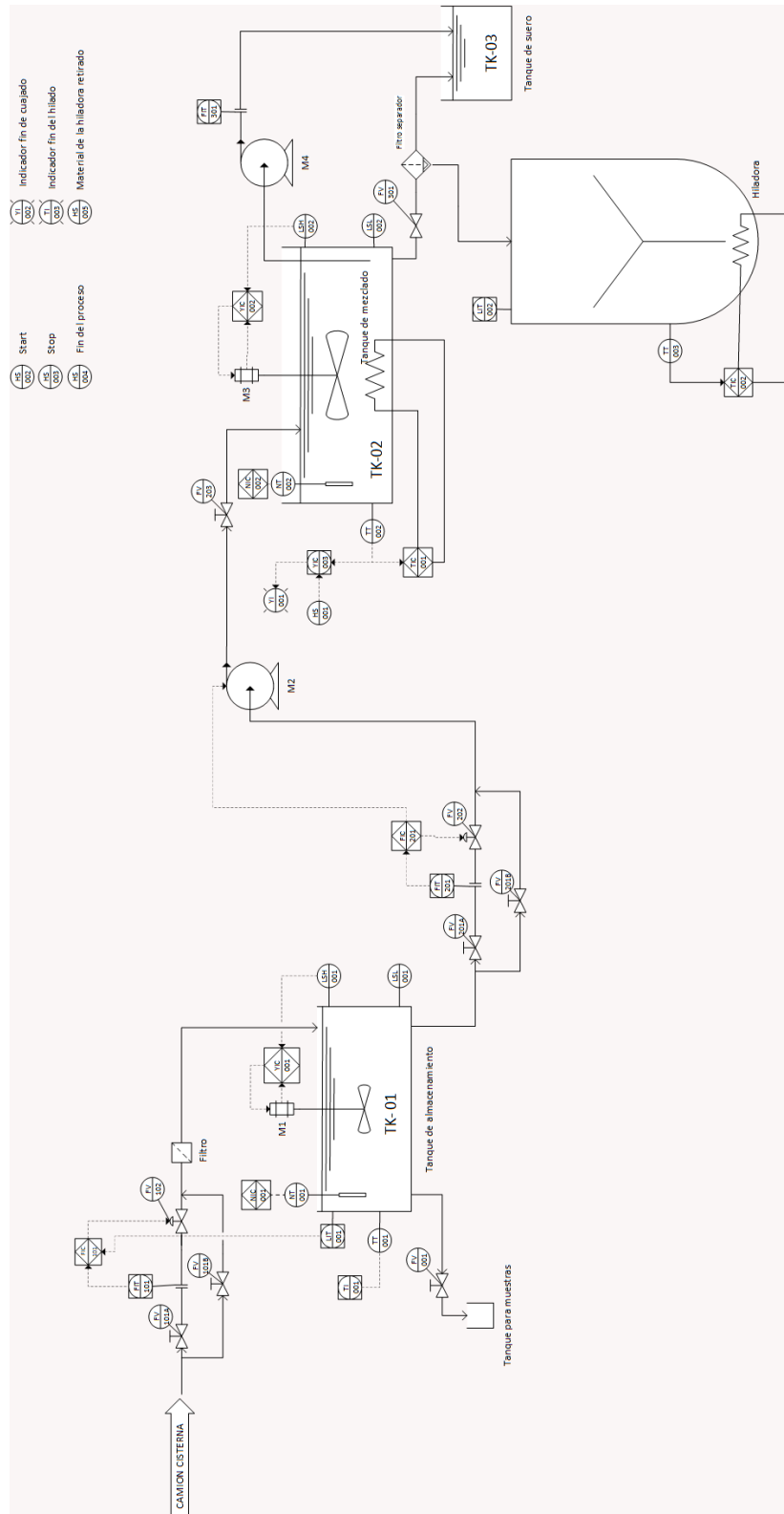


Figura 3: Proceso de elaboración del queso doble crema. Fuente: Autor.

7.3 GRAFCET DE PROGRAMACIÓN.

A continuación, se describe el diagrama Grafcet para cada una de las etapas y transiciones establecidas en el proceso.

Se determinan las entradas y salidas necesarias para la correcta distribución del gráfico y para obtener concordancia entre la programación y el diseño.

ENTRADAS	
START	Botón inicio de proceso
STOP	Parada de proceso
FIN DEL PROCESO	Indicador fin del proceso
MATERIAL RETIRADO	Indicador material retirado de hiladora
PHT	Transmisor indicador de Ph
FIT	Trasmisor indicador de flujo
LSH	Switch de nivel en alto
LSL	Switch de nivel bajo
NT	Transmisor de PH
TT	Transmisor de temperatura N
LIT	Transmisor indicador de nivel

Tabla 6: Entradas del proceso. Fuente: Autor

SALIDAS	
FV_102	Válvula de flujo lazo de control 1
M1	Motor tanque de almacenamiento
FV_202	Válvula de flujo lazo de control 2
M2	Motobomba de extracción
M3	Motor tanque de mezclado
Calentador_1	Calentador tanque de almacenamiento
M4	Motobomba de extracción
Calentador_2	Calentador tanque de mezclado
FV_301	Válvula de flujo lazo de control 3
Calentador_3	Calentador hiladora
Hiladora	Indicador inicio de etapa de hilado
Fin del cuajo	Indicador fin etapa de cuajo
Fin del hilado	Indicador fin etapa de hilado

Tabla 7: Salidas del proceso. Fuente: Autor

Al determinar las entradas y salidas necesarias se puede diseñar el siguiente diagrama grafcet para el proceso completo a partir de la lógica que se obtiene del diagrama P&ID.

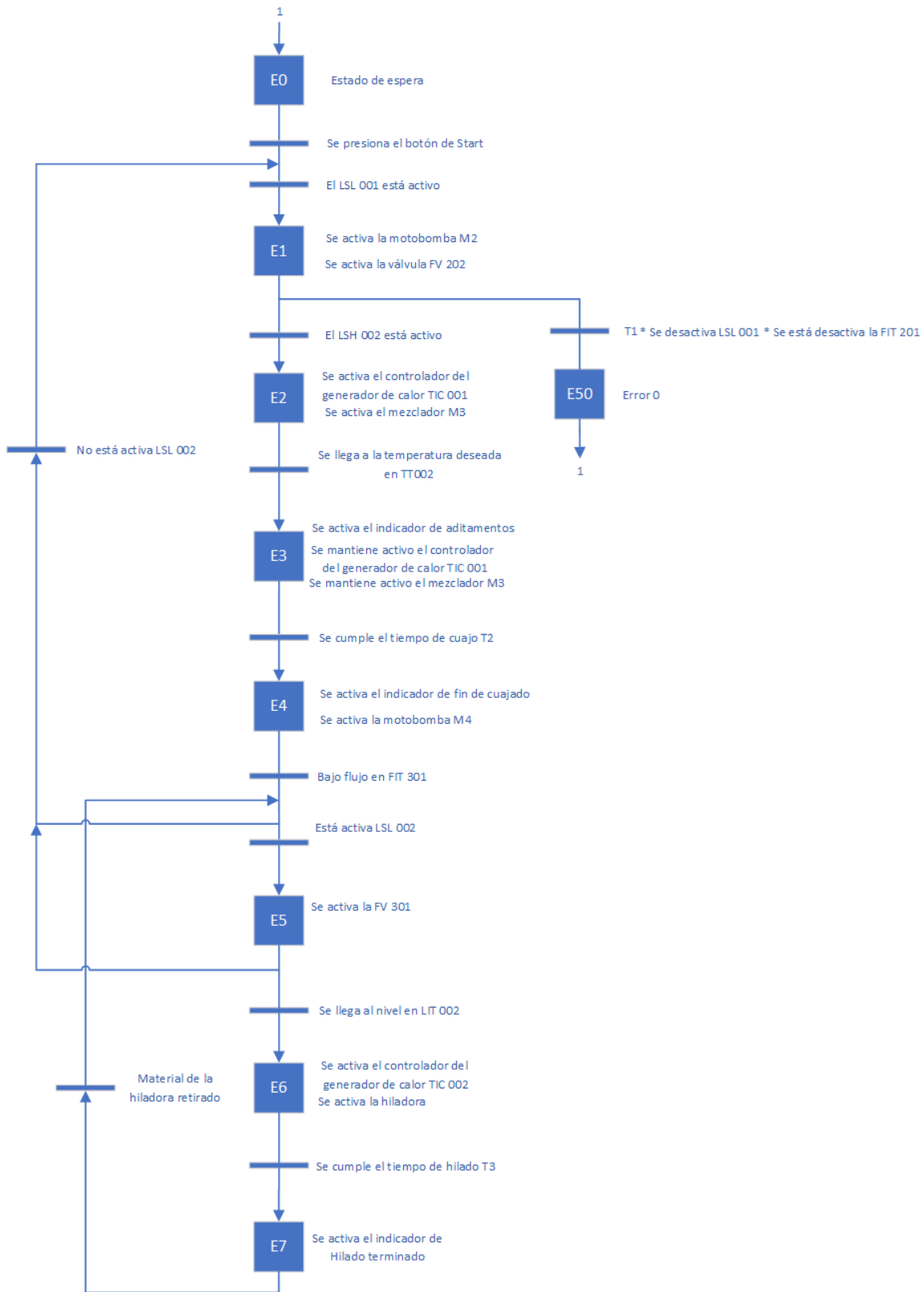


Figura 4: Grafcet descriptivo Fuente: Autor

- El proceso de automatización inicia en la etapa 0 o estado de espera donde se supone que la leche ya se encuentra en el tanque de almacenamiento y está lista para dar inicio al proceso en el momento que el operario presione el botón de Star.
- Luego de la primera condición el switch de nivel en bajo (LSL001) envía la señal de activación al PLC lo cual significa que el tanque de almacenamiento tiene poca leche y empieza la etapa 1, donde se activa la motobomba 2 (M2) y la válvula de flujo (FV202) permite el paso de leche hacia el tanque de mezclado.
- En el momento que se active el switch de nivel en alto del tanque de mezclado se da inicio a la etapa 2, donde el controlador del generador de claro se activara para mantener la temperatura necesaria y se activa el mezclador ubicado en el tanque (M3) hasta un tiempo indicado.
- El transmisor de temperatura indica el momento en que la válvula de vapor lleva la leche a la temperatura deseada y es el momento donde se activara el indicador de aditamentos en donde se agrega el cuajo mientras se mantiene activo el generador de calor (TIC 001) y el mezclador del tanque (M3)
- El tiempo que se toma la leche en alcanzar la consistencia de cuajo es la transición necesaria para seguir a la siguiente etapa que consiste en la activación de un indicador de fin de cuajo (YI 002) y se activara la motobomba que extrae el suero hasta que transmisor indicador de flujo indique que ya existe un bajo flujo de suero.
- Al tener un flujo bajo de suero el cuajo por gravedad cae a la hiladora hasta que el transmisor de nivel (LIT 002) se activa y da inicio a la etapa 6 de hilado donde se activa el controlador generador de calor y se activa el mezclador de la hiladora.

- Luego de que se cumpla el tiempo de hilado se pasa a la última etapa al activarse el indicador de hilado terminado y se procede a extraer el material terminado.

Existen algunas condiciones que se vuelven necesarias para que el proceso se haga de manera correcta o por el contrario indique cuando finalice la producción

- Previamente a que se dé inicio a la etapa 2, se tiene una condición de activación de switch en alto lo que quiere decir que el tanque de almacenamiento tiene el nivel de leche necesario, al no cumplirse este requisito se entra en estado de error (ERROR 50) donde la válvula de flujo tampoco se encontrara en activación e indicara que no se cuenta con la leche necesaria para el inicio de marcha.
- De igual manera al finalizar el proceso con el indicador de hilado terminado el sistema generara un nuevo inicio de proceso al determinar si aún se encuentra activo el switch de nivel del tanque de mezclado (E5) lo cual indica que aún hay cuajo y queda material para poder repetir el proceso de hilado.
- Esta condición se repetirá hasta que el switch y la válvula de flujo se encuentren desactivados y nuevamente el sistema determina si la etapa 1 se encuentre en funcionamiento es decir el tanque de almacenamiento aun tenga leche, esto con el fin de que el sistema sea automático y tenga el mismo de pérdidas de producción y de material.

7.4 PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN

Para realizar la programación y el respectivo diseño del proyecto se utilizó el software Tia Portal en su versión 16 que permite su simulación sin que sea necesario una implementación física lo cual es primordial para una etapa inicial del proyecto, así mismo el complemento PLC-SIM que es el simulador del software para verificar el funcionamiento tanto del programa Ladder como de la interfaz HMI.

7.4.1. Configuración de dispositivos.

Para la realización del proyecto se utilizaron el PLC s7_1200 que tiene como referencia de CPU 1214C AC-DC que cuenta con 2 entradas analógicas, así mismo se uso la pantalla HMI de 7 pulgadas KTP 700 que no genera ningún inconveniente a la hora de simular o realizar la conexión.

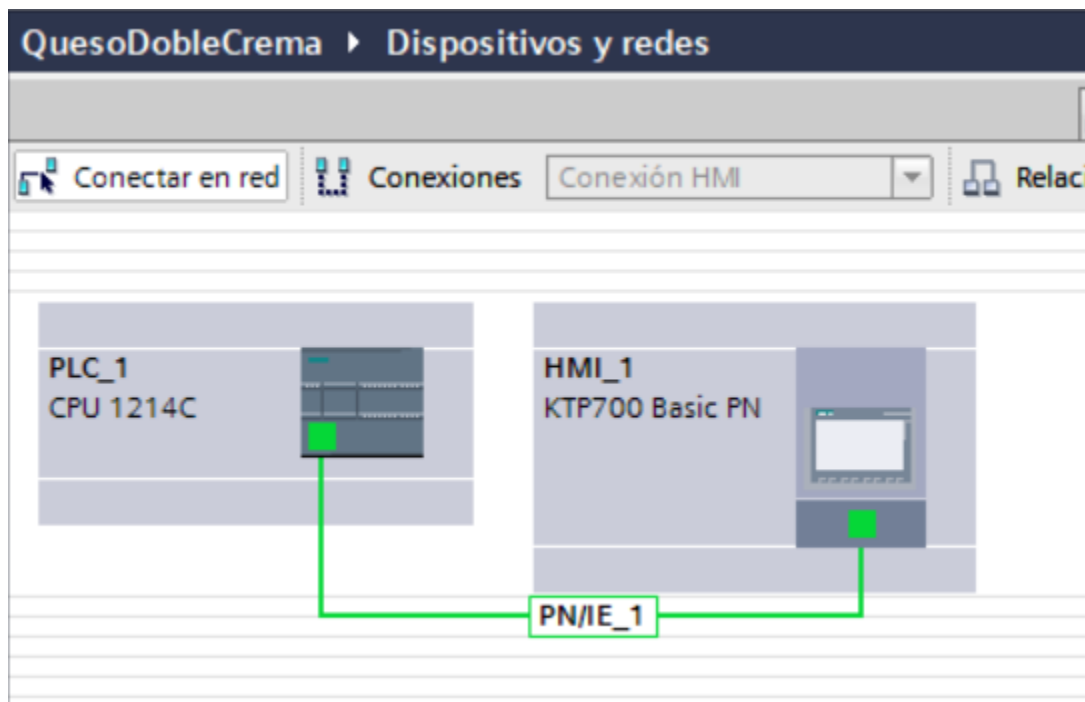


Figura 5: conexión de dispositivos. Fuente: Autor

7.4.2 Configuración entradas analógicas.

Para esta parte del proyecto se planteó el número de entradas con las que cuenta el PLC seleccionado las cuales son 4, el número de entradas que tiene el proceso y al ser mayores se determina que para la etapa en la que se encuentra el diseño que es en etapa de simulación se configurarían las entradas para ser usadas desde la pantalla HMI pero en una posterior etapa de implementación se usaría un módulo de expansión de entradas analógicas el cual se puede adquirir y programar sin ningún problema.

Entradas Analógicas			
	Nombre	Tipo de datos	Valor de arranq...
1	Static		
2	FIT_001_Entrada	Int	0
3	FIT_001_Normalizada	Real	0.0
4	FIT_001_Escalada	Real	0.0
5	FIT_001_Min	Real	0.0
6	FIT_001_Max	Real	100.0
7	pHT_001_Entrada	Int	0
8	pHT_001_Normalizada	Real	0.0
9	pHT_001_Escalada	Real	0.0
10	pHT_001_Min	Real	0.0
11	pHT_001_Max	Real	100.0
12	TT_001_Entrada	Int	0
13	TT_001_Normalizada	Real	0.0
14	TT_001_Escalada	Real	0.0
15	TT_001_Min	Real	0.0
16	TT_001_Max	Real	100.0

Figura 6: conexión entradas analógicas. Fuente: Autor

Para cada una de las entradas que tiene el proceso se le debe realizar una configuración similar que consiste en un valor entero de entrada, un valor normalizado, un valor escalizado y un rango que en el caso de cada instrumento será el rango de operación que posee.

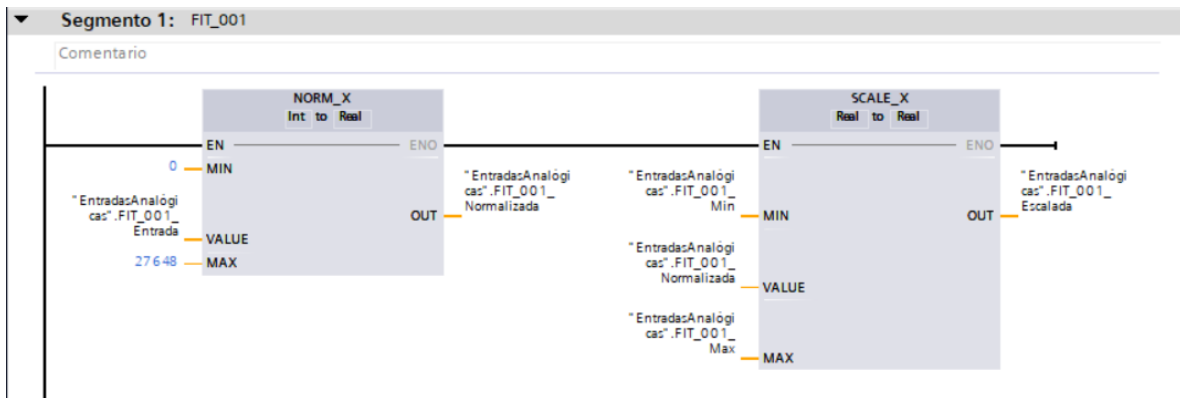


Figura 7: conexión entradas y salidas analógicas. Fuente: Autor

Este tipo de configuración consiste en tomar el valor analógico del instrumento y convertirlo en un valor real entre 0 y 1, para esto se especifica el valor a normalizar. Para el caso de la figura 7.3 se normaliza el valor de la entrada del transmisor de flujo 001 entre los rangos de 0 y 27648 que son los valores nominales del PLC, así se tendrá que cuando el valor de la entrada analógica sea de 0 se obtiene un valor de 0 en el valor normalizado y cuando el valor sea el máximo de la entrada analógica el valor normalizado será 1.

Para el valor escalizado se debe tener el valor normalizado y definir el rango de medición que tiene el instrumento, para este caso se dispone de una configuración que la pantalla HMI tendrá para poder escalizar estos parámetros directamente desde la pantalla y así la persona que opere el proyecto pueda definir valores tanto de temperatura, PH, nivel o flujo con que se desea operar la planta.

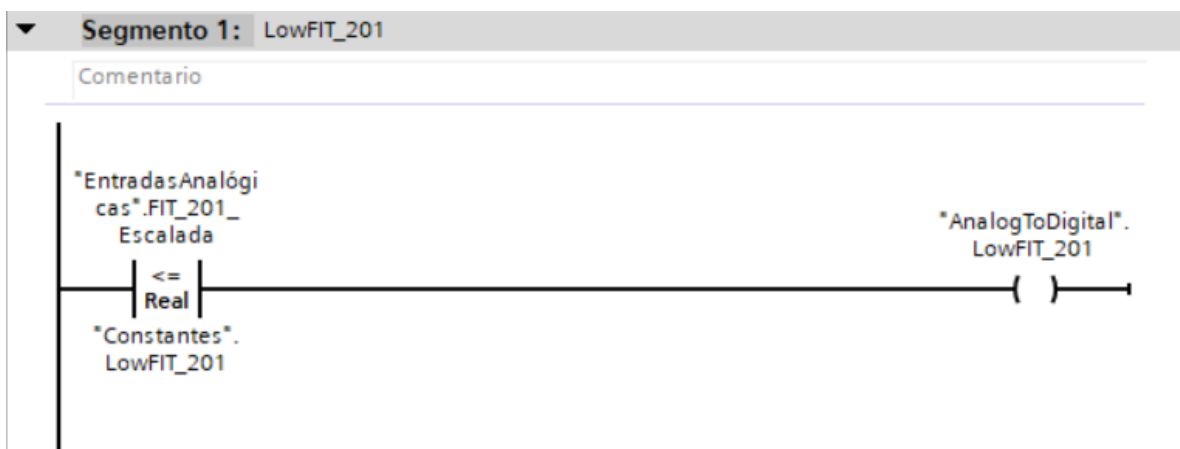


Figura 8: Tratamiento señal analógica a señal digital. Fuente: Autor

Luego de tener los valores escalados el software tiene herramientas de fácil comprensión como son comparadores para este caso, donde hace la relación con los datos del bloque de constates y determina si es mayor, igual o menor y activa la bobina. Para el caso de la figura 7.4 activara AnalogToDigital LowFIT_201 que son las variables creadas para determinar si se ejecuta la acción correctamente.

7.4.3 Programación Ladder.

Para la programación en función de los estados se usa la lógica Ladder que consiste en una representación escalada que permite un análisis mas sencillo e intuitivo y para el tipo de PLC que se va usar (Siemens S7 1200) el software Tia Portal es el necesario para su programación al ser de la familia siemens.

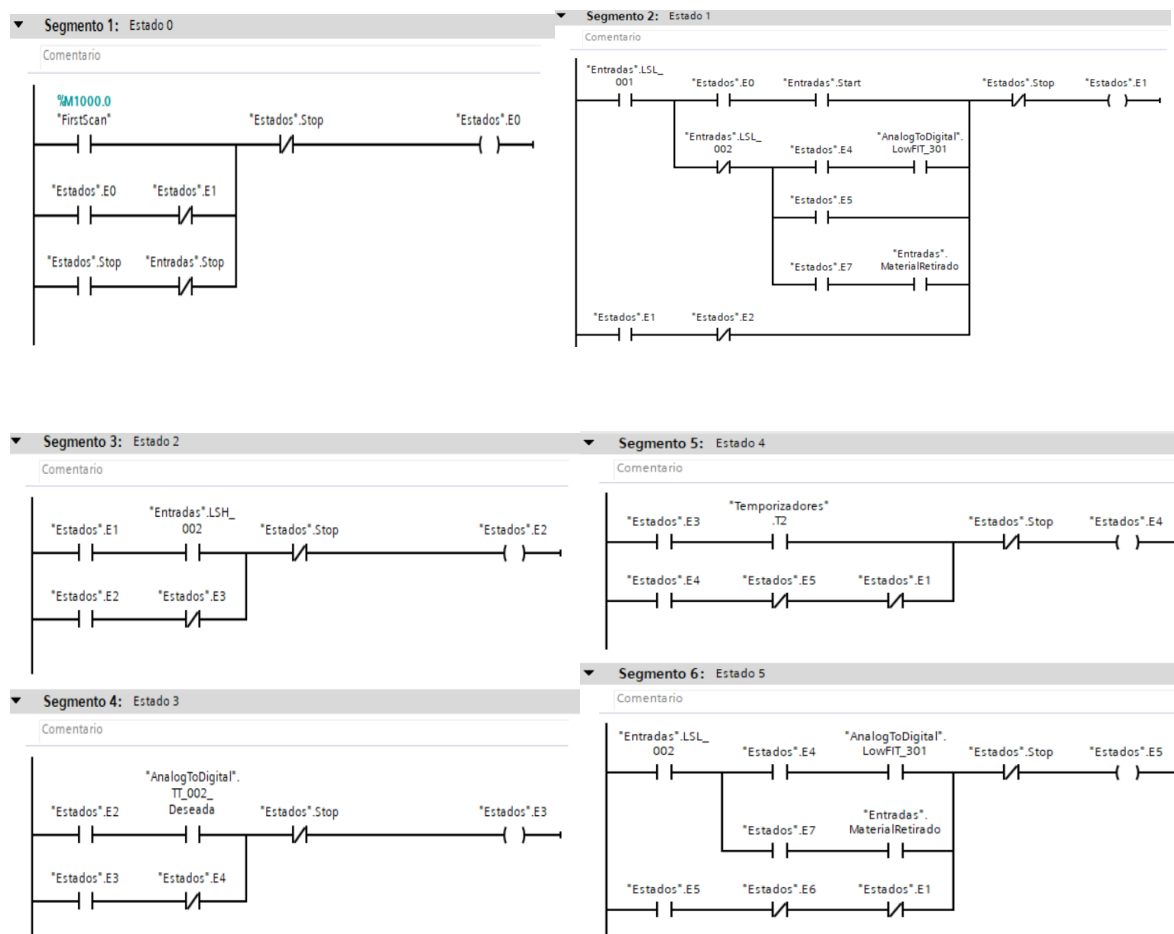


Figura 9: Programación función de estados Ladder. Fuente: Autor

En la elaboración del diseño se realizó una programación sencilla que permite una buena interpretación donde se utiliza el diagrama grafcet como principal referencia ya que las transiciones y etapas definidas serán la base para el funcionamiento del programa.

Cada estado se define como una salida que se muestra en el programa en la activación de una bobina y las acciones necesarias se desarrollan mediante el control de actuadores en función de estados dependiendo lo que sean necesarios ya que la realización del grafcet se puede utilizar como ecuaciones que permite posteriormente la programación del Ladder como se presenta a continuación.

$$E0 = FS + PostStop + E0 * E1'$$

$$E1 = LSL001 * (E0 * Start + LSL002'(E4 * LowFIT301 + E5 + E7 * MaterialRetirado)) + E1 * E2'$$

$$E2 = E1 * LSH002 + E2 * E3'$$

$$E3 = E2 * TT002Deseada + E3 * E4'$$

$$E4 = E3 * T2 + E4 * E5' * E1'$$

$$E5 = LSL002 * (E4 * LowFIT301 + HS005 * E7) + E5 * E6' * E1'$$

$$E6 = E5 * LIT002Deseado + E6 * E7'$$

$$E7 = E6 * T3 + E7 * E5' * E1'$$

$$E50 = E1 * T1 * LSL001' * LowFIT201$$

Cada ecuación corresponde a la programación de cada estado presentado en el Ladder funcionando de manera lineal donde se deben cumplir cada condición para poder pasar de un estado de funcionamiento a otro de otra manera entraría a un estado de error.

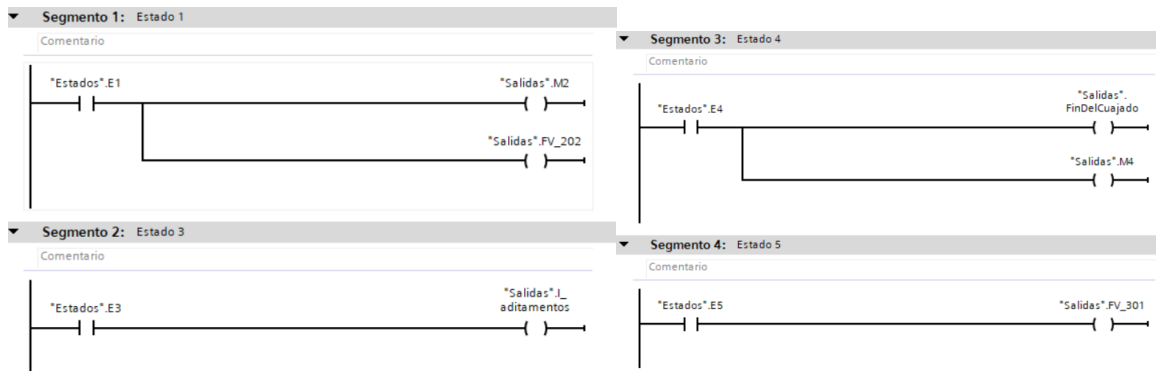


Figura 10: Función conexiones de salida. Fuente: Autor

Como se observa en la figura 7,6 se realiza la conexión de estados correspondientes a las salidas que activan cada acción del programa, para la etapa de diseño se guardan en memorias las acciones; pero para una eventual implementación se realiza la conexión a las salidas digitales directamente del PLC y se reasignan las direcciones según correspondan.

7.4.4 Simulación interfaz HMI

La interfaz del proceso busca una interacción hombre-maquina (HMI) donde el operario tenga en tiempo real el control de las variables, pueda visualizar y coordinar la línea de producción teniendo la relación de cada una de las etapas en tiempo real. Así mismo el control de válvulas, valores de flujo temperatura, nivel y cualquier otro parámetro correspondiente a la línea de producción.



Figura 11: Panel principal Interfaz HMI. Fuente: Autor

En la figura 7,7 se observa el panel principal que contiene instrucciones como el botón de arranque, un parado de emergencia. Se muestran algunos indicadores principales del proceso para evidenciar cada etapa como lo son el momento de añadir aditamentos, el fin de las etapas de cuajado o hilado y el momento de retirar el material o finalizar el proceso.

7.4.4.1 Vista de proceso



Figura 12: Vista del proceso Interfaz HMI. Fuente: Autor

Se cuenta con dos opciones principales que consisten en la vista del proceso (Figura 7.8) que permite visualizar cada etapa que lleva la preparación, sus indicadores controles de entrada, parámetros del tanque de almacenamiento principal, parámetros del tanque de mezclado e indicadores de la etapa de hilado.

Se observan los transmisores con los que cuenta cada etapa los cuales al momento de su activación cuentan con indicadores para evidenciar su funcionamiento y llevar el orden del proceso.

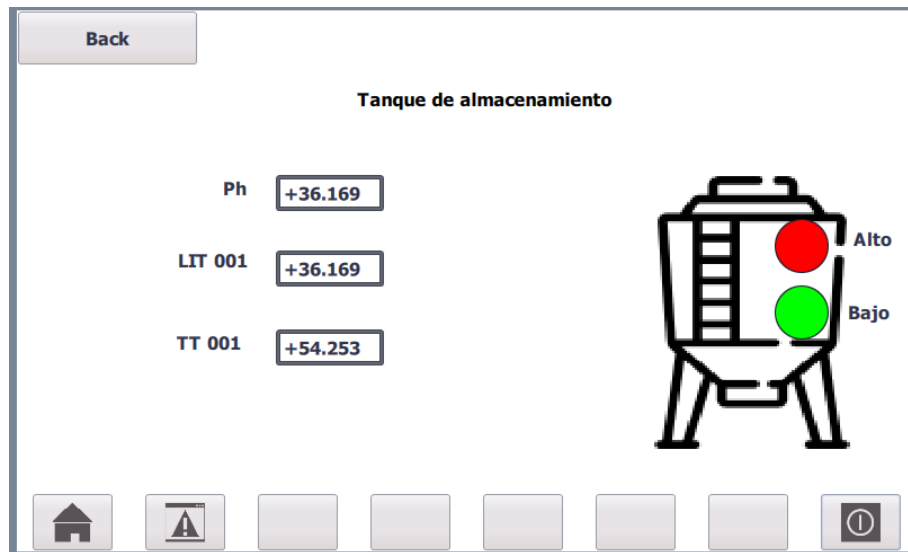


Figura 13: Vista del proceso tanque de almacenamiento Interfaz HMI. Fuente: Autor

Esta sección es solo de visualización y monitoreo no se podrá controlar ni determinar valores ni modificar variables solo se observarán los parámetros de los diferentes instrumentos y se corroborara que los rangos de trabajo sean los correctos, de igual manera determinara las etapas en las que se encuentra el proceso y que se realicen las transiciones de manera correcta.

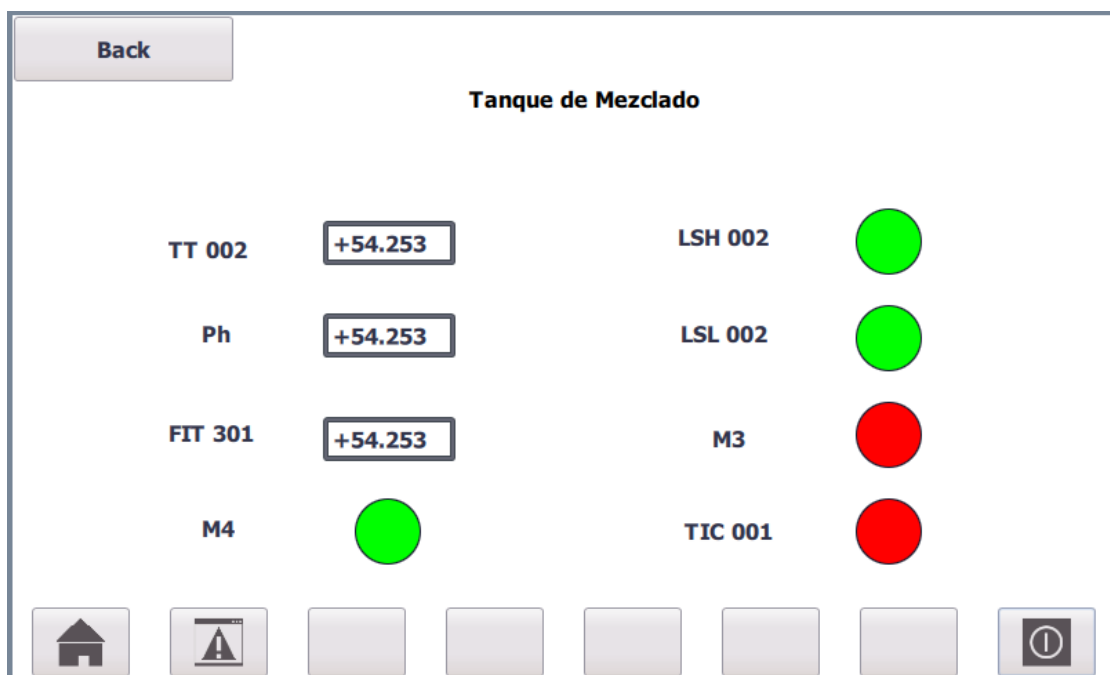


Figura 14: Vista del proceso tanque de mezclado Interfaz HMI. Fuente: Autor

7.4.4.2 Parámetros de operación

Por otra parte, se cuenta con los parámetros de operación que como su nombre lo indica permite controlar las variables fundamentales para el trabajo en los diferentes sensores, temporizadores y rangos de eventos como se puede ver en la figura 7.11



Figura 15: Parámetros de operación Interfaz HMI. Fuente: Autor

En esta área se configuran todos los tipos de sensores que se cuentan en el proceso cada uno identificado para la etapa de control a la que corresponda, donde se puede variar su rango de trabajo dependiendo del principio de medición controlando el flujo de las válvulas, el nivel de los tanques, la temperatura de los procesos y los valores de PH con que cuenta la materia prima.

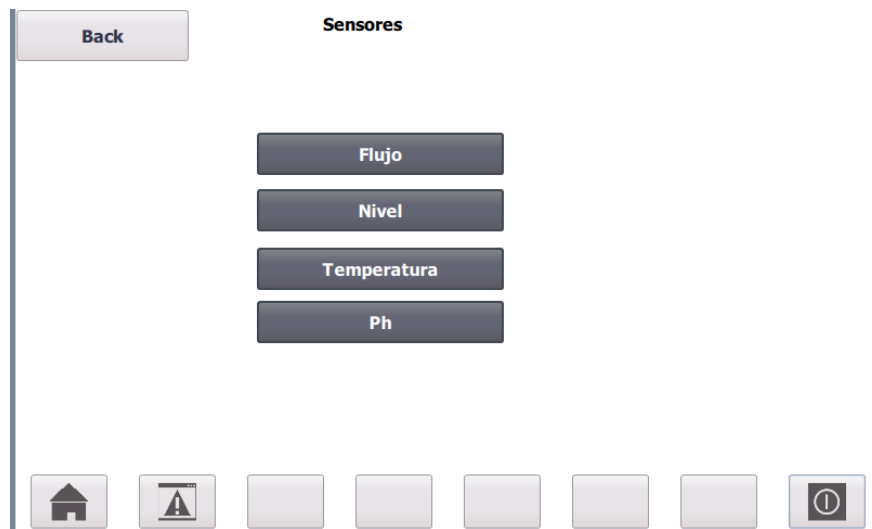


Figura 16: Configuración de sensores Parámetros de operación Interfaz HMI. Fuente: Autor

Para cada uno de los diferentes sensores entra en relación el arreglo de datos que permite ejecutar los bloques del programa Tia Portal como se explicaba anteriormente en la (figura 7.3 conexión entradas y salidas analógicas) donde a partir del valor de entrada en el sensor normaliza el dato y luego lo escala para obtener un dato digital que pueda operar el PLC.

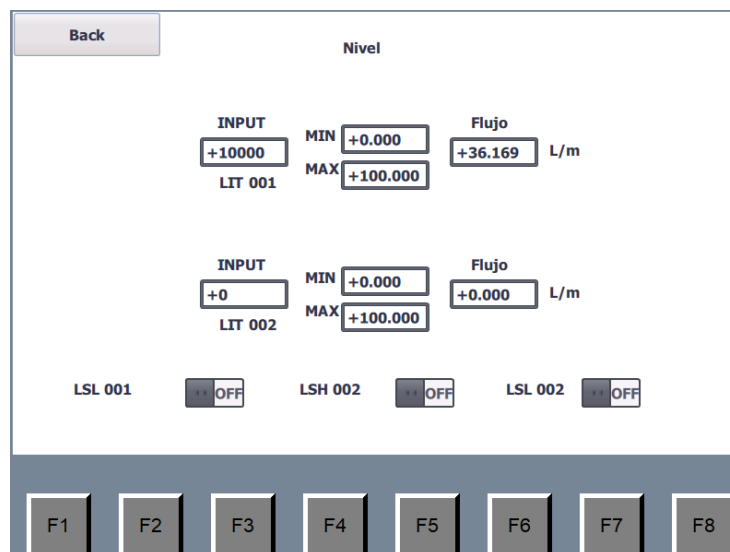


Figura 17: Asignación Parámetros de operación en sensores Interfaz HMI. Fuente: Autor

A demás de eso el operario tiene la posibilidad de controlar los tiempos de operación en las etapas de cuajado y en las etapas de hilado para que cuente con un control completo no solo en la fabricación del

producto específico, en este caso el queso doble crema si no que pueda implementarse en diferentes preparaciones de otros productos que la empresa pueda ofrecer que cuenta con procesos similares, pero con diferentes parámetros esto con el fin de que la producción aumente y el diseño presente más ventajas a la hora de una implementación.

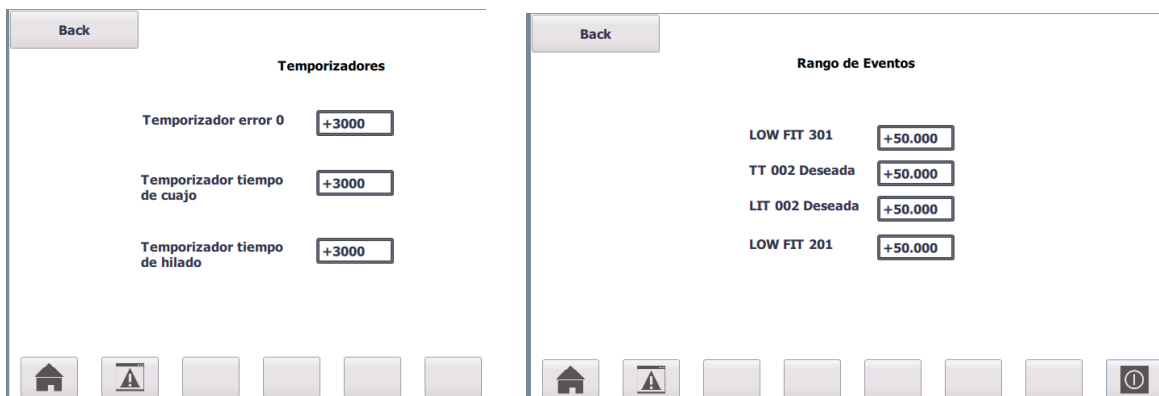


Figura 18: Asignación Parámetros de operación en sensores Interfaz HMI. Fuente: Autor

8. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Tomando como referencia la instrumentación seleccionada y el diagrama de instrumentos P&ID se realiza la siguiente estimación de costos

Cant.	Elemento	Marca	Referencia	Valor Uni.	Valor Total
1	PLC	Siemens	SIMATIC S7-1200 CPU 1214C	\$ 2.960.000	\$2.960.000
1	Modulo Entrada Analógica	Siemens	SIMATIC SB 1231 1 AI	\$ 545.861	\$ 545.861
1	Variador de Frecuencia	Siemens	SINAMICS V20	\$ 1.356.200	\$ 1.356.200
1	Pantalla HMI	Siemens	SIMATIC Basic Panel Siemens KTP600 Basic PN	\$ 3.324.788	\$ 3.324.788
2	válvulas solenoide de 2 vías	danfoss	EV260B	\$ 892.000	\$1.784.000
2	Transmisor De Sensor De Medidor De Flujo De Turbina Líquida	Generic	LWGB	\$ 2.318.000	\$4.636.000
4	Sensor capacitivo de presencia	IFM	KG0010	\$ 280.700	\$1.122.800
2	Sensor transmisor de temperatura	DANFOSS	MBT5252	\$ 858.000	\$1.716.000
5	Válvula manual	t. italy Ranger	Llave Bola 2 Pulgada Con Palanca Metal	\$ 97.000	\$485.000
2	Sensor ultrasónico de nivel	Generic	OEM	\$1.061.000	\$2.122.000
2	Válvula de flujo solenoide eléctrica	Baomain	Válvula Solenoide Eléctrica De Latón Baomain Npt 1-1 / 2	\$674.000	\$1.348.000
1	Sensor de PH		SKU 1615047 Controlador Redox Ph Or Digital Monitor	\$ 896.000	\$896.000
2	Contactores		SIRIUS 3RT2015-1BB41	\$173.000	\$346.000
1	Interruptor Automático	Siemens	5SY4106-6	\$131.000	\$131.000
1	Pulsador - Parada de emergencia	Eaton	121462 – M22-PVT45P	\$ 140.000	\$140.000

3	Pulsador Luminoso -Verde	Eaton	216596 - M22-D-G	\$ 35.000	\$105.000
4	Indicador Luminoso -Rojo	Eaton	216773 - M22-L-G	\$28.000	\$112.000
8	Indicador Luminoso -Verde	Eaton	216772 - M22-L-R	\$ 28.000	\$228.000
100 m	Cable Vehicular #20 Automotriz - rojo	Centelsa		\$ 97.000	\$97.000
100 m	Cable Vehicular #20 Automotriz – negro	Centelsa		\$97.000	\$97.000
TOTAL					\$ 23.550.000

Tabla 8 Presupuesto recursos físicos. Fuente: Autor

Función	Personal	Días	Valor Dia	Valor Total
Estudio del proceso	Ingeniero en Automatización	3	\$ 900.000	\$2.700.000
Diagrama P&ID	Ingeniero en Automatización	2	\$ 800.000	\$1.600.000
Gráfico Grafcet	Ingeniero en Automatización	1	\$ 400.000	\$400.000
Programación y simulación	Ingeniero en Automatización	10	\$ 700.000	\$7.000.000
Montaje	Supervisor	15	\$ 600.000	\$9.000.000
	Técnico 1	10	\$ 200.000	\$2.000.000
	Técnico 2	10	\$200.000	\$2.000.000
Total:			\$24.700.000	

Tabla 9: Presupuesto recursos humanos. Fuente: Autor

9. CONCLUSIONES

- La idea de implementación de un sistema automatizado en el área industrial de alimentos, como es la elaboración de queso; Permite solventar errores que pueden ocasionar la mala operación por parte de personal humano, así mismo ayuda a la reducción de tiempo al basarse en un proceso semiautomático secuencial basándose en las condiciones del producto mejorando así calidad final, seguridad del proceso en la planta, mayor producción y confiabilidad.
- En el momento de realizar el diseño de automatización se tienen en cuenta los parámetros brindados por la planta, conociendo la forma que específicamente ellos usan para su producción manteniendo estándares de calidad como cantidad, al mejorar los procesos que ya elaboraban, pero de una manera artesanal.
- La selección de la instrumentación requerida para una eventual implementación se realiza de acuerdo a los equipos ya existentes en la planta, teniendo en cuenta las características físicas para que sean de sencilla operación, se pueda tener un aprovechamiento del área de trabajo y no se intervenga de manera radical en el resto de la planta; Ya que se busca una armonía en la implementación de la automatización como en el entorno de la planta.
- La programación desarrollada en base a el diagrama grafcet es parte fundamental ya que al ser de manera secuencial se puede llevar un orden entre los procesos de recepción, mezclado, pasteurización, tiempos de cuajado, extracción de suero e hilado. Implementada en la programación del PLC permitió una correcta automatización en el diseño de una producción continua, de gran eficiencia en donde se requiere una mínima interacción del operario de trabajo.
- El software que usa siemens para la programación de la línea de PLC y HMI seleccionado TIA PORTAL es vital a la hora de realizar un proyecto de diseño; ya que permite en tiempo real y

sin ser necesario implementar el control del proceso a partir de simulaciones de programas Ladder, verificando el funcionamiento de entradas analógicas y su respectiva visualización en imágenes de la pantalla HMI.

- Teniendo la estimación de costos se determina que una eventual implementación sería muy viable, debido a que la empresa muchas veces se queda limitada a la hora de aumentar su producción ya sea por falta de personal o por demoras en los procesos; considerando que la empresa cuenta con una muy buena cantidad de equipos que son necesarios, como lo son tanque de pasteurizado, hiladora, tanque de almacenamiento y motobombas. Siendo la parte de equipos de instrumentación la faltante para la puesta en marcha del diseño de automatización.
- La elaboración de un estudio de ingeniería para el desarrollo del diseño de automatización se puede elaborar a distancia de la planta, siempre y cuando se conozca el proceso, se tenga la información más relevante para el proyecto, se cuente con un canal sólido de comunicación con el cliente y una buena descripción del proceso. En la actualidad se cuentan con muchas herramientas que permiten verificar que los procesos de ingeniería sean los correctos antes de llevar a marcha en planta.
- Se evidencia que un proceso de automatización es algo fundamental si una empresa busca aumentar su producción y mejorar sus técnicas. En el área de alimentos, más específicamente en la zona láctea se ve poca tecnología por lo que muchas empresas conservan sus técnicas manuales sin saber que la automatización no solo ayuda a procesos de las empresas, sino que aumenta la economía de una región.

Bibliografía

- ANGEL LUIS REYES HERRERA, E. D. (23 de Julio de 2016). *AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE QUESO*. Obtenido de <https://repositorio.utb.edu.co/bitstream/handle/20.500.12585/1240/0069407.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Corrales Torres Daniel, S. T. (2005). *Automatización del proceso de producción de queso para la micro empresa "Quesera san Jose de Chanchalo"*. Ambato.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial*. Alfaomega .
- CUAICAL, C. J. (15 de Septiembre de 2017). *DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN PROTOTIPO DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE QUESOS MADUROS*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7299/1/04%20MEC%20189%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Decreto 616 de 2006*. (28 de febrero de 2006). Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=21980>
- Galindo, E. S. (24 de Agosto de 2021). *Diseño de sistema automatizado para las etapas de pasteurización e hilado en*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/37805/2021edygalindo.pdf?sequence=1>
- GRAJALES, M. M. (19 de noviembre de 2009). *ESTANDARIZACIÓN DEL PROCESO*. Obtenido de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/13e299bb-058e-4881-a592-c43c91814e1b/content>
- HANNA INSTRUMENTS Catalogo_Lacteos_COL_Web*. (26 de Abril de 2019). Obtenido de https://sofexamericas.com/tlatca/resumen/2020/HANNA%20INSTRUMENTS%20Catalogo_Lacteos_COL_Web.pdf
- Incremento del consumo de queso en Colombia*. (Abril de 2016). Obtenido de <https://www.tecnolacteoscarnicos.com/resumen/2016/p4.pdf>
- industry.siemens*. (s.f.). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6AV6647-0AF11-3AX0>
- JIMÉNEZ, N. G. (12 de septiembre de 2018). *FORMULACION Y ELABORACION DE QUESO DOBLE CREMA HILADO*. Obtenido de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/20123/njimenezg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- JUAN PABLO MEJÍA QUEVEDO, C. R. (5 de Julio de 2010). *INGENIERÍA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE PASTEURIZACIÓN BATCH EN UNA EMPRESA PROCESADORA DE LÁCTEOS*. Obtenido de

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7042/tesis487.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Macias, E. J. (2011). *Tecnicas de automatización avanzadas en procesos industriales*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/39379105_Tecnicas_de_automatizacion_avanzadas_en_procesos_industriales

NORMA TÉCNICA NTC750, Productos lacetos.Queso. (22 de Noviembre de 2000). Obtenido de https://kupdf.net/download/ntc-750-queso_58c6f776dc0d60d61433902e_pdf

Olga M. VASEK, R. C. (2004). *ANALISIS DE RIESGOS EN LA ELABORACION DE QUESO ARTESANAL DE CORRIENTES (ARGENTINA)*. Obtenido de <https://www.exa.unne.edu.ar/revisfacena/20/13-22.pdf>

Soria, R. B. (09 de Marzo de 2018). *Automatización del proceso de elaboración de queso fresco semiblando entero de la empresa el campesino*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15327/1/UPS%20-%20ST003497.pdf>