

**Diseño del proceso de automatización de planta de cerveza artesanal La Marquesa ubicada
en la ciudad de Bucaramanga-Santander.**

Espacio coterminal – Especialización en automatización industrial

Universidad Santo Tomas seccional Bucaramanga – Santander

Yesid Albeiro Sotaquirá Chaparro

Universidad Santo Tomas

Facultad Ingeniería Electrónica

Tunja – Colombia

Noviembre 2023

Diseño del proceso de automatización de planta de cerveza artesanal La Marquesa ubicada en la ciudad de Bucaramanga-Santander.

Yesid Albeiro Sotaquirá Chaparro

Director de proyecto:

Mg. Carlos Alberto Cardona Coy

Universidad Santo Tomas

Facultad Ingeniería Electrónica

Tunja – Colombia

Noviembre 2023

El contenido de este documento es solo responsabilidad de su autor. La universidad Santo Tomas de Aquino seccional Tunja, junto con la Facultad de Ingeniería Electrónica quedan exoneradas de todas las consecuencias y responsabilidades que pueda causar este proyecto.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Fecha: Día____Mes____Año____

Firma Jurado

Firma Jurado

Dedicatoria

Este trabajo de grado se lo dedico principalmente a mi papá, Hernando Sotaquirá quien con sus valores y principios me enseñó la perseverancia y las ganas de superarme día a día, se que desde el cielo estará orgulloso de mis logros conseguidos y a mi hijo Martin, quien es, mi mayor motivación para cumplir esta y cada una de mis metas.

Agradecimientos

Agradezco a Dios, quien fue luz de guía durante todo este largo proceso, por brindarme el conocimiento y la sabiduría.

A mi mamá, Ligia Chaparro, por haberme dado la oportunidad de culminar con mis estudios, por su sacrificio y paciencia a lo largo de estos años. Su esfuerzo, cariño y apoyo incondicional fueron pilar para cumplir este sueño.

A la Universidad Santo Tomas – Seccional Tunja por mi formación académica e integral, especialmente a la facultad de Ingeniería Electrónica, la cual se convirtió en un segundo hogar, y me abrió sus puertas al conocimiento. A mi tutor, por su orientación y disposición para poder culminar este proceso.

A todos Muchas Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xii
1. Introducción	1
2. Definición del problema	2
2.1. Formulación de preguntas	2
2.2. Delimitación del problema	3
3. Justificación	4
4. Objetivos	5
4.1. Objetivo General.....	5
4.2. Objetivos específicos.....	5
5. Marco Referencial.....	6
5.1. Estado del arte	6
5.2. Normatividad legal vigente que rige la actividad	7
5.3. Marco conceptual	8
5.4. Marco teórico.....	9
5.5. Selección del PLC	12
5.6. Selección pantalla HMI	14
6. Diseño Metodológico.....	18
6.1. Tipo de investigación.....	18

6.2.	Población	18
6.3.	Desarrollo metodológico	19
7.	Resultados	22
7.1.	Descripción del sistema	22
7.2.	Diagrama P&ID	24
7.3.	GRAFCET de programación	28
7.4.	Programación y simulación	35
7.5.	Diseño de la HMI	39
8.	Estimación de Costos	43
9.	Conclusiones	45
	BIBLIOGRAFÍA.....	47

Lista de Tablas

Tabla 1 Especificaciones PLC S7-1200	12
Tabla 2 Especificaciones KTP700	14
Tabla 3 Descripción del proceso de Molienda	22
Tabla 4 Descripción del proceso de maceración	23
Tabla 5 Descripción del proceso de Extracción del mosto	23
Tabla 6 Descripción del proceso de cocción del mosto	24
Tabla 7 Estimación de Costos de Instrumentos	43
Tabla 8 Estimación de Costos de Diseño	44

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Control de temperatura tanque almacenamiento de agua	25
Ilustración 2 Etapa del proceso de molienda y maceración	26
Ilustración 3 Etapa del proceso Extracción del mosto	27
Ilustración 4 Proceso Extracción del mosto	28
Ilustración 5 Grafcet Etapa O.....	28
Ilustración 6 Grafcet etapa 1	29
Ilustración 7 Grafcet Etapa 2.....	29
Ilustración 8 Grafcet Etapa 3.....	30
Ilustración 9 Grafcet Etapa 4.....	30
Ilustración 10 Grafcet Etapa 5.....	31
Ilustración 11 Grafcet Etapa 6.....	31
Ilustración 12 Grafcet Etapa.....	32
Ilustración 13 Grafcet Etapa 8.....	32
Ilustración 14 Grafcet Etapa 9.....	33
Ilustración 15 Grafcet Etapa 10.....	33
Ilustración 16 Grafcet Etapa 11.....	34
Ilustración 17 Grafcet - control de temperatura	35
Ilustración 18 Conexión PLC y HMI Software Tia Portal V18.....	35
Ilustración 19 Simulador controlador PLC SIMV18	36
Ilustración 20 Programación Ladder del sistema de control	37
Ilustración 21 Diseño Pantalla Principal HMI	39
Ilustración 22 Pantalla de ingreso de variables según la receta a elaborar	40

Ilustración 23 Pantalla de visualización de variables del proceso	41
Ilustración 24 Pantalla de visualización del proceso general	42

Lista de Figuras

Figura 1 Proceso de elaboración cerveza artesanal la Marquesa	9
Figura 2 Desarrollo Metodológico	19

RESUMEN

La planta de cerveza La Marquesa ha venido desarrollando su actividad comercial desde el mes de agosto del año 2021, dedicándose a la fabricación de cerveza de manera artesanal lo que implica tiempos elevados en el proceso. Para elaborarla, se debe conocer cada una de las etapas desde la selección de la materia prima (cebada malteada) hasta el embotellado y distribución de esta.

Mediante el diseño de automatización se busca aumentar la producción de litros de cerveza en un menor tiempo, brindando la posibilidad de mejorar y mantener un control óptimo en el proceso de las etapas, seleccionando los equipos, instrumentos y controladores adecuados. Para el desarrollo del Graficet se tuvieron en cuenta las acciones a realizar obteniendo así las ecuaciones para programar en el equipo PLC, finalizando con el diseño de simulación en una interfaz HMI en donde el operario interactúa con un dispositivo controlando y monitoreando cada una de las etapas de producción.

El sistema se compone de sensores, además del equipo adecuado para realizar el diseño del sistema de control de cerveza artesanal permitiendo controlar válvulas, electrobombas y motores ejecutando cada tarea óptimamente.

1. Introducción

La cerveza La Marquesa nace en el año 2021, como un emprendimiento de dos jóvenes en la ciudad de Bucaramanga, que tras un año de formulaciones y de mejoramientos en el proceso dieron inicio a la fabricación, producción y distribución de esta, implementando su mercado principalmente en los Municipios de Bucaramanga, Piedecuesta y Barichara en el departamento de Santander. La cerveza la Marquesa es un producto 100% artesanal, con una producción de 80 litros neto-mensuales, por lo cual es normal encontrar sobrecostos por pérdida de materia prima, tiempos más largos en su producción y demoras en su distribución.

Actualmente, la Cerveza la Marquesa fabrica cinco (5) tipos de cerveza, todos elaborados netamente de forma Manual, la IPA, cerveza amarga con alta concentración de lúpulo; la Golden Ale, la más fresca; la Red Ale, elaborada con cebada 'Múnich Caramelo', lo que la hace más dulce; la Stout, con un toque a café y la Weissbier, cerveza de trigo. Por lo anterior, se busca contribuir con la Automatización en el proceso de fabricación de estos productos, más aún cuando se maneja una gran rentabilidad en la comercialización de bebidas alcohólicas, en todo el país.

Mediante la Automatización, se propone mejorar los procesos de producción y desempeño, implementando mejoras notorias que reflejaran una mejor calidad en los productos, sustituyendo el sistema manual por un sistema autónomo, el cual incorporaría diferentes sensores y actuadores que proporcionan un rendimiento óptimo, y en base a las necesidades del proceso hacer la selección del PLC y elaborar la programación correspondiente.

2. Definición del problema

En el mercado actual es usual encontrar varias empresas dedicadas a la producción de cerveza artesanal, en razón a que su elaboración no es complicada y se puede encontrar fácilmente elementos y materiales para pequeños empresarios en casas. Sin embargo, estos equipos requieren de un control detallado principalmente en las temperaturas y tiempos de maceración y cocción, razón por la cual, el operario le dedica mucho tiempo a cada proceso con el fin de encontrar un producto de buena calidad.

Por otra parte, dentro de la búsqueda de un buen producto, se evidencia problemas en pérdidas y desperdicios de materias primas, lo que genera al emprendedor sobre costos y reducción en la producción. Con la Cerveza La Marquesa se debe contar con un procedimiento meticuloso pues al tener cinco tipos de cerveza y al ser un proceso netamente artesanal, es difícil y demorado recrear nuevamente cada procedimiento, lo que genera disponibilidad total de la persona encargada de la producción.

Cerveza la Marquesa, es consciente que para crecer en producción y poder incorporarse en el mercado, debe automatizar sus procesos, cumplimiento con normas de salubridad, logrando mejorar resultados, mayor eficiencia y que esta además se acomode a la calidad requerida en el mercado, pues en Colombia es un producto de gran demanda con el que se puede generar ingresos significativos.

2.1. Formulación de preguntas

¿Cuáles son los tipos de sensores, actuadores y PLC, así como la ubicación adecuada para la implementación de este proyecto?

2.2. Delimitación del problema

De acuerdo con la descripción del problema y con el fin de reducir costos, tiempo, desperdicios, mejorar la productividad y minimizar fallas humanas, se limita el proyecto al Diseño del proceso de Automatización de planta de cerveza artesanal La Marquesa, mediante el diseño por medio de simulación en los procesos de molienda, maceración, extracción del mosto y cocción, esto a través del software wincc que es una herramienta de TIA Portal en su V18 en su versión de prueba de usuario.

El diseño se implementará posteriormente, si así lo desea la Empresa, pues dicha automatización es una implementación con una inversión financiera alta, pero permitiría a la empresa posesionarse en el mercado nacional, con una cantidad de producción más alta y rápida, además de ser una opción que facilitaría los trabajos a los operadores y reduciría los tiempos y costos a largo plazo.

El diseño abarcará la producción de 40 litros netos mensuales en cada una de sus presentaciones para un total de 200 litros.

3. Justificación

Una de las industrias más grandes a nivel mundial es la industria cervecera. Su posicionamiento y comercialización es muy rentable, no obstante, una pequeña parte de este mercado son las cervezas artesanales, que siguen una tradición con procedimientos domésticos, pero que en la mayoría de los casos poseen malos estándares de calidad y salubridad, convirtiéndolo en un mercado poco productivo.

Por lo anterior, si se implementa la automatización mediante el control de maquinaria, se reduciría en gran medida los tiempos de elaboración de los productos, se establecería mayor producción y por ende mayor comercialización, de igual forma, al ser una empresa familiar Cerveza La Marquesa, mejoraría la calidad de vida de cada miembro, haciendo que se reduzca su tiempo de dedicación y mejoren sus condiciones económicas.

El uso de elementos computarizados y electromecánicos, no solo beneficiarían la producción, sino que ayudarían a realizar la medición de cantidades, temperaturas, tiempos de cocción, maceración, etc. Logrando recrear sabores y aromas de cada una de las cervezas de manera rápida, lo que le brindaría a la empresa tiempo suficiente para mostrar sus productos y posesionarse en el mercado nacional.

En la actualidad se están produciendo 80 litros neto-mensuales buscando con el diseño llegar a una producción de 200 litros neto-mensuales.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Realizar el diseño de Automatización en los procesos de molienda, maceración, extracción del mosto y cocción de la planta de cerveza artesanal La Marquesa, con el propósito de aumentar la producción en un menor tiempo y minimizar el esfuerzo físico de los trabajadores.

4.2. Objetivos específicos

- Diseñar el diagrama P&ID para la planta en donde se evidenciará los actuadores y sensores que se requieren en el proceso, visualizando cada uno de los elementos.
- Analizar los tipos de sensores, actuadores y el equipo disponible en el mercado llegando a elegir los dispositivos adecuados para cada una de las etapas.
- Representar mediante un diagrama GRAFCET un método de flujos en donde se observen las etapas y las posibles fallas que se presenten durante el proceso.
- Desarrollar la simulación de la programación y control del proceso mediante el PLC y su pantalla HMI para visualizar el proceso de una manera interactiva con el operario.
- Estudiar la viabilidad económica de implementar el proyecto permitiéndole a la empresa planificar la realización de la inversión

5. Marco Referencial

5.1. Estado del arte

La automatización busca sustituir sistemas manuales, con el fin de proporcionar un rendimiento óptimo a diferentes industrias, en este caso particular la industria cervecera. Mediante la Automatización, se propone no solo mejorar los procesos de producción y desempeño, sino implementar mejoras que se reflejan en una alta calidad de productos y ventas. Por otra parte, la producción de cerveza artesanal es uno de los mercados más conocidos, no solo a nivel nacional, sino también a nivel internacional, lo anterior debido a los altos índices de consumo y aceptabilidad en el mercado.

Los antecedentes en cuanto a la implementación varían desde estudios teóricos, hasta investigaciones de tipo práctico, en las que se identifica la factibilidad de realizar la automatización a empresas pequeñas productoras de cerveza artesanal.

En la propuesta “*Diseño de la Instrumentación para Planta Cervecera*”, desarrollada en Colombia por la Universidad Santo Tomás de Aquino, en la ciudad de Bucaramanga se realizó la investigación para la selección de instrumentación para una micro empresa cervecera, desde el procedimiento de cocción hasta la maduración, implementando un PLC vinculado a una pantalla HMI, como es el caso de la presente investigación, encontrando como principal conclusión que: “...se logra un ahorro energético significativo gracias a la respuesta controlada de los actuadores que tienen un alto consumo, como enfriadores y calentadores...” (Sebastián Rangel Molano, 2019).

En otro artículo “*Propuesta de automatización para el pasteurizados de fábrica de cervezas Hatuey de Santiago de Cuba*”, donde mediante la implementación de PLC, se automatizo el sistema de embotellamiento y pasteurizado de la cerveza se encontró que proporciono estabilidad al proceso en general garantizando una mayor calidad de la cerveza o malta, así como mayor comodidad para interactuar con el proceso de trabajadores de la Planta. (MSc. Mónica Mulet-Hing, 2018).

La anterior revisión bibliográfica, demuestra que la implementación de la Automatización en procesos industriales mejora notablemente las condiciones de calidad y tiempos en la fabricación de cerveza por tal motivo es oportuno continuar con la investigación para la fábrica de Cerveza Artesanal la Marquesa.

5.2. Normatividad legal vigente que rige la actividad

El Decreto 1366 de 2020 establece una regulación que facilita la producción nacional de bebidas alcohólicas incluida la cerveza artesanal, Corresponde al Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, Invima otorgar el registro sanitario a los productores de bebidas alcohólicas, que incluyen la cerveza artesanal, además Señala que los establecimientos donde se fabriquen, elaboren, hidraten, envasen bebidas alcohólicas de propiedad de los cuales tendrán un tiempo límite de 5 años para obtener la certificación de Buenas Prácticas de Manufactura.

El artículo N°4 dice que los requisitos necesarios para la obtención de registro sanitario de bebidas alcohólicas para asociados se deben dar cumplimiento con los requisitos establecidos en los artículos 61, 62 del Decreto 1686-2012, o la norma que modifique, adicione o sustituya el decreto.

En cuanto al Decreto 1366 de 2020 realiza 8 modificaciones que tienen varios beneficios, uno de estos es que establece una responsabilidad directa en el titular, fabricantes, transportadores y comercializadores de productos con registro sanitario dispuesto en el Decreto 1366-2020, permitiendo tomar acciones a los entes competentes sobre la transgresión de las normas; salvaguardando la salud de cada una de las personas que consumen el producto y así mismo fortaleciendo la credulidad en el gremio productor de cerveza artesanal. (Ministerio de Salud, 2020)

5.3. Marco conceptual

En este capítulo se mencionarán los términos de las materias primas básicas y necesarias para la elaboración de la cerveza artesanal, así como la explicación de cada una de las etapas que se deben realizar para obtener finalmente la cerveza.

MALTA: La malta es el ingrediente principal en la elaboración de la cerveza artesanal, esta es la encargada de brindar los azúcares que la levadura fermentara en un proceso posterior, además contribuye al sabor, color y aroma del tipo de cerveza que se desea elaborar, cuenta con proteínas y minerales esenciales en cada una de las etapas.

LUPULO: El segundo ingrediente irremplazable en la elaboración de la cerveza es el lúpulo, el cual aporta un sabor amargo y un suave aroma, además ayuda a mejorar la persistencia de la espuma, hay diversidad de lúpulos que cuando se mezclan se obtienen amargores y sabores diferentes, dando como resultado las variedades de cervezas mencionadas en capítulos anteriores. (Rosa Isela Carmona Montiel, 2010)

LEVADURA: La levadura es fundamental en el proceso de fermentación, esta es la que se encarga de cambiar el azúcar en alcohol, la levadura apta para la elaboración de la cerveza artesanal es la *accharomyces cerveisiae* para las que tienen más cantidad de espuma.

AGUA: El agua es uno de los elementos más importantes para la elaboración de la cerveza, constituyendo entre el 85 y 92% de la cantidad total, de igual manera es determinante para las condiciones de sabor, aroma y color, tanto así que, se distingue el estilo de una cerveza a otra, solo por la cantidad de agua que esta contenga. Como mínimo, el agua debe ser potable y evitar que contenga bacterias o microorganismos.

5.4. Marco teórico

Figura 1 Proceso de elaboración cerveza artesanal la Marquesa



Fuente: Autor

Para la elaboración de la cerveza artesanal se cuenta con las siguientes etapas:

MOLIENDA DE LA MALTA: Durante este procedimiento se reduce el grano de la cebada a partes más pequeñas, la mayoría de estas se disuelven en agua caliente, sin embargo, algunas de las cáscaras que quedan como grano, sirven como lecho filtrante para la siguiente etapa. La molienda es una etapa muy importante, pues del grano que resulta de este procedimiento depende el sabor y el rendimiento que se consiga en la maceración. (Sebastián Rangel Molano, 2019).

MACERACION: En el proceso de maceración se busca sumergir el grano (malta molida) en el 90% del agua del procedimiento anterior (Molienda), la cual debe encontrarse entre los 65 y 68 °C, esta mezcla debe mantenerse durante un tiempo determinado generalmente 60 a 90 minutos, entre los 72 y 65 °C, esto por medio de un quemador a gas y un agitador que produce que el mosto sea más homogéneo.

EXTRACCION DEL MOSTO: La extracción del mosto consiste en traspasar el material resultante de la maceración, a un depósito, el cual cuenta con un suelo falso, semejante a un colador, que permite separar los restos del grano del mosto, al tiempo se añade agua caliente por la boca del depósito para facilitar la extracción del mosto en la cantidad requerida para las diferentes recetas.

COCCION DEL MOSTO: Durante la cocción del mosto se produce la adición del lúpulo, en dicho proceso se hierve el mosto a una presión atmosférica determinada de 60 a 90 minutos aproximadamente. Este procedimiento es muy importante pues durante este, se detiene la actividad enzimática, se coagulan las proteínas y taninos, se cae el PH, se evaporan agua y elementos volátiles, y lo más importante se concentra la producción de color de la cerveza, este último, por la caramelización de azúcares.

ENFRIADO: En el proceso de enfriado, se realiza un cambio brusco de la temperatura en un tiempo preferible menor a treinta minutos, el objetivo principal es eliminar bacterias y microorganismos no deseados.

En el proceso de elaboración de cerveza se usan varias formas para el enfriado, algunas de ellas son:

- Serpentín: Este se usa cuando el mosto está hirviendo aún, aproximadamente 10 minutos antes de que finalice la cocción del mosto, se coloca el serpentín y se comienza a hacer circular agua fría por el interior de este, de manera que se llegue a unos 25 °C.
- Contracorriente: Se pasa el mosto desde el depósito de cocción hasta el fermentador, mientras que, por medio de manguera se hace circular agua fría en sentido contrario.
- Enfriador a Placas: El método más utilizado es este, se colocan placas frías en contacto con el mosto caliente, se logran tiempos de enfriado más rápidos.

FERMENTACION: Para el proceso de fermentación, se debe preparar con anticipación la levadura a utilizar, generalmente dos semanas. La Activación de la levadura se inyecta posteriormente en el mosto y se deja reposar. Las características de la fermentación dependen del tipo de levadura que se utilice, la cual transforma los azúcares naturales del mosto en alcohol y/o dióxido de carbono.

MADURACION: Durante la maduración se busca que la cerveza clarifique, perdiendo turbidez y sedimentos, así mismo, se decantan las proteínas que se formaron durante la aplicación del frío. Este procedimiento puede durar entre 3 a 4 días hasta 30 días máximo, durante la maduración es esencial que la cerveza se mantenga entre -1 a 4 °C.

5.5. Selección del PLC

Para la selección correcta del PLC se deben tener en cuenta, fundamentalmente, el número de señales de entrada y de salida que son capaces de manejar, y la complejidad de operaciones que es capaz de realizar. Las señales de entrada son las realimentaciones que ingresan al controlador, y las señales de salida son el conjunto de señales de control derivadas del PLC. Tanto las señales pueden ser analógicas y/o digitales. Cuando se elige el equipo es beneficioso reservar al menos el 20% para canales de entrada y salida para próximas expansiones. Los PLC, en su mayoría son modulares. Esto es porque, el hardware se puede fragmentar en partes que se interconectan y conforman un sistema a medida. (Daneri, PLC: Automatización y Control industrial, 2008).

Para el desarrollo del proyecto se escogió el PLC SIEMENS 6ES7211-1AE40-0XB0 ya que es la opción ideal cuando se trata de realizar tareas de automatización de manera flexible y eficiente en el rango de rendimiento medio a bajo, dado que, tiene una amplia gama tecnológica, entradas y salidas integradas y un diseño resistente a cualquier entorno.

En el caso del SIMATIC S7-1200 se encuentra aprobado por la protección IP20 y su instalación se hace generalmente en un cuarto de control.

Tabla 1 Especificaciones PLC S7-1200

INFORMACIÓN GENERAL SIEMENS- 6ES7211-1AE40-0XB0	
Designación del Tipo de Producto	CPU 1211C DC/DC/DC
Versión de firmware	V4.2
Número de Puertos	1
Intensidad de Alimentación	300mA
Tensión de Alimentación	DC24V
Ancho	90mm
Alto	100mm

Profundidad	75mm
Temperatura ambiente en almacenaje, min.	-40 °C
Temperatura ambiente en almacenaje, max	70 °C
Ingeniería con:	
Paquete de programación	STEP 7 V14 o superior
Tensión de alimentación:	
Valor Nominal (DC) 24 V DC	SI
Rango Admisible, Límite Inferior (DC)	20,4 V
Rango Admisible, Limite Superior (DC)	28,8 V
Tensión De Carga L+	
Valor Nominal (Dc)	24V
Rango Admisible, Límite Inferior (DC)	20,4 V
Rango Admisible, Limite Superior (DC)	28,8 V
Intensidad de Entrada	
CONSUMO (VALOR NOMINAL)	300 mA; solo CPU
CONSUMO MÁXIMO	900 mA; CPU con todos los módulos de ampliación
Intensidad de Salida	
PARA BUS DE FONDO (5 V DC), max	750 Ma
MEMORIA	
Memoria de Trabajo	
Integrada	50 Kbyte
Memoria de Carga	
Integrada	1 Mbyte
Entradas Digitales	
N° de entradas	6
Tensión de Entrada	24 V (Valor Nominal DC)
Intensidad de Entrada	4 mA (para 15V)
Salidas Digitales	
N° de Salidas	4
Tensión de Salida	0,1 V; con carga de 10 kOhm
Intensidad de Salida	0,5 A
Entradas Analógicas	
N° de entradas	2
Tensión de Entrada	0 a +10 V
Salidas Analógicas	
N° de Salidas	0

Fuente: Autor

5.6. Selección pantalla HMI

La HMI o interfaz de usuario es el medio con el cual el usuario puede comunicarse con una máquina, equipo, computadora o dispositivo, y comprende todos los puntos de contacto entre el usuario y el equipo. Las pantallas se entienden y se accionan fácilmente, lo que significa que son amigables con cualquier persona que la utilice. (Daneri, Automatización y control industrial, 2009).

Por lo anteriormente descrito se optó por seleccionar la pantalla HMI SIEMENS KTP700 Basic 6AV2123-2GB03-0AX0 la cual mostrara la información operativa en tiempo real y de forma fácilmente comprensible. De acuerdo con los gráficos visuales se puede verificar el estado de nivel de los tanques, apertura de válvulas, entre otros parámetros.

Tabla 2 Especificaciones KTP700

INFORMACIÓN GENERAL SIEMENS- 6AV2123-2GB03-0AX0	
Designación del Tipo de Producto	KTP700 Basic Color PN
Display	
Tipo de Display	Pantalla TFT panorámica, retroiluminación LED
Diagonal de Pantalla	7 in
Anchura de Display	154,1 mm
Altura del Display	85,9 mm
N° de colores	65536
Tipo de Procesador	32 Bit RISC
Resolución	
Resolución imagen horizontal x vertical	800x480 pixeles
Retroiluminación:	
MTBF de la retroiluminación (con 25° C)	20000 h
Retroiluminación variable	SI
Tensión de alimentación:	
Tipo de tensión de la alimentación	DC
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	19,2 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V

Intensidad de Entrada	
Consumo (valor nominal)	230 Ma
MEMORIA	
Flash	Si
RAM	Si
Memoria usable para datos de usuario	10 Mbyte
PUERTO	
N° de puertos	1
Tipo de Puerto	Ethernet
Dimensiones	
Ancho	214 mm
Altura	158 mm
Profundidad	39 mm
Temperatura	
Temperatura de Funcionamiento Min	0 °C
Temperatura de Funcionamiento Max	+ 40°C

Fuente: Autor

MEDIDORES DE NIVEL DE LIQUIDOS: Los medidores de nivel en la industria son fundamentales para llevar a cabo un buen funcionamiento del proceso en general, en el proceso de elaboración de cerveza se forma una espuma densa en los tanques de almacenamiento, por este motivo se usan transmisores de presión para medir el nivel, por lo general se utilizan dos, uno mide la presión de nivel superior y el segundo mide la presión total en la parte de abajo del depósito, de esta manera hay un cálculo preciso con la diferencia de las dos presiones.

MEDIDORES DE TEMPERATURAS: La medición de temperatura en los procesos es fundamental ya que garantizan un control exacto en cada etapa de elaboración, Los sensores RTD TM371 aumenta la seguridad de los productos ya que cumple con la Normas de correcta fabricación (GMP) que es de origen español y validada en Colombia por el Invima en el Decreto 1686 de 2012 Por el cual se establece el reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que se deben cumplir para la fabricación y elaboración de cerveza artesanal, por lo que son utilizados en

la automatización de procesos Diseñado especialmente para usarse en aplicaciones higiénicas y asépticas en las industrias de alimentación y bebidas y de las ciencias de la vida alimentarios de bebidas, este tipo de sensores es el indicado para el uso en las etapas de maceración, extracción del mosto y cocción. (Ministerio de Salud y Protección Social, 2012).

MOLINO A MOTOR: En el proceso de molienda se opta por seleccionar un molino a motor eléctrico AC con una frecuencia de 50/60 Hz con un voltaje de alimentación de 110 V apto para alimentos el cual cuenta con rodillos ajustables para una mejor trituración del grano.

BOMBAS PARA CERVECERIAS: Para la elaboración de la cerveza las bombas deben ser altamente fiables y óptimos, que además cumplan con los estándares de calidad para su uso en el sector de bebidas y alimentos, las bombas centrifugas de caudal son ideales para este uso.

AGITADOR VERTICAL: Para la mezcla de la malta como para la extracción del mosto se requiere de una agitación lenta/media, para este caso un agitador vertical con motorreductor es una opción muy viable ya que este empuja el producto hacia el fondo del tanque logrando que este flote por las paredes y obtener un buen producto.

VALVULA DE MARIPOSA: Este tipo de válvulas se pueden accionar de forma automática o manual, en el desarrollo del diseño se utilizarán manualmente ya que son muy útiles para dar ingreso a productos solidos como la malta y el lúpulo.

VALVULA DE BOLA: Se usan principalmente para el paso de líquidos viscosos como es el caso del proceso de maceración en donde la mezcla del mosto contiene solido por lo que se requiere que el flujo no se obstruya y siga al siguiente proceso.

TOLVAS: para el ingreso de la malta y el lúpulo se hace por medio de recipientes en acero inoxidable de forma cónica permitiendo el paso del grano a los diferentes procesos en que estos se vayan a utilizar.

TANQUES DE CERVEZA ARTESANAL: Se utilizan tanques de acero inoxidable para mantener estándares de calidad altos, estos se adaptan para la elaboración de cerveza y sus diferentes tipos de sabores, además este material tiene una buena conductividad térmica permitiendo conservar la temperatura en los procesos de maceración, extracción del mosto y cocción por lo que el material cuenta con durabilidad y dureza a la corrosión.

ATMOSFERAS EXPLOSIVAS: Un área peligrosa es en la que están presentes gases y vapores inflamables que pueden provocar la ignición de la mezcla , por este motivo se deben de elegir muy bien los equipos a instalar en los espacios de una forma segura, ya que al manipular materia prima como la malta y al manejar altas temperaturas se puede considerar como una zona ATEX por ende estos equipos deben contar con la norma que indica que son elementos que han cumplido con los requisitos establecidos para ser empleados. (Creus, 2010)

6. Diseño Metodológico

6.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo del proyecto se realizará una investigación aplicada ya que esta tiene como objetivo abordar problemas prácticos y mejorar la eficacia de los procesos y tecnologías existentes en una amplia variedad de campos, de esta manera se mejora la calidad y eficiencia de los procesos existente optimizando la producción y reduciendo los costos. Además, ayudara a mejorar la calidad de vida de las personas al proporcionar soluciones prácticas y efectivas a problemas importantes.

Teniendo en cuenta la investigación aplicada se pondrán en práctica las competencias y conocimientos desarrolladas durante la formación académica basada en automatización industrial seleccionando tecnologías, equipos e instrumentos que satisfacen las necesidades del mercado.

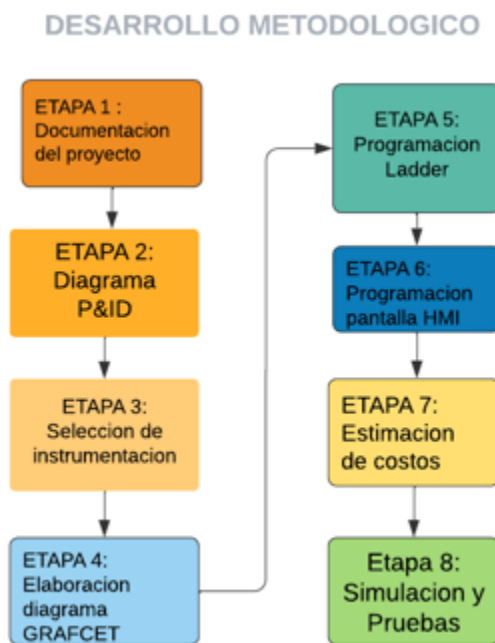
6.2. Población

La planta de cerveza La Marquesa es reconocida por ser un producto 100% artesanal, por lo que ha tenido buena acogida en municipios como Bucaramanga, Piedecuesta y Barichara. El Departamento de Santander tiene una población de 2 millones 306 mil habitantes, de acuerdo con el último reporte entregado por el DANE, ocupando el cuarto lugar como departamento con densidad poblacional mayor en Colombia.

La idea fundamental de la empresa es no solo llegar a los Municipios anteriormente mencionados, sino lograr comercializar en todo el departamento, así como llegar a Boyacá y Cundinamarca.

6.3. Desarrollo metodológico

Figura 2 Desarrollo Metodológico



Fuente: Autor

Etapas 1: Documentación del proceso: Como fase inicial del proyecto se realiza el estudio del proceso de la elaboración de cerveza artesanal en donde se registra en detalle las tareas y los pasos necesarios que utiliza la planta de cerveza artesanal La Marquesa, en la visita a la planta se observaron las fallas que se pueden corregir por medio de la automatización de procesos y la utilidad que esta prestaría.

Etapas 2: Diagrama P&ID: En el diagrama P&ID, se registran los símbolos y demás nomenclatura utilizada para cualquier diagrama de flujo de un proceso. La norma estándar es la

Norma ISA (Sociedad de instrumentistas de América). Los diagramas de instrumentos P&ID y tuberías representan los sistemas de control de procesos, los cuales utilizan símbolos normalizados representados por medio de tuberías, motores, bombas, entre otros.

Etapas 3: Selección de instrumentación: Para la selección de la instrumentación, es necesario tener en cuenta varios parámetros como la potencia, características de alimentación, características del ambiente, datos de fabricación, entre otros. La automatización se logra a partir de elementos que registran lo que sucede en el ambiente del proceso, luego elige una acción de control la cual se encuentra preprogramada y actúa sobre el sistema para obtener un resultado. Además, es importante tener en cuenta que, los fabricantes deben estar certificados para obtener una mayor garantía del producto.

Etapas 4: Programación Ladder: En la programación del PLC tomamos como base el modelo de representación gráfica Grafcet que nos permite organizar la lógica de control de modo simple y sistemático. Cada condición de transición con su consecuente acción se puede corresponder con una línea de programa en lenguaje para la cual se ha tenido en cuenta en todo momento la asignación de entradas y salidas, se utilizó el software TIA Portal V18 con la que se realiza programación de la simulación del diseño del proceso.

Etapas 5: programación pantalla HMI: El panel Interfaz Humano- Maquina (HMI) es un elemento que nos permite comunicar al operario con los equipos en las etapas del proceso. Para el desarrollo del proyecto se realizó un diseño muy intuitivo mediante el cual los operarios puedan observar el comportamiento del proceso. Además, para que se puedan tomar ciertas decisiones sobre el proceso que está controlando.

Etapas 6: Estimación de costos: Una vez definida la instrumentación, equipos y elementos necesarios para la implementación se estimará si es viable la inversión, hay que tener en cuenta que la empresa produce 80 litros de cerveza si se quisiera aumentar la producción los costos aumentarían debido a la capacidad y energía requerida.

Etapas 7: Simulaciones y pruebas: A partir del software TIA Portal V18 en su versión de prueba de Siemens se integró el PLCSIM facilitando de esta manera el diseño y la simulación de la puesta en marcha de la automatización de los procesos propuestos enlazados a la interfaz HMI en donde se detectan deficiencias en cada una de las etapas del proceso.

7. Resultados

7.1. Descripción del sistema

La elaboración de cerveza artesanal cuenta con etapas fundamentales para ofrecer un producto de calidad final, estas etapas se denominan: molienda de la malta, macerado, extracción del mosto y cocción, cada una de estas etapas utilizan sensores y actuadores para hacer un proceso más eficiente.

MOLIENDA

Como etapa inicial contamos con la molienda de la malta uno de los ingredientes principales en la elaboración de cerveza ya que esta da el sabor, color y aroma al producto, el operario ingresa de forma manual la malta en la tolva teniendo en cuenta la cantidad adecuada para la receta que desea elaborar y a su vez abre la válvula manual HV_201 para proceder a realizar la molienda en el motor de molino M1 que se activara cuando se presione el botón de inicio del proceso.

Tabla 3 Descripción del proceso de Molienda

PROCESO	SENSOR Y ACTUDOR
Incorporación de la materia prima (malta)	Ingreso manual operario
Ingreso malta	Válvula Manual FV_201
Molino	Motor #1

Fuente: Autor

MACERADO

En esta etapa se cuenta con un tanque y su respectivo calentador este mantendrá una temperatura entre 65° C y 68°C por medio del diseño de un controlador de temperatura el cual se encenderá

cuando el sensor de nivel en bajo se active al detectar que el agua está ingresando por medio de la válvula de flujo FV_101 quien permitirá el ingreso del agua por un tiempo establecido hasta llegar a un nivel del tanque del 80% y al mismo tiempo se encenderá el motor de molino M1 y la válvula de flujo FV_201 quien permite el ingreso de la malta molida al tanque de macerado TK_200.

Tabla 4 Descripción del proceso de maceración

PROCESO	SENSOR Y ACTUDOR
Ingreso de malta molida	-Válvula de flujo tipo mariposa FV_201 -Ingreso por gravedad
Maceración	Sensor de Temperatura (65°C-68°C) Tiempo de Maceración (60-90 Minutos)
Agitador	Motor #2

Fuente: Autor

EXTRACCION DEL MOSTO

Para iniciar la etapa de extracción del mosto se activa la válvula de flujo FV_301 dando paso al agua que está a una temperatura entre 60°C y 80° C proveniente del tanque de almacenamiento TK_100 al mismo tiempo se activa la válvula de flujo FV_401 la cual permite el paso del mosto hacia el tanque TK_300 activando el agitador del motor del mosto M3 por un tiempo de 60-90 minutos, de igual manera se activa la válvula de flujo FV_501 permitiendo drenar la mezcla que se va obteniendo en esta etapa.

Tabla 5 Descripción del proceso de Extracción del mosto

PROCESO	SENSOR Y ACTUDOR
Ingreso del mosto	-Válvula de flujo tipo globo -Ingreso por gravedad
Ingreso de agua caliente	-Válvula de flujo compuerta -Sensor de Temperatura (60°C-80°C) -Tiempo (60-90 Minutos)
Agitador	Motor #3

Fuente: Autor

COCCIÓN

Luego de extraer el mosto se procede a realizar el hervido de este por un tiempo de 60 a 70 minutos en el tanque de cocción que se encuentra a una temperatura de 55°C-70°C o puede variar dependiendo del tipo de cerveza que se desee elaborar, en este proceso se esteriliza el mosto y el operario añade el tercer ingrediente que da el sabor, amargor y aroma a la cerveza como también propiedades antibacterianas.

Tabla 6 Descripción del proceso de cocción del mosto

PROCESO	SENSOR Y ACTUDOR
Ingreso del mosto	-Válvula de flujo tipo bola -Ingreso por gravedad
Hervido del mosto	-Sensor de Temperatura (60°C-80°C) -Tiempo de hervido (60-70 Minutos)
Adición de levadura	Operador Ingreso por gravedad Válvula Manual tipo mariposa

Fuente: Autor

7.2. Diagrama P&ID

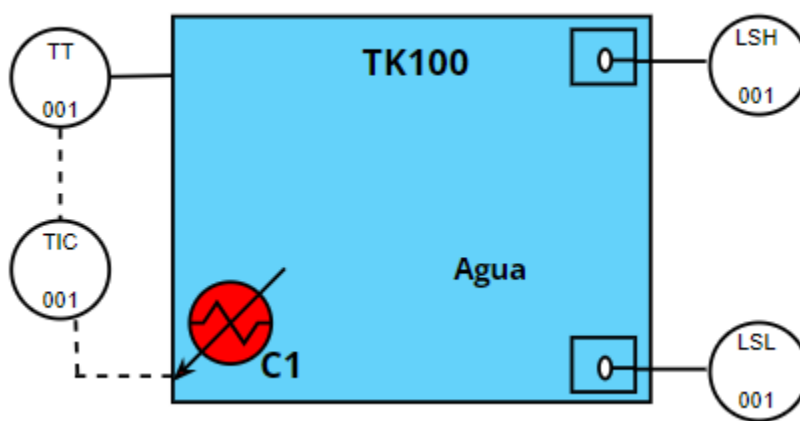
La elaboración del diagrama de tuberías e instrumentación P&ID se desarrolló en el programa Visual Paradigm en donde se observa de una forma más detallada los equipos e instrumentos, así como el flujo de las tuberías que se utilizan en el proceso.

En el diseño se incluyeron instrumentos y equipos tales como válvulas de flujo tipo globo, tipo bola, tipo compuerta y válvulas manuales tipo mariposa las cuales permiten el paso de los diferentes ingredientes sólidos y líquidos además se utilizaron sensores de nivel y temperatura los

que nos permiten dar lecturas de las variables del proceso para obtener un control optimo sobre el sistema.

Para iniciar con el proceso de elaboración de cerveza artesanal la marquesa el tanque TK-100 que corresponde al almacenamiento de agua tiene que contar con un nivel mínimo de líquido el cual lo va a detectar el Switch de Nivel en bajo (LSL 001) este activara el control de temperatura activando el calentador C1 para ir calentando el tanque hasta que llegue a la temperatura de operación 65°C y se va a apagar cuando supere 2° por encima de la temperatura de operación es decir 67°C este control se mantendrá hasta finalizar el proceso.

Ilustración 1 Control de temperatura tanque almacenamiento de agua



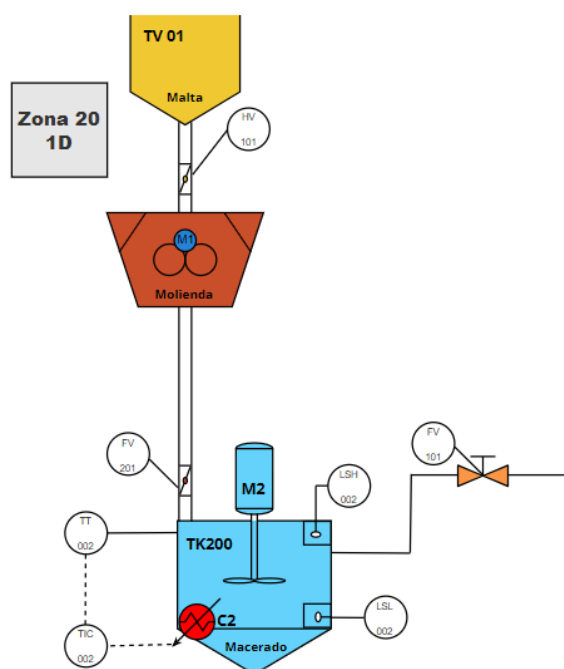
Fuente: Autor

Cuando el agua del tanque TK_100 se encuentre a la temperatura adecuada iniciaremos con el proceso de molienda en donde un operario previamente ha ingresado la malta a la tolva, el operario abre la válvula manual tipo compuerta HV_101 quien permite el paso del ingrediente al molino M1 y este se activará simultáneamente con la válvula de flujo FV_101 y la válvula VF_201 quien permite el paso de la malta molida al tanque de macerado.

La válvula de flujo FV_101 permitirá el paso del agua por un tiempo determinado hasta llenar el tanque de macerado TK 200 a un 80% de su capacidad y cuando esto suceda el motor de macerado M2 se activará, el tanque de macerado tendrá una temperatura entre 65°C y 68°C esta se mantendrá con el control de temperatura del calentador C1.

Cuando el switch de nivel en alto (LSH) del tanque de macerado detecte que está al 100% de su capacidad empezará el tiempo de macerado y se desactivará el motor de molienda M1 y la válvula de flujo FV_201.

Ilustración 2 Etapa del proceso de molienda y maceración

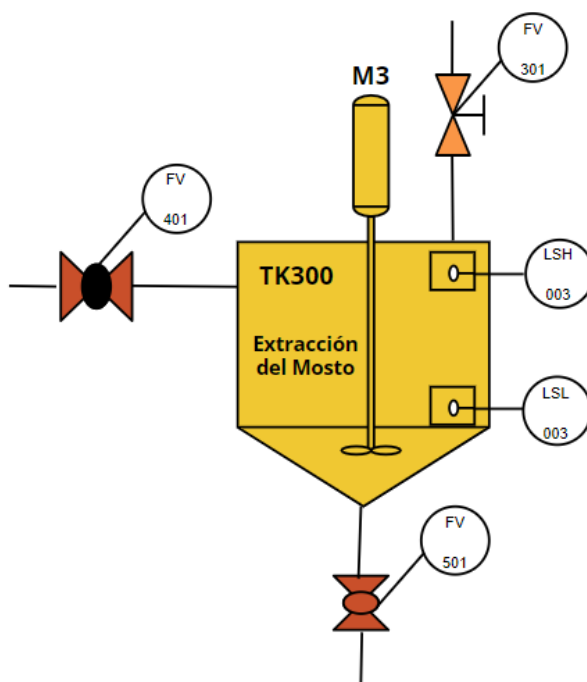


Fuente: Autor

Una vez finaliza el proceso de maceración se activa el motor de extracción del mosto M3, la válvula de flujo tipo globo FV_401 que permite el paso de la mezcla obtenida del macerado hacia la extracción.

Se acciona la válvula de flujo FV_301 permitiendo el paso de agua caliente que se encuentra en el tanque TK_100 a una temperatura entre 60°C y 80°C o dependiendo del tipo de cerveza que se desee elaborar, en este tercer tanque de extracción del mosto TK_300 se cuenta con un piso falso que actúa como un colador separando el mosto del resto de los granos haciendo la mezcla más pura esta se va filtrando por la válvula de flujo FV_501 permitiendo drenar la mezcla a la siguiente etapa.

Ilustración 3 Etapa del proceso Extracción del mosto

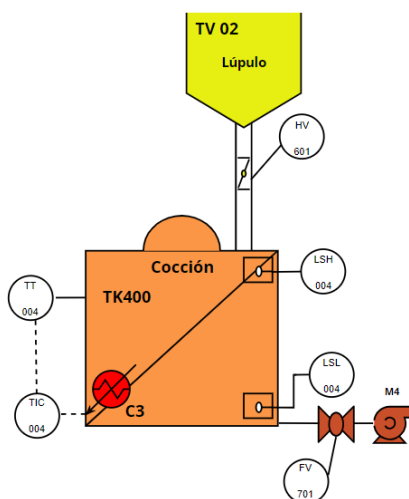


Fuente: Autor

Como etapa final el tanque de cocción TK_400 se mantiene a una temperatura de 60°C a 80°C por medio del controlador de temperatura del calentador C3 de esta forma se realiza el hervor del mosto durante un tiempo de 60 – 70 minutos, en este proceso además de esterilizarse el mosto el operario añade mediante una válvula manual tipo mariposa HV 601 el lúpulo tercer

ingrediente fundamental en la elaboración de cerveza que aportara no solo amargor, sabor y aroma a la cerveza, sino que también propiedades antibacterianas y conservantes.

Ilustración 4 Proceso Extracción del mosto

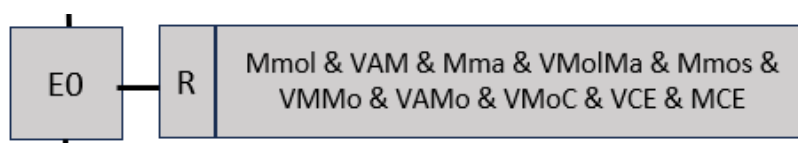


Fuente: Autor

7.3. GRAFCET de programación

A continuación, se describe el Grafcet propuesto para realizar el respectivo control del proceso, el diagrama cuenta con 11 etapas de control con sus correspondientes acciones y transiciones. En el diagrama se observa la etapa 0, donde todo el sistema se encuentra en reposo es decir todos los actuadores están fuera de funcionamiento para poder iniciar con el proceso.

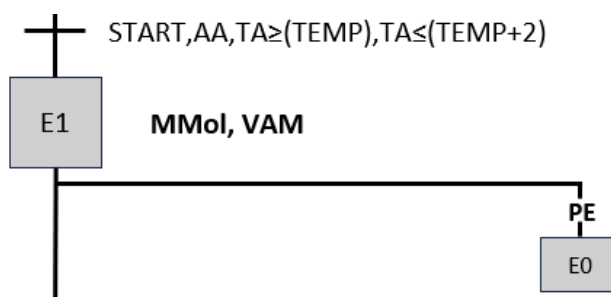
Ilustración 5 Grafcet Etapa 0



Fuente: Autor

Para realizar la transición entre etapas necesitamos cumplir las condiciones propuestas en cada etapa. Las condiciones para iniciar con la etapa 1 es que el switch de nivel en alto del tanque de agua se encuentre activo, la temperatura del tanque de almacenamiento de agua se encuentre en la temperatura de operación es decir 65° C pero no mayor a 2°C de la temperatura de operación es decir 67°C nada más, cumpliéndose lo anterior se accionara el botón Start y se activaran simultáneamente el motor de molino y la válvula de flujo del agua al macerado, cada una de las etapas cuenta con un paro de emergencia que al accionarlo dejara todo en reposo es decir volverá a la etapa 0.

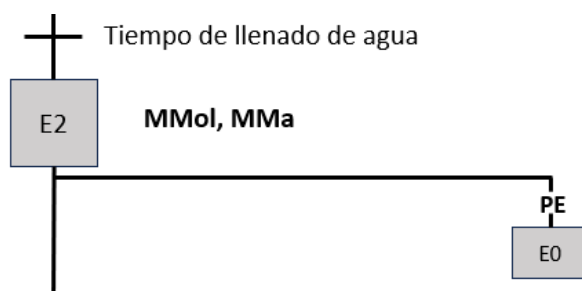
Ilustración 6 Grafcet etapa 1



Fuente: Autor

Las transiciones para seguir a la etapa 2 es que tenemos que esperar un tiempo programado para el llenado del agua en el tanque de macerado hasta que este nivel llegue al 80% cuando esto se cumpla se encenderá el Motor del molino y el motor de macerado.

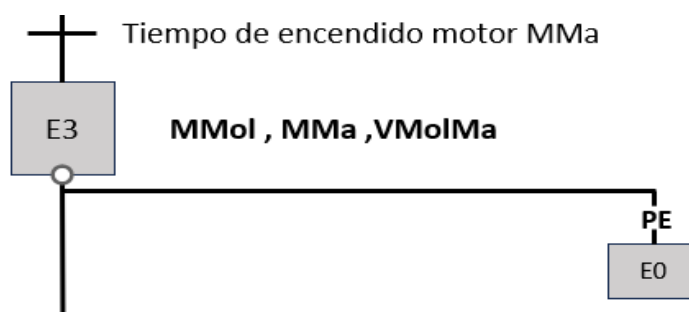
Ilustración 7 Grafcet Etapa 2



Fuente: Autor

La siguiente transición por cumplirse es que transcurra el tiempo de arranque del motor de macerado hasta que pierda la inercia y pasado este tiempo en la etapa 3 seguirá encendido el motor de molienda, el motor de macerado seguirá agitando la mezcla y se activara la válvula que da el paso de la molienda a el proceso de macerado.

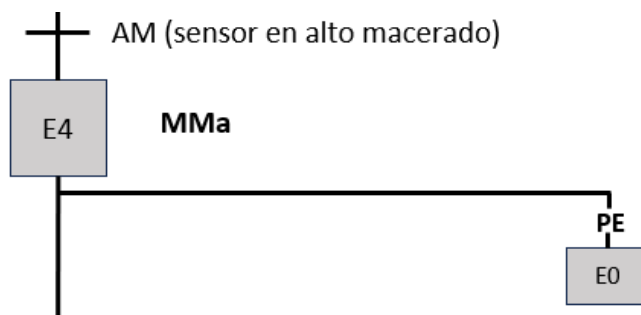
Ilustración 8 Grafcet Etapa 3



Fuente: Autor

Para hacer la activación de la etapa 4 la transición propuesta es que el switch de nivel en alto del tanque de macerado se active para apagar el motor de molienda y la válvula de molienda al proceso de macerado permaneciendo encendido el motor de macerado por un tiempo determinado.

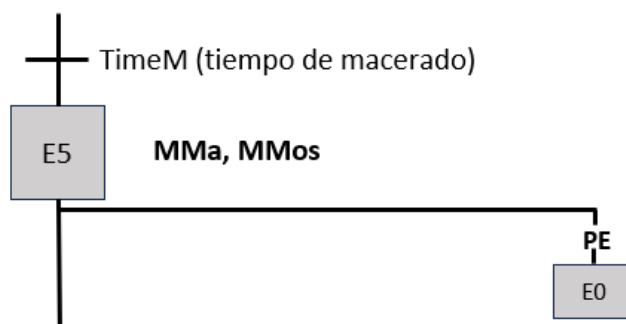
Ilustración 9 Grafcet Etapa 4



Fuente: Autor

En la etapa 5 se tiene que esperar a que transcurra el tiempo de macerado es decir de 60 a 90 minutos en esta etapa seguirá encendido el motor de macerado y se activara el motor del mosto.

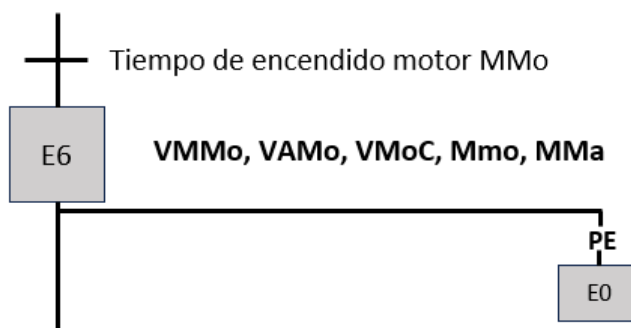
Ilustración 10 Grafcet Etapa 5



Fuente: Autor

Luego de activarse el motor de la extracción del mosto esperamos a que el motor arranque y pierda la inercia, transcurrido este tiempo se activara la etapa 6 en donde estará activa la válvula del paso de macerado hacia la extracción, al mismo tiempo se activa la válvula de paso del tanque de agua por la parte superior del tanque hacia el tanque de extracción del mosto y la válvula que drenara el mosto hacia la cocción.

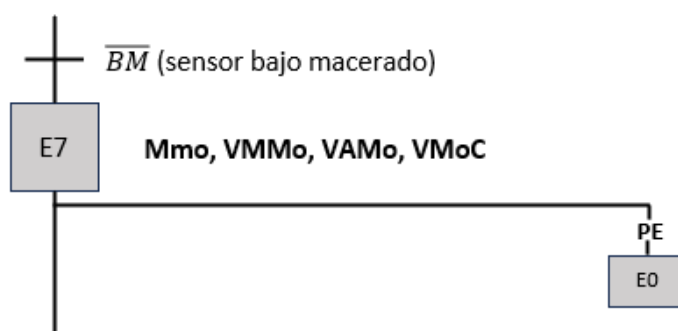
Ilustración 11 Grafcet Etapa 6



Fuente: Autor

Para la etapa 7 cuando el switch de nivel en bajo detecte que ya no hay producto en el tanque de macerado se desactivara el motor de maceración y así daremos por finalizada esta etapa.

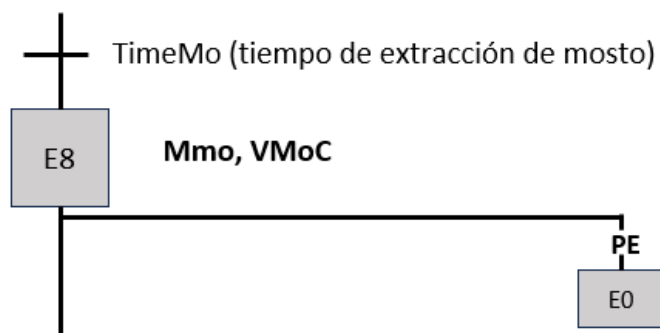
Ilustración 12 Grafcet Etapa



Fuente: Autor

Durante la extracción del mosto se programa un tiempo determinado por el operario y según la receta que se esté preparando, cuando se cumpla este tiempo se desactivara la Válvula del tanque de macerado al mosto y la válvula del tanque de agua a el tanque de extracción del mosto.

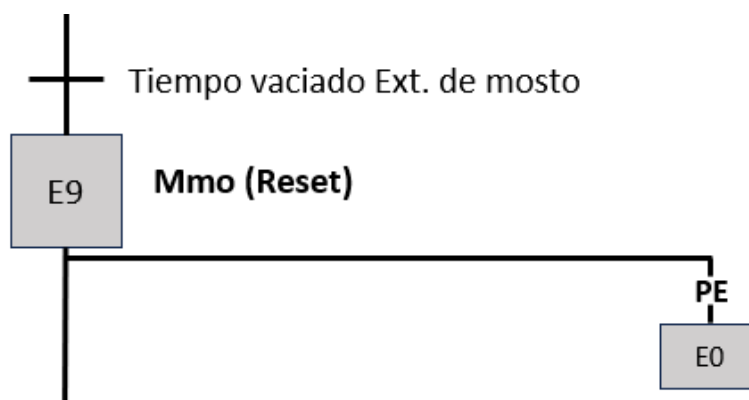
Ilustración 13 Grafcet Etapa 8



Fuente: Autor

Luego de transcurrido el tiempo de extracción del mosto se apaga el motor agitador de este tanque.

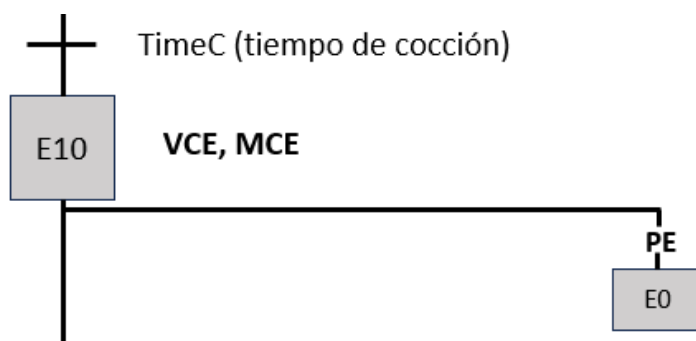
Ilustración 14 Grafcet Etapa 9



Fuente: Autor

La siguiente etapa es la cocción del mosto este proceso tiene un tiempo entre 60 y 70 minutos cuando transcurra este tiempo se activará la válvula de vaciado del tanque de cocción y la bomba de vaciado de este.

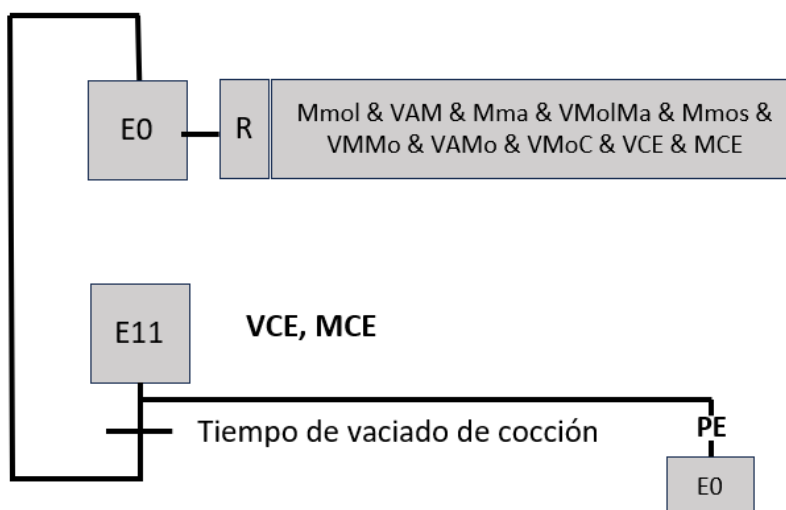
Ilustración 15 Grafcet Etapa 10



Fuente: Autor

Para finalizar el switch de nivel en bajo detectara que en el tanque de cocci3n ya no hay producto y la motobomba y la v3lvula de vaciado del tanque de cocci3n se apagaran luego de transcurrido un tiempo programado para que no quede nada del producto en el tanque, luego de que transcurra el tiempo se desactivara el motor y la v3lvula y de esta manera damos por terminado el proceso y regresaremos al estado 0.

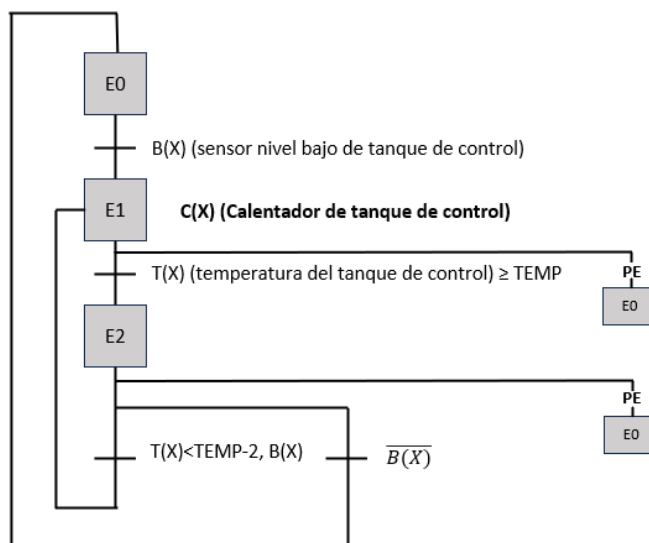
Ilustraci3n 16 Grafcet Etapa 11



Fuente: Autor

Para el dise1o del control de temperatura es similar para los tanques de calentamiento de agua, Macerado y Extracci3n del mosto, cuando los sensores de nivel en bajo detecten que hay liquido en los tanques este se encender3 y empezara a calentar hasta obtener la temperatura deseada y cuando supere 2°C mas de la temperatura deseada se apagara para obtener un buen mosto y no se queme.

Ilustración 17 Grafcet - control de temperatura

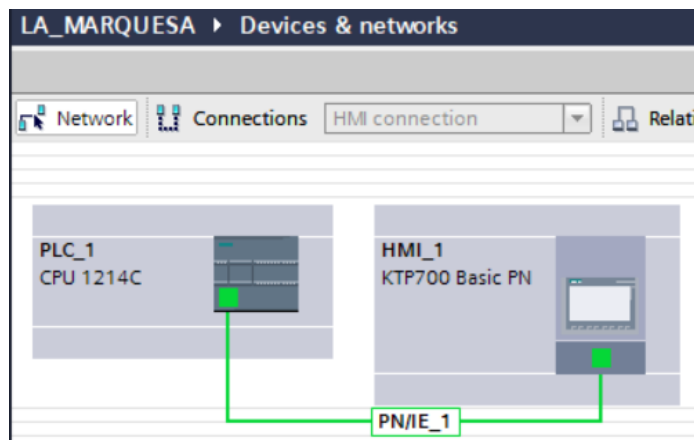


Fuente: Autor

7.4. Programación y simulación

La simulación y programación propuesta se realizó en el software Tia Portal V18 en su versión de prueba utilizando un PLC s7 -1200 con CPU 1214C DC/DC/DC de la marca SIEMENS y una pantalla HMI KTP700 también de la marca SIEMENS compatible con el PLC elegido, se realizó su respectiva conexión a los equipos seleccionados.

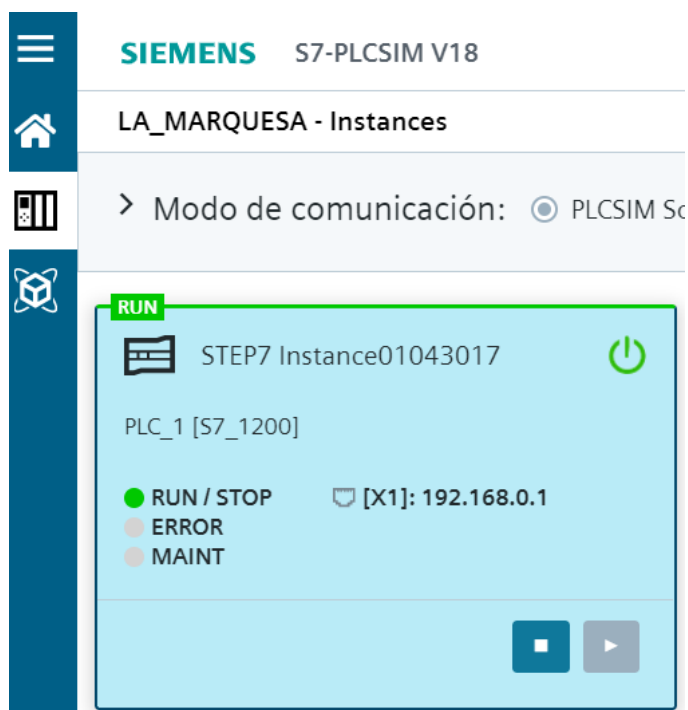
Ilustración 18 Conexión PLC y HMI Software Tia Portal V18



Fuente: Autor

Para realizar la simulación se utilizó el software PLCSIM V18 en su versión de prueba, este es muy útil ya que es posible correr la simulación que se programó al cargarlo al PLC virtual.

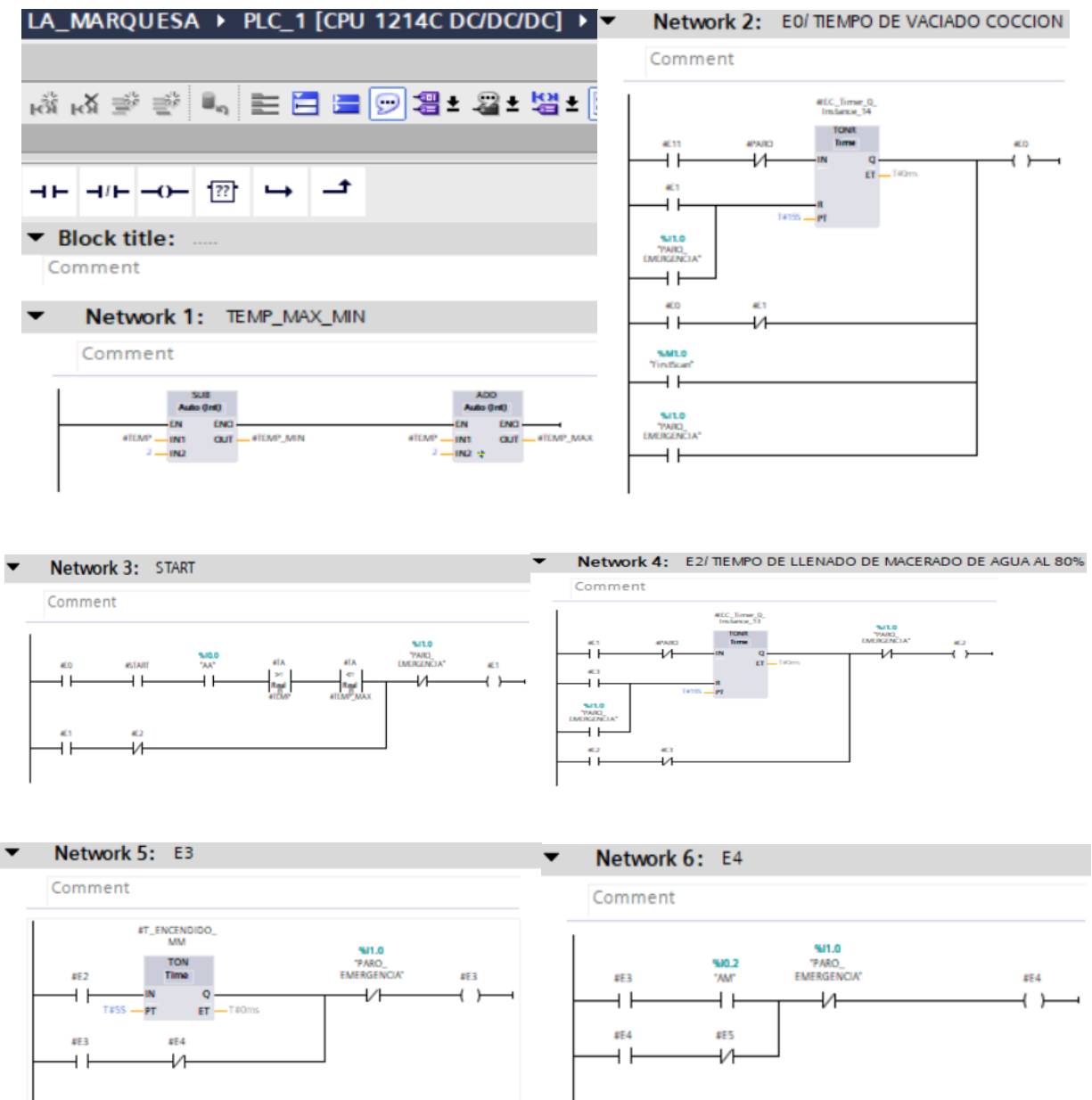
Ilustración 19 Simulador controlador PLC SIMV18

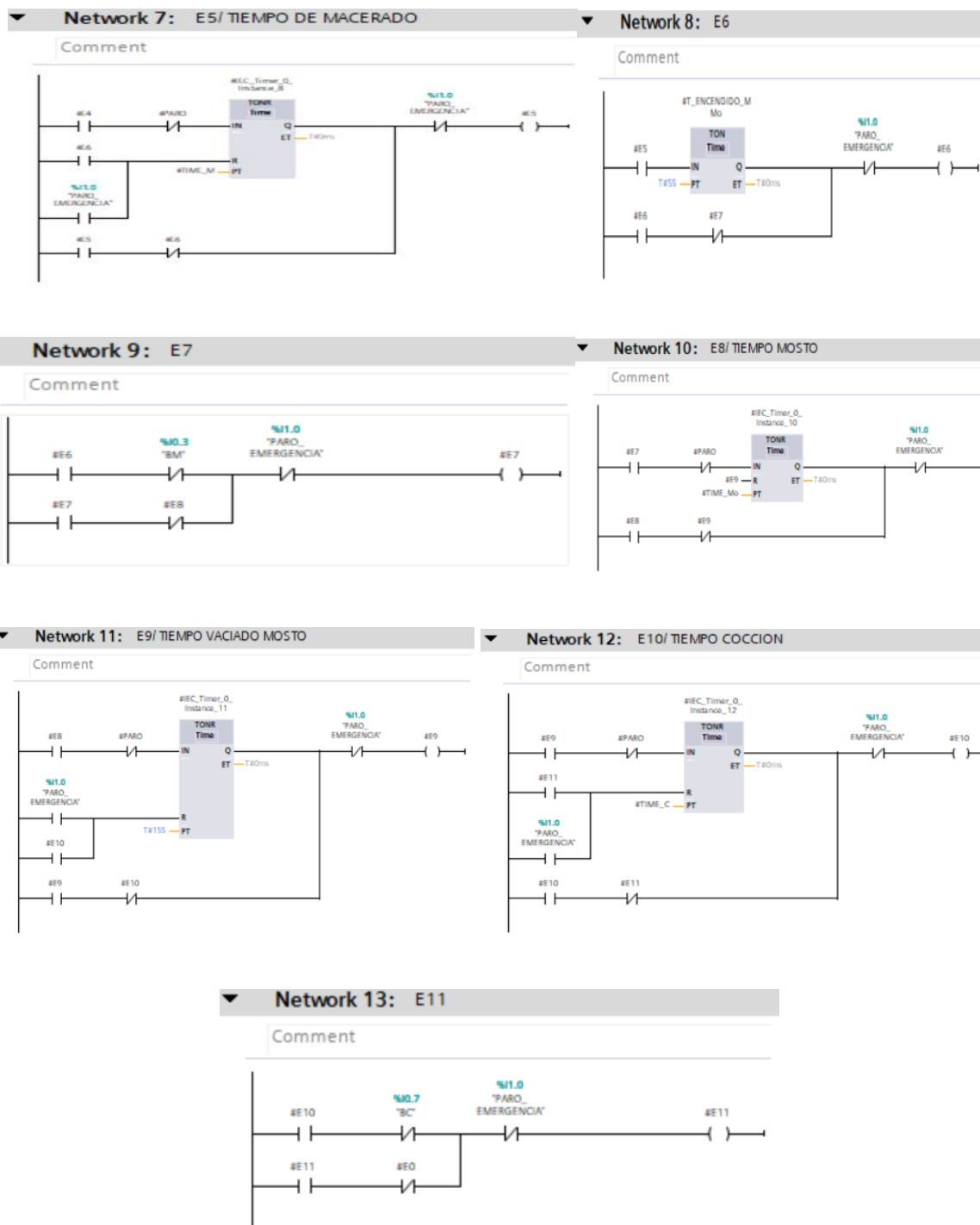


Fuente: Autor

La programación que se compilo cargo y simulo es de tipo Ladder en donde se utilizan contactos en el costado izquierdo y una bobina simulando los actuadores en el costado derecho, el lenguaje Ladder es muy usado en la programación de los PLC SIEMENS ya que es muy comprensible y claro a la hora de usarlo.

Ilustración 20 Programación Ladder del sistema de control





Fuente: Autor

7.5.Diseño de la HMI

En cuanto a la programación HMI se usó el software WinCC Runtime Start en la que el operario puede tener visualización y control sobre el proceso.

En el diseño de la interfaz gráfica se tiene la pantalla principal en donde el operario puede elegir entre seleccionar las variables que se deben ingresar según la receta en cuestión o visualizar cada una de las etapas del proceso.

Ilustración 21 Diseño Pantalla Principal HMI



Fuente: Autor

Como se mencionaba anteriormente si el operario elige la parte de selección se desplegará una ventana donde el elige el tiempo según la receta que se esté elaborando de la etapa de macerado, tiempo de extracción del mosto, tiempo de cocción y la temperatura de operación de cada una de las etapas ya mencionadas.

Ilustración 22 Pantalla de ingreso de variables según la receta a elaborar



Fuente: Autor

Luego que se eligen las variables de temperatura y tiempo del proceso se presiona el botón de volver para luego emitir la información al controlador para proceder al inicio del proceso.

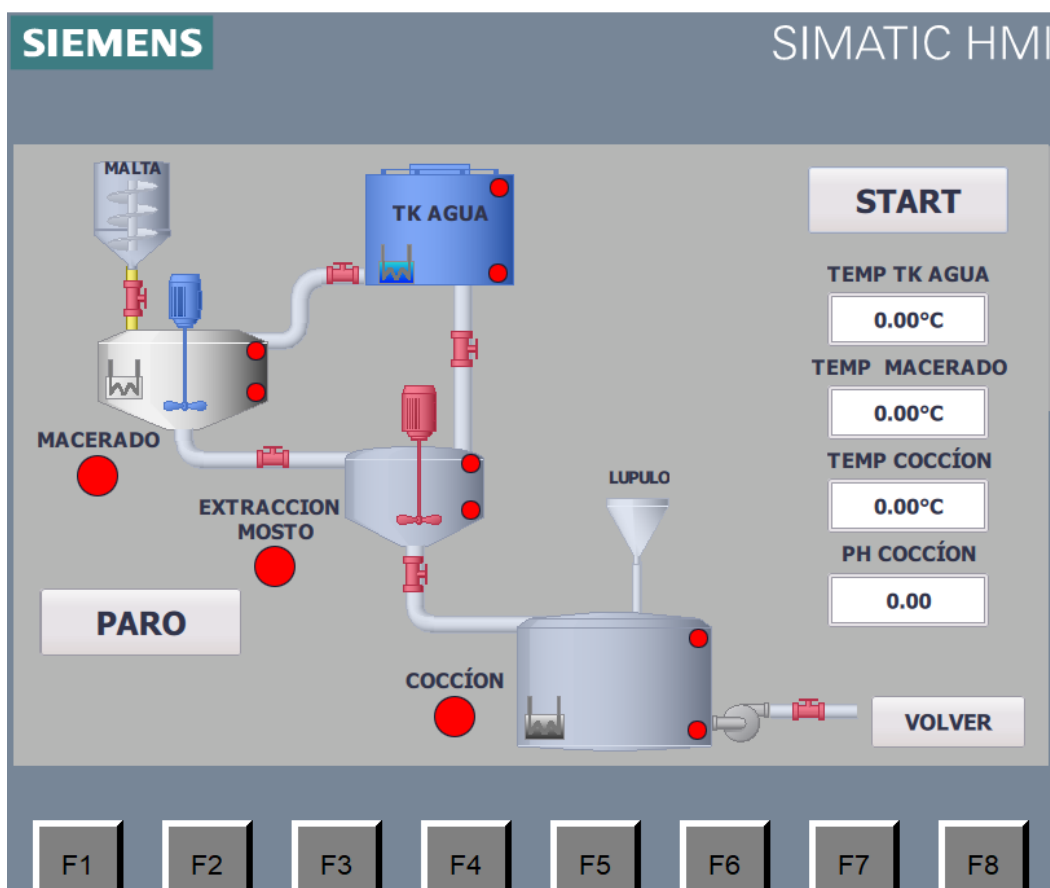
Ilustración 23 Pantalla de visualización de variables del proceso



Fuente: Autor

Cuando el operario selecciona proceso, se despliega la ventana donde se interactúa con cada uno de los instrumentos y equipos utilizados en el diseño de las etapas de molienda, maceración, extracción del mosto y cocción es aquí donde se presiona Start para iniciar la elaboración de la cerveza artesanal, también se cuenta con botones para paro de cualquier etapa y asimismo el botón de inicio para seguir en la etapa en que se encontraba y el botón de paro de emergencia con el que se apagan todos los equipos y etapas del proceso, de igual manera se observan los botones que indican el encendido y apagado de cada etapa y el nivel de alto y bajo de los tanques.

Ilustración 24 Pantalla de visualización del proceso general



Fuente: Autor

De esta manera se da por finalizado el diseño y simulación el proceso de automatización de la planta de cerveza artesanal la marquesa.

8. Estimación de Costos

La Marquesa produce la cerveza de una manera muy artesanal por lo que no cuenta con equipos ni instrumentación para la producción, la estimación de costos se hace a base de los equipos e instrumentos propuestos en el Diagrama P&ID.

Tabla 7 Estimación de Costos de Instrumentos

Componente	Fabricante	Modelo	CAN	Valor unitario	Valor total
PLC	SIEMENS	S7-1200 CPU 1214C	1	\$ 2.760.800	\$ 2.760.800
Modulo Entrada Analógica	SIEMENS	6ES7231-4HA30-0XB	1	\$ 293.624	\$ 293.624
Pantalla HMI	SIEMENS	6AV2123-2GB03-0AX0	1	\$2.876.000	\$2.876.000
Molino	TBVECHI	DY-368	1	\$1.910.900	\$1.910.900
Resistencia eléctrica		MATBORESEL2500B	3	\$1.630.917	\$4.892.751
Controlador de temperatura	Full Gauge	MT-512e	3	\$154.000	\$462.000
Sensor RTD compacto	Endress+Hauser	TM311-CAC0BG6BBB4A2	8	\$284.053	\$2.272.424
	Endress+Hauser	TMT72-MBP1BH4A1	3	\$959.002	2.877.006
Electrobomba Centrifuga	PEARL CSP	Acero Inoxidable 304	1	\$1.506.900	\$1.506.900
Válvula Manual tipo mariposa	Dernord	B07VCQ23JM	2	\$255.659	\$511.318
Válvula de flujo tipo Globo	Generic	Válvulas de control, Válvulas de bola	1	\$460.425	\$460.425
válvula de bola	U.S. Solid	USS-MSV00006	3	\$312.345	\$937.036
TOTAL					\$27.761.184

Fuente: Autor

Tabla 8 Estimación de Costos de Diseño

Actividad	Cargo	Valor día	Días	Total
Estudios	Ingeniero especialista en automatización Industrial	\$800.000	4	\$3.200.000
Diseño Diagrama P&ID	Ingeniero especialista en automatización Industrial	\$300.000	3	\$900.000
Diseño Grafcet	Ingeniero especialista en automatización Industrial	\$300.000	1	\$300.000
Diseño de Control y simulación de procesos	Ingeniero especialista en automatización Industrial	\$600.000	12	\$7.200.000
TOTAL				\$11.600.000

Fuente: Autor

9. Conclusiones

- Mediante el diseño de automatización propuesto para la planta de cerveza artesanal la Marquesa, se logra mejorar la producción y la calidad del producto, aumentando de 80 L netos a 200 L, además de reducir los tiempos de elaboración, mitiga el esfuerzo de los trabajadores, contribuyendo a la expansión de su mercado no solo en el ámbito departamental sino nacional.
- Al ser un proceso automático, se evita errores y desperdicios en la materia prima, obteniendo calidad en sus productos y cumplimiento en los tiempos de entrega y distribución. Con la producción continua de cerveza, los tiempos de descanso serán casi nulos pues el proceso de diseño es repetitivo.
- Los sensores seleccionados para el diseño de automatización permiten a la planta de cerveza artesanal La Marquesa, obtener certificación en buenas practicas de manufactura, pues son utilizados en aplicaciones higiénicas y asépticas de las industrias de alimentos y bebidas.
- En el diseño se entrega la pantalla de HMI, donde el operario puede interactuar con cada uno de los procesos, determinando tiempos de cocción y variables de temperatura, ya que la interfaz diseñada es fácil de manipular.
- Pensando en la salud y la integridad de los trabajadores, se tuvo en cuenta la zona ATEX en donde la etapa 1 que pertenece a la molienda de la malta se clasifico en la zona 20 1D, esto por la presencia de una atmosfera explosiva permanente durante largos periodos, de

conformidad con lo anterior se recomienda a la planta de Cerveza artesanal la Marquesa evitar mezclas de polvo con sustancias inflamables.

- En el diseño propuesto, es posible observar la simulación a través del software Tia Portal, comunicando el simulador PLC y la pantalla HMI, obteniendo una vista del proceso de cada una de las etapas, para que el operario pueda acceder a la información de manera inmediata, observando el estado de las válvulas y los niveles de cantidad de producto en los tanques.
- De acuerdo con la estimación de costos, la propuesta presentada a la Planta de Cerveza artesanal La Marquesa, es una opción viable pues la inversión se reflejaría en el aumento de producción y reducción de costos del desperdicio en materias primas, ahora bien, si la empresa decide automatizar sus procesos, deberá ajustarse a un lugar más adecuado para la instalación de equipos.

BIBLIOGRAFÍA

- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial 8ª Edición*. C.V Mexico: Alfaomega, Ediciones Técnicas marcombo. Obtenido de
file:///D:/Users/USUARIO/Downloads/Instrumentacion_Industrial_8_edicion_Ant.pdf
- Daneri, P. A. (2008). *PLC: Automatización y Control industrial*. Buenos Aires, Argentina : Editorial Hispano Americana HASA.
- Daneri, P. A. (2009). *Automatización y control industrial*. Buenos Aires, Argentina: Hispano Americana HASA. Obtenido de <https://elibro.net/es/ereader/usta/66558?page=45>.
- JULIO CESAR RAMÍREZ CARRILLO, C. P. (2019). *PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE CERVEZA ARTESANAL*. Lima, Perú.
- Labsom Cleanroom Solutions*. (s.f.). Obtenido de <https://labsom.es/normativas-salas-blancas/normativa-gmp-salas-blancas/>
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2012 de Agosto de 2012). *Decreto 1686-2012*. Obtenido de
https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Decreto%201686%20de%202012.pdf
- Ministerio de Salud, y. P. (16 de Octubre de 2020). *Decreto 1366-2020*. Obtenido de
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/decreto-1366-de-2020.pdf>

- MSc. Mónica Mulet-Hing, M. A.-S.-B. (2018). Propuesta de automatización para el pasteurizador de la fábrica de cervezas Hatuey de Santiago de Cuba. *Tecnologia Quimica*, 625-639.
- Néstor Noel Cruz Hernández, M. O. (2021). Análisis de Factibilidad para la Creación de una Microempresa dedicada a la Elaboración de Cerveza Artesanal en la Ciudad de Tuxpan, Veracruz. *Academia Journals 2021*, 108-112.
- Roldán, G. E. (2018). *Automatización de proceso para elaboración de cerveza artesanal*. Paraná, Argentina.
- Rosa Isela Carmona Montiel, G. D. (2010). *Creación de una microempresa dedicada a la elaboración de cerveza artesanal*. D.F Ciudad de Mexico.
- Sebastián Rangel Molano, J. F. (2019). Diseño de la Instrumentación para planta de cerveza. 1-9.