

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACION PARA UNA LINEA DE PRODUCCION DE CERVEZA ARTESANAL

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

MARIA CRISTINA TERÁN TERÁN

DIRECTOR: Dr- Ing. PAUL MARCELO POZO PALMA

Quito, Mayo 2018

DECLARACIÓN

Yo, María Cristina Terán Terán, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la siguiente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

María Cristina Terán Terán

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por María Cristina Terán Terán, bajo mi supervisión.

Dr- Ing. Paul Marcelo Pozo Palma
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, a mi familia por haber siempre confiado en mí, a mis amigos, mi novio, profesores y personal administrativo de la Escuela Politécnica Nacional por su predisposición de ayuda, a todas las demás personas que ocupan un lugar especial en mi corazón que de una u otra manera son la razón de lograr la finalización de este gran sueño. Un agradecimiento muy especial a mi director ya que sin su ayuda y el tiempo y dedicación que invirtió no hubiera sido posible la culminación de este trabajo de titulación.

María Cristina Terán Teran

DEDICATORIA

A mis padres, a mis hermanos, a mi cuñada, a mi sobrino adorado Sebastián, gracias por ser la luz y amor que ilumina mi vida sin ustedes este logro no tendría ningún sentido los amo mucho.

María Cristina Terán T.

CONTENIDO

CONTENIDO	vi
RESUMEN	x
PRESENTACIÓN	xi
CAPÍTULO 1	1
FUNDAMENTO TEÓRICO	1
1.1 Proceso de elaboracion de cerveza	1
1.1.1 Selecccion materia prima	2
1.1.1.1 Agua pura	2
1.1.1.2 Malta	3
1.1.1.3 Lúpulo	3
1.1.2 Calentamiento del agua	4
1.1.3 Molienda de la malta	4
1.1.4 Maceracion	5
1.1.4.1 Dependencia de la actividad enzimática con la temperatura	6
1.1.4.2 Dependencia de la actividad enzimática con el valor ph	6
1.1.4.3 Procesos de degradación de las enzimas	7
1.1.4.3.1 Degradación del almidón [1]	7
1.1.4.3.2 Degradación de β -glucano	7
1.1.4.3.3 La degradación de sustancias albuminoides	10
1.1.4.4 Conclusiones del proceso de maceración	11
1.1.5 Filtración del mosto	12
1.1.6 Cocción [3]	12
1.1.6.1 Evaporación del agua	12
1.1.6.2 Esterilización del mosto	13
1.1.6.3 Destrucción De Las Enzimas	13
1.1.6.4 Descenso Del Ph	13
1.1.6.5 Proceso De Cocción Del Mosto	13
1.1.7 Enfriado Del Mosto [4]	14
1.1.8 Fermentación Y Maduración [5]	15
1.1.9 Envasado De La Cerveza [1]	15

1.1.9.1	Procedimiento de Embotellado.....	15
1.1.9.2	Temperatura De Envasado.....	16
1.1.9.3	Taponado De Las Botellas	16
1.2	Estado Actual De La Linea De Produccion De Cerveza.....	16
1.2.1	Descripcion de la planta	16
1.2.2	Elementos	17
1.2.3	Proceso actual.....	17
1.3	Proyecto a desarrollar	21
1.3.1	Elementos principales	22
CAPÍTULO 2.....		24
DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL HARDWARE.....		24
2.1	Infrestructura de la linea de produccion.....	24
2.2	Proceso de produccion.....	25
2.2	Suministro de gas.....	26
2.3	Suministro de agua.....	27
2.4	Paso del líquido	28
2.5	Sensor de temperatura.....	31
2.5.1	Conexiones electricas del sensor de temepratura.....	33
2.6	Motoreductor	34
2.6.1	Calculo de la potencia requerida	34
2.7	Sistema de control.....	36
2.7.1	Lista de entradas y salidas utilizadas en el plc.....	37
2.7.1.1	Entradas del plc.....	37
2.7.2	Diagrama de conexiones del plc.....	39
2.7.3	Diseño del tablero electrico	40
2.7.3.1	Implementación del tablero	41
2.7.4	Elementos del tablero de control	41
2.7.4.1	Controlador logico progrmable	41
2.7.4.2	Pulsadores	46
2.7.5	Circuito de fuerza	47
2.7.5.1	Interruptor termomagnetico	47
2.7.5.2	Fusibles	47
2.7.5.3	Reles de electromecanicos	49

2.7.5.4	Reles arduino	50
2.7.6	Señalización	52
2.7.6.1	Luces piloto	52
CAPITULO 3	52	
DESARROLLO DEL SOFTWARE	52	
3.1	Descripción de los requerimientos del programa.....	52
3.1.1	Ebullición	53
3.1.2	Maceración	53
3.1.3	Cocción	53
3.1.4	Enfriamiento	53
3.2	Lógica del programa para el plc	53
3.2.1	Subproceso de ebullición	54
3.2.2	Subproceso de maceración	56
3.2.3	Subproceso de cocción	58
3.2.4	Subproceso de enfriamiento.....	61
3.3	Desarrollo del hmi.....	61
3.3.1	Configuración del hmi mediante rt advanced win cc y tia portal	[21]
	62
3.3.1.1	Software tia portal v14 [21].....	63
3.3.1.2	Desarrollo del programa en la pantalla.....	64
CAPITULO 4	64	
PRUEBAS Y RESULTADOS	65	
4.1	Prueba de compensación del sensor.....	65
4.1.1	Cálculo del error en la temperatura	66
4.1.1.1	Error absoluto	66
4.1.1.2	Error relativo	66
4.1.1.3	Error medio porcentual	67
4.1.1.4	Valor medio del error relativo porcentual.....	67
4.2	Prueba del programa de control	68
4.3	Pruebas de comunicación entre el plc y la computadora tia portal.	70
4.4	Prueba del circuito de control, fuerza y pantalla.....	71
4.5	Pruebas de funcionamiento del programa del plc.....	73

4.6	Pruebas de producción de la maquina	78
CAPITULO 5		80
CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES		80
5.1	Conclusiones	80
5.2	Recomendaciones	81
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS		82
ANEXOS		85
ANEXO A		87
PROGRAMA DESARROLADO EN EL PLC		87
A.1	Subproceso ebullicion	87
A.2	Subproceso maceracion	88
A.3	Subproceso coccion	90
ANEXO B		93
MANUAL DE USUARIO.....		93
B.1	Introduccion	93
B.2	Esquema de la planta	93
B.3	Requisitos de software para el usuario local	95
B.4	Encendido de la planta.....	97
B.5	HMI	97

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un sistema de automatización para una línea de producción de cerveza artesanal controlado mediante un PLC.

En el contenido se incluye el desarrollo de los aspectos teóricos del trabajo relacionados con: el análisis del proceso de elaboración de cerveza, las variables del sistema, los parámetros a controlar y los rangos de operación, con la finalidad de seleccionar el sistema más adecuado para las necesidades de la aplicación propuesta.

A partir del análisis anterior, se diseñará e implementará el sistema de control automático para los procesos de ebullición del agua, maceración, cocción y enfriamiento, mediante el control de actuadores, controlados por sensores de nivel, temperatura y de llama en el proceso. Todo eso será programado y controlado por medio de un PLC

Además, se selecciona, se especifica y se realiza el montaje de los sensores en las distintas etapas del proceso de producción. Se comprueba su correcto funcionamiento y se ajustan los parámetros de aquellos sistemas que lo requieran.

PRESENTACIÓN

Cultura Andina Brewing Co., inicia en las 2016 gracias un emprendimiento que nace por la pasión de la cerveza artesanal. El nombre cultura Andina utilizado es porque se quiso dar un aporte de identidad no solo de la cultura andina del Ecuador sino de toda la Región Andina.

La necesidad de lleva la compañía al siguiente nivel el incremento en la producción e las ventas anuales y el incremento de la demanda del mercado cervecero local.

En el siguiente proyecto se describe de la mejor manera posible las tareas realizadas para la realización del proyecto.

En el primer capítulo se describe el fundamento teórico del proceso para la realización de cerveza artesanal a implementarse en la línea de producción a desarrollarse en los procesos de calentamiento del agua, maceración cocción, y enfriamiento.

En el segundo capítulo se explica el diseño e implementación del sistema de control para el proceso de realización de cerveza artesanal con sus respectivas técnicas. Se Incluye la lógica de la programación del PLC en el diseño del tablero de control y la elección justificada de los elementos y equipos.

En el tercer capítulo se describe la configuración del HMI en la computadora, así como la descripción del Software para el PLC. Se detalla la lógica de funcionamiento para cada subproceso mediante los diagramas de flujo y l programa desarrollado en PLC.

En el cuarto capítulo se presentan las pruebas y resultados a los que se sometió la planta para verificar su correcto funcionamiento

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

La cerveza es una bebida fermentada cuya preparación se realiza a partir de cereales germinados, principalmente cebada (malta), y está aromatizada con flores de lúpulo. Se compone de alcohol, glicerina, anhídrido carbónico, maltosa, dextrina, sustancias nitrogenadas, materias minerales y pequeñas proporciones de taninos, sustancias amargas y ácidos orgánicos [1].

En la actualidad la cerveza es un producto de aceptación a nivel mundial. Desde el inicio en los monasterios, hasta la revolución en el siglo XIX, donde se crearon grandes fábricas de cerveza, se comenzó a elaborar cervezas de baja fermentación o lager, añadiendo adjuntos tales como el maíz o el arroz que son fuentes de almidón mucho más económicas que la cebada malteada.

En la actualidad han aparecido famosas micro-cervecerías. Su principal característica reside en que utilizan las técnicas de elaboración y las materias primas que proporcionan mayores cualidades organolépticas a sus productos, en un mercado muy exigente que está en creciente expansión.

Estas fábricas debido a su competitividad elaboran sus cervezas con productos de una excelente calidad por lo que es fundamental detectar cuando un producto no cumple con los estándares y calidad deseados.

Las producciones industriales en todo el mundo están estandarizadas, los gustos han convergido, y la riqueza cultural cervecera ha menguado. Aun así, una parte de los consumidores ha comenzado a buscar cervezas con sabores alternativos, lo que permite que los pequeños fabricantes sobrevivan a las grandes compañías desarrollando cervezas de gran calidad [2]

1.1 PROCESO DE ELABORACION DE CERVEZA

Este proceso de elaboración de cerveza puede definirse como procesos combinados (Figura 1.1). Inicia a partir de la infusión de granos, éstos son germinados y produce como resultado fermentación de la solución azucarada, los carbohidratos se convierten en etanol y dióxido de carbono.

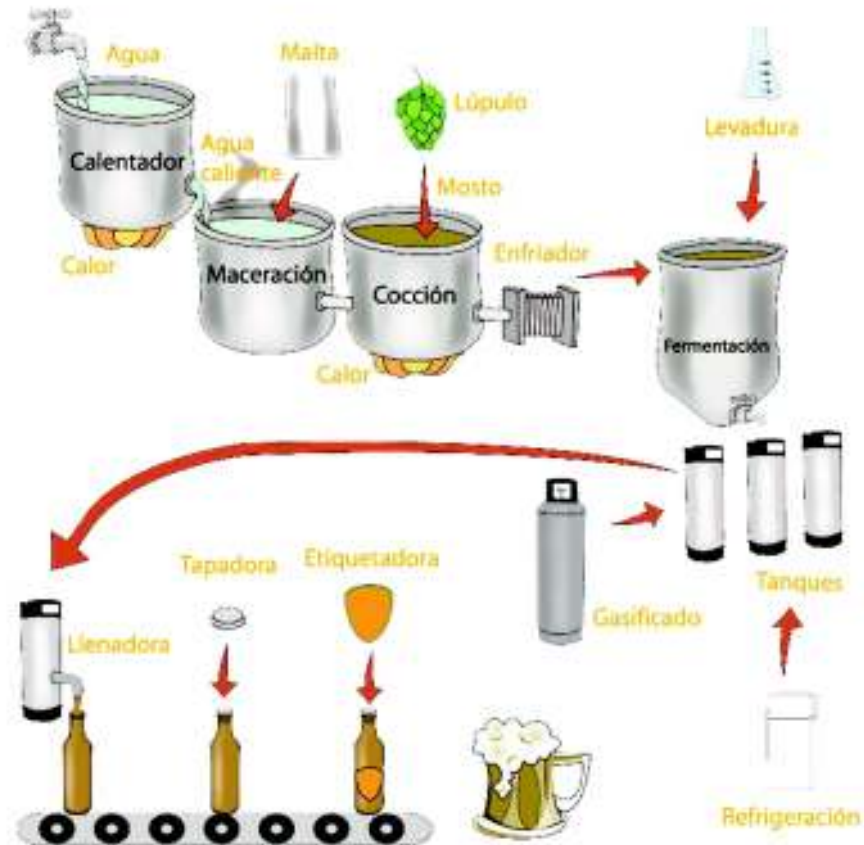


Figura 1.1 Esquema simplificado del proceso de fabricación de cerveza [1]

1.1.1 SELECCIÓN MATERIA PRIMA

Para la fabricación de la cerveza, son necesarios como mínimo el agua, la malta de cebada, el lúpulo y la levadura. Además, de algunos cereales adjuntos para otorgar diferentes sabores y texturas, así como también resinas y aceites esenciales que confieren su particular amargor, aroma y sabor refrescante a la cerveza. El tipo de levadura tiene un papel importante en la fermentación para los diferentes tipos de cerveza ya que aportan ciertos matices. [2]

1.1.1.1 Agua pura

El agua debe tener una composición ligeramente mineralizada. Entre el 92 y el 96% del peso de la cerveza es agua, dependiendo el contenido de alcohol del tipo de

cerveza siendo la parte restante extractos (dextrinas, proteínas, vitaminas, entre otros). [1].

1.1.1.2 Malta

Es de cebada germinada, rica en hidratos de carbono y proteínas (Figura 1.2). Posee una película que protege el grano que facilita la filtración del mosto. [3]



Figura 1.2. Cebada [3]

1.1.1.3 Lúpulo

Se trata de una planta trepadora (Figura 1.3). Contiene resinas y aceites esenciales que confieren su particular amargor, aroma y sabor refrescante a la cerveza. [5]



Figura 1.3. Lúpulo [1]

1.1.2 CALENTAMIENTO DEL AGUA

Para el sub-proceso de ebullición del agua, se procede a llenar el tanque con agua potable. Una vez lleno el tanque como se muestra en la Figura 1.4 , se procede a realizar la medición del pH y a bajarlo o a su vez dejarlo en los mismos parámetros, dependiendo el tipo de cerveza. El sub-proceso de ebullición tiene como objetivo, eliminar los gérmenes y bacterias propias del agua. Este proceso debe llevarse a cabo con los tanques o marmitas, debidamente cubiertos o tapado para evitar contaminación.

Al llegar a la temperatura deseada, Se deja reposar hasta que la temperatura alcance los 70°C. [4]



Figura 1.4 Ebullición de Agua.

1.1.3 MOLIENDA DE LA MALTA

Este proceso consiste en reducir el grano de cebada en partículas más pequeñas (Figura 1.5) manteniendo las cáscaras lo más intactas posibles, ya que servirán como lecho filtrante. El grano molido se disuelve en su mayor parte en el agua caliente y además sirve también, dependiendo del tipo de cerveza a elaborarse para preparar el grano para el siguiente proceso llamado Maceración.

Este proceso es muy importante ya que del mismo depende el sabor y el rendimiento que se obtenga en la maceración. [4]



Figura 1.5 Malta Molida [5]

1.1.4 MACERACIÓN

Esta etapa se la conoce también con el nombre de empaste o bronceado. El objetivo de la maceración es obtener un alto rendimiento del extracto y de la mayor calidad posible. [2]

Este proceso comienza en el tanque de Maceración, de la misma capacidad del tanque de cocción, en el que se colocar la malta molida en el tanque vacío y luego se procede a llenar el tanque con agua con caudal bajo, con el agua que reposó en el proceso de calentamiento del agua a 70°C. El mosto debe de ser agitado lentamente por un tiempo aproximado de 30 minutos. Este proceso es indispensable para que la malta suelte los azúcares y sabores propios. Todo el proceso de maceración dura 120 minutos y debe estar recirculando a sí mismo. La temperatura de trabajo durante este periodo debe fluctuar entre 68 y 70°C para evitar la cocción de los azúcares de la malta. [2]

1.1.4.1 Dependencia de la actividad enzimática con la temperatura

La actividad de las enzimas depende de la temperatura. En la Figura 1.6 se observa como varía la velocidad de la reacción en función de la temperatura a la que trabaja la enzima.

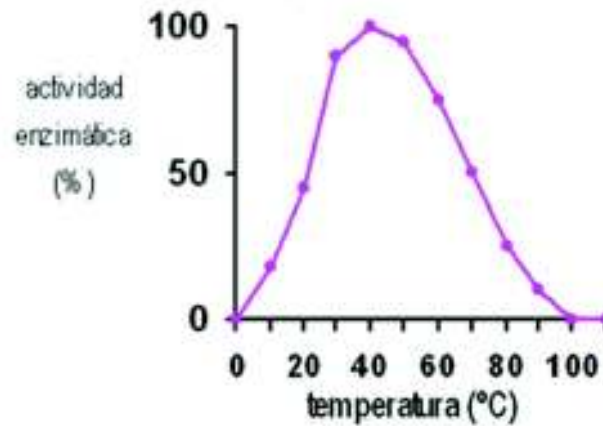


Figura 1.6 Efecto de la temperatura en la velocidad de la reacción [1]

1.1.4.2 Dependencia de la actividad enzimática con el valor pH

La estructura de la enzima también depende del valor pH, ya que ésta alcanza un valor óptimo con un determinado valor ideal de pH como se detalla en la Figura 1.7. La influencia del valor pH sobre la actividad enzimática no es por lo general, tan grande como la influencia de la temperatura. [6]

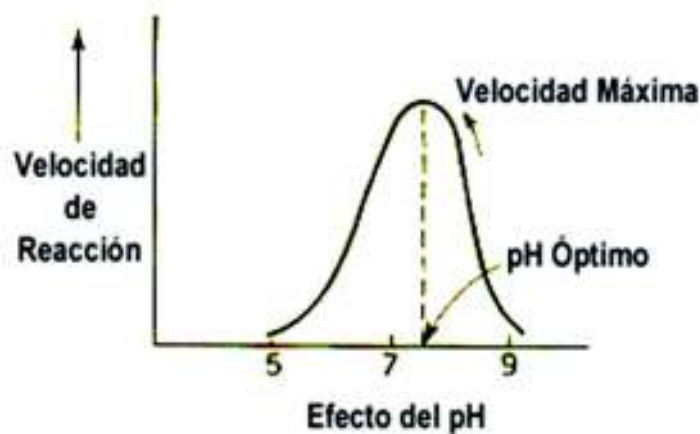


Figura 1.7 Efecto del pH en la velocidad de la reacción [1]

1.1.4.3 Procesos de degradación de las enzimas

Los procesos de degradación son:

- La degradación del almidón
- La degradación d β -glucano
- La degradación de sustancias albuminoide

1.1.4.3.1 *Degradación del almidón [1]*

El componente más importante de la cerveza es el alcohol formado durante la fermentación de los azúcares, por lo que es necesario que el almidón sea degradado a maltosa, pero en el proceso produce productos intermedios, que no son fermentados. Los restos de almidón no degradado causan un “enturbiamiento” en la cerveza.

La degradación de almidón ocurre en tres etapas (Figura 1.8), cuyo orden no es modificable:

a) El engrudamiento

En la solución acuosa existe un aumento de volumen, lo cual causa que los granos de almidón, unidos fuertemente entre sí, se hinchen y finalmente revienten, formando así una solución viscosa (espesa). Los almidones de malta y de cebada engrudan en presencia de las enzimas a 60°C, mientras que por ejemplo el almidón de arroz engruda a temperaturas de 80 a 85°C.

b) La licuefacción

La licuefacción es el proceso de disminución de la viscosidad del almidón a causa de las enzimas.

Las enzimas actúan de forma óptima a temperaturas de 72 a 75°C y de manera muy rápida a 80°C. El valor de pH óptimo se encuentra de 5,6 a 5,8. Figura 1.8. .

c) La sacarificación

En este proceso es donde finalmente todos almidones se convierten en azúcares para el proceso de fermentación.

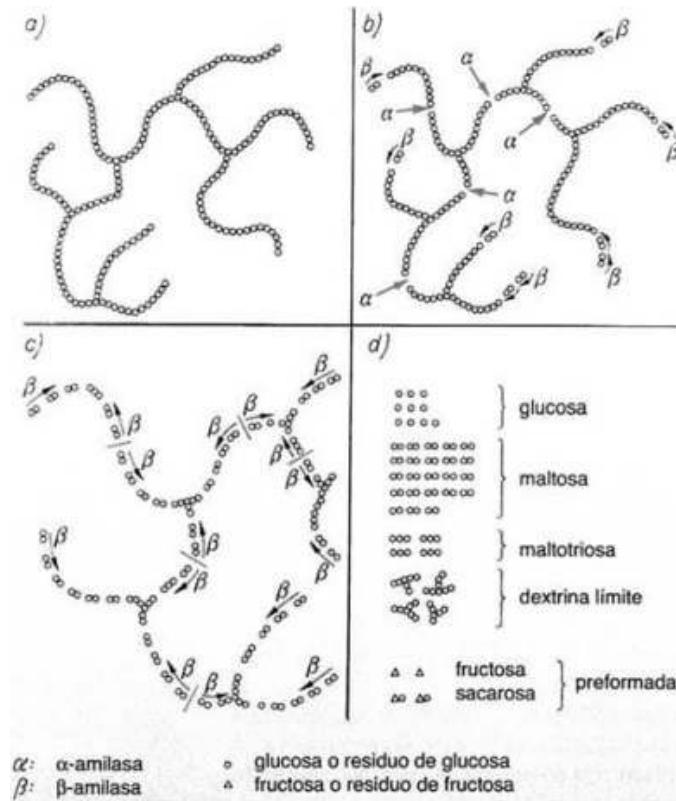


Figura 1.8. Degradación del almidón durante la maceración [1].

Por lo descrito anteriormente (Figura 1.9). A temperaturas de 62 a 64°C se obtiene el contenido más alto posible de maltosa y mayor atenuación de la densidad del mosto. Si el mosto tiene gran contenido de maltosa fermentará rápidamente manteniendo durante más tiempo la levadura en suspensión.

Mientras que a temperaturas de 72 a 75°C se obtienen cervezas con degradación parcial del almidón (dextrinas) con baja atenuación de la densidad del mosto.

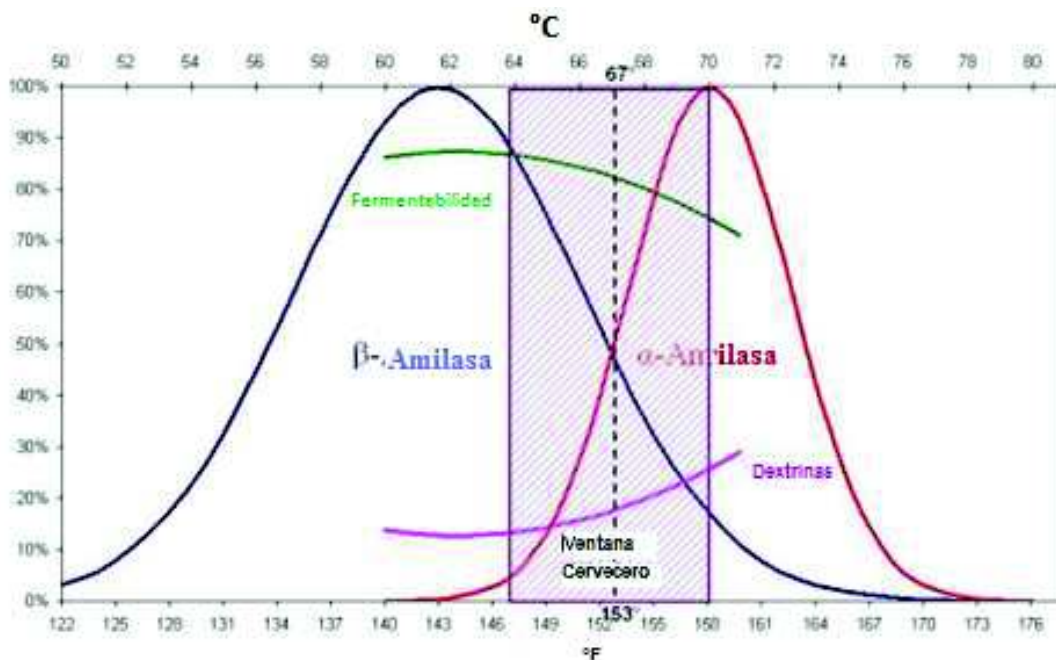


Figura 1.9. Temperaturas óptimas de las enzimas, después de 1 h. [6]

Como se puede ver en la (Figura 1.9) el porcentaje de azúcares fermentables y porcentaje de dextrinas después de una hora de maceración tienen una influencia grande, por lo que se hacen algunos reposos a las temperaturas que son óptimas para que actúen las enzimas.

Las enzimas no actúan de forma uniforme durante el proceso de maceración en las que se distinguen tres etapas según la duración del proceso:

- La máxima actividad enzimática se da luego de 10 a 20 minutos.
- El máximo de la actividad enzimática es mayor a temperaturas entre 62 a 64°C que a 67 a 68°C.
- Después de 40 a 60 minutos, la actividad enzimática disminuye de forma rápida.

Por lo que se concluye que el proceso de maceración debe durar entre 60 y 90 minutos.

1.1.4.3.2 Degradación de β -glucano

Los β -glucano de mayor peso molecular fueron degradados en su mayor parte durante el malteado esta es se encuentran contenidas en las cerdillas de los granos

de cebada, estas pueden ser degradadas en la maceración a temperaturas de 40 y 50°C por las enzimas endo- β -glucano, sino degradaras los β -glucano son como gomas que dificultarían la maceración por eso la importancia por elegir una malta de calidad que garantice este proceso y de a viscosidad que necesita el mosto.

1.1.4.3.3 La degradación de sustancias albuminoides

Durante la cocción del mosto se producen o precipitan las proteínas, llegando a la cerveza únicamente productos de degradación que son absolutamente necesarios para la propagación de la levadura y una rápida fermentación.

A continuación, se detallan las temperaturas a las que ocurre el proceso de degradación de albuminoides:

- A temperaturas de 45 a 55°C se forman productos de degradación de proteínas de bajo peso molecular, a este rango de temperaturas se produce siempre una espuma pobre.
- A temperaturas de 60 a 70°C se forman más productos de degradación de alto peso molecular, que son responsables de la estabilidad de la espuma.

En la Figura 1.10 se puede observar el comportamiento de la temperatura durante el transcurso de una maceración, primeramente, se degradan los β - glucanos (45°C), en segundo lugar, las proteínas (52°C), en tercer lugar, el almidón con las enzimas β -amilasa (63°C) y α -amilasa (72°C), finalizando el proceso de maceración a 78°C.

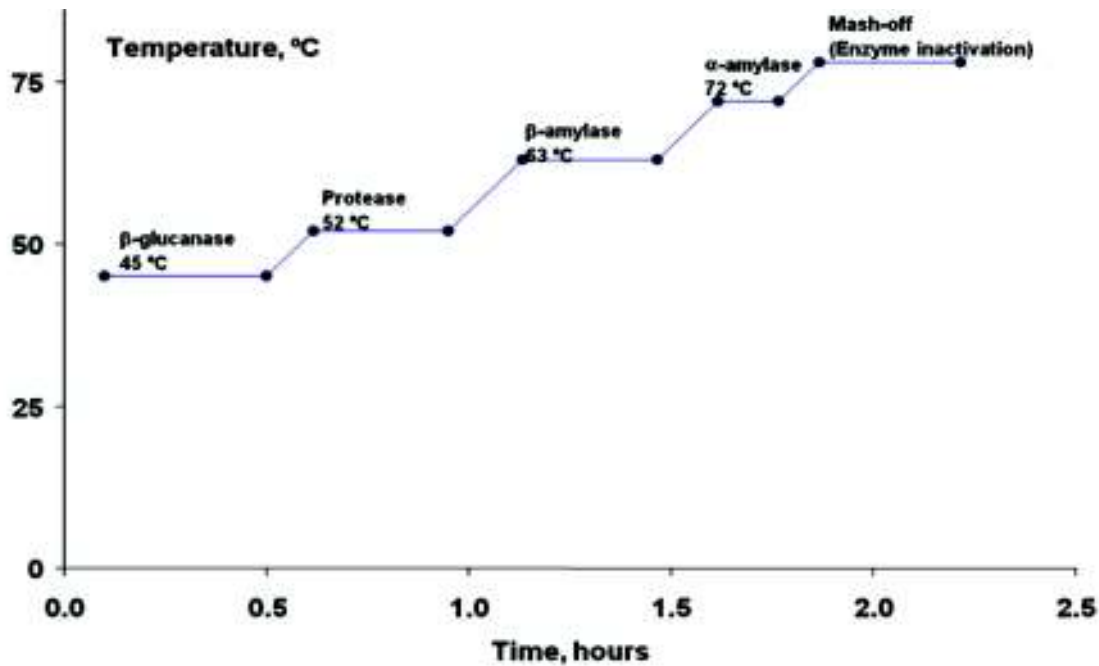


Figura 1.10. Rangos de temperatura de acción de las principales enzimas durante una maceración. [6]

1.1.4.4 Conclusiones del proceso de maceración

La temperatura en el proceso de maceración depende del tipo de cerveza que se vaya a realizar. Las únicas consideraciones que tomar en cuenta son las siguientes: el proceso de maceración no debe durar más de 120 minutos, las variaciones de temperatura no sean muy bruscas en las diferentes etapas, es decir que no sean mayores en la 1°C por minuto y se debe considerar que la velocidad del agitador debe de ser constante, pero sin llegar a hacer un remolino.

Las etapas de macerado son las etapas de macerado son las siguientes:

- 1ª etapa: Temperatura entre 50 y 55°C durante 10-20 minutos para metabolizar las proteínas.
- 2ª etapa: Temperatura de 66°C si se quiere una cerveza más dulce con más cuerpo) durante 30 minutos.
- 3ª etapa: Temperatura de 72°C durante 30 minutos y al finalizar se aumenta hasta 78°C para facilitar la filtración con la menor densidad del mosto.

1.1.5 FILTRACIÓN DEL MOSTO

Cuando ha finalizado el proceso de la maceración, se obtiene como resultado una mezcla acuosa de sustancias disueltas y no disueltas. A esta solución se la denomina 'mosto', mientras que las partes no disueltas se denominan bagazo. Para la fabricación de cerveza se utiliza solamente el mosto, por ello debe ser separado del bagazo.

En la filtración del mosto, el extracto debe ser recuperado, en lo posible de forma total. Por ello, es fundamental que se realice un proceso correcto sin llegar a romper la cáscara.

1.1.6 COCCIÓN [3]

El mosto se cuece entre 60 y 90 minutos. Durante este tiempo se realizan diferentes adiciones de lúpulo y mientras el mosto hierve, éste le transfiere componentes amargos y aromáticos, así también al mismo tiempo van precipitándose sustancias albuminoides.

Durante la cocción del mosto ocurren los siguientes procesos de especial importancia:

- Disolución y transformación de componentes del lúpulo
- Formación y precipitación de proteínas y polifenoles
- Evaporación de agua
- Esterilización del mosto
- Destrucción de todas las enzimas
- Reducción del pH del mosto
- Evaporación de sustancias aromáticas

1.1.6.1 Evaporación del agua

La cuota de evaporación de agua se sitúa entre el 5-10% durante el proceso de cocción, por lo que crece el contenido de extracto en el mosto.

1.1.6.2 Esterilización del mosto

Mientras dura el proceso de maceración, ingresan muchos hongos y bacterias provenientes de la malta, los mismos que deben destruirse para que no alteren el sabor de la mezcla. Por lo que en este proceso se somete al mosto a ebullición por largos periodos de tiempo.

1.1.6.3 Destrucción de las enzimas

Las pocas enzimas presentes se destruyen totalmente por el proceso de cocción así se asegura que no sea posible una modificación posterior descontrolada de la composición del mosto.

1.1.6.4 Descenso del pH

Al someter al mosto a altas temperaturas se forman unas sustancias acidas llamadas melanoidinas que disminuyen el pH de la mezcla. Formadas durante la cocción y porque el lúpulo también contribuye con algo de ácido. El valor óptimo del pH durante la cocción del mosto está entre 5,0-5,2.

Muchos procesos importantes se desarrollan mejor o más rápidamente con un valor de pH más reducido, tales como:

- Precipitación de los compuestos formados por proteínas y polifenoles
- Se minimiza el aumento de coloración del mosto
- Amargor de lúpulo más fino y más noble
- Mayor dificultad para que se desarrollen microorganismos no deseados.

1.1.6.5 Proceso de cocción del mosto

Cuando termina el proceso de filtración en la maceración el agua que ingresa al proceso de cocción comienza inmediatamente a ser llevado a una temperatura por encima de 85°C para añadir por primera vez el lúpulo, si el mosto no llegara hervir algunos de sus componentes aromáticos del mismo se enlazarán con otras moléculas y no se volatilizarán cuando comience la cocción.

La ebullición debe durar promedio unos 90 minutos y debe ser vigorosa. Para que de esta manera se consiga eliminar gran parte del turbio causado por las proteínas y los polifenoles. Si es que se desea que la cerveza tenga un poco de amargor emplearán lúpulos con elevados niveles de α -ácidos y hervirán como mínimo 60 minutos. Para que pueda tener un poco de sabor a lúpulo, se lo debe agregar entre 20 y 5 minutos antes del final del hervor. Así mismo para potenciar el aroma se agrega lúpulo con alto contenido en aceites esenciales entre 5 y 0 minutos antes del final del hervor.

1.1.7 ENFRIADO DEL MOSTO [3]

La levadura que se le agrega la cerveza solo puede fermentar a bajas temperaturas, por lo que se debe enfriar el mosto caliente lo más rápidamente posible. Para una correcta fermentación se le debe suministrar de forma óptima aire a la levadura, cuando el mosto este a baja temperatura entre 20°C y 12°C en menos de 45 minutos. A través de un intercambiador de placas, de lo contrario se oxidaría el mosto, significando una importante pérdida de calidad de la cerveza final.

El circuito entre el mosto y el agua que funcionará como refrigerante deberá ser a contracorriente ya que el rendimiento es mucho mayor, cuando se haya realizado el intercambio calorífico la mezcla se almacenará en algún depósito para uso posterior en la limpieza y desinfección de equipos.

1.1.8 FERMENTACIÓN Y MADURACIÓN [4]

En este proceso el mosto que sale del enfriador mediante un sistema de aireación llegara hasta el fermentador donde se produce la fermentación. Si todos los procesos anteriores se realizaron de la manera adecuada ya que el mosto puede verse afectado por cualquier tipo de contaminación si no se han limpiado y esterilizado correctamente los equipos. Así como también es de suma importancia las temperaturas ideales de fermentación y maduración para obtener un producto de calidad.

Se debe introducir la levadura dentro del tanque de fermentación antes de llenar el depósito, es imprescindible que la fermentación sea rápida y potente a la temperatura adecuada. Mientras mayor sea temperatura de fermentación más potente será ésta, pero se producirán aromas no deseados. Pero si la fermentación tarda en arrancar, los pocos microorganismos hayan ingresado tendrán la oportunidad de multiplicarse y de cambiar el perfil de aroma y sabor de la cerveza con los nutrientes disponibles y la ausencia de alcohol.

Hay que tener en cuenta que dependiendo de la temperatura a la que se encuentre la cerveza, está contendrá más o menos CO₂ disuelto.

El proceso de maduración puede durar entre una semana y tres meses dependiendo del estilo de cerveza que se elabore. Durante la maduración la decantarán las proteínas que se formarán por la aplicación de frío. Si la cerveza estuviese turbia al final de la maduración esto significará que existe algún problema de contaminación o de exceso de polifenoles.

1.1.9 ENVASADO DE LA CERVEZA [1]

En el proceso de envasado de la cerveza se debe procurar que las propiedades adquiridas se mantengan. Dado que la cerveza es una bebida que se caracterizan por tener un elevado contenido de CO₂, el mismo que debe mantenerse intacto hasta llegar al consumidor siendo vulnerable a la presencia de microorganismos. Por lo que se recomienda que las botellas se desinfecten a altas temperaturas para así eliminar los microorganismos.

1.1.9.1 Procedimiento de Embotellado

Mediante una bombona se hace un barrido de CO₂, para eliminar el oxígeno contenido en el aire de la botella ya que es muy sensible frente a cualquier residuo de O₂. Se deja de ingresar CO₂ con la cerveza, pero se debe tener una consideración que se pierde parte de la carbonatación en la cerveza durante el

proceso de llenado, por ello es conveniente que la cerveza contenga más CO₂ disuelto del deseado para compensar estas pérdidas.

1.1.9.2 Temperatura de envasado

La limpieza de botellas se la realiza temperaturas muy elevadas mediante un rociado caliente de enjuague luego estas deben ser enfriadas con agua estéril a 10°C aproximadamente para que las botellas tengan una temperatura de 12-15°C al momento del envasado.

El envasado se lo realiza en frío (0-1°C). Cuanto menor es la diferencia de temperatura entre ambas el riesgo de espumado durante el llenado será menor.

1.1.9.3 Taponado de las botellas

Las botellas se deben taponar al momento de terminar el envasado para así eliminar algún riesgo de ingreso de oxígeno, pérdida de carbonatación o el ingreso de bacterias o microorganismos.

1.2 ESTADO ACTUAL DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA

Este proyecto tiene como objetivo global diseñar y automatizar una planta de producción de cerveza artesanal luego de su puesta en marcha.

1.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

CULTURA ANDINA BREWIN CO. Es una empresa ecuatoriana presente en el mercado desde 2016 cuya finalidad es la elaboración de cerveza artesanal de la más alta calidad y variedad. Posee áreas de fermentación enfriamiento y envasado en sus instalaciones ubicadas en el sector de la Pulida, al norte de la ciudad de Quito.

El presente proyecto se desarrolló para automatizar la línea de producción de cerveza artesanal en los procesos de calentamiento, maceración, cocción y enfriamiento y aumentar el volumen de producción.

1.2.2 ELEMENTOS

El proceso de producción actual consta de los siguientes elementos

- Una cocina industrial de 4 quemadores distribuidos en dos secciones de dos quemadores cada una
- 2 ollas de Aluminio cuya capacidad de 25 litros se utiliza para calentar el agua y realizar el proceso de maceración y cocción
- 3 recipientes (baldes) de plástico para alimentos como los fermentadores para guardar el mosto para la fermentación de 30 litros cada uno.
- Un tanque reservorio de agua aproximadamente de 50 litros
- Un agitador de acero inoxidable
- Dos termómetros de mercurio
- Un densímetro
- Molino de Malta

1.2.3 PROCESO ACTUAL

El proceso se realiza de la siguiente manera

1) Selección de la materia prima

En este proceso se debe elegir el tipo de Lúpulo, malta, el tipo de levadura dependiendo el tipo de cerveza que se va a realizar

2) Calentamiento del Agua:

- a) Primero se procede a llenar con agua al 90% de su capacidad para luego proceder a calentar en un quemador de la cocina industrial punto de ebullición a 93°C (bajo las condiciones ambientales y de altura de Quito) con el objetivo de eliminar los gérmenes y bacterias propias del agua.

La variación de la temperatura se la determina con termómetros digitales y análogos que se controla cada cierto tiempo. Las ollas deben estar debidamente cubiertas o tapadas para evitar contaminación.

Para medir la variación de la temperatura se utiliza medidores análogos de temperatura de acero inoxidable como se muestra en la Figura 1.11 .



Figura 1.11 Medición de la temperatura del agua

- b) Al llegar a la temperatura deseada, Se deja reposar hasta que la temperatura alcance un rango entre 60 y 70°C. se apagan los quemadores. Paralelamente se muele la malta.
- 3) Proceso de molino de malta:
- Dependiendo el tipo de cerveza a elaborarse, se procede a moler el grano (Malta) en el molino apropiado para ello (Figura 1.12).



Figura 1.12 Molienda de la Malta

4) Maceración:

- a) Se transfiere una parte del agua de la olla que está a 70°C al recipiente de maceración donde se encuentra previamente la malta molida al fondo del recipiente para alimentos como se indica en la Figura 1.13



Figura 1.14. Traslado del agua caliente para el proceso de Maceración

A continuación, para formar el mosto la mezcla debe ser agitada lentamente cada 4 minutos mediante una paleta de acero inoxidable con paradas de 3 minutos simultáneamente por un periodo total de 60 minutos, la temperatura del mosto se mide cada cierto tiempo con ayuda de un termómetro análogo cuando esta baja de 60°C se añade más agua caliente restante en la olla. Este proceso es indispensable para que la malta suelte los azúcares y sabores propios.

5) Cocción de la cerveza:

En este paso se traslada el mosto del recipiente de maceración a una de las ollas donde se procede a llevar nuevamente el líquido a ebullición a 93°C mediante el encendido del quemador. Luego se deja reposar hasta el rango entre 60 y 70° C y se lo controla mediante el quemador y el termómetro. Todo el proceso dura 60 minutos. En este paso se procede a colocar cada cierto tiempo el lúpulo dependiendo del tipo de cerveza. Adicionalmente se le agregan ciertos ingredientes adicionales, tales como miel de abeja, frutos, café, etc.

6) Enfriamiento:

Cuando el proceso de cocción ha terminado, se procede a vaciar el contenido de la olla, mediante el uso de mangueras a través un intercambiador de placas se procede a bajar la temperatura mosto a temperatura ambiente ($20-14^{\circ}\text{C}$) y luego se procede a trasladarlo al tanque de fermentación.

7) Fermentación:

Este proceso en el tanque con presurización, se añade la mezcla activa de levadura para convertir los azúcares en alcohol. Se deja reposar durante 5 días. En este paso, se procede a medir la densidad de la cerveza con el refractómetro y el densímetro los cuales permiten determinar el grado de alcohol y comprobar la densidad del tipo de cerveza.

8) Maduración y Carbonatación:

Una vez envasado en los tanques Cornelius, se procede a conectar el CO_2 a una presión específica para darle el toque gaseoso a la bebida. Se deja madurar como se indica en la Figura 1.15 por 3 días a 3 a 5°C de temperatura.

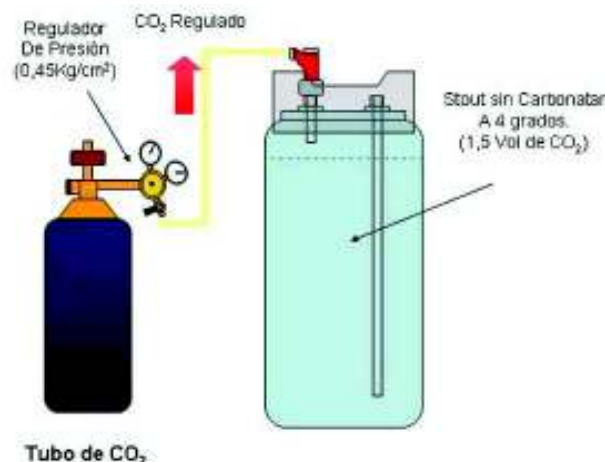


Figura 1.15. Carbonatación mediante un tanque Cornelius

Como se explicó en cada uno de los subprocesos, en su totalidad la elaboración de cerveza artesanal se la realiza de forma manual la misma que requiere de un

gran esfuerzo físico de dos personas como mínimo. Debido a como se realiza el proceso, los valores de temperatura presentan pequeñas variaciones especialmente en los procesos de ebullición, maceración, cocción y enfriamiento, lo que provocan que el producto final no tenga las características deseadas.

En la Tabla 1.1 se muestra variaciones en 3 procesos de realización de cerveza, la misma que se lo hace cada semana.

Tabla 1.1. Variación Temperatura del proceso

SEMANA	TEMPERATURA MACERACION	TEMPERATURA ENFRIAMIENTO
1	78	25
2	73	23
3	70	27

1.3 PROYECTO QUE DESARROLLAR

El objetivo principal del proyecto es diseñar e implementar la automatización de la línea de producción de cerveza artesanal antes descrito.

Para cumplir con este objetivo del proyecto se debe automatizar los subprocesos de: ebullición, maceración, cocción y enfriamiento, que contempla el desarrollo de las siguientes actividades:

- Realizar las instalaciones adecuadas para el suministro de gas, agua y electricidad.
- Seleccionar y colocar el sistema de encendido de los quemadores a gas
- Seleccionar las bombas para impulsar el mosto en los subprocesos
- Seleccionar y colocar los sensores de nivel y temperatura para los tres tanques y el fermentador y acondicionar las señales
- Seleccionar y colocar el motorreductor de la potencia necesaria y un adecuado número de revoluciones (RPM) para agitar el mosto en el tanque 2

- Seleccionar y programar un PLC con sus respectivos módulos que controle la ejecución del proceso.
- Seleccionar y programar en una computadora, un software para visualizar y monitorear el proceso
- Armar el tablero de control.

1.3.1 ELEMENTOS PRINCIPALES

El proceso elaboración de cerveza cuyo proceso es manual se utilizan los siguientes elementos:

- 3 quemadores (Figura 1.16) de 20cm de hierro fundido que funcionan gas butano/propano.

Potencia: 6,38 kW

Consumo: 450g/h

Presión: Butano G30 28-30 mbar. Propano G31 37 mbar.



Figura 1.16 Quemador de hierro fundido

- 3 calderos de acero de acero inoxidable AISI 304 (1.4301). Se adaptan para calderos barriles de despacho de cerveza de capacidad para 50lt (Figura 1.17).



Figura 1.17 Esquema de Barriles de cerveza DIN de acero inox

- Un agitador
- Termómetros analógicos
- Refractómetros

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE

En el presente capítulo se desarrolla el diseño e implementación del sistema para la línea de Cerveza artesanal, mediante la selección de los componentes como sensores, actuadores así también se dimensionará el motor para la agitación del mosto y demás elementos necesarios para el correcto funcionamiento del proceso.

2.1 INFRAESTRUCTURA DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Para empezar, fue necesaria una remodelación completa de la infraestructura de la microempresa, para lo cual se adaptó el sistema a gas y suministro de agua y luz además de una estructura metálica para la línea de producción (Figura 2.2).



Figura 2.1. Estructura para la línea de producción de cerveza

2.2 PROCESO DE PRODUCCION

En la Figura 2.2, se detalla la distribución de los equipos del proceso automático, El trasvase de del material de un tanque a otro por gravedad, o por medio de una bomba, así también como la ubicación de los sensores y actuadores y demás elementos dentro del proceso, como se detallarán a continuación en el desarrollo de este capítulo. Figura 2.2

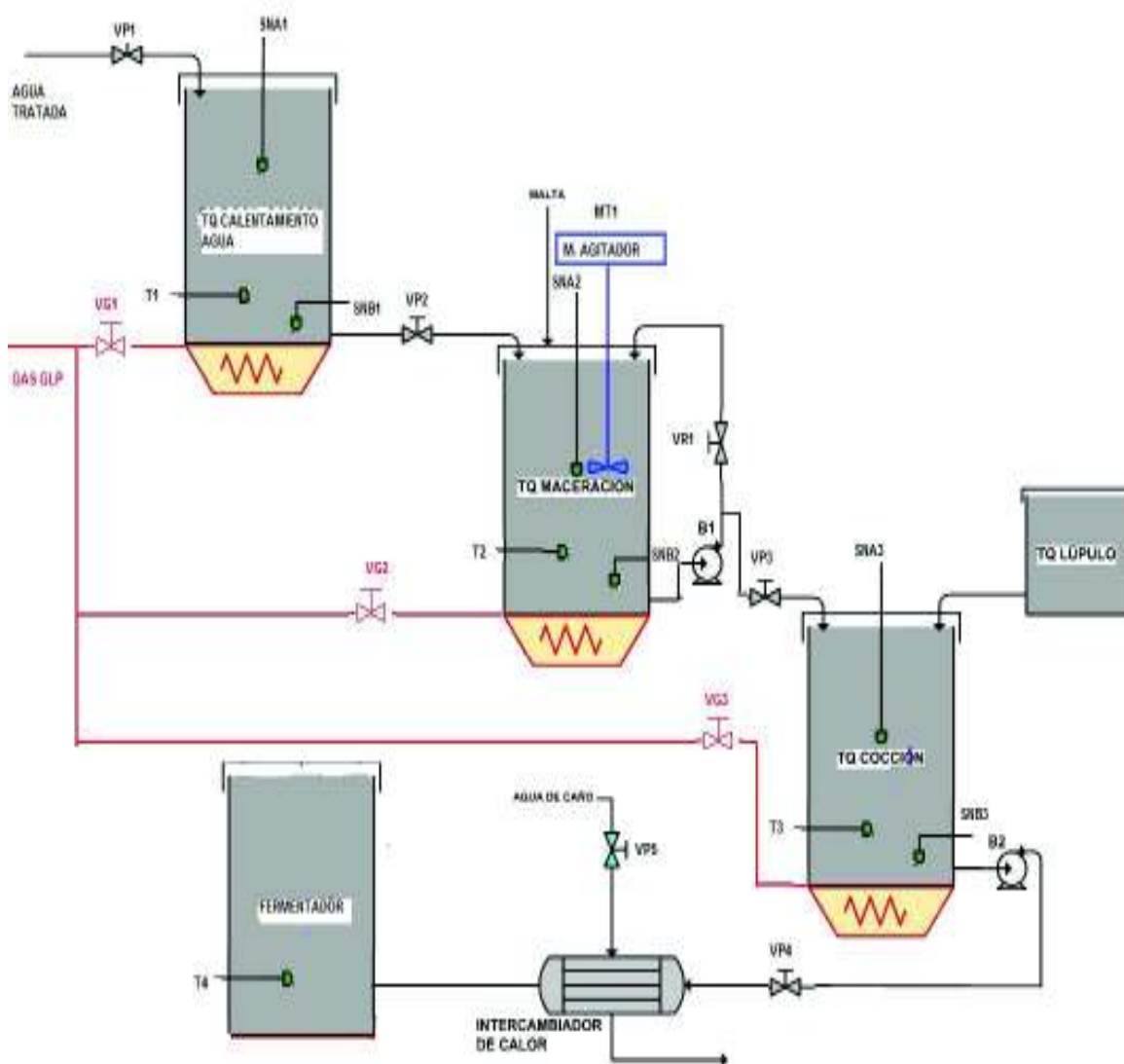


Figura 2.2. Diagrama del Proceso de Elaboración de Cerveza Artesanal

2.3 SUMINISTRO DE GAS

Además de la estructura, la microempresa adquirió 3 barriles cervecedores con capacidad de 50 litros de acero 304 para llevar a cabo el proceso de producción de cerveza artesanal.

Para Incrementar la temperatura debajo de cada tanque se instalaron 3 quemadores de hierro fundido en la base de los taques para poder calentar y controlar la temperatura en cada uno de los tanques (Figura 2.2).

La conexión de gas viene directamente desde la bombona de gas mediante una válvula industrial de 75 psi (Figura 2.4), para luego distribuirse a cada uno de los quemadores.



Figura 2.3. Válvula de gas uso industrial

El gas es transportado desde la válvula de 75 psi de gas desde un punto cercano mediante una manguera para gas de 5/16" la misma que ingresa a un manifold (Figura 2.5) de tres vías que en cada salida dispone de unas válvulas check para evitar el flujo de retorno, para luego conectarse con las válvulas (Figura 2.4) de 1/2" con reducciones para mangueras de 5/16", tipo membrana y de bronce aptas para gas como se detalla en la Tabla 2.1.



Figura 2.4. Electroválvula de gas

Tabla 2.1. Especificaciones de la válvula solenoide HFS [7]

Voltaje [V]	110V AC
Presión de Trabajo [Psi]	0-100PSI (7Bar)
Tipo	Normalmente Cerrada
Temperatura	23°F to 176°F
Dimensiones	Orificio: 16mm Longitud: 2-3/8" Espesor: 2" Altura: 4" 1/2"NPTa los dos lados

**Figura 2.5.** Distribuidor de gas

2.4 SUMINISTRO DE AGUA

Para optimizar el suministro de agua para la línea de producción se toma el agua directamente desde la red de agua potable mediante manguera de ½" y mediante una válvula solenoide como se muestra en la Figura 2.6. La misma que permite el control de flujo del agua y disminuir los desperdicios para el ingreso al tanque de calentamiento de agua las especificaciones se detallan en la Tabla 2.2



Figura 2.6. Electroválvula de agua

Tabla 2.2. Especificaciones de la válvula solenoide BACOENG [7]

Voltaje [V]	110V AC
Presión de Trabajo [Psi]	200 PSI Max (Agua, Liquido)
Tipo	Normalmente Cerrado
Temperatura	Max 150°F
Material	brass
Dimensiones	1/2"NPT a los dos lados

Para el proceso de enfriamiento se toma el agua directo de la red de agua potable mediante otra electroválvula que posee las mismas características que las descritas en la Tabla 2.2 flujo de agua que sale de la toma del agua al tanque de reserva y pasa a través del intercambiador de placas.

2.5 PASO DEL LÍQUIDO

La segunda electroválvula (Figura 2.7), sirve para controlar el agua que fluye por acción de la gravedad desde el Tanque de calentamiento del agua al Tanque de maceración para empezar el proceso de maceración. Las especificaciones de esta válvula se detallan en la Tabla 2.3.



Figura 2.7. Electroválvula de la mezcla [8]

Tabla 2.3. Especificaciones de la válvula solenoide TEMCO [9]

Voltaje [V]	110V AC
Presión de Trabajo [Psi]	0 PSI Min, 73 PSI Max (Agua, Liquido)
Tipo	Normalmente Cerrado
Temperatura	-5 a 80 °C
Material	Acero Inoxidable 304
Dimensiones	Orificio: 16mm 1/2"NPT a los dos lados

La tercera electroválvula de acero inoxidable sirve para controlar el flujo del mosto que pasa por la bomba de acero inoxidable Tabla 2.4. Para la recirculación del mosto en el tanque de maceración para el subproceso de maceración cuyos valores de placa son los siguientes:

Para evitar que la bomba trabaje en vacío se utiliza un sensor de nivel vertical (Figura 2.8) que activa o desactiva la bomba cuando el agua alcanza a nivel inferior.

Tabla 2.4. Datos de placa Bomba de Recirculación y paso [10]

Características eléctricas	230 AC 50Hz 0,5HP
Motor	3500 rpm/min
Qmin-max	5-28L/min
Max Presión de Entrada vertical	30 psi (2.1 bar)
Hmin-max	1-27m
Max Temperatura liquido	(95°C)
Material	Acero Inoxidable

**Figura 2.8.** Interruptor de nivel vertical e Instalación

La cuarta electroválvula de acero inoxidable (Figura 2.7), la misma que está conectada en paralelo con la electroválvula 3, sirve para contralor el controlar el flujo del mosto que pasa por la bomba de acero inoxidable hacia el Tanque de cocción.

La quinta electroválvula de acero inoxidable (Figura 2.7), la misma que está conectada en paralelo con la electroválvula 3 sirve para contralor el controlar el flujo del mosto que pasa por la bomba 2 de acero inoxidable Tabla 2.5 hacia los fermentadores a través del intercambiador de placas.

Tabla 2.5. Datos de placa Bomba de enfriamiento [8]

Voltaje [V]	115V AC
Motor	Imán permanente, P / N 11-195-01, Protegido térmicamente
Interruptor de presión	Apagado ajustable (80- 100 psi (5.51-6.89 bar). Ajuste de fábrica a 95 psi (6,55 bar) A 75 psi \pm 5 psi (5,17 bares \pm 0,34 bares)
Max Presión de Entrada vertical	30 psi (2.1 bar)
Cebado	Auto-cebado de hasta 12 pies (3.5 m) de altura
Temperatura liquido	180°F (82°C)
Material	Plásticos: Nylon Válvulas: Grado de alimentos Viton Diafragma: Santoprene Cierres: Acero cincado Peso 5,3 lbs (2,4 kg)
Caudal de servicio	1,6 gpm (6 rpm)

2.6 SENSOR DE TEMPERATURA

La principal variable por controlar en el proyecto es la temperatura, para ello se utiliza un Pt100 de acero inoxidable K Type 0-800 °C (Figura 2.9).



Figura 2.9. Pt 100 e instalación

Un Pt 100 es un tipo particular de RTD (dispositivo termo-resistivo) que consiste en un alambre de platino embobinado dentro de una vaina o un tubo de acero inoxidable que a 0°C tiene una resistencia de 100Ω , y al aumentar la temperatura aumenta la resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal (Figura 2.10) pero si creciente, de tal forma que mediante las tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.

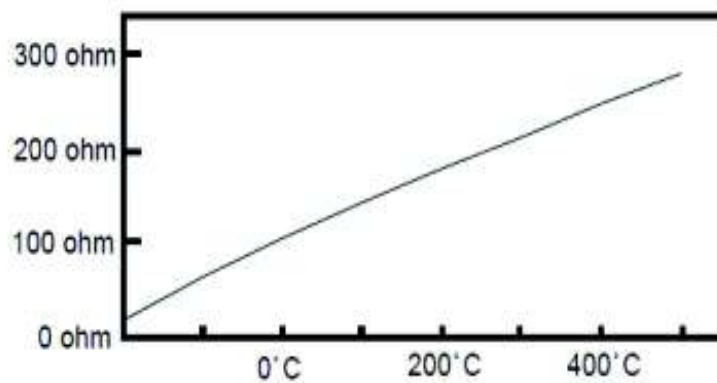


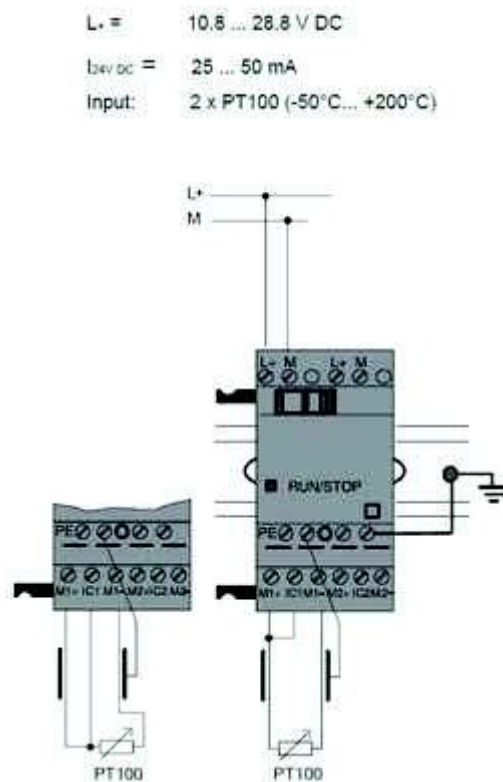
Figura 2.10. Curva característica del PT 100 (T vs R) [11]

Tabla 2.6. Datos Sensor de Temperatura RTD [12]

Temperatura	20~420°C
Tubo de Protección	50mm de longitud
Tipo	Pt100(Platinumi) 3 hilos
Material	Acero Inoxidable 304
Longitud del cable	2m (6 feet)

2.6.1 CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL SENSOR DE TEMPERATURA

El conexionado eléctrico del sensor utilizado se realizó utilizando la configuración de 3 hilos conectándolo directamente a las entradas del módulo RTD del PLC como se muestra en la (Figura 2.11).

**Figura 2.11.** Conexión del PT100 de 3 hilos con el módulo AM2 [13]

La conexión de 3 hilos disminuye el efecto de interferencias en los cables, y por eso es recomendable que estos sean blindados, para así tener mayor precisión por lo que esta configuración es la más recomendable a nivel industrial.

2.7 MOTOREDUCTOR

Para el proceso de maceración se necesita mezclar la malta con el agua a una velocidad baja constante para tener una mezcla homogénea. Para esto se utiliza un motor de corriente alterno monofásico con una caja reductora, que es el mecanismo que permite reducir la velocidad a 50 RPM

2.7.1 CALCULO DE LA POTENCIA REQUERIDA

Densidad del mosto $\rho = 1,05 \text{ g/cm}^3$

$$P = T \cdot \omega \quad (1)$$

$$T = F \cdot r \quad (2)$$

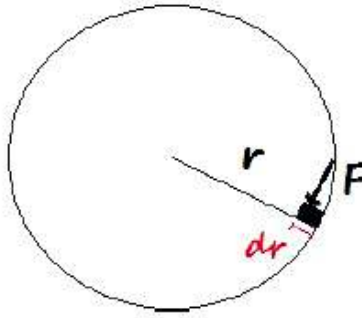


Figura 2.12. Diagrama de Fuerzas

$$\delta T = r * \delta F$$

$$F = N * \mu \quad (3)$$

$$N = m \cdot g \quad (4)$$

$$\delta F = \mu * g * \delta m$$

$$\delta m = \rho * \delta v$$

$$\delta v = 2\pi * h * r * \delta r$$

$$\delta T = r * \mu * g * \rho * 2\pi * h * r * \delta r$$

$$\delta T = 2\pi\rho * \mu * g * h * r^2 * \delta r$$

$$T = \int_0^R 2\pi\rho * \mu * g * h * r^2 * \delta r$$

$$T = \frac{2}{3}\pi\rho * \mu * g * h * R^3$$



Figura 2.13. Medidas del Tanque

La altura máxima que llega la mezcla en el recipiente (Figura 2.13) a 49 centímetros para evitar que se desborde cuando se mezcla.

$$T = \frac{2}{3} \pi \left(1050 \frac{kg}{m^3} \right) (0.03) \left(9.81 \frac{m}{s^2} \right) * (0.49m) * (0.18m)^3$$

$$T = 1,849 Nm$$

$$P = T * \omega$$

$$P = 1,849 Nm * 30 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{rev} * \frac{1min}{60 s}$$

$$P = 5,81 W * \frac{HP}{746 W}$$

$$P = 0,007 HP$$



Figura 2.14 Paleta acoplado al motor reductor

Se tiene varias consideraciones para calcular la potencia de este motoreductor ya que se le deben acoplar al eje del motor (Figura 2.14) un eje con aspas de acero inoxidable (Figura 2.15). Además, se debe considerar que dependiendo del tipo de cerveza la densidad del mosto puede llegar hasta 1080 kg/m^3 .

Se elige un motor superior a 0,25Hp como se muestra en la (Figura 2.13).



Figura 2.15 Acoplamiento Motor reductor

2.8 SISTEMA DE CONTROL

Para el diseño de la línea de producción mediante el sistema de control se vio en la necesidad de utilizar un PLC, así se buscará tener una mayor eficiencia y facilidad de acoplarse a futuras expansiones de la planta. Para mayor facilidad se utilizará una computadora portátil en donde se visualizará el HMI donde se podrá monitorear las variables críticas del proceso como el caso de la temperatura el nivel y el funcionamiento de los actuadores en cada uno de los subprocesos detallados anteriormente. El sistema de control a implementar tendrá que proveer la funcionalidad requerida para el funcionamiento adecuado de la línea de producción. La acción fundamental es controlar la temperatura a la cual está expuesta la mezcla de cada uno de los procesos, así como también el nivel mínimo y máximo del mismo en cada uno de los tanques y poder controlar los tiempos de cada uno de los subprocesos, para poder monitorear las acciones previamente programadas monitoreando siempre la temperatura y los niveles en modo online mediante el HMI.

Se reutilizo uno de los componentes originales de la línea de producción como para las bombas y los fermentadores. En la Figura 1.16 se ilustra el diagrama de bloques de la implementación del nuevo sistema de control aplicado en la línea de producción de cerveza artesanal.

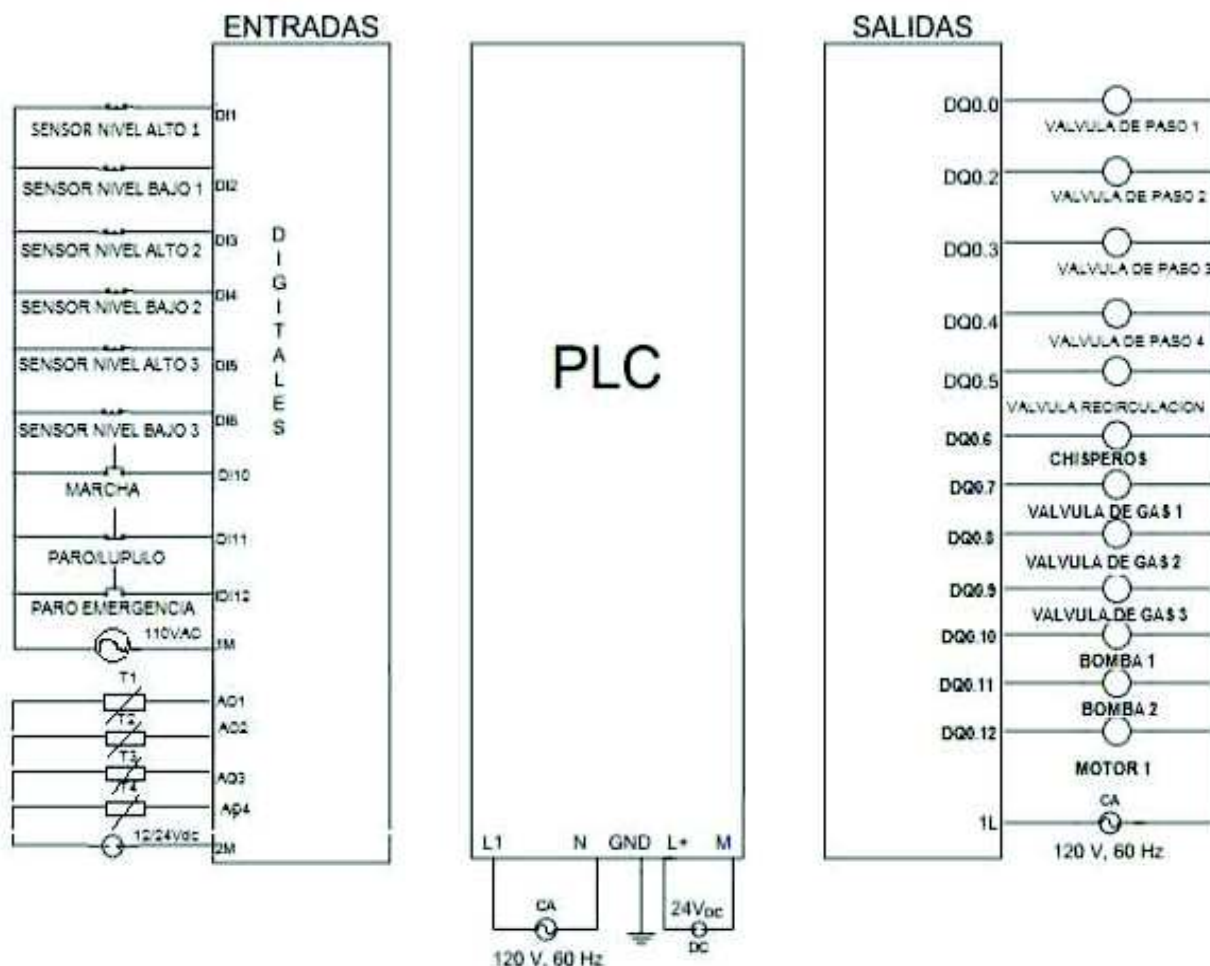


Figura 2.16 Acoplamiento Motor reductor

2.8.1 LISTA DE ENTRADAS Y SALIDAS UTILIZADAS EN EL PLC

Se puede detallar las entradas y salidas del PLC en las siguientes tablas

2.8.1.1 Entradas y salidas del PLC

El PLC dispone de entradas digitales y análogas

- **Entradas digitales**

Las entradas digitales se detallan a continuación en la Tabla 2.7

Tabla 2.7. Entradas Digitales

PIN	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
I1	Sensor de Nivel alto Tanque 1	Bool
I2	Sensor de Nivel Bajo Tanque 1	Bool
I3	Sensor de Nivel alto Tanque 2	Bool
I4	Sensor de Nivel Bajo Tanque 2	Bool
I5	Sensor de Nivel alto Tanque 3	Bool
I6	Sensor de Nivel Bajo Tanque 3	Bool
I7	Detector de Flama quemador 1	Bool
I8	Detector de Flama quemador 2	Bool
I9	Detector de Flama quemador 3	Bool
I10	Pulsador de Marcha	Bool
I11	Paro de Emergencia	Bool

- **Entradas Analógicas**

Las ampliaciones del PLC tienen 4 entradas análogas las mismas que sirven para medir las temperaturas en los 4 procesos mediante RTd's como se detalla en la Tabla 2.8 .

Tabla 2.8 Entradas Análogas

PIN	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
AO1	Sensor de Temperatura tanque 1	Int
AO2	Sensor de Temperatura tanque 2	Int
AO3	Sensor de Temperatura tanque 3	Int
AO4	Sensor de Temperatura tanque 4	Int

- **Salidas Digitales PLC**

El PLC y los módulos de ampliación poseen 12 salidas digitales las mismas que se detallan a continuación en la Tabla 2.9

Tabla 2.9 Salidas Digitales

PIN	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE
Q1	Válvula de paso agua -tanque 1	Bool
Q2	Válvula de paso tanque 1 -tanque 2	Bool
Q3	Válvula de paso tanque 2 -tanque 3	Bool
Q4	Válvula de paso tanque 3 -tanque 4	Bool
Q5	Válvula de realimentación Tanque 2	Bool
Q6	Válvula de Gas 1	Bool
Q7	Válvula de Gas 2	Bool
Q8	Válvula de Gas 3	Bool
Q9	Interruptor chisperos	Bool
Q10	Accionamiento Bomba 1	Bool
Q11	Accionamiento Bomba 2	Bool
Q12	Motor Agitador 1	Bool

2.8.2 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL PLC

En la (Figura 2.17) se muestra el diagrama de conexiones físicas del PLC que permite ilustrar:

- Número de entradas y salidas
- Dirección asociada a cada entrada y salida
- La entrada para la conexión el sensor de temperatura
- Voltajes de alimentación L+= 24Vcc, M=GND, L1 = 110 Vac , N= 0 Vac

2.8.3 DISEÑO DEL TABLERO ELECTRICO

Para el diseño del tablero electrónico se consideró solo los elementos del control comandaran el tablero de fuerza de la maquina disponía originalmente donde se encuentran contactores y fusibles, relés, etc.

El tablero debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- Espacio acorde al tamaño del PLC
- Espacio para las borneras de entrada y salida del PLC, borneras de señal y alimentación.
- Espacio para relés de interposición y conexión de estos
- Espacios para la fuente de alimentación e 24VDC a 2.5A

Por la implementación del circuito de control es necesario cumplir con algunas normas de acuerdo al trabajo que se va a realizar ya que como se detalla en está expuesto al agua y al polvo por lo que se eligió un tablero de con un grado de protección IP, además de que se colocó a una altura adecuada aproximada de 1m y así evitar salpicaduras a su interior, y así permitan cumplir y garantizar la seguridad de los operarios y de las instalaciones mediante el funcionamiento adecuado donde estos se encuentren ubicados.

Los tableros se instalarán en lugares secos de fácil acceso con respecto a la dimensión debe satisfacer las necesidades de los requisitos del sistema por lo que fue necesario adquirir un tablero cuyo tamaño es 600 x 400x 200 mm presenta un doble fondo. En la parte removible se realiza el ensamblaje del circuito de fuerza y el de control.

El cableado se lo realiza con canaletas plásticas de 40 mm y se coloca en tres segmentos de riel DIN.

2.8.3.1 Implementación del Tablero

Con lo mencionado anteriormente el diseño final del tablero se muestra a través de la Figura 2.17.



Figura 2.17 Diseño del Tablero

2.8.4 ELEMENTOS DEL TABLERO DE CONTROL

La parte esencial del circuito de control es un mini PLC (Controlador lógico programable) ya que se considera que un sistema con mayor robustez para ambientes industriales, además de su fácil programación y compatibilidad de funcionamiento este equipo que es el encargado de controlar el desarrollo de todo el proceso gracias a la lógica implementada y a los módulos de expansión.

2.8.4.1 Controlador Logico Progrmable

En base a los requerimientos del proceso se analizaron varios parámetros para la selección del PLC tales como los tipos de entradas, salidas, marcas costos

beneficios, etc., y se optó por la selección de la gama de relés de control como son SIEMENS el PLC LOGO 8 230 RCE (Figura 2.18), puesto que es compacto, modular y ofrece una gran capacidad de control ya que es posee varios módulos de expansión según las necesidades.



Figura 2.18 Controlador Logo 8 [13]

Esta gama de controladores ofrece diferentes capacidades físicas es decir posee diferentes entradas y salidas como se detalla en la Tabla 2.7 así como también módulos de expansión.

En función con el número de entradas y salidas necesarias para el desarrollo del proyecto se escogió el modelo RCE120 que cuenta con las siguientes características.

Tabla 2.7. Especificaciones Logo 8 [13]

Diseño	Módulo lógico con pantalla
Entradas	8
Salidas	4 x Relé
Tensión de entrada / alimentación	115/240 V AC / DC
Rango admisible	85-265 V AC / 100-253 V DC
Salidas de corriente continua	10 A con carga resistiva; 3 A a carga inductiva
Montaje en	carril DIN de 35 mm (4 MW)
Dimensiones	(H x En x P) 72 (4 MW) x 90 x 55 mm
Temperatura ambiente mín.	0 ° C
Temperatura ambiente máx.	55 ° C
Grado de protección	IP20
Reloj en tiempo real integrado /	Reserva de marcha típ. 480 h (sin batería)
Cable de programación	Ethernet
Max. Memoria del programa	Max. Memoria del programa 400 bloques
Datalogging Memoria interna	Tarjeta SD

Para cubrir el número de necesario de entradas y salidas, se adquirió también 3 módulos de 4 entradas para RTD LOGO ; AM2 RTD (Figura 2.19) y un módulo de 8 salidas para relé LOGO; DM16 230R 110/220V VAC 8ID / 8D0 tipo RELE cuyas características se presentan en la Tabla 2.8



Figura 2.19 Módulo AM2 RTD

Tabla 2.8 Especificaciones Modulo AM2 RTD [13]

Entradas	2
Utilizable como analógico	2 x Pt100/Pt1000
Voltaje de entrada/Suministro	12/24 V DC
Rango admisible	10,8...28,8 V DC
Montaje	Sobre carril DIN 35 mm (2 UN)
Dimensiones (Ancho x Alto x Profundidad)	36 (2 UN) x 90 x 53 mm
Temperatura ambiente mín.	0 °C
Temperatura ambiente máx.	55 °C
Protección	IP20

Para cubrir el número necesario de entradas y salidas se adquirió un módulo de expansión de 8 salidas tipo relé y 8 entradas digitales. DM16 230R (Figura 2.20) cuyas características son las siguientes detalladas en la Tabla 2.9



Figura 2.20. Módulo DM16 230R

Tabla 2.9. Especificaciones Modulo DM16 230R [13]

Entradas	8
Salidas	8 para Relé
Entradas /Voltaje In	115/240 V AC/DC
Rango Permisible	85-265 V AC/100-253 V DC
Con Señal "0"	máx. 40 V AC/30 V DC
Con Señal "1"	min. 79 V AC/DC
Salidas de corriente continua	5 A at resistiva load; 3 A con carga inductiva
Montaje	Riel DIN 35 mm (4 MW)
Dimensiones (H x W x D)	72 (4 MW) x 90 x 55 mm
Temperatura Ambiente min.	0 °C
Temperatura Ambiente max.	55 °C
Grado de Protección	IP20

2.8.4.2 Pulsadores

Se utilizan 3 pulsadores simples (Figura 2.21) con un contacto normalmente abierto el cual se cierra al presiona el botón.



Figura 2.21. Pulsador simple [14]

Para el caso de presentarse alguna situación inesperada se colocó un pulsante tipo hongo (Figura 2.22) para el paro de emergencia que al ser presionado detiene proceso y se mantienen presionado hasta poder solucionar el problema.



Figura 2.22. Pulsador tipo hongo [14]

2.8.5 CIRCUITO DE FUERZA

Se encuentra conformado por los siguientes elementos:

2.8.5.1 Interruptor termomagnético

Se utilizará un Interruptor general que va a dar la energía a tablero de 10 A marca Schneider (Figura 2.23) para el riel DIN.



Figura 2.23. Interruptor termo magnético de 10A [15]

2.8.5.2 Fusibles

Como protección adicional para las bombas se emplean fusibles con portafusibles para el riel DIN como se detalla en la (Figura 2.24).



Figura 2.24. Fusible y porta fusible [16]

Se utilizan 4 fusibles con porta fusible (Figura 2.24) para riel DIN.

A continuación, en la Tabla 2.10. Se detalla la capacidad de cada uno de ellos y a que elemento se encuentra destinado a proteger los equipos.

Tabla 2.10. Capacidad de los interruptores termo magnéticos y fusibles

Protección	Capacidad [A]
PLC	1
Motor del Mezclador	2
Motor Bomba 1	4
Motor Bomba 2	2
Demas elementos	1

A continuación, se muestra los cálculos realizados para obtener as capacidades de los elementos de protección:

- Interruptor general:
Capacidad: I_p del motor mezclador + I_p Boba 1+ I_p Boba 2+ V cargas adicionales
- Fusible del motor de la bomba1:

$$\text{Capacidad: } 1,25 I_p \text{ Bomba 1}$$

$$\text{Capacidad: } 1,25 * 3,6$$

$$\text{Capacidad: } 1,25 I_{pc} \text{ Motor}$$

$$\text{Capacidad: } 4,5A$$
- Fusible del motor de la bomba 2

$$\text{Capacidad: } 1,25 I_p \text{ Bomba 2}$$

$$\text{Capacidad: } 1,25 * 1$$

$$\text{Capacidad: } 1,25A$$

- Fusible del motor mezcladora

*Capacidad: $1,25 * I_{p\text{motor mezcladora}}$*

*Capacidad: $1,25 * 1,8A$*

Capacidad: $2,25A$

- La capacidad de protección del PLC se obtuvo del manual [13]

2.8.5.3 Relés de Electromecánicos

Los relés electromecánicos (Figura 2.25) se encuentran destinados al control de las válvulas solenoide, los motores y las bombas, cuyo consumo de corrientes es pequeño menor a un amperio.

Poseen tres contactos normalmente abiertos y dos contactos normalmente cerrados y con colocado en bases para riel DIN como se detalla en la Tabla 2.13 .



Figura 2.25. Relé Electromecánico [17]

Tabla 2.13 Capacidad de relés electromecánicos [17]

Modelo	MK3P – 1 110VDC
Corriente Nominal	10A, 250VCA
Contactos NC	3
Contactos NA	3
Número de Pines.	8

2.8.5.4 Relés Arduino

Los relés Arduino (Figura 2.26) se encuentra destinados al control de los sensores de llama (Figura 2.27).

Para los quemadores cuyo consumo de corriente es pequeño menor a un amperio las especificaciones se detallan en la Figura 2.17

El módulo funciona a 5 Voltios para el control, capaces de manejar cargas de hasta 10 Amperes en 250 Voltios para el circuito de potencia, convenientemente aislados mediante por medio de opto acopladores en las entradas, y con leds individuales que sirven como indicadores de estado.

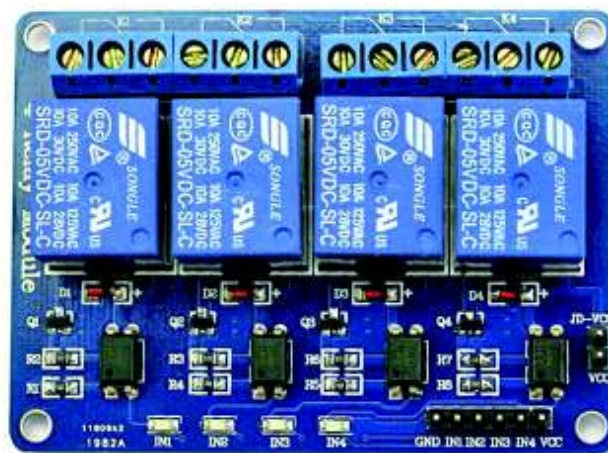
**Figura 2.26** Módulo Relé Arduino [18]



Figura 2.27. Sensor de llama [19]

Tabla 2.14 Especificaciones sensor de llama [19]

Tipo	Receptor Infrarrojos de alta sensibilidad
Rango de Sensibilidad	Onda entre 760-1100nm
Angulo de detección	60°
Ajuste	Threshold potenciómetro
Alimentación	0-15 V DC
Salida	Análoga Voltaje -Digital (0 and 1)
Tamaño (L x W):	Aprox. 36x16mm

2.8.6 SEÑALIZACIÓN

2.8.6.1 Luces Piloto

Se dispone de 4 luces piloto (Figura 2.28). Las mismas que sirven para indicar cuál de los actuadores en cada subprocesso se encuentra a funcionando.



Figura 2.28. Luz piloto [14]

CAPITULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE

En el presente capítulo se detalla el desarrollo del software para la comunicación entre la computadora y el PLC, incluyendo la lógica de funcionamiento de cada una de las subrutinas para los diferentes subprocesos dentro del programa principal.

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DEL PROGRAMA

A continuación, se realiza una breve descripción del proceso a controlar para poder entender la idea general de los requerimientos del programa.

El proceso para la obtención de cerveza artesanal se lo realiza por el momento una vez por semana. Como ya se mencionó anteriormente existen 4 subprocesos:

- Ebullición
- Maceración
- Cocción
- Enfriamiento

3.1.1 EBULICIÓN

Se toma, el agua directamente de la red de agua potable conectada mediante una manguera para llenar el tanque de calentamiento del agua hasta el nivel máximo aproximado de 50 litros. Se lo lleva al punto de ebullición que toma un tiempo estimado de 30 minutos y luego se la deja enfriar y se mantiene el agua en un rango entre 60 y 70°C.

3.1.2 MACERACIÓN

Se transfiere el agua del tanque de calentamiento de agua al tanque de maceración que contiene la malta. Luego se la bate a velocidad constante por 60 minutos. Luego se hace la recirculación del mosto por 60 minutos, este proceso que en total

dura 120 minutos siempre se controla que la temperatura este en un rango entre 60 y 70°C.

3.1.3 COCCIÓN

Se transfiere el mosto del taque 2 al taque 3 y se lleva a ebullición para poder agregar el mosto durante 60 minutos.

3.1.4 ENFRIAMIENTO

Se transfiere la mezcla del tanque 3 a los fermentadores, a través del intercambiador de placas para enfriar la mezcla a temperatura ambiente.

Concluido el llenado de los fermentadores, inicia el subproceso de lavado de los elementos utilizados y de las instalaciones. Se lo realiza con el agua almacenada en el tanque de reserva el proceso de enfriamiento mezclado con un polvo desinfectante.

3.2 LOGICA DEL PROGRAMA PARA EL PLC

Para el desarrollo del programa del PLC se consideró los requerimientos de la empresa y del funcionamiento mismo del proceso original de la maquina los mismos cuyos subprocesos están expuestos en el capítulo anterior.

El programa principal dentro del cual existen las subrutinas de calentamiento del agua, maceración, cocción y enfriamiento para el control de cada uno de los subprocesos La estructura del programa de control se detalla en la lógica del subproceso (Figura 3.1).

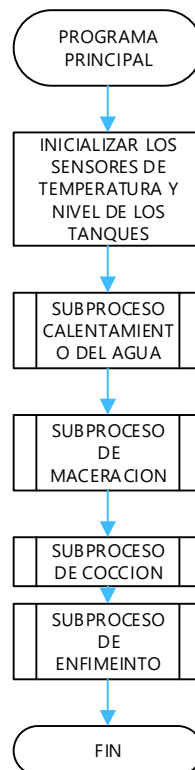


Figura 3.1 Diagrama de flujo del Proceso

A continuación, se describe detalladamente cada subproceso

3.2.1 SUBPROCESO DE EBULLICIÓN

Por medio del pulsante de marcha se da inicio al proceso de ebullición. Primero se activa la electroválvula del agua para llenar el Tanque de calentamiento del agua. Cuando el nivel del agua sobrepasa el nivel mínimo se abre la válvula del gas para encender el quemador 1. Al circular el gas (combustible), entre en contacto con el oxígeno del ambiente (comburente) y, como la llama piloto (fuente de ignición) se encuentra encendida se reúne las condiciones necesarias para la combustión. El agua se calienta en el Tanque de calentamiento. Por medio de una de las entradas del módulo analógico se adquiere la señal del Pt 100 para poder medir la temperatura.

El tanque se llena hasta nivel máximo, que es una entrada digital del PLC. Simultáneamente se controla que el agua llegue al punto de ebullición de 92°C (temperatura de ebullición en la ciudad de Quito).

Después de que el agua lleva al punto de ebullición, se cierra la electroválvula de gas 1 hasta que el agua se enfríe hasta 70°C. Cuando llega a esta temperatura se

abre la electroválvula 2 para pasar el agua del tanque 1 al tanque 2. Simultáneamente se controla que la temperatura este en el rango entre 60 y 70° C, hasta que el agua desactive el nivel mínimo y así poder cerrar la válvula de gas. Así termina el proceso de ebullición del tanque, tal como se detalla en el diagrama de flujo en la (Figura 3.2).

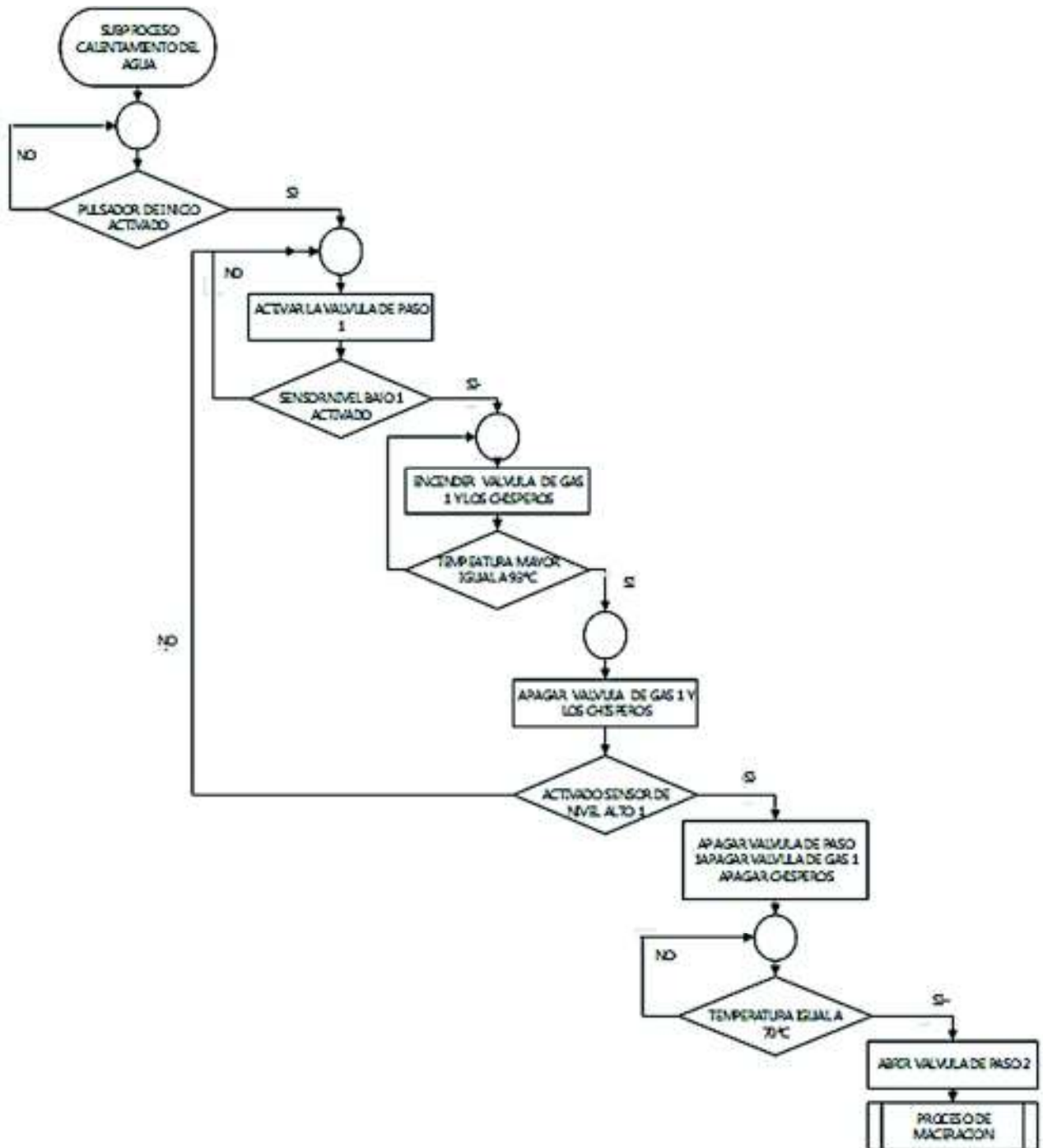


Figura 3.2 Diagrama de flujo del Proceso Ebullición

3.2.2 SUBPROCESO DE MACERACIÓN

Este proceso inicia cuando pasa el agua del tanque de calentamiento del agua al tanque de maceración, se monitorea la temperatura a través de una Pt100 y se ingresa esta información al PLC.

Mientras el tanque se llena hasta nivel máximo, se controla simultáneamente que la mezcla se mantenga en un rango entre 60 y 70°C mediante el accionamiento de la electroválvula de gas 2 y los chisperos para el encendido del quemador durante todo el proceso de maceración.

Luego que la mezcla llega a esta temperatura y se activa el sensor de nivel alto, se procede a encender el mezclador por 30 minutos, el mismo que está a una velocidad constante. Al término de los 30 minutos se apaga el motor y se enciende la bomba 1 y la electroválvula de recirculación para proceder al proceso de recirculación por un periodo de 30 minutos, todo este proceso tiene una duración de 60 minutos.

Cuando han pasado los 30 minutos de la recirculación se apaga la bomba 1 y la electroválvula de recirculación, y se enciende la electroválvula de paso del tanque 2 al tanque 3, y la bomba 1.

Cuando el nivel del tanque es menor que el nivel mínimo se procede a apagar la bomba, la electroválvula de paso y el quemador 2, así finaliza el proceso de Maceración el mismo que se detalla en el diagrama de flujo explicado en la (Figura 3.3).

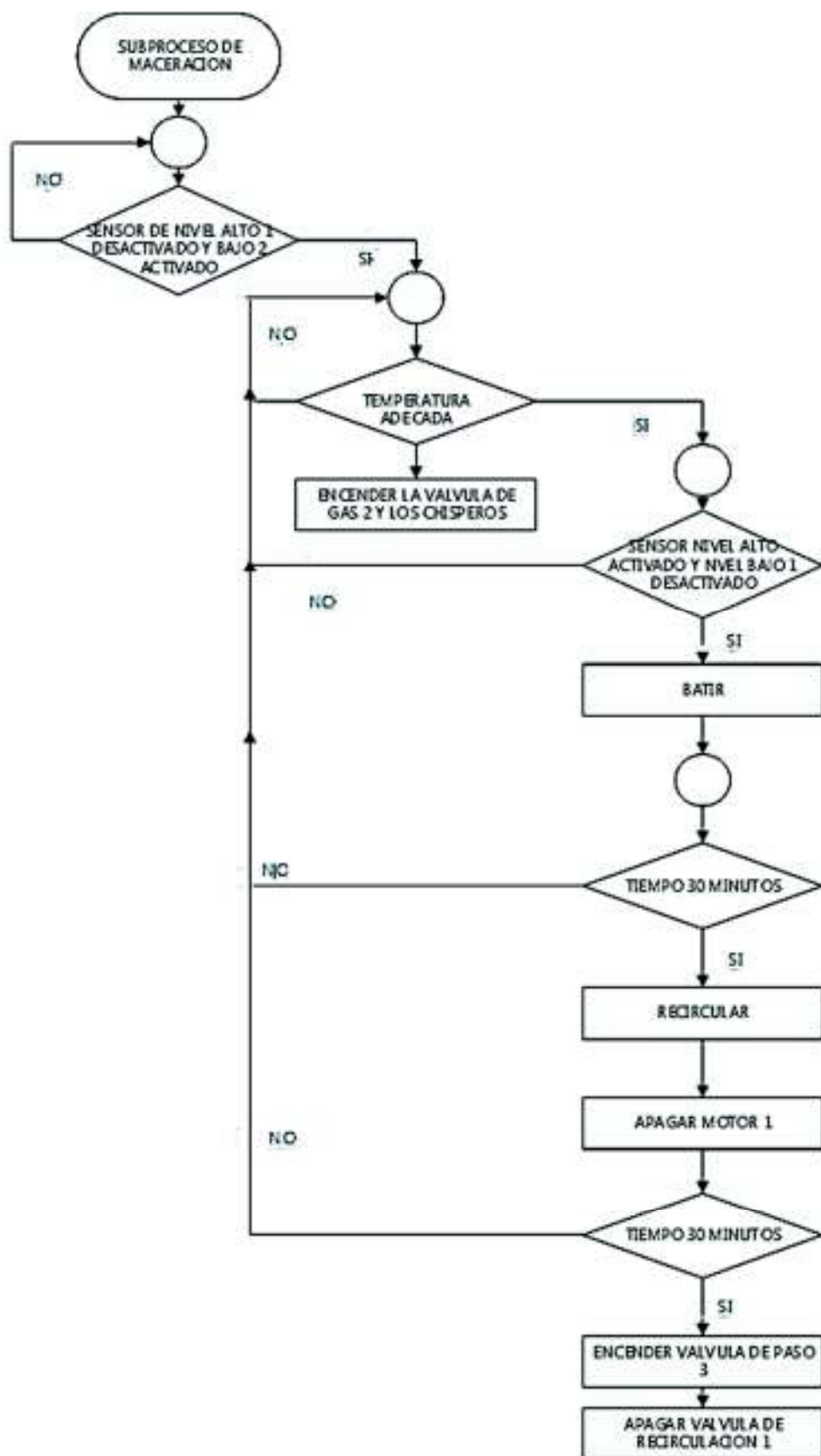


Figura 3.3 Diagrama de flujo del Proceso Maceración

3.2.3 SUBPROCESO DE COCCIÓN

El proceso de cocción en el que se debe añadir el lúpulo al mosto a la temperatura de ebullición cada cierto tiempo inicia cuando la válvula de paso 3 y la bomba 1 están encendidas para el paso del mosto entre el tanque de maceración y el tanque de cocción.

Si el nivel del agua en el tanque de cocción sobrepasa el nivel mínimo, la válvula del gas 3 se abre para encender el quemador 3, con ayuda del accionamiento de los chisperos (fuente de ignición).

Cuando la mezcla alcanza el nivel máximo y la temperatura llega al punto de ebullición alrededor de 93°C, se encenderá una alarma luminosa por 1 minuto para que el operador proceda a añadir el lúpulo, el mismo que apagará la alarma presionando el pulsador para continuar el proceso.

Este proceso se repetirá dos veces a los 20 minutos y a los 40 minutos. A los 60 minutos se apagará el quemador 3 y se procederá a abrir la válvula de paso del tanque 3 a los fermentadores y la bomba 2.

El mosto procederá a pasar del tanque de cocción a los hasta que el nivel de la mezcla del tanque de cocción sea menor al nivel mínimo cuando esto ocurra se procederá a cerrar la válvula de paso del tanque de cocción a los fermentadores y la bomba 2, y así terminaría el proceso de cocción que se detalla en el diagrama de flujo de la (Figura 3.4).

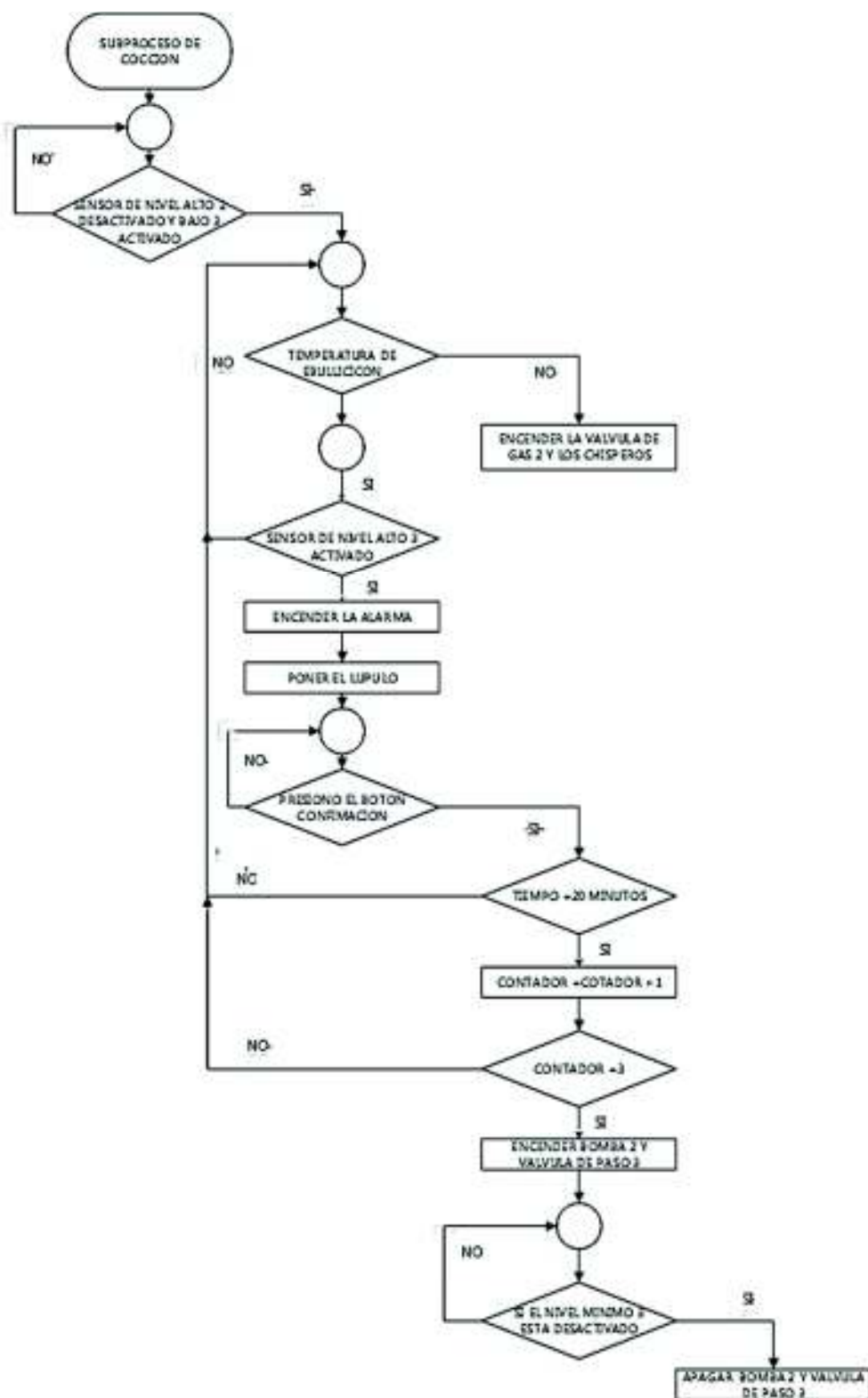


Figura 3.4 Diagrama de flujo del Proceso Cocción

3.2.4 SUBPROCESO DE ENFRIAMIENTO

Cuando la válvula de paso del tanque 3 a los fermentadores está abierta mediante una entrada analógico para Pt100 se adquiere la señal de temperatura del intercambiador de placas, que debería estar alrededor de la temperatura ambiente 24°C. El proceso se detalla en el diagrama de flujo de la (Figura 3.5)

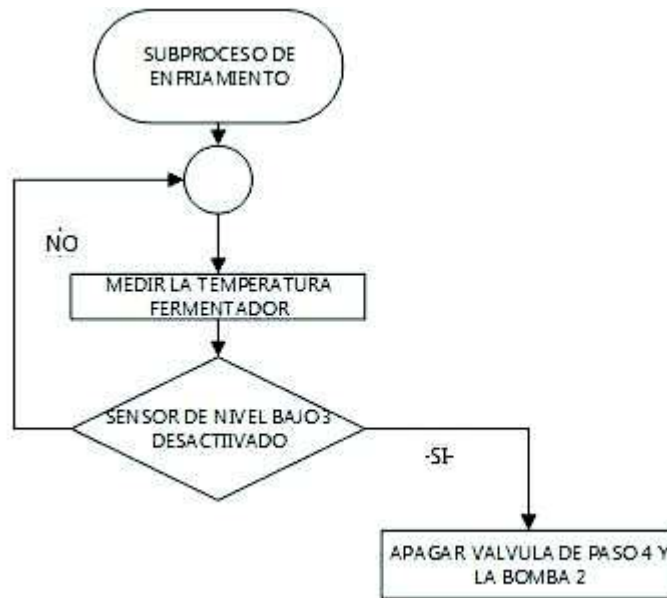


Figura 3.5 Diagrama de flujo del Proceso Enfriamiento

3.3 DESARROLLO DEL HMI

El desarrollo de la Interfaz Hombre Máquina permite observar y monitorear el comportamiento del proceso.

Estas ventanas se las puede configurar en paneles de operador mediante una computadora. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio del PLC a través de la computadora mediante una interfaz Ethernet por medio de su respectiva tarjeta de comunicaciones para lograr la comunicación con el software Win cc y Tial Portal

3.3.1 CONFIGURACIÓN DEL HMI MEDIANTE RT ADVANCED WIN CC Y TIA PORTAL [20]

En el proyecto se utiliza una computadora, como hardware para el HMI implementado bajo el software de programación Tia portal- WinCC (Windows control center para Windows) RT advanced, el cual permitirá al operador realizar las tareas:

- Funciones de la máquina
- Encendido y apagado del sistema
- Procedo de ebullición
- Proceso de maceración
- Proceso de Cocción
- Proceso de enfriamiento
- Monitoreo en línea de las variables de temperatura y tiempos de cocción y supervisor de los subprocesos en forma gráfica.
- Monitoreo de los subprocesos, seguimiento del comportamiento del sistema.
- Proporcionar históricos de temperatura y tiempos de accionamiento de los actuadores en función del tiempo.

Para poder crear un proyecto en Tia Portal- Win CC RT advanced es necesario las conexiones como se indica en la (Figura 3.6).

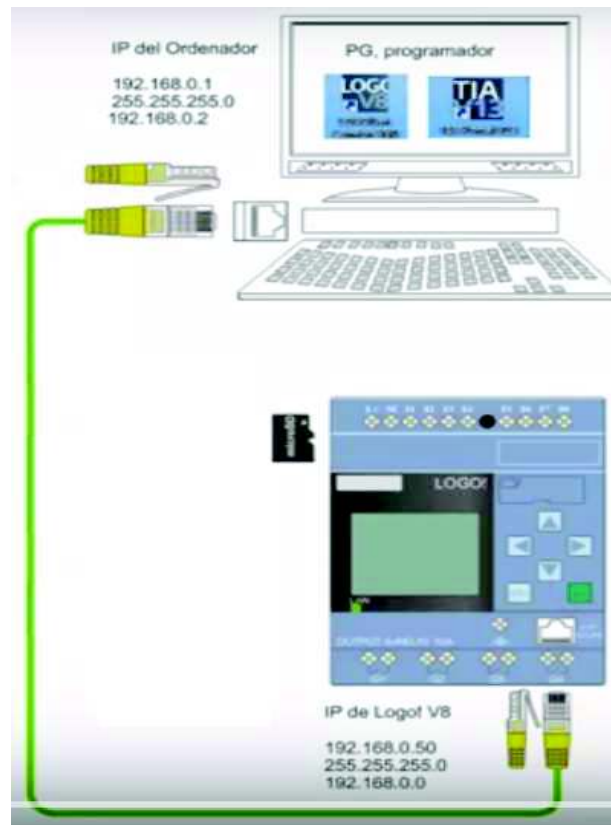


Figura 3.6 Componentes de la configuración de la Computadora [20]

3.3.1.1 Software TIA Portal V14 [20]

El software “Totally Integrated Automation Portal (TIA PORTAL)” permite programar tanto el PLC como el sistema de visualización desde el PLC LOGO 8 hasta una computadora y varios paneles para la visualización HMI.

Este sistema permite configurar de manera ON Line y reconocer el estado de las variables del proceso en tiempo real y eliminar posibles errores que se puedan presentar.

3.3.1.2 Desarrollo del programa en la pantalla

Mediante las herramientas que dispone como: botones, interruptores, visores numéricos, gráficos, se podrá realizar animaciones para ver los cambios de estado, desplazamientos, o parpadeos, los que poseen las herramientas necesarias para realizar la visualización adecuada de nuestro proceso.

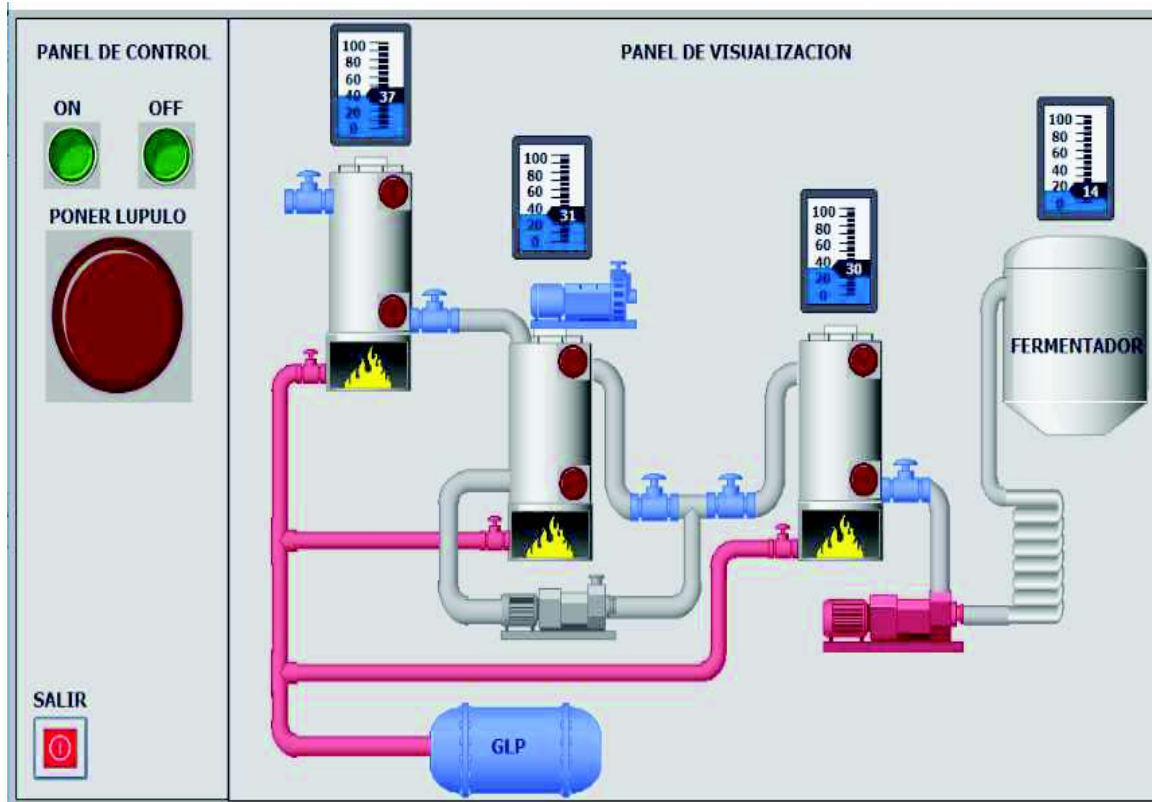


Figura 3.7 HMI del proceso en TIA Portal

La razón fundamental para utilizar una pantalla (Figura 3.7) es para la visualización de la temperatura y de los diferentes subprocesos, por lo que es necesario un visor numérico. Además, ver el correcto estado de los actuadores, de cada una de las entradas y salidas del PLC.

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se describen las pruebas las cuales se le sometió a la planta de fabricación cerveza artesanal, además de los resultados que se obtuvieron durante su funcionamiento.

4.1 PRUEBA DEL COMPENSACIÓN DEL SENSOR

Dado que la los sensores PT100 blindados debían ser conectados directamente al tablero a los modulo análogos RTD por lo que se debió realizar extensiones a sus tres hilos. Para tener una correcta medición de la temperatura se tuvo que realizar una compensación en el programa del PLC mediante el uso de amplificadores dándole un valor adecuada de ganancia para tener los resultados esperados.

Para la compensación de temperatura del RTD se tomó como patrón un termómetro digital (Figura 4.1) para comparar las temperaturas (Figura 4.2) y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 4.1

Tabla 4.1 Comparación de temperatura

TEMPERATURA	
TERMOMETRO DIGITAL	COMPENSACION PT 100
19,7	20
30,2	31
44,3	45
61,2	61
70,7	70
75,9	75

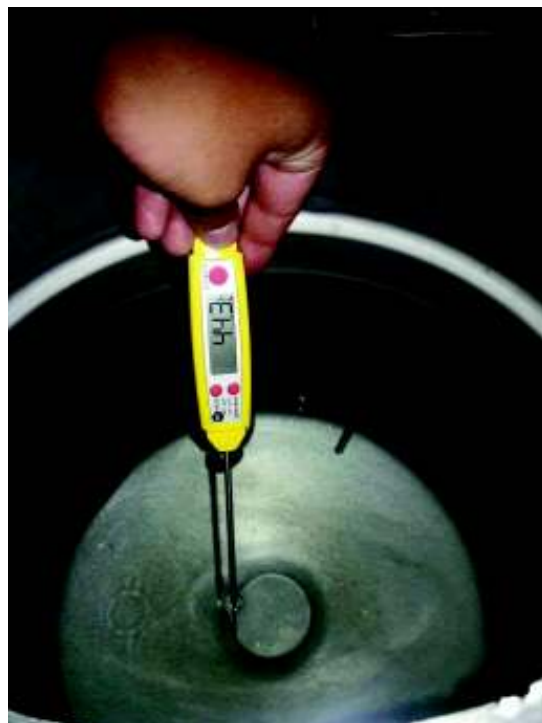


Figura 4.1 Medición de Temperatura

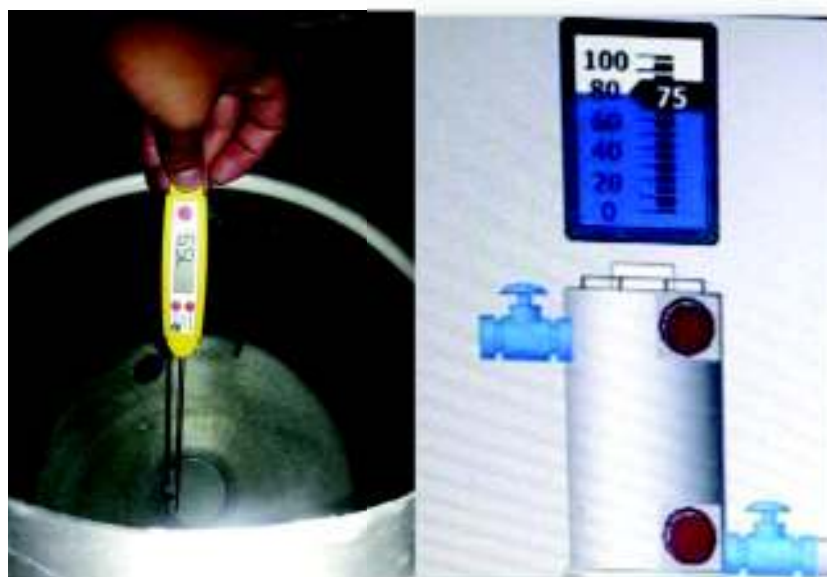


Figura 4.2 Comparación de temperatura

4.1.1 CALCULO DEL ERROR EN A TEMEPRATURA

4.1.1.1 Error Absoluto

$$Ea = |Valor Medido - Valor Real| \quad (5)$$

$$Ea = |Valor Medido - Valor Real|$$

$$Ea1 = |20 - 19,7| = 0,3$$

$$Ea2 = |31 - 30,2| = 0,7$$

$$Ea3 = |45 - 44,3| = 0,7$$

$$Ea4 = |61 - 61,2| = 0,2$$

$$Ea5 = |70 - 70,7| = 0,7$$

$$Ea6 = |75 - 75,9| = 0,9$$

4.1.1.2 Error Relativo

$$Er = \frac{|Valor Medido - Valor Real|}{Valor Real} \quad (6)$$

$$Er1 = \frac{0,3}{19,7} = 0,015$$

$$Er2 = \frac{0,7}{30,2} = 0,023$$

$$Er3 = \frac{0,7}{44,3} = 0,016$$

$$Er4 = \frac{0,2}{61,2} = 0,003$$

$$Er5 = \frac{0,7}{70,7} = 0,010$$

$$Er6 = \frac{0,9}{75,9} = 0,012$$

4.1.1.3 Error medio porcentual

$$Erp = Er * 100 \quad (7)$$

$$Erp1 = 0,015 * 100 = 1,5\%$$

$$Erp2 = 0,023 * 100 = 2,3\%$$

$$Erp3 = 0,016 * 100 = 1,6\%$$

$$Erp4 = 0,003 * 100 = 0,3\%$$

$$Erp5 = 0,010 * 100 = 1,0\%$$

$$Erp5 = 0,012 * 100 = 1,2\%$$

4.1.1.4 Valor Medio del error relativo porcentual

$$\bar{x} = \frac{(\sum_{i=1}^n xi)}{n} \quad (8)$$

$$\overline{Erp} = \frac{(1,5 + 2,3 + 1,6 + 0,3 + 1 + 1,2)}{6}$$

$$\overline{Erp} = \frac{(7,9)}{6}$$

$$\overline{Erp} = 1,31\%$$

Como se observa el error es pequeño y aceptable para esta aplicación.

En este capítulo se describen las pruebas las cuales se le sometió a la planta de fabricación cerveza artesanal, además de los resultados que se obtuvieron durante su funcionamiento.

4.2 PRUEBA DEL PROGRAMA DE CONTROL

Una vez finalizado el programa, este fue cargado en el PLC y se realizaron pruebas de funcionamiento de igual manera en pequeña escala mediante improvisados pulsadores y mediante cables simulando las entradas del PLC para comprobar que las salidas del PLC para activar los actuadores funcionan correctamente, dando resultados satisfactorios así cumpliendo las necesidades del proyecto.

En el desarrollo de estas pruebas se presentaron algunos inconvenientes al momento de conectar el PLC con la PC y configurar la dirección IP de cada uno de ellos y así también configurar el PG/PC donde para evitar estos problemas se debe configurar de la siguiente manera seleccionando siempre el acceso de aplicación con "S7ONLINE (STEP7)....." como se muestra en la Figura 4.3



Figura 4.3 Medición de Temperatura

Después de haber configurado adecuadamente la dirección IP de la PC y el PLC y el PG/PC se puede comprobar la correcta comunicación como se indica en la Figura 4.4 .

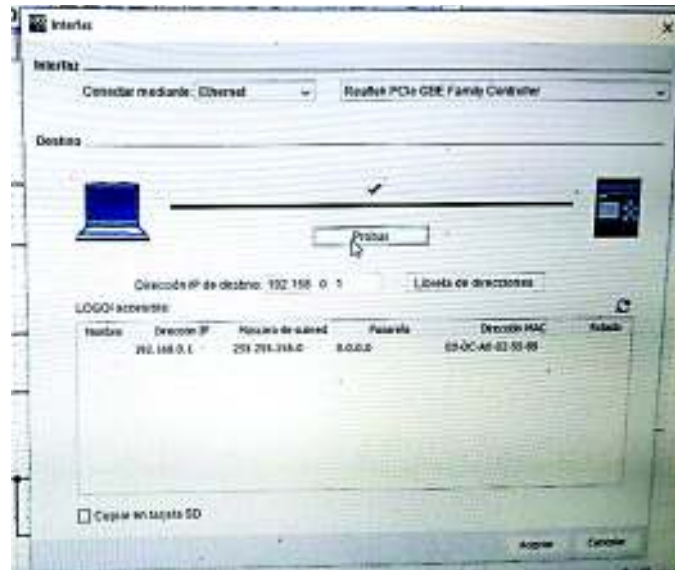


Figura 4.4 Interfaz de conexión

4.3 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y LA COMPUTADORA TIA PORTAL

Para que el operador se esté informado de lo que sucede en el proceso, es necesario tener el HMI en la PC y que se despliegue la temperatura en cada uno de los tanques, así como el nivel de los mismos, también se podrá visualizar en mediante la animación intermitente cuando cada uno los actuadores estén funcionando según corresponda.

El PLC y la PC forman una pequeña red y se comunican mediante el protocolo PN/IE que significa PROFINET /INDUSTRIAL ETHERNET.

Así también para una correcta comunicación entre el PLC y la computadora se debe configurar opciones como la velocidad y las direcciones, y los puertos del autómatas. No sin antes tomar en cuenta el interfaz de comunicación compatible con WINCC quedando de siguiente manera según la Figura 4.5.

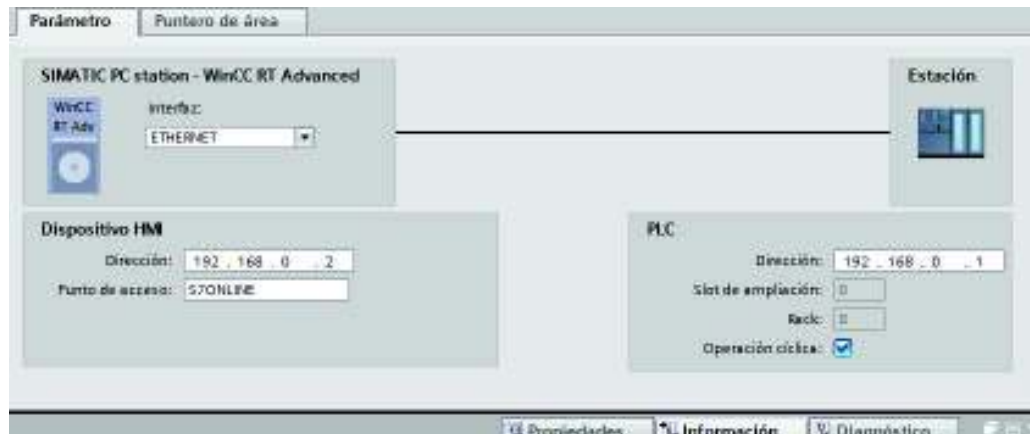


Figura 4.5 Red formada por el PLC y el Autómata

4.4 PRUEBA DEL CIRCUITO DE CONTROL, FUERZA Y PANTALLA

Una vez armado el tablero de control, se realiza las pruebas de los dos circuitos, primeramente, el de control y luego el de fuerza.

Al energizar el tablero, luego de esperar un tiempo necesarios para la inicialización de los dispositivos (PLC y PC).

Para que si inicialice la simulación después de haber cargado el programa PLC se debe presionar en el Icono RT que dice "Inicial Simulación" en una pantalla con Win CC cómo se indica en la Figura 4.6 .



Figura 4.6 Botón para realizar la simulación en WinCC RT

Se procede a inicializar el proceso con el presionando el botón ON del HMI como se indica en la pantalla de simulación en la Figura 4.7 , los resultados son los esperados, los actuadores cumplen con los tiempos estimados para el calentamiento en los diferentes procesos de la línea de producción, en el proceso de maceración mediante el motor agitador y la recirculación por medio de la bomba se logra tener una mezcla homogénea deseada para el mosto mejorando el proceso.

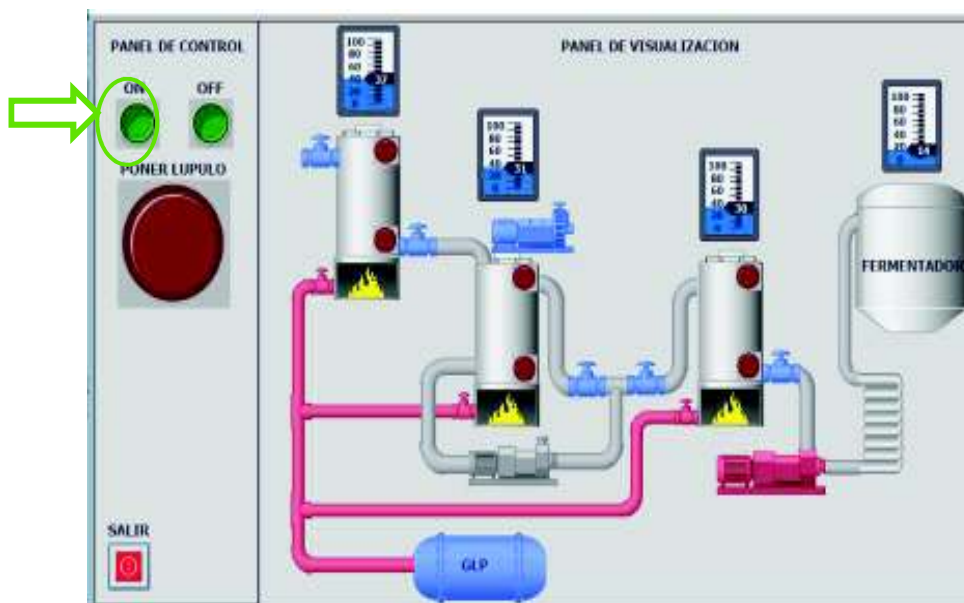


Figura 4.7 Pantalla de simulación en WinCC RT

El motor y las dos bombas trabajando en forma adecuada, el calentamiento presentado es tolerable en vista que no se los sobrecarga, por ende, su dimensionamiento es adecuado como la corriente de la bomba como se indica en la Figura 4.8 en los capítulos anteriores.



Figura 4.8 Medición del consumo de corriente en la bomba 1

De igual manera el HMI opera adecuadamente mostrando mediante los indicadores de temperatura y los niveles de los diferentes tanques en cada uno de los

subprocesos como se muestra en la (Figura 4.9). Así también que se prende el indicador luminoso del lúpulo y la animación de intermitente en cada uno de los procesos.



Figura 4.9 Visualización de la temperatura, sensores de nivel y lúpulo

4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DEL PLC

El programa se realizó para primeramente procesar la información de la medición de la temperatura, el nivel de los subprocesos implicados según se requiera para un correcto proceso de la planta y para obtener un producto final de acuerdo con los parámetros necesarios.

Se inició las pruebas a cada uno de los sensores y actuadores de cada uno de los subprocesos, de manera manual y automático. Para corregir los posibles errores mecánicos del funcionamiento, así como por ejemplo que los niveles altos y bajos se encuentren ubicados correctamente para que el líquido no se desborde y las bombas no trabajen en vacío cuando no exista el líquido en los ataques, así como también las conexiones eléctricas para que las señales lleguen adecuadamente al PLC.

Luego se realizan las pruebas en cada subproceso con diferentes tiempos de cocción maceración, recirculación, y mezcla con ayuda de los motores y bombas según corresponda en cada uno para poder hacer una prueba final de la línea de producción final.

Así, como se detalla en forma gráfica en la (Figura 4.10), el accionamiento de cada uno de los actuadores según las señales de los sensores y las variables de entrada.

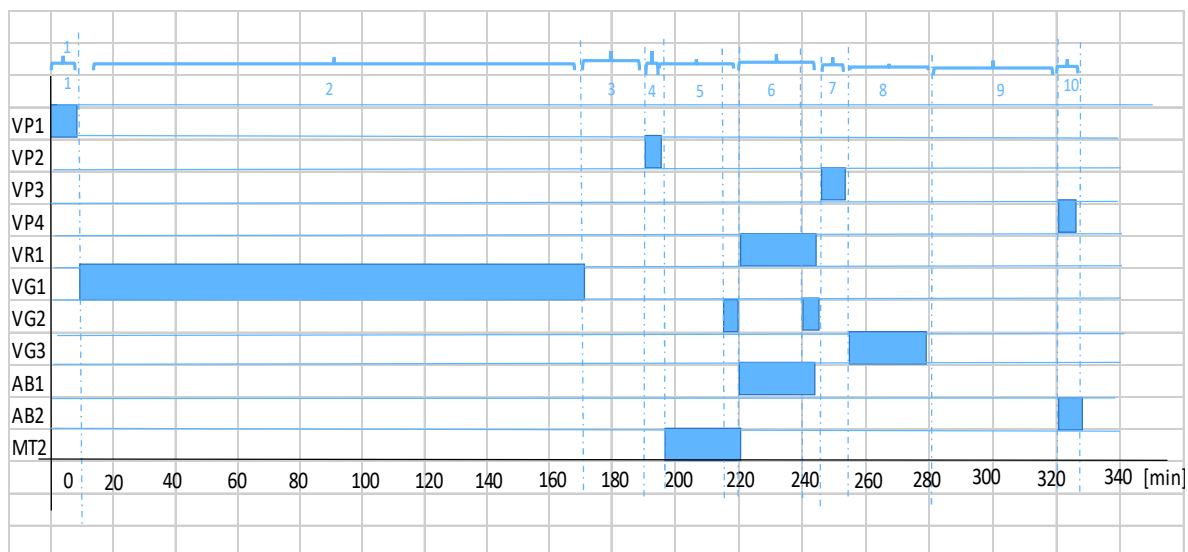


Figura 4.10 Diagrama de tiempos inicial

Fase 1: Tiempos de llenado del tanque calentamiento del agua hasta el nivel máximo

Fase 2: Tiempo que se demora en que el líquido en el tanque del calentamiento del agua llega a los 90°C

Fase 3: Tiempo de enfriamiento hasta los 70 °C

Fase 4: Tiempo de llenado del tanque de Maceración

Fase 5: Tiempo de mezclador en el proceso de maceración

Fase 6: Tipo de recirculación en el tanque de aceración

Fase 7: Tiempo de llenado del Tanque de Cocción

Fase 8: Tiempo de cocción de Lúpulo en el tanque Cocción

Fase 9: Tiempo de enfriamiento liquido tanque de Cocción

Fase10: Tiempo de llenado del fermentador etapa de enfriamiento

Para poder afinar la versión final del programa se realizó las pruebas del proceso varias veces en todos lo subprocessos, arrojando los datos que se muestran en la: Tabla 4.2 Tabla 4.2 Tabla 4.3 y Tabla 4.4 , realizados en diferentes días y horario

Tabla 4.2 Prueba de funcionamiento 1

VALORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO EBULLICION			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO [min]
Calentamiento	Q1, Q6,Q9	13----- > 90	166
Enfriamiento		90----- > 75	40

Tabla 4.3 Prueba de funcionamiento 2

VALORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO MACERACION			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO [min]
Llenado del tanque maceración	Q2, Q7,Q9	65<T<75	3,2
Mezclador	Q7, Q12,Q9	65<T<75	30
Agitador	Q5, Q10,Q7,Q9	65<T<75	30

Tabla 4.4 Prueba de funcionamiento 3

VAORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO EBULLICION			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO [min]
Llenado del tanque 3	Q3, Q10,Q8,Q9	t>70	7,5
Calentamiento	Q8, Q12,Q9	90	35
Ebullición	Q8, Q12,Q9	85<T<95	60
Enfriamiento		70	45

Tabla 4.5 Prueba de funcionamiento 4

VALORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO ENFRIAMIENTO			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO
Enfriamiento	Q11,Q4	22	4

Un breve análisis de los resultados obtenidos en estas pruebas se muestran en las: Tabla 4.2 Tabla 4.3 y Tabla 4.4 Un aspecto muy importante para tener en cuenta es que el tiempo promedio que dura todo el proceso es de 5 horas y media.

Sin embargo, como la fase de calentamiento es donde el sistema tiene más demoras de tiempo y tomando en cuenta las características de los tanques y el material se realizará las siguientes mejoras en donde se pretende optimizar el proceso precalentando el taque de calentamiento en el proceso de ebullición, ya que se nota que se demora mucho tiempo en alcanzar la temperatura por la transferencia del calor. Por lo que vaso a encender el tanque unos 5 minutos antes de iniciar el proceso, así también se procederá en el tanque de cocción en el que se debe llegar a la temperatura de ebullición para que pueda llegar rápidamente a la temperatura deseada como se detalla en Tabla 4.6 ,Tabla 4.7 Tabla 4.8 y Tabla 4.9 así como también se muestra gráficamente en la Figura 4.11.

Tabla 4.6 Prueba de funcionamiento 5

VALORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO EBULLICION			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO [min]
Precalentamiento Tanque	Q6,Q9	25	10
Calentamiento	Q1, Q6,Q9	13----- > 90	100
Enfriamiento		90----- > 75	40

Tabla 4.7 Prueba de funcionamiento 6

VALORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO MACERACION			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO [min]
Llenado del tanque maceración	Q2, Q7,Q9	65<T<75	3,2
Mezclador	Q7, Q12,Q9	65<T<75	30
Agitador	Q5, Q10,Q7,Q9	65<T<75	30

Tabla 4.8 Prueba de funcionamiento 7

VALORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO EBULLICION			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO [min]
Llenado del tanque 3	Q3, Q10,Q8,Q9	t>70	7,5
Calentamiento	Q8, Q12,Q9	90	20
Ebullición	Q8, Q12,Q9	85<T<95	60
Enfriamiento		70	45

Tabla 4.9 Prueba de funcionamiento 8

VALORES DE TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO SUBPROCESO ENFRIAMIENTO			
EVENTO	SALIDAS ACTIVAS	(ΔT) TEMPERATURA [°C]	PERIODOS DE TIEMPO
Enfriamiento	Q11,Q4	22	4

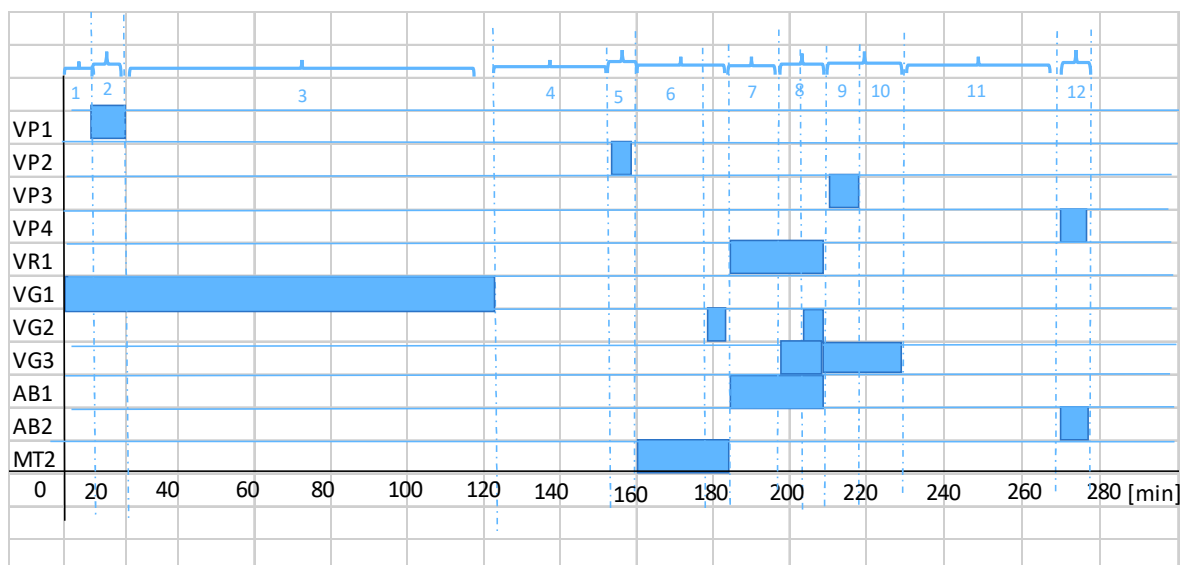


Figura 4.11 Diagrama de tiempos final

Fase 1: Precalentamiento del tanque de calentamiento del agua

Tiempo de llenado del tanque de calentamiento del agua hasta el nivel máximo

Fase 2: Tiempo de llenado del tanque de calentamiento del agua hasta el nivel máximo

Fase 3: Tiempo que se demora en que el líquido en el tanque de calentamiento del agua llega a los 90°C

Fase 4: Tiempo de enfriamiento hasta los 70 °C

Fase 5: Tiempo de llenado del tanque de maceración

Fase 6: Tiempo de mezclador en el proceso de maceración

Fase 7: Tipo de recirculación en el tanque de maceración

Fase 8: Precalentamiento del tanque de cocción

Fase 9: Tiempo de llenado del Tanque de cocción

Fase 10: Tiempo de cocción de Lúpulo en el tanque de cocción

Fase 11: Tiempo de enfriamiento liquido tanque de cocción

Fase12: Tiempo de llenado del fermentador etapa de enfriamiento

4.6 PRUEBAS DE PRODUCCIÓN DE LA MÁQUINA

Como se mencionó, el tiempo en el que se desarrolla el trabajo de elaboración de cerveza es muy importante, ya que de este depende la elaboración de cerveza, por ende, se refleja la cantidad que se puede comercializar.

La planta tiene 4 subprocesos, los cuales el operador puede elegir en el panel el operador con el pulsador de marcha y uno para emergencia.

En las pruebas se llegó a tener tiempos de 280 minutos promedios, tiempo que está dentro del tiempo estimado por la fábrica de los equipos, pues intervienen en cada subproceso elementos que tienen características propias como se mencionó anteriormente, por ejemplo, los tanques, quemadores.

De acuerdo a esto se tuvo un tiempo de calentamiento que es la etapa más crítica, con un punto de ebullición de 90°C, por un tiempo aproximado de 110 minutos.

Para el tanque de cocción, en el proceso de calentamiento desde los 70°C a los 90°C se obtuvo un tiempo mejorado de 25°C

Para las etapas de enfriamiento primero en el tanque de calentamiento del agua. Se lo realiza en una etapa al ambiente, el mismo que toma un tiempo de enfriamiento de 90°C a 70°C en 45 minutos

Para el subproceso de cocción del tanque de cocción, donde la temperatura debe de ir de ebullición a temperatura ambiente se la realiza en dos etapas la primera de 90°C a 70 °C, al ambiente en 45 minutos, y la segunda fase se hace por medio de un intercambiador de placas desde el tanque de cocción al fermentador en un tiempo de 5 minutos. Todo esto para garantizar la pasteurización del producto y la eliminación correcta de los microorganismos.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Concluido el proyecto y realizada las diversas pruebas para observar y comprobar su funcionamiento, se puede inferir lo siguiente:

- El proyecto cumple satisfactoriamente con cada uno de los requerimientos lográndose así los alcances y objetivos planteados en el inicio del mismo.
- Conocer a profundidad cada uno de los procesos y subprocesos de la línea de producción de cerveza artesanal tanto los tiempos y temperaturas empleados en cada uno de ellos es fundamental para lograr logro resultados esperados, lográndose asa optimizarlo.
- En un futuro cercano la empresa pretende expandir su producción, para esto se necesitaría expandir el sistema de control y el de fuerza, por esta razón se utilizó un PLC muy versátil que nos permite gracias a la variedad de módulos expansores que posee, así también en el sistema de fuerza se utilizó las bombas y el motor de mayor capacidad pensando el crecimiento de la planta.
- La automatización de la línea de producción permite disminuir el esfuerzo físico y el número de personas necesarias para llevar a cabo cada uno de los subprocesos, por ende, la disminución del proceso de producción, permitiendo que el operario pueda realizar las demás actividades las mismas que no están dentro del alcance de este trabajo de investigación que son parte del proceso de producción, lo que representa una ventaja muy importante para la microempresa.

- Para el calentamiento de los tanques se utilizó un sistema a gas lo que brinda la disminución de los costos de producción dando una horro significativo a la microempresa.
- Los estándares de calidad en la producción y de inocuidad para la elaboración mejoraron relativamente ya que la manipulación y el contacto directo con la mezcla (mosto) es mínima por parte del operario.
- Los desperdicios durante el proceso de elaboración han disminuido notoriamente, aumentando la cantidad de producción de cerveza artesanal, generando mayores ingresos a la microempresa.
- Mediante las pruebas que se realizaron se demostró que los tiempos y programación fueron correctamente realizados, ya que obtuvo un error de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en la medición del valor medido y el valor real de temperatura en los tanques.
- El proyecto cumple satisfactoriamente con cada uno de los requerimientos del proceso, así como también con las condiciones de grado alimenticio que requiere la empresa.

5.2 RECOMENDACIONES

De la experiencia acumulada en el desarrollo de este proyecto es posible expresar las siguientes recomendaciones:

- Para la elección correcta del PLC a utilizar, se deben considerarlos elementos necesarios actuadores sensores para el funcionamiento del proceso, y en base a esto elegir los módulos de expansión, el número de entradas y salidas de los mismos, el voltaje y corriente con la que trabajan para ver si necesita una fuente externa y finalmente saber el espacio para instalarlo en el tablero.

- Es importante realizar un estudio minucioso de las en cuanto a los recursos para la elección el PLC adecuado ya que este está directamente relacionado con las características de proceso a automatizar.
- En instalaciones donde intervienen equipos de control y fuerza es muy importante dimensionar las protecciones adecuadas para proteger cada uno de los equipos contra variaciones y cambios bruscos de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. S. Saurina, "Diseño de una micro-planta de fabricación de cerveza," 2015. [Online]. Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/76575/02_Memoria.pdf [Accessed 2017].
- [2] J. Calleja Colorado, «Diseño de una planta de elaboración de cerveza artesanal para consumo directo, microcervecería,» 2013. [En línea]. Available: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15570/-b3636485x.pdf>.
- [3] L. . D. Carvajal Martínez y M. A. Insuasti Andrade , «Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*hordeum vulgare*) y yuca (*manihot esculenta crantz*),» 2010. [En línea]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/642/-1/03%20AGI%20256%20TESIS.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [4] G. R. R. Mereño Espinar y J. G. Zúñiga Tapia, «Diseño y construcción de un equipo con adaptación de tecnología para elaboración de cerveza artesanal,» Enero 2013. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3648>. [Último acceso: 2017].
- [5] Cerveza Artesanal Lager Mut, «Nuestro proceso-Molienda de cebada,» 2016. [En línea]. Available: <https://cerveza-mut.com/nuestro-proceso>.
- [6] F. D. J. A. D. W. Debyser, «Activity of Arabinoxylan Hydrolyzing Enzymes during Mashing with Barley Malt or Barley Malt and Unmalted Wheat,» *ACS Publications*, Vols. %1 de %2B-3001, p. 40, 1998.
- [7] BACO ENGINEERING, «VITON Brass Solenoid Valve,» 2017. [En línea]. Available: <https://bacoeng.com/collections/solenoid-valve/products/bacoeng-1-4-dc12v-solenoid-valve1-4-3-8-1-2-3-4-dc12v-ac100v-220v-available?variant=37016844739>.
- [8] PENTAIR FOOD SERVICE, «8025-933-399 Shurflo 90PSI Water Boost Replacement Pump Spec Sheet,» 2017. [En línea]. Available:

- <http://foodservice.pentair.com/en/products/shurflo-water-boost/water-boost-replacement-pump-90-psi-8025-933-399>. [Último acceso: 2017].
- [9] Temco TOWER ELECTRIC MOTOR CO, «Valvulas Selenoide,» 2017. [En línea]. Available: https://www.temcoindustrial.com/downloads/dl/file/id/165/product/19155/pv0000_data_sheet.pdf. [Último acceso: 2017 Mayo 2017].
- [10] ROVER POMPE, «NOVAX 20 B - for hot liquids up to 95°C,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.roverpompe.com/en/downloads#catalogo>. [Último acceso: 2017].
- [11] Arian S.A., «Pt100, su operación, instalación y tablas.,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [12] AGPTEK, «AGPtek Stainless Steel PT100 RTD Thermistor Sensor Probe (Temperature Rang: -20~420°C),» 2017. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/AGPtek-Stainless-Thermistor-Sensor-Temperature/dp/B008YP1D04#feature-bullets-btf>. [Último acceso: 2017].
- [13] Siemens, «Manual Logo,» 2013. [En línea]. Available: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/131b/0900766b8131bee3.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [14] CNC Electric Group, «Botones Y Pulsadores,» 2011. [En línea]. Available: <http://www.cncelegroup.com/us/Search/?fuse.html>. [Último acceso: 2017].
- [15] Schneider Electric, «Circuit Braeakers,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.schneider-electric.us/en/product-category/50300-circuit-breakers/?filter=business-4-low-voltage-products-and-systems>. [Último acceso: 2017].
- [16] CHINT, «Fusible Ø 8.5x31.5mm, curva gG/gL 2A 500V 100KA,» 2017. [En línea]. Available: http://www.ndu.cl/fichas_tecnicas/fichas/2109002CH.pdf. [Último acceso: 2017].

- [17] INTERNATIONAL, CAMSCO, «Reles,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.camscointernational.com/productos/reles.html>. [Último acceso: 2017].
- [18] profetolocka/reles, «Reles,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.profetolocka.com.ar/2015/05/09/modulo-de-4-reles-para-arduino/>.
- [19] C. Arduino, «modulo sensor de llama,» 2016. [En línea]. Available: <http://cursoarduino.proserquisa.com/wp-content/uploads/2016/10/Tutorial-26-Modulo-sensor-de-llama-KY-026.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [20] SIEMENS, «SIMATIC Win CC RT Advace,» 2014. [En línea]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/672/88360672/att_52963/v1/readme_wincc_comfort_advanced_v13_enus.pdf.
- [21] SIEMENS, «SIMATIC TIA Portal Step7 Basic V10.5,» Diciembre 2009. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/johnpir/manual-manejo-tia-portal-siemens>.
- [22] SIEMENS, «Ayuda en pantalla de LOGO!Soft,» 2014. [En línea]. Available: http://www.produktinfo.conrad.com/datenblaetter/1300000-1399999/001302216-an-01-es-SOFTWARE_LOGO__STARTER_KIT_12_24RCE.pdf.
- [23] Super Monte Group., «Contenedor de acero Inoxidable,» 2015. [En línea]. Available: http://www.kegsmanufacturing.com/barriles_cerveza_alemana_contenedor_acero_inoxidable_kegs_din.htm.

ANEXOS

ANEXO A

PROGRAMA DESARROLADO EN EL PLC

Una vez realizados los pasos explicados en el capítulo 3, que consiste en la creación de un nuevo proyecto y la elección de los dispositivos que van a utilizarse en el proceso a desarrollar, a continuación, se detalla paso a paso como se lo realizó:

El programa se divide en varios segmentos para cada subprocesso y cada función.

A.1 SUBPROCESO EBULLICIÓN

- En este segmento como se muestra en la Figura A.1 mediante el Pulsador de marcha se inicia el llenado del tanque mediante el accionamiento de la Válvula de paso de Agua para el Tanque de calentamiento del agua.

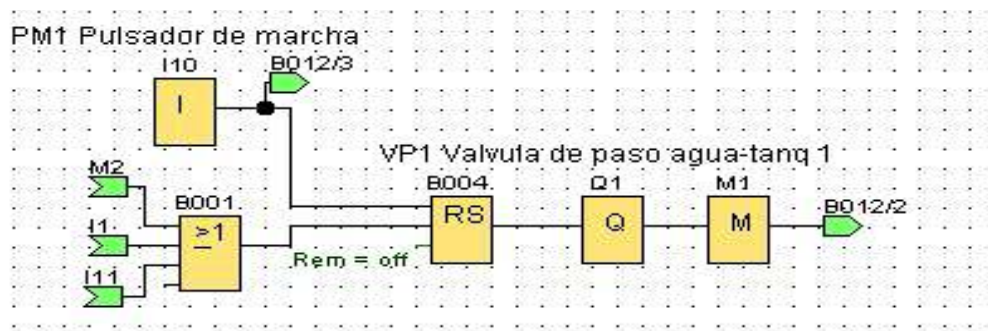


Figura A.1 Segmento de programa 1

- En este segmento (Figura A.2) se normaliza el valor de la variable de la entrada análoga del sensor de temperatura, para realizar el control del quemador y los chisperos, y apagar la válvula de gas cuando la temperatura alcance los 80°C.

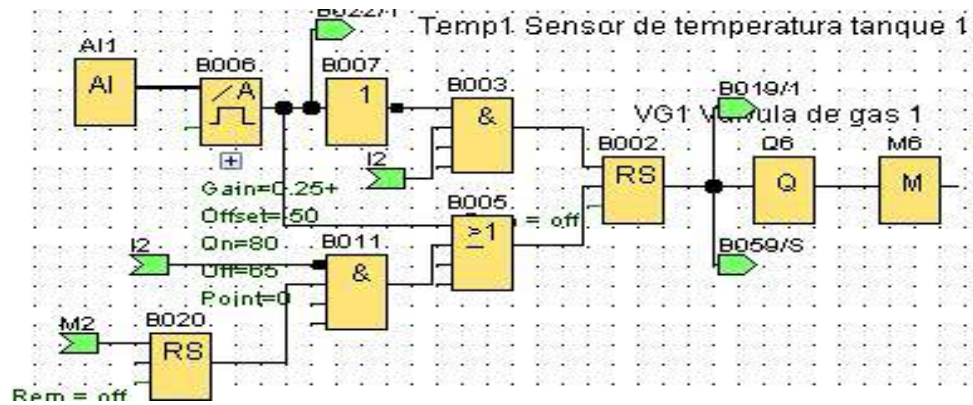


Figura A.2 Segmento de programa 2

- En este segmento (Figura A.3) se controla que la válvula de paso del tanque de maceración al tanque de cocción se activa cuando la temperatura de tanque llega al valor deseado y el nivel del tanque active el sensor de nivel alto.

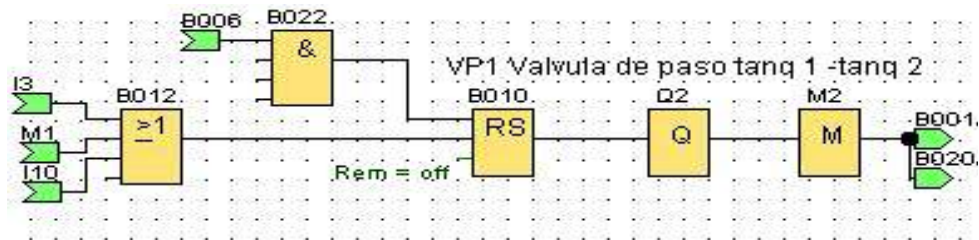


Figura A.3 Segmento de programa 3

A.2 SUBPROCESO MACERACIÓN

- En este segmento en la Figura A.4 se puede ver en la normalización de la señal análoga del sensor de temperatura instalado en el tanque de maceración, la misma que controla el encendido de los chisperos y el quemador 2 mediante el accionamiento de la válvula de gas para mantener la temperatura dentro del rango de los 80°C mediante un control de histéresis.

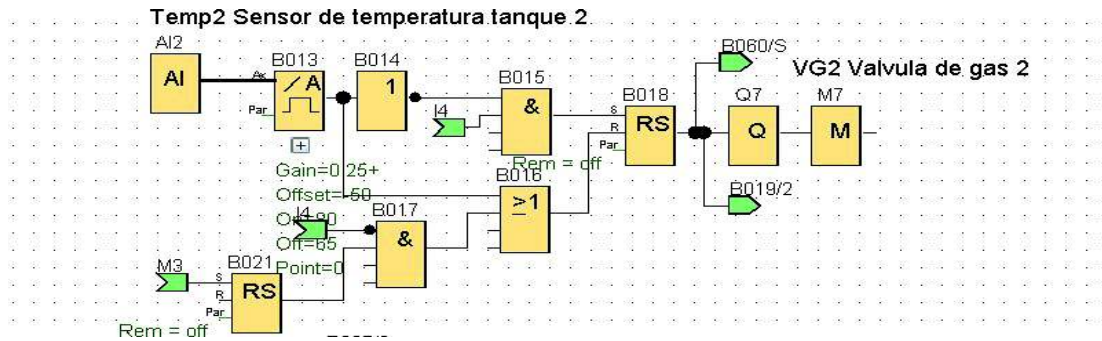


Figura A.4 Segmento de programa 4

- En este segmento de la Figura A.6 como se detalla, se realiza el accionamiento del motor agitador cuando el líquido en el tanque de maceración active el nivel alto del tanque de maceración por un tipo de 30 minutos.

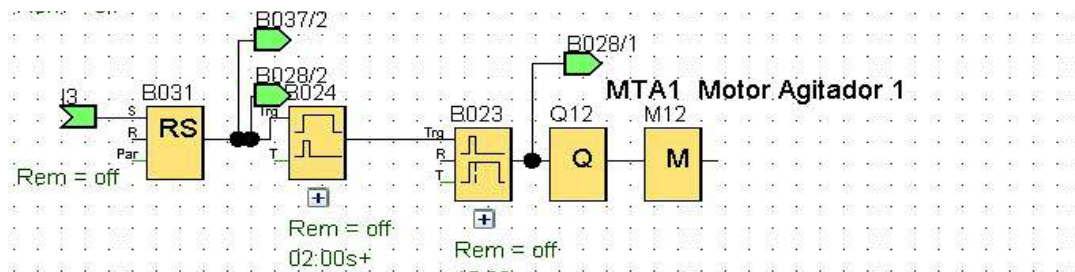


Figura A.5 Segmento de programa 5

- En el segmento de la Figura A.6 detallado, se realiza el proceso de recirculación activando las válvulas de recirculación por un periodo de 30 minutos y el motor 1 cuando se haga terminado el proceso de mezclado.

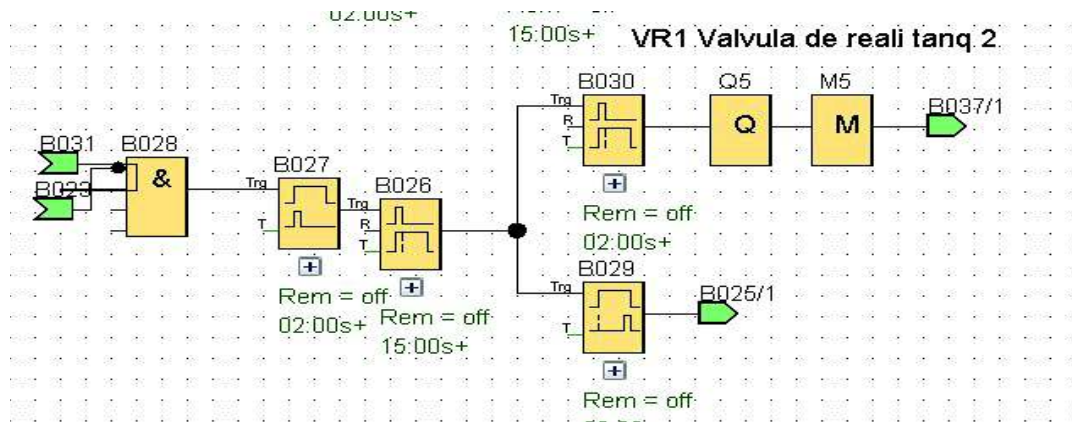


Figura A.6 Segmento de programa 6

- En este segmento como se detalla en la Figura A.7 cuando se termina el proceso de recirculación se realiza el accionamiento de las válvulas de paso de tanque de maceración al tanque de cocci3n así también el accionamiento de la bomba 1.

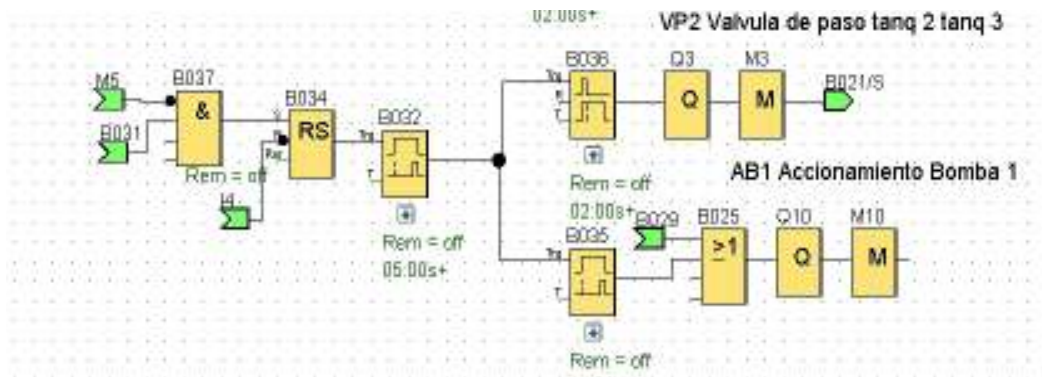


Figura A.7 Segmento de programa 7

A.3 SUBPROCESO COCCI3N

- En este segmento como se ve en la Figura A.8 se controla el proceso en el que se a3ade el l3pulo en periodos de 20 minutos en los que en el HMI se muestra un mensaje de a3adir, y que cundo se lo ha realizado se presiona el pulsador para aceptar 3rdenes.

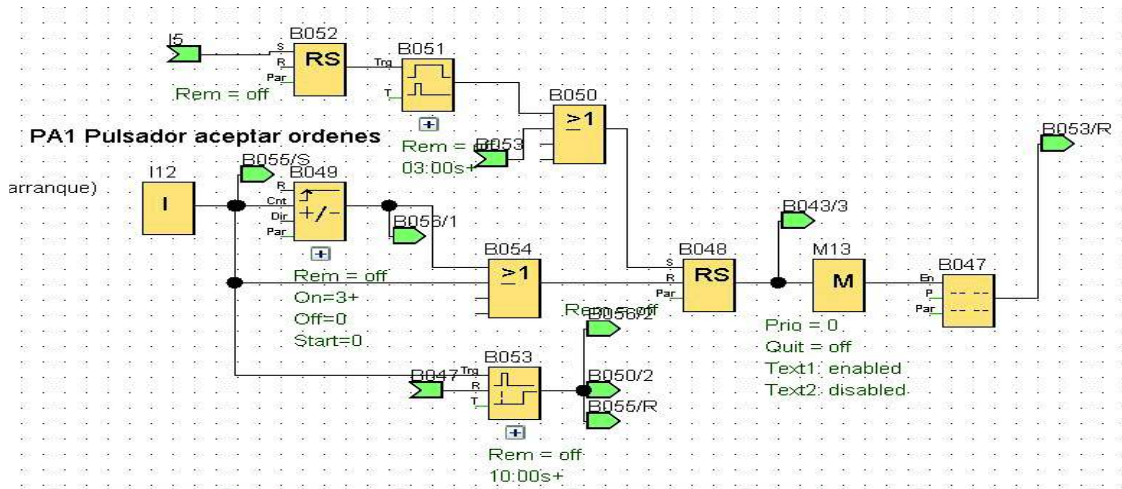


Figura A.8 Segmento de programa 8

- En este segmento como se ve en la Figura A.9 se normaliza el sensor de temperatura ubicado en el tanque de cocción para controlar la válvula de gas 3, para el encendido del quemador para subir la temperatura de 80°C a la temperatura del punto de ebullición promedio 90°C.

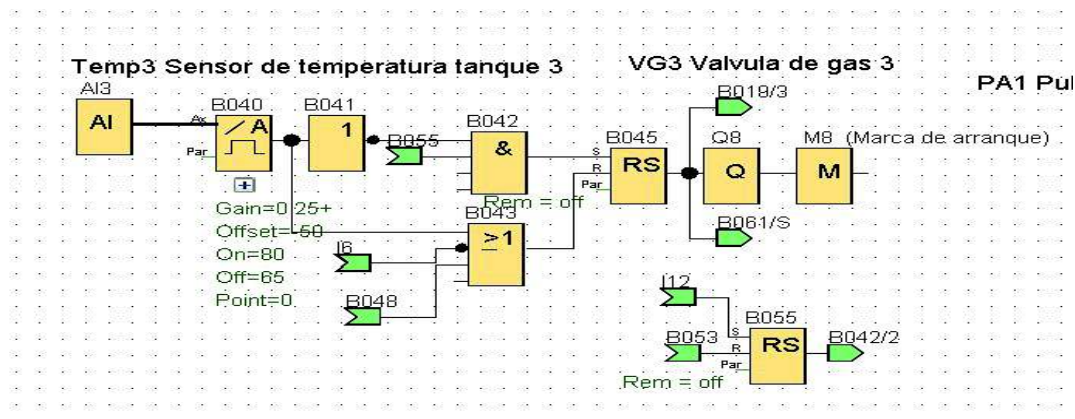


Figura A.9 Segmento de programa 9

- En el segmento de la Figura A.10 que se describe, después estar en proceso de devolución por un periodo de 60 minutos y que la temperatura haya llegado los 80°C, se procede a accionar la válvula de paso del tanque 3 al tanque 4, y el accionamiento de la bomba 2.

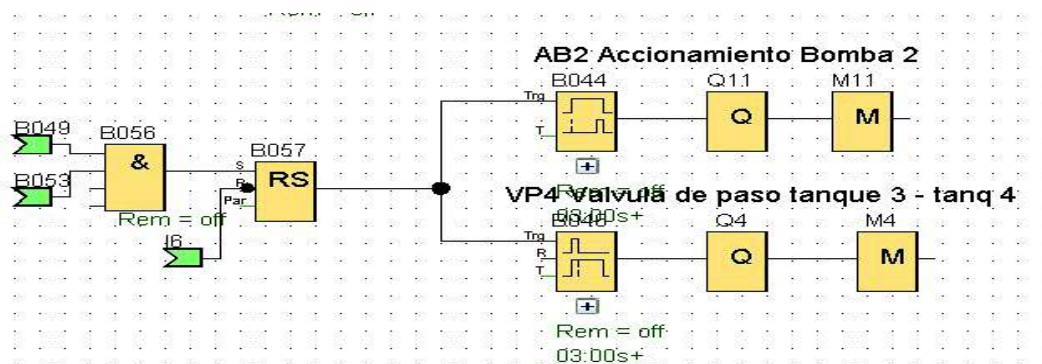


Figura A.10 Segmento de programa 10

ANEXO B

MANUAL DE USUARIO

B.1 INTRODUCCIÓN

En el siguiente manual de usuario se indica la operación básica de la planta de elaboración de cerveza artesanal, la misma que consta de cuatro procesos importantes: ebullición, maceración, cocción y fermentación, los mismos que están monitoreados por un HMI desde una computadora y controlados mediante un PLC. Cada uno de los subprocesos están instrumentados adecuadamente, las mismas que sirven como señales de entrada y las salidas, controlan los actuadores que son: válvulas de paso de líquido, válvulas de gas para el encendido de los quemadores mediante chisperos, así como también las dos bombas, y el motor para el proceso de maceración.

Cada uno de los tanques de los subprocesos contienen sensores de nivel alto y bajo, así como también un sensor de temperatura para cada subproceso, los mismos que se comunican con el usuario mediante el HMI.

Adicionalmente la planta cuenta con sensores de flama para detectar el funcionamiento de los quemadores y poder apagar los chisperos.

B.2 ESQUEMA DE LA PLANTA

La aplicación desarrollada consta de partes principales:

- Sensores de Nivel alto y bajo (interruptor tipo flotador acero Inoxidable)
- Sensores de Temperatura tipo RTD acero Inoxidable
- Generadores de alta tensión que son usados para alimentar chisperos de los quemadores a gas.
- Circuito Sensor de flama
- Bombas de paso de líquido

- Motor para la mezcla de líquido proceso de maceración
- Electroválvulas de paso de líquido
- Electroválvulas paso del gas

La Figura B.1 muestra la ubicación de los elementos antes mencionados

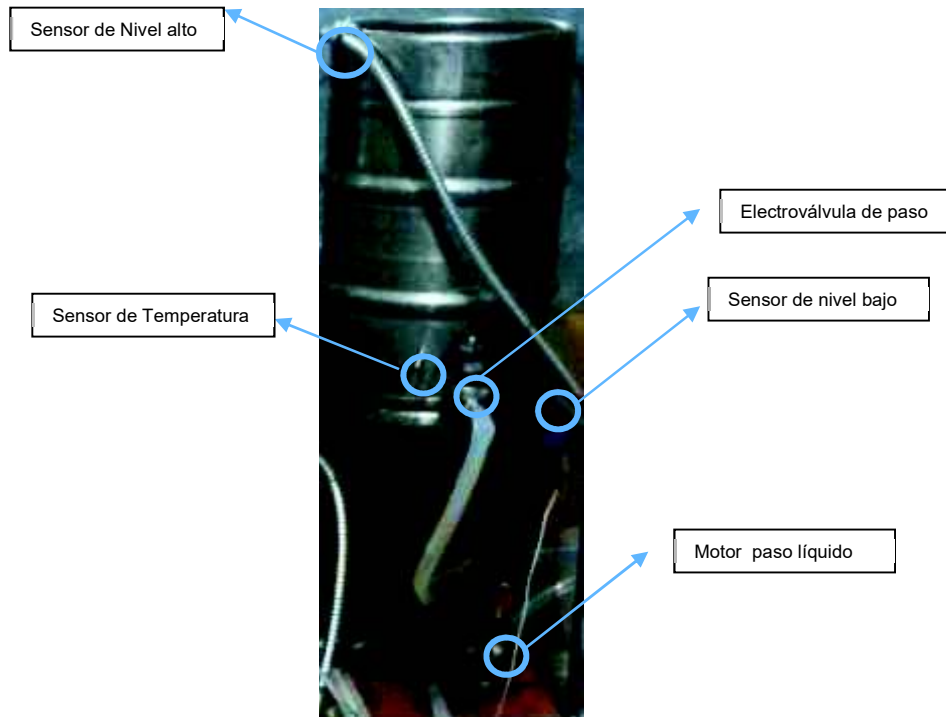


Figura B.1 Ubicación de sensores y actuadores en la planta

Es importante detallar los elementos del tablero de control

- Pulsador principal de marcha emergencia
- Luces Piloto
- Relés electromecánicos de 8 contactos
- Fusibles
- Breaker
- PLC y Módulos de señales digitales y RTD
- Fuente de 24V y 12V

B.3 REQUISITOS DE SOFTWARE PARA EL USUARIO LOCAL

El monitoreo se lo realiza desde el computador, la comunicación se la hace mediante la Interfaz Ethernet, pero se debe cumplir algunos requisitos para que el computador pueda ser utilizado.

Debe ser compatible con los siguientes sistemas operativos (64 bits o 32):

- MS Windows 7 Home Premium SP1 (sólo para STEP 7 Basic)
- MS Windows 7 Professional SP1
- MS Windows 7 Enterprise SP1
- MS Windows 7 Ultimate SP1
- Microsoft Windows 8.1 (sólo STEP 7 Basic)
- Microsoft Windows 8.1 Pro
- Microsoft Windows 8,1 Enterprise
- Microsoft Server 2012 R2 Standard Edition
- MS Windows Server 2008 R2 Standard Edition SP1 (sólo para STEP 7 Professional)

- a) Instalación en paralelo de STEP 7 (TIA Portal) V114 y otras versiones de STEP 7

Un tutorial muy claro y que incluye videos de como instala está en la página oficial de siemens:

[https://support.industry.siemens.com/cs/document/50204569/%C2%BFcu%C3%A1les-son-los-requisitos-para-la-instalaci%C3%B3n-de-step-7-\(tia-portal\)-v13-?dti=0&lc=es-ES](https://support.industry.siemens.com/cs/document/50204569/%C2%BFcu%C3%A1les-son-los-requisitos-para-la-instalaci%C3%B3n-de-step-7-(tia-portal)-v13-?dti=0&lc=es-ES) en donde se dispone de enlaces de descarga videos en los que se explica paso a paso de los sistemas operativo que dispone. En este tutorial se detalla la forma de cargar el sistema deseado utilizado para Windows.

Nota: No está permitido el funcionamiento en línea en paralelo del STEP 7 V5.5 u otras versiones anteriores y del STEP 7 Basic / Professional V14

- b) Compatibilidad con otros productos SIMATIC HMI

Se pueden instalar los siguientes productos SIMATIC HMI en el disco duro en paralelo con el STEP 7 (TIA Portal) V14:

Serían los siguientes WinCC RT Advanced (TIA Portal): V12.0 SP1, V13.0, V13.0 SP1, V14.0

En el presente caso sería Win CC Rt advanced ya que se ha instalado Tia Portal V14 pero todo esto se puede encontrar en la siguiente página para ver la compatibilidad según corresponda (<https://support.industry.siemens.com/cs/document/64847781/herramienta-de-compatibilidad-para-automation-and-drive-technology?dti=0&lc=es-WW>), en el que se detalla con videos y enlaces la compatibilidad de con los productos Simatic

NOTA: No se pueden instalar simultáneamente el WinCC y el WinCC TIA en un mismo ordenador. Se pueden instalar simultáneamente el WinCC flexible y el WinCC TIA en un mismo ordenador.

c) Consideraciones al Instalar Tia Portal

- **Procedimiento para la parametrización general de la interfaz PG/PC**

Abra el diálogo "Ajustar interfaz PG/PC" en el administrador SIMATIC como se muestra en la (Figura B.2) , a través de "Herramientas -> Ajustar interfaz PG-PC" y seleccione la interfaz deseada dentro de la lista "Parametrización de la interfaz utilizada".

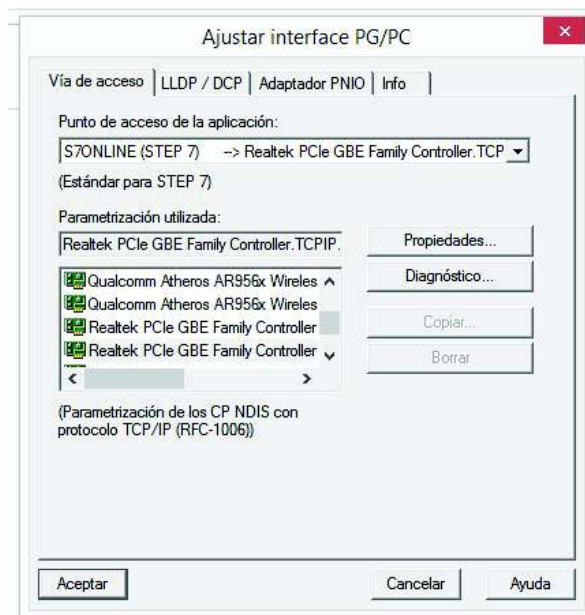


Figura B.2 Configuración de PG/PC

- d) Instalar el programa Logo Soft Comfort V8

Un tutorial muy claro y que incluye videos de como instala está en la página oficial de siemens logo (<http://siemenslogo.com/como-instalar-logo-soft-comfort-v8-en-windows/>) en donde se dispone de enlaces de descarga videos en los que se explica paso a paso de los sistemas operativo que dispone. En este tutorial se detalla la forma de cargar el sistema deseado utilizado para Windows.

B.4 ENCENDIDO DE LA PLANTA

Se recomienda seguir los siguientes pasos para encender la Planta si se la va encender de forma manual o mediante el HMI.

Cuando se vaya a encender mediante el tablero se realiza el siguiente proceso:

- a) Encender mediante el pulsador de marcha ubicado en el tablero,
- b) Verificar que los breakers estén en modo ON dentro del tablero

Cuando se lo encienda mediante el HMI, tomar las consideraciones anteriores y que el cable Ethernet esté conectado al PLC y a la computadora para que no exista problema con la visualización de la interfaz gráfica del sistema operativo.

B.5 HMI

Para la presentación de la interfaz es necesario la conexión mediante un cable Ethernet entre el PLC Logo (y la tarjeta de Red de la computadora a utilizarse asignando la dirección).