

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Mecatrónico*

**PROYECTO TÉCNICO:**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL  
EN LOS PROCESOS DE COCCIÓN Y FERMENTACIÓN PARA LA PLANTA DE  
PRODUCCIÓN DE LA CERVECERÍA ARTESANAL "CUATRO RÍOS"”**

**AUTORES:**

JUAN ANTONIO BRITO SANMARTÍN

JUAN DANIEL GALARZA CALLE

**TUTOR:**

ING. EDY LEONARDO AYALA CRUZ, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Juan Antonio Brito Sanmartín con documento de identificación N° 0105953285 y Juan Daniel Galarza Calle con documento de identificación N° 0301944732, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN LOS PROCESOS DE COCCIÓN Y FERMENTACIÓN PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA CERVECERÍA ARTESANAL "CUATRO RÍOS"”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2020

Juan Antonio Brito Sanmartín

C.I. 0105953285

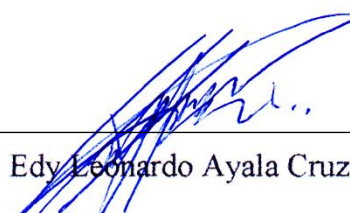
Juan Daniel Galarza Calle

C.I. 0301944732

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN LOS PROCESOS DE COCCIÓN Y FERMENTACIÓN PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA CERVECERÍA ARTESANAL "CUATRO RÍOS"”**, realizado por Juan Antonio Brito Sanmartín y Juan Daniel Galarza Calle, obteniendo el *Proyecto Técnico*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, noviembre del 2020



---

Ing. Edy Leonardo Ayala Cruz, Msc

C.I. 0105627277

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

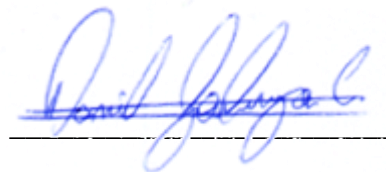
Nosotros, Juan Antonio Brito Sanmartín con documento de identificación N° 0105953285 y Juan Daniel Galarza Calle con documento de identificación N° 0301944732, autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN LOS PROCESOS DE COCCIÓN Y FERMENTACIÓN PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA CERVECERÍA ARTESANAL "CUATRO RÍOS"”**, certificamos que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, noviembre del 2020



Juan Antonio Brito Sanmartín

C.I. 0105953285



Juan Daniel Galarza Calle

C.I. 0301944732

# DEDICATORIAS

Dedico esta tesis a mis padres, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y enseñarme buenos valores, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional, esta meta que logro hoy no hubiese logrado sin todo este apoyo brindado por ustedes.

A mis hermanos Tomas y Sofía que en todo momento estuvieron conmigo apoyándome y alentándome a que siga adelante hasta lograr mi meta.

A mis primos mayores que siempre me supieron dar algún consejo profesional cuando lo necesitaba y ayudarme a salir de alguna duda que tuve en este camino.

Por último lo dedico a mis compañeros y amigos quienes siempre me supieron ayudar en el estudio, acompañar en esta etapa y siempre dándome consejos para no rendirme hasta poder culminar de la mejor manera la universidad.

**Juan Antonio Brito Sanmartín**

A toda mi familia le dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy, Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

A mis compañeros y amigos presentes y pasados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas y a todas aquellas personas que durante estos años estuvieron a mi lado apoyándome.

Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en momentos difíciles. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

**Juan Daniel Galarza Calle**

# AGRADECIMIENTOS

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo merecen reconocimiento especial mi Madre y mi Padre que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo. A todos mis amigos, que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por toda su ayuda y buena voluntad.

Y finalmente a los docentes, laboratoristas, FEUPS, y todo el personal que supo ayudarme y guiarme en este proceso, de manera especial a Edy y Karina por haberme dado la oportunidad de realizar mi trabajo de titulación en su empresa y apoyarme en todo lo que necesite para realizarla..

**Juan Antonio Brito Sanmartín**

A las primeras personas que quiero agradecer es a mi familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo.

A la universidad politécnica salesiana por haberme aceptado a ser parte de ella y abierto las puertas para estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que me brindaron sus conocimientos y apoyo para seguir adelante día a día.

Mi agradecimiento también va dirigido a la gerente de la empresa “cervecería cuatro ríos” la Ing. Karina Prado por haber aceptado que se realice mi tesis en su prestigiosa empresa y a mi tutor el Ing. Edy Ayala, que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto

**Juan Daniel Galarza Calle**

# RESUMEN

En el presente documento, presenta el desarrollo del proyecto titulado: Diseño e Implementación de un sistema de monitoreo y control en los procesos de cocción y fermentación para la planta de producción de la cervecería artesanal "Cuatro Ríos". Para dar solución al problema correspondiente a la falta de estandarización de producción, posible mejora de tiempos, uso eficiente de energía, recursos y cantidad de personal que se requiere en procesos de producción de la cervecería.

El proceso de elaboración de cerveza consiste en tomar sus ingredientes base, normalmente granos de cereales como son la avena, cebada y trigo, los cuales se maltean, donde atraviesan un proceso de germinación controlada, con el fin de activar sus enzimas correspondientes necesarios para la maceración, posteriormente se maceran, mezclándose con agua a diferentes tiempos y temperaturas para transformar el almidón, en azúcares fermentables, se agrega lúpulo que otorga su aroma y sus notas características de sabor, formando el mosto. Posteriormente se lleva a ebullición, permitiendo la clarificación, así como la esterilización del mosto y finalmente se realiza un choque térmico de enfriamiento y se envía a fermentar, donde se siembra levaduras, que se alimentan de estos azúcares fermentables generados y permiten la creación de alcohol y de CO<sub>2</sub>, mientras se producen una gran diversidad de compuestos que forman los aromas particulares de la cerveza.

El proceso de elaboración de cerveza es muy delicado, esto debido a que los rangos de temperaturas y tiempos de exposición no pueden variar en gran cantidad, ya que esto afecta al producto final, puesto que si no se controla de manera precisa, el proceso genera reacciones químicas no deseadas, que pueden estropear un lote de producción. Por esta razón es importante la automatización, ya que mediante sistemas de monitoreo y control de variables críticas permitirán asegurar la calidad de cada lote de cerveza, logrando la estandarización del producto final, mediante un seguimiento fiel de la receta de cocción.

Una propuesta para facilitar la estandarización del producto es por medio de un sistema mecatrónico, que permita el monitoreo y control en los procesos de cocción y fermentación en cada lote de producción. Tomando a consideración las variables más críticas en cada parte del proceso. Que permitan al operario, preste más cuidado y atención al proceso, que a tareas complementarias del proceso de cervecería

Para la realización de este proyecto se diseñó e implementó, este sistema mecatrónico mencionado, el cual facilita la estandarización de producción. Mediante pruebas del sistema se desarrolló un análisis comparativo entre el antes y después de haber realizado la implementación, contemplando los diferentes tiempos, mano de obra, nivel de estandarización de producto y constatar que la implementación que se ha realizado está en función de los requerimientos presentados por la cervecería.

Finalmente se expone las significativas mejoras obtenidas en la producción: el control de variables críticas del sistema, como volumen, temperatura y tiempo, alertas y alarmas en caso de incurrir en desvíos en la receta de cada estilo, mejora significativa en tiempos, con reducción de siete horas a cinco horas en cocción, uso eficiente de energía, debido al ahorro de tiempos muertos, reprocesos y desvíos innecesarios de temperaturas, uso eficiente de recursos, ya que al mantener un diseño fijo de producción, no existe la necesidad de mover equipos o herramientas durante todo el proceso y finalmente la cantidad de personal que se requiere para la operación de la planta, de dos operarios que alcanzaban de forma bastante justa el control, a un solo operario puede realizar las tareas complementarias al proceso, con la seguridad que con la ayuda el sistema mecatrónico implementado, la producción está siendo monitoreada y controlada.



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción.....	1
Problema.....	3
Objetivos.....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Lista de Acrónimos.....	6
Glosario.....	7
1.    Teoría de fabricación de cerveza.....	9
1.1.    Materias primas utilizadas en el proceso.....	9
1.2.    Proceso de fabricación de la cerveza.....	11
1.2.1.    Descripción de los procesos.....	11
1.3.    Equipos de producción.....	14
1.3.1    Clasificación de equipos de producción.....	14
1.3.2    Equipos de producción de la cervecería “cuatro ríos”.....	17
1.3    Ventajas de sistemas de producción automáticos.....	23
1.3.1    Análisis de casos.....	23
2    Marco metodológico.....	27
2.1    Revisión de parámetros del proceso.....	28
2.1.1    Funcionamiento del proceso.....	28
2.1.2    Componentes a ser intervenidos.....	20
2.1.3    Selección de componentes.....	22
2.2    Diseño del sistema mecatrónico.....	30
2.2.1    Diseño de estaciones mecánicas.....	30
2.2.2    Diseño de módulos rtu.....	32
2.2.3    Diseño de válvulas actuadas.....	33
2.2.4    Diseño de sistema eléctrico / electrónico.....	37
2.2.5    Adaptaciones de integración y montaje.....	49
2.3    Integración del sistema.....	50
2.3.1    Construcción de módulos rtu.....	51
2.3.2    Construcción de válvulas actuadas.....	52
2.3.3    Construcción de tableros eléctricos.....	53
2.3.4    Funcionamiento del sistema integrado.....	55
2.3.5    Análisis comparativo de funcionalidad del sistema.....	61
Resultados.....	63
Conclusiones.....	68
Recomendaciones.....	69
Referencias Bibliográficas.....	A
Anexos.....	E

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Proceso completo de producción de cerveza .....	11
Ilustración 2. Sistema HERMS .....	16
Ilustración 3. Sistema RIMS .....	16
Ilustración 4. Tanque de calentamiento de agua .....	18
Ilustración 5. Tanque de maceración .....	19
Ilustración 6. Tanque de calentamiento cocción .....	20
Ilustración 7. Intercambiador de calor de placas soldadas .....	20
Ilustración 8. Tanque de fermentación .....	22
Ilustración 9. Planta de producción completa .....	22
Ilustración 10. Sistemas de producción de cerveza automatizados .....	23
Ilustración 11. Análisis de ventajas de Caso 1 .....	24
Ilustración 12. Análisis de ventajas de Caso 2 .....	25
Ilustración 13. Análisis de ventajas de Caso 3 .....	26
Ilustración 14. Diagrama de metodología del proyecto .....	27
Ilustración 15. Diagrama de bloques de un típico proceso de cervecería .....	19
Ilustración 16. Controlador lógico programable (PLC) Kinco .....	22
Ilustración 17. Diagrama de cableado PLC Kinco .....	23
Ilustración 18. Módulo de expansión RTD .....	23
Ilustración 19. Diagrama de conexión módulo RTD .....	24
Ilustración 20. Pantalla HMI .....	25
Ilustración 21. Sensor RTD Pt100 .....	26
Ilustración 22. Sensor de nivel ultrasónico .....	27
Ilustración 23. Sensor de caudal .....	27
Ilustración 24. Relés Camco .....	29
Ilustración 25. Diseño de estaciones 1, 2 y 3 .....	31
Ilustración 26. Diagrama de conexión entre Arduino Nano y Módulo RS485 .....	32
Ilustración 27. Diseño PCB del Módulo RTU .....	33
Ilustración 28. Válvula de 3 vías inoxidable y sus configuraciones .....	34
Ilustración 29. Motor para válvulas actuadas .....	34
Ilustración 30. Soporte válvula y Tapa válvula .....	35
Ilustración 31. Soporte motor y Tapa motor .....	35
Ilustración 32. Adaptador Motor - Válvula .....	36
Ilustración 33. Válvula actuada ensamblada .....	36
Ilustración 34. Arquitectura general del sistema .....	39
Ilustración 35. Arquitectura de control del tanque de primer hervido .....	40
Ilustración 36. Arquitectura de control de la estación 1 .....	41
Ilustración 37. Arquitectura de control del tanque de maceración .....	46
Ilustración 38. Arquitectura de control de la estación 2 .....	47
Ilustración 39. Arquitectura de control del tanque de cocción .....	48

Ilustración 40. Arquitectura de control de la estación 3 .....	49
Ilustración 41. Arquitectura de control del tablero principal .....	47
Ilustración 42. Arquitectura de control del sistema integrado .....	48
Ilustración 43. Adaptadores sensores de nivel Tanque 1 y Tanque 3 .....	49
Ilustración 44. Adaptadores de sensores de seguridad .....	50
Ilustración 45. Módulo RTU instalado en los tableros de control .....	51
Ilustración 46. Partes para ensamblaje de las válvulas actuadas .....	52
Ilustración 47. Válvulas actuadas ensambladas .....	52
Ilustración 48 Tablero de estación de control general del sistema .....	53
Ilustración 49. Tableros eléctricos de Tanque 1 y Estación 1 .....	53
Ilustración 50. Tableros eléctricos de Tanque 2 y Estación 2 .....	54
Ilustración 51. Tableros eléctricos de Tanque 3 y Estación 3 .....	54
Ilustración 52. Sistema completo ensamblado e interconectado .....	54
Ilustración 53. Diagrama de flujo de operación del interfaz .....	56
Ilustración 54. Interfaz de inicio del sistema .....	57
Ilustración 55. Interfaz de control de tanques .....	57
Ilustración 56. Interfaz de control de estación 1 .....	58
Ilustración 57. Interfaz de control de estaciones 2 y 3.....	58
Ilustración 58. Interfaz de calibracion, control de bombas .....	59
Ilustración 59. Interfaz de calibracion, control de valvulas .....	59
Ilustración 60. Interfaz de calibracion, control de sensores .....	60
Ilustración 61. Interfaz de calibracion, control de salidas del PLC .....	60
Ilustración 62. Diseño del tablero eléctrico de tanque de primer hervido .....	E
Ilustración 63. Diseño del tablero eléctrico de estación 1 .....	E
Ilustración 64. Diseño del tablero eléctrico de tanque de maceración .....	F
Ilustración 65. Diseño del tablero eléctrico de estación 2.....	F
Ilustración 66. Diseño del tablero eléctrico de tanque de cocción.....	G
Ilustración 67. Diseño del tablero eléctrico de estación 3.....	G
Ilustración 68. Diseño del tablero eléctrico principal.....	H
Ilustración 69. Diseño de módulo RTU .....	H

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Acrónimos utilizados .....	6
Tabla 2. Necesidades y componentes, tablero eléctrico tanque de primer hervido .....	40
Tabla 3. Necesidades y componentes, tablero eléctrico estación 1 .....	41
Tabla 4. Necesidades y componentes, tablero eléctrico tanque de maceración .....	46
Tabla 5. Necesidades y componentes, tablero eléctrico de estación 2 .....	47
Tabla 6. Necesidades y componentes, tablero eléctrico tanque de cocción .....	48
Tabla 7. Necesidades y componentes, tablero eléctrico estación 3 .....	49
Tabla 8. Necesidades y componentes, tablero eléctrico principal .....	50

# INTRODUCCIÓN

En el presente documento se presenta el proyecto de titulación con enfoque general intitulado DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO Y CONTROL EN LOS PROCESOS DE COCCIÓN Y FERMENTACIÓN PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA CERVECERÍA ARTESANAL "CUATRO RÍOS" por medio del cual se evidencia la automatización mediante un sistema Mecatrónico para la elaboración de cerveza.

El objetivo de la automatización industrial para la cervecería “Cuatro Ríos” debe representar importantes ventajas competitivas y de producción. Mediante un producto final de mayor calidad y más competitivo debido a diferentes factores, como la normalización de procesos, aumento en la velocidad de producción y la estandarización del producto.

Dentro de la producción de la cervecería se manejan cuatro KPI's como principales indicadores clave de la producción, tomamos en cuenta los tiempos de producción, fidelidad de temperaturas y efectividad del operario. Muy importantes en diferentes aspectos y momentos de la producción de cerveza.

Los tiempos de producción están representados en la eficiencia de cada máquina o herramienta del proceso, pudiendo alcanzarse escalones de temperatura en mayor o menor tiempo dependiendo del equipo utilizado, la fidelidad de temperaturas corresponde a la eficacia cada máquina o herramienta del proceso, logrando mantener una temperatura estable indicada en la receta de producción durante cada proceso establecido. La efectividad del operario, corresponde a su capacidad de operación de la planta de producción, enfocada en hacer bien las cosas correctas, referente a la operación ordenada y correcta de la planta, es decir de forma eficiente y eficaz para no alterar el proceso de producción, ya que un pequeño cambio en la producción desencadena en la modificación de una o varias características del producto final.

El aporte del proyecto es enfocado a la mejora de estos indicadores mediante el desarrollo del sistema mecatrónico propuesto, que implica los diseños presentados en el proyecto para todos sus componentes, los cuales contemplan varios subsistemas, con elementos mecánicos, eléctricos o electrónicos y la construcción de dispositivos para su implementación.

Para la presentación del proyecto primero se aborda la información relativa al desarrollo general de la cervecería, una introducción a las materias primas y el proceso de fabricación de la cerveza, los equipos de producción de la cervecería y las ventajas de un sistema de producción automatizado. Posteriormente el estudio de los sistemas a ser intervenidos, así como el diseño de la propuesta de automatización. La forma en la que fue implementado el sistema y una explicación completa del funcionamiento del proceso integrado esta automatización. Finalmente, se realizara un análisis de resultados considerando el antes y después de la implementación del sistema automatizado en la planta de producción, en el cual se expondrá los beneficios esperados y alcanzados con mediante el presente proyecto.

# PROBLEMA

La elaboración de la cerveza tiene como procesos principales el primero corresponde a la conversión del almidón de un cereal en azúcares fermentables por acción de las enzimas que se encuentran en la malta y la posterior fermentación alcohólica de los mismos por la acción de la levadura. Este método, aunque tiene como principal objetivo la producción de cerveza, es muy similar al empleado en la elaboración de bebidas tales como el sake, el hidromiel, bebidas energizantes, bebidas maltosas y el vino.

La cervecería “Cuatro Ríos” ha emprendido la creación propia de una planta de producción de cerveza artesanal, para sus diferentes productos, esta decisión viene arraigada a la complejidad de encontrar un sistema que satisfaga todas sus necesidades y los costos de importación de sistema completos, sumado a esto, las máquinas que se venden a nivel industrial tienen un claro inconveniente, que trabajan en base a combustibles. Este sistema no es recomendable la cantidad de producción mantenía en esta planta. Así al haber optado por fabricar esta planta de producción de manera nacional, el diseño es adecuado al sistema energético local, un sistema con GLP (Gas Licuado de Petróleo). El cuál es más rápido y económico para el tipo y volumen de producción realizado por la empresa. Su desarrollo mecánico fue realizado de forma exitosa, se contaba entonces con los tanques de cocción e instrumentos completamente manuales que permitían su operación.

Sin embargo, **el problema** con el que se encontró, fue que este desarrollo de su propia planta al NO cubrir la presencia de tecnología digital de control, supervisión en su proceso, una adquisición de datos de niveles, temperaturas de cada parte del proceso a tiempo real y tampoco un reporte histórico de los parámetros a las que han sido expuestos los diferentes productos, dificulta mantener un producto final estandarizado puesto que se depende mucho de la experiencia de los operarios.

**La importancia** de implementar un sistema automatizado radica en que sin parámetros de calidad, costos y tiempo de producción controlados, la cerveza depende exclusivamente de la experticia del operario para manejar el proceso. Esta calidad se verá reflejada, primero en el aspecto final, el aroma y las notas de sabor en la cerveza, pero también en que el producto no se encuentre contaminado o que contenga subproductos químicos no deseados en su fabricación.

Alcanzando así a poner lotes enteros de producción a merced de la experticia del operario para manejar la planta y su experticia para poder seguir la receta del maestro cervecero, lo cual implicaba un altísimo riesgo para la estabilidad de la empresa.

**La contribución** que se pretende alcanzar con el presente proyecto, es la implementación de un sistema automatizado de monitoreo y control para la planta producción, que permita realizar una adquisición de datos para las variables como: volumen, temperaturas, caudal, accionamiento y agitación de cada parte del proceso a tiempo real, así como también que la operación de la planta sea mucho más sencilla a tal punto, que no tenga que realizar conexiones o desconexiones de sensores, actuadores o modificaciones en el circuito de tubería de la planta. Sino simplemente comandar todas estas acciones desde una interfaz hombre-máquina. Obteniendo el **importante beneficio** de contar con información histórica del proceso y control a tiempo real sobre la marcha. Que permitirán la estandarización de la producción, beneficiando a la cervecería.

Con lo mencionado concluimos con nuestra pregunta del problema generado al cual se dará solución con el presente proyecto. ¿Se puede realizar un sistema automatizado de monitoreo y control, que permita mejorar el proceso de producción, estandarizar los parámetros de producción y con esto garantizar la calidad del producto que se obtiene en la cervecería “Cuatro Ríos”?

Para responder a este problema se propone diseñar e implementar un sistema de monitoreo y control en los procesos de cocción, fermentación para la planta de producción de la cervecería “Cuatro Ríos” para facilitar la estandarización del producto.



# OBJETIVOS

## OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo y control en los procesos de Cocción y Fermentación para la planta de producción de la cervecería artesanal "Cuatro Ríos" para facilitar la estandarización del producto

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el proceso de producción de la cerveza, enfocando al proceso de cocción y fermentación, realizado por la maquinaria con la que se trabaja en la planta de producción actualmente
- Diseñar un sistema eléctrico y electrónico que permita el monitoreo y control de las variables identificadas, en los procesos de cocción y fermentación, adecuándose a los componentes en la estructura que existen en la planta
- Implementar un sistema que permita el monitoreo y control que asegure los parámetros de calidad del producto obtenido de estos procesos, que son establecidos por la empresa, formulados en base a parámetros de calidad para la cerveza del BJCP y la normativa sanitaria regulada por el ARCSA
- Realizar pruebas de funcionamiento del sistema implementado para calibrar los instrumentos y actuadores en función de los requerimientos internos de calidad de la empresa

# LISTA DE ACRÓNIMOS

Tabla 1. Acrónimos utilizados [1]

	<b>Acrónimo</b>	<b>Definición (Ingles)</b>	<b>Definición (Español)</b>
1	<i>BOT</i>	<i>Bottling</i>	Embotellado
2	<i>CO<sub>2</sub>FIL</i>	<i>Carbon Dioxide ( Carbonation)</i>	Dióxido de carbono (carbonatación)
3	<i>CT</i>	<i>Conditioning Tank</i>	Tanque de acondicionamiento
4	<i>FEM</i>	<i>Fermentation</i>	Fermentación
5	<i>FIL</i>	<i>Filtration</i>	Filtración
6	<i>G1, G2...Gn</i>	<i>Grains</i>	Granos
7	<i>GS</i>	<i>Grain Silo</i>	Silo de Grano
8	<i>HEX</i>	<i>Heat Exchanger</i>	Intercambiador de calor
9	<i>HOP<sub>1</sub>, HOP<sub>2</sub>... HOP<sub>n</sub></i>	<i>Hops</i>	Lúpulos
10	<i>HW</i>	<i>Hot Water</i>	Agua caliente
11	<i>KET</i>	<i>Kettle</i>	Caldera de Hervido
12	<i>MIL</i>	<i>Milling</i>	Molienda
13	<i>MT</i>	<i>Mash Tune</i>	Tanque de remojo
14	<i>pH</i>	<i>pH (Potential Hydrogen)</i>	pH (potencial de hidrógeno)
15	<i>pH<sub>FEM-final</sub></i>	<i>Final pH (Potential Hydrogen) of the Fermentation</i>	PH final (hidrógeno potencial) de la fermentación
16	<i>pH<sub>FEM-initial</sub></i>	<i>Initial pH (Potential Hydrogen) of the Fermentation</i>	PH inicial (potencial de hidrógeno) de la fermentación
17	<i>pH<sub>MT</sub></i>	<i>pH (Potential Hydrogen) of the Mash</i>	pH (Hidrógeno potencial) de la puré
18	<i>SG<sub>FEM-final</sub></i>	<i>Final Specific Gravity of Fermentation</i>	Gravedad específica final de fermentación
19	<i>SG<sub>FEM-initial</sub></i>	<i>Initial Specific Gravity of Fermentation</i>	Gravedad específica inicial de fermentación
20	<i>SG<sub>final</sub></i>	<i>Final Specific Gravity</i>	Gravedad específica final
21	<i>SG<sub>initial</sub></i>	<i>Initial Specific Gravity</i>	Gravedad Específica Inicial
22	<i>SG<sub>KET-final</sub></i>	<i>Final Boil Specific Gravity</i>	Gravedad específica final de la ebullición
23	<i>SG<sub>KET-initial</sub></i>	<i>Initial Boil Specific Gravity</i>	Gravedad específica inicial de ebullición
24	<i>t<sub>boil</sub></i>	<i>Boil Time</i>	Tiempo de ebullición
25	<i>t<sub>CT</sub></i>	<i>Conditioning Time</i>	Tiempo de acondicionamiento
26	<i>TEMP<sub>FEM-final</sub></i>	<i>Final Temperature of Fermentation</i>	Temperatura final de fermentación
27	<i>TEMP<sub>FEM-initial</sub></i>	<i>Initial Temperature of Fermentation</i>	Temperatura inicial de fermentación
28	<i>TEMP<sub>MT</sub></i>	<i>Mash Temperature</i>	Temperatura de remojo
29	<i>TEMP<sub>MT-hotliq</sub></i>	<i>Hot Liquor Temperature</i>	Temperatura de tanque de calentamiento de agua
30	<i>TEMP<sub>strike</sub></i>	<i>Strike Temperature</i>	Temperatura de ataque (Temperatura idónea del proceso)
31	<i>t<sub>FEM</sub></i>	<i>Time of Fermentation</i>	Tiempo de fermentación
32	<i>t<sub>MT</sub></i>	<i>Mash in Time</i>	Tiempo de remojo
33	<i>t<sub>MT-rest</sub></i>	<i>Mash Rest Time</i>	Tiempo de descanso de remojo
34	<i>VOL<sub>FIL</sub></i>	<i>Volume of Beer Filtered</i>	Volumen de cerveza filtrada
35	<i>VOL<sub>KET-final</sub></i>	<i>Final Kettle Volume</i>	Volumen final de caldera
36	<i>VOL<sub>KET-initial</sub></i>	<i>Initial Kettle Volume</i>	Volumen inicial de caldera
37	<i>YEAST</i>	<i>Yeast</i>	Levadura

# GLOSARIO

- **ARCSA:** La Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, es el organismo técnico encargado de la regulación, control técnico y vigilancia sanitaria de los productos relacionados con el uso y consumo humano, así como de los establecimientos sujetos a vigilancia y control sanitario [2].
- **BJCP:** El BJCP (Beer Judge Certification Program) es un programa de catación y reconocimiento de estilos de la auténtica cerveza: la de calidad, ya sea industrial o artesanal. Porque en la cultura cerveza hay infinidad de estilos diferentes según el color de la cerveza, los ingredientes usados, la cantidad de alcohol, la cantidad de amargor y así varias directrices. Este programa fue creado por la decisión de evaluar y clasificar la calidad de estas, y analizar y detallar sus características principales para poder reconocer de qué tipo de cerveza se está tratando. De esta forma se puede saber qué características generales tiene con solo decir el nombre de un estilo [3].
- **DCS:** Un DCS (Distributed Control System) o Sistema de control distribuido, es un sistema de control aplicado a procesos industriales, con la característica principal que cuenta con una herramienta de ingeniería centralizada para desarrollar la lógica de sus controladores u objetos de monitorización. Consiste la integración, por medio de una red de comunicaciones, de diversos nodos distribuidos físicamente, dotados de capacidad de proceso y enlazados a sensores y/o actuadores [4].
- **KPI:** Un KPI (Key Performance Indicator) o Indicador clave de desempeño, es una métrica que ayudan a la identificación del rendimiento de acciones o estrategias determinadas. Con este indicador se revisa el nivel de desempeño en base a los objetivos, es normalmente un número que representan el estado actual de funcionamiento de un proceso o actividad que ha sido mejorado o que se quiere evaluar [5].
- **MODBUS RTU:** Es un protocolo de comunicación con el cual se permite el control de una red de dispositivos, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, permite el control de una red de dispositivos, también se usa para la conexión de un controlador principal con una unidad remota en sistemas de supervisión de adquisición de datos [6].

- **MOSTO:** El mosto es el líquido que se obtiene de manera previa a la fermentación. Contiene azúcares de las distintas maltas, el lúpulo y otros añadidos durante la cocción. Se denomina así debido a su sabor dulce y a que no contiene alcohol [7].
- **PCB:** Una PCB (Printed Circuit Board) o tarjeta de circuito impreso es un circuito electrónico cuyos elementos y conductores están integrados en una estructura mecánica. Los elementos conductores incluyen trazas de cobre, terminales, o disipadores de calor. La estructura general es plana y está cubierta con una máscara de soldadura no conductora y una capa de impresión para la designación de los componentes electrónicos [8].
- **RTD:** Un RTD (Resistive transducer) o transductor de temperatura resistivo, es un sensor de temperatura, basado en la dependencia de la resistencia eléctrica de un material con la temperatura, es decir, es capaz de transformar una variación de temperatura en una variación de resistencia eléctrica [9].
- **VNC:** Un VNC (Virtual Network Computing) o Computación virtual en red es un programa de software libre basado en una estructura cliente-servidor que permite observar las acciones del ordenador servidor remotamente a través de un ordenador cliente [10].

# 1. TEORÍA DE FABRICACIÓN DE CERVEZA

Esta sección del presente documento se enfoca en el estudio de los fundamentos teóricos de la materia prima y los procesos para la fabricación cerveza artesanal, dividido en cuatro secciones:

La **primera sección** se detalla la teoría para la preparación de la cerveza y los procesos de producción. En la **segunda sección** se revisan los equipos utilizados en la industria cervecera. En la **tercera sección** presenta el análisis de la planta de producción previo a la automatización. También de forma general las imágenes de los planos mecánicos que fueron levantados para la presente implementación. Por último, en la **cuarta sección** las ventajas teóricas de la automatización en los proceso de fabricación de la cerveza.

## 1.1. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN EL PROCESO

Para la fabricación de cerveza se requieren cuatro materias primas: cebada, lúpulo, agua y levadura. La calidad de estas materias primas tiene una influencia decisiva sobre la calidad de los productos fabricados [11].

El conocimiento de las propiedades de las materias primas, de su influencia sobre el proceso de fabricación y sobre el producto final proporciona el fundamento para su tratamiento y procesamiento.

### 1.1.1.MALTA DE CEBADA

La malta suministra el almidón necesario para la fabricación de cerveza, el cual es transformado posteriormente en la sala de cocción en extracto fermentable. Es recomendable producir con variedades de maltas ricas en extractos, que presenten elevada capacidad de aprovechamientos de nutrientes, rendimiento en granos, capacidad de absorción de agua y capacidad de formación de enzimas para que la producción sea lo más eficiente y eficaz posible [12] [13].

### **1.1.2.LÚPULO**

El lúpulo en la fabricación de cerveza se utiliza únicamente las inflorescencias de las plantas femeninas. Estas contienen las resinas amargas y los aceites etéreos que le suministran a la cerveza los componentes amargos y aromáticos [12].

La composición del lúpulo tiene una gran influencia sobre la calidad de la cerveza a partir de este. En su materia seca, el lúpulo está compuesto por Compuestos amargos (18.5%), Taninos (3.5%), Proteína (20.0%), Substancias minerales (8.0%). El resto está compuesto por celulosa y otras substancias que no son de importancia para la fabricación de cerveza. Los componentes más importantes para la fabricación de cerveza son los compuestos amargos y el aceite de lúpulo [12] [14].

### **1.1.3.AGUA**

Cuantitativamente, el agua es la mayor porción de materia prima usada para la fabricación de cerveza. Sin embargo, solamente una parte de la cantidad de agua requerida es usada directamente en la cerveza, mientras que otra parte se requiere para limpieza, enjuague y otros propósitos [12].

Primeramente, el agua de cerveza debe tener la calidad de agua potable, en lo referente a lo sensorial, fisicoquímico, microbiológico y químico. Siempre en esta hay sales disueltas, dado que están muy diluidas, no se encuentran presentes como sales, sino que está casi totalmente disociadas en iones. De estos mencionados se tiene que el que nos resulta maligno para la elaboración de la cerveza son los iones químicamente activos los cuales se los puede observar con una prueba de Ph del agua, y así se tienen diferentes procesos para poder modificar este Ph y que sea uno valido para proceder a enviarlo al macerador [12] [15].

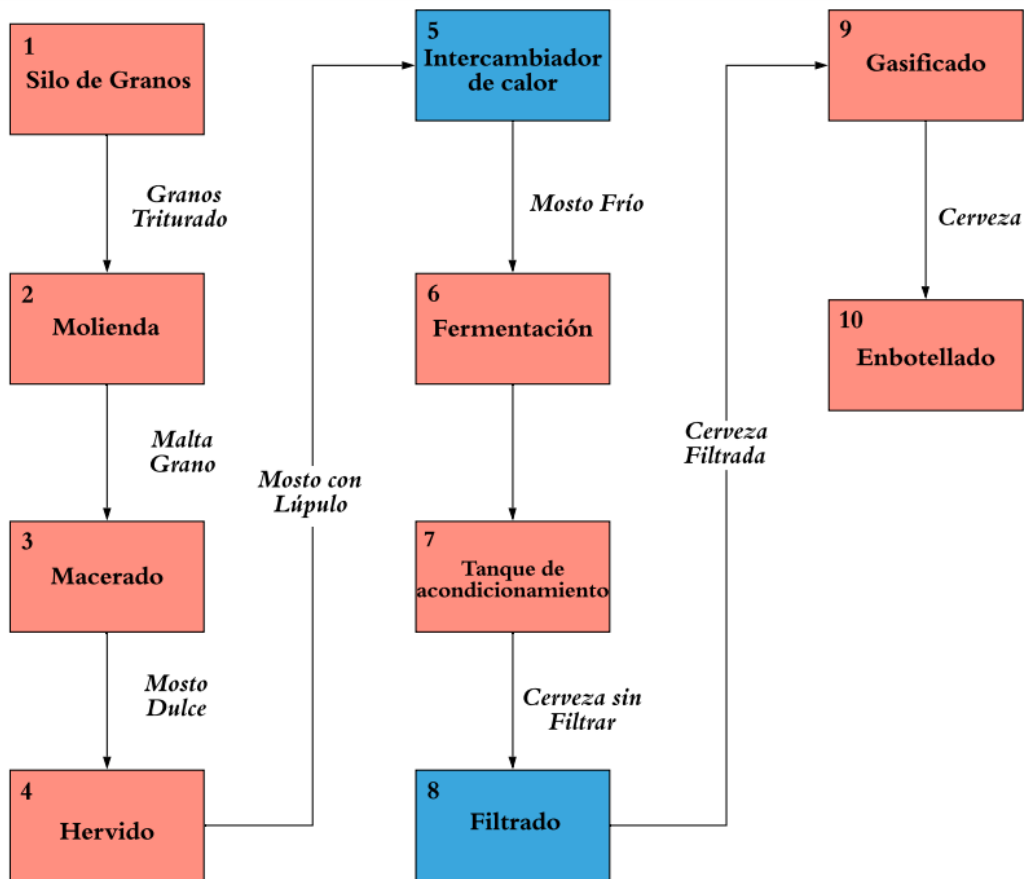
### **1.1.4.LEVADURA**

La levadura es capaz de cubrir su demanda de energía en presencia de oxígeno por respiración y en ausencia de oxígeno por fermentación. En la fabricación de cerveza, el azúcar del mosto es fermentado por la levadura del alcohol y CO<sub>2</sub>. Para ello, en la fábrica de cerveza se utilizan hongos de levadura. Dado que la levadura no realiza únicamente una fermentación alcohólica, sino que también tiene una gran influencia sobre el sabor y el carácter de la cerveza [12] [16].

## 1.2. PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CERVEZA

Esta sección presenta los procesos de fabricación y en su descripción las principales variables a ser controladas en las diferentes etapas del proceso de fabricación.

La producción de la cerveza que realiza la cervecería consiste principalmente en cinco procesos, los cuales son: molienda, macerado, cocción, fermentación y embotellado. En la descripción de cada sección se detallara también sus procesos complementarios [1][17].



**Ilustración 1.** Proceso completo de producción de cerveza

### 1.2.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

El proceso de elaboración de cerveza encierra diferentes pasos para transformar los ingredientes en cerveza, que comienza desde la selección de los granos hasta finalizar con el embotellado, se presenta la descripción del proceso de fabricación de la cervecería “Cuatro Ríos”, la cual se acopla al equipo de producción con el que cuenta la misma, el cual será descrito posteriormente.

## **SILO DE GRANO**

Los granos proporcionan el sabor granuloso característico a la cerveza. Pueden ser tostados para cervezas oscuras pero siempre están secos. Existen diferentes tipos de granos, el más popular la cebada, también se pueden usar avena, maíz, trigo, arroz [1].

## **PROCESO DE MOLIENDA**

En el proceso de molienda se procede a romper el grano de la malta para así poder aprovechar los azúcares y aromas que tienen los granos, en este proceso se debe tener en cuenta que no se debe hacer harina a los granos, solo se debe romperlos, e intentar mantener la cáscara del grano ya que después la misma cáscara del grano nos servirá para realizar el filtrado [12] [17] [18].

## **PROCESO DE MACERADO**

Es el proceso de mezclar la malta molida con agua y a una temperatura determinada, para esto se tiene que primero calentar el agua a una temperatura que está determinada por la receta de la cerveza que se quiere producir. La mezcla con agua ayuda a extraer todos los azúcares de los granos y así poder obtener el mosto, tendrá una temperatura la cual se intentará tenerla uniforme durante todo el tiempo de maceración. Este tanque cuenta con un brazo agitador el cual nos ayuda a obtener la mayor extracción uniforme de azúcares, gracias a no tenerlos estáticos, este funcionará a diferentes tiempos y duraciones dentro de este proceso dependiendo de la receta de la cerveza. A continuación en el macerado se procede a realizar una recirculación de mosto desde la salida del tanque hasta la entrada del mismo para poder obtener con mayor eficacia y eficiencia los azúcares de los granos de malta y para finalizar el proceso de macerado se envía el producto ya obtenido en el macerador hacia el tanque de cocción [12] [19].

Como un subproceso extra en este proceso se realiza un lavado de granos, en el cual se tiene agua caliente a la temperatura que se está trabajando, en el subproceso de lavado solo se ingresa el agua por la entrada del tanque de macerado y se la saca de inmediato por la salida del tanque y se pasa directo al tanque de cocción, esto para poder obtener los últimos azúcares de los granos ya macerados [18] [20].



## **PROCESO DE COCCIÓN**

El mosto procede a cocinarse por el tiempo indicado por la receta de la cerveza a producir, en este proceso se procede a introducir el lúpulo mientras el mosto se está cociendo, esto se realiza para poder obtener el amargor y aroma del lúpulo. Se realiza también un subproceso llamado Whirlpool el cual es similar al recirculado, con la diferencia al ingreso del mosto hervido, este se realiza a cierto ángulo para así poder crear un remolino en el tanque y poder asentar en el fondo cualquier tipo de sedimento que se tenga en el tanque [12] [19].

## **INTERCAMBIADOR DE CALOR**

Al finalizar el proceso de cocción se realiza un shock térmico en el cual a la salida del tanque de cocción se conecta un intercambiador de calor para poder bajar la temperatura que enfría el mosto a 17 grados centígrados aproximadamente.

Y así evitar tener micro organismos en el mosto y de la salida de este intercambiador, el mosto ingresa al tanque de fermentación. En esta etapa, el único parámetro clave es la temperatura correspondiente a la inicial temperatura de fermentación [1] [12] [19].

## **PROCESO DE FERMENTACIÓN**

Durante la fermentación se transforman los azúcares fermentables en alcohol y CO<sub>2</sub>, al tiempo que se generan una gran variedad de compuestos, muchos de los cuales contribuyen a darle los aromas característicos tan populares de la cerveza. En este proceso se deja reposar por un tiempo determinado, el cual suele ser aproximadamente 7 días, esto hasta que acabe la levadura de producir CO<sub>2</sub> y alcohol [12] [19].

## **TANQUE DE ACONDICIONAMIENTO**

En el tanque de acondicionamiento, el mosto enfriado alcanza la gravedad específica deseada. La cerveza entonces está listo para ser filtrada [1].

## **FILTRADO**

El filtrado es en realidad un proceso muy complejo donde la cerveza se separa de todo posibles partículas grandes Algunos cerveceros deciden intencionalmente dejar sedimento en el fondo de la cerveza, esto proporciona un sabor peculiar característico [1].

## **GASIFICACIÓN**

O llamado tanque de cerveza brillante (Bright Beer Tank), en esta etapa, la cerveza se filtra y se mezcla con CO<sub>2</sub>, lo que da aspecto brillante a la cerveza [1].

## **PROCESO DE EMBOTELLADO**

Para el embotellado se tiene varias opciones para guardar la cerveza, principalmente en botellas de cristal o en barriles. Al envasar en botellas de cristal se puede hacer directo del fermentador a la botella y en esta se puede colocar azúcar para poder obtener más CO<sub>2</sub> mientras este está embotellado. Para envasar en barriles, se le coloca directo desde el fermentador al barril y se lo deja por cierto tiempo si se desea hacer madurar a la cerveza, y el momento que se desea consumir se le ingresa CO<sub>2</sub> directo al barril y se obtiene una cerveza con gas [12] [19].

### **1.3. EQUIPOS DE PRODUCCIÓN**

Cada planta de producción tiene diferentes prioridades y restricciones. Estas diferencias se reflejan en la amplia gama de enfoques utilizados en la selección y fabricación de equipos de elaboración casera e industrial. Diferentes empresas tienen diferentes prioridades, pero al final todos los cerveceros tienen la misma prioridad número uno: hacer una buena cerveza. El equipo de elaboración de cerveza, por lo tanto, tiene un solo propósito: hacer bien su trabajo, con el objetivo de producir una excelente cerveza.

En este capítulo se presentan algunos conceptos sobre los equipos de elaboración, qué tipos de equipos se utilizan generalmente en una cervecería y posteriormente el equipo existente en la cervecería “Cuatro Ríos”.

#### **1.3.1 CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE PRODUCCIÓN**

Básicamente toda planta cervecera, cumple el esquema básico en su sistema de producción, pero la diferencia fundamental entre las diferentes plantas de producción, radica en la forma en que una y otra realiza la maceración de los granos, para obtener las propiedades para su cerveza. Primero se realiza una explicación previa sobre este proceso y se explica, porque tanta variedad en estos sistemas.

El proceso de maceración, tiene como finalidad remojar el grano molido con agua a una temperatura dada por la receta, las cuales permite a liberar sus azúcares fermentables que se mezclan con el agua, este proceso se realiza a tiempos y temperaturas determinadas por la receta. Al obtener esta mezcla lista se extrae la parte líquida a la cual desde ese momento se la denomina “mosto” y después de los tiempos y temperaturas correctos generados, se procede a separar el mosto del grano, en este punto se tiene mucho cuidado con los sedimentos que se pueden filtrar con el mosto, aquí se puede proceder de diferentes maneras para realizar la filtración [21].

Todas las variables que rodean este proceso, fundamental en la preparación de cerveza, presentan como resultado una elevada cantidad de iniciativas y composiciones de varios modelos de fabricación dentro de la tradición de la fabricación de cerveza. Algunos modelos han sido adecuados en base de diseños comerciales y otros son iniciativas exclusivas a la cervecería casera [21] [22].

Al entender la complejidad de este sistema debido a los diferentes controles que se tienen, los cerveceros puntualizaron como una opción muy eficaz un sistema de tres diferentes subsistemas. Este diseño consta de un primer recipiente para poder calentar agua, después de esto se trasvasa agua caliente hacia un segundo recipiente denominado macerador, en el cual se encuentra el grano reposando y finalmente se realiza la filtración del grano para garantizar que se obtenga mosto con la menor cantidad de sedimento [15].

En este modelo, existen muchas variables, desde procesos en los cuales se realiza procesos de decocción para realizar escalones de temperatura u otros diseños como sistemas de adición de calor por vapor en el fondo de la cuba o el uso de un removedores de grano en medio del proceso, todos estos son procesos complicados de realizar dentro de una cocción. Pero de entre ellos surgieron otros, que debido a su alto grado de efectividad y facilidad de aplicación, consiguieron fama y altos niveles de aceptación por los maestros cerveceros, estos son el proceso **RIMS** y **HERMS**. **RIMS** es el acrónimo de *Recirculating Infusion Mash System* (Sistema de purga de infusión de recirculación) y **HERMS** es un acrónimo de *Heat Exchange Recirculating Mash System* (Sistema de purga de recirculación de intercambio) [23] [24].



Cervecería “Cuatro Ríos” ha realizado análisis estudios previos en su diseño y ha optado mediante este trabajo de investigación integra el circuito híbrido RIMS-HERMS, el cual integra el calentamiento en el tanque HLT y también con un quemador en la base del macerador, este sistema híbrido presenta ciertas ventajas de ambos sistemas.

La consistencia de un lote a otro es muy alta con estos sistemas, con un mejor control de temperatura, tiene la seguridad de obtener el mismo mosto que planeó cuando diseñó la receta que está preparando. Esto es mucho más difícil de hacer con otros tipos de sistemas. Permiten pasar fácilmente sus paradas de temperatura con poco esfuerzo de su parte. Ambos sistemas comparten características base, pasan continuamente el mosto a través del lecho de grano, por lo que tienden a producir un mosto más claro y finalmente una cerveza más clara [23] [25] [26].

### **1.3.2 EQUIPOS DE PRODUCCIÓN DE LA CERVECERÍA “CUATRO RÍOS”**

La cervecería “Cuatro Ríos” gracias a su crecimiento dentro del mercado ha emprendido la creación propia de una planta de producción de cerveza artesanal, para sus diferentes productos. Contar con un diseño propio exclusivo facilita una estructura se permite ampliar según sus necesidades. Gracias a este diseño propio se pueden realizar mejoras en el proceso en función de las necesidades que el proceso de producción disponga.

Esta línea de producción propia de la cervecería no cuenta con la presencia de tecnología digital de comunicación y control en su proceso, que detallara en el desarrollo de este documento y los inconvenientes que esto conlleva. En base a diálogos con diferentes autoridades del departamento de producción y calidad, se manifiesta la necesidad de implementar un sistema automatizado de monitoreo y control, para los procesos de cocción y fermentación, que permita la estandarización del producto final.

Luego de una expansión en la maquinaria de producción de esta cervecería implementa una línea artesanal de capacidad de 300 litros, que cumple toda la normativa sanitaria vigente e incluye los procesos de macerado, cocción y fermentación de la cerveza, así también los procesos de molienda y el de embotellado no han cambiado desde el inicio de producción, de forma artesanal.

Cabe recalcar además que para el momento que se emprendió con el proyecto la planta no cuenta con planos de su equipamiento, por lo cual se dispone realizar un levantamiento de planos como parte del presente proyecto de implementación.

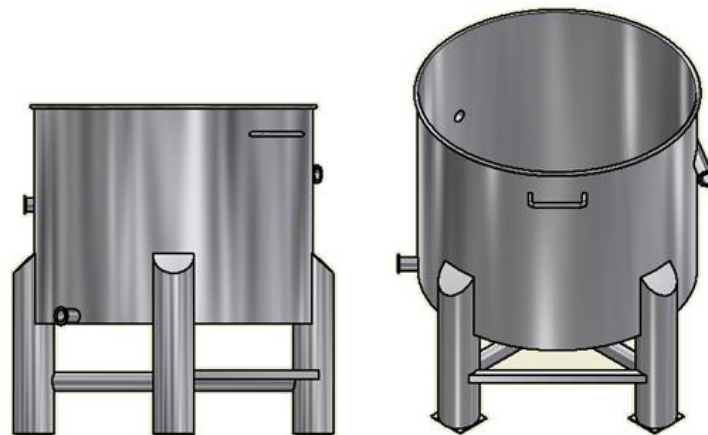
Tampoco cuenta con la presencia de tecnología digital de comunicación y control en su proceso, no permite una adquisición de datos de niveles y temperaturas de cada parte del proceso a tiempo real, así como tampoco se cuenta con un histórico de los parámetros a las que han sido expuestos los diferentes productos, por lo mismo la calidad y tiempo de producción de la cerveza depende exclusivamente de la experticia del operario para manejar el proceso.

## EQUIPAMIENTO MECÁNICO

El equipamiento mecánico de la planta cuenta con 4 tanques y sus tapas para los diferentes procesos, los cuales fueron diseñados siguiendo un diseño híbrido de dos diferentes sistemas de producción de cerveza, que son: HERMS y RIMS.

Cada uno se utiliza en los procesos de producción de cerveza anteriormente mencionados, aparte de estos equipos se tiene la utilización de mangueras, válvulas, bombas, sensores y el intercambiador de calor.

El **primer tanque** es utilizado para el calentamiento de agua, proceso que descontamina el agua ya que realiza un hervido por cierto tiempo y después se procede a bajar la temperatura hasta la deseada para la producción de cerveza. El diseño de este tanque consiste un cilindro abierto por la parte superior, para el ingreso de agua cuenta con un agujero el cual tiene soldado un adaptador sanitario y en la parte inferior está ubicada la salida de agua. En la parte exterior del tanque este cuenta un quemador externo que sirve para poder calentar el tanque y su contenido.



**Ilustración 4.** *Tanque de calentamiento de agua*

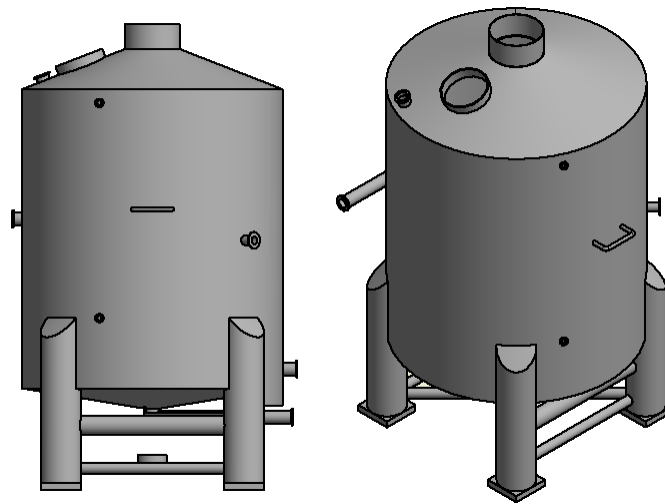
El **segundo tanque** es el denominado tanque de maceración, al cual se ha adaptado una canastilla que trabaja como filtro interno y un brazo agitador que tiene un diseño exclusivo para poder asegurar que se extraen todos los azúcares de todos los granos por igual. A este tanque se introduce el agua caliente por la tapa superior en la cual se tiene un sistema de distribución en partículas más pequeñas que un chorro completo de agua, que ayuda a mojar todo el grano equitativamente.

En este tanque cuenta con un diseño de cilindro con tapa y en la parte inferior termina en un cono, esto para poder hacer que el grano se quede en la parte inferior y que la cascara del mismo se vuelva un filtro natural que ayuda al mosto que se va a obtener. Este tanque tiene un quemador externo que sirve para mantener a la temperatura deseada en todo momento.



**Ilustración 5.** *Tanque de maceración*

El **tercer tanque** es el denominado tanque de cocción, el cual tiene una forma de cilindro con una tapa hueca en la parte superior y en la parte inferior es de tipo cónico, esto es muy importante ya que en este tanque se requiere tener la sedimentación de residuos del proceso de molienda, estables en la parte inferior. En este tanque cuenta con un adaptador mecánico por el cual ingresa el mosto y permite hacer un recirculado, pero este tiene cierto ángulo que lo envía hacia las paredes del tanque ayuda a producir un remolino en el agua denominado Whirlpool, el cual ayuda a asegurar que el sedimento se quedara en la parte inferior.



**Ilustración 6.** *Tanque de calentamiento cocción*

Después del tanque de cocción se cuenta con un intercambiador de calor de placas, el cual nos ayuda a realizar el shock térmico al mosto que se tiene en el tanque de cocción para enviarlo al tanque de fermentación, este choque térmico permite un proceso similar a una pasterización del producto.



**Ilustración 7.** *Intercambiador de calor de placas soldadas [27].*

Para verificar que el intercambiador de placas con el que cuenta la empresa, fue seleccionado de forma correcta y no existen retrasos o reprocesos de producción por su causa se procedió a comprobar su eficacia. Para esta comprobación se caracterizará el intercambiador de calor y los líquidos que maneja durante su uso.

El intercambiador que presenta la cervecería es de marca Alfaheating, modelo BL26-80D, con el cual cuenta con 80 placas y unas dimensiones generales de 4" x 12" x 7.59", el fabricante lo presenta con una capacidad transmisión de calor  $Q = 664.685 \text{ KJ/h}$ .



La prueba de eficacia se la realizó en la producción realizada durante el análisis del proceso de producción, con un mosto proveniente de la finalización del proceso de cocción, contemplando una  $T_{\text{inicial}}$  de 98 °C, con una densidad obtenida de forma experimental de 1.047 Kg/l, una capacidad de calor específico de  $C_p=3.73 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{C}$ , en una producción de 200 litros y una bomba que permite la circulación del mosto a una razón de 55 l/min. Para este caso en particular se buscara el diferencial máximo de temperatura con en que se puede contar en ese intercambiador. El tiempo de utilización del enfriador es igual al volumen sobre su caudal, resultando 3.6 minutos de operación.

Intercambiador de placas:  $Q = 664.685 \text{ KJ/h}$

Mosto:  $\delta = 1.047 \frac{\text{kg}}{\text{l}}$ ,  $T_1 = 98 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $V = 200\text{l}$ ,  $C_p = 3.73 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}$

$$Q = \frac{\delta * V * C_p * \Delta T}{t} \rightarrow \Delta T = \frac{Q * t}{\delta * V * C_p}$$

$$\Delta T = \frac{664685 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} * 0.06 \text{ h}}{1.047 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 200 \text{ l} * 3.73 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}}} = 51.06 \text{ }^\circ\text{C}$$

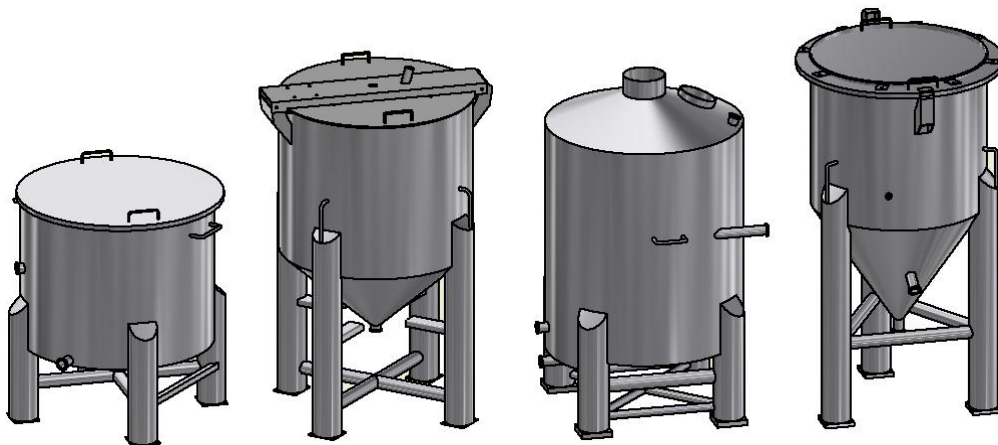
Una vez realizados los cálculos correspondientes se obtuvo que el enfriador puede presentar una diferencia de temperaturas de hasta 51.6 °C contando con la capacidad de reducir la temperatura del mosto al menos a 46.94 °C y esta temperatura podría disminuir reduciendo el caudal de flujo del mosto. Sin embargo esta temperatura cumple con la capacidad necesaria para abastecer la línea de producción de manera eficaz.

Finalmente el **cuarto tanque** es el denominado tanque de fermentación, este tiene un diseño de cilindro, en la parte inferior es de tipo cónico, la particularidad en este diseño es que cuenta con una tapa que se puede sellar de forma completamente hermética en la parte superior, esta va asegurada a presión con varios pernos alrededor y cuenta con una salida para una trampa air-lock que permite la salida del CO<sub>2</sub>, sin que el contenido interno del tanque sea expuesto a cualquier tipo de microorganismo del ambiente.



**Ilustración 8.** *Tanque de fermentación*

Todos estos equipos son de acero inoxidable y con esto se evita tener algún tipo de daños o contaminación en el producto final.



**Ilustración 9.** *Planta de producción completa*

## **EQUIPAMIENTO COMPLEMENTARIO**

El equipamiento electro mecánico con el que cuenta la planta está constituido por:

- 2 Bombas centrifugas para líquidos, marca PEDROLLO, modelo JCR 1A
- 1 Bomba de altas temperaturas para líquidos de hasta 100°C
- 1 Motor trifásico adaptado a un brazo del agitador, en el tanque de macerador

El equipamiento electrónico antes de la implementación, la planta solo cuenta como dispositivos electrónicos sensores de temperatura externos al proceso, los cuales se introducen desde la parte superior de cualquier tanque y cuentan con un indicador visual de su temperatura, el sensor no cuenta con tipo de comunicación, de su información a otros dispositivos digitales.

### 1.3 VENTAJAS DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AUTOMÁTICOS

Para presentar las ventajas de la automatización industrial, enfocada a la cervecería se ha realizado el análisis de casos de ciertos proyectos que se encuentran dentro de esta categoría. Con el fin de exponer de antemano beneficios claros obtenidos por otras empresas cerveceras que han optado por la aplicación de procedimientos automáticos, a parte de sus procesos o del sistema en conjunto.



**Ilustración 10.** *Sistemas de producción de cerveza automatizados [28].*

#### 1.3.1 ANÁLISIS DE CASOS

Los casos que serán presentados se han seleccionados debido a que su desarrollo se ha llevado a cabo por la misma empresa, lo cual los puede calificar como equiparable la calidad de sus intervenciones. Para más información sobre estos casos revisar la bibliografía correspondiente a cada uno.

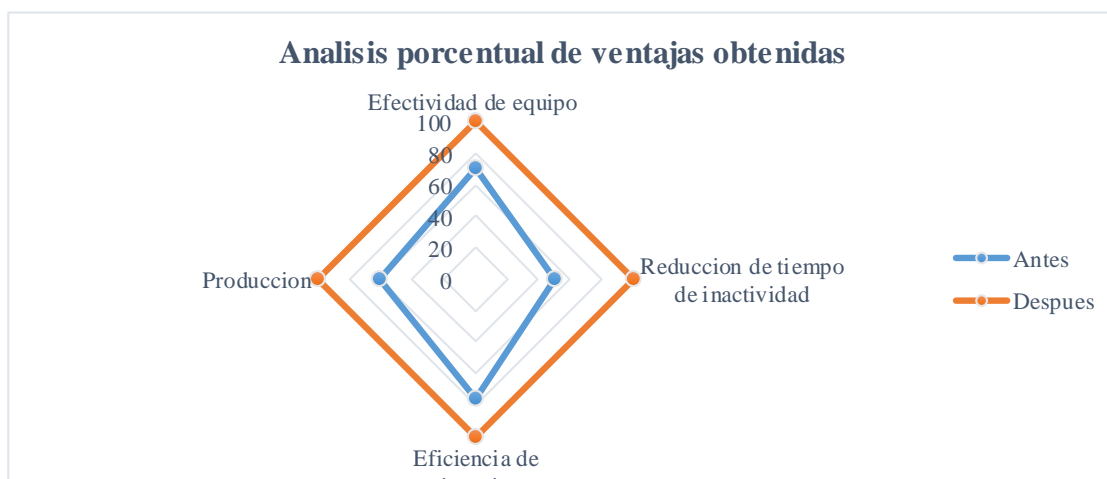
La metodología de presentación de estos casos es, primero la presentación de las metas deseadas alcanzar en cada proyecto de automatización, los desafíos presentados antes o durante su desarrollo y los resultados de cada intervención. Estos casos serán acompañados de un gráfico porcentual comparativo de avance de la empresa. Evidenciando de manera concisa los beneficios obtenidos por estas empresas, siendo esta tecnología de monitoreo y control en diferentes procesos, que dependieron de las necesidades específicas de cada empresa. Entre los beneficios más claros podemos observar aumento de efectividad de equipos, aumento de niveles de producción, reducción de tiempos de inactividad, disminución de costos, entre otros

### CASO 1: New Belgium Brewing Co.

La cervecería *New Belgium Brewing Co.* propone aumentar su capacidad de producción, aprovechando al máximo las capacidades de su línea de fabricación y operar la cervecería siempre a plena capacidad de producción. Además lograr elevar la efectividad general de cada equipo para producir un producto de calidad y garantizar la disponibilidad de la línea de producción a través de tiempos de inactividad programados, cambios de paquetes y actividades de mantenimiento programadas.

Los desafíos que se presentaron durante esta implementación tecnológica, yacieron en que la cervecería carecía de información en tiempo real sobre lapsos de inactividad no dispuestos en varias plazas de equipos, lo que provocó una desaceleración de la producción, los operarios de la línea de producción reaccionaban continuamente al tiempo de inactividad no proyectado en las áreas de equipos y la operación de embotellado con contaba con la capacidad de predecir capacidades para envolver efectivamente al personal de la cervecería a objetivos determinados de producción.

Posterior a la implementación de esta automatización, se pudieron evidenciar resultados como que la efectividad general por maquina aumentó de 45% a 65%, una baja en el tiempo de inactividad en más del 50%, la eficiencia del tiempo de ejecución programado aumentó en un 25% - 30% y consecuentemente logro un aumento de la producción, impartiendo un record de 190,000 a 200,000 cajas, satisfaciendo exitosamente las demandas de los clientes. Un aumento del área de empaque a aproximadamente 1.3 millones de barriles cada año, lo cual le permitió mantener costos operativos bajos. [29].



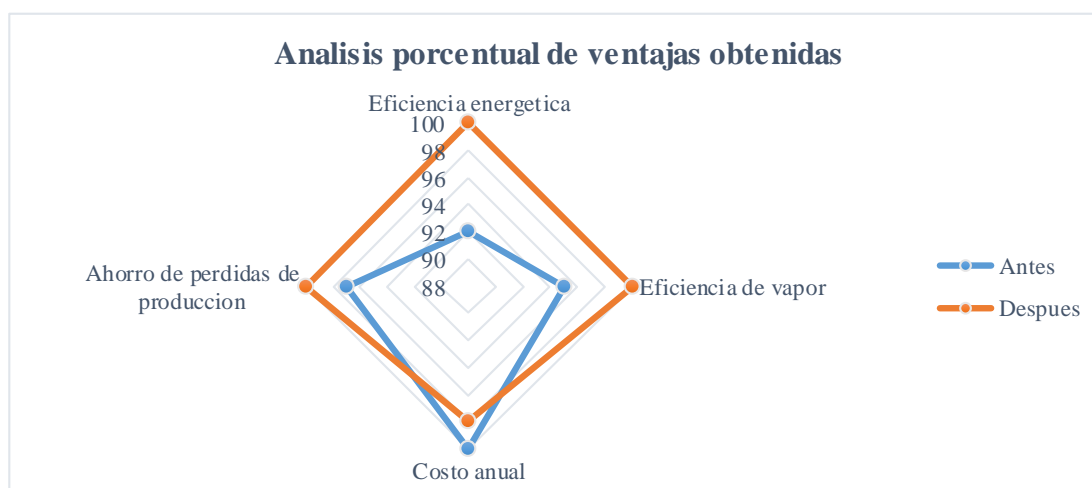
**Ilustración 11.** Análisis de ventajas de Caso 1

## CASO 2: Baltika Breweries

La cervecería *Baltika Breweries* demandaba una solución de software de retroacción modular que permitiera a la gerencia de operaciones del sistema para cumplir con los requisitos de producción futuros, una disminución de costos a través de un mejor rendimiento de cada equipo, menores derrames de material, menores costos de elaboración y mejores procesos de la cadena de suministro.

Los desafíos presentados comenzaron en la capacidad de asegurar que una nueva solución de software de procesamiento de datos pueda integrarse positivamente con el hardware y el software existentes mientras aumenta el rendimiento general del equipo. Debido a que el monitoreo justo de las provisiones de ingredientes son críticos para mantener niveles adecuados de producción de cerveza, existía la impaciencia de que una solución de software apropiada no esté disponible y que con el aumento de la competencia a nivel global, la disminución del costo de la instalación era una prioridad para cualquier implementación de software nuevo.

Posterior a la implementación de esta automatización, se pudieron evidenciar resultados como son una reducción del 8% en el uso de energía durante el proceso de fabricación ha permitido reducir sus costos operativos generales, una disminución del 5% en el consumo de vapor durante el proceso de fabricación de la cerveza. Que el costo de los materiales de embalaje se ha reducido en un 1,8% anual y finalmente que la cervecería pueda determinar con precisión las pérdidas de producción por lote, obteniendo una reducción del 0,56% en la pérdida de extractos [30].



**Ilustración 12.** Análisis de ventajas de Caso 2

### CASO 3: Namibia Breweries Limited

La cervecería Namibia Breweries Limited presentó la necesidad de reconocer con exactitud la información crítica de fabricación de las plantas de refrigeración solar, calderas, medidores de agua y energía. Así también transferir información de producción al DCS (Sistema de control distribuido) existente. Y finalmente la información obtenida integrarla al desarrollo un tablero para el sistema de gestión, para ver información relacionada de consumo vinculada a volúmenes de producción y KPI's.

Los desafíos que se presentaron fueron que el equipo de operaciones de la planta se enfrentó a los grupos de gestión que no estaban seguros de que se pudieran lograr estos objetivos, necesitaban un argumento convincente de los beneficios para "la aprobación" de todos los interesados para la implementación del sistema. Y las grandes cantidades de datos de la planta que requieren procesamiento, la sincronización horaria entre el software recopilación de historiales, Historian y su servidor OPC.

Posterior a la implementación de esta automatización, se pudieron evidenciar resultados de éxito, como son el logro del cumplimiento de la normativa municipal, que el sistema de energía renovable compatible con Historian proporciona un 8% de la demanda de electricidad, un ahorro del 20% en generación de dióxido de carbono. Y finalmente que se puede obtener una verificación precisa de los KPI para evaluar los procesos de la planta y las operaciones de equipos relacionados [31].

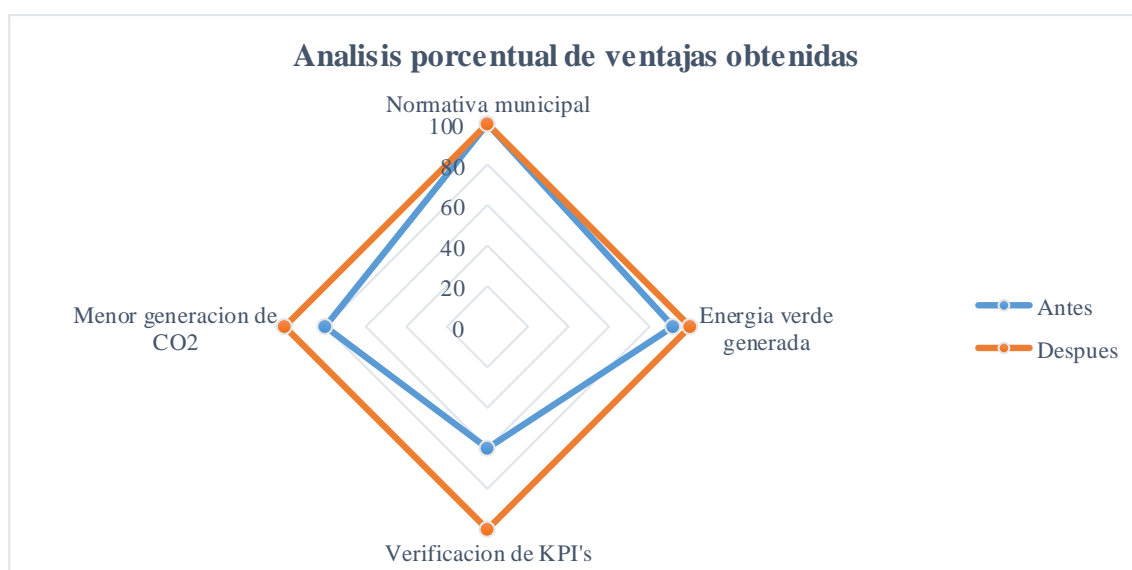
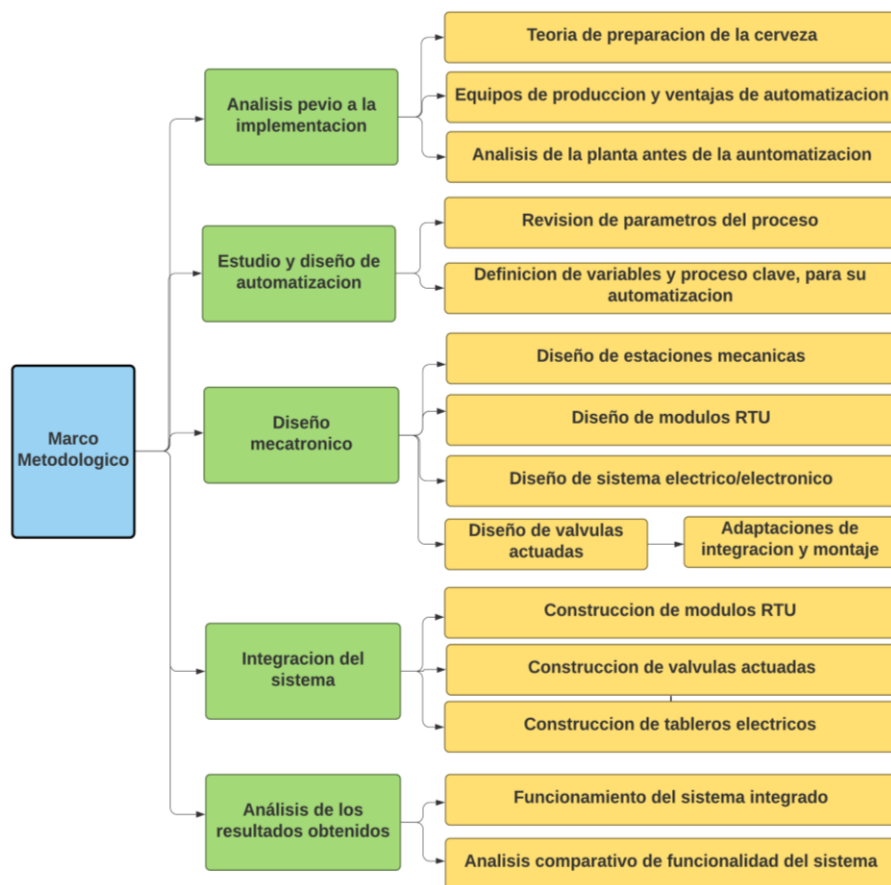


Ilustración 13. Análisis de ventajas de Caso 3

## 2 MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del proyecto que se presenta en esta tesis, se halla relacionado al entorno de aplicación tecnológica para la solución de un problema, siendo este la falta de un procedimiento que permita estandarización de los parámetros de producción y con esto garantizar la calidad del producto que se obtiene en la cervecería, se ha elegido un método que nos permita evaluar la contexto del proceso actual y todos los parámetros a considerar para el desarrollo del proyecto, su desarrollo y un análisis de los resultados obtenidos por el mismo, para apreciar el valor del sistema.



**Ilustración 14.** Diagrama de metodología del proyecto

La metodología se divide en cinco puntos fundamentales; el **primer punto** se enfoca en el análisis de la situación antes de implementar la automatización del proceso de producción de cerveza de la cervecería “Cuatro Ríos”, el cual ya está explicado en fundamentos teóricos del proceso en el capítulo anterior. Así como también los planos mecánicos de la planta, que fueron levantadas para la presente implementación.

En el **segundo punto** un estudio y diseño de automatización para los procesos de cocción, fermentación y sus soluciones industriales más comunes. En esta se tiene la obtención las variables principales que se tienen en el proceso para así poder tener los diferentes sistemas que se reemplazaras y controlaran de una forma automatizada.

En el **tercer punto** se diseña la propuesta de automatización mecatrónica para la línea de cocción y posteriormente a la fermentación. En esta sección se incluye los planos eléctricos, planos electrónicos, diseño de componentes y adaptaciones que deben ser realizadas. Se identifica la tecnología más adecuada a los componentes que existen en la planta de producción de la empresa.

En el **cuarto punto** se describe la integración de la propuesta diseñada para la cervecería “Cuatro Ríos”. Esta sección incluye los diagramas de programación generados en esta implementación. Así también sus pruebas de funcionamiento, para equipos y actuadores.

Finalmente, en el **quinto punto** se realiza un análisis de los resultados obtenidos, en función de los requerimientos internos de calidad y una comparación de la producción antes y después de la integración de la automatización.

## **2.1 REVISIÓN DE PARÁMETROS DEL PROCESO**

La propuesta de implementación se divide en dos secciones; en la **primera sección** se detalla las partes que serán reemplazadas y las que serán controladas de forma automatizada en esta integración

En la **segunda sección** un estudio los sistemas a ser automatizados para el proceso de cocción, fermentación y sus soluciones industriales más comunes, en función a los componentes que existen en la planta, con el propósito de proponer el mejor sistema que facilite la estandarización del producto de la empresa.

### **2.1.1 FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO**

Se presenta el diagrama de bloques de un típico proceso de producción de cerveza, el cual permite entender el comportamiento y conexiones del sistema. Se unen todas las variables del sistema, mediante bloques funcionales y permite identificar las variables claves de cada parte del proceso, así como también las que se podrán monitorear y controlar.



## Typical Brewing Process

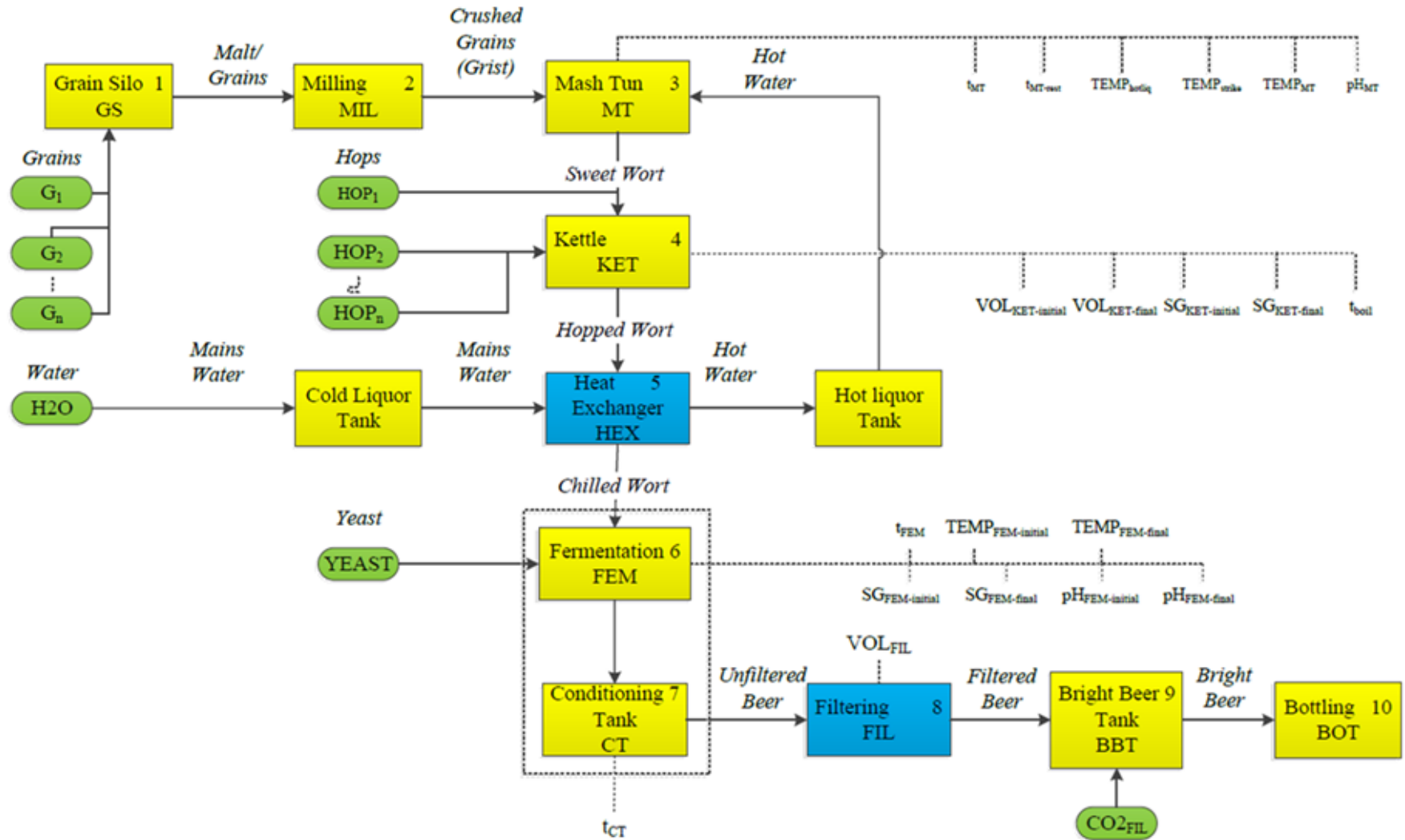


Ilustración 15. Diagrama de bloques de un típico proceso de cervecería [1].

## 2.1.2 COMPONENTES A SER INTERVENIDOS

En esta sección se detalla el análisis de la situación del proceso de producción de cerveza, se han identificado principalmente los componentes claves del proceso, y los motivos que impulsan estas selecciones en el proceso:

- Procesamiento de información de la producción
  - Controlador lógico del proceso
  - Módulos RTU

Sin ningún grado de automatización, el proceso de control de la planta depende completamente de la experticia del operador de la misma, siendo este quien deberá comandar cualquier acción dentro del proceso de producción, como accionar válvulas, bombas, medición de temperaturas, tiempos de cada proceso, entre otros.

Dentro de los requerimientos para la planta y para su automatización, se dispone que debe poder trasladarse fácilmente y que permita fácilmente cambiar las posición de la línea de proceso o las distancias entre equipos, para solventar este requerimiento se procede a la integración de Unidades Remotas de Transmisión (módulos RTU) de información, estos módulos son dispositivos basado en microprocesadores, que permiten obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se realiza el procesamiento de información.

- Medición de variables físicas en producción
  - Sensores de temperatura en diferentes puntos del proceso
  - Sensores de nivel de tanques
  - Sensores de caudal de líquidos

Para poder alimentar de información real al controlador del proceso, se deben incluir sensores, en las variables importantes del proceso como serán, temperaturas en cada tanque del proceso, cantidad de fluido y velocidad al que es enviado, actualmente esas mediciones se realizan con equipos ajenos al proceso, y su interpretación depende del operario.

- Componentes que toman mayores tiempos de trabajo del operario de la planta
  - Conexiones de tubería que transportan material del proceso

Al inicio del proyecto las conexiones de tubería existentes en la planta de producción no son fijas, se deben desconectar y conectar mangueras sanitarias, dependiendo de la parte del proceso en que se encuentra la planta, lo cual genera desperdicio de material al quedarse parte del fluido en las mangueras, así mismo de manejarse correctamente, este se pierde regándose al suelo y generando inconvenientes en el entorno de trabajo.

- Componentes que en caso de fallo, dañarían el lote de producción
  - Dirección de flujo de producto

Las conexiones correctas de la tubería, dependen de la experticia del operario, pudiendo este confundirse y enviar fluido en sentido incorrecto o a partes del proceso equivocadas, por ejemplo en vez de realizar un recirculado de fluido en un mismo tanque, enviar trasvasado a otro tanque, lo cual significaría modificación de las propiedades del producto final.

- Control de elementos del proceso fuerza
  - Accionamiento de bombas, mediante relés

El accionamiento manual de las bombas, será controlado también por medio del controlador principal, para evitar el accionamiento antes de que se complete el tiempo o temperatura de un proceso, así también como la posibilidad de programar alarmas de seguridad en caso de accionamiento incorrecto.

### 2.1.3 SELECCIÓN DE COMPONENTES

En esta sección se detalla las propuestas consideradas que se implementaran para los procesos de producción de cerveza, considerando las características y seleccionando componentes que satisfagan las necesidades y restricciones de cada proceso

#### ❖ PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Esta sección corresponde a los medios digitales que se encargaran de las señales adquiridas en el proceso, su recepción, interpretación, envío de información, toma de decisiones y presentación de informes del proceso al operario.

#### EQUIPO CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE:

El controlador lógico programable (PLC) debe cumplir las siguientes características:

- Recibir datos provenientes de los sensores de temperatura y de los módulos RTU.
- Interpretar estos datos recibidos para poderlos presentar como información pertinente del proceso, con esta información y la programación realizada en el controlador, debe tomar de decisiones para la activación o no de partes del proceso, activación de bombas para trasvaso o recirculación, activación de válvulas actuadas del proceso.
- Para la comunicación de este elemento con el operario de la planta, debe permitir la conexión con un elemento interfaz hombre - máquina (HMI), una pantalla que permita la presentación del informe de estado la planta y la interacción para que el operario pueda introducir información y cambiar configuraciones del proceso.

El controlador lógico programable (PLC) seleccionado, que cumple con las características ya mencionadas es de la marca KINCO en su modelo K506-24AR.



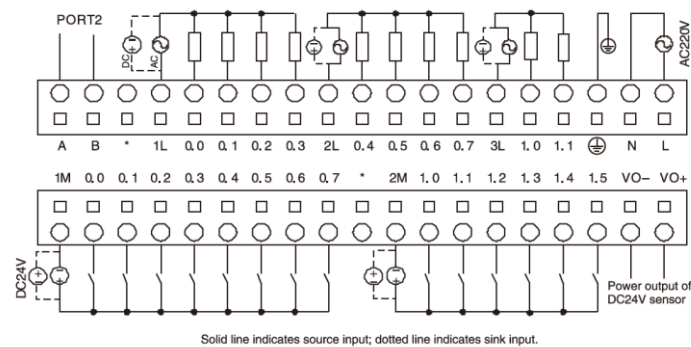
**Ilustración 16.** Controlador lógico programable (PLC) Kinco, modelo K506-24AR [32].

Características del PLC seleccionado:

Este PLC ofrece diversas funciones especiales de E/S (contador de alta velocidad, salida PTO/PWM), CANopen master, múltiples puertos RS485, canales de entrada y salida analógicos integrados, etc. [32].

### Descripción del modelo de CPU y diagrama de cableado

- Fuente de alimentación: AC 265V entrada de alimentación
- Puntos integrados de I/O: 24 I/O, DI 14 \* DC24V, DO 10\*Relé, salida de relés
- Puertos de comunicación: 1 x RS232, 2 x RS485
- Módulos de expansión conectables: Sí, máximo 10 módulos de expansión.



**Ilustración 17.** Diagrama de cableado PLC Kinco, modelo K506-24AR [32].

### MÓDULO DE EXPANSIÓN RTD

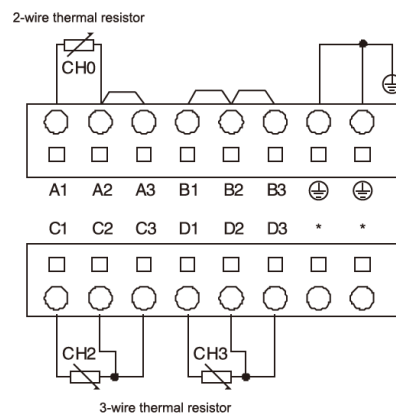
Para la recepción de datos provenientes de los sensores de temperatura tipo RTD, el PLC necesita un módulo de expansión que se lo conecta para que adquiera esa capacidad. El módulo de expansión seleccionado, de la marca KINCO, modelo K531-04RD.



**Ilustración 18.** Módulo de expansión RTD, modelo K531-04RD [32].

Características del módulo seleccionado:

- Canales de entrada: 4 entradas analógicas
- Señales de entradas: Pt100, Cu50, Pt1000, Resistivo, todos estos de 2 y 3 hilos.
- Rango de medición: Pt100 (-200 ~ 850°C), Cu50 (-50 ~ 150°C), Pt1000 (-50 ~ 300°C), Resistivo (0 ~ 2000Ω)
- Precisión de medición: Temperatura  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , Resistencia  $\pm 1\Omega$
- Parámetros de configuración: programables mediante software KincoBuilder [32].



**Ilustración 19.** Diagrama de conexión módulo RTD, modelo K531-04RD [32].

## INTERFAZ HOMBRE - MAQUINA (HMI)

Un elemento interfaz hombre - máquina (HMI), comúnmente es una pantalla que permite la presentación gráfica de la información proveniente de un PLC y en ocasiones este elemento HMI permite la interacción para que el operario pueda introducir información mediante un control táctil o teclas que se encuentran alrededor del elemento.

El elemento interfaz hombre - máquina (HMI), debe cumplir las siguientes características:

- Recibir información provenientes de PLC
- Presentar gráficamente la información recibida, una pantalla de tamaño de al menos 7 pulgadas y preferiblemente a colores
- Permitir la interacción para que el operario pueda introducir información mediante un control táctil

El elemento interfaz hombre - máquina (HMI) seleccionado, que cumple con las características ya mencionadas es de la marca KINCO en su modelo MT4434TE.



**Ilustración 20.** Pantalla HMI, modelo MT4434TE [33].

El HMI Kinco dispone de protocolos de comunicación RS-485 y RS232 para la conexión con cualquier tipo de PLC para la transferencia de datos. Cuenta con entorno de trabajo diverso, con el cual se pueden preparar diferentes interfaces de pantalla, así como un amplio almacenamiento para guardar todas las programaciones desarrolladas. Cabe destacar también la funcionalidad de monitoreo, procesamiento y exportación de datos recolectados por el HMI, de una manera muy eficaz, lo cual que es especialmente útil para una planta de producción [33].

## MODULO RTU

Una unidad RTU (Unidad Terminal Remota) cuenta con la capacidad de realizar el monitoreo de varias entradas y salidas de un proceso, permitiendo analizar y mantener datos en tiempo real, lectura de diferentes sensores, tomar acciones de control que se programaron. Esta unidad realiza periódicamente la exploración de las variables del proceso y de la misma manera permite la comunicación con una estación maestra por medio de diferentes del protocolos de comunicación [34].

La unidad terminal remota RTU debe cumplir las siguientes características:

- Lectura se señales digitales de 5V
- Lectura de señales analógicas de 0 – 5V
- Comunicación mediante protocolo Modbus RTU sobre red RS485 para poder conectar con un protocolo del PLC seleccionado

Para poder solventar esta necesidad se tomó la decisión de desarrollar este elemento RTU propiamente por nosotros debido a que comprarlo excede el presupuesto del proyecto y las características que debe cumplir el equipo son muy específicas para nuestro proyecto.

El diseño y construcción de este módulo se presentara más adelante en la sección de diseño del proyecto de automatización.

## ❖ MEDICIÓN LAS VARIABLES DEL PROCESO

Esta sección corresponde a los sensores que permita la medición de varios componentes físicos del proceso, como son temperatura, posición, caudal y volumen, que deberán ser interpretados por los elementos digitales de procesamiento del sistema

Un **sensor de temperatura** que cumpla con las siguientes características:

- Cuerpo de acero inoxidable, para cumplir normativas de sanidad de la cervecería
- Rango de medición de temperatura entre 0 y 120°C
- Compatibilidad con el módulo de lectura de temperatura del PLC seleccionado, puede ser de tipo Pt100, Cu50, Pt1000 o Resistivo, todos estos de 2 y 3 hilos.

Se ha seleccionado los sensores de temperatura TIPO RTD - PT100 de la marca DONYANG, modelo NM-4550-5.: PT100 con cabezal - Rosca NPT 1/2 - Bulbo 5cm X 1/4 diámetro y temperatura de medición: -100 +250 °C [35].

Un sensor de temperatura tipo Pt100 es un detector de temperatura por resistencia (RTD), este sensor tienen la característica de ser fabricado con platino con una resistencia de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C, este tipo de sensores RTD son los más comunes del mercado [36] .



**Ilustración 21.** *Sensor RTD Pt100 modelo NM-4550-5 [35]*



Un **sensor de nivel** que cumpla con las siguientes características:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Rango de detección: 0 - 200cm
- Temperatura de trabajo: 0 ~ 50°C
- Humedad máxima de trabajo: 50%

Se ha seleccionado el SENSOR ULTRASÓNICO, modelo JSN-SR04T



**Ilustración 22.** Sensor de nivel ultrasónico modelo JSN-SR04T [37]

El sensor trabaja bajo el principio de ultrasonido y contiene toda la electrónica para realizar la medición de distancia. Para el funcionamiento se emite un pulso de sonido, y mide la anchura del pulso de retorno, calcula la distancia a partir de las diferencias de tiempos entre la emisión del pulso y su recepción. Perfecto en aplicaciones donde el sensor estará expuesto al exterior o ambientes con alta concentración de humedad [37].

Un **sensor de caudal de líquidos** que cumpla con las siguientes características:

- Compuesto en un material de grado sanitario
- Temperatura de trabajo entre 0 y 90°C
- Voltaje de Operación: 5V DC
- Rango de operación: 1-60 L/min

Se ha seleccionado el SENSORES DE CAUDAL, modelo GR-108:



**Ilustración 23.** Sensor de caudal, modelo GR-108 [38]

El sensor funciona en base a un mecanismo interno, el cual cuenta con un rotor de paletas con bordes magnéticos, el cual se encuentra aislado para así tener la seguridad de que no existan fugas de agua, en la parte exterior cuenta con un sensor de efecto hall el cual detecta el campo magnético que producen las paletas del rotor. La salida de este sensor genera un tren de pulsos de onda cuadrada, en el cual la frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) puede tener algunas variaciones dependiendo de la presión o densidad del líquido con el que se trabaja [38].

Para el caso del sensor de 1" el factor de conversión llamado K, proporcionado por el fabricante es 5.5 y su forma de cálculo del caudal es:

$$F \text{ (Hz)} = 5.5 \times Q \text{ (L/min)}$$

Trabajar con dichos valores no nos garantiza precisión, pero nos pueden servir para aplicaciones simples, si se necesita mayor exactitud presenta la necesidad de calibrar y calcular dicho factor. Luego de varias pruebas se obtuvo con mayor exactitud en nuestra aplicación un factor de  $K = 4.9213333$ , la forma de calcular este nuevo factor se detalla en la bibliografía del sensor.

### ❖ CONEXIONES DE TUBERÍA Y DIRECCIÓN DE FLUJO

Esta sección corresponde a los componentes que toman mayores tiempos de trabajo del operario de la planta y componentes que en caso de fallo, dañarían el lote de producción, como son las conexiones de tubería que transportan material del proceso y la dirección.

Para dar solución a esta sección se ha decidido realizar el cambio de la modalidad de trabajo de la planta de producción que como se explicó en el análisis de la planta antes de implementar la automatización, las conexiones de tubería están dadas por mangueras que se intercambian dependiendo del proceso en que se encuentra la producción.

El cambio será por un sistema fijo de conexiones de tubería, que no tiene la necesidad de ser desconectado para ningún cambio en el proceso, este se presentará en la sección de diseño de la propuesta de automatización. Para complementar este sistema, se agregará válvulas actuadas que al cambio de posición puedan controlar la dirección de flujo del producto, las cuales serán controladas desde el PLC, que garantice sus correctas configuraciones, dependiendo de cada etapa del proceso de producción.

Con las características de:

- Cuerpo de grado sanitario, preferible acero inoxidable
- Permitir redireccionamiento de los fluidos dentro del proceso
- Control de accionamiento desde el PLC
- Garantizar mediante retroalimentación sus correctas configuraciones y posiciones, dependiendo de cada etapa del proceso de producción
- Válvulas desmontables del sistema actuado, en caso de necesidad

Para poder solventar esta necesidad se tomó la decisión de desarrollar estas válvulas actuadas, propiamente por nosotros debido a que comprarlo excede el presupuesto del proyecto y las características específicas que deben cumplir estos elementos.

El diseño y construcción de estas válvulas se presentara más adelante en la sección de diseño del proyecto de automatización.

#### ❖ CONTROL DE ELEMENTOS DE FUERZA

El accionamiento de las bombas y válvulas actuadas, serán comandados desde el PLC, el cual no maneja altas cargas, por lo que ha optado la utilización de relés, para poder abrir o cerrar los circuitos eléctricos que suministren las cargas necesarias.

Las especificaciones técnicas de estos relés son:

- Voltaje de accionamiento: 24V DC
- Soportar cargas máximas de hasta 10A [39]

Se ha seleccionado los relés de marca Camsco, modelo MK2P-I



**Ilustración 24.** Relés Camsco, modelo MK2P-I [39]

## ❖ FUENTES DE ALIMENTACIÓN PARA EQUIPOS

Para hacer funcional los diferentes elementos de control, sensores y las válvulas actuadas, se necesita fuentes de voltaje para todos estos elementos, las fuentes seleccionadas son:

- **Fuente de 5V 2A, Fuente de 12V 20A y fuente de 24V 10A**

Las 3 fuentes seccionadas para la alimentación de los elementos son genéricas, sin marcas, ni modelos específicos más que su voltaje y corriente máxima suministrada.

## 2.2 DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

Se presentan los diseños de la propuesta de automatización para la línea de cocción y fermentación realizados con los componentes antes seleccionados. Primero el diseño de las estaciones mecánicas, donde se asentarán las bombas, válvulas actuadas, tubería de conexiones fijas, etc. A continuación el diseño de los módulos RTU y por último de las válvulas actuadas.

Así también el diseño eléctrico / electrónico del sistema de automatización correspondiente a cada parte del proceso, así como también el tablero principal de control y las conexiones entre las cajas correspondientes. Y finalmente las adaptaciones que deben ser realizadas a los diferentes sensores y actuadores a fin de ser implementables en el sistema de producción.

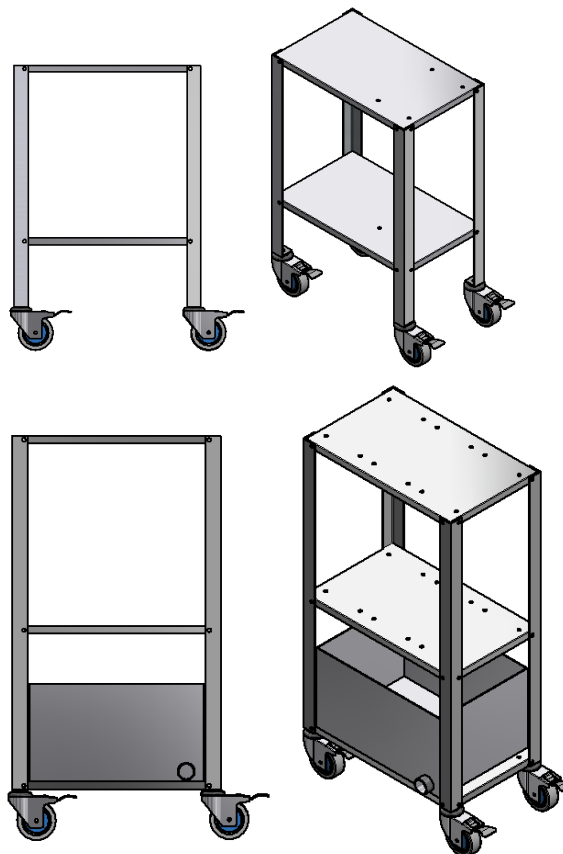
### 2.2.1 DISEÑO DE ESTACIONES MECÁNICAS

Como se presentó anteriormente la planta antes de la presente integración, contaba con problemas tales como, las conexiones de tubería no fijas y es su operación se deben desconectar y conectar dependiendo de la parte del proceso. Debido a los problemas ya mencionados se tomó la decisión de un sistema fijo de tuberías, que no presenta la necesidad de desconexiones en el proceso. Se agrega válvulas actuadas que al cambio de posición puedan controlar la dirección de flujo del producto. Todos estos elementos deberán ser montados sobre una estructura, para que no sean asentados en el piso y comprometan las condiciones sanitarias del proceso.

La planta cuenta con 4 tanques: tanque de primer hervido, tanque de maceración, tanque de cocción y tanque de fermentación. Por lo tanto se determinó la necesidad de una estación para sostener las conexiones entre cada parte del proceso. Las estaciones presentan características que cumplen los requerimientos de sanidad del proceso:

- Bandejas de acero inoxidable, con bordes doblados para evitar aristas cortantes
- Sistema de ruedas con freno para fácil movilización y parqueo
- Espacio suficiente para válvulas y bombas
- Espacio extra para utilizarlas como estantes
- Una estación entre cada tanque del proceso
- Recipiente para sumergir un sistema enfriador de placas en la tercera estación

Estaciones uno y dos soportan las conexiones existentes entre tanque de primer hervido y tanque de maceración la primera. La segunda las conexiones entre tanque de maceración y tanque de cocción, ambas constan del mismo diseño y medidas necesarias para su correcto funcionamiento. Mientras que la estación tres soporta las conexiones existentes entre tanque de cocción y tanque de fermentación, así mismo esta estación cuenta con un recipiente para sumergir un sistema enfriador de placas en la tercera estación.



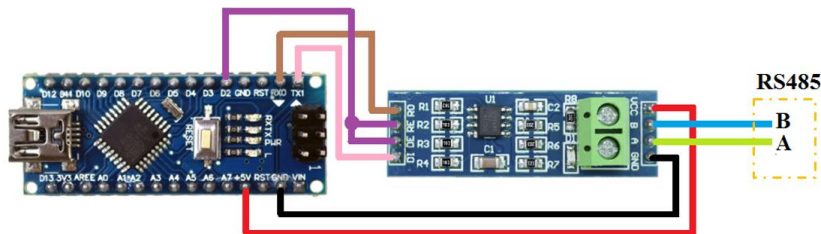
**Ilustración 25.** *Diseño de estaciones 1, 2 y 3*

## 2.2.2 DISEÑO DE MÓDULOS RTU

Como se ha mencionado antes en la sección que presenta la selección de componentes la unidad terminal remota (RTU) debe cumplir las siguientes características:

- Lectura de señales digitales de 5V
- Lectura de señales analógicas de 0 – 5V
- Comunicación mediante protocolo Modbus RTU sobre red RS485 para poder conectar con un protocolo del PLC seleccionado

Para el control de esta placa se seleccionó por un microprocesador ATmega328P presente en la placa de desarrollo Arduino Nano, que cumple con las características descritas y mediante un módulo de expansión denominado módulo RS485 a serial TTL, como su nombre lo indica, despliega una conexión sobre red RS485 en la cual es posible montar un protocolo de comunicación Modbus RTU. Se ha seleccionado una comunicación Half Duplex, para que este módulo sea compatible con la comunicación del PLC seleccionado.



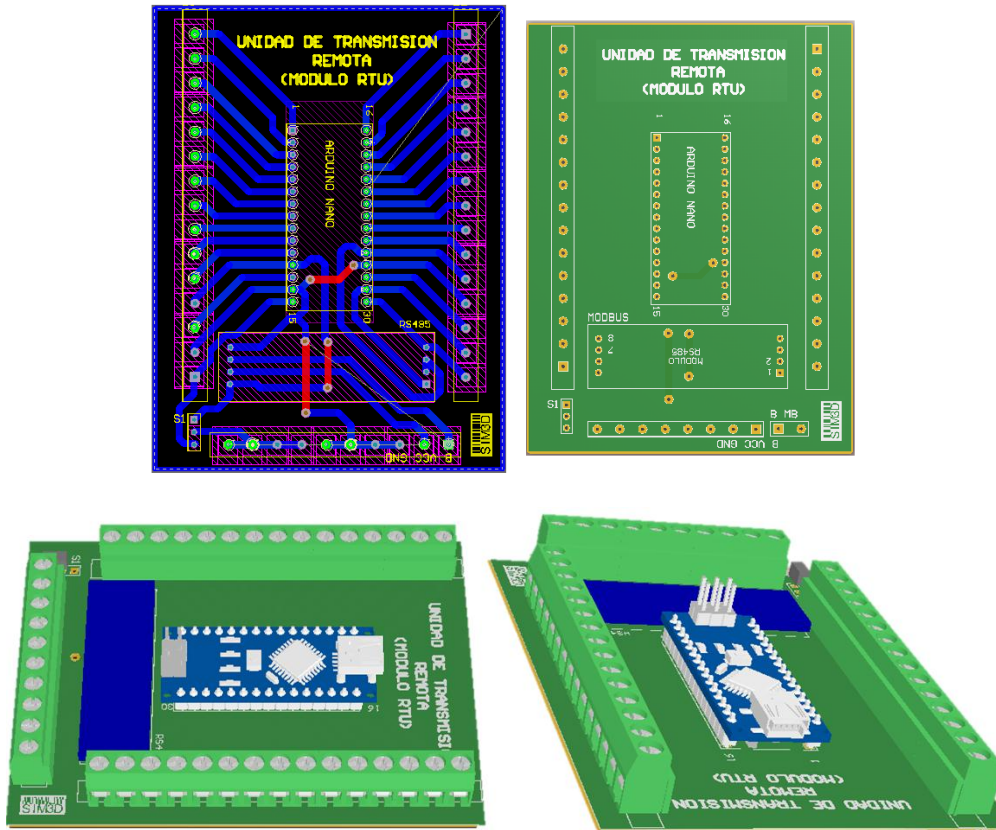
**Ilustración 26.** Diagrama de conexión entre Arduino Nano y Módulo RS485 [40].

Para más información sobre esta conexión y sus debidas librerías o códigos de programación para el uso de este componente se pueden revisar en la bibliografía de la imagen anterior.

La integración de estos dos elementos se presenta en una placa de circuito impreso PCB, la cual cuenta con una serie de clavijas terminales, para el posicionamiento del Arduino y el módulo de comunicación, las conexiones eléctricas entre estos componentes y con diferentes bornes para aprovechar todas las entradas y salidas de la placa controladora, bornes de suministro eléctrico para los sensores y de comunicación sobre red RS485.

Se presenta el diseño de esta placa PCB, realizado en ALTIUM DESIGNER ®. Este funciona como módulo RTU que tiene la capacidad de monitorear entradas y salidas

digitales, así como controlar salidas digitales relacionadas al proceso, analizar y mantener datos en tiempo real, ejecutar algoritmos de control programados por el usuario y comunicarse con la estación maestra.



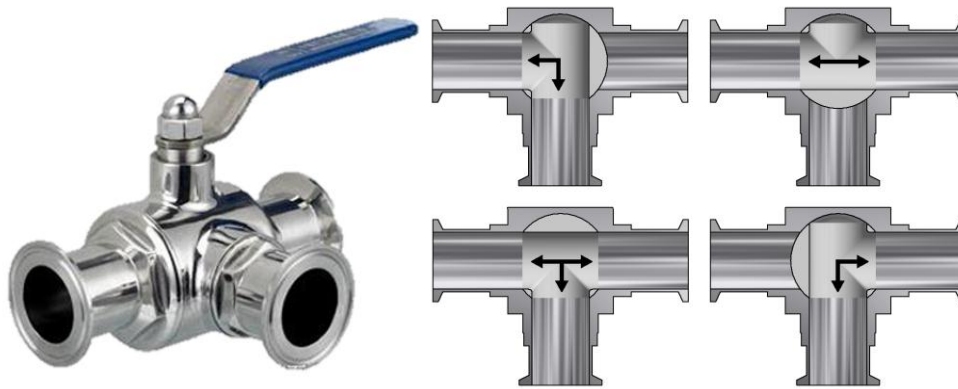
**Ilustración 27.** Diseño PCB del Módulo RTU

El diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 8).

### 2.2.3 DISEÑO DE VÁLVULAS ACTUADAS

Como se mencionó en secciones anteriores se tomó la decisión de cambiar la modalidad de trabajo de la planta de producción, la cual incluye la integración de válvulas actuadas que serán desarrolladas y personalizadas este proyecto.

Con el objetivo de cumplir las características restricciones de estas, se seleccionó VÁLVULAS DE TRES VÍAS de acero inoxidable, sanitarias, que a diferencia de las comunes de dos vías que permiten o cortan el flujo entre sus dos extremos, estas permiten cuatro diferentes configuraciones de redireccionamiento entre sus salidas.



**Ilustración 28.** *Válvula de 3 vías inoxidable y sus configuraciones [41].*

El cambio de posición controlado de estas válvulas, se seleccionó motores de corriente continua, debido a que su accionamiento de gira una palanca y el movimiento puede ser continuo de forma circular, es decir para alcanzar cualquier posición no presenta restricción si el gire es horario o anti horario. Estos motores pueden ser encendidos mediante un circuito de accionamiento controlado desde el PLC, cumpliendo con otra característica del elemento.

Los motores seleccionados son similares al modelo Geria WM6132, puesto que los comprados sin genéricos y no presentan marca, modelo ni fabricante, pero son reconocidos comúnmente como motores de limpiaparabrisas de carros. Son seleccionados puesto que gracias a su sistema reductor de alta relación, presentan un torque de hasta 19N.m con una alimentación de 12V, consumen hasta 3.5A pico, ideales para las fuentes seleccionadas.



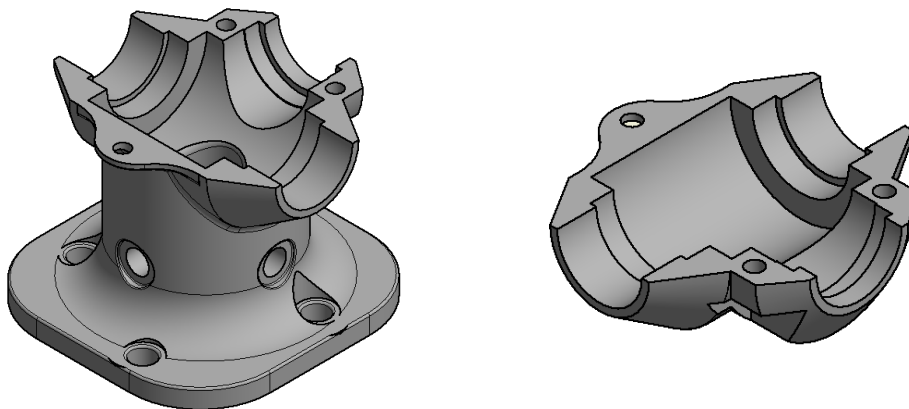
**Ilustración 29.** *Motor para válvulas actuadas [42].*

Con fin de garantizar mediante retroalimentación sus correctas configuraciones, dependiendo de cada etapa del proceso de producción, se integran también sensores inductivos, que funcionaran como sensores de la posición de la válvula.



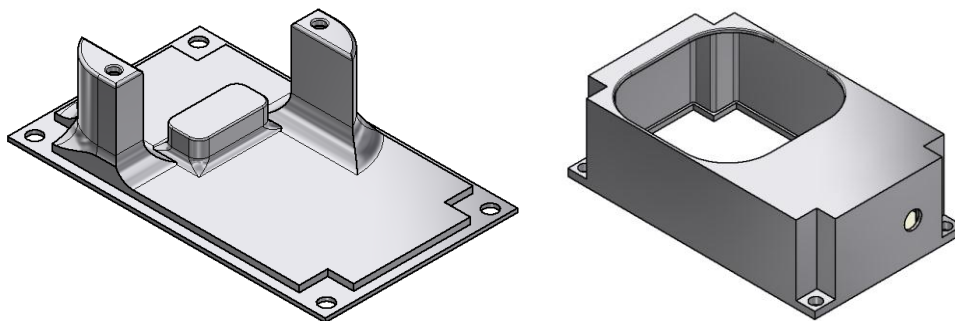
Los sensores seleccionados para este fin, son sensores inductivos de corta detección su modelo es LJ12A3-4-Z/BX un modelo fácil de encontrar en el medio y cumple con el rango de alcance de 4mm o menos para esta medición [43].

Para poder integrar todos estos elementos se necesita una estructura que soporte la válvula y permita que esta se desmontable como se especifica en los requerimientos del elemento detallados en la sección de selección de componentes, que se denominará “Soporte Válvula” y una tapa para este elemento que se denominará “Tapa Válvula”.



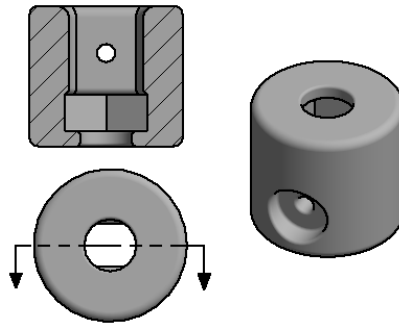
**Ilustración 30.** *Soporte válvula y Tapa válvula*

En esta estructura se deberá montar también el motor que será su sistema de accionamiento, que se denominará “Soporte Motor” y una tapa para este elemento que se denominará “Tapa Motor”.



**Ilustración 31.** *Soporte motor y Tapa motor*

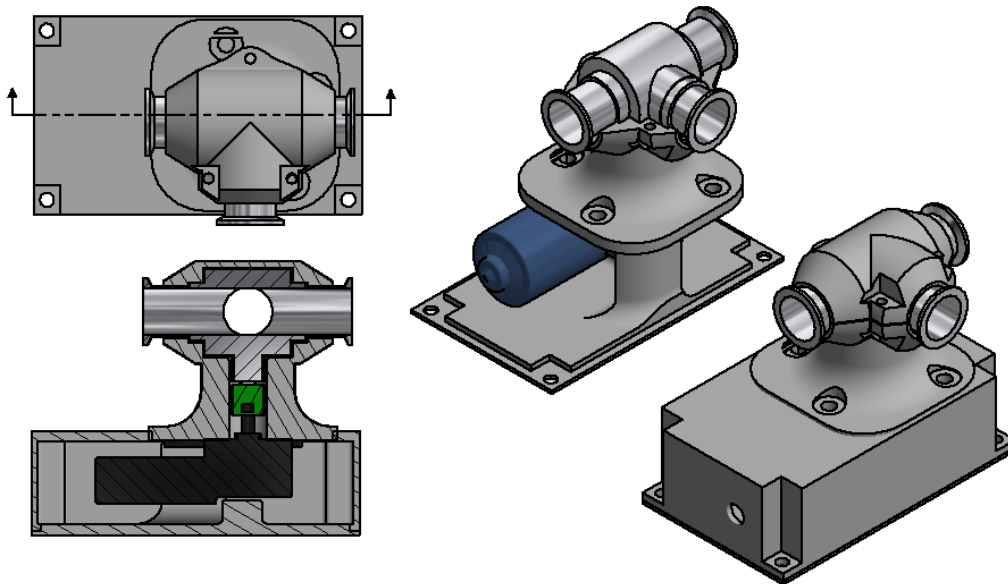
Así como también la conexión entre estos elementos, que se denominará “Adaptador Motor - Válvula”, el cual integra en un extremo un orificio que acopla en interior el eje de la válvula y al otro extremo una tuerca que acopla el motor de accionamiento.



**Ilustración 32.** *Adaptador Motor - Válvula*

Integra un elemento que indica su posición, diseñado en el Adaptador Motor - Válvula y los sensores que permitan la lectura de posición de este elemento, contemplados en el diseño con el fin de que sean montables en el Soporte Válvula.

Finalmente el ensamblaje de las diferentes estructuras diseñadas y la integración de sus respectivos componentes.



**Ilustración 33.** *Válvula actuada ensamblada*

La válvula actuada permite el control de accionamiento a cualquiera de sus 4 posiciones (Ilustración 28), mediante la activación de su motor, debido a comandos desde el PLC y su posición es verificada, por los sensores inductivos integrados para crear una verificación continua de su posición por razones de seguridad.

## **2.2.4 DISEÑO DE SISTEMA ELÉCTRICO / ELECTRÓNICO**

En esta sección se detalla el diseño de esta automatización, su estructura de control, tanto del sistema en general, como de cada tablero eléctrico distribuido a lo largo de toda la producción como del tablero principal de control, con sus características, necesidades, restricciones de propias y las conexiones entre las cajas correspondientes.

Comenzando con un esquema general de la arquitectura del sistema y más adelante separando cada parte que compone el mismo.

La (Ilustración 34) denota la forma en la que está compuesto el sistema, descompuesto según su nivel de operación, en el llamado Nivel 2, encontramos la estación de ingeniería, desde la cual se puede modificar, actualizar la programación de toda la planta de producción, esta está conectada al controlador principal, la estación de operario, que permite el accionamiento, monitoreo y control del sistema y en los subsiguientes Nivel 1 y Nivel 0, el control de procesos y de dispositivos de campo.

Tanto el control de procesos como de dispositivos de campo, están descompuestos por campo de acción, siendo estos de conexión entre procesos o procesos mismos, como son el calentamiento de agua, maceración, cocción y finalmente la conexión a la fermentación.

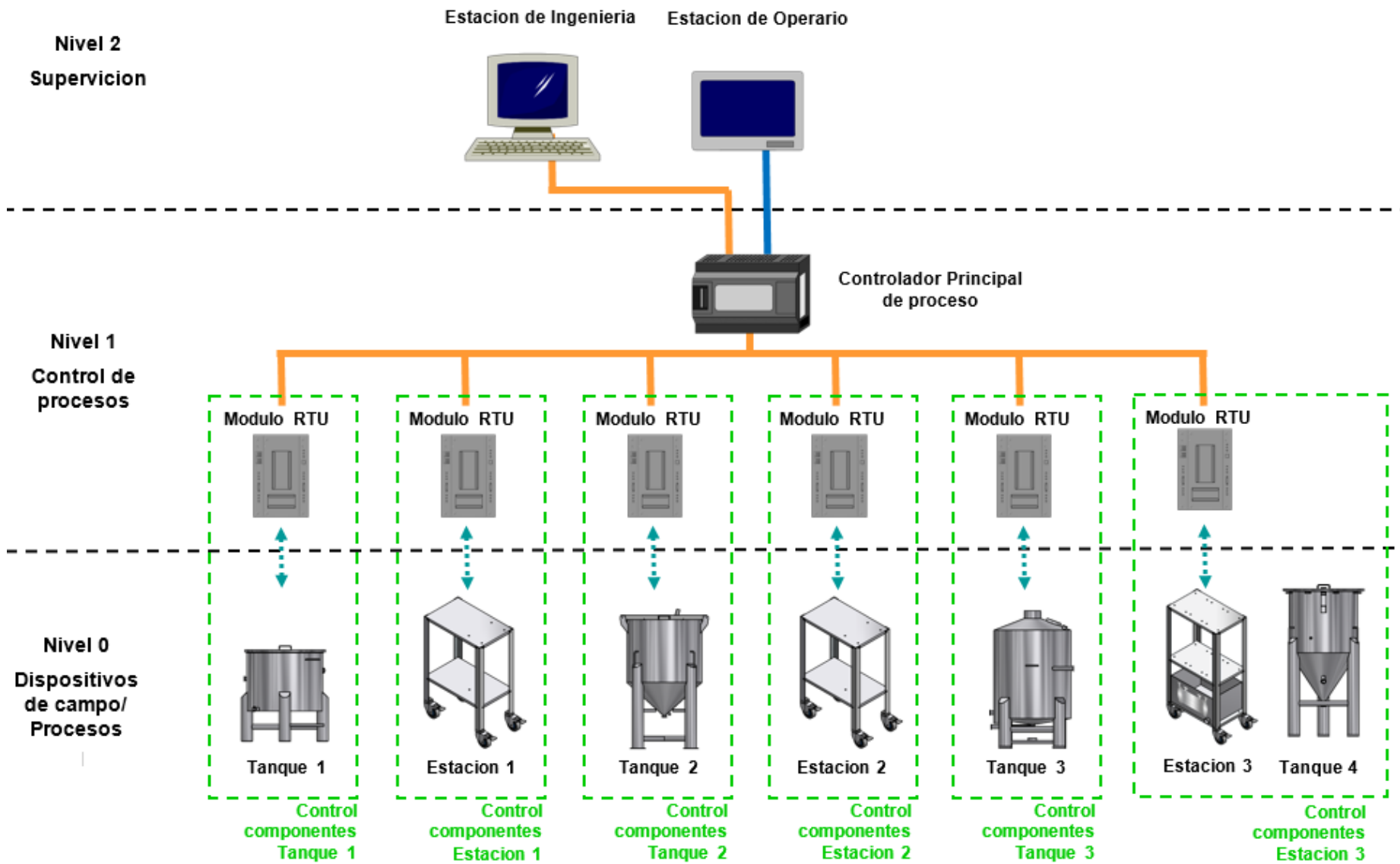


Ilustración 34. Arquitectura general del sistema

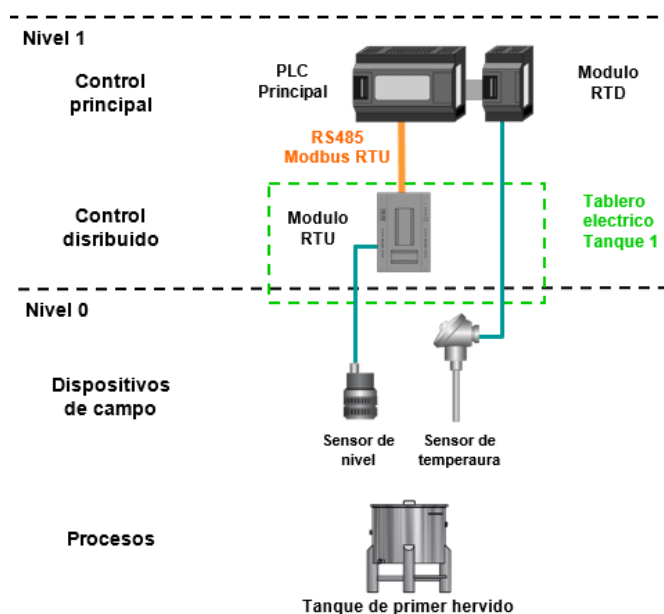
## TABLERO ELÉCTRICO TANQUE DE PRIMER HERVIDO

Se detalla las necesidades del tanque de primer hervido, los componentes que deberán ser conectados a este tablero y seguidamente el diseño del tablero.

**Tabla 2.** Necesidades y componentes, tablero eléctrico tanque de primer hervido

Necesidades	Componentes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimentación eléctrica del tablero</li> <li>• Medición de temperatura del tanque</li> <li>• Nivel del líquido contenido</li> <li>• Comunicación con el tablero principal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Sensor de temperatura RTD - PT100</li> <li>1 Sensor ultrasónico JSN-SR04T</li> <li>1 Switch de encendido</li> <li>1 Luz piloto de encendido</li> <li>1 Módulo RTU</li> </ul>

Se presenta la arquitectura de este sistema, el diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 1).



**Ilustración 35.** Arquitectura de control del tanque de primer hervido

El modelo presentado comprende las necesidades del agua que será ingresada al proceso de producción, como se ha explicado previamente, esta debe prepararse antes de ingresar al tanque macerador, pudiendo ser hervida primero o simplemente calentada a la temperatura justa, para esto se controla en tiempo real la cantidad de agua contenida en este tanque abierto mediante un sensor de nivel y la temperatura a la que se encuentra. Cuenta con un su respectiva unidad de transmisión remota, encargado de la adquisición de datos y el envío de la información recogida al controlador principal.

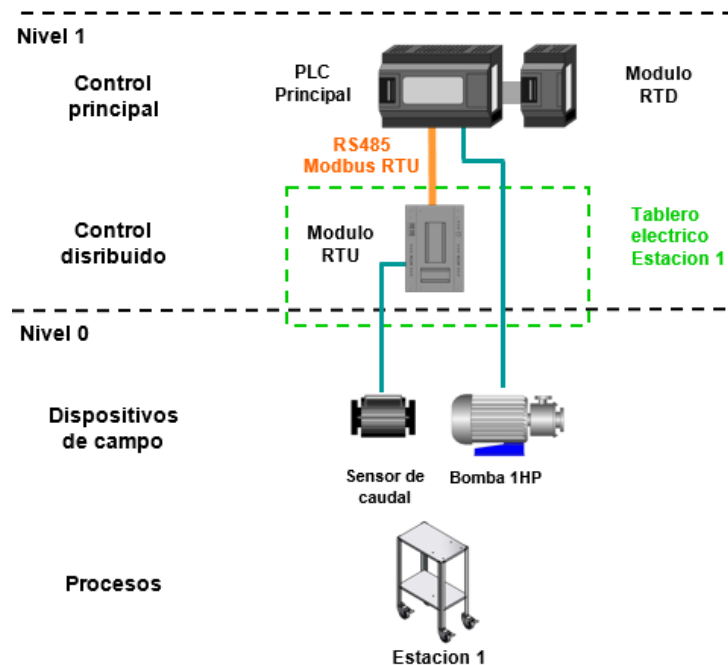
## TABLERO ELÉCTRICO ESTACIÓN 1

Se detalla las necesidades de la estación 1, los componentes que deberán ser conectados a este tablero y seguidamente el diseño del tablero.

**Tabla 3.** Necesidades y componentes, tablero eléctrico estación 1

Necesidades	Componentes
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentación eléctrica del tablero</li> <li>Medición de flujo enviado por la bomba</li> <li>Conexión para bomba de líquidos</li> <li>Comunicación con el tablero principal</li> <li>Bomba de trasvasado de líquidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Bomba, para trasvasado de líquidos</li> <li>1 Sensor de caudal de líquidos (GR-108)</li> <li>1 Switch de encendido</li> <li>1 Luz piloto de encendido</li> <li>1 Módulo RTU</li> </ul>

Se presenta la arquitectura de este sistema, el diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 2).



**Ilustración 36.** Arquitectura de control de la estación 1

El modelo presentado comprende las necesidades del interconexión entre tanques de primer hervido y de maceración, como se ha explicado previamente, esta estación cumple la función de permitir el trasvasado de fluido, por medio de la bomba integrada, y el monitoreo de la cantidad y caudal con que este fluido es enviado, mediante un sensor de flujo. Cuenta con un su respectiva unidad de transmisión remota, encargado de la adquisición de datos y el envío de la información recogida al controlador principal.

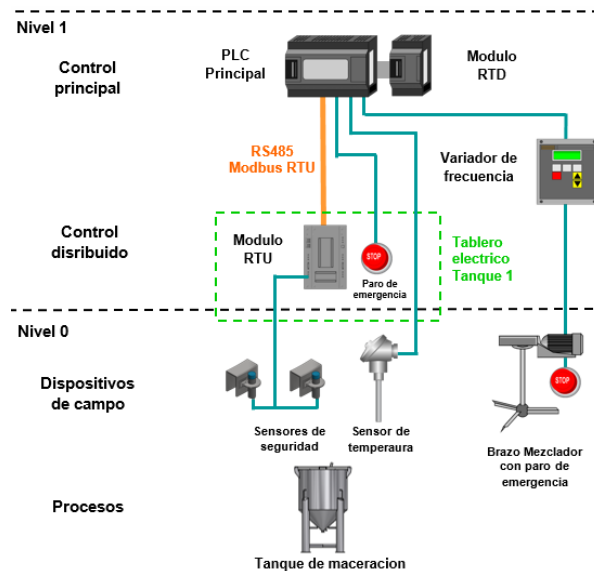
## TABLERO ELÉCTRICO TANQUE DE MACERACIÓN

Se detalla las necesidades del tanque de maceración, los componentes que deberán ser conectados a este tablero y seguidamente el diseño del tablero.

**Tabla 4.** Necesidades y componentes, tablero eléctrico tanque de maceración

Necesidades	Componentes
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentación eléctrica del tablero</li> <li>Medición de temperatura del tanque</li> <li>Sensores de seguridad en brazo agitador</li> <li>Botones de paro de emergencia para motor del agitador</li> <li>Conexión para motor trifásico</li> <li>Comunicación con el tablero principal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Sensor de temperatura RTD - PT100</li> <li>2 Sensores inductivos LJ12A3-4-Z/BX</li> <li>2 Botones de paro de emergencia</li> <li>1 Motor trifásico</li> <li>1 Switch de encendido</li> <li>1 Luz piloto de encendido</li> <li>1 Módulo RTU</li> </ul>

Se presenta la arquitectura de este sistema, el diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 3)



**Ilustración 37.** Arquitectura de control del tanque de maceración

El modelo presentado comprende tal como se ha explicado previamente las necesidades de control y monitoreo del tanque de maceración. Este integra un brazo mezclador del grano contenido en su interior y dos en la parte superior del tanque que cuentan con sensores de seguridad, botones de paro de emergencia en motor del brazo y en el tablero, también cuenta con control en tiempo real la temperatura a la que se encuentra el producto en su interior. Cuenta con un su respectiva unidad de transmisión remota, encargado de la adquisición de datos y el envío de la información recogida al controlador principal.

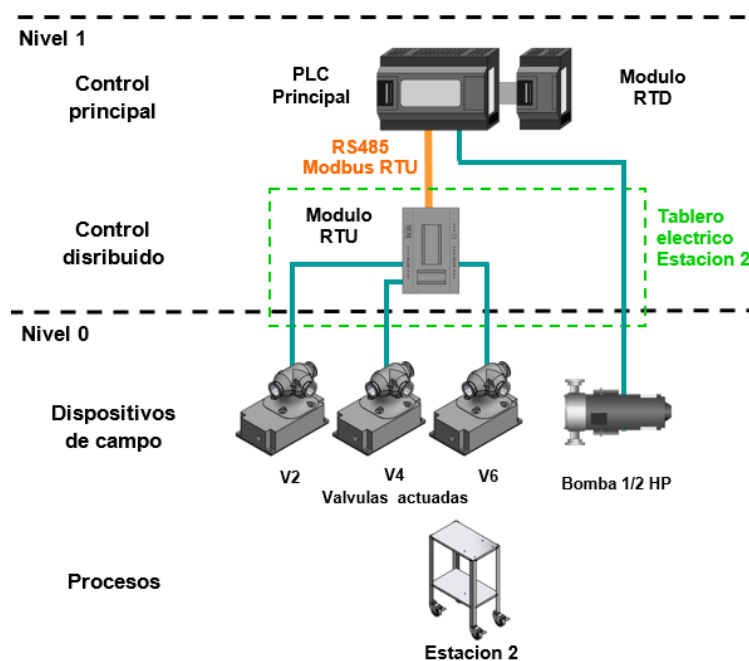
## TABLERO ELÉCTRICO ESTACIÓN 2

Se detalla las necesidades de la estación 2, los componentes que deberán ser conectados a este tablero y seguidamente el diseño del tablero.

**Tabla 5.** Necesidades y componentes, tablero eléctrico de estación 2

Necesidades	Componentes
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentación eléctrica del tablero</li> <li>Adquisición de señales de posición</li> <li>Conexión para bomba de líquidos</li> <li>Comunicación con el tablero principal</li> <li>Bomba de trasvasado de líquidos</li> </ul>	1 Bomba de alta temperatura, hasta 100°C 3 Motores de Válvulas actuadas 12 Sensores inductivos LJ12A3-4-Z/BX 1 Switch de encendido 1 Luz piloto de encendido 1 Módulo RTU

Se presenta la arquitectura de este sistema, el diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 4).



**Ilustración 38.** Arquitectura de control de la estación 2

El modelo presentado comprende las necesidades de la interconexión entre tanques de primer maceración y de cocción, tanto de trasvasado como de recirculación, por medio de la bomba integrada, esta presenta las características de trabajo en condiciones de alta temperatura, ideal para este proceso. La selección de direcciones de flujo es controlada mediante las válvulas actuadas, cada una con 4 sensores inductivos para garantizar sus correctos posicionamientos. Cuenta con su respectiva unidad de transmisión remota, encargado de la adquisición de datos y el envío de la información recogida al controlador principal.



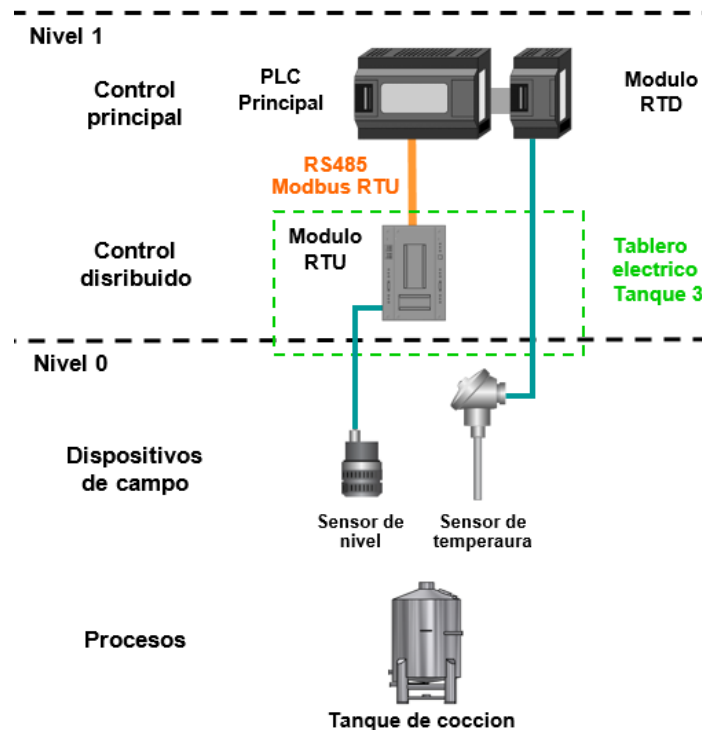
## TABLERO ELÉCTRICO TANQUE DE COCCIÓN

Se detalla las necesidades del tanque de cocción, los componentes que deberán ser conectados a este tablero y seguidamente el diseño del tablero.

**Tabla 6.** Necesidades y componentes, tablero eléctrico tanque de cocción

Necesidades	Componentes
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentación eléctrica del tablero</li> <li>Medición de temperatura del tanque</li> <li>Nivel del líquido contenido</li> <li>Comunicación con el tablero principal</li> </ul>	1 Sensor de temperatura RTD - PT100 1 Sensor ultrasónico, modelo JSN-SR04T 1 Switch de encendido 1 Luz piloto de encendido 1 Módulo RTU

Se presenta la arquitectura de este sistema, el diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 5).



**Ilustración 39.** Arquitectura de control del tanque de cocción

El modelo presentado comprende las necesidades del tanque de cocción, que se han explicado previamente, para esta parte del proceso se controla en tiempo real la cantidad de fluido contenido en este tanque semi-abierto mediante un sensor de nivel y la temperatura a la que se encuentra. Cuenta con su respectiva unidad de transmisión remota, encargado de la adquisición de datos y el envío de la información recogida al controlador principal.

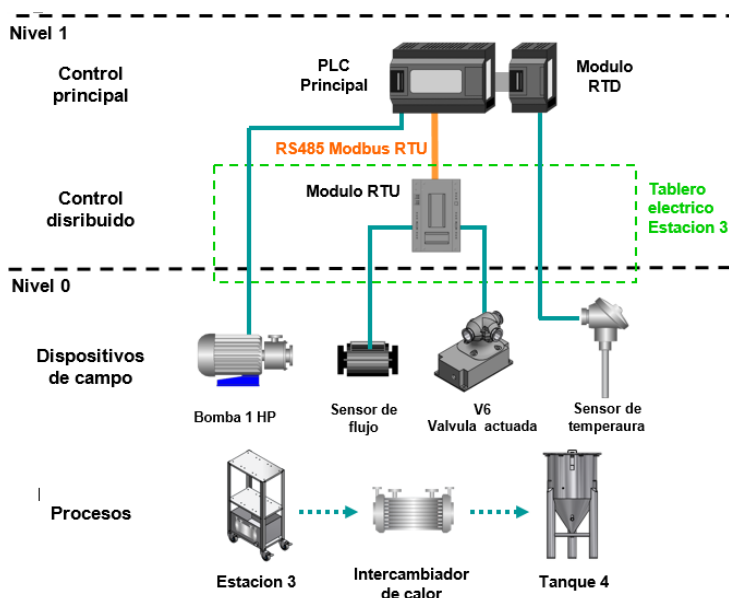
### TABLERO ELÉCTRICO ESTACIÓN 3

Se detalla las necesidades de la estación 3, los componentes que deberán ser conectados a este tablero y seguidamente el diseño del tablero.

**Tabla 7.** Necesidades y componentes, tablero eléctrico estación 3

Necesidades	Componentes
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alimentación eléctrica del tablero</li> <li>Adquisición de señales de posición</li> <li>Conexión para bomba de líquidos</li> <li>Temperatura del enfriador de placas</li> <li>Comunicación con el tablero principal</li> <li>Bomba de trasvasado de líquidos</li> <li>Intercambiador de calor</li> </ul>	1 Bomba, para trasvasado de líquidos 1 Sensor de temperatura RTD - PT100 1 Válvulas actuadas 4 Sensores inductivos LJ12A3-4-Z/BX 1 Switch de encendido 1 Luz piloto de encendido 1 Módulo RTU 1 Enfriador de placas

Se presenta la arquitectura de este sistema, el diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 6).



**Ilustración 40.** Arquitectura de control de la estación 3

El modelo presentado comprende las necesidades del interconexión entre tanques de cocción y de fermentación, tanto de trasvasado como de recirculación, por medio de la bomba integrada en la estación. La selección de direcciones de flujo es controlada mediante la válvula actuada, con 4 sensores inductivos para garantizar sus correctos posicionamientos. En el trasvasado al tanque de fermentación se controla en tiempo real la cantidad de fluido enviado y la temperatura a la que se encuentra al pasar por el enfriador de placas. Cuenta con un su respectiva unidad de transmisión remota, encargado de la adquisición de datos y el envío de la información al controlador principal.

## TABLERO ELÉCTRICO PRINCIPAL DE CONTROL

Se detalla las necesidades del tablero principal, los componentes que deberán ser conectados a este tablero y seguidamente el diseño del tablero.

**Tabla 8.** *Necesidades y componentes, tablero eléctrico principal*

<b>Necesidades</b>	<b>Componentes</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alimentación eléctrica del tablero</li></ul>	4 Elementos de seguridad eléctrica
<ul style="list-style-type: none"><li>• Protecciones para alimentación eléctrica</li></ul>	1 Fuente eléctrica 5V 2A
<ul style="list-style-type: none"><li>• Adquisición de señales de módulos RTU</li></ul>	1 Fuente eléctrica 12V 20A
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fuentes de alimentación a distintos voltajes</li></ul>	1 Fuente eléctrica 24V 10A
<ul style="list-style-type: none"><li>• Adquisición de señales de temperaturas</li></ul>	1 PLC KINCO K506-24AR
<ul style="list-style-type: none"><li>• Controlador del sistema (PLC)</li></ul>	1 Variador de velocidad (motor trifásico)
<ul style="list-style-type: none"><li>• Controlador de velocidad de motor trifásico</li></ul>	12 Relés 24V DC, modelo MK2P-I
<ul style="list-style-type: none"><li>• Control de válvulas actuadas</li></ul>	1 HMI KINCO, modelo MT4434TE
<ul style="list-style-type: none"><li>• Paro de emergencia para motor del agitador</li></ul>	1 Botón de paro de emergencia
<ul style="list-style-type: none"><li>• Pantalla interfaz hombre máquina (HMI)</li></ul>	1 Switch general de encendido

Se presenta la arquitectura de este sistema, el diseño del tablero que contiene los componentes mencionados se presenta en la sección de anexos (Anexo 7).

El modelo presentado comprende las necesidades de interconexión entre el tablero principal. Los componentes principales del tablero son el controlador principal que monitorea toda información enviada por cada módulo RTU y mediante circuitos de fuerza, realiza el accionamiento y control de bombas, brazo agitador y válvulas actuadas. También en el mismo tablero se encuentra la interfaz hombre – máquina, llamada pantalla HMI, es la estación desde donde el operario podrá realizar interacciones con el sistema.

Una vez introducida cada parte que compone el sistema de automatización del presente proyecto y como se integran entre ellas, es oportuno de presentar también la arquitectura del sistema completo

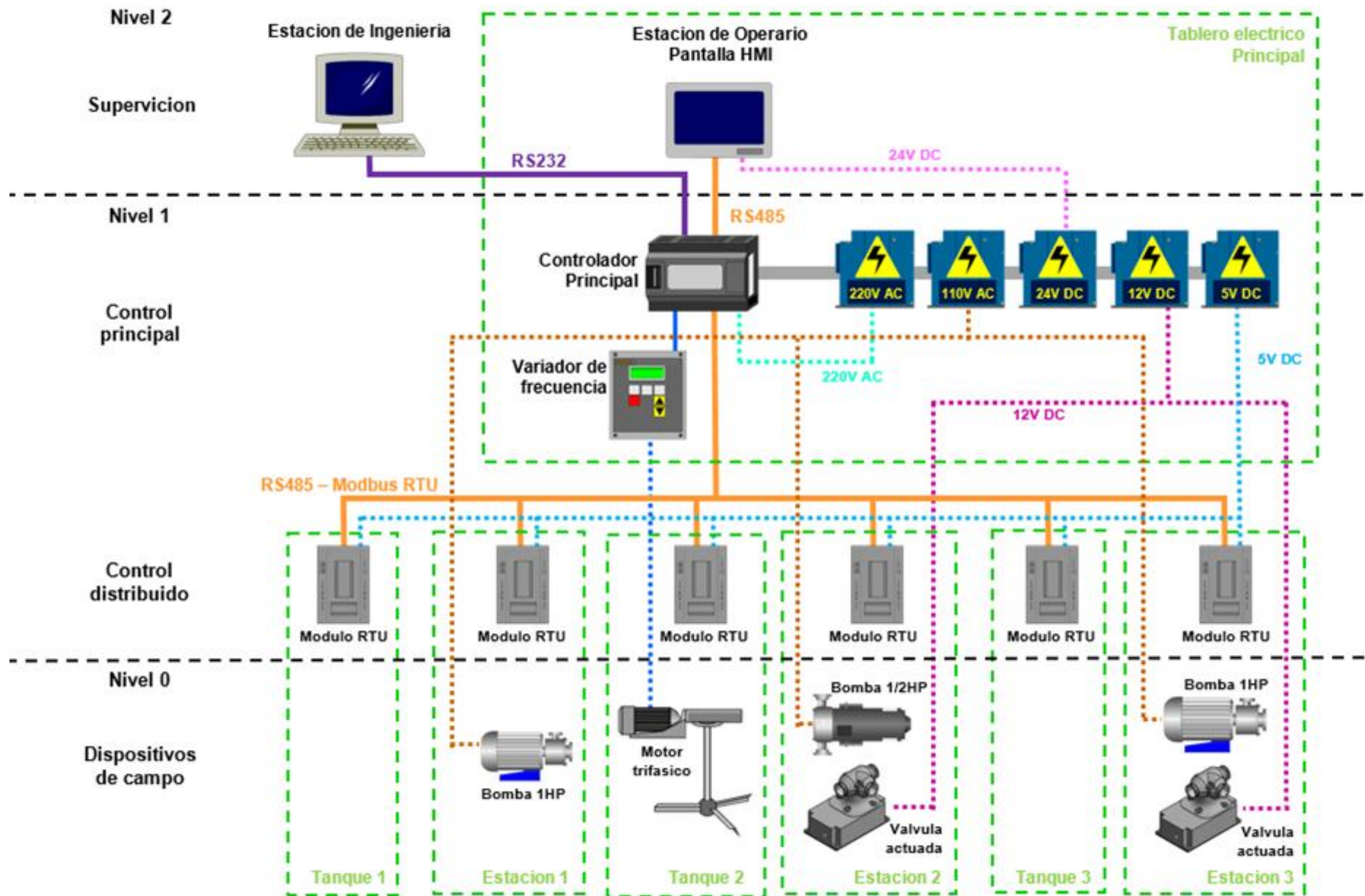


Ilustración 41. Arquitectura de control del tablero principal

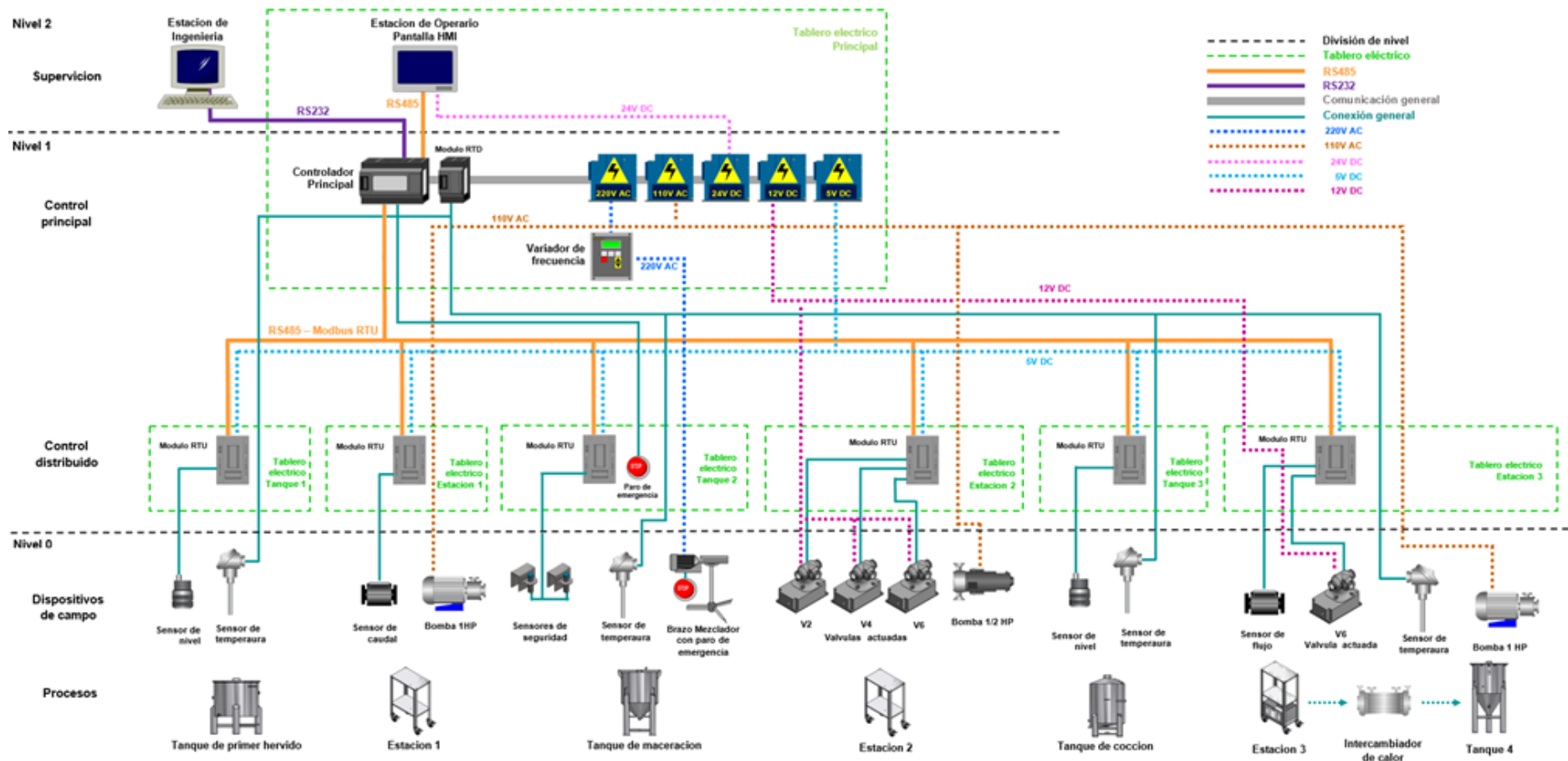


Ilustración 42. Arquitectura de control del sistema integrado

## 2.2.5 ADAPTACIONES DE INTEGRACIÓN Y MONTAJE

En esta sección se explica las adaptaciones que deben ser realizadas a los ciertos sensores y actuadores, en el sistema de producción, considerando las características necesidades y restricciones de propias y específicas.

**SENSORES DE TEMPERATURA:** Para el montaje de los sensores de temperatura, existe la construcción de cuatro adaptadores de rosca 1/2" NPT a ferrul sanitario de 1" en acero inoxidable

**SENSORES DE NIVEL:** Para el montaje de los sensores de nivel, existe la necesidad de adaptadores para el montaje en los tanques de primer hervido y en el tanque de cocción, se fabrican mediante impresión 3D con material PLA (Polímero de Ácido Poliláctico).

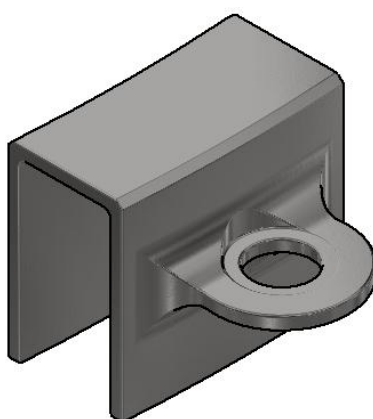


**Ilustración 43.** *Adaptadores sensores de nivel Tanque 1 y Tanque 3*

**SENSORES DE CAUDAL:** Para el montaje de los sensores de caudal, existe la necesidad de montaje adaptadores de 1" NPT a manguera de 1 1/2" para el montaje en las mangueras del proceso.

**SENSORES DE POSICIÓN:** Para el montaje de los sensores de posición, de los realiza directamente en un componente de las válvulas actuadas, mediante las tuercas presentes en el sensor.

**SENSORES DE SEGURIDAD DE TAPAS DE MACERADOR:** Para el montaje de los sensores de seguridad, existe la necesidad de adaptadores para el montaje en el tanque de maceración, se fabrican con impresión 3D con material PLA.



**Ilustración 44.** *Adaptadores de sensores de seguridad*

### **2.3 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA**

La integración se divide en cuatro secciones; en la primera se detalla la elaboración de las placas electrónicas diseñadas para los módulos RTU, la fabricación de las válvulas actuadas para diferentes partes del proceso y de las estaciones metálicas.

La segunda sección se detalla la creación de los tableros eléctricos correspondientes a cada parte del proceso, así como su instalación y conexiones en las cajas correspondientes

La tercera sección expone las pruebas de funcionamiento, de los equipos y el sistema en conjunto, calibración de equipos y actuadores.

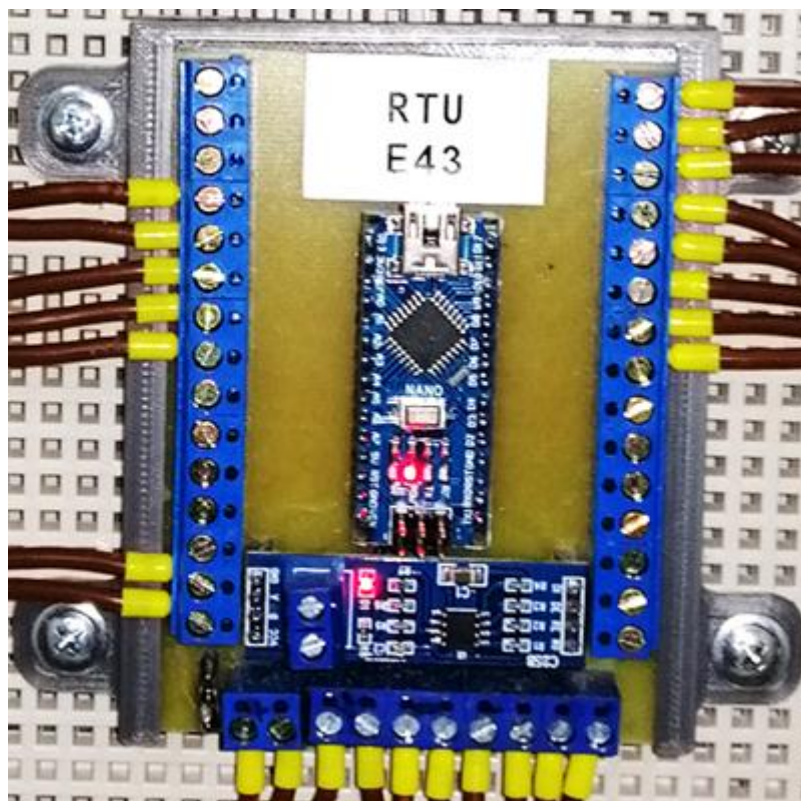
Por ultimo en la cuarta sección explica el funcionamiento del sistema implementado, basado en los diagramas de programación generados para el controlador lógico programable.



### 2.3.1 CONSTRUCCIÓN DE MÓDULOS RTU

La elaboración de las placas PCB de los módulos RTU, está basada en los diseños antes presentados, para su elaboración se utilizó un método de fabricación denominado artesanal, que consta de imprimir el diseño en papel de transferencia térmica, mediante calor, transferir a una placa de cobre PCB virgen y mediante el uso de ácido férrico, retirar el material innecesario.

Terminado lo anterior, se procede con las perforaciones para el montaje de componentes, el proceso de suelda de los componentes de la placa y finalmente la inspección de la correcta fabricación de estas placas. Mediante este proceso se obtiene las placas electrónicas de los módulos RTU, para su integración en los diferentes tableros eléctricos.



**Ilustración 45.** Módulo RTU instalado en los tableros de control



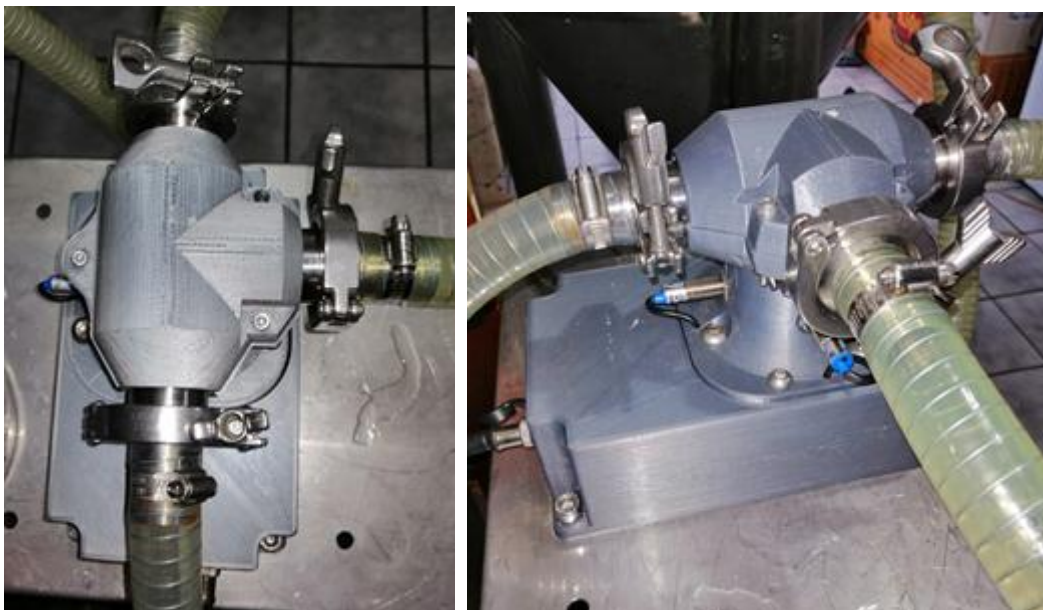
### 2.3.2 CONSTRUCCIÓN DE VÁLVULAS ACTUADAS

La elaboración de las válvulas actuadas, está basada en los diseños antes presentados, debido a la complejidad de la estructura que soportara estaos componentes se fabrican mediante tecnología de fabricación por adición, denominado impresión 3D con material PLA, debido a que es un plástico de buena presencia mecánica.

Terminada la construcción, se procede con la inspección de calidad de los elementos y su ensamblaje para la utilización en la presente implementación.



**Ilustración 46.** Partes para ensamblaje de las válvulas actuadas



**Ilustración 47.** Válvulas actuadas ensambladas

### 2.3.3 CONSTRUCCIÓN DE TABLEROS ELÉCTRICOS

Se procedió con la elaboración de los tableros basados en sus especificaciones propias y en los diseños antes presentados y posteriormente la inspección de la correcta fabricación de estos tableros.



**Ilustración 48** Tablero de estación de control general del sistema



**Ilustración 49.** Tableros eléctricos de Tanque 1 y Estación 1



**Ilustración 50.** Tableros eléctricos de Tanque 2 y Estación 2



**Ilustración 51.** Tableros eléctricos de Tanque 3 y Estación 3

Finalmente se realiza pruebas individuales y por separado de cada tablero, las conexiones a los tableros tanto de los componentes que deben conectarse de los diferentes tanques y estaciones. Así como también todas las conexiones entre tableros y el funcionamiento eléctrico de todo el sistema interconectado.



**Ilustración 52.** Sistema completo ensamblado e interconectado

Concluidas y validadas las pruebas de funcionamiento, eléctricas y electrónicas de los componentes implementados, se procede a la programación de los sistemas digitales, como son los Módulos RTU, equipo Controlador Lógico Programable (PLC) y pantalla interfaz Hombre - Máquina (HMI).

### **2.3.4 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INTEGRADO**

Para presentar el funcionamiento del sistema, se describe sus módulos por separado y la integración completa en el análisis comparativo de funcionalidad del sistema. Dividido en tres secciones, la primera presenta el funcionamiento de los módulos RTU y la forma en que se conectan al sistema de tableros eléctricos. La segunda sección, presenta el funcionamiento del equipo Controlador Lógico Programable (PLC) y sus conexiones al sistema. Finalmente la tercera sección, presenta el funcionamiento de la pantalla interfaz Hombre - Máquina (HMI)

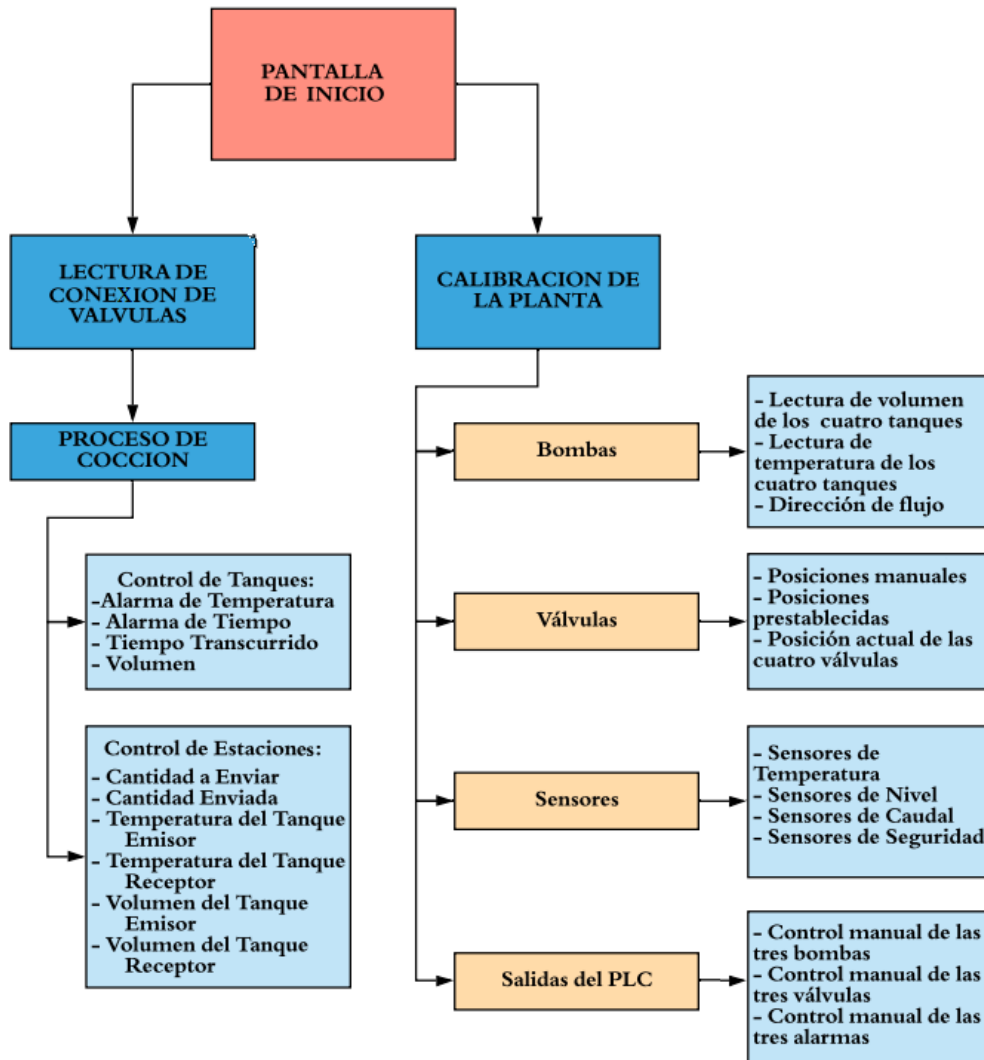
**MÓDULOS RTU:** Desarrollan el papel general una adquisición de datos en los sensores instalados en la planta, como son, sensores ultrasónicos de distancia que permiten determinar el volumen de producto existente en diferentes tanques, sensores de caudal que determinan los volúmenes que son trasvasados de un proceso a otro. Sensores inductivos presentes en las válvulas actuadas, para determinar su posición y sensores inductivos que permiten controlar la apertura de tanques durante procesos de alto riesgo, como las paletas mezcladoras del tanque de maceración.

Estos módulos distribuidos en la planta realizan esta adquisición de datos, y son enviados al plc de control, mediante comunicación Modbus RTU montada sobre una red RS485, para que el PLC, pueda tomar las respectivas acciones, dependientes de cada situación. En estos módulos, una vez implementados, se verificó que tanto la adquisición como transmisión de datos, se puede realizar de manera fluida y confiable.

**CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC):** El controlador principal de la planta, cumple con la función de interpretar los datos recibidos por los diferentes módulos RTU, convertir estos datos en la información, de cómo se está desarrollando el proceso y tomar las acciones correspondientes para cada sección. Cuenta con rutinas y subrutinas, para presentar la información del proceso, mediante la pantalla HMI y comandar los diferentes actuadores de la planta.

**PANTALLA INTERFAZ HOMBRE - MÁQUINA (HMI):** En la pantalla HMI el operario puede constar, todas las variables medidas por el sistema, así como el estado de los actuadores del proceso y gracias a la programación existente en el PLC, el operario puede programar las alarmas de tiempos y temperaturas por cada parte del proceso, manteniéndolo informado y alerta, de lo que sucede en la producción.





**Ilustración 53.** Diagrama de flujo de operación del interfaz

La descripción del funcionamiento de la interfaz hombre-máquina (HMI), se realizó en base a las opciones de interacción que nos permite realizar con el sistema. Esta se presenta como un componente fundamental en esta automatización, puesto que desde esta interfaz el usuario puede interactuar con la operación de la planta, desde la calibración de los equipos, hasta el control a tiempo real de alarmas y volúmenes de flujo.

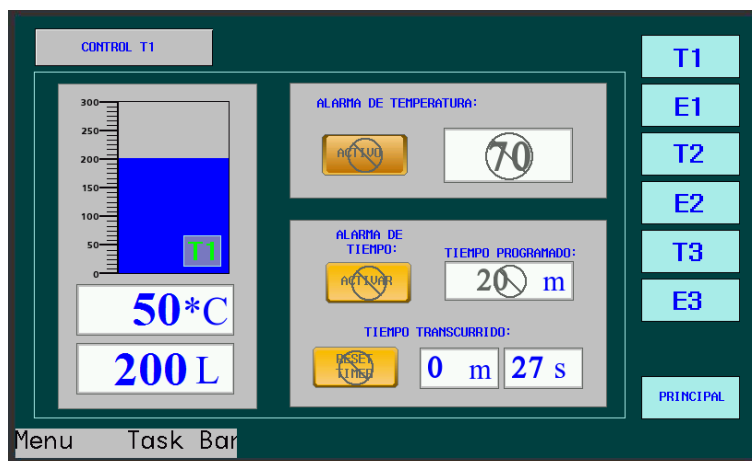
Al encender el sistema de control de la planta nos encontramos con una pantalla de inicio que presenta las opciones de ingresar al proceso de cocción, destinada al operario de la planta, ya que lo guiará en el proceso de seguir la receta del maestro cervecero. Para la cual primero se verificará que los diferentes actuadores se encuentren en línea y operativos para el proceso, caso contrario no permitirá el proceso de cocción, para evitar errores durante la producción. Y la segunda opción de calibración de la planta, presenta una a una todas las diferentes posibilidades y configuración que puede realizar todo el sistema.



**Ilustración 54.** Interfaz de inicio del sistema

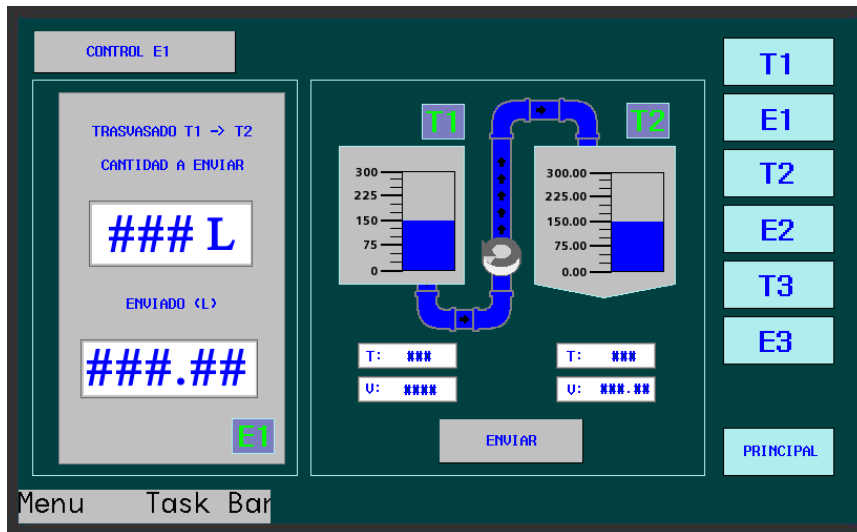
Primero se describirá el funcionamiento de la sección del proceso de cocción de la cervecería, como se mencionó antes, una vez que está verificado que todos los diferentes actuadores se encuentren en línea el programa permite ingresar al proceso de cocción el proceso de cocción está compuesto de seis pantallas uno por cada control distribuido existente en el sistema, es decir por cada sección del proceso.

En cada uno de los tres diferentes tanques se puede controlar la temperatura a la que está el líquido contenido en su interior la cantidad de volumen que maneja, se puede programar alarmas de temperatura que se emitirán tanto de forma visual como sonoras si es que se llega a estar cerca o sobrepasar un límite o límites de temperatura configurados, así como también se puede configurar alarmas de tiempo, esto debido a que en ciertas secciones del proceso se tiene que controlar el tiempo al que está expuesto a una temperatura el producto, de la misma manera presenta alarmas visuales y auditivas para que el operario esté atento al proceso pero al mismo tiempo puedo desarrollar otras actividades.

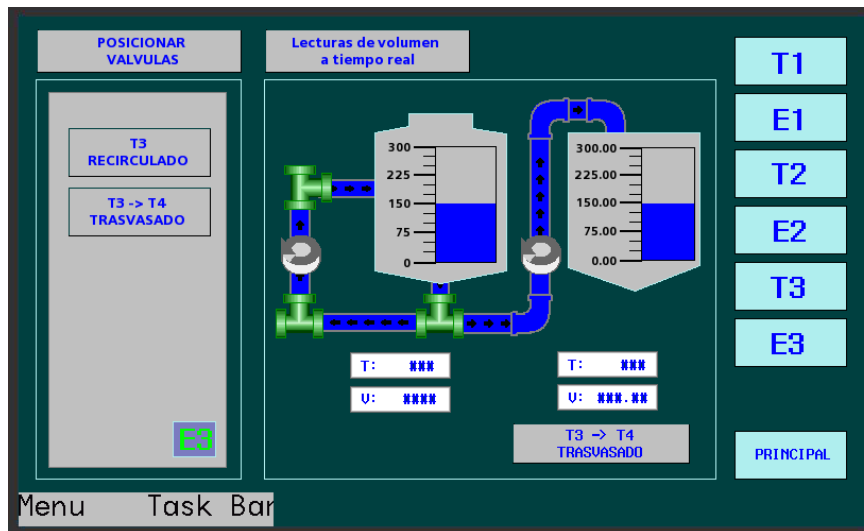


**Ilustración 55.** Interfaz de control de tanques

En la operación de las diferentes estaciones se cuenta con el control de las bombas, el volumen enviado desde un tanque a otro, o la posibilidad de cambiar las configuraciones de las válvulas actuadas ya que estas presentan opciones de recirculado y trasvasado de cada tanque, dependiendo de en qué parte del proceso se encuentre el operario.

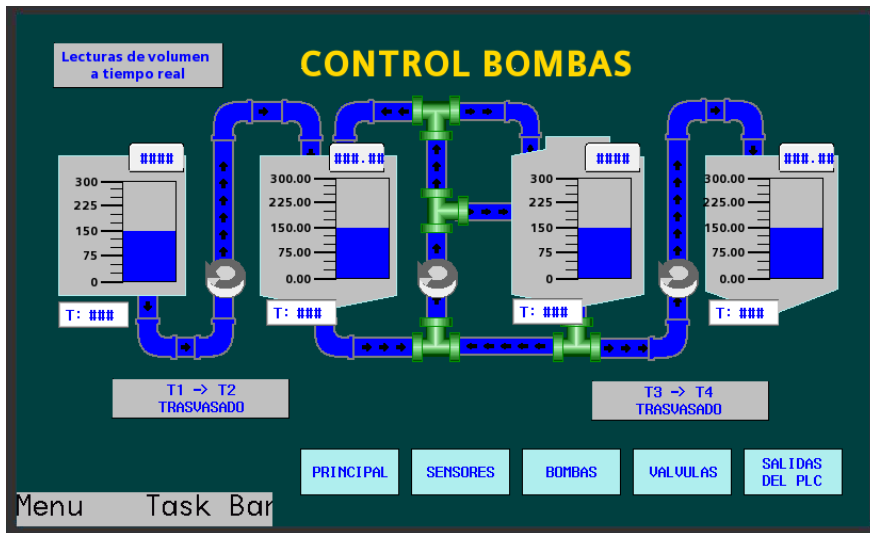


**Ilustración 56.** Interfaz de control de estación 1



**Ilustración 57.** Interfaz de control de estaciones 2 y 3

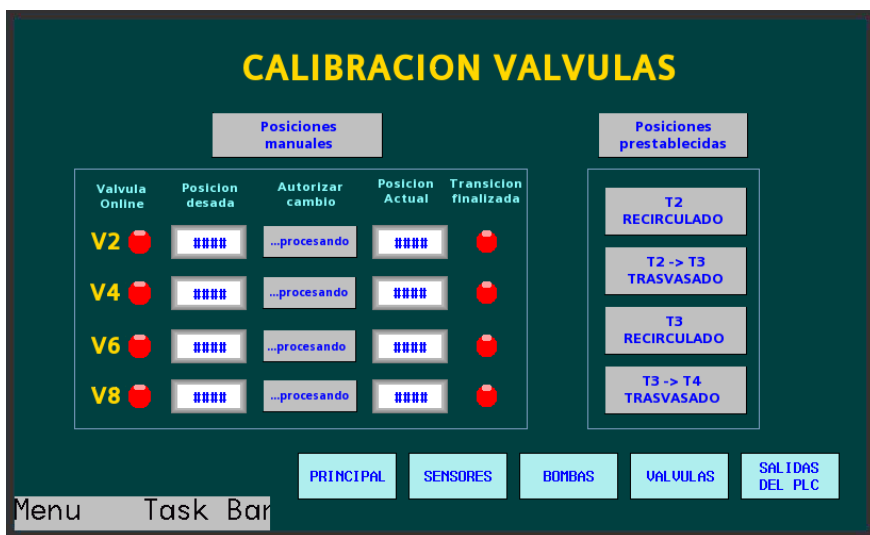
Dentro de la calibración de la planta Contamos con cuatro diferentes pantallas para la configuración de diferentes capacidades que nos presenta el sistema, primero se abordara el control de bombas que nos presenta una interfaz donde se permite controlar el volumen de cada tanque la dirección que ha tomado el flujo y la activación de las diferentes bombas para trasvasado o recirculado de producto.



**Ilustración 58.** Interfaz de calibración, control de bombas

La segunda pantalla de configuración corresponde a las válvulas actuadas, las cuales pueden ser colocadas en las posiciones preestablecidas de recirculado de tanque de maceración, trasvasado tanque de maceración a tanque de cocción, recirculado tanque de cocción y trasvasado de tanque de cocción al enfriador de placas, y posteriormente al tanque de fermentación.

Así también se puede posicionar de manera manual en cualquiera de las cuatro posiciones de cada válvula obteniendo un total de 24 configuraciones posibles para el sistema de válvulas actuadas.



**Ilustración 59.** Interfaz de calibración, control de válvulas



La tercera pantalla de configuración corresponde a los diferentes sensores instalados dentro de la planta, en los cuales se puede verificar las temperaturas de cada uno de los tanques, y de la salida del intercambiador de calor. El nivel correspondiente a los tanques de primer hervido, tanque de cocción y la cantidad de producto enviado en los trasvasados de tanque de primer hervido a tanque de maceración y de tanque de cocción al fermentador. Adicionalmente el estado del sistema de seguridad para el tanque macerador que cuenta con un brazo mezclador, para que esté brazo mezclador solamente funcione cuando está completamente sellado buscando la seguridad de los operarios.



**Ilustración 60.** Interfaz de calibracion, control de sensores

Finalmente la cuarta pantalla de configuración corresponde a las salidas del PLC, es decir nos permite activar individualmente cada una de las bombas válvulas o sistemas de alarmas independientemente de si se está o no siguiendo un proceso de cocción para cualquier necesidad presentada por el operario de la planta.



**Ilustración 61.** Interfaz de calibracion, control de salidas del PLC

### 2.3.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE FUNCIONALIDAD DEL SISTEMA

Con la finalidad de asegurar la funcionalidad del sistema, una vez terminada la etapa de integración, se realizó la producción de un lote de cerveza. Gracias a este lote de producción y al realizado previo a la implementación del sistema se pudo realizar un **análisis comparativo** entre el antes y después. Correspondientes el primero a una parada realizada con el personal de la cervecería “Cuatro Ríos” mientras se realizaba el análisis del proceso de producción y el segundo posterior a la implementación.

Las diferencias encontradas entre la utilización de la planta antes y después de la integración, fundamentalmente radican en la cantidad de trabajo necesario para la operación de la planta y el tiempo muerto para revisión de equipos, variables físicas, conexiones del circuito de mangueras y accionamientos dentro de la operación. Ambos lotes de producción se realizaron bajo los mismos parámetros de receta que definían el estilo de cerveza. Se expone una descripción del proceso antes y después para poder respaldar la información antes presentada:

**ANTES DE LA INTEGRACIÓN:** Se necesitó de dos operarios que estén atentos del proceso para no pasarse de las temperaturas y tiempos que indica la receta.

El principal inconveniente fue que al no tener sensores en el proceso los operarios solamente podían constatar las temperaturas a la que se exponía el producto mediante sensores portátiles, llevados es de un tanque a otro durante el proceso lo cual aparte de producir ineficiencia en el tiempo que el operario tenía para la producción también podrían generar contaminación cruzada de una sección a otra del proceso.

Tampoco se contó con la información de los volúmenes de producto que se estaban fabricando, puesto que no existía ningún dispositivo que tome esta información, en cada tanque o cuántos litros se perdían tanto en mangueras como en caso de existir derrames durante las conexiones.

Otro inconveniente, fue que al no contar con un circuito fijo de tuberías o mangueras que puedan transportar el producto éstas debían necesariamente ser reconectadas de una parte a otra del proceso. Y durante estas reconexiones existía el problema de pérdida de producto en las mangueras o en caso de mala manipulación, derrames.

Otro punto a destacar, fue que los accionamientos de las bombas con las que realizaban el traspasado era realizado de forma manual en los tomacorrientes de la planta lo cual podía ocasionar exposición a accidentes laborales, sobreesfuerzos en estos equipos en el caso de no estar preparados para ser encendidos o que por descuido de un operador se podría enviar producto a secciones donde no se necesitaba en ese momento.

Así que sin contar el tiempo propio de producción existía tiempo y esfuerzo utilizado por los operarios para tareas que tomaban tiempo del mismo, como mover mangueras desplazarse a diferentes puntos de la planta para accionar bombas o revisar que las temperaturas en los diferentes tanques no se puedan elevar o disminuir, más del rango permitido por la receta, si el operario estaba ocupado y no podía revisar o estar tomando muestras del proceso. Sumando aproximadamente cerca de tres horas durante todo el proceso de cocción en las cuales el operario no estaba pendiente completamente de verificar la calidad del producto.

**DESPUÉS DE LA INTEGRACIÓN:** Una vez implementada el sistema de monitoreo y control de procesos se pudieron solventar varios de estos inconvenientes, como son que desde una estación de control se podían monitorear los parámetros de funcionamiento de la planta, de todos los puntos críticos y alarmas en caso desviaciones de la receta.

Así también al contar con un circuito de tuberías fijo, el operario quedaba completamente deslindado desde invertir tiempo en realizar conexiones o desconexiones en los puntos del circuito por el cual se transporta el producto, puesto que ahora se cuenta con un sistema de válvulas actuadas que redirigen el flujo del material repetir el proceso en el que se encuentren optimizando la cantidad de mangueras a utilizarse o la cantidad de conexiones a utilizarse así como el tiempo de posicionarlas correctamente. El operario no tiene que desplazarse a diferentes puntos para el accionamiento de los actuadores de la planta puesto que desde un sistema o desde una estación de control el operario puede acceder las bombas y válvulas de toda la planta. El operario puede también conocer la información de las diferentes variables del proceso gracias a la integración del sistema, a tiempo real el volumen, la temperatura y el tiempo que lleva cada proceso.

Todo este sistema permite la estandarización de cada lote de producción, pudiendo seguir a pie de la letra la receta creada por el maestro cervecero, sin incurrir en diferencias de temperaturas o volúmenes, en el proceso. Factores que son cruciales para definir el color, sabor, olor y características propias de cada estilo de cerveza.

# RESULTADOS

En esta sección del documento se van a presentar una síntesis de los resultados obtenidos del desarrollo del presente proyecto, el cual se halla relacionado al entorno de aplicación tecnológica para la solución de un problema, esta solución está dividida en cuatro puntos principales. Esta sección corresponde a una síntesis de resultados en función del objetivo del proyecto.

El **PRIMER PUNTO** para realizar este proyecto de aplicación tecnológica, es un análisis del proceso de producción de la cerveza, de forma teórica, basado en investigación sobre el tema, teoría de fabricación de cerveza así como también de las materias primas utilizadas en el proceso y el estudio del proceso de fabricación de la cerveza. Y de forma práctica, mediante el estudio de todos los equipos de planta, presentados en la sección de equipos de producción, al acompañamiento del maestro cervecero de la cervecería y al estudio realizado dentro del proceso de producción de los lotes de cerveza realizados con nuestra presencia.

Logrando comprender el funcionamiento del proceso con sus diferentes etapas de producción y variables físicas, que deberán ser monitoreadas y controladas, sintetizados en el diagrama de bloques, presentando el funcionamiento del proceso. Lo cual fue un procedimiento crucial para entender los indicadores clave dentro de la estandarización de un lote de producción de cerveza, siendo estos las temperaturas que alcanza el producto su respectivo el tiempo en cada escalón de temperatura, el volumen que ingresa así como el que sale de cada proceso, el pH, la densidad, los diferentes caudales manejados por las bombas y la materia prima que deberá interactuar en cada una de las diferentes partes del proceso de producción.

Cabe mencionar que antes del planteamiento del presente proyecto la cervecería “Cuatro Ríos” contaba con sus equipos y herramientas de producción artesanal, sin contar con equipos tecnológicos, debido a este factor, se presentó la restricción de que tanto el diseño como la integración del proyecto debían adaptarse a estructura artesanal de la planta, estos equipos base presentados en la sección de equipos de producción de la cervecería. En base a esta restricción y al funcionamiento completo del proceso se realizó el análisis de los componentes a ser intervenidos o que podían ser integrados a la línea de producción para permitir la integración del sistema de monitoreo y control, objetivo del proyecto.

Estos componentes son los que permiten el procesamiento de información de la producción, medición las variables del proceso, componentes críticos que en caso de fallo dañarían el lote de producción y control de elementos del proceso fuerza, debidamente explicados en la sección de componentes a ser intervenidos. Posteriormente se procedió a la selección de componentes del mercado, que satisficieran las necesidades del proceso.

Como **SEGUNDO PUNTO**, una vez analizado y comprendido el proceso se procede con el diseño del sistema de monitoreo y control en los procesos de cocción y fermentación para la planta de producción, presentado en la sección de diseño del sistema. Este diseño está compuesto de por diferentes frentes de desarrollo, como el diseño de las estaciones mecánicas que fueron integradas al proceso, el diseño de los módulos RTU que permitió integrar un control distribuido del sistema, el diseño de las válvulas actuadas que permiten redireccionamiento del flujo del proceso, el diseño de cada tablero eléctrico que existirá en los controles del proceso, y adecuaciones necesarias para la integración del sistema.

Entre los componentes que deben ser construidos para esta implementación, debido a las especificaciones que debía cumplir cada elemento, se presentan las válvulas actuadas y los módulos RTU. Estos módulos fabricados en base a un microcontroladores ATmega328P, montados sobre placas de desarrollo Arduino Nano, permiten realizar la toma de datos de sensores en las válvulas actuadas, caudales, volúmenes, así como otros elementos de seguridad y posteriormente al envío de estos datos al PLC de control de planta, mediante un módulo de comunicación, que nos permite establecer comunicación Modbus RTU, sobre una red RS485. Presentan un claro beneficio en esta implementación ya que al obtener unidades que reciban las señales generadas por los sensores, las transformen en información sobre las diferentes variables medias y se envíen de forma digital al controlador principal, evita el problema de que se pierdan mediciones o se ocupe memoria innecesaria del controlador principal para leer cada señal enviada con todos los sensores integrados al sistema. Presentando su desarrollo completo, restricciones, funcionamiento y beneficios en la sección de diseño de módulos RTU.

Otro de los componentes construidos para esta implementación, es de válvulas actuadas, que permitan el redireccionamiento del flujo, dependiendo de la etapa del proceso en que se encuentre la producción, debido a que se cuenta con un circuito de conexiones fijas de tuberías que cuenta con varias posibilidades de configuración.

Estas válvulas actuadas son desarrolladas cumpliendo las necesidades específicas de esta planta, en base a válvulas de grado sanitario en acero inoxidable manuales, mediante la adaptación de un motor actuador, que permita el accionamiento de la válvula y que admiten la integración de sensores de posición a su estructura, para que permitan asegurar el correcto funcionamiento y configuración de cada válvula. Presentando su desarrollo, restricciones, funcionamiento y beneficios en la sección diseño de válvulas actuadas.

Así como también del sistema eléctrico de automatización correspondiente a cada parte del proceso, a un tablero principal de control y tableros eléctricos secundarios con sus respectivas conexiones correspondientes, basados en la distribución de la línea de producción y en la funcionalidad del sistema.

Integrando principalmente de unidades capaces de procesar parte de los datos generados por el sistema, evitando cargar al controlador principal de excesivos procesos, que aunque sean de bajas necesidades de procesamiento, podrían saturar su funcionamiento. Para cumplir con esta meta, se necesitó implementar redes de comunicación entre el control principal y todos los dispositivos dispersos la línea de producción, comenzando el diseño eléctrico por una arquitectura general del sistema, de cada unidad en las que será dividido e implementado por proceso de producción y finalmente el diseño general de la arquitectura del sistema completo, tomando en cuenta todos los componentes de cada sección integrados al diagrama general.

El desarrollo completo es en la sección de diseño de sistema, así como las respectivas adaptaciones que deben ser realizadas a los diferentes sensores y actuadores a fin de ser implementables en el sistema de producción, presentados en la sección de adaptaciones de integración y montaje. Durante este proceso de diseño se realizaron los planos eléctricos de cada tablero distribuido en la línea de producción y del tablero principal, los cuales son presentados en la sección de anexos.

Este diseño otorga los beneficios de la integración de sensores que permiten el control de variables críticas del sistema, como volumen, temperatura y tiempo, alertas y alarmas en caso de incurrir en desvíos en la receta de cada estilo, mejora significativa en tiempos, uso eficiente de energía, uso eficiente de recursos y la disminución de procesos que necesitan operaciones manuales, convirtiéndolos procesos que solo requieren monitoreo del correcto flujo del proceso. Ya que el operario contará con la ayuda del sistema mecatrónico implementado, para el monitoreo y control de la producción.

El **TERCER PUNTO** de esta síntesis corresponde a la integración cada complemento diseñado, ya que mediante esta integración se pretende asegurar los parámetros de calidad del producto obtenido de estos procesos, establecidos por la empresa, formulados en base a parámetros de calidad para la cerveza del BJCP y la normativa sanitaria regulada por el ARCSA.

La exitosa integración del sistema, permite obtener todos los beneficios de información y control antes mencionados. Esta implementación consistió en la instalación de los diferentes sensores y actuadores en la línea de producción, la fabricación, instalación e interconexión de los diferentes tableros eléctricos y la programación del sistema para poder realizar el monitoreo y control de la línea de producción. El desarrollo completo de la integración está compuesto de la construcción de módulos RTU, construcción de válvulas actuadas y la construcción de tableros eléctricos.

Una vez realizada la integración del sistema, el **CUARTO PUNTO** corresponde a las pruebas de funcionamiento del sistema implementado para calibrar los instrumentos y actuadores en función de los requerimientos internos de calidad de la empresa, presentado en la sección de funcionamiento del sistema.

Con la finalidad de asegurar la funcionalidad del sistema, una vez terminada la etapa de implementación, se realizó la producción de un lote de cerveza. Gracias a este lote de producción y al realizado previo a la implementación del sistema se pudo realizar un análisis comparativo entre el antes y después de la implementación. Correspondientes el primero a una parada realizada con el personal de la cervecería “Cuatro Ríos”, mientras se realizaba el análisis del proceso de producción y el segundo, posterior a la implementación y puesta a punto del sistema implementado.

Este análisis demuestra que las diferencias encontradas entre la utilización de la planta antes y después de la implementación, las cuales fundamentalmente radican en la cantidad de trabajo necesario para la operación de la planta y el tiempo muerto para revisión de equipos, variables físicas, conexiones del circuito de mangueras y accionamientos. Ambos lotes de producción se realizaron bajo los mismos parámetros de receta que definían el estilo de cerveza.

En el primer lote, antes de la implementación, la cocción de 200 litros de cerveza, tomo un tiempo de siete horas desde que comienza el macerado, hasta que se termina de enviar el producto al fermentador y la intervención de dos operarios que debían controlar los parámetros del proceso y el manejo de la planta, con lo cual se alcanzaban de forma justa, sin momentos de descuido del proceso o descanso.

Para el segundo lote, después de la integración, la cocción de 200 litros del mismo estilo de cerveza, tomo un tiempo de cinco horas desde que comienza el macerado, hasta que se termina de enviar el producto al fermentador y la intervención de solo un operario, el cual desde una estación de control, pudo monitorear las temperaturas y volúmenes de proceso, así como accionamiento de actuadores en válvulas, sistema agitador o bombas que intervienen el proceso. Pudiendo optimizar su atención en la calidad del producto y no en acciones que lo distraen de sus labores.



# CONCLUSIONES

Mediante el presente proyecto la cervecería “Cuatro Ríos”, cuenta en su línea de producción con la presencia de ventajas tecnológicas, que reducen ampliamente costos y tiempos de fabricación. Y más importante, obtuvieron un sistema que les permite obtener varias ventajas frente a la competencia, como son mejorar la calidad de sus productos y la información y control necesarios para poder estandarizarlos, obteniendo productos de una misma receta que no varieran sin importar el lote de producción al que pertenezcan.

Para la integración exitosa de este sistema, fue indispensable realizar un estudio de los sistemas con los que contaba la planta a los cuales debía ser adaptado el sistema determinando su factibilidad, diseño, características fundamentales para ser usadas durante su desarrollo y a partir de esto proponer el diseño de automatización que facilite la estandarización del producto.

La comprensión de la importancia de variables críticas en el proceso como: volumen, temperatura, caudal y direcciones de flujo, permitieron implementar diferentes sistemas que cumplan con los requerimientos propios de cada proceso, identificando tecnologías apropiadas para la cervecería.

Gracias a la identificación y dimensionamiento de los diferentes elementos seleccionados, se comprobó la factibilidad técnica y se pudo desarrollar un diseño del mecatrónico, adaptado a los requerimientos así como a las necesidades de la línea de producción.

Las pruebas de funcionamiento, garantizan que el sistema es capaz de realizar el monitoreo y control de los procesos de cocción y fermentación, fortaleciendo la capacidad de la estandarización del producto, generando un producto en conformidad a las recetas suministradas por el maestro cervecero.

Finalmente concluimos mencionando, otros beneficios inmediatos a esta integración, como son un claro aumento en la velocidad de producción, reducción de costes de producción y aumento del control de calidad del producto.

# RECOMENDACIONES

Entre las recomendaciones se pueden destacar varios trabajos a futuro implementables dentro de esta planta cervecera, para maximizar su eficacia y eficiencia, como puede ser un desarrollo dentro de la programación del sistema, para que permita cargar directamente las recetas del maestro cervecero, y que sea el sistema quien guíe al operario, incrementando los estándares de control durante la producción.

En cuanto al control de temperaturas dentro del proceso, se recomienda una posterior implementación de válvulas automatizadas para el control del GLP, o la migración a sistemas de calefacción eléctricos, lo cual permitirá integrar el control y no solo el monitoreo de temperaturas del sistema.

Otra posibilidad puede ser que mediante un desarrollo dentro de la programación del sistema e implementando una conexión a internet, se podría realizar el monitoreo del proceso de forma remota, puesto que la pantalla HMI utilizada, permite una conexión remota mediante programas de VNC.

Así también se podría implementar un sistema de monitoreo sobre el proceso de fermentación, puesto que actualmente cada cierto tipo maestro cervecero debe tomar muestras revisar si el proceso de fermentación ha terminado y la cerveza esta lista para su embotellado. Este tiempo de fermentación varía entre los diferentes estilos, es por esto que en ocasiones se pierde tiempo de uso de este tanque para una nueva fermentación, el cual podría ser verificado de forma eficaz por un sistema de monitoreo, permitiendo programar lotes de cocción de forma más continua y así maximizar la producción.

Se recomienda también la implementación de un sistema automatizado para el proceso de embotellado del producto, el cual permitirá una dosificación precisa de cada botella, la reducción de mano de obra empleada, del tiempo empleado en este proceso y por consecuencia, una reducción del tiempo y costo total de cada lote de producción.

Todas estas recomendaciones, enfocadas a trasladar esta planta de producción a una automatización nivel de industria 4.0, integrando tecnología digital en las maquinas, sistemas de control, sensores y actuadores, a lo largo de la cadena de valor más allá de una sola producción. Satisfaciendo la necesidad de mantenerse siempre por delante de la competencia.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] E. Ayala Cruz, “Artificial neural network implementation for prediction of beer taste quality”, Melbourne, Swinburne University of Technology, 2015.
- [2] Editorial al día Online, “Actividades que realiza el ARCSA”, feb-2017 [Online]. Available: <http://aldiaonline.com/?p=72104>. [Accessed: 14-Jul-2019].
- [3] M. Gómez, “¿Qué es el BJCP?”, dec-2014. [Online]. Available: <https://birrapertoriodelxino.wordpress.com/2014/12/10/que-es-el-bjcp/>. [Accessed: 14-Jul-2019].
- [4] G. González and J. Rodríguez, “Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido”, Universidad de Coruña, Escuela Politécnica Superior, Ferrol - España, 2018.
- [5] Lean Manufacturing 10, “KPI – Key Performance Indicator”, 2020. [Online]. Available: <https://leanmanufacturing10.com/kpi-key-performance-indicator>. [Accessed: 06-apr-2020].
- [6] Logicbus, “¿Que es Modbus?”, 2020. [Online]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/Modbus.php>. [Accessed: 06-apr-2020].
- [7] Cerveceros de México, “¿Qué es el mosto?”, 2017. [Online]. Available: <https://cervecerosdemexico.com/2017/11/13/mosto-cerveza-proceso>. [Accessed: 14-Jul-2019].
- [8] Altium Designer, “What is a printed circuit board?”, 2020. [Online]. Available: <https://www.altium.com/solution/what-is-a-pcb>. [Accessed: 06-apr-2020].
- [9] Logicbus, “Sensores de Temperatura Resistiva RTD”, 2020. [Online]. Available: <https://www.logicbus.com.mx/sensor-temperatura-RTD.php>. [Accessed: 06-apr-2020].
- [10] AT&T Laboratories Cambridge, “VNC Frequently Asked Questions (FAQ)”, 1999. [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20000815062637/http://www.uk.research.att.com/vnc/faq.html>. [Accessed: 06-apr-2020].
- [11] Soci's, “Materias Primas Cerveza”, abr-2019. [Online]. Available: <https://www.socis.it/es/materias-primas-cerveza-para-cerveceras-de-grandes-y-pequea151933521871330>. [Accessed: 18-Jul-2019].
- [12] W. Kunze, “Tecnología para cerveceros y malteros”, Bibliografía nacional Alemana, Berlín – Alemania, 2006.
- [13] Cerveceros de México, “Los 11 tipos de malta que más se utilizan en la cerveza”, mar-2017. [Online]. Available: <https://cervecerosdemexico.com/2017/03/28/los-11-tipos-de-malta-que-mas-se-utilizan-en-la-cerveza/>. [Accessed: 18-Jul-2019].
- [14] K. Riquelme, “Qué es el lúpulo”, jan-2013. [Online]. Available: <https://www.nuevamujer.com/gourmet/2013/01/08/que-es-el-lupulo.html>. [Accessed: 18-Jul-2019].

- [15] The Beer Times, “Ajustes del agua para la elaboración de cerveza”, jan-2019 [Online]. Available: <https://www.thebeertimes.com/ajustes-del-agua-para-la-elaboracion-de-cerveza/>. [Accessed: 18-Jul-2019].
- [16] L. Matinés, “Levadura de cerveza: qué es y cómo tomarla”, ene-2020. [Online]. Available: [https://www.cuerpomente.com/blogs/come-con-ciencia/levadura-cerveza-que-es-como-tomarla\\_1365](https://www.cuerpomente.com/blogs/come-con-ciencia/levadura-cerveza-que-es-como-tomarla_1365). [Accessed: 25-jan-2019].
- [17] Tres Jotas Beer Club, “¿Cómo hacer cerveza?”, [Online]. Available: [https://tresjotasbeerclub.com/como-hacer-cerveza/?fbclid=iwar1sq1\\_gtpylfsdaq6mrk8cxbnkoreg3xssuqlkft3vs261se8n-qbls5nq](https://tresjotasbeerclub.com/como-hacer-cerveza/?fbclid=iwar1sq1_gtpylfsdaq6mrk8cxbnkoreg3xssuqlkft3vs261se8n-qbls5nq). [Accessed: 25-jan-2019].
- [18] Los Cervecitas, “El proceso de fabricación de la cerveza”, [Online]. Available: <https://www.loscervecistas.es/el-proceso-de-fabricacion-de-la-cerveza/>. [Accessed: 12-feb-2019].
- [19] S. Sebastian, “Elaboración parte III”, Cerveza SZOT, jul-2015. [Online]. Available: <https://cervezaszot.wordpress.com/2015/07/31/elaboracion-parte-iii/>. [Accessed: 12-feb-2019].
- [20] Tres Jotas Beer Club, “Portada lavado C-01”, jan-2017. [Online]. Available: [https://tresjotasbeerclub.com/lavado-de-granos-continuo/portada\\_lavado\\_c-01/](https://tresjotasbeerclub.com/lavado-de-granos-continuo/portada_lavado_c-01/). [Accessed: 23-apr-2019].
- [21] Cervezomicon, “Historia y evolución de los sistemas de maceración”, jun-2015. [Online]. Available: <https://cervezomicon.com/tag/herms/>. [Accessed: 23-apr-2019].
- [22] H. Briggs and R. Stevens, “Malting And Brewing Science”, Vol. 1, London, Chapman & Hall, 1981.
- [23] C. Papazian, “The Complete Joy of Home Brewing”, Avon Books, 1984.
- [24] M. Ogwa and Y. Henmi, “Recent developments on PC+PLC based control systems for beer brewery process automation applications”, Sice-Icase International Joint Conference, Bexco, Busan, Korea, 2006.
- [25] Winning-Homebrew, “Rims-Herms - Advanced homebrew systems”, 2019. [Online]. Available: <https://www.winning-homebrew.com/rims-herms.html>. [Accessed: 28-jun-2019].
- [26] Homebrew Happy Hour, “Rims And Herms Systems: explained and compared”, aug-2019. [Online]. Available: <https://www.homebrewhappyhour.com/rims-herms-systems-explained-compared/>. [Accessed: 03-jul-2019].
- [27] Danfoss, “Intercambiadores de calor de placas soldadas”, [Online]. Available: <https://www.danfoss.com/es-mx/products/heat-exchangers/dhs/brazed-heat-exchangers/>. [Accessed: 23-jun-2019].
- [28] Shandong Tonsen Equipment Co. Ltd., "Supply PLC Control Factory", 2017. [Online]. Available: <https://www.tonsenbrewing.com/china/plc-control>. [Accessed: 23-jun-2019].

- [29] Aveva group plc and its subsidiaries, “New Belgium Brewing Co.”, [Online]. Available: <https://sw.aveva.com/success-stories/new-belgium-brewing>. [Accessed: 02-jul-2019].
- [30] Aveva group plc and its subsidiaries, “Baltika Breweries”, [Online]. Available: <https://sw.aveva.com/success-stories/baltika-masters-brewing-automation-with-mes/>. [Accessed: 02-jul-2019].
- [31] Aveva group plc and its subsidiaries, “Namibia Breweries Limited”, [Online]. Available: <https://sw.aveva.com/success-stories/namibia-breweries-limited>. [Accessed: 02-jul-2019].
- [32] Kinco Electric, “Plc - Shanghai Kinco Automation”, [Online]. Available: <https://en.kinco.cn/productdetail/k5x1plc40.html>. [Accessed: 02-jan-2019].
- [33] Kinco Automation, “Kinco Automation”, [Online]. Available: [https://www.kincoautomation.com/marketing/hmi/mt4000\\_series/mt4434te](https://www.kincoautomation.com/marketing/hmi/mt4000_series/mt4434te). [Accessed: 02-jan-2019].
- [34] Oocities, “Unidades Terminales Remotas (RTUs)”, [Online]. Available: [https://www.oocities.org/gabrielordonez\\_ve/unidades\\_remotas\\_scada.htm](https://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/unidades_remotas_scada.htm). [Accessed: 02-jan-2019]
- [35] Omega, “Que es una PT100 y como funciona”, [Online]. Available: <https://es.omega.com/prodinfo/pt100.html>. [Accessed: 02-jan-2019].
- [36] Techrun, “RTDs Sin Cabezal”, [Online]. Available: <https://www.techrun.com.ec/subcategoria/rtds-sin-cabezal>. [Accessed: 02-jan-2019].
- [37] Naylamp Mechatronics Sac, “Sensor Ultrasonido JSN-SR04T”, [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/326-sensor-ultrasonido-jsn-sr04t.html>. [Accessed: 18-may-2019].
- [38] Naylamp Mechatronics Sac, “Tutorial Sensor de Flujo de Agua”, [Online]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/47\\_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html](https://naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html). [Accessed: 18-may-2019].
- [39] Camsco electric Co. Ltd, “Especificación de relé”, [Online]. Available: <https://www.camsco.com.tw/spa/phase-voltage-protection-relay/relay-my-ly-mk.html>. [Accessed: 18-may-2019].
- [40] Naylamp Mechatronics Sac, “Comunicación RS485”, [Online]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/37\\_comunicaci% c3% b3n-rs485-con-arduino.html](https://naylampmechatronics.com/blog/37_comunicaci% c3% b3n-rs485-con-arduino.html). [Accessed: 18-may-2019].
- [41] Sanitary StainlessSteel Valves, “Sanitary Manual Three Way Ball Valves”, [Online]. Available: <http://spanish.sanitarystainlesssteelvalves.com/sale-9273460-ss304-316l-stainless-steel-sanitary-manual-three-way-ball-valves-for-hygienic-pipe-line-applications.html>. [Accessed: 22-may-2019].

- [42] Electrobist, "Wiper motor viper motor high torque dc gear motor", [Online]. Available: <http://electrobist.com/product/wiper-motor-viper-motor-high-torque-dc-gear-motor/>. [Accessed: 22-may-2019].
- [43] L. Llamas, "Detector de metales con arduino y sensor inductivo", oct-2016. [Online]. Available: <https://www.luisllamas.es/detector-de-metales-con-arduino-y-sensor-inductivo/>. [Accessed: 22-may-2019].

# ANEXOS

## Anexo 1. Diseño del tablero eléctrico de tanque de primer hervido

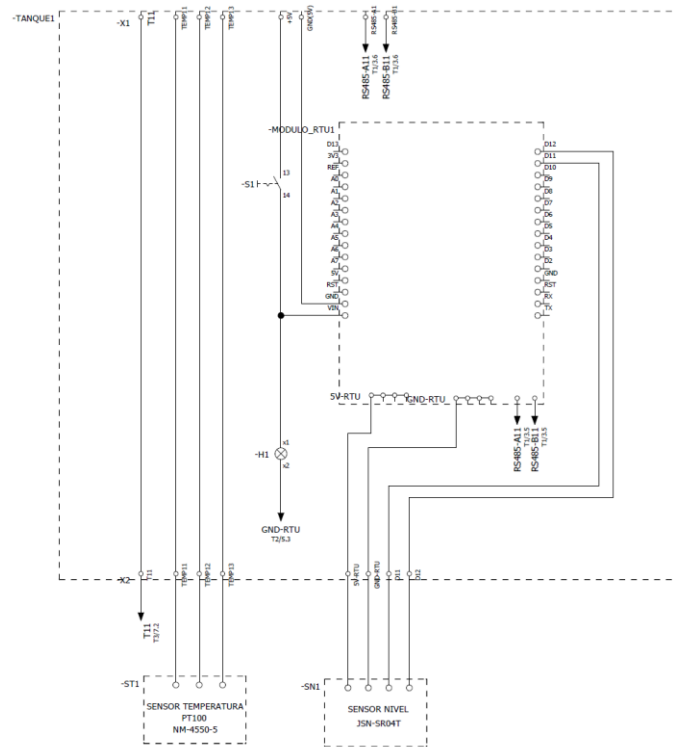


Ilustración 62. Diseño del tablero eléctrico de tanque de primer hervido

## Anexo 2. Diseño del tablero eléctrico de estación 1

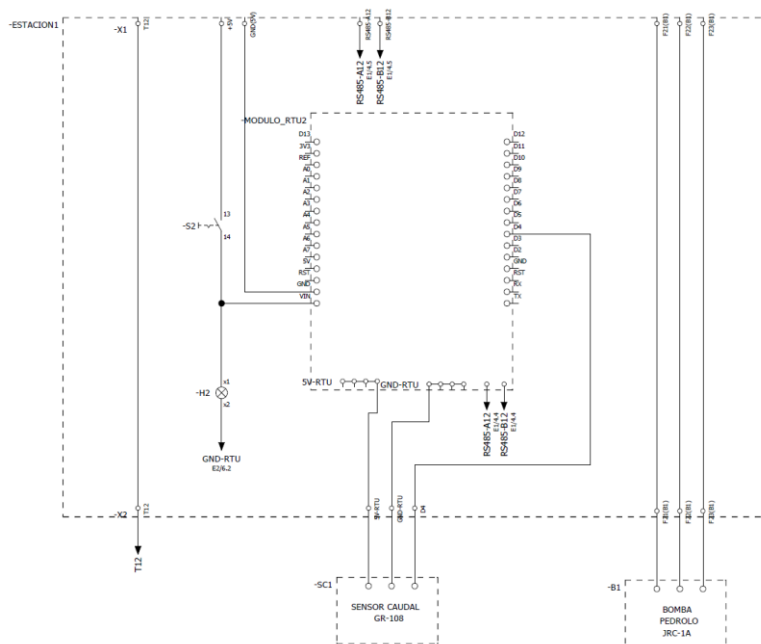
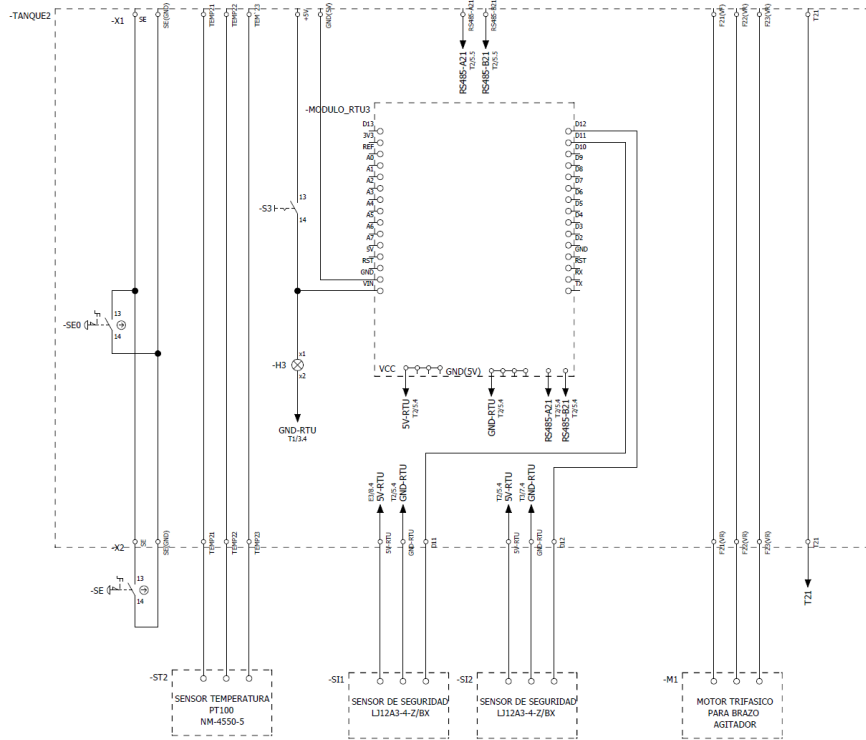


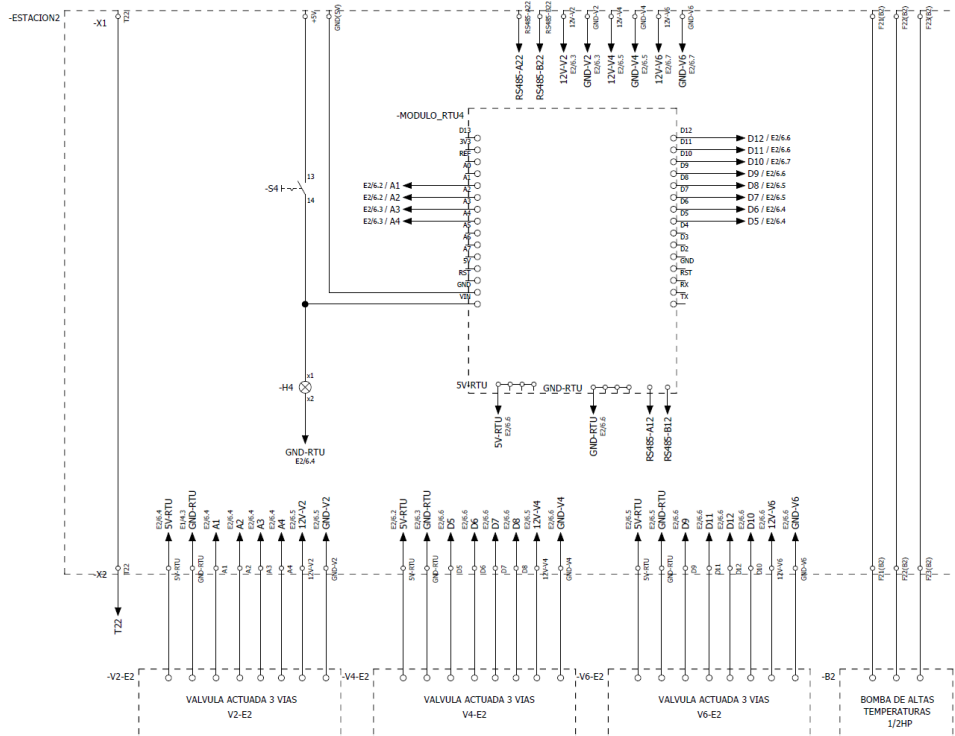
Ilustración 63. Diseño del tablero eléctrico de estación 1

**Anexo 3. Diseño del tablero eléctrico de tanque de maceración**



**Ilustración 64.** Diseño del tablero eléctrico de tanque de maceración

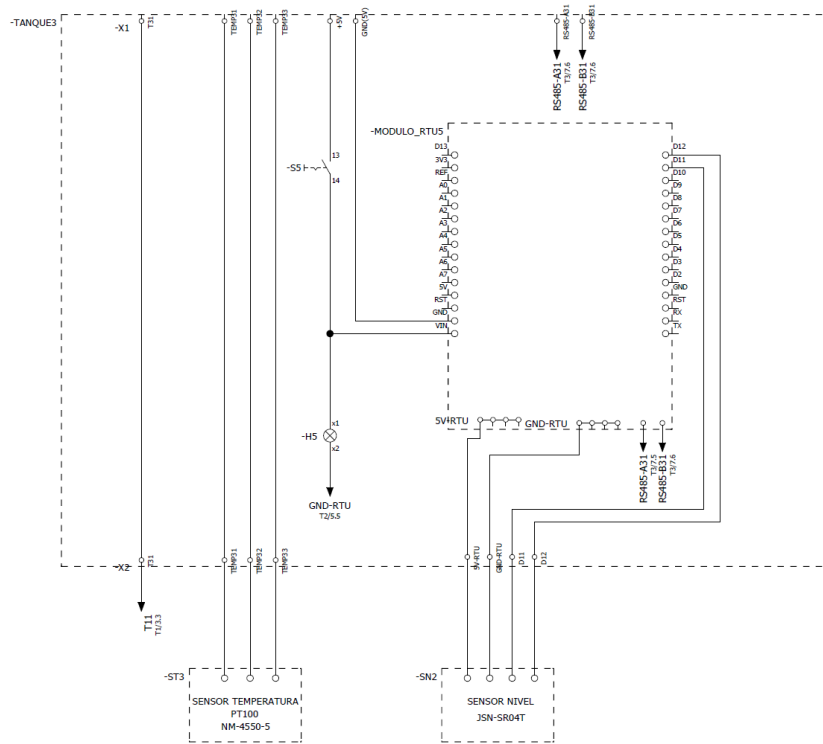
**Anexo 4. Diseño del tablero eléctrico de estación 2**



**Ilustración 65.** Diseño del tablero eléctrico de estación 2

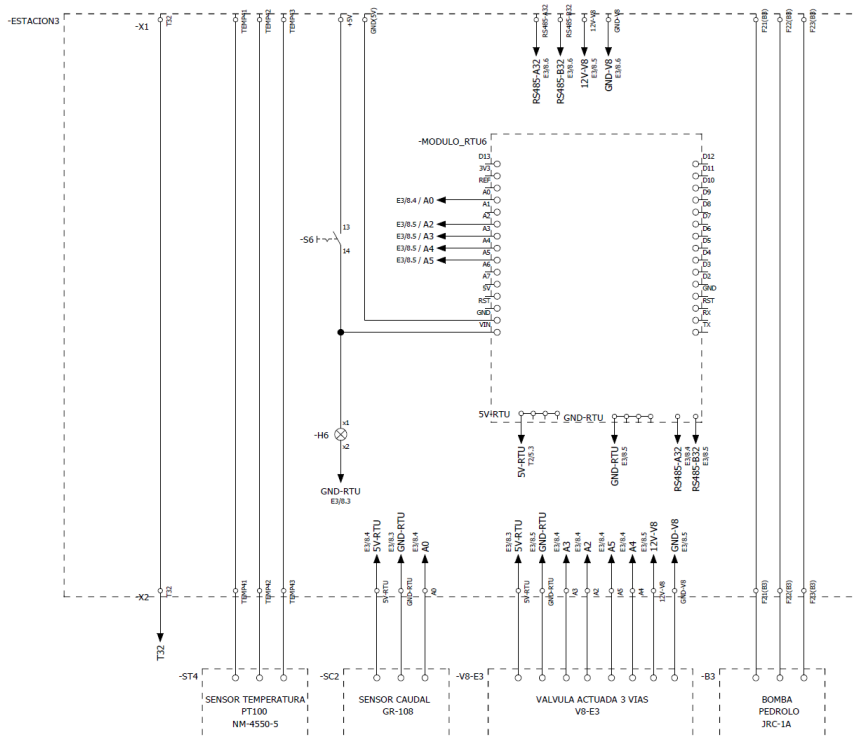


**Anexo 5. Diseño del tablero eléctrico de tanque de cocción**



**Ilustración 66.** Diseño del tablero eléctrico de tanque de cocción

**Anexo 6. Diseño del tablero eléctrico de estación 3**



**Ilustración 67.** Diseño del tablero eléctrico de estación 3

## Anexo 7. Diseño del tablero eléctrico principal

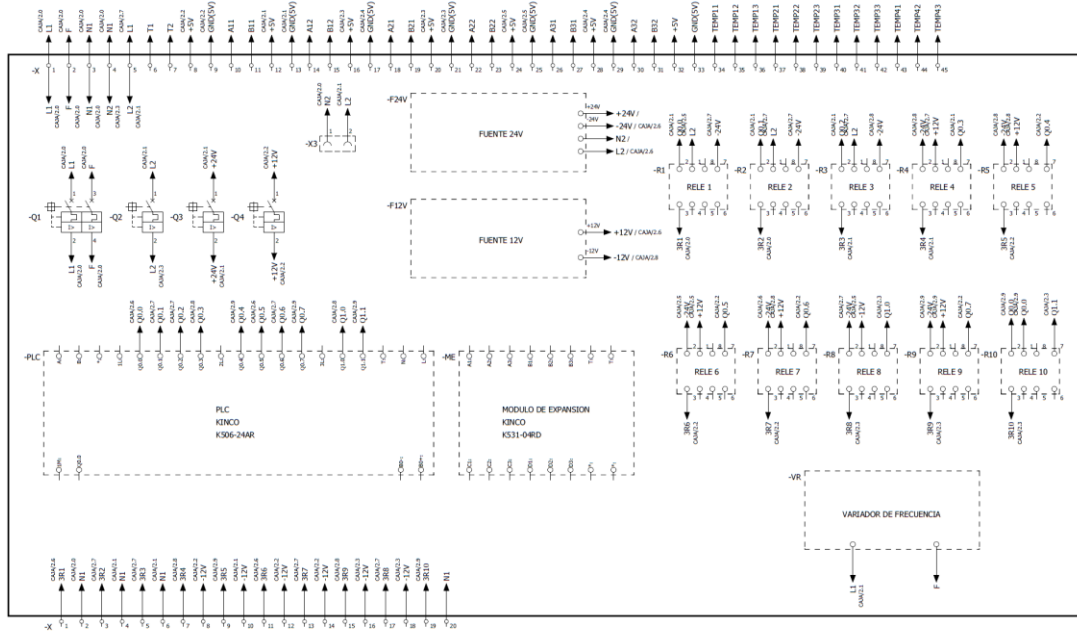


Ilustración 68. Diseño del tablero eléctrico principal

## Anexo 8. Diseño de módulo RTU

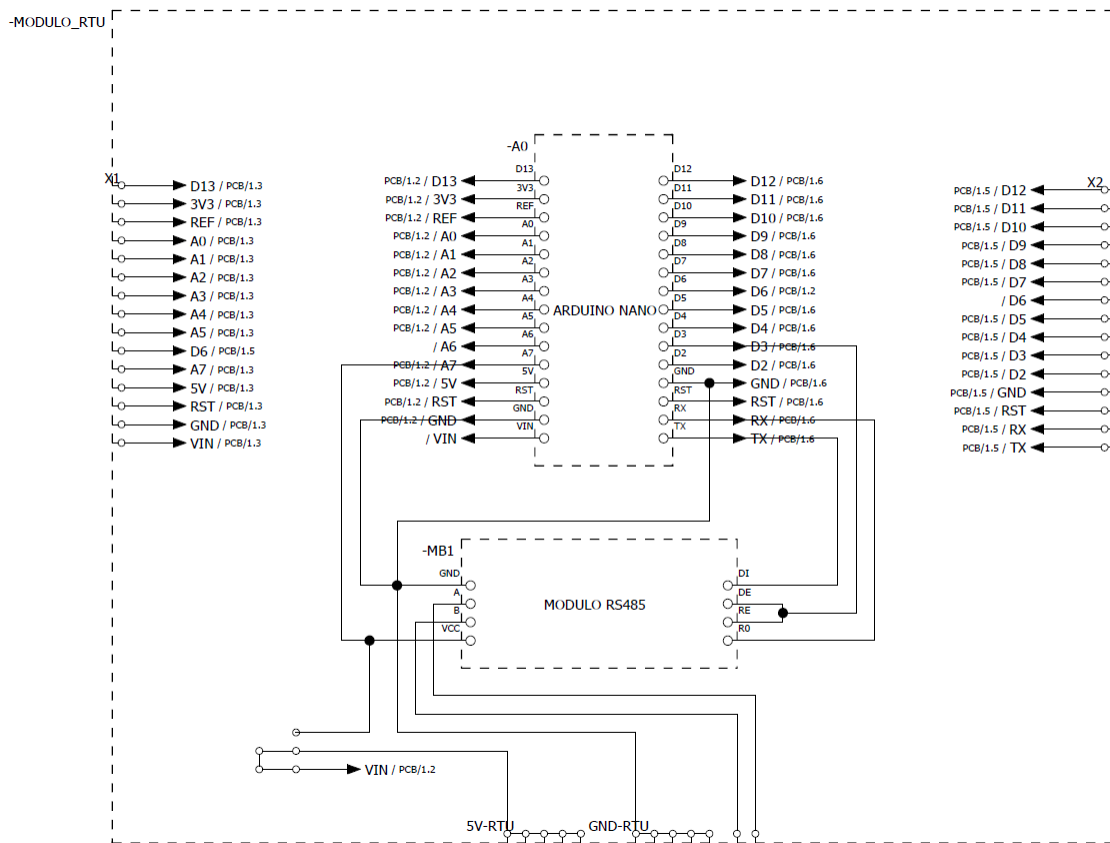


Ilustración 69. Diseño de módulo RTU