



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**“Automatización del proceso de enfriamiento del mosto  
para las cervecerías artesanales”**

**AUTOR**

**JOSÉ LEONIDAS REGATTO DEL PEZO**

**PROFESOR TUTOR**

**ING. JOSÉ SÁNCHEZ AQUINO MSc.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2017**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por dotarme de paciencia, fuerza y perseverancia para vencer cada reto presentado en el trayecto de la vida, dándome la oportunidad de cumplir cada uno de mis sueños.

Agradecimientos infinitos para mis padres, quienes me enseñaron que no importa cuántas veces falles lo importante siempre es volverlo a intentar, a mis tíos Jaime y Elsa, quienes a pesar de todas las dificultades siempre han estado a mi lado brindándome un cariño sincero siendo el pilar fundamental de mi vida, y finalmente a los docentes, quienes han impartido sus conocimientos con paciencia y dedicación durante el periodo de preparación académica.

*“El éxito de la vida no se mide por lo que logras, sino por los obstáculos que superas.”*

*Anónimo.*


José Leonidas Regatto Del Pezo.

**Autor.**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

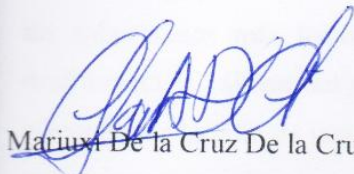
En mi calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: “**AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO DEL MOSTO PARA CERVECERÍAS ARTESANALES**”, elaborado por el estudiante **Regatto Del Pezo José Leonidas**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicia los trámites legales correspondientes.

La Libertad, Agosto del 2017

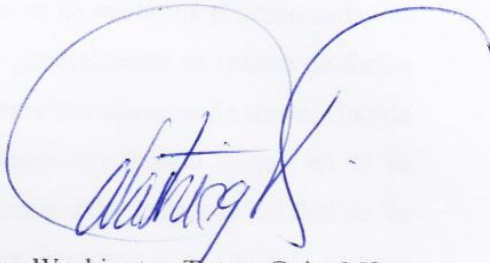


**Ing. José Sánchez Aquino, MSc.**  
**TUTOR**

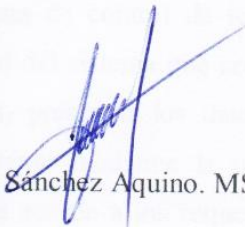
## TRIBUNAL DE GRADO




Mariuxi De la Cruz De la Cruz. MSc.  
**DECANA DE FACULTAD.**



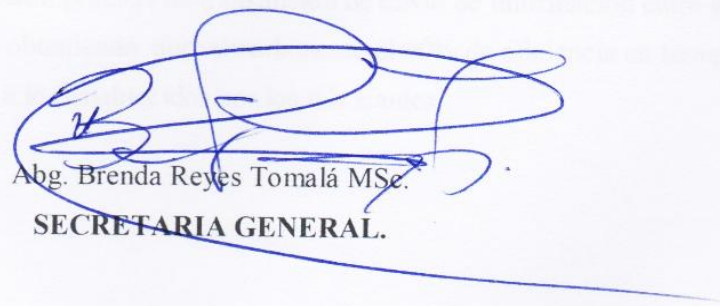
Ing. Washington Torres Guin, MSc.  
**DIRECTOR DE CARRERA.**



Ing. José Sánchez Aquino. MSc.  
**PROFESOR TUTOR.**



Ing. Daniel Flores Tomalá MSc.  
**PROFESOR DE AREA**



Abg. Brenda Reyes Tomalá MSc.  
**SECRETARIA GENERAL.**

## **RESUMEN**

En la actualidad la producción artesanal de cerveza se ha vuelto un proceso cada vez más común dentro del territorio ecuatoriano, este generalmente se realiza de forma manual donde el éxito o fracaso depende únicamente del operario de turno. Uno de los subprocesos más importantes es el de enfriamiento debido a que en él se determinará la calidad del producto final, usualmente este índice de calidad se ve afectado por la falta de una medición exacta de sus parámetros, además de generar gastos excesivos e innecesarios de los recursos hídricos y energéticos. Por lo tanto se plantea como solución el diseño de un sistema lógico de enfriamiento para mosto mediante una torre de enfriamiento, la propuesta consiste en la implementación de una red industrial de arquitectura mixta entre ModBus y ETHERNET con tres controladores; uno para el sistema de ventilación encargado del control de variadores de frecuencia contribuyendo a la disminución del consumo eléctrico, el segundo para el sistema de control de temperaturas y finalmente el tercero como controlador principal del sistema que será el encargado de adquirir los datos a través de la red Ethernet, presentar los datos y permitir el control y monitoreo del proceso de enfriamiento mediante la utilización de una interfaz hombre – máquina (HMI) diseñada acorde a los requerimientos del proceso. Con la implementación de esta propuesta de acuerdo al análisis de factibilidad realizado se esperaba un ahorro de aproximadamente 93% en recurso hídrico y 28% en recurso energético anual, de la misma forma se realizaron pruebas de transmisión de envío de información entre los dispositivos de la red, obteniendo aproximadamente el 90% de eficiencia en tiempo de respuesta referente a los establecidos por los fabricantes.

## **ABSTRACT**

Nowadays artisan beer production has become an increasingly common process within Ecuadorian territory, this is usually done manually where success or failure depends only on the shift operator. One of the most important sub-processes is the cooling process because it will determine the quality of the final product, usually this quality index is affected by the lack of an accurate measurement of its parameters, in addition to generating excessive and unnecessary costs of water and energy resources. Therefore, a solution for the design of a cooling system for must by means of a cooling tower is proposed. The proposal consists in the implementation of a mixed architecture industrial network between ModBus and ETHERNET with three controllers; One for the ventilation system assigned of the control of frequency variators contributing to the reduction of electrical consumption, the second for the temperature control system and finally the third as the main controller of the system that will be assigned of acquiring the data through The Ethernet network, show data and allow the control and monitoring of the cooling process through the use of an HMI interface designed according to the requirements of the process. With the implementation of this proposal according to the feasibility analysis carried out, it would be expected to save approximately 93% and 28% per year in terms of savings in water and energy resources, respectively. According to the tests performed of the network, obtaining approximately 90% efficiency in response time referring to those established by the manufacturers.

## **DECLARACIÓN**

El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



José Leonidas Regatto Del Pezo.  
**AUTOR.**

## Tabla de contenido.

ÍTEM.	PÁGINA.
AGRADECIMIENTO	I
APROBACIÓN DEL TUTOR	II
TRIBUNAL DE GRADO	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
DECLARACIÓN	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
LISTA DE ANEXOS.	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	
GENERALIDADES DEL PROYECTO	
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.4 RESULTADOS ESPERADOS.	6
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
1.6 METODOLOGÍA	7



## CAPITULO 2

### DESARROLLO DE LA PROPUESTA

2.1	MARCO CONTEXTUAL	9
2.2	MARCO CONCEPTUAL.	10
2.2.1	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	10
2.2.2	COMUNICACIÓN INDUSTRIAL	12
2.2.3	PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.	14
2.2.3.1	Protocolo MODBUS	14
2.2.3.2	Protocolo ETHERNET	16
2.2.4	INTERCAMBIADORES DE CALOR	20
2.3	MARCO TEORICO	21
2.4	DESARROLLO	23
2.4.1	COMPONENTES DE LA PROPUESTA	23
2.4.1.1	COMPONENTES FÍSICOS.	23
2.4.1.2	COMPONENTES LÓGICOS	33
2.5	DISEÑO DE LA PROPUESTA	37
2.5.1	COMPONENTES DE AUTOMATIZACION	37
2.5.1.1	Controladores de temperatura marca Delta modelo DTB4848.	37
2.5.1.2	Variador de frecuencia marca Delta modelo vdf-el.	39
2.5.1.3	Pulsadores marca CAMSCO.	41
2.5.1.4	Luces o indicadores pilotos.	41
2.5.1.5	Pantalla HMI marca Delta modelo DOP-B03E211	42
2.5.1.6	Diseño de la red.	49
2.5.1.7	PLC MASTER.	53

2.5.1.9	PLC TEMPERATURE.	62
2.5.1.10	PLC VDF.	65
2.6	ESTUDIO DE FACTIBILIDAD	66
2.6.1	FACTIBILIDAD TÉCNICA	66
2.6.2	FACTIBILIDAD ECONOMICA	68
2.7	PRUEBAS	77
2.8	RESULTADOS	81
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	84
	BIBLIOGRAFÍA	85
	ANEXOS	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Figura 1	Esquema: funcionamiento básico del sistema de enfriamiento.	4
Figura 2	Pirámide de automatización.	14
Figura 3	Estructura de protocolo ModBus TCP/IP.	16
Figura 4	Funcionamiento del protocolo Ethernet industrial.	18
Figura 5	Funcionamiento protocolo S7.	19
Figura 6	Red de comunicación S7.	19
Figura 7	Olla de enfriamiento para mosto.	24
Figura 8	Sistema de enfriamiento artesanal para mosto.	24
Figura 9	Torre de enfriamiento modelo Bora 750.	25
Figura 10	PLC Siemens 1212c AC/DC/RELE.	25
Figura 11	Módulo de comunicación cm1241 RS485.	26
Figura 12	Controlador de temperatura Delta dtb4848b.	27
Figura 13	Variador de frecuencia Delta vdf-el.	29
Figura 14	Pantalla HMI Delta DOP-BO3E211.	30
Figura 15	Estructura interna de cables STP y UTP.	31
Figura 16	Diseño de conector contralor de temperatura a cm1241.	32
Figura 17	Diseño de conector variador de frecuencia a cm1241.	32
Figura 18	Conector PLC- HMI – SWITCH.	33
Figura 19	Software de programación “TIA Portal”.	33
Figura 20	Ilustración de diagrama KOP.	36
Figura 21	Software de programación “DOPSoft”.	36
Figura 22	Ilustración de creación de pantallas en “DOPSoft”.	37
Figura 23	Conexión de controlador de temperatura DTB4848b.	39
Figura 24	Configuración eléctrica de pulsadores.	41
Figura 25	Configuración eléctrica de luces pilotos.	42
Figura 26	Pantalla de bienvenida de HMI.	42
Figura 27	Pantalla menú principal de HMI.	43
Figura 28	Pantalla “reservorio de mosto” de HMI.	43
Figura 29	Sub-pantalla “temperatura de mosto 1” de HMI.	44
Figura 30	Pantalla “torre de enfriamiento” de HMI.	45
Figura 31	Pantalla “reservorio final de mosto” de HMI.	45

Figura 32	Pantalla “Sistema” de HMI.	46
Figura 33	Pantalla “Control de temperatura” de HMI.	46
Figura 34	Pantalla “Control de sistema de ventilación” de HMI.	47
Figura 35	Pantalla “Fallos de sistema” de HMI.	47
Figura 36	Pantalla “Historial de alarmas” de HMI.	48
Figura 37	Pantalla “Alarma activa” de HMI.	48
Figura 38	Pantalla “Frecuencia de alarmas” de HMI.	48
Figura 39	Diagrama de bloque físico del sistema de enfriamiento.	50
Figura 40	Diagrama de bloques del sistema de enfriamiento.	50
Figura 41	Diagrama topológico físico del sistema de enfriamiento.	51
Figura 42	Diagrama topológico del sistema de enfriamiento.	51
Figura 43	Programación segmento 1: encendido del sistema.	53
Figura 44	Programación segmento 3: Control de llenado del reservorio.	54
Figura 45	Programación segmento 4: Llenado y vaciado de reservorio.	55
Figura 46	Programación control del control de reservorio de mosto.	56
Figura 47	Programación parcial del proceso de enfriamiento.	57
Figura 48	Programación del control de recirculación de mosto.	58
Figura 49	Programación segmento 12: Indicadores del sistema.	58
Figura 50	Configuración de bloque para recepción de datos.	59
Figura 51	Programación segmento 16: Redistribución de datos.	60
Figura 52	Programación de fallas simuladas del sistema.	61
Figura 53	Programación de habilitación del módulo cm1241.	62
Figura 54	Configuración de parámetros de escritura en DTB.	63
Figura 55	Programación de control de velocidades de ventiladores.	66
Figura 56	Gráfico comparativo de consumo de agua del sistema.	71
Figura 57	Gráfico comparativo de consumo energético del sistema.	72
Figura 58	Gráfico comparativo de gastos del sistema.	73
Figura 59	Diagrama de flujo de efectivo.	75

## ÍNDICE DE TABLAS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 1	Ejemplo de nivel de automatización.	13
Tabla 2	Resumen de ficha técnica del PLC.	26
Tabla 3	Resumen de ficha técnica del módulo cm1241.	27
Tabla 4	Tipo de termopares.	28
Tabla 5	Resumen de ficha técnica de pantalla HMI.	31
Tabla 6	Configuración de conexiones para transmisión RS485 (DTB).	32
Tabla 7	Configuración de conexiones para transmisión RS485 (VDF).	32
Tabla 8	Elementos básicos de programación KOP.	35
Tabla 9	Configuración de parámetros en controladores de temperatura.	38
Tabla 10	Registros utilizados en controladores de temperatura.	39
Tabla 11	Configuración de parámetros en variadores de frecuencia.	40
Tabla 12	Registros utilizados en variadores de frecuencia.	41
Tabla 13	Interfaces de comunicación de los dispositivos.	49
Tabla 14	Direcciones y funciones de PLC.	52
Tabla 15	Apagado del sistema de enfriamiento.	54
Tabla 16	Análisis de recuperación de inversión	55
Tabla 17	Parámetros de configuración del bloque TRCV_C.	59
Tabla 18	Representación de alarmas en sistema binario.	61
Tabla 19	Parámetros de configuración de habilitación de módulo cm1241.	63
Tabla 20	Parámetros de escritura del DTB.	64
Tabla 21	Parámetros de lecturas del DTB.	65
Tabla 22	Costos de equipos para implementación del sistema lógico.	68
Tabla 23	Comparativo de consumo de recursos del sistema.	72
Tabla 24	Comparativo de costos de recursos del sistema.	73

Tabla 25 Amortización de crédito bancario.	74
Tabla 26 Rubros de ingresos.	75
Tabla 27 Rubros de egresos.	75
Tabla 28 Flujo neto de efectivo.	75
Tabla 29 Análisis de TIR y VAN.	76
Tabla 30 Tiempo de respuesta del controlador DTB.	77
Tabla 31 Tiempo de respuesta de variadores de frecuencia.	78
Tabla 32 Tiempo de transmisión de datos entre PLC3 y PLC1	79
Tabla 33 Tiempo de respuesta de alarmas del sistema.	80
Tabla 34 Tiempo de respuesta máximo de dispositivos.	81

## **LISTA DE ANEXOS.**

<b>ÍTEM.</b>	<b>DESCRIPCIÓN.</b>
1	FICHA TÉCNICA DE PLC SIMENES 1212 C AC/DC/RELÉ.
2	FICHA TÉCNICA MODULO DE COMUNICACIÓN CM 1241
3	CONSEJOS BÁSICOS PARA MANTENIMIENTO DE MOTORES DE SISTEMAS DE VENTILACIÓN.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo diseñar una solución tecnológica para el proceso de enfriamiento de mosto de las cervecerías artesanales, esta solución se ha aplicado con base a un análisis del funcionamiento y procesamiento de la cervecería “Montañita Brewing Co.” ubicado en la comuna Montañita del cantón Santa Elena, dentro de la producción artesanal de esta bebida se ha evidenciado un consumo elevado de energía eléctrica, agua y un tiempo lento para el enfriamiento del mosto.

El primer capítulo detalla generalidades del proyecto como la producción de cerveza en el ámbito nacional y artesanal centrándose en el proceso de enfriamiento detallando temperaturas ideales para lograr un proceso óptimo, el planteamiento de los objetivos perseguidos para el funcionamiento del sistema y su debida justificación.

El segundo capítulo se divide en dos secciones:

Fundamentos teóricos: En él se describe el marco contextual, marco conceptual y el marco teórico. Se presenta el estudio de tecnologías industriales como conceptos de automatización, controladores lógicos programables, protocolos de comunicaciones, tipos de redes y tipos de intercambiadores de calor.

Desarrollo de propuesta: En esta sección se describen los componentes físicos y lógicos que se utilizan para el desarrollo del sistema lógico de enfriamiento de mosto, el diseño de la propuesta se realizó utilizando diferentes tipo de software como TIA Portal, que permite la programación el lenguaje KOP del PLC, DOPSoft, para el diseño de la pantalla de monitoreo y control del sistema.

Adicional se realizó un estudio de factibilidad técnica y financiera, con la finalidad de demostrar la viabilidad del proyecto.



# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES DE LA PROPUESTA

### 1.1 ANTECEDENTES

La industria cervecera o la elaboración de esta, según los historiadores, se ha llevado a cabo desde el año 10000 a.C. en los países nórdicos ahora conocidos como Alemania e Inglaterra debido a que la materia prima, la cebada, se da mejor en climas fríos. Esto favoreció a que en estos países la elaboración de cerveza sea mayor que la del vino siendo considerada como fuente de alimento por contener proteínas e hidratos de carbono, consumida por campesinos y nobles.

Actualmente se utilizan varias técnicas para la elaboración de esta bebida y nuestro país, Ecuador, no ha sido la excepción. Dentro del mercado existen dos grandes compañías cerveceras como son: Cervecería Nacional y Ambev quienes actualmente poseen tecnología de última generación con altos estándares de calidad, no obstante en el territorio existen quienes se dedican a la elaboración de forma artesanal y rudimentaria de esta bebida que tiene la aceptación por parte del consumidor potencial [1], entre los productores artesanales podemos mencionar: Destilería y Cervecería Bonanza, Montanita Brewing Co., entre otras [2].

Dentro del proceso de elaboración de cerveza existen 6 etapas, braceado, cocción, enfriamiento, fermentación, filtrado y envasado.

Esta propuesta estará centrada en la etapa de enfriamiento, etapa de suma importancia pues de esto dependerá la calidad del producto final, en este periodo de la elaboración de la cerveza la temperatura deberá descender lo más rápido posible de 105° a una temperatura entre los 18° y 20°, situación que no se ha podido lograr de forma artesanal, tardando al rededor 30 minutos cada 7 u 8 litros de mosto [3], ocasionando turbidez en

la cerveza, mal sabor, mal olor y que el producto se eche a perder en un lapso de tiempo muy corto en comparación a las cervezas de reconocidas marcas.

Considerando que estas bebidas poco a poco se han posesionado del mercado local se evidencia su déficit de producción debido a no poseer una infraestructura automatizada y por consecuencia generan pérdidas en los negocios [4], este proyecto realza la importancia de la tecnología aplicable en el campo industrial, donde los participantes que decidan implementar esta solución técnica a su industria cervecera no solo percibirán el beneficio de tener un proceso controlado si no a su vez podrán innovar su producto con un mejor estándar de calidad.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El diseño y simulación de una torre de enfriamiento de mosto, tiene como objetivo principal controlar el proceso de enfriamiento del mosto, que permita optimizar el uso de recursos hídricos y energéticos.

La estructura deberá ser de un material de aluminio recubierto con una espuma de poliuretano o de corcho, en el interior estará dotado por dos ventiladores controlados en su velocidad para dotar de aire desde las esquinas inferiores para hacer contracorriente con el flujo de agua que saldrá de los aspersores colocados en la parte superior de la torre, en la parte inferior también contará con un reservorio de agua para que esta sea reutilizada en el proceso de enfriamiento, se instalará un ventilador extractor de aire para la eliminación del vapor de agua generado por el proceso.

El sistema tendrá tres bombas, una para el reservorio del mosto, una para el reservorio de agua y una para la recirculación de agua, tres electroválvulas que servirán de control para los reservorios mencionados, indicadores de alertas para el funcionamiento de los 3 ventiladores, de las 3 bombas y las 8 electroválvulas, que controlaran los flujos de mosto y de recirculación de agua para el proceso de enfriamiento.

El proceso cuenta también con 3 tanques reservorios, uno de agua que servirá de abastecedor para los rociadores, 2 para el sistema de mosto, el primero para abastecer el serpentín de mosto a enfriar, el segundo para comprobar la temperatura después del proceso, si el mosto llega a la temperatura adecuada se abrirá la electroválvula que conduce al siguiente proceso, caso contrario se activara una bomba haciendo que el mosto vuelva a pasar por el serpentín de enfriamiento, según la temperatura del mosto en su segunda recorrido los ventiladores y aspersores disminuirán su potencia para evitar enfriar el mosto a una temperatura menor a la requerida.

En la figura 1 se muestra el funcionamiento básico del sistema de enfriamiento de mosto.

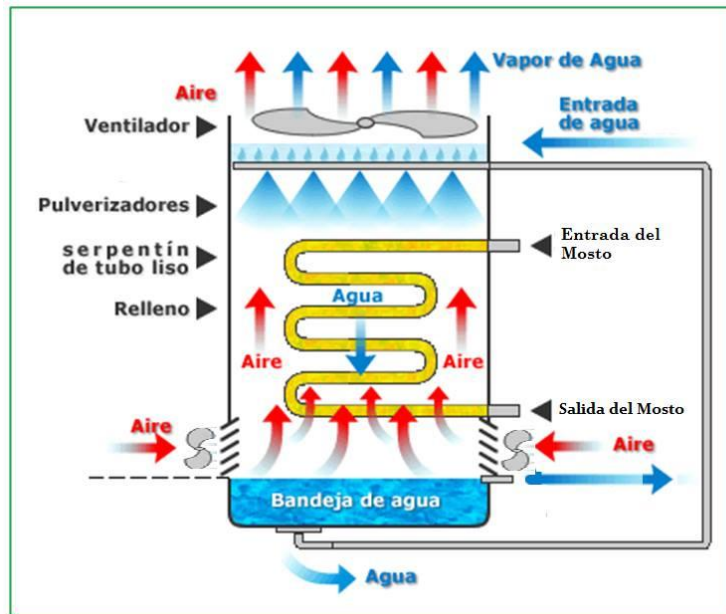


Figura 1: Esquema de funcionamiento básico del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

El desarrollo consta de 2 partes:

Implementación: Se instalarán elementos básicos de control y monitoreo de procesos industriales como PLCs encargados del control y respuesta en los diferentes componentes del proceso, medidores de temperatura, pantalla HMI, 3 variadores de frecuencia, 2 de ellos utilizados para el control de velocidad de los ventiladores del enfriador y el tercero para invertir el giro de un ventilador que servirá como extractor

de vapor, termopares para la lectura de temperaturas en los recipientes, luces pilotos para señalar las electroválvulas activas y pasivas, finalmente pulsadores para encendido y apagado del sistema, adicional a esto se implementará una red Ethernet para la comunicación de los diferentes PLCs que controlarán las diferentes etapas del ciclo de enfriamiento.

Simulación: Se realizará una práctica de simulación del proceso de enfriamiento donde observaremos en la pantalla HMI los elementos activos y pasivos del sistema, velocidades de los ventiladores, temperaturas adquiridas por la termopares, encendido y apagado de aspersores, bombas, electroválvulas y mensajes de alerta, adicional se colocará un recipiente con agua para obtener la lectura de una termopares ubicada en el mismo para responder en consecuencia.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un prototipo de automatización para el proceso de control de enfriamiento del mosto dirigido a las cervecerías artesanales para la optimización de recursos hídricos y energéticos, empleando redes y comunicación industrial, que permita establecer una comunicación confiable entre los dispositivos de la red.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar el diagrama KOP o de contactos (programación gráfica del PLC) para el control del proceso de enfriamiento.
- Implementar una red Ethernet para la comunicación entre PLCs.
- Desarrollar una interfaz gráfica amigable con el operador mediante el software DOPSoft para la pantalla HMI permitiendo el monitoreo del sistema.
- Reducir el gasto económico del proceso de enfriamiento de mosto a través del ahorro de recursos hídricos y energéticos.

## **1.4 RESULTADOS ESPERADOS.**

Una vez concluida el desarrollo de la propuesta empleando adecuadamente las tecnologías industriales se espera lograr los siguientes resultados:

- Lograr una lógica de programación que no superen los tiempos máximos de respuesta y permita el control del sistema desde un ordenador a través del software TIAPortal en caso de avería del HMI.
- Implementación y correcto funcionamiento de la red de comunicación industrial, logrando al menos un 95% de eficiencia en la transmisión de datos dentro de los parámetros de tiempo establecido por los fabricantes.
- Monitoreo detallado y satisfactorio del proceso de enfriamiento, que permita al usuario conocer cada aspecto o subproceso que se realiza y la manipulación de parámetros de temperaturas deseadas.
- Reducir los consumos de agua y energía eléctrica del proceso de enfriamiento de forma significativa, alcanzando por lo menos un 25% de disminución de los gastos económicos en los rubros mencionados.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN**

El sector artesanal de producción de cerveza no posee una automatización en su proceso de elaboración y actualmente cuenta con un mercado que crece de forma continua, desplazando en algunos sectores a las cervezas de marcas reconocidas [1].

El desarrollo de la propuesta se centra en realizar la automatización de la etapa de enfriamiento de mosto, derivando en la creación de un sistema de control y monitoreo de temperaturas ideales para pasar a la etapa de fermentación en el proceso de elaboración de cerveza.

El ciclo esencial para obtener un producto de mejor sabor, y de mayor durabilidad, es el enfriamiento del mosto, debido a que este ciclo mientras más rápido se cumpla se logra la reducción de componentes que producen turbidez en la cerveza y la

eliminación de gérmenes que dan mal sabor y olor a la bebida, dotando al producto final un mejor índice de calidad.

Haciendo referencia a trabajos de modelamientos matemáticos y de infraestructura para una torre de enfriamiento, se puede deducir que si se construye con los parámetros adecuados es posible reducir el tiempo de enfriamiento y al mismo tiempo aumentar la capacidad de litros por ciclo para dicho proceso [5] [6] [7].

La propuesta tecnológica presentada cumple las características necesarias para realizar un proceso de enfriamiento de forma eficiente, teniendo en cuenta que durante el desarrollo de esta propuesta solo se simulará el proceso y se implementará parcialmente los elementos de control y monitoreo excluyendo los actuadores como: bombas, aspersores, ventiladores y la infraestructura de la torre de enfriamiento, con lo que se puede determinar, que quienes decidan implementar el sistema en su totalidad ocasionará un costo elevado pero que finalmente será compensado al brindar la facilidad de control del proceso, reducir de forma significativa los gastos referentes a consumos de agua y energía eléctrica, cubrir las necesidades y requerimientos del ciclo.

## **1.6 METODOLOGÍA**

La siguiente propuesta estará sustentada en las siguientes metodologías:

### **INVESTIGACION EXPLORATORIA**

Esta investigación se basa en opiniones de expertos y comportamientos de fenómenos, dentro de los procesos de elaboración de cerveza y de torres de enfriamiento, estos resultados tienen su fundamentación en la apreciación del investigador. Los métodos utilizados son:

- Consultas bibliográficas.
- Consultas a expertos.
- Observaciones.

## **INVESTIGACION APLICADA**

A partir de la recolección de datos de una investigación básica se genera este tipo de investigación la cual sirve para identificar los problemas sobre los que se intervendrá y para definir las estrategias para la solución.

A continuación se detallan las fases donde se aplicaran los métodos de investigación:

### **FASE 1: Estudio de proceso de enfriamiento, redes y comunicaciones industriales.**

En esta fase se realiza una investigación preliminar donde se recopilarán datos necesarios para analizarlos, reconocer las necesidades y procesos del proyecto y a continuación proponer una solución.

Dentro de esta fase se espera poder conocer totalmente los requerimientos en hardware y software para la consecución de los objetivos planteados anteriormente y de esta forma satisfacer las necesidades del usuario del sistema mediante una investigación diagnóstica y exploratoria.

### **FASE 2: Diseño e implementación de software y hardware.**

El diseño técnico donde se implementará la propuesta tecnológica mediante la aplicación de los conocimientos teóricos-prácticos adquiridos durante el periodo de formación académica, se definen los componentes los materiales y componentes tecnológicos estudiados en la fase 2 para la implementación de la estructura y la red de comunicación para la interrelación del software y hardware, la interfaz gráfica de monitoreo en la pantalla HMI. En esta fase se utiliza la investigación aplicada.

### **FASE 3: Simulación y evaluación.**

Con la simulación se ratifica lo elaborado en las fases anteriores, se registran los resultados de las mismas para posteriormente ser evaluados y ofrecer información precisa sobre el funcionamiento y desempeño del sistema de control elaborado mediante el empleo de investigación aplicada.

## **CAPÍTULO II**

### **PROPUESTA TECNOLÓGICA**

#### **2.1 MARCO CONTEXTUAL**

La propagación de cervecerías artesanales a nivel nacional ha aumentado de forma gradual. Hoy en día todo amante de la cerveza está en la búsqueda de nuevos sabores para esta refrescante bebida.

La provincia de Santa Elena no es la excepción pues en ella también existen productores artesanales de esta bebida, ubicados en la comuna “Montañita” de la parroquia “Manglaralto”, Montañita Brewing Company, es un proveedor de diversos tipos de cervezas artesanales para los visitantes nacionales y extranjeros de la localidad.

Montañita Brewing Company cuenta con una pequeña infraestructura semi-industrial como calderos, sistemas de enfriamiento, medidores de temperatura y reservorios para la fermentación de la bebida, todos estos equipos operan bajo la supervisión y manipulación del personal.

El sistema de control y automatización del proceso de enfriamiento finalmente deberá ser montado dentro del cuarto de elaboración de la cerveza, se estima que este diseño de automatización sea aprovechado en las cervecerías artesanales con la finalidad de optimizar los recursos hídricos y energéticos.

Para objeto de simulación y demostración del funcionamiento del diseño de control de automatización del sistema de enfriamiento de mosto, se implementará en el laboratorio de automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), ubicada en el cantón La Libertad perteneciente a la Provincia de Santa Elena, tres racks de comunicación industrial con los elementos electrónicos necesarios para el desarrollo de la propuesta.



Debido a que la infraestructura operará en un ambiente salino que puede provocar la corrosión en los medios guiados de comunicaciones se recomienda montarlo en un rack tipo armario y dar mantenimientos preventivos periódicamente.

Anteriormente al inicio del sistema se debe verificar que las válvulas de alimentación externas de agua se encuentren correctamente conectadas y abiertas.

Mediante la interfaz de usuario el operario podrá visualizar las diferentes etapas del proceso de enfriamiento, se dispondrá de un pulsador para el arranque del sistema de enfriamiento y otro pulsador para una parada de emergencia.

El diseño de esta automatización se realiza bajo protocolos de comunicación Ethernet y Profibus.

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL.**

### **2.2.1 SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN**

La real academia de ciencias físicas y exactas dice que: la automática es el conjunto de métodos y procedimientos para sustituir en las tareas físicas y mentales a los operarios humanos, a partir de este concepto básico se desglosa la definición de automatización como la aplicación de la automática al control y monitoreo de los procesos industriales.

Entiéndase como proceso aquella parte del sistema, donde una entrada material sufre una transformación como consecuencia de las perturbaciones del entorno dando origen a una salida material en calidad de producto, los procesos se clasifican en tres grupos:

Procesos continuos cuya característica principal es la salida del proceso en forma de flujo continuo, es decir, la materia prima constantemente ingresa por un extremo del sistema al mismo tiempo que en el otro extremo se obtiene de forma continua el producto elaborado, por ejemplo una hidroeléctrica.

Procesos discretos, aquellos cuyas salidas del proceso está basado en unidades o un número finito de producto final, por ejemplo la fabricación de automóviles.

Procesos batch son los que presentan una salida en forma de cantidades o lotes de materia final o producto, un claro ejemplo de este es la producción de cerveza.

### **Control de proceso industrial.**

Esto comprende teoría de control básica de retroalimentación y de control PID, la instrumentación donde intervienen los sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc., la aplicación en los procesos industriales, los diferentes tipos de arquitecturas de control, teorías de control avanzadas como control predictivo, multivariable, etc., siendo estos algunos de los aspectos más relevantes.

### **Instrumentación de control.**

Los elementos básicos son tres: el autómata programable o PLC, el ordenador industrial y el regulador industrial, todos ellos tienen su aplicación dentro de la industria actual, todos comparten el protagonismo y es muy usual encontrar documentación de las mejoras continuas del control mediante un ordenador razón por lo que la tendencia es seguir utilizando estos elementos en los próximos años.

### **Control por ordenador.**

Desde la década de los años cincuenta, cuando tuvo su aparición en los procesos industriales, posee funciones que están vigentes aún en la actualidad como monitoreo, vigilancia, control y supervisión, por otra parte el ordenador es capaz de conectarse al autómata programable de forma física ampliando la interacción entre los elementos, debido al gran desarrollo de las comunicaciones industriales, en la actualidad los ordenadores pueden formar parte de la red industrial mediante un bus de campo (PROFIBUS) o una red de área local (ETHERNET).

## **Interfaz humano – máquina.**

Las Human Machine Interface (HMI) destinadas a las aplicaciones industriales se clasifican en dos grupos: supervisión de procesos basadas en supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) y las de visualización y manejo a nivel de máquina basada en paneles que pueden ser móviles o estacionarias [8].

### **2.2.2 COMUNICACIÓN INDUSTRIAL**

Actualmente en las industrias se considera que uno de los pilares fundamentales es la comunicación de datos entre los diferentes procesos e instalaciones, logrando de esta manera que la industria se establezca en un nivel competitivo exigidos en los diversos procesos productivos.

El nivel de exigencia en la comunicación de datos industriales incrementa a medida que nos encontramos más cerca del proceso, a continuación se detallan las principales características que determinan la aplicación de las redes de comunicación.

- Volumen de datos: Cantidad de datos que viajan por la red en cada trama o envío.
- Velocidad de transmisión: Velocidad a la que viajan los datos por la red.
- Velocidad de respuesta: Velocidad que existe en el intervalo de tiempo orden-respuesta, es decir, velocidad que tarde en responder el sistema a una orden.

Para clarificar la teoría expuesta anteriormente se plantea el siguiente ejemplo.

Si deseamos establecer una comunicación entre un proceso industrial con la red de ordenadores que serán utilizados para lecturas de las bases de datos reflejando el estado actual de la producción. En este caso la velocidad de respuesta es baja puesto que debemos considerar la cantidad de datos para este segmento de la red, lo que implica que los datos llegarán con latencia o retardo, situación que no representa disfunción en

la productividad, debido a que solo es lectura de datos, caso contrario sucede en un detector de proximidad que cuando cambia de estado ha de producir un cambio en el proceso y este debe ser procesado de forma inmediata, teniendo en cuenta que el término “inmediato” podría acarrear algunos milisegundos de latencia.

A continuación en la tabla 1 se observa un resumen de las características que debe tener la comunicación de este ejemplo.

	<b>Volumen de dato</b>	<b>Velocidad de transmisión</b>	<b>Velocidad de respuesta</b>	<b>Aplicación</b>
<b>Red de ordenadores</b>	Elevado	Elevado	Bajo	Lectura de datos
<b>Detector de proximidad</b>	Muy bajo	Bajo	Instantánea	Sistema de seguridad

Tabla 1: Ejemplo de características en los diferentes niveles de la automatización. Tomado del libro “Diseño Industrial: Diseño y Automatización industrial”.

Está claro que existen varios niveles de redes de comunicación que deben cumplir exigencias funcionales solicitadas. A partir de este concepto nace la pirámide de comunicaciones dividida en cuatro niveles y reconocida por todos los fabricantes de dispositivos de redes de datos, como se muestra en la figura 2.

**Nivel de Gestión:** Generalmente conformado por ordenadores tanto a nivel de oficina como de ingeniería.

**Nivel de Planta:** Básicamente conformado por ordenadores con software específicos para el control de los procesos.

**Nivel de Célula:** Son todos los componentes inteligentes que directamente intervienen en los procesos.

**Nivel de Campo:** Son aquellos dispositivos que producen los movimientos en los procesos productivos [9].

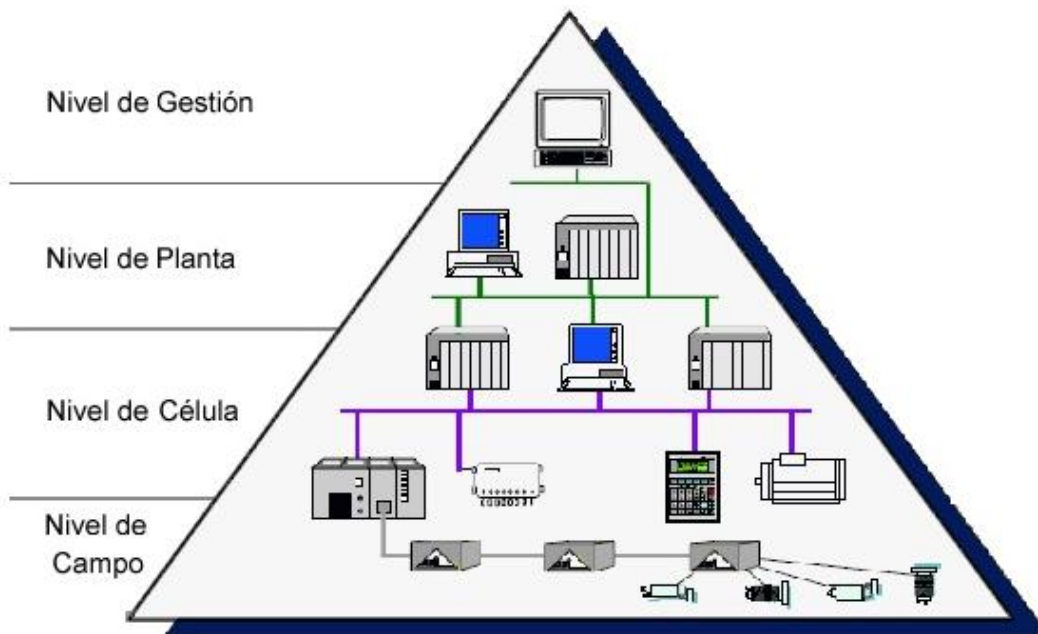


Figura 2: Pirámide de niveles de automatización industrial. Tomado del libro “Diseño Industrial: Diseño y Automatización industrial.

## 2.2.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.

### 2.2.3.1 Protocolo ModBus

Creado por la compañía Modicom, ModBus es un protocolo de comunicación poseedora de una arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP), convertido en un standard industrial por gozar de disponibilidad para implementos electrónicos industriales, este protocolo es superior a otros debido a sus 3 características principales:

- Manejo de bloques de datos sin restricciones.
- Fácil implementación y poco desarrollo.
- Es público.

Permite controlar los dispositivos electrónicos de una red, como sistemas de medición de temperatura y realizar el envío de datos a un ordenador.

Existen dos versiones de este protocolo:

- Puerto serie.
  - o Remote Terminal Unit (RTU).
  - o American Standard Code for Information Interchange. (ASCII)
- Puerto Ethernet.

### **ModBus RTU**

En la actualidad esta variante del protocolo se usa para implementaciones domóticas y control de procesos. La transmisión de mensajes se realiza en tramas, esto permite que los receptores tengan información necesaria para localizar la cabecera, determinar el destinatario y detectar el final del mensaje, de esta forma, los mensajes parciales se catalogan como errores, dándole una ventaja sobre la otra variante en cuanto a la tasa de transmisión siendo esta mayor sin afectar la velocidad.

Las direcciones válidas cubren el rango de 0 a 247 siendo 0 una dirección para broadcast, los códigos de función pueden contener dos caracteres (ASCII) o 8 bits (RTU) y tienen un rango de 1 a 255.

El modo escogido sea ASCII o RTU deberá ser el mismo en todos los componentes de la red ModBus, debido a que cada modo tienen su forma propia de definir el contenido de los campos del mensaje y empaquetamiento de datos [10].

### **ModBus TCP**

La implementación de este protocolo sobre redes Ethernet permite un aumento en el grado de conectividad. Establece transmisiones mediante paquetes TCP/IP, teniendo una estructura similar a la variante RTU, de tal manera que se puede emplear bajo internet, dando lugar a un control de acceso remoto.

Esta variante del protocolo se ha convertido un estándar debido a su simplicidad, costos bajos, recursos mínimos en hardware y por ser un protocolo abierto.

La combinación de una red física versátil y escalable como Ethernet con el estándar universal de interredes TCP/IP y una representación de datos independiente de fabricante, como ModBus, proporciona una red abierta y accesible para el intercambio de datos de proceso [11].

A continuación la figura 3 muestra la estructura del empaquetamiento de datos mediante el protocolo ModBus.

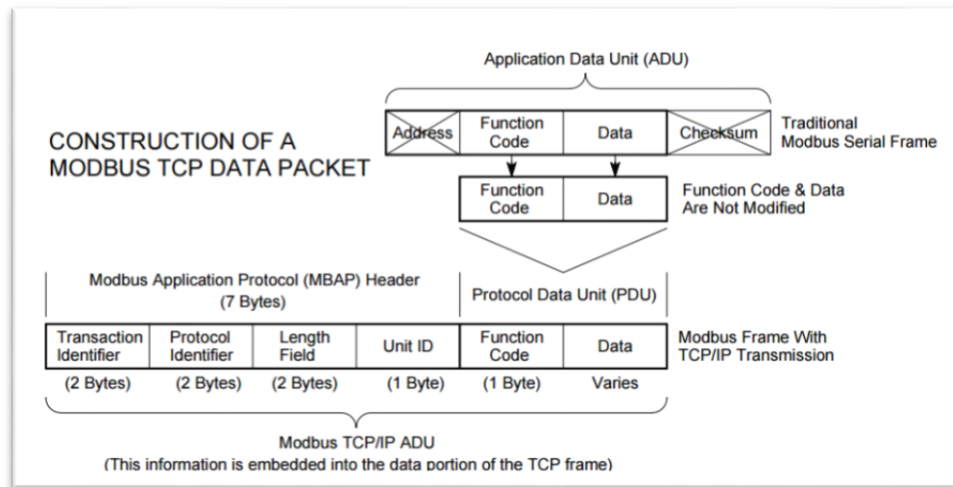


Figura 3: Estructura de la trama de datos del protocolo ModBus TCP/IP. Tomado del libro "Introduction to Modbus TCP/IP".

### 2.2.3.2 Protocolo ETHERNET

#### TCP/IP

Protocolo de control de transmisión / protocolo de internet son un conjunto de protocolos que hacen posible la comunicación entre ordenadores de diferentes redes de áreas locales (LAN) y brindar servicios como Telnet, Ftp, E-mail entre otros.

#### Protocolo de control de transmisión (TCP)

Permite la conexión e intercambio de datos entre dos ordenadores o miembros de una red. Este protocolo garantiza que los paquetes o tramas se entreguen de forma ordenada y que dichos datos no se pierdan durante la sesión.

## **Protocolo de internet (IP)**

Son direcciones, serie de 4 octetos o bytes con un formato de punto decimal, por ejemplo: 192.168.0.1

Los protocolos de aplicación como HTTP y FTP se basan y utilizan TCP/IP.

## **Ethernet TCP/IP**

En la actualidad es el protocolo más utilizado pues brinda direccionamiento de tipo MAC, verificación de errores y permite la transmisión de tramas en enlaces de tipo half duplex y full dúplex, de la misma forma admite comunicaciones unicast, multicast y broadcast [12].

## **Ethernet/IP**

En base a TCP/IP se deriva este nuevo protocolo de red aplicado a la automatización industrial denominado Ethernet/IP, este emplea el hardware y software ya conocidos estableciendo un nivel de protocolo que permite configurar, acceder y controlar los diferentes elementos que intervienen en la automatización industrial.

Este protocolo realiza una clasificación de nodos dependiendo a los dispositivos preestablecidos y sus actuaciones específicas ofreciendo así un sistema integrado, completo y enterizo desde la planta industrial hasta la red central de la empresa.

El protocolo de red Ethernet/IP está basado en el Protocolo de Control e Información (Control and Information Protocol - CIP) utilizado en DeviceNet y ControlNet [13] como se muestra en la figura 4.



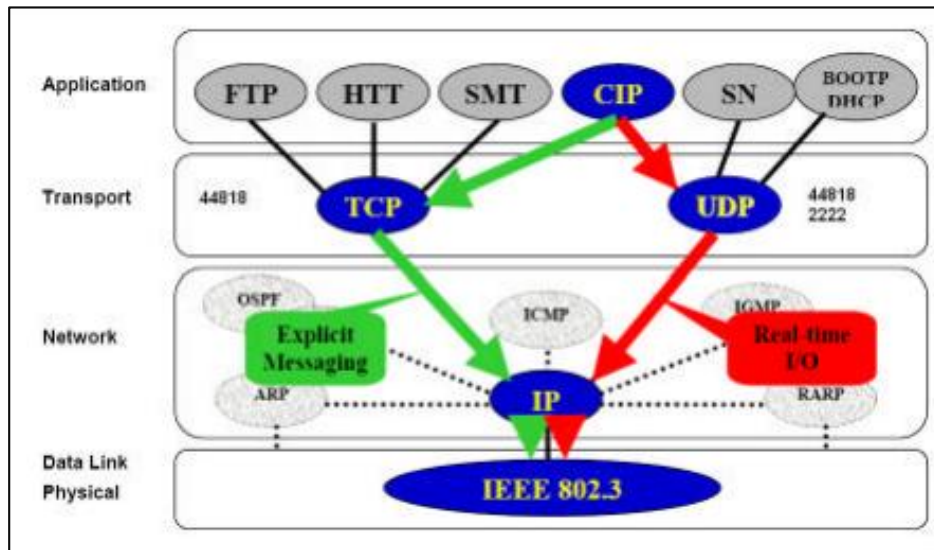


Figura 4: Funcionamiento del protocolo Ethernet/IP o Ethernet Industrial. Tomado del enlace web oficial de SIEMON.

### Comunicación S7

Este servicio o protocolo de comunicación es propio de Siemens, es decir es compatible y aplicable solo a controladores Siemens de la serie S7 y C7, y permite el intercambio de datos entre controladores utilizando funciones del sistema (SFCs).

La comunicación de los datos globales para la transferencia de datos cíclicos está disponible para los controladores SIMATIC que se encuentran alojados en una misma red. Este tipo de comunicación viene integrada en los sistemas operativos o firmware de los controladores ya mencionados encargándose del intercambio de los datos globales entre el origen y el destino, como se muestra en la figura 5.

Este tipo de comunicación no realiza acuse de recepción debido a que es un procedimiento de difusión general para la transmisión y no dispone mecanismos que garanticen la integridad y exactitud de los datos.

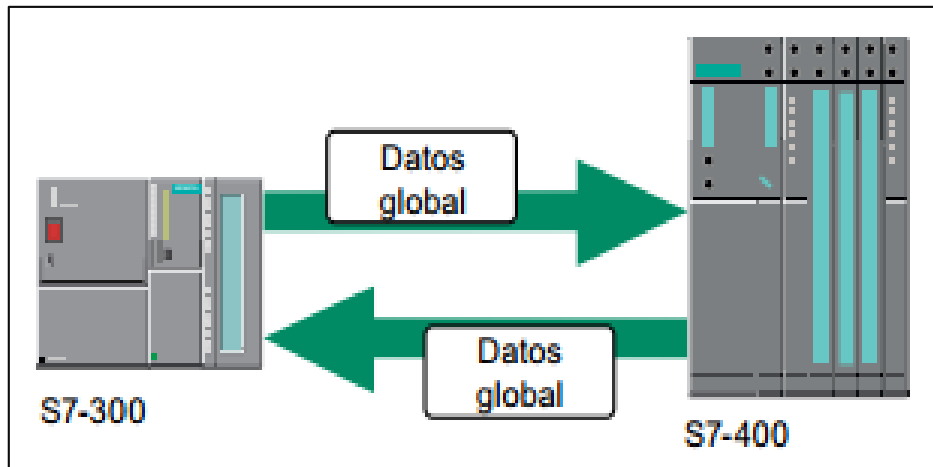


Figura 5: Funcionamiento Básico del protocolo S7. Tomado del manual "sistema de comunicación con SIMATIC" de Siemens.

Las redes de comunicación S7 admiten cualquier dispositivo SIMATIC:

- Controladores S7.
- Dispositivos HMI.
- Unidades de programación.

Todos estos elementos no necesitan ningún procesador de comunicaciones para poder conectarse a una red S7 [14].

En la figura 6 se muestra un ejemplo de los dispositivos que se pueden interconectar mediante el protocolo s7.

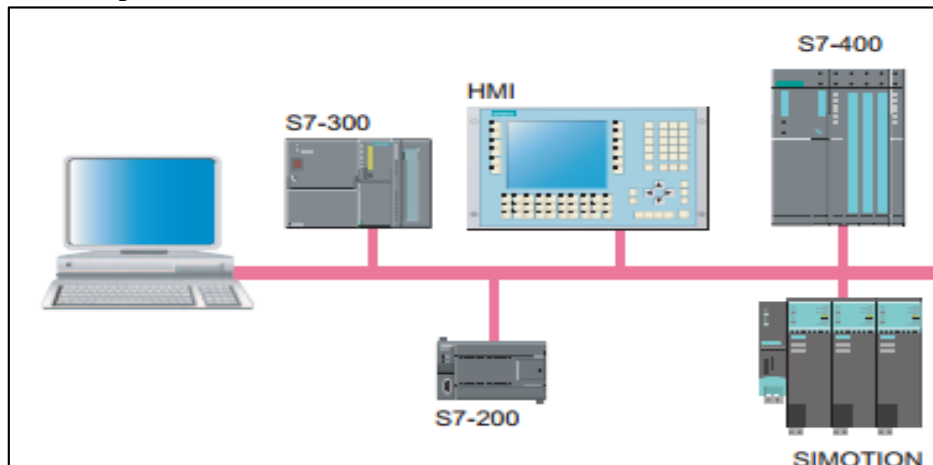


Figura 6: Red de comunicación S7. Tomado del manual "sistema de comunicación con SIMATIC" de Siemens.

## 2.2.4 INTERCAMBIADORES DE CALOR

Muchas situaciones en los diferentes tipos de industrias requieren de procesos donde es necesario realizar un cambio de temperatura de algún fluido ya sea por seguridad o por exigencia del proceso a realizarse, para este tipo de requerimientos contamos con los sistemas de transferencia de calor que cumplen con la función de cambiar la temperatura de una corriente denominados intercambiadores de calor [15].

Estos equipos se clasifican de acuerdo a los siguientes criterios:

- Proceso de transferencia.
  - o Contacto directo.
  - o Contacto indirecto.
- Mecanismo de transferencia.
- Numero de fluidos involucrados.
- Tipo de construcción.
  - o Doble tubo.
  - o Torres de enfriamiento.
  - o Tubo y coraza.
  - o Placas empacas.
  - o En espiral.
  - o Serpentin.

### **Torres de enfriamiento.**

Estas torres tienen como finalidad quitar el calor de un fluido, por medio de una corriente de aire seco y frío que se hace circular dentro de la misma, ayudado con agua fría que cae en forma de lluvia desde los aspersores superiores.

Estas torres se clasifican según el origen de la corriente de aire que circula dentro de ella.

Entre estas encontramos:

- Torres de circulación natural.
  - o Atmosféricas.
  - o Tiro natural.
- Torres de tiro mecánico.
  - o Tiro inducido.
  - o Tiro forzado.
- Torres de tiro cruzado.

### **Torres de tiro mecánico.**

El termino tiro mecánico hace referencia a que la corriente de aire que circula dentro de esta es inducido por motores.

### **Torre de tiro mecánico forzado.**

El aire que circula por esta torre es inducido por ventiladores situados en la parte inferior y se descarga por la parte superior ayudado por un ventilador de giro invertido cumpliendo la función de extractor [16].

## **2.3 MARCO TEORICO**

A continuación se detallarán artículos estudiados por el autor que han servido como guía para la realización del presente trabajo de titulación, estos artículos están ordenados por fecha de publicación.

El trabajo realizado por Pino A. Gustavo y Martínez L. Ernesto publicado por la Escuela Superior Politécnica del Litoral en el año 2003, redacta un rediseño total del sistema de agua para enfriamiento de la empresa INCABLE S.A. y que consta de tres partes fundamentales: selección de tuberías de redistribución, aumento en la capacidad de enfriamiento y la selección de ablandadores de agua para la reposición en las torres de enfriamiento. En este proceso se determina el requerimiento o capacidad de

enfriamiento para el sistema, se realizan exámenes microbiológicos, físicos y químicos para determinar la calidad de agua a utilizarse en las torres debido a que esta agua proviene de pozos naturales y para finalizar se determina la velocidad a la que debe fluir el agua para el correcto enfriamiento de aceite de las maquinas. Llegando a la conclusión de que los ramales de tuberías que no cumplan con los requisitos, perdidas por fricción, velocidad de agua y caída de presión, serán reemplazadas. Instalando dos torres de enfriamiento se logra una reducción del 57% en consumo de energía, representando un ahorro económico de 1600 USD mensuales por concepto de energía eléctrica y agua, además se determina que la inversión será recuperada en dos años solo con los ahorros generados [17].

Mattensohn B. Roberto en su redacción para la Universidad Simón Bolívar publicado en el año 2006 titulado “Análisis del sistema de enfriamiento en la planta de resina de la empresa INTEQUIM C.A.” da a conocer que la planta posee gran carga calórica variable en el tiempo, dependiendo del producto que se esté elaborando. Este análisis se orientó al sistema del proceso de enfriamiento estudiando la capacidad y funcionamiento de las torres de enfriamiento instaladas, a través de estos estudios se observa: comparación de puntos de diseño con puntos de operación actual, los problemas de utilizar componentes diferentes a los especificados. Concluyendo que las torres solo están trabajando a un 50% ocasionando un alto consumo de energía eléctrica y de recurso hídrico para cumplir con el objetivo, se propone para un ahorro de energía el uso de variadores de frecuencia [18].

Referente a los procesos de torres de enfriamiento, la Universidad Central de Quito en el año 2015 presenta un trabajo titulado “Optimización de un sistema de enfriamiento para molinos de rodillos” elaborado por C. Bustamante D., donde explica que la empresa Grupo Vikingo dispone de un molino para la mezcla de caucho con varios aditivos, provocando un calentamiento debido a la fricción. En la parte interior del molino se hace recircular agua para el enfriamiento del mismo, y con el paso del tiempo esta va aumentando su temperatura. Una vez determinado la cantidad de calor que el molino cede al agua, mediante la toma de temperaturas de entrada y salida de agua, se

proyecta la variable de flujo de aire que debe recircular dentro de la torre de enfriamiento, haciendo relaciones matemáticas entre variables que intervienen en el proceso, se llega a la conclusión de que el flujo de aire óptimo es de 3764 Kg/h y el caudal de agua a disipar es de 1774,8 Kg/h, valore que satisfacen la función de enfriamiento para evitar que la mezcla se eche a perder [19].

## **2.4 DESARROLLO**

### **2.4.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA**

#### **2.4.1.1 COMPONENTES FÍSICOS.**

Para el desarrollo de la presente propuesta tecnológica es necesario conocer las capacidades y características técnicas de los implementos que intervienen en el proceso.

#### **Componentes del proceso de enfriamiento del mosto.**

Proceso sobre el cual se centrará la presente propuesta tecnológica, está conformada por ollas donde se introduce una estructura de acero inoxidable, intercambiador de calor de placas, para enfriar el mosto.

El mosto es el resultado de la cocción de la malta, es un líquido color marrón y sabor dulce que una vez enfriado estará listo para el proceso de fermentación y posteriormente la maduración.

A demás se observa que el proceso cuenta con un panel de control manual estructurado con perillas, botoneras de activación de bombas y válvulas manuales para el paso de los fluidos como observamos en las figuras 7 y 8.



Figura 7: Olla de enfriamiento para mosto Tomada del sitio Web de "Montañita Brewing Company" disponible en el enlace: <http://www.montanitabrewingcompany.com/photos.html>.



Figura 8: Sistema de enfriamiento por placas. Tomado del sitio Web de "Montañita Brewing Company" disponible en el enlace: <http://www.montanitabrewingcompany.com/photos.html>.

Para el desarrollo del proyecto se propone el reemplazo de la olla por una torre de enfriamiento de tiro mecánico forzado, misma con la que la empresa cuenta en otro proceso que actualmente no utiliza, ver figura 9.



Figura 9: Torre de enfriamiento Bora 750. Tomado de catálogo de productos "Proficool FANS" disponible en el enlace Web: <http://www.proficool-fans.com/es/torres-de-refrigeracion-ensambladas-en-fabrica/detail/69761id/>

Para la implementación del sistema lógico de control automático del proceso de enfriamiento es necesario la integración de equipos de comunicación industrial como los que se detallan a continuación:

### **Autómata Programable PLC.**

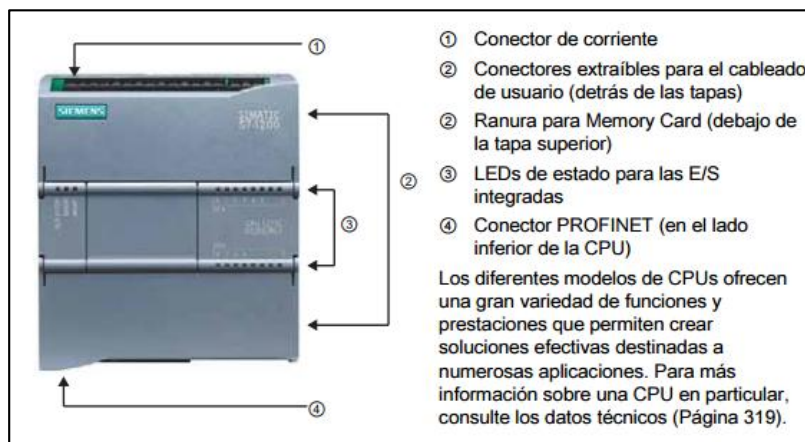


Figura 10: PLC Siemens Modelo 1212c. Tomado de "S7-1200 manual del sistema".



El sistema estará implementado bajo el control de 3 autómatas programables PLC marca SIEMENS modelo 1212c AC/DC/RELAY con las siguientes especificaciones técnicas, detalladas en la tabla 2.

En el presente trabajo se incluye la ficha técnica completa del autómata programable Siemens modelo 1212c (ver anexo 1).

Función	CPU 1212C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75
Memoria de usuario	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="876 678 958 699">• 25 KB</li> <li data-bbox="876 737 950 758">• 1 MB</li> </ul>
E/S integradas locales	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="876 831 1071 852">• 8 entradas/6 salidas</li> <li data-bbox="876 890 998 911">• 2 entradas</li> </ul>

Tabla 2: Resumen ficha técnica de PLC. Tomada de "S7-1200 Manual del sistema".

### **Módulo de comunicación ModBus (punto a punto).**

SIMATIC S7-1200 permite la comunicación punto a punto a través de la ampliación de CPU con interfaz RS-485, figura 11, mediante la utilización de las librerías ModBus incluidas en STEP 7, permitiendo la conexión hasta de 32 esclavos conectados uno detrás de otro en cada segmento de red.



Figura 11: Módulo Cm1241 Rs48. Tomado de DataSheet.

A continuación se presenta la tabla 3 con el resumen de la ficha técnica del módulo cm 1241.

<b>Función.</b>	<b>Característica.</b>
Tensión de alimentación.	24 [V].
Intensidad de entrada.	220 [mA].
Longitud máxima de cable.	1000 [m].
Protocolo de comunicación.	ASCII/ModBus/RTU maestro/esclavo.
<b>Función.</b>	<b>Característica.</b>
Tensión de alimentación.	24 [V].
Intensidad de entrada.	220 [mA].
Longitud máxima de cable.	1000 [m].
Protocolo de comunicación.	ASCII/ModBus/RTU maestro/esclavo.

Tabla 3: Resumen datos técnicos módulo cm 1241. Tomado de DataSheet (ver anexo 2).

### **Controlador de temperatura.**

Para un control de temperatura de los reservorios de mosto tanto el de cocción como el de paso, se utilizan controladores de temperaturas marca DELTA modelo dtb 4848, figura 12.



Figura 12: Controlador de temperatura Delta modelo DTB4848.

Este dispositivo cuenta con una gran variedad de opciones de funcionamiento entre las que se destacan:

- Control de los modos de entrada: PID / ON – OFF / manual.
- Compatibilidad con una gran variedad de tipos de termopares: J, K, L, R, S, T, U.
- Interfaz de comunicación ModBus: ASCII y RTU.
- Tasa de transmisión: 2400 – 38400 baudios.
- Velocidad de respuesta en toma de temperatura: 0.5 segundos/hora.

### **Termopares.**

Son los sensores de temperatura más utilizados en el ámbito industrial, este dispositivo está elaborado de dos filamentos de materiales distintos unidos en el extremo generalmente por soldadura y al aplicarse una temperatura se genera una variación de voltaje muy pequeña en el orden de mili-voltios. A continuación se muestra la tabla 4 con los diferentes tipos de termopar.

<b>Termopar.</b>	<b>Cable +</b>	<b>Cable -</b>	<b>Temperatura de trabajo</b>
J	Hierro	Cobre/Níquel	-180°C a 750°C
K	Níquel	Níquel/Aluminio	-180°C a 1372°C
T	Cobre	Cobre/Níquel	-250°C a 400°C
R	87% Platino 13% Rodio	Platino	0°C a 1767°C
S	90% Platino 10% Rodio	Platino	0°C a 1767°C
B	70% Platino 30% Rodio	94% Platino 6% Rodio	0°C a 1820°C

Tabla 4: Estructura y temperaturas de trabajo de los diferentes tipos de termopares. Tomado del manual de control e instrumentación de implementos marca ARIAN disponible en el enlace Web: <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>

## Variador de frecuencia.

El control de velocidades para la salida del aire seco en la parte inferior de la torre, es controlada por variadores de frecuencia, figura 13, modificando la potencia de salida de dichos motores. Este dispositivo permite el control rotacional de un motor de corriente alterna (AC) mediante el control de la frecuencia de alimentación que se suministra al motor.



Figura 13: Variador de frecuencia Delta vdf-el.

A continuación se detalla las características técnicas más importantes del variador de frecuencia marca DELTA modelo vfd-l.

- Frecuencia de salida: 0.1 – 600 Hz.
- Diseño modular y compacto.
- Función PLC integrada.
- Curva ajustable V/f.
- Montaje en riel Din.
- Voltaje de funcionamiento: 220 [V].
- Conexión mediante protocolo ModBus (RTU o ASCII).

## **Pantalla interfaz HMI.**

Este instrumento, figura 14, permite interactuar con el sistema de enfriamiento con el objetivo de permitir un control y manipulación eficiente.



Figura 14: Pantalla HMI marca DELTA modelo DOP-B03E211.

Entre las características del dispositivo destaca:

- Display TFT panorámico de alta resolución.
- Retroiluminación LED.
- Dos interfaces de comunicación.
- Índice de protección IP65.

Entre las funciones básicas se encuentran:

- Encendido y apagado del sistema.
- Monitoreo de las condiciones de temperatura.
- Monitoreo de niveles de reservorios.
- Monitoreo de frecuencia de trabajos de motores.
- Monitoreo de indicadores del sistema (bombas, electroválvulas, aspersores, motores de ventilación, indicadores de estados).

En la tabla 5 se muestra un detalle técnico de la pantalla HMI.

<b>Función.</b>	<b>Característica.</b>	<b>Función.</b>	<b>Característica.</b>
Voltaje de funcionamiento.	24 [V].	Protocolo de comunicación para programación.	RS-232 / USB.
Corriente de funcionamiento.	300 [mA].	Tamaño de pantalla	4.3 pulgadas.
Protocolos de comunicación.	RS-232 / RS-422 / RS-485/ Ethernet.		

Tabla 5: Resumen de datos técnicos de HMI. Tomado de Datasheet.

### Medio de transmisión.

El medio utilizado para la conexión de los dispositivo de adquisición de datos de temperatura y de variación de frecuencia será un cable UTP categoría 5e debido a que será para demostración práctica de la simulación, el medio ideal para este tipo de procesos es un cable STP categoría 6a pues este posee un blindaje que lo hace inmune al ruido eléctrico generado por los diferentes elementos industriales, ver figura 15.

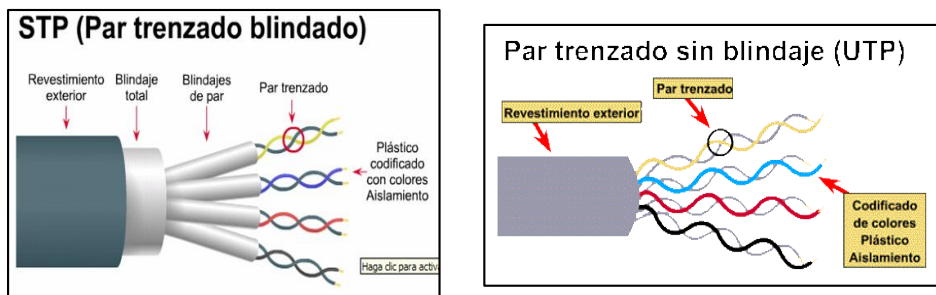


Figura 15: Estructura de los cables utilizados en el proyecto.

El cable par trenzado es una estructura de ocho hilos de cobre que se encuentran aislados entre sí, anulando el efecto de las ondas eléctricas producido por ellos mismos al momento de transmitir. Para la conexión entre el controlador de temperatura y el PLC se utiliza los conectores adecuados para cada uno de ellos, en el extremo del

controlador se utiliza conectores tipo “u” y en el extremo del módulo de comunicación ModBus, adaptado al PLC, se utiliza un conector tipo DV9 con la configuración mostrada en la figura 16 y detallada en la tabla 6.

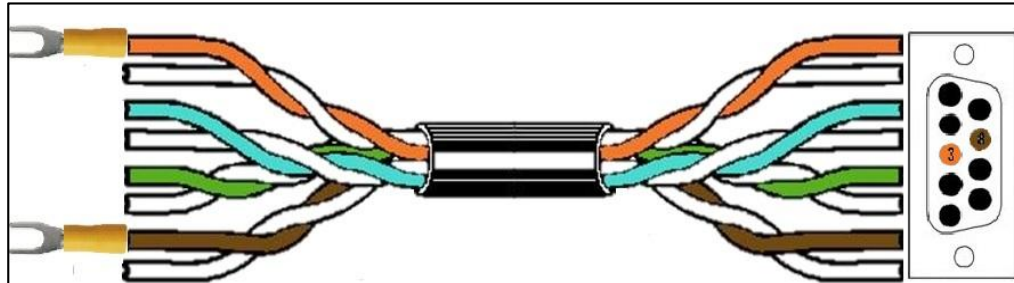


Figura 16: Conector controlador de temperatura – PLC. Elaborado por el autor

Datos (RS 485).	Controlador de temperatura.	Conector DV 9
Data +	Contacto 9	Pin 8
Data -	Contacto 10	Pin 3

Tabla 6: Configuración de conexiones para transmisión de datos protocolo rs485. Elaborado por el autor.

De la misma forma el variador de frecuencia tiene su puerto de comunicación RS485 adaptado a un conector RJ-45 que será conectado al módulo de comunicación ModBus del PLC mediante un conector de tipo DV9 como se muestra en la figura 17 y se detalla en la tabla 7.

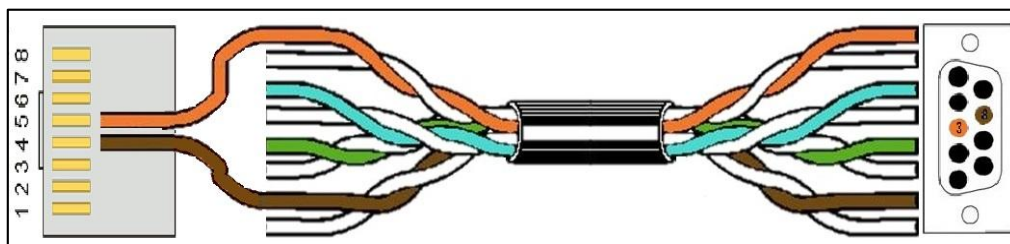


Figura 17: Conector variador de frecuencia - PLC. Elaborado por el autor.

Datos (RS 485).	Variador de frecuencia (RJ-45).	Conector DV 9
Data +	Pin 5	Pin 8
Data -	Pin 4	Pin 3

Tabla 7: Configuración de conexiones para transmisión de datos protocolo rs485. Elaborado por el autor.

Para la transmisión de información entre autómatas programables y pantallas HMI se utiliza la conexión Ethernet ya conocida y estandarizada, configuración T568B, mostrada en la figura 18.

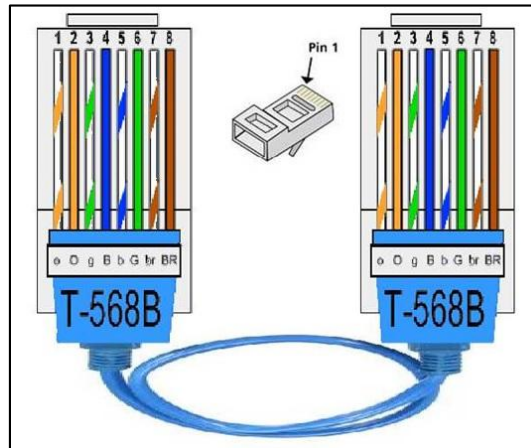


Figura 18: Conector PLC o HMI – SWITCH.

### 2.4.1.2 COMPONENTES LÓGICOS

Para el desarrollo de la propuesta se ha hecho uso de los diferentes tipos de software, los cuales se detallan a continuación:

#### **Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)**

Este software, figura 19, es una herramienta moderna para configurar y programa los controladores SIMATIC de Siemens.

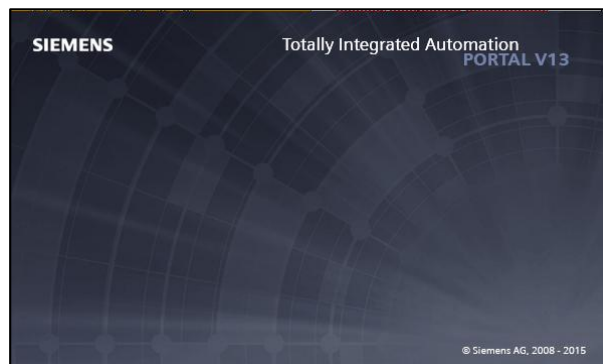


Figura 19: Portada del software TIA Portal. Elaborado por el autor



Entre las ventajas que presenta este software se encuentran:

- Puesta en marcha rápido  
Gracias a la localización de errores a través de un diagnóstico del sistema integrado, del seguimiento en tiempo real y funciones en línea.
- Menor tiempo de parada

Se logra mediante diagnóstico del servidor web y Teleservice.

Permite utilizar varios lenguajes de programación IEC

- Texto estructurado (SCL).
- Esquema de contactos (KOP).
- Diagrama de funciones (FUP).
- Lista de instrucciones (AWL).
- Programación en secuencia (GRAPH).

Con la ayuda de este software programaremos el PLC para el control del sistema de enfriamiento y esta se lleva a cabo en lenguaje de programación KOP o más conocido como escalera o de contacto.

### **Programación esquema de contactos (KOP)**

Este tipo de programación es comúnmente utilizada en los autómatas programables, este lenguaje es gráfico y está basado en esquemas eléctricos clásicos, de tal manera que el conocimiento de todo técnico eléctrico pueda adaptarse a la programación.

En la figura 20 se muestra un ejemplo de la interfaz de la programación.

Para la programación se debe estar familiarizado con las reglas de los circuitos de conmutación o también denominada lógica de contactos, a continuación en la tabla 8 se detallan los elementos básicos del lenguaje KOP.

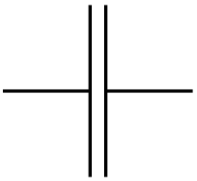
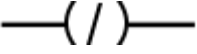

Símbolo	Nombre	Descripción
	Contactor normalmente abierto (NA)	Se activa cuando hay un uno lógico dentro del elemento que representa, esto puede representar una entrada, una variable interna o un bit de señal de sistema.
	Bobina normalmente abierta (NA)	Cuando en su lado izquierdo tiene una combinación lógica que da como resultado un uno lógico esta se activará, su funcionamiento es complementario a la bobina NC
	Bobina Set (S)	Cuando esta bobina se activa se asigna un uno lógico a su valor y la única forma de desactivarlo es reasignando un cero lógico mediante una bobina Reset (R)

Tabla 8: Elementos básicos de programación KOP. Elaborado por el autor.

Por lo general se suele asignar mediante los caracteres B o M y la capacidad numérica dependen del tipo de CPU que se esté programando, su finalidad es el almacenamiento de información para la simplificación de esquemas de programación.

De forma práctica las entradas serán representadas por los contactores por ejemplo un sensor, un pulsador o una memoria interna.

Las salidas sin embargo serán representadas por las memorias de tipo M que pueden representar las salidas externas del sistema, por ejemplo la activación de un motor, una luz piloto o una válvula solenoide, etc.

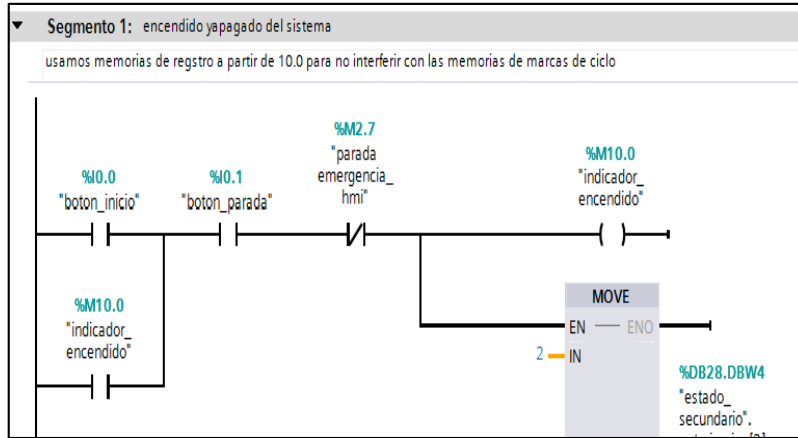


Figura 20: diagrama KOP de encendido de un sistema. Elaborado por el autor.

## DOPSoft.

Pertenciente a la familia de DELTA Group, es un software de programación de pantallas HMI, véase figura 21, donde se realizan los diseños para el control y monitoreo del sistema de enfriamiento.

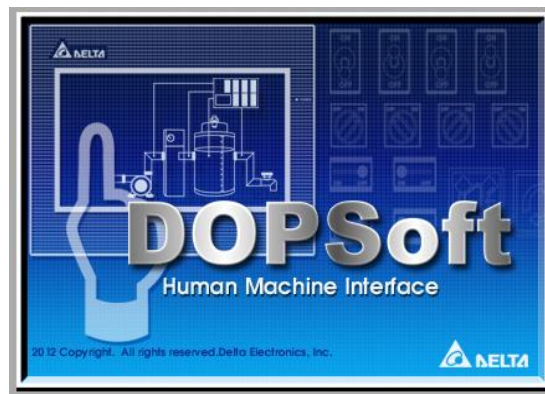


Figura 21: Logotipo de software editor de pantallas HMI. Elaborado por el autor.

Este editor de pantallas permite prácticamente virtualizar todo el proceso del sistema de automatización ofreciendo la ventaja de programar y hacer las respectivas pruebas sin la necesidad de tener los componentes actuadores. En la figura 22 se muestra un ejemplo de la interfaz del software.

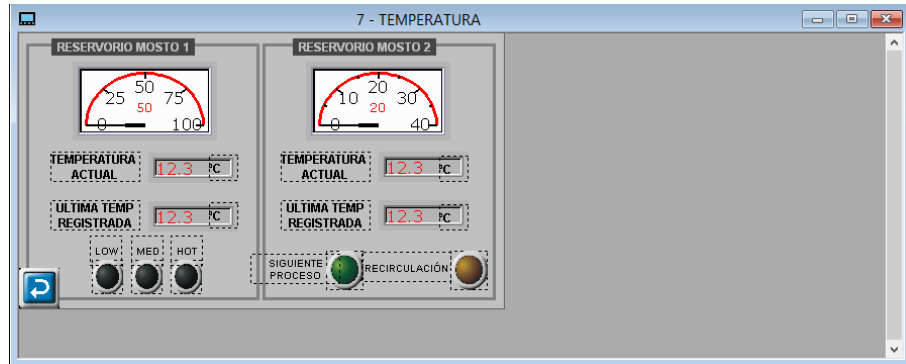


Figura 22: Ejemplo de creación de pantalla para control de temperatura. Elaborado por el autor.

## 2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA

### 2.5.1 COMPONENTES DE AUTOMATIZACION

Para el desarrollo de esta propuesta se necesita implementar los elementos ya mencionados en la sección 2.2.1.1. A continuación se detalla que funciones cumplen y la configuración de cada uno de ellos para el correcto funcionamiento del sistema lógico de la torre de enfriamiento de mosto.

#### 2.5.1.1 Controladores de temperatura marca Delta modelo DTB4848.

Estos controladores encargados de medir constantemente la temperatura de los reservorios de mosto mediante un termopar conectado a estos en la parte trasera, ver figura 23, una vez recibida la señal eléctrica del termopar es procesada y convertida en un dato de temperatura, y esta a su vez es enviada por la red hacia un PLC ejecutando las ordenes necesarias para el funcionamiento del sistema.

Cabe recalcar que estos controladores funcionan en una red ModBus por lo que necesitan ser configurados con los parámetros mostrados en la tabla 9.









<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Función</b>
	J.	Asignación del termopar que se esté utilizando.
	on/off.	Selección del modo de control.
	Rtu.	Selección de variante de ModBus.
	1; para el reservorio inicial. 2; para el reservorio final.	Selección de la dirección para la comunicación ModBus.
	9600.	Velocidad de transmisión de datos.
	8.	Configuración bits de datos.
	none.	Configuración del bit de paridad.
	1.	Configuración de bit de Stop.

Tabla 9: Parámetros de configuración de controladores de temperatura. Elaborado por el autor.

Este equipo cuenta con registros internos donde almacena la información de todo los procesos que puede realizar, véase tabla 10.

REGISTRO	FUNCIÓN
44097	Almacena el valor de temperatura actual registrado por el termopar (Registro de lectura).
44098	Almacena el valor de Set Point de temperatura asignado por el usuario (Registro de escritura).

Tabla 10: Registros del controlador de temperatura utilizados en la programación KOP. Elaborado por el autor.

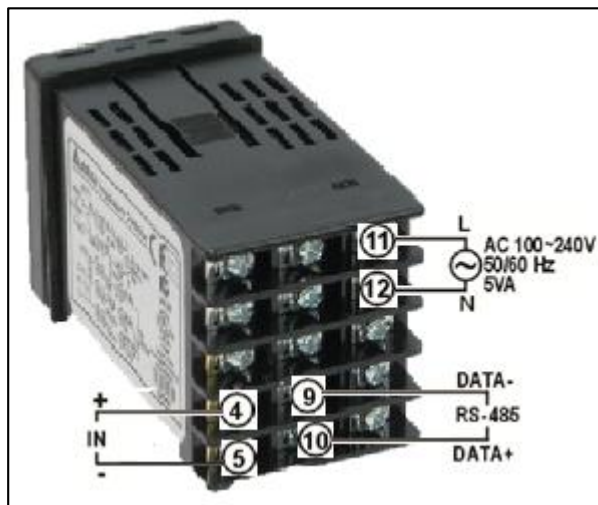


Figura 23: Modo de conexión del controlador de temperatura. Elaborado por el autor.

### 2.5.1.2 Variador de frecuencia marca Delta modelo vdf-el.

Dentro de la propuesta se utilizan tres variadores de frecuencia dos de ellos para el control de la velocidad de los ventiladores generadores de aire desde la base de la torre de enfriamiento y el tercero para el control de la inversión del giro además de la velocidad del tercer ventilador ubicado en la parte superior de la torre que funciona como extractor de vapor.

Al igual que el controlador de temperatura, el variador de frecuencia también necesita ser configurado bajo ciertos parámetros, véase tabla 11.

<b>GRUPO</b>	<b>SUB-GRUPO</b>	<b>VALOR</b>	<b>FUNCIÓN</b>
02	00	03	Activación de comunicación rs-485.
02	01	04	Teclado deshabilitado (RS-485).
09	00	1; ventilador derecho. 2; ventilador izquierdo. 3; extractor de vapor.	Asignación de la dirección para comunicación ModBus.
09	01	1	Velocidad de transmisión
09	04	06	Asignación de comunicación RTU, 8 bits para el tamaño de dato, 1 para el bit de stop y 0 para bit de paridad.

Tabla 11: Parámetros de configuración para comunicación ModBus. Elaborado por el autor.

Los registros que se usan en este dispositivo se muestran en la tabla 12.

REGISTRO	FUNCIÓN
48193	Almacena un valor numérico que dará una función de operación para el variador.
48194	Almacena el valor de asignación de frecuencia con el que trabajara el variador.

Tabla 12: Registros internos del variador de frecuencia utilizados en el proyecto. Elaborado por el autor.

### 2.5.1.3 Pulsadores marca CAMSCO.

Los botones o pulsadores que se usan son dos, uno para encender el sistema que es normalmente abierto (NO) que permite el flujo de la corriente al ser pulsado, y el segundo para el apagado del sistema que es normalmente cerrado (NC) el cual cortará el flujo de la corriente al ser pulsado, ambos botones son conectados bajo la configuración mostrada en la figura 24.

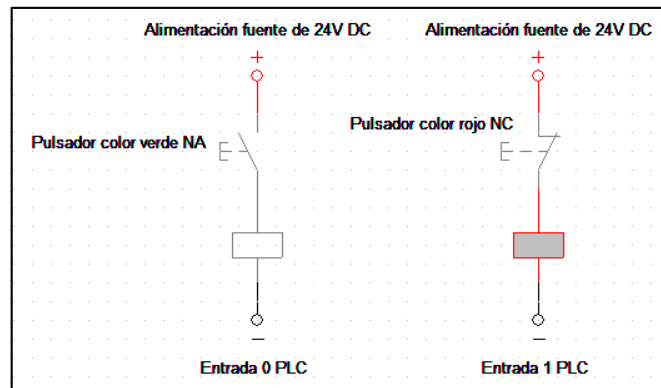


Figura 24: Configuración eléctrica de los pulsadores. Elaborado por el autor.

### 2.5.1.4 Luces o indicadores pilotos.

Estos indicadores proporcionan información visual sobre en qué condición o estado se encuentra el sistema (encendido o apagado) y se conectan de acuerdo al siguiente esquema eléctrico de la figura 25.



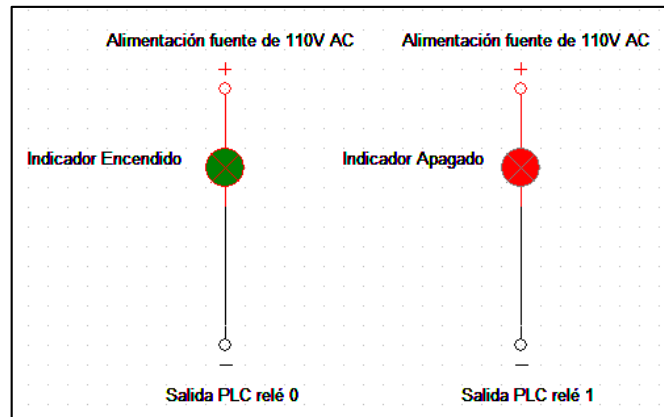


Figura 25: configuración eléctrica de luces o indicadores pilotos del sistema. Elaborado por el autor.

### 2.5.1.5 Pantalla HMI marca Delta modelo DOP-B03E211

En esta pantalla se desarrolla la interfaz gráfica del sistema de enfriamiento, utilizando el software DOPSoft, el mismo que cuenta con las pantallas que se describen a continuación:

#### Pantalla de bienvenida.

En esta pantalla, véase figura 26, se muestra una imagen generalizada del proceso de enfriamiento de mosto mediante una torre de enfriamiento, adicional presenta tres botones virtuales, uno de encendido en color verde, otro de apagado en color rojo junto con un led indicador del estado del sistema y finalmente uno botón que nos llevara al menú principal.

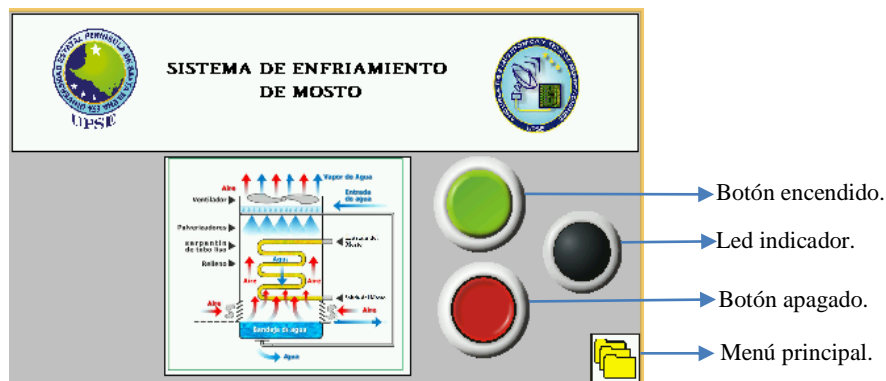


Figura 26: Pantalla de bienvenida. Elaborado por el autor.

## Pantalla de menú principal.

En este segmento, figura 27, se observa un conjunto de botones dividido en tres grupos:

- Procesos
- Indicadores
- Selector

Estos botones nos llevaran a las pantallas asignadas a cada uno de ellos.



Figura 27: Pantalla de menú principal. Elaborado por el autor.

## Pantalla de control de reservorio de agua.

Esta pantalla, ver figura 28, presenta el estado del proceso de llenado del reservorio de agua, mostrando datos como el nivel del reservorio, las electroválvulas, bombas y sensores de nivel activos, adicional presenta dos botones de navegación uno hacia adelante y otro para regresar al menú principal.

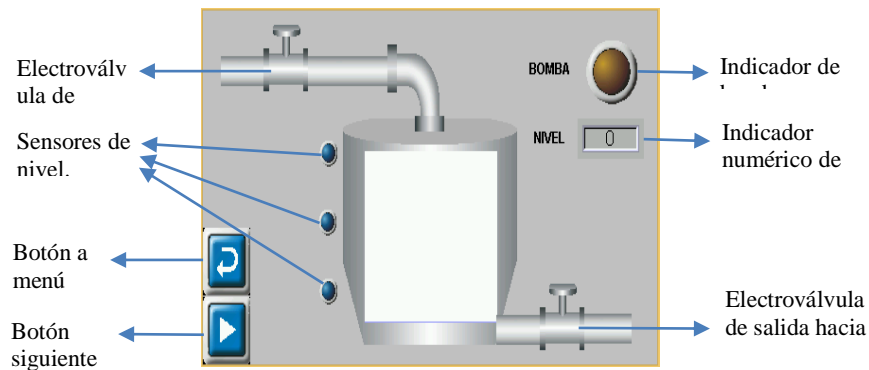


Figura 28: Pantalla "Reservorio de mosto". Elaborado por el autor.

### **Pantalla de control del reservorio de mosto inicial.**

Dentro de esta pantalla se observan dos indicadores, uno para la bomba del llenado del mosto y el otro para la recirculación del mosto desde el reservorio final, también un indicador numérico de nivel del reservorio, indicadores de electroválvulas activas, sensores de nivel y cuatro botones, uno para regresar al menú principal, un segundo botón para avanzar al siguiente proceso del enfriamiento, un tercero para regresar al proceso anterior, y por ultimo un botón que abrirá una ventana donde se mostrará la temperatura actual y el último registro de temperatura leído por el termopar, ver figura 29.

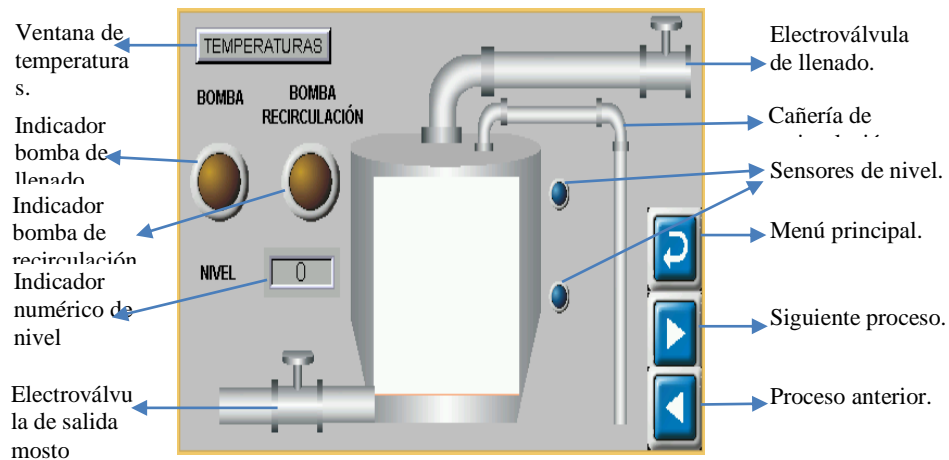


Figura 29: Sub-Pantalla "Temperaturas mosto 1". Elaborado por el autor.

### **Pantalla de control de torre de enfriamiento.**

Aquí se encuentra una animación de cómo funciona el sistema de enfriamiento, se observa un ventilador en la parte superior que girara en sentido inverso haciendo las veces de extractor de vapor, de la misma forma indicadores de los aspersores activos, y las electroválvulas de entrada tanto de agua como de mosto, adicional siguen presente los botones para menú principal, siguiente proceso y proceso anterior, véase figura 30.

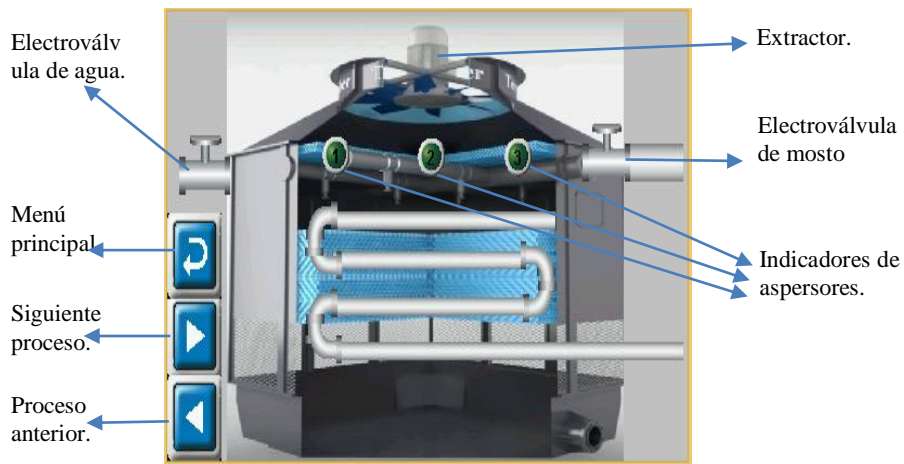


Figura 30: Pantalla "Torre de enfriamiento". Elaborado por el autor.

### Pantalla de control del reservorio de mosto final.

Aquí se observan dos indicadores pilotos, uno para la recirculación del mosto, y otro para la salida del mosto al siguiente proceso. Adicional también sensores de nivel, indicador numérico de nivel, electroválvulas de salida y de recirculación y los respectivos botones de temperaturas, menú principal y proceso anterior, figura 31.

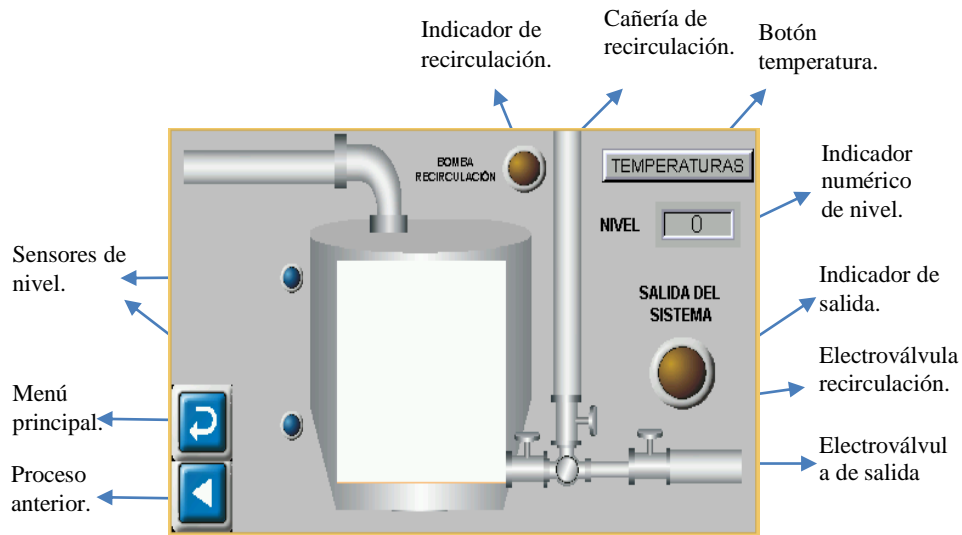


Figura 31: Pantalla "Reservorio final de mosto". Elaborado por el autor.

### Pantalla de control de sistema.

Esta pantalla, figura 32, muestra que parte del sistema se encuentra activa, electroválvulas, niveles de reservorios, aspersores activos, ventiladores activos o con fallas en el sistema de ventilación, adicional presenta un botón de apagado de emergencia y una luz piloto que muestra el estado del sistema.



Figura 32: Pantalla "Sistema". Elaborado por el autor

### Pantalla de control de temperatura.

Aquí se aprecian dos secciones, figura 33, con monitores analógicos de temperatura, indicadores numéricos de los registros leídos por el termopar, en una sección los sensores que indican cuan caliente ingresa el mosto al sistema y en la segunda sección encontramos indicadores de recirculación y de salida del sistema de enfriamiento.

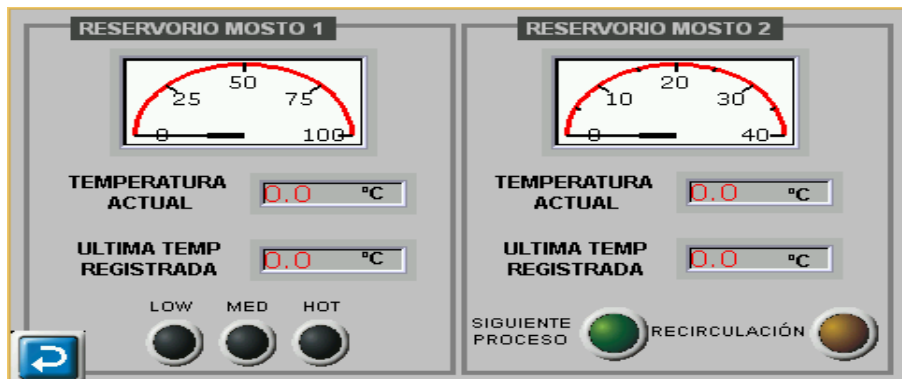


Figura 33: Pantalla "control de temperatura". Elaborado por el autor

### Pantalla de control de sistema de ventilación.

En la figura 34, se detallan varios aspectos del sistema de ventilación, entre ellos la frecuencia con la que están trabajando los ventiladores, indicadores de velocidad para los ventiladores e indicadores de que ventiladores están funcionando o en estado de falla.



Figura 34: Pantalla "Control de sistema de ventilación". Elaborado por el autor.

### Pantalla control de fallas de sistema

Dentro de esta pantalla, véase figura 35, se ha programado las fallas más comunes que se pueden presentar en este tipo de sistema de enfriamiento, para poder simularlas durante el funcionamiento, esta pantalla cuenta con pulsadores color rojo que activan las fallas las cuales por defecto vienen desactivadas.

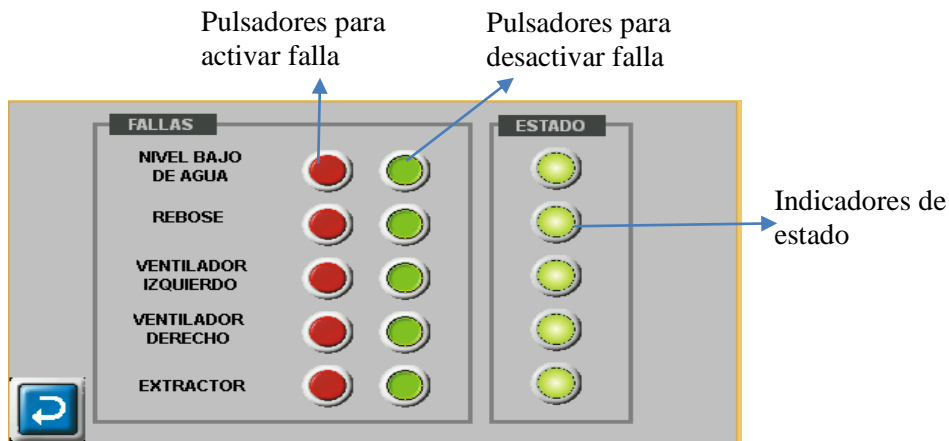


Figura 35: Pantalla "Fallos de sistema", Elaborado por el autor.

## Pantalla de alarmas del sistema.

En estas pantallas se presentan las alarmas generadas por las fallas ocurridas durante el funcionamiento, una pantalla para el historial de las alarmas, figura 36, que indicará cuando se activan o desactivan las fallas, una pantalla de alarma activa, figura 37, y una para la frecuencia de fallas, figura 38, es decir cuántas veces sean activado las alarmas durante el proceso.



Figura 36: Pantalla "Historial de alarma". Elaborado por el autor.

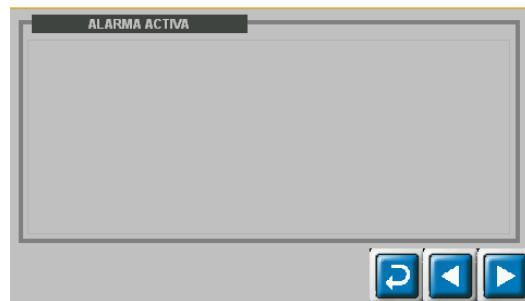


Figura 37: Pantalla "Alarma Activa". Elaborado por el autor.

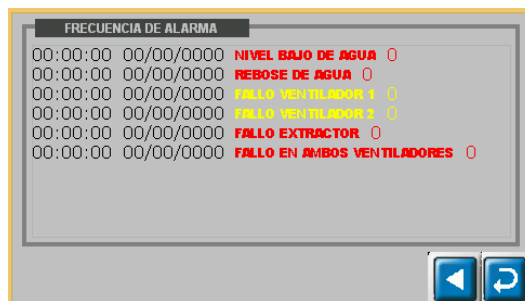


Figura 38: Pantalla "Frecuencia". Elaborado por el autor.

### Diseño de la red.

Para determinar el diseño adecuado de la red para el proyecto se tomó en cuenta los autómatas programables (PLC), controladores e interfaces de comunicación existentes en el laboratorio de automatización, que permitan solucionar el problema planteado.

La tabla 13 muestra los equipos disponibles para la implementación del sistema lógico de enfriamiento.

<b>Equipo.</b>	<b>Cantidad.</b>	<b>Marca – modelo.</b>	<b>Interfaz de comunicación.</b>
<b>PLC</b>	3	Siemens S7-1200	Ethernet.
<b>Controlador de temperatura</b>	2	Delta – DTB4848b	Serial RS-485
<b>Variadores de frecuencia</b>	3	Delta – VDF-EL	Serial RS-485
<b>Pantalla HMI</b>	1	Delta – DOPB 0E211	Serial RS-485 Ethernet

Tabla 13: Interfaces de comunicación de equipos. Elaborado por el autor.

Debido al tipo de interfaz de comunicación tipo serial de los DTB y los variadores se determinó que la red industrial incorporará un segmento con arquitectura ModBus con la finalidad de aprovechar el recurso existente. Cabe mencionar que el PLC disponible no posee una interfaz serial RS-485, por tal motivo se debe implementar módulos de comunicación CM1241 que son puertos de comunicación ModBus compatibles con el PLC seleccionado.

El control y monitoreo del proceso utilizará la pantalla HMI, que posee interfaces de comunicación serial y Ethernet, la pantalla se debe comunicar con el PLC Server pero éste solo incluye interfaz Ethernet, por lo tanto se determinó trabajar con un segmento de red Ethernet.

A continuación se muestra un diagrama de bloques de la estructura de la comunicación, figuras 39 y 40, y un diagrama topológico de los mismos, figuras 41 y 42.



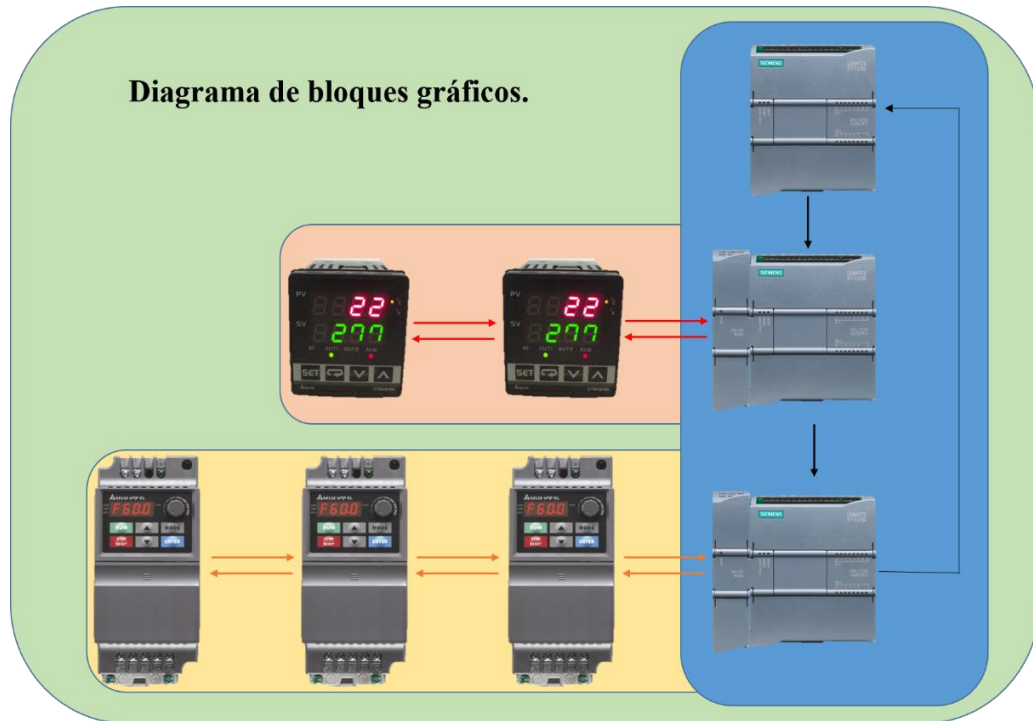


Figura 39: Diagrama de bloque Físico del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

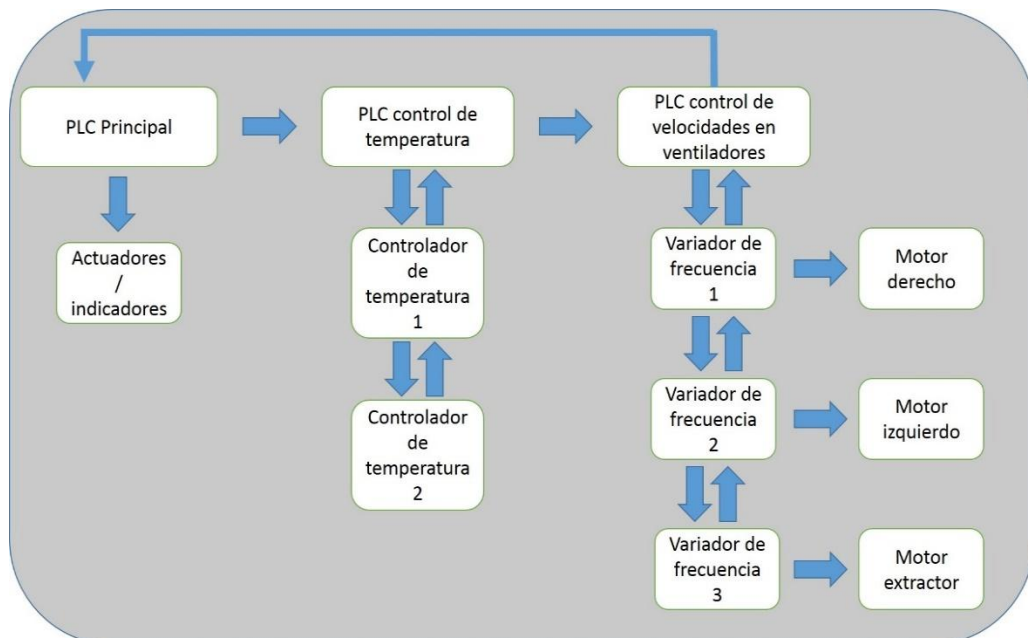


Figura 40: Diagrama de bloques general del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

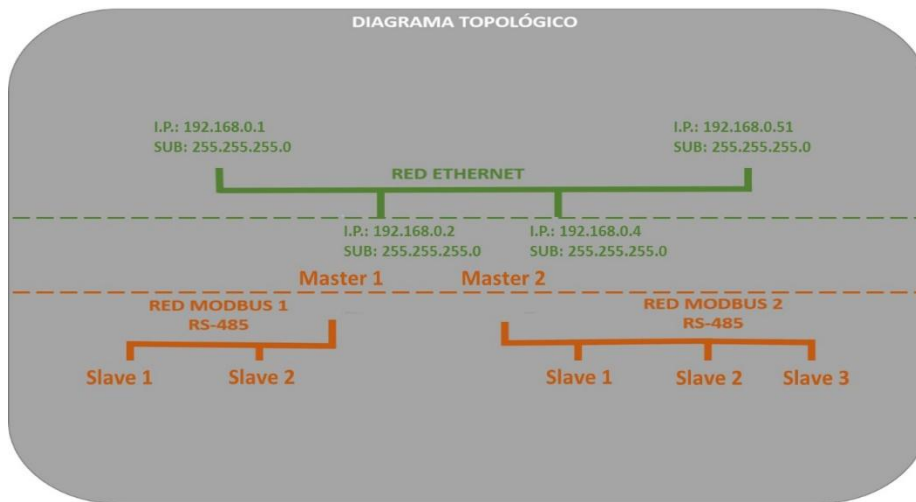


Figura 41: Diagrama topológico del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

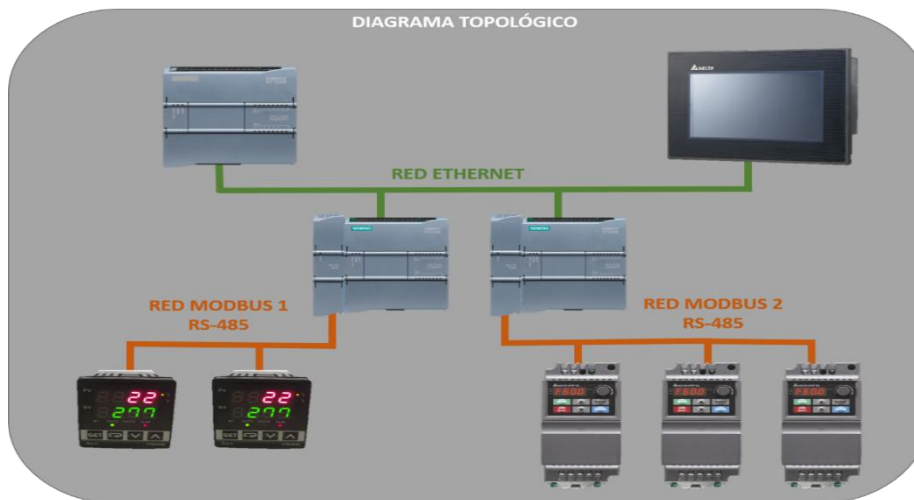


Figura 42: Diagrama topológico físico del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

Como se puede observar en el diagrama topológico, un PLC hace las veces de maestro o principal, este será el encargado de dar las instrucciones a los demás, como el instante en que debe ser medida la temperatura en los respectivos reservorios o los indicadores que deben encenderse.

Para lograr la comunicación entre estos dispositivos se utiliza el software de programación TIA PORTAL para configurar cada uno de los equipos a utilizarse.

Como se mencionó anteriormente cada PLC tendrá una función específica como se detalla a continuación en la tabla 14.

<b>Nombre de PLC.</b>	<b>Modelo de PLC.</b>	<b>Dirección IP.</b>	<b>Mascara de red.</b>	<b>Función.</b>
Master	Simatic-S7-1200 1212 ac/dc/relé	192.168.0.1	255.255.255.0	PLC principal encargado de almacenar registros, activar o desactivar indicadores del sistema y el control en general del sistema de enfriamiento.
Temperature	Simatic-S7-1200 1212 ac/dc/relé	192.168.0.3	255.255.255.0	Encargado de controlar la red ModBus de los controladores de temperatura.
VDF	Simatic-S7-1200 1212 ac/dc/relé	192.168.0.4	255.255.255.0	Encargado de controlar la red ModBus de los variadores de frecuencia.

Tabla 14: Direcciones y funciones de los autómatas programables. Elaborado por el autor.

Nota: Para lograr la comunicación entre PLC es necesario cambiar la configuración de las propiedades del dispositivo, en el apartado protección permitir la comunicación PUT/GET.

A continuación se detalla la programación de cada uno de los PLC.

### 2.5.1.6 PLC MASTER.

#### Segmento 1: encendido del sistema.

Este segmento de programación, figura 43, permite el encendido del sistema de enfriamiento de mosto, se observa que existen dos formas de encender y apagar el sistema, de forma física mediante botoneras y de forma virtual mediante la pantalla HMI.

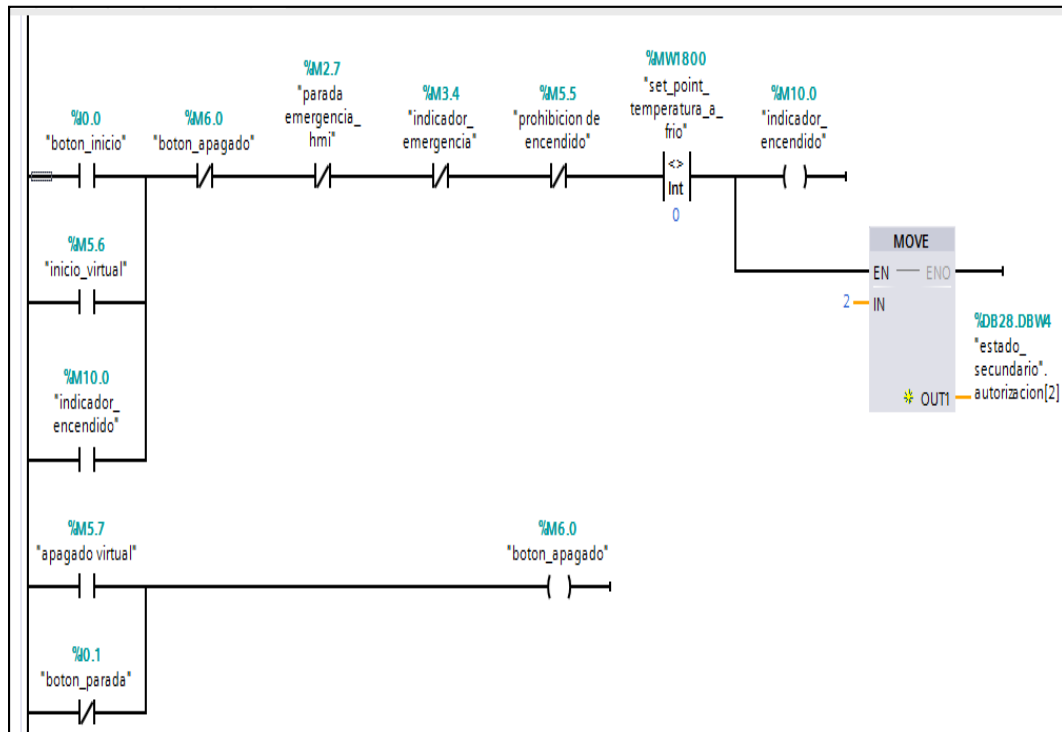


Figura 43: Programación, segmento 1: Encendido del sistema. Elaborado por el autor.

Los siguientes elementos, véase tabla 15, causan un corte en la alimentación de energía y por tal motivo provocarán un apagado del sistema o en su defecto no permiten el encendido del mismo hasta que dichos errores o fallos sean revisados y corregidos por el operario.

Nombre del elemento.	Causa de corte de energía.
Parada emergencia HMI.	Botón de parada en la pantalla de “indicadores de sistema”.
Indicador de emergencia.	Fallas registradas durante el funcionamiento, revisar pantalla de alarmas para corregir.
Prohibición de encendido.	Existen alarmas activas, revisar pantalla de alarmas para corregir.
Set point de temperatura a frio.	El valor de temperatura deseada para enfriamiento es igual a 0.

Tabla 15: Apagado de sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

### Segmento 3: Control de llenado de reservorio de agua.

En este segmento, figura 44, permite encender la bomba y abrir la electroválvula para llenar el reservorio, para lograr aquello se cuenta con tres sensores de nivel, estos sensores activan bobinas que llevan el control del estado de la forma como se detalla en la tabla 16.

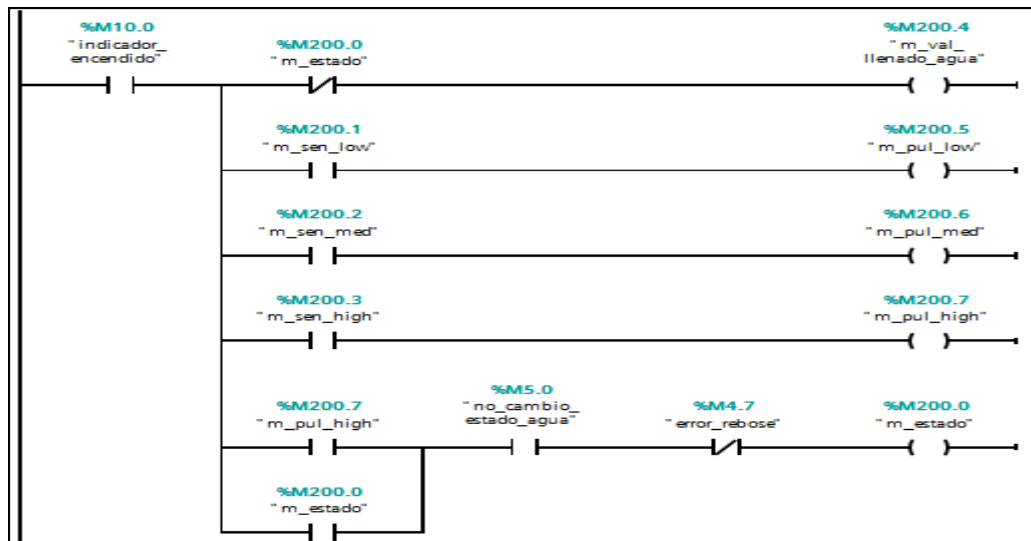


Figura 44: Segmento 3: control de llenado de reservorio de agua. Elaborado por el autor.

Estado	Función
Apagado (OFF)	Vacío/llenando reservorio, encendido de bomba y apertura de electroválvula.
Encendido (ON)	Lleno/vaciando reservorio.

Tabla 16: Función de variable "m\_estado". Elaborado por el autor.

#### Segmento 4: Llenado y vaciado de reservorio de agua.

Para este segmento en la primera fase, llenado, hace el uso de los sensores de nivel, que a medida que se va aumentando el nivel de agua estos van haciendo un corte en la energía de tal manera que cuando llegue al máximo este dejará de pasar la energía cerrando la electroválvula y apagando la bomba de alimentación del reservorio, ver figura 45.

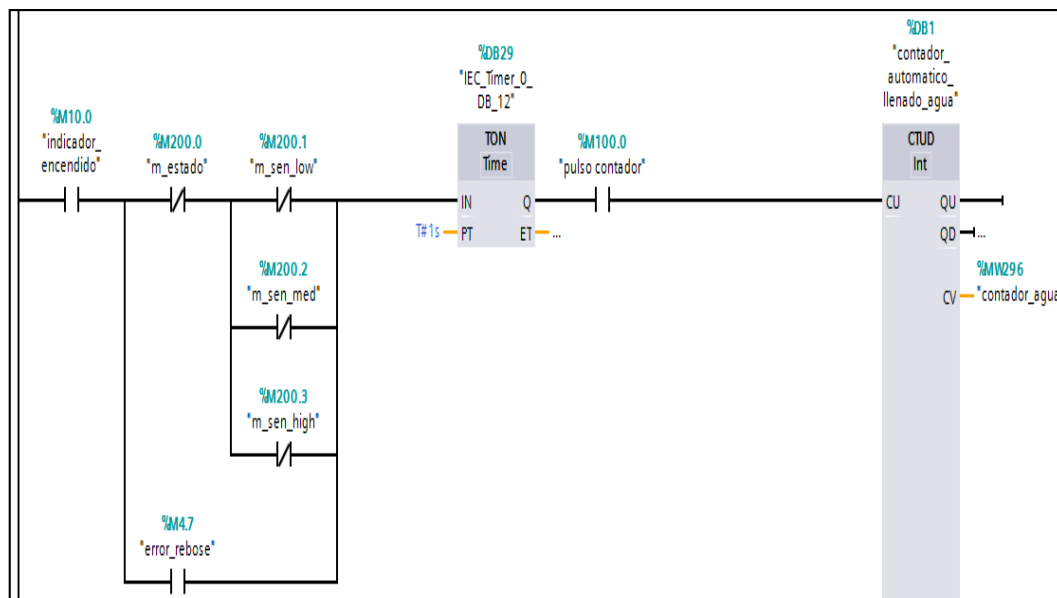


Figura 45: Segmento 4: Llenado y vaciado de reservorio de agua. Elaborado por el autor.

#### Segmento 5: control de llenado de reservorio de mosto 1.

Este segmento permite abrir o cerrar la electroválvula y encender o apagar la bomba para el respectivo llenado del reservorio del mosto a enfriar. Funciona de igual forma que la variable de estado de agua.

En la figura 46 se detalla parcialmente la programación de este segmento.

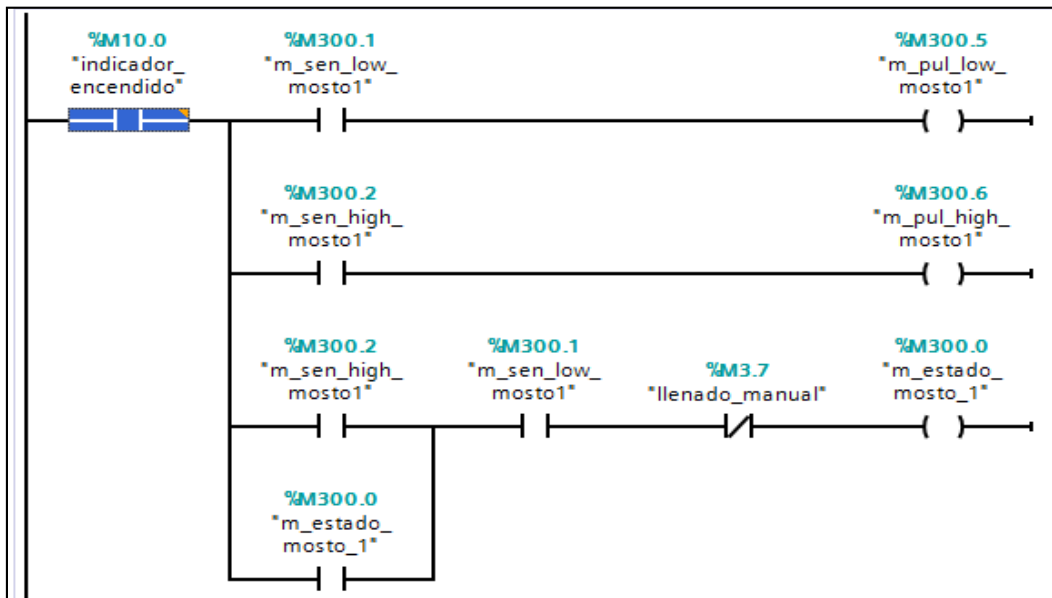


Figura 46: Control de estado de reservorio de mosto. Elaborado por el autor.

Para el llenado del reservorio de mosto deben cumplirse las siguientes condiciones:

- El nivel del reservorio 2 debe ser 0, lo que implica que está vacío.
- Debe estar activo una de las válvulas ya sea el de llenado o el de circulación.

El control de estado del reservorio 2 de mosto, tiene la misma programación que debido a que funciona de igual forma, al estar lleno realiza la toma de temperatura mediante un termopar situado en su interior, este indica al sistema si el líquido debe recircular para pasar nuevamente por el sistema de enfriamiento o debe pasar al siguiente proceso de fermentación.

### Segmento 6: Proceso de enfriamiento.

En este segmento, ver figura 47, se observa que dependiendo de la frecuencia de trabajo establecida por el PLC VDF se encuentran tres estados, HIGH, MED y LOW, los cuales activarán las diferentes salidas como aspersores, leds indicadores del

sistema y la asignación de frecuencia del extractor de vapor.

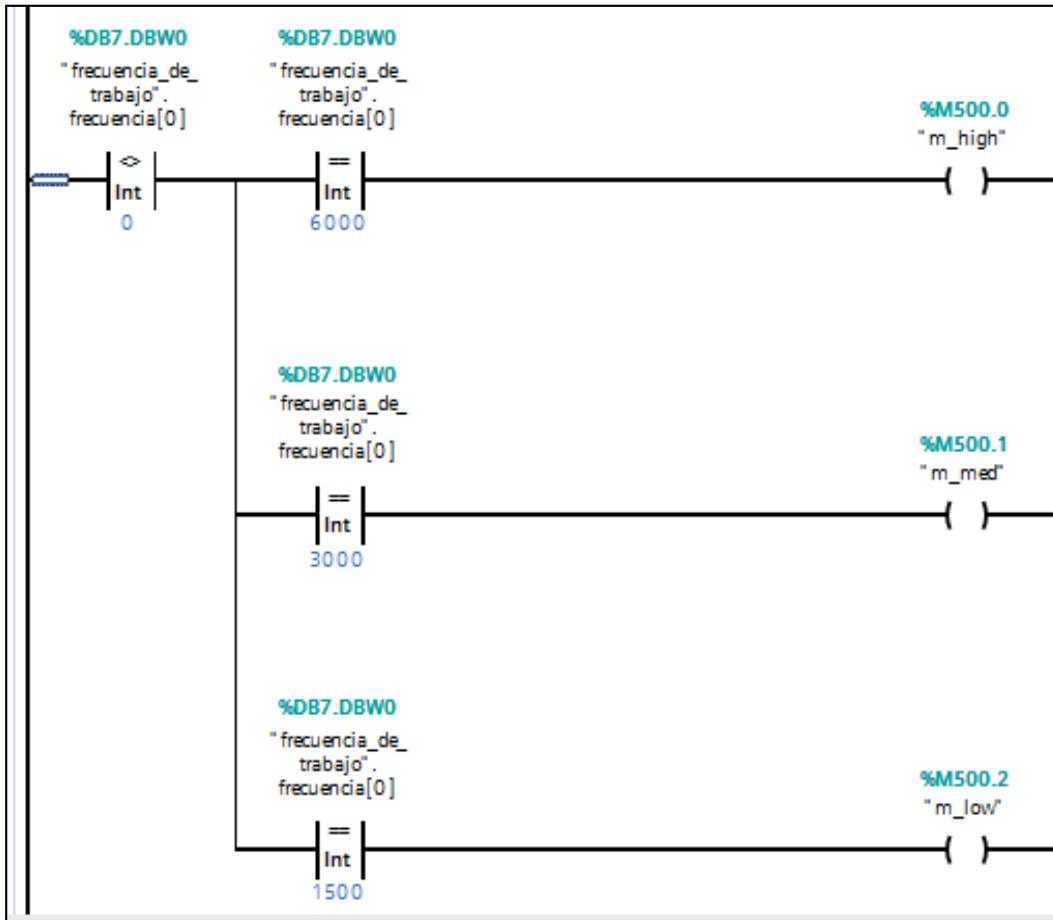


Figura 47: Proceso de enfriamiento. Elaborado por el autor.

### Segmento 11: control de circulación / recirculación de mosto.

Dentro de este segmento, figura 48, se observa la programación para el control de recirculación de mosto, dependiendo de la variable de temperatura leída desde el PLC TEMPERATURE, si la temperatura de salida es menor o igual al set point establecido el líquido pasará al siguiente proceso de fermentación, caso contrario el deberá pasar de nuevo por el proceso de enfriamiento.



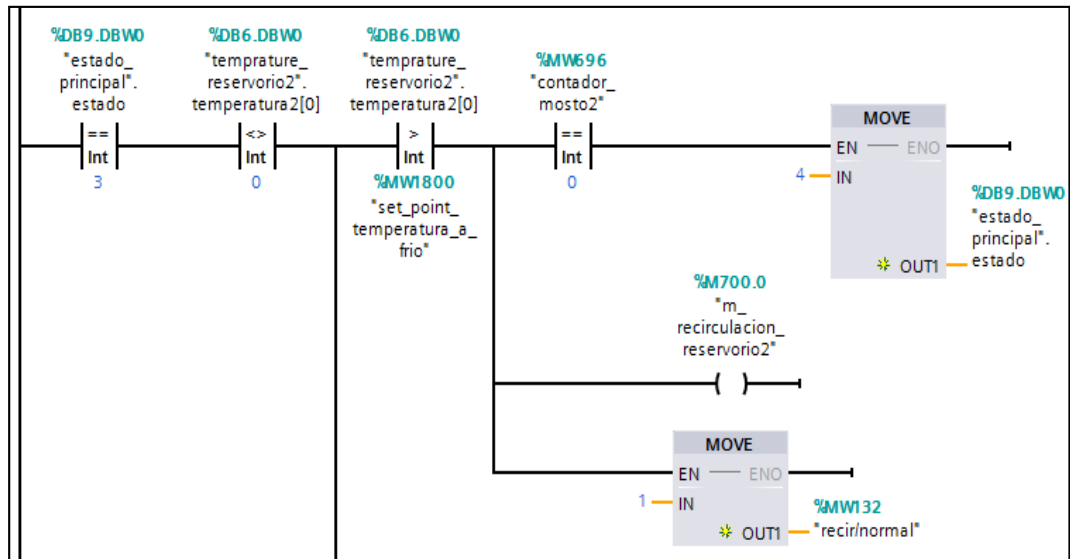


Figura 48: Programación de control de circulación y recirculación de mosto. Elaborado por el autor.

### Segmento 12: Indicadores de sistema.

Este segmento permite encender los actuadores y luces pilotos tanto en el tablero de control como en la pantalla de indicadores virtuales del sistema de enfriamiento como se muestra en la figura 49.



Figura 49: Segmento 12: Indicadores de sistema. Elaborado por el autor.

**Segmento 15: Recepción de datos globales.**

La comunicación de los diferentes PLC se realiza mediante comunicación TCP/IP a través de los bloques TRCV y TSEND, ver figura 50. Estos bloques realizan una copia o envío/recepción. A continuación se muestra la configuración del bloque para su respectivo funcionamiento como se detalla en la tabla 17.

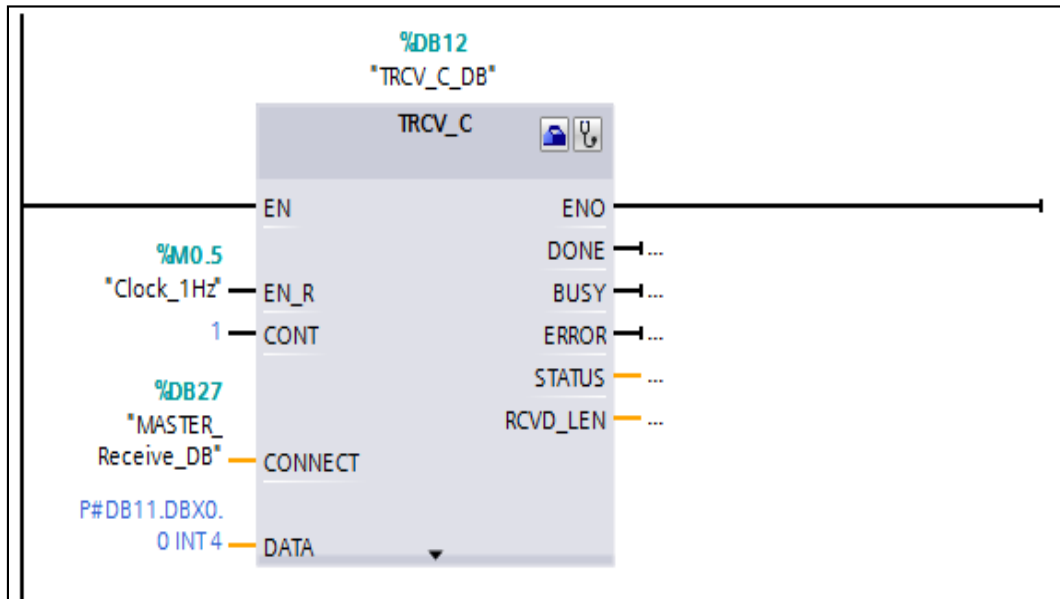


Figura 50: Configuración bloque de recepción de datos. Elaborado por el autor.

Parámetro.	Función.	Valor.
EN_R.	Frecuencia de recepción de datos.	Clock_1Hz.
CONT.	Control de conexión.	1: mantiene abierta la conexión.
CONNECT.	Referencia al bloque de datos de instancia.	Master_Recive_DB
DATA.	Dirección donde se almacenaran los datos recibidos por el PLC.	Data Block #11. P#db11.db0x0 INT 4.

Tabla 17: Parámetros de configuración del bloque TRCV\_C. Elaborado por el autor.

### Segmento 16: Redistribución de datos.

Los datos al ser recibidos por el PLC “master”, llegan en una sola trama a un Data Block, con este segmento se distribuyen los datos recibidos a Data Blocks locales para el análisis e interpretación de los mismos. Ver figura 51.

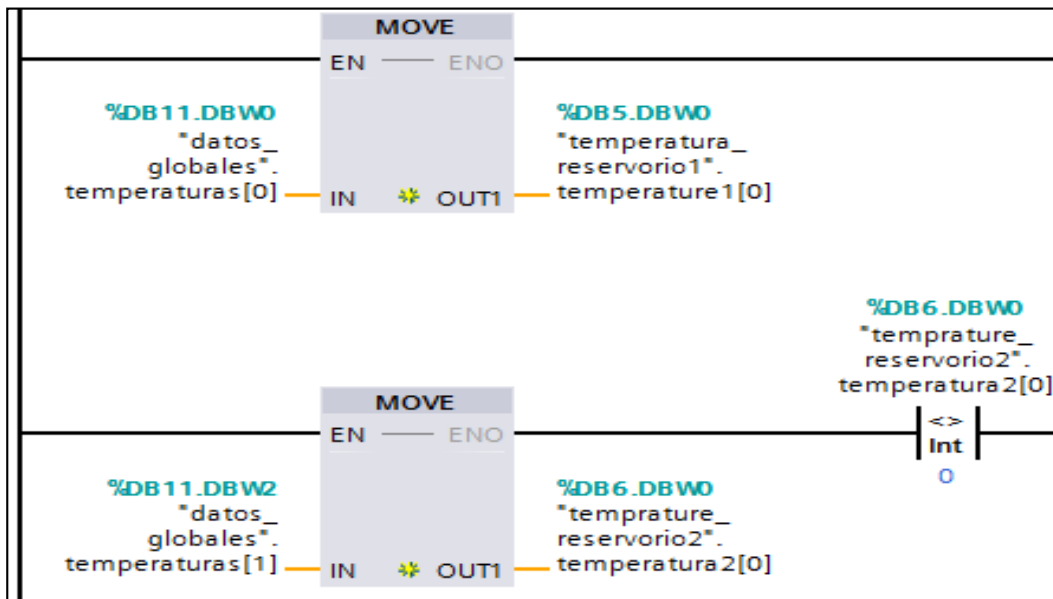


Figura 51: Segmento 16: redistribución de datos en base de datos locales. Elaborado por el autor.

### Segmento 22: fallas de sistemas y alarmas.

Para la simulación y demostración de la implementación del sistema lógico de enfriamiento, este presenta varias condiciones de “fallos” programados a través de botones virtuales, como se describe en la figura 52.

Este segmento permite la activación de “fallos” asignando una variable numérica a una variable llamada “alarma”, la que permite ser configurada y visualizada en la pantalla HMI.

La configuración de las alarmas presenta varias características que se describen a continuación:

No.: número con el que se identifica cada alarma, cada uno de estos números representan un bit, para activar una alarma hay que activar el bit correspondiente, por ejemplo si se desea encender la alarma 5 se debe ingresar un valor decimal equivalente al 5to bit encendido, como se demuestra en la tabla 18.

Valor decimal	2 <sup>6</sup>	2 <sup>5</sup>	2 <sup>4</sup>	2 <sup>3</sup>	2 <sup>2</sup>	2 <sup>1</sup>	2 <sup>0</sup>
Bit	7	6	5	4	3	2	1
Alarma 5	0	0	1	0	0	0	0

Tabla 18: Representación de alarmas en sistema binario. Elaborado por el autor.

El valor equivalente necesario para encender la alarma 5 es 16, valor que debe asignarse a la variable “ALARMA”, programada en el PLC.

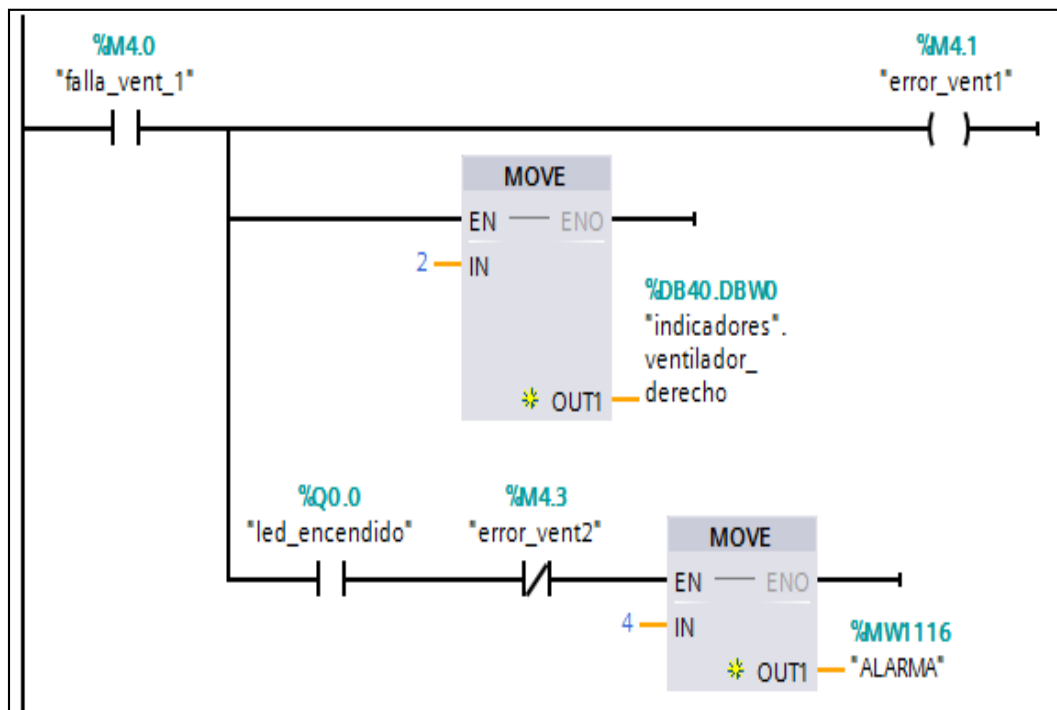


Figura 52: Programación de fallas en el sistema. Elaborado por el autor.

### 2.5.1.7 PLC TEMPERATURE.

La función de este PLC es medir constantemente las temperaturas de los reservorios de mosto para lograr un control efectivo sobre las mismas.

Para este proceso se realizó la siguiente programación:

#### Segmento 1: Habilitación de módulo ModBus.

Este segmento, ver figura 53, permite la habilitación del módulo ModBus rs485 conectado al PLC, para ello se utiliza el bloque "MB\_COMM\_LOAD" donde se configuran los parámetros detallados en la tabla 19.

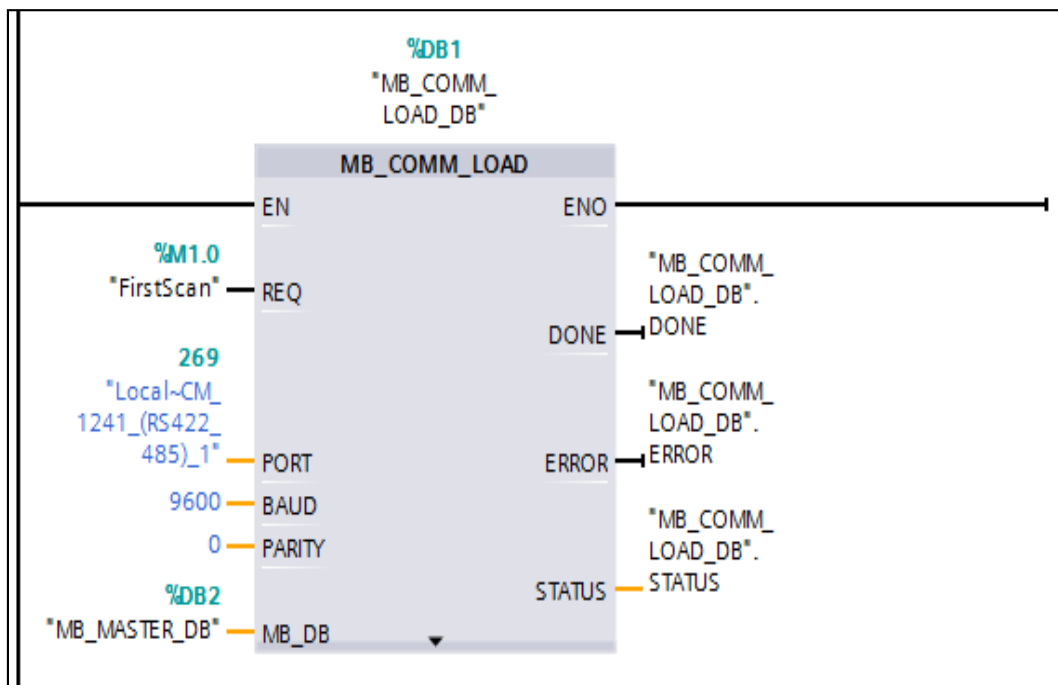


Figura 53: Habilitación de módulo ModBus. Elaborado por el autor.

Parámetro.	Función.	Valores.
REQ.	Ejecución de la instrucción.	“FirstScan”.
PORT.	Identificación del puerto de comunicación.	269.
BAUD.	Velocidad de transferencia.	9600.
PARITY.	Paridad de datos.	0: sin paridad.
MB_DB.	Referencia al bloque de datos de instancia.	“MB_MASTER_DB”.

Tabla 19: parámetros para configuración de modulo. Elaborado por el autor.

## Segmento 2: Configuración set point en el controlador de temperatura.

El bloque “MB\_MASTER\_DB”, ver figura 54, es el bloque de control, a través de él se puede realizar escritura o lectura del controlador de temperatura mediante comunicación rs485.

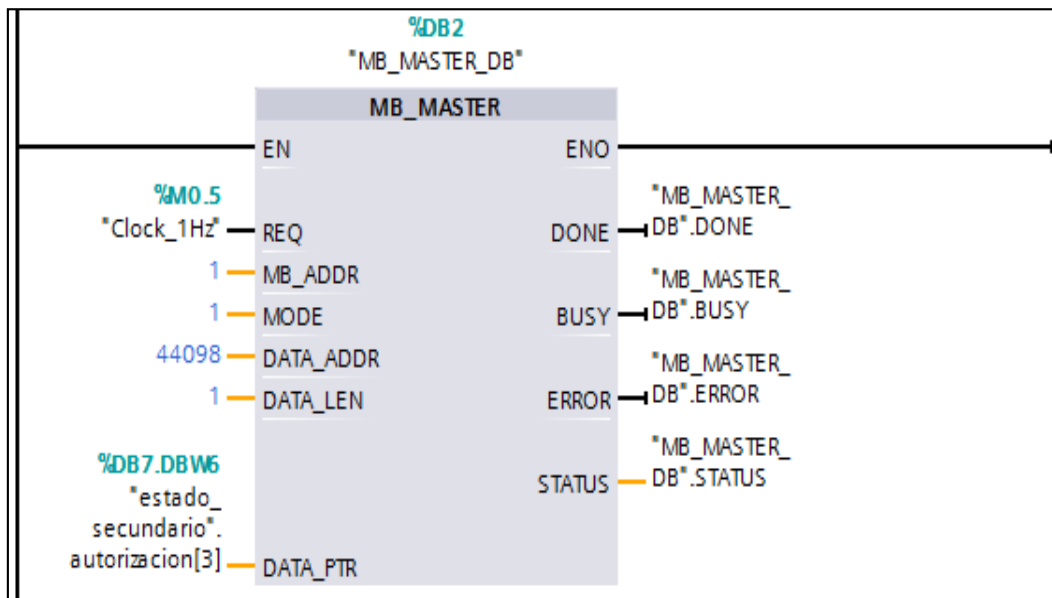


Figura 54: Configuración parámetros de escritura en controlador de temperatura db4848. Elaborado por el autor.

La configuración de este bloque se detalla a continuación en la tabla 20.

<b>Parámetro.</b>	<b>Función.</b>	<b>Valores.</b>
REQ.	Frecuencia con la que hace lectura de temperatura.	“Clock_1Hz”.
MB_ADDR.	Dirección en la red ModBus del dispositivo a controlar.	1: controlador de temperatura de reservorio mosto 1.
MODE.	Modo escritura / Lectura	1: Escritura.
DATA_ADDR.	Registro donde se escribirán los datos.	44098: Registro interno del controlador de temperatura donde se asigna el set point.
DATA_LEN.	Cantidad de registros a copiar.	1.
DATA_PTR.	Dirección desde donde se copian los datos.	Data Block “Estado secundario, registro #3.

Tabla 20: Parámetros de escritura del controlador dtb484. Elaborado por el autor.

### **Segmento 3: lectura de temperatura de reservorio mosto 1**

Este bloque permite realizar la adquisición del dato instantáneo de temperatura, se activa se activa cuando el PLC master determina que el reservorio de mosto se encuentra lleno, en este reservorio se determinará si la temperatura del mosto es ideal para continuar al siguiente proceso o deberá ser tratado nuevamente por el sistema de enfriamiento con la nueva medida de temperatura.

Las configuraciones de este bloque se detallan en la tabla 21.

<b>Parámetro.</b>	<b>Función.</b>	<b>Valor.</b>
REQ.	Frecuencia con la que se hace la toma de la temperatura.	“Clock_1Hz”.
MB_ADDR.	Dirección de dispositivo en red ModBus.	1: controlador de temperatura de reservorio mosto 1.
MODE.	Modo escritura / Lectura	0: Lectura.
DATA_ADDR.	Registro interno del controlador donde se almacena el valor de temperatura captado por el termopar.	44097: Registro interno del controlador de temperatura donde se almacena el dato del termopar.
DATA_LEN.	Cantidad de registros que se van a leer desde el controlador.	1.
DATA_PTR.	Dirección de base de datos del PLC donde se almacena los valores de temperatura.	Data Block “Datos temperatura, registro #0.

Tabla 21: Configuración de parámetros para lectura de temperatura en reservorio de mosto 1. Elaborado por el autor.

Cabe recalcar que la programación para la adquisición de datos de temperatura del segundo reservorio se programa de forma similar.

### **2.5.1.8 PLC VDF.**

Dentro de la programación de este dispositivo se debe realizar la activación del módulo de comunicación ModBus de la misma forma como se realiza en el segmento 1 del PLC TEMPERATURE.



### Segmento 3: control de velocidades del sistema de ventilación.

Este segmento permite el control y asignación de frecuencia en los ventiladores, la programación responde según la variable de temperatura instantánea del primer reservorio de mosto, ver figura 55.

Una vez asignadas las frecuencias, estas son enviadas mediante la red RS485 hacia los variadores de frecuencia, encargados de controlar la velocidad de los ventiladores, y a su vez los datos serán enviados al PLC MASTER para encender o apagar los respectivos actuadores e indicadores.

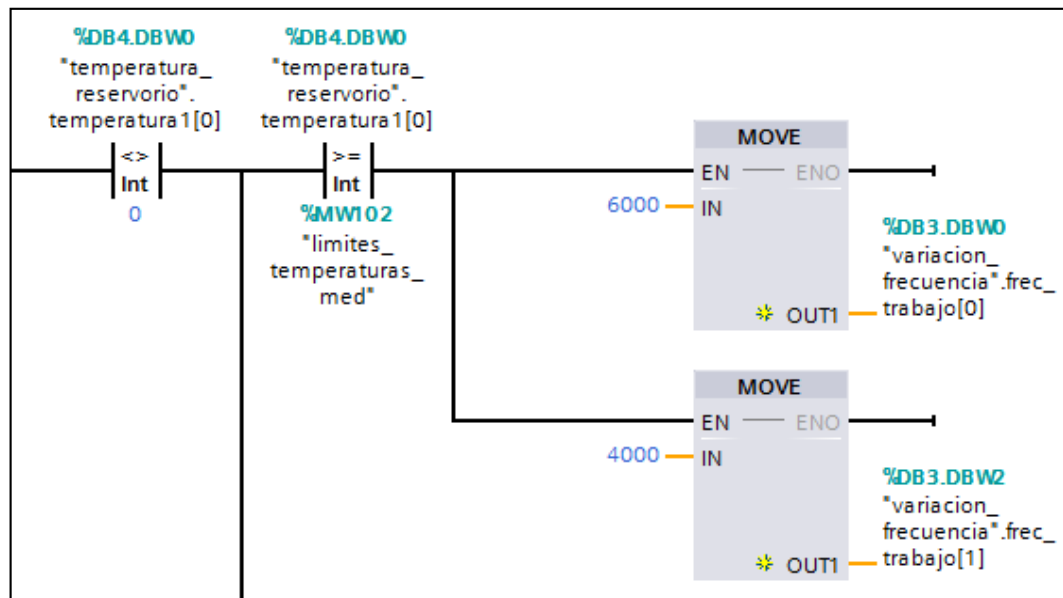


Figura 55: Control de velocidad en su máxima potencia. Elaborado por el autor.

De la misma forma el envío de datos hacia el PLC MASTER es mediante protocolo TCP/IP programados de forma similar a los bloques descritos anteriormente.

## 2.6 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

### 2.6.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

En la actualidad la empresa “Montañita Brewing Co.” no cuenta con un sistema de automatización, por falta de equipo tecnológico y altos costos de instalación establecidos por empresas de otras provincias, motivo por el cual se propone como

solución a este problema el diseño de un sistema de automatización de enfriamiento de mosto.

Para la implementación de esta propuesta, se realizó un estudio y análisis de tecnologías existentes en el mercado y se ha establecido un conjunto de herramientas como protocolos de comunicación, requerimientos básicos y aspectos relevantes que puedan optimizar el funcionamiento del sistema de enfriamiento.

El diseño de este sistema propone la utilización de una red de comunicación mixta entre Ethernet y ModBus RS485, lo que implica la instalación de equipos como PLC, módulos de comunicación CM1241, controladores de temperatura, switch, y pantalla HMI, para la selección de los elementos se tomó en cuenta sus respectivas características detalladas en la sección de componentes físicos de este documento.

Cabe recalcar que la empresa cuenta con la infraestructura física para ser automatizada, como el área donde se implementará el cuarto de operaciones mismo que cuenta con las instalaciones eléctricas adecuadas para el correcto funcionamiento de los dispositivos industriales como motores y la estructura de la torre de enfriamiento. Además los elementos para la automatización se pueden encontrar dentro del mercado nacional, por lo que no deberá incurrir en gastos adicionales como importación o construcción de infraestructura nueva.

Adicional a esto la implementación para la demostración del funcionamiento del sistema lógico de control se realizará en los laboratorios de automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena el mismo que cuenta con los componentes de control y automatización industrial necesarios para el desarrollo de la propuesta.

## 2.6.2 FACTIBILIDAD ECONOMICA

La tabla 22 muestra los elementos necesarios para el desarrollo de la propuesta con sus respectivos costos de inversión.

ITEM	CANT.	DESCRIPCION	P. UNITARIO	P. TOTAL
1	1	DISEÑO Y DESARROLLO DE SOFTWARE	1500,00	1500,00
2	1	GASTOS VARIOS (DISPOSITIVOS DE ADECUACIÓN)	1500,00	1500,00
3	1	IMPLEMENTACION Y MONTAJE.	1000,00	1000,00
4	3	CPU 1212C AC/DC/RELE.	354,75	1064,25
5	3	VARIADOR TRIFASICO 200-240 VAC 1HP.	196,10	588,31
6	1	PANTALLA HMI DELTA 4.3".	314,39	314,39
7	1	CM1241 MODULO DE COMUNICACIÓN RS485.	192,75	192,75
5	1	CSM1277 SWITCH INDUSTRIAL.	180,00	180,00
8				
9	2	CONTROL DE TEMPERATURA DELTA DTB4848VRE.	78,39	156,78
10	1	GABINETE DE PARED 7UR	140,25	140,25
11	100	METROS DE CABLE. #12	0,165	16,50
12	2	TERMOCUPLA TIPO J.	5,235	10,47
13	1	CANALETAS.	4,54	4,54
14	2	BORNERA PORTAFUSIBLE.	1,40	2,80
15	1	RIEL LONG. 1M.	1,85	1,85
16	1	PULSADORES ROJO.	1,13	1,13
17	1	PULSADORES VERDE.	1,13	1,13
18	1	LUZ PILOTO ROJO.	1,03	1,03
19	1	LUZ PILOTO VERDE.	1,03	1,03
20	1	CONTACTORES NC.	0,44	0,44
21	1	CONTACTORES NA.	0,44	0,44
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>6678,10</b>
			<b>IVA 12%</b>	<b>801,37</b>
			<b>TOTAL DE FACTURA</b>	<b>7.479,47 USD</b>

Tabla 22: Costos de equipos para la implementación del sistema de enfriamiento de mosto. Elaborado por el autor.

## **Análisis de ahorro en materia hídrica y energética.**

Dentro de esta herramienta se debe tener en cuenta que el proceso de elaboración de cerveza se lleva a cabo diariamente con un promedio de 6 horas al día para lograr satisfacer la demanda de dicha bebida a nivel local.

El ahorro hídrico se debe a que el proceso de enfriamiento utiliza un sistema de reutilización de agua evitando así el consumo excesivo e innecesario para el enfriamiento.

Cabe recalcar que el agua utilizada en el proceso de enfriamiento entra a temperatura ambiente, que fluctúa entre 20 y 25 grados Celsius, y finaliza el proceso con una temperatura mayor, razón por la que no se puede reutilizar de forma inmediata.

Para determinar el tiempo que requiere el agua para enfriarse se ha recurrido al cálculo matemático establecido por Newton.

Ley de enfriamiento de Newton.

*“La tasa de enfriamiento de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y su ambiente”.*

$$\frac{dT}{dt} = -k(T - T_m) \quad \text{Ecuación diferencial de enfriamiento de Newton.}$$

$$T_t = Ce^{-kt} + T_m. \quad \text{Solución de la ecuación diferencial.}$$

Donde:

$T_t$ : Temperatura del cuerpo a tiempo  $t$ .

$K$ : coeficiente de calentamiento.

$t$ : tiempo en horas.

$T_m$ : Temperatura ambiental.

Por lo tanto:

Solución de la ecuación al  $t=0$  donde el agua alcanza máximo 40 grados Celsius.

$$T_0 = C e^{-k_0} + 20.$$

$$40 = C + 20$$

$$C = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Tiempo necesario para enfriar el agua a 25 grados Celsius a partir de la ecuación diferencial propuesta.

$$25 = 20e^{-0,5t} + 20.$$

$$25 - 20 = 20e^{-0,5t}.$$

$$\frac{5}{20} = e^{-0,5t}.$$

$$\ln\left(\frac{5}{20}\right) = \ln(e^{-0,5t}).$$

$$-1,38 = -0,5 t$$

$$t = \frac{-1,38}{-0,5}$$

$$t = 2,77 \text{ [horas]}.$$

Terminado de resolver la ecuación y hallado el tiempo concluimos que el agua se puede reutilizar al cabo de 2 horas con 46 minutos de reposo.

La figura 56 representa el consumo de agua que produce el sistema de enfriamiento en un periodo de 6 días, representando una reducción de consumo de agua en un 92,96%, es decir se consume 59,39 m<sup>3</sup> menos por semana de trabajo.

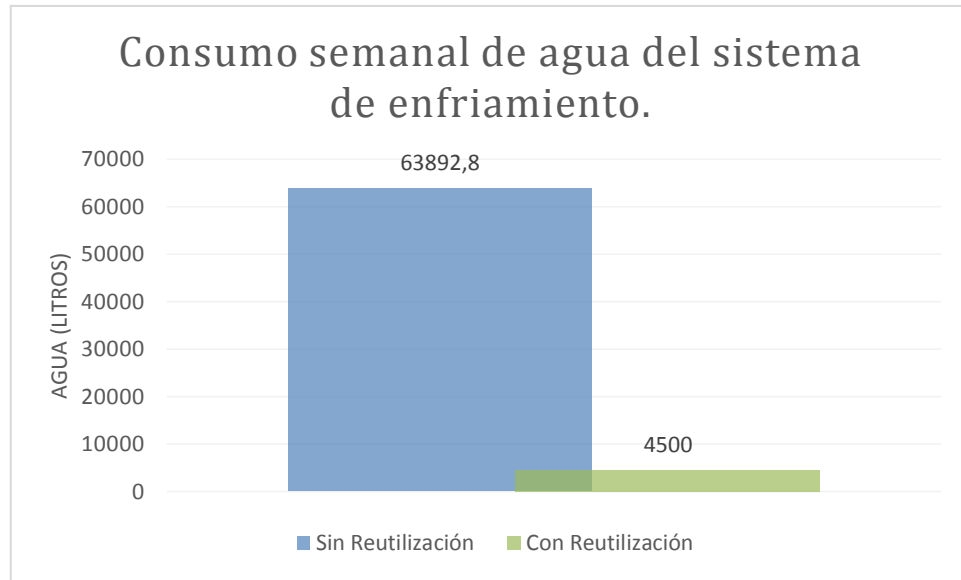


Figura 56: Consumo de agua del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

$59,39 \text{ m}^3 \times 4 \text{ semanas} = 237,57 \text{ m}^3$  ; **Ahorro de consumo mensual.**

$237,56 \text{ m}^3 \times 2,11 \text{ USD} = 501,28 \text{ USD}$ ; **Ahorro económico mensual.**

En materia energética el ahorro se debe al uso de variadores de frecuencia en los ventiladores que reducen el consumo en el momento del arranque y durante el proceso al no encontrarse en su máxima potencia.

La figura 57 representa el consumo de energía eléctrica de los motores del sistema de ventilación de la torre de enfriamiento, al momento de incorporar variadores de frecuencia se hace notoria una disminución de consumo promedio del 28% [20].

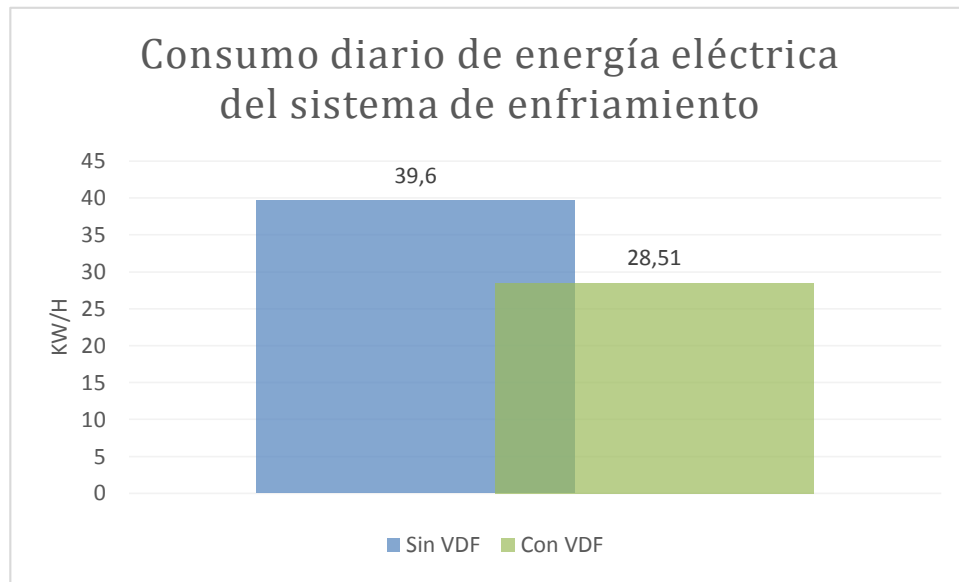


Figura 57: Consumo total de energía eléctrica del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor

$$11,09 \frac{KW}{h} \times 26 \text{ dias} = 288,34 \frac{kw}{h}; \text{ *Ahorro energético mensual.*}$$

$$288,34 \frac{KW}{h} \times 1,414 \text{ USD} = 407,71 \text{ USD}; \text{ *Ahorro economico mensual.*}$$

### **Análisis de costos en el proceso de enfriamiento.**

A continuación la tabla 23 presenta una tabla comparativa de consumos de agua, energía eléctrica y mantenimiento de equipos en un período de un año.

Rubro Anual.	Sistema Actual	Sistema Propuesto	Ahorro	% de Ahorro
Consumo de energía eléctrico [KW/h]	12355,20	8895,12	3460,08	28%
Consumo de agua [m <sup>3</sup> ]	3066,85	216,00	2850,85	92,96%

Tabla 23: Comparativo de consumos de recursos. Elaborado por el autor.

Una vez determinado los consumos se procede a realizar en la tabla 24 un cuadro comparativo de costos o gastos a realizarse por los rubros antes mencionados.

Rubro Anual	Sistema Actual	Sistema Propuesto	Ahorro Económico	% de Ahorro
Costo de energía eléctrica [USD]	17470,25	12577,70	4892,52	28%
Costo de agua [USD]	6471,06	455,76	6015,30	92,96%

La

figura 58 es la representación de los gastos económicos de los diferentes recursos utilizados en el sistema de enfriamiento, cabe recordar que estos análisis están hechos para un periodo de 1 año con las tarifas establecidas por las compañías de energía

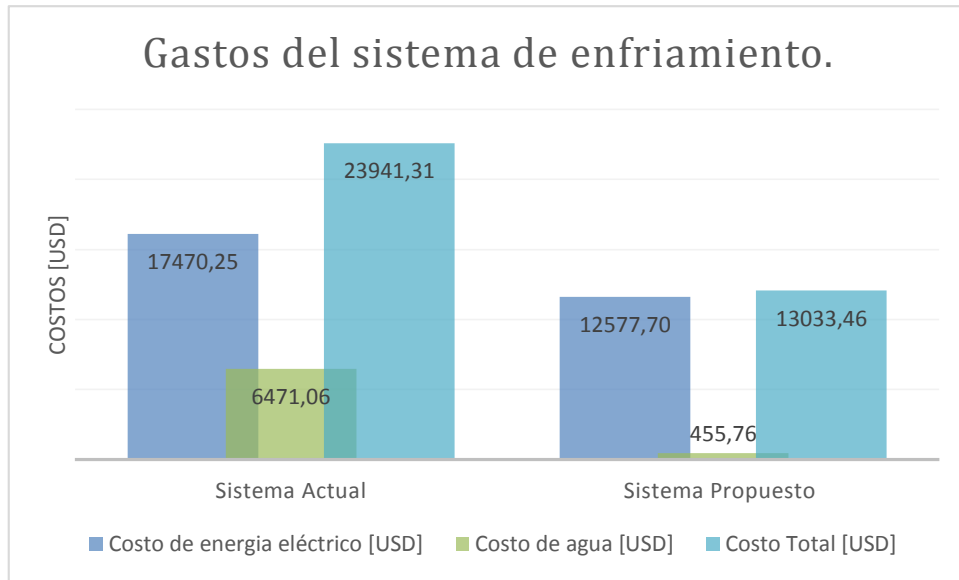


Figura 58: Comparación de costos entre el sistema actual y el sistema propuesto. Elaborado por el autor.

eléctrica y agua potable vigentes a la fecha [21] [22].

El sistema propuesto representa un ahorro económico del 54,44% equivalente a 10907,85USD anual.

### Financiamiento.

A continuación la tabla 25 presenta la amortización del financiamiento para la ejecución del proyecto a través de una entidad bancaria con una tasa efectiva de interés máximo del 11,83% anual, mismo que es definido por la entidad reguladora BCE [23].

## Tabla de amortización



<b>Capital</b>	7479,47 USD				
<b>Plazo</b>	24 meses				
<b>Interés</b>	0,936%	Mensual	11,83%	Anual	
<b>Valor de cuota</b>	349,41 USD				
<b>Cuota</b>	<b>Valor Presente</b>	<b>Interés</b>	<b>Capital</b>	<b>V. Cuota</b>	<b>Saldo</b>
1	7479,47	70,02	279,40	349,41	7200,07
2	7200,07	67,40	282,01	349,41	6918,06
3	6918,06	64,76	284,65	349,41	6633,41
4	6633,41	62,10	287,32	349,41	6346,09
5	6346,09	59,41	290,01	349,41	6056,09
6	6056,09	56,69	292,72	349,41	5763,36
7	5763,36	53,95	295,46	349,41	5467,90
8	5467,90	51,19	298,23	349,41	5169,68
9	5169,68	48,39	301,02	349,41	4868,66
10	4868,66	45,58	303,84	349,41	4564,82
11	4564,82	42,73	306,68	349,41	4258,14
12	4258,14	39,86	309,55	349,41	3948,59
13	3948,59	36,96	312,45	349,41	3636,14
14	3636,14	34,04	315,37	349,41	3320,76
15	3320,76	31,09	318,33	349,41	3002,44
16	3002,44	28,11	321,31	349,41	2681,13
17	2681,13	25,10	324,31	349,41	2356,82
18	2356,82	22,06	327,35	349,41	2029,47
19	2029,47	19,00	330,41	349,41	1699,05
20	1699,05	15,90	333,51	349,41	1365,54
21	1365,54	12,78	336,63	349,41	1028,91
22	1028,91	9,63	339,78	349,41	689,13
23	689,13	6,45	342,96	349,41	346,17
24	346,17	3,24	346,17	349,41	0,00

Tabla 25: Amortización de crédito. Elaborado por el autor.

Una vez determinado el valor de la letra para el pago del financiamiento se procede a definir los ingresos y egresos del sistema de enfriamiento en un período de un año.

Ingresos: Dinero ahorrado en uso de recurso hídrico y energético, ver tabla 26.

Egresos: Costos de mantenimiento semestral y pago de financiamiento, ver tabla 27.

Ahorro económico de energía eléctrica.	4892,55 USD
Ahorro económico de recurso hídrico.	6015,30 USD
<b>Total ingresos.</b>	<b>10907,82 USD</b>

Tabla 26: Rubros de ingresos anuales. Elaborado por el autor.

Costo de mantenimiento	1400,00 USD
Pago de financiamiento.	4192,95 USD
<b>Total egresos.</b>	<b>5592,95 USD</b>

Tabla 27: Egresos del sistema anuales. Elaborado por el autor.

Finalmente para el análisis del TIR (tasa interna de retorno) y VAN (valor actual neto) se procede a graficar el flujo de efectivo neto del sistema, ver figura 59, con los datos de la tabla 28,

Total ingresos.	10907,82 USD
Total egresos.	5592,95 USD
<b>Flujo de efectivo neto.</b>	<b>5314,87 USD</b>

Tabla 28: Flujo Neto del sistema. Elaborado por el autor.

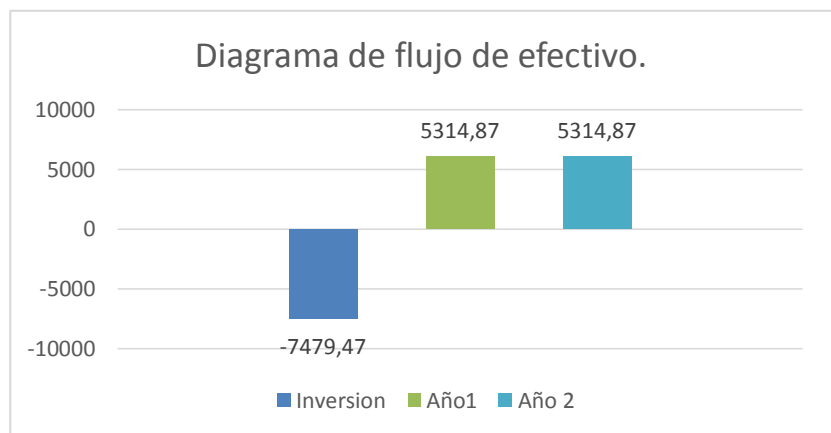


Figura 59: Diagrama de flujo de efectivo. Elaborado por el autor.

### **Tasa interna de retorno (TIR) y Valor actual neto (VAN).**

La tabla 29 muestra el valor de pagos de anualidades que se ha realizado en el mismo período de tiempo de vigencia del crédito para el financiamiento del proyecto con su respectivo valor de TIR y de VAN

Tasa efectiva de interés anual.	11,83%
Valor de inversión (año 0)	7479,47 USD
Flujo de efectivo neto (Año 1)	5314,87 USD
Flujo de efectivo neto (Año 2)	5314,87 USD
TIR	27,01%
VAN	1523,04 USD

Tabla 29: Análisis de TIR y VAN. Elaborado por el autor.

Al haber culminado el respectivo análisis de factibilidad técnica y económica para la implementación del sistema lógico de automatización para el proceso de enfriamiento de mosto, se puede determinar que el proyecto representa una buena oportunidad de inversión, dando como resultado una tasa de retorno del 27,01%, lo que implica la recuperación total de la inversión en un período no mayor a 2 años, motivo por el cual se considera factible la implementación.

## 2.7 PRUEBAS

Para la comprobación del funcionamiento óptimo del sistema lógico de enfriamiento, se ha procedido a realizar las siguientes pruebas:

- Tiempo de transmisión de datos desde la pantalla HMI hacia el controlador de temperatura DTB48484b, ver tabla 30.

<b>Prueba 1: Transmisión de datos desde HMI hacia el controlador de temperatura DTB4848.</b>					
<b>Objetivo:</b>		Verificar el tiempo de respuesta del controlador DTB con respecto al HMI.			
<b>Descripción:</b>		Configurar varios parámetros de temperatura en la pantalla HMI, valores que deberán ser reflejados en el controlador DTB.			
<b>Caso:</b>	<b>Entrada: Temperatura</b>	<b>Salida: Tiempo</b>	<b>Caso:</b>	<b>Entrada: Temperatura</b>	<b>Salida: Tiempo</b>
<b>1</b>	15°	65ns	<b>11</b>	99.9°	63ns
<b>2</b>	25°	70ns	<b>12</b>	45°	62ns
<b>3</b>	99.9°	210ns	<b>13</b>	90°	63ns
<b>4</b>	25.9°	64ns	<b>14</b>	20°	66ns
<b>5</b>	58.4°	62ns	<b>15</b>	45.6°	65ns
<b>6</b>	12°	64ns	<b>16</b>	59.4°	63ns
<b>7</b>	36.5°	59ns	<b>17</b>	46.9°	63ns
<b>8</b>	99.9°	62ns	<b>18</b>	25°	64ns
<b>9</b>	0.8°	64ns	<b>19</b>	18°	63ns
<b>10</b>	0°	64ns	<b>20</b>	14°	69ns
<b>Resumen:</b>		Datos enviados: 20.                      Tiempo máximo de respuesta: 210ns. Datos recibidos: 20.                      Tiempo mínimo de respuesta: 59ns. Datos perdidos: 0.                        Tiempo promedio de respuesta: 71.25ns.			

Tabla 30: Tiempo de respuesta del controlador DTB4848b. Elaborado por el autor

- Tiempo de transmisión de datos desde el controlador de temperatura hacia los variadores de frecuencia, ver tabla 31.

<b>Prueba 2: Transmisión de datos desde el controlador de temperatura hacia los variadores de frecuencia.</b>					
<b>Objetivo:</b>			Verificar el tiempo de respuesta de los variadores de frecuencia respecto al cambio de temperatura.		
<b>Descripción:</b>			Manipular las temperaturas del sistema para asignar una frecuencia que deberán ser reflejados en los VDF.		
Caso:	Entrada: Freq.		Salida: Tiempo ventilador 1.	Salida: Tiempo ventilador 2.	Salida: Tiempo ventilador 3 (Inv).
	Vent.	Inv.			
1	15 Hz	10 Hz	71ns	39ns	37ns
2	30 Hz	20 Hz	64ns	150ns	69ns
3	60 Hz	40 Hz	66ns	34ns	96ns
4	30 Hz	20 Hz	69ns	37ns	187ns
5	60 Hz	40 Hz	65ns	35ns	71ns
6	30 Hz	20 Hz	67ns	35ns	66ns
7	15 Hz	10 Hz	61ns	146ns	70ns
8	60 Hz	40 Hz	63ns	46ns	71ns
9	15 Hz	10 Hz	63ns	37ns	68ns
10	30 Hz	20 Hz	68ns	35ns	69ns
11	15 Hz	10 Hz	187ns	36ns	68ns
12	60 Hz	40 Hz	62ns	35ns	68ns
13	15 Hz	10 Hz	68ns	36ns	68ns
14	30 Hz	20 Hz	66ns	38ns	71ns
15	60 Hz	40 Hz	78ns	35ns	175ns
16	15 Hz	10 Hz	69ns	34ns	65ns
17	30 Hz	20 Hz	69ns	36ns	65ns
18	15 Hz	10 Hz	86ns	35ns	71ns
19	60 Hz	40 Hz	65ns	35ns	71ns
20	15 Hz	10 Hz	58ns	32ns	683ns
Resumen:	Datos enviados: 20. Datos recibidos: 20. Datos perdidos: 0.		T. máx. resp 1: 187ns. T. mín. resp. 1: 58ns. T. prom. resp1 : 73.25ns	T. máx. resp 2: 46ns. T. mín. resp. 2: 32ns. T. prom. resp2 : 43.7ns	T. máx. resp 3: 96ns. T. mín. resp. 3: 37ns. T. prom. resp3: 110.4ns

Tabla 31: Tiempo de respuestas de variadores de frecuencia. Elaborado por el autor.

- Tiempo de transmisión de datos desde PLC VDF hacia PLC Master, ver tabla 32.

<b>Prueba 3: Transmisión de datos desde PLC 3 al PLC 1.</b>					
<b>Objetivo:</b>		Verificar el tiempo de respuesta del PLC 1 respecto a los cambios suscitados en el PLC 3.			
<b>Descripción:</b>		Manipular las potencias del sistema de ventilación en el PLC 3 y enviar los datos a través de la red industrial hacia el PLC 1.			
<b>Caso:</b>	<b>Entrada: Potencia.</b>	<b>Salida: Tiempo</b>	<b>Caso:</b>	<b>Entrada: Potencia.</b>	<b>Salida: Tiempo</b>
<b>1</b>	Low	245ns	<b>11</b>	High	121ns
<b>2</b>	High	134ns	<b>12</b>	Medium	122ns
<b>3</b>	Medium	758ns	<b>13</b>	Low	149ns
<b>4</b>	Low	125ns	<b>14</b>	High	771ns
<b>5</b>	High	119ns	<b>15</b>	Medium	130ns
<b>6</b>	Low	121ns	<b>16</b>	High	124ns
<b>7</b>	Medium	136ns	<b>17</b>	Medium	125ns
<b>8</b>	High	124ns	<b>18</b>	Low	167ns
<b>9</b>	Medium	236ns	<b>19</b>	Medium	129ns
<b>10</b>	Low	127ns	<b>20</b>	High	126ns
<b>Resumen:</b>		Datos enviados: 20.                      Tiempo máximo de respuesta: 758ns. Datos recibidos: 20.                      Tiempo mínimo de respuesta: 119ns. Datos perdidos: 0.                          Tiempo promedio de respuesta: 204.4ns.			

Tabla 32: Tiempo de transmisión de datos desde PLC 3 a PLC 1. Elaborado por el autor.

- Tiempo de respuesta de alarmas del sistema, ver tabla 33.

<b>Prueba 4: Tiempo de respuesta de las alarmas del sistema..</b>					
<b>Objetivo:</b>		Verificar el tiempo de respuesta del sistema frente a la activación de alarmas que generan un apagado total.			
<b>Descripción:</b>		Activar las fallas simuladas del sistema mediante la pantalla HMI.			
<b>Caso:</b>	<b>Entrada: Potencia.</b>	<b>Salida: Tiempo</b>	<b>Caso:</b>	<b>Entrada: Potencia.</b>	<b>Salida: Tiempo</b>
<b>1</b>	Nivel bajo de agua.	83ns.	<b>11</b>	Fallo extractor.	93ns
<b>2</b>	Rebose de agua.	55ns.	<b>12</b>	Rebose de agua	86ns
<b>3</b>	Fallo ambos ventiladores.	71ns.	<b>13</b>	Nivel bajo de agua	84ns
<b>4</b>	Fallo extractor	55ns	<b>14</b>	Fallo ventilador izq	89ns
<b>5</b>	Fallo ventilador izq.	91ns	<b>15</b>	Fallo ventilador der	90ns
<b>6</b>	Fallo ventilador der	115ns	<b>16</b>	Fallo ventilador der	87ns
<b>7</b>	Fallo extractor	88ns	<b>17</b>	Fallo ambos ventiladores.	84ns
<b>8</b>	Nivel bajo de agua	101ns	<b>18</b>	Fallo extractor.	93ns
<b>9</b>	Rebose de agua	87ns	<b>19</b>	Rebose de agua	86ns
<b>10</b>	Fallo extractor	93ns	<b>20</b>	Nivel bajo de agua	84ns
<b>Resumen:</b>		Datos enviados: 20.                      Tiempo máximo de respuesta: 115ns. Datos recibidos: 20.                      Tiempo mínimo de respuesta: 55ns. Datos perdidos: 0.                          Tiempo promedio de respuesta: 84.45ns.			

Tabla 33: Tiempo de respuestas de alarmas del sistema de enfriamiento. Elaborado por el autor.

Para la obtención de los datos mostrados anteriormente se recurre a una programación adicional en el PLC para medir los tiempos de respuestas, es decir los tiempos en cada una variables analizadas cambia de valor.

## 2.8 RESULTADOS

La implementación de la red posee una arquitectura mixta entre ModBus y Ethernet debido a los diferentes tipos de interfaces de comunicación que poseen los dispositivos.

La arquitectura Ethernet permite la comunicación entre los diferentes PLC del sistema y la pantalla HMI, mientras que la arquitectura ModBus está compuesta por los controladores de temperatura y variadores de frecuencia, lo que involucró la utilización de módulos de comunicación CM1241 permitiendo al PLC conectarse a la red ModBus.

Dentro del análisis de costo – beneficio se determinó que es necesario la implementación de un reservorio de agua adicional con una capacidad de 4.5 m<sup>3</sup> para poder dejar en reposo el agua que se reutilizara durante un periodo de 6 días, para luego ser cambiada y de esta manera evitar la formación de algas verdes y la saturación en las cañerías de recirculación, logrando un ahorro de aproximadamente 237,56 m<sup>3</sup>.

Para establecer si los tiempos obtenidos en las pruebas responden de manera eficiente se procede a comparar los datos adquiridos con los tiempos de respuestas establecidos por los fabricantes de los diferentes dispositivos, como PLC, Controlador de temperatura (DTB), y Pantalla HMI, véase tabla 34.

<b>DISPOSITIVO</b>	<b>TIEMPO DE RESPUESTA SEGÚN FABRICANTE.</b>	
<b>PLC</b>	Máximo 100ns.	Instrucción booleana.
	Máximo 120ns	Instrucción Word.
	Máximo 180ns.	Operaciones matemáticas.
<b>DTB</b>	Máximo 150ns. Cada barrido de registro.	
<b>HMI</b>	Máximo 110ns. Cada barrido de registros.	

Tabla 34: Tiempo de respuestas de dispositivos. Tomado de datasheet de cada elemento.



La prueba 1, tiempo de transmisión desde HMI hacia el controlador de temperatura DTB, se realizó con un éxito de transmisión del 100% al no tener pérdidas de datos, en cuanto al tiempo de respuesta se consiguió un 95% de éxito, esto debido a que el tiempo de la muestra #3 se ubicó fuera del margen establecido por el fabricante.

Dentro de la prueba 2, tiempo de respuesta de los variadores de frecuencia ante el cambio de temperatura en los controladores DTB, no existe pérdida de datos por lo que se asegura un 100% de éxito en la transmisión, en relación a la eficiencia del tiempo respuesta de la misma se logró un 95%, 90%, y 85% para el VDF 1, VDF 2 y VDF 3 respectivamente, dando una eficiencia general del 90%, debido a que existen 6 muestras que exceden el tiempo máximo establecido por el fabricante.

En el intercambio de datos entre PLC1 Y PLC3, considerando que el dato a intercambiar es de tipo Word y al intervenir dos equipos se considera el tiempo máximo de 240ns. Por lo tanto en esta prueba 3 se logra un éxito de transmisión del 100%, al recibir satisfactoriamente las 20 muestras, de las cuales las muestras 1, 3, 13 y 18 se encuentran fuera del rango máximo de tiempo, razón por la que se establece un 80% de eficiencia en el tiempo de respuesta.

Observando los datos obtenidos de la prueba 4 se estableció un 100% de éxito en la transmisión de los datos, y un 90% en el cumplimiento de los tiempos referenciados por el fabricante, a causa de que las muestras 6 y 8 exceden los 100ns.

De acuerdo a las pruebas realizadas se puede determinar que la red es estable y funciona adecuadamente debido a que el 100% de los paquetes enviados han sido entregados y el 90% se encuentran dentro de los márgenes de tiempos adecuados. Además la red diseñada es escalable debido a que la arquitectura ModBus permitiría la conexión a 29 dispositivos adicionales, siendo 32 la cantidad máxima de conexiones por segmento de red. De la misma forma en su arquitectura Ethernet permite la conexión de más dispositivos dependiendo de los puertos disponibles en el switch que en este caso en particular la cantidad es de 18.

## CONCLUSIONES

Con base en los requerimientos para solucionar el problema, controladores y autómatas programables (PLC) existentes se determinó que la mejor opción es la implementación de la red con una arquitectura mixta entre ModBus y Ethernet, debido a las diferentes interfaces de comunicación que incorporan los dispositivos disponibles para la implementación del sistema.

La propuesta presentada proyecta un ahorro aproximado de 54,44% anual, equivalente a 10907,85 USD referente a gastos económicos por concepto de consumo de energía eléctrica y agua.

Es necesario la implementación de un sistema de reutilización de agua para lograr una reducción significativa de consumo del recurso hídrico, siendo este ahorro un aproximado de 93% equivalente a 501,52 USD mensual.

La implementación de variadores de frecuencia dentro del sistema permite lograr un ahorro aproximado de 28% debido a que los motores no se encuentran en su máxima potencia y tendrá un par de arranque suave disminuyendo de esta forma el consumo energético.

El sistema cuenta con una transmisión de datos satisfactoria del 100% debido a que no existe pérdidas de los mismos, en cuanto al tiempo de respuesta se encuentran en un margen del 85% al 95%, existiendo un periodo de latencia muy pequeño en el orden de los nanosegundos, que al no afectar el funcionamiento se puede dar por aceptado este margen de latencia.

La solución tecnológica propuesta permite la inclusión de nuevos equipos y dispositivos en un futuro, sin la necesidad de realizar un rediseño de red debido a que esta cumple con los requerimientos básicos de escalabilidad, estabilidad y funcionalidad.

## RECOMENDACIONES

Si se decide realizar la implementación, la construcción del reservorio adicional de agua deberá cumplir con una capacidad mínima de  $4.5\text{m}^3$ , este deberá ser cerrado y sus paredes recubiertas de un material impermeable, logrando así una mejor conservación del agua y la facilitación de la limpieza al final de cada periodo.

No descuidar los tiempos de mantenimiento de los equipos pues estos al presentar una falla o error no cumplirán con los objetivos planteados en esta propuesta, en el documento se adjunta recomendaciones del mantenimiento básico de motores de sistemas de ventilación. Ver anexo 3.

Se sugiere la implementación de más dispositivos en la red del sistema de enfriamiento con el objetivo de comprobar si los tiempos de transmisión se mantienen o varían con referencia a los datos obtenidos en las pruebas realizadas.

Realizar implementación del sistema de enfriamiento con tecnología industrial, en el caso de la red ModBus utilizar cable SF/UTP apantallado cable para comunicación RS-485, apantallamiento, impedancia de  $120\text{ohms}$ , libre de halógeno con retardante a la llama, y para la red ETHERNET utilizar cable para transmisiones de profinet con certificación UL y tasa de transmisión de  $100\text{ Mbit/s}$  hasta  $10\text{ Gbits/s}$ , categoría 7, así mismo se sugiere la utilización de un switch industrial, con la finalidad de evaluar los posibles efectos sobre la eficiencia de los tiempos de transmisión.

Debido al ambiente salino en el que se encuentra el lugar de la implementación final se ha determinado que los equipos de control deben instalarse en una rack de cabina y los motores del sistema de ventilación serán protegidos por la infraestructura de la torre de enfriamiento, de esta manera se logra reducir los daños ocasionados por la corrosión prolongando la vida útil y el tiempo de mantenimiento de los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. BASCUR, “*Plan de negocio de una cervecería artesanal en la región metropolitana*” Memoria de título, Ing. Civil Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile, Enero 2013.
- [2] Listado de cervecerías asociadas en Ecuador, detallada en el sitio <http://cervezaartesanaecuador.com>
- [3] L. CARVAJAL y M. INSUASTI, “*Elaboración de cerveza artesanal utilizando cebada (*Hordeum vulgare*) y yuca (*Manihot Esculenta Crantz*)*” Memoria de título Ing. Agroindustrial, Facultad de Ingeniería en Ciencias, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2010.
- [4] L. VILLEGAS, “*Reingeniería de la planta de cerveza artesanal Cherusker*”, Memoria de título, Ing. Químico, Facultad de ingeniería química, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013.
- [5] V. PORTERO & S. VALAREZO, “*Diseño y construcción de una torre de enfriamiento de agua por evaporación de tiro inducido*”, Ing. Químico, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador 2012.
- [6] Parámetros operacionales de torres de enfriamiento, detallado en el sitio <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/csalas/OPIV/torres1.pdf>.
- [7] Balance de material y energía en una torre de enfriamiento de agua, detallado en el sitio [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/torre\\_de\\_enfriamiento\\_16512.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/torre_de_enfriamiento_16512.pdf).
- [8] RODRÍGUEZ, J., “*Aplicación de la inteligencia artificial en el proceso de dosificación y envasado de líquidos.*” Memoria de título, Ing. Electrónica y Telecomunicaciones, Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones, Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador, 2016.
- [9] Ponsa, P., & Granoller, T. (2009). *Diseño Industrial: Diseño y Automatización Industrial*. Universidad Politécnica de Cataluña.

- [10] Guerrero, V. & Yuste, R. & Martínez, L. (2010). *Comunicaciones Industriales*. Marcombo.
- [11] *Introduction to MoDBus*, ACROMAG Incorporated, Wixom, MI, 2005.
- [12] Tanenbaum, A. (2003). *Redes de computadoras 4ta edición*. Pearson.
- [13] Siemon, *network cabling solution/soporte/white papers: Ethernet IP* [online]. Disponible en: [https://www.siemon.com/la/white\\_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp](https://www.siemon.com/la/white_papers/03-10-13-ethernet-ip.asp)
- [14] *Comunicación con Simatic*, SIEMENS AG, Nürnberg, Alemania, 2006.
- [15] Gonzalez, D. (2002) *Guía de intercambiadores de calor: tipos generales y aplicaciones*. Universidad Simón Bolívar, departamento de termodinámica y fenómenos de transferencia.
- [16] Universidad Politécnica de Cataluña, *Tipos de intercambiador de calor* [online]. Disponible en [https://www.epsem.upc.edu/intercanviadorsdec calor/castella/intercanviadors\\_calor.html](https://www.epsem.upc.edu/intercanviadorsdec calor/castella/intercanviadors_calor.html).
- [17] BUSTAMANTE, C., “*Optimización de un sistema de enfriamiento para molinos de rodillos.*” Memoria de título, Ing. Químico, Facultad de ingeniería química, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2015.
- [18] MATTENSOHN, R., “*Análisis del sistema de enfriamiento en la planta de resina de la empresa INTEQUIM C.A.*” Memoria de título, Ing. Mecánico de plantas de procesos, Decanato de estudios de postgrados, Universidad Simón Bolívar, Enero 2006.
- [19] PINO, G. & MARTÍNEZ E. “*Reingeniería del sistema de agua de enfriamiento de una planta de producción de conductores eléctricos*”.
- [20] JACHO, J., “*Diseño e implementación de una demostración práctica en el laboratorio de máquinas eléctricas utilizando el variador de frecuencia como fuente de ahorro de energía.*” Memoria de título, Ing. Eléctrico – Mecánico, Facultad de educación técnica para el desarrollo, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayas, Ecuador, 2012.

- [21] AGUAPEN, *Pliego tarifario: Categoría residente, comercial e industrial*. [online], disponible en: <http://www.aguapen.gob.ec/index.php/clientes/tarifario>
- [22] CENEL, *pliegos tarifarios a consumidores*. [online], disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-SPEE-2017.pdf>
- [23] BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, *Tasas efectivas activas vigentes*. [online], disponible en: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/TasasVigentes082017.htm>.
- Hernández Sampieri, R. (2010) *Metodología de la investigación: anteproyecto, justificación*. MEXICO: McGraw-Hill
- Daneri Pablo A. (2008) *PLC Automatización y Control Industrial*. ARGENTINA: Hasa

**ANEXOS**

**Anexo 1:** Especificaciones técnicas de PLC Siemens 1212c AC/DC/RELE, página 23.

Función	CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	90 x 100 x 75		110 x 100 x 75
Memoria de usuario <ul style="list-style-type: none"> <li>• Memoria de trabajo</li> <li>• Memoria de carga</li> <li>• Memoria remanente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 25 KB</li> <li>• 1 MB</li> <li>• 2 KB</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 50 KB</li> <li>• 2 MB</li> <li>• 2 KB</li> </ul>
E/S integradas locales <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitales</li> <li>• Analógicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6 entradas/4 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 entradas/6 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 14 entradas/10 salidas</li> <li>• 2 entradas</li> </ul>
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)		
Área de marcas (M)	4096 bytes		8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	Ninguna	2	8
Signal Board	1		
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)		
Contadores rápidos <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fase simple</li> <li>• Fase en cuadratura</li> </ul>	3 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz</li> </ul>	4 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz 1 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz 1 a 20 kHz</li> </ul>	6 <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 a 100 kHz 3 a 30 kHz</li> <li>• 3 a 80 kHz 3 a 20 kHz</li> </ul>
Salidas de impulsos	2		
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)		
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C		
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet		
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción		
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción		



## Anexo 2: Ficha técnica módulo de comunicación cm1241, página 24.

Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	Sí
• 24 V DC	
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo, máx.	220 mA; De bus de fondo 5 V DC
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	1,1 W
Interfaces	
Nº de interfaces	1
Física de la interfaz, RS 422/485 (X.27)	Sí
Punto a punto	
• Longitud del cable, máx.	1 000 m
Drivers de protocolo integrados	
— Freeport	Sí
— ASCII	Sí; disponible como función de librería
— Modbus	Sí
— RTU maestro Modbus	Sí
— RTU esclavos Modbus	Sí
— USS	Sí; disponible como función de librería
Protocolos	
Protocolos integrados	
Freeport	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
3964 (R)	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
RTU maestro Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
— N.º de esclavos, máx.	247; 1 a 247, máximo 32 dispositivos por cada segmento de red MODBUS, se precisan repetidores adicionales para ampliar la red a la máxima configuración
RTU esclavos Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)

### **Anexo 3:** Consejos básicos para mantenimiento de motores de un sistema de ventilación.

#### **Motores:**

- Utilice un cepillo o un paño para limpiar el polvo del motor.
- El motor funcionará más frío reduciendo el grado de corrosión.
- Asegúrese de que el motor está bien fijo en su soporte.

#### **Cierres:**

- Compruebe que todos los cierres son herméticos.
- Compruebe visualmente si hay señales de deterioro en el soporte, la carcasa, etc., del motor.

#### **Hélice:**

- Límpiela con un cepillo suave.
- Compruebe visualmente si hay señales de deterioro.

#### **Obturador:**

- Utilice un cepillo o un paño para limpiar el polvo de hojas y marco.
- Asegúrese de que el obturador se abre y se cierra con facilidad.
- Los obturadores sucios reducen el flujo de aire hasta un 40%.

#### **Cojinetes:**

- Engrase los cojinetes con grasa Premium cada 3-6 meses.

#### **Mecanismo de transmisión:**

- Compruebe la alineación del mecanismo de poleas y correa.
- La alineación del mecanismo de transmisión es muy importante para la duración de la correa y el rendimiento del ventilador.

#### **Tensión de la correa:**

- Ajuste la tensión de la correa para garantizar una buena tracción sobre la polea del mecanismo de transmisión.
- Una tensión demasiado elevada reduce la duración del mecanismo de transmisión y de la correa.