



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Tema:

**MÁQUINA AUTOMATIZADA DE CONGELACIÓN PARA EL PROCESO
DE ULTRACONGELACIÓN DE ALIMENTOS**

Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación, presentado previo a la
obtención del título de Ingeniero Industrial

ÁREA: Automatización

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología de la información y Sistemas de
control

AUTOR: Washington Stalin Jácome Bastidas

TUTOR: Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño, MSc.

Ambato - Ecuador

agosto – 2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación con el tema: MÁQUINA AUTOMATIZADA DE CONGELACIÓN PARA EL PROCESO DE ULTRACONGELACIÓN DE ALIMENTOS, desarrollado bajo la modalidad Proyecto de Investigación por el señor Washington Stalin Jácome Bastidas, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, me permito indicar que el estudiante ha sido tutorado durante todo el desarrollo del trabajo hasta su conclusión, de acuerdo a lo dispuesto en el Artículo 17 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.3 del instructivo del reglamento referido.

Ambato, agosto 2024



Firmado electrónicamente por:
**FRANKLIN WILFRIDO
SALAZAR LOGROÑO**

Ing. Franklin Wilfrido Salazar Logroño, MSc.

TUTOR

AUTORÍA

El presente trabajo de titulación con el tema: MÁQUINA AUTOMATIZADA DE CONGELACIÓN PARA EL PROCESO DE ULTRACONGELACIÓN DE ALIMENTOS es absolutamente original, auténtico y personal y ha observado los preceptos establecidos en la Disposición General Quinta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, agosto 2024.



Washington Stalin Jácome Bastidas

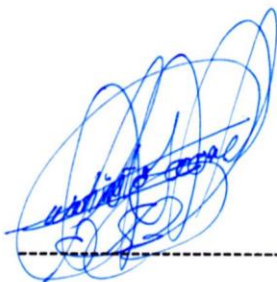
C.C. 050372395-9

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato para que reproduzca total o parcialmente este trabajo de titulación dentro de las regulaciones legales e institucionales correspondientes. Además, cedo todos mis derechos de autor a favor de la institución con el propósito de su difusión pública, por lo tanto, autorizo su publicación en el repositorio virtual institucional como un documento disponible para la lectura y uso con fines académicos e investigativos de acuerdo con la Disposición General Cuarta del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, agosto 2024



Washington Stalin Jácome Bastidas

C.C. 050372395-9

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de par calificador del informe final del trabajo de titulación presentado por el señor Washington Stalin Jácome Bastidas, estudiante de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, bajo la Modalidad Proyecto de Investigación, titulado MÁQUINA AUTOMATIZADA DE CONGELACIÓN PARA EL PROCESO DE ULTRACONGELACIÓN DE ALIMENTOS, nos permitimos informar que el trabajo ha sido revisado y calificado de acuerdo al Artículo 19 del Reglamento para la Titulación de Grado en la Universidad Técnica de Ambato y el numeral 6.4 del instructivo del reglamento referido. Para cuya constancia suscribimos, conjuntamente con la señora Presidente del Tribunal.

Ambato, agosto 2024.



Firmado electrónicamente por:
**ELSA PILAR URRUTIA
URRUTIA**

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**JESÚS ISRAEL GUAMAN
MOLINA**

Ing. Mg. Jesús Israel Guamán Molina
PROFESOR CALIFICADOR



Firmado electrónicamente por:
**MAURICIO XAVIER
LOPEZ FLORES**

Ing. Mg. Mauricio Xavier López Flores
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a quienes han sido mi principal apoyo y motivación a lo largo de este arduo camino.

A mis padres, Edison y Dolores, por su amor incondicional, sus palabras de aliento en los momentos difíciles y su incansable esfuerzo por brindarme las mejores oportunidades en la vida. Ustedes han sido mi mayor inspiración

A mis hermanos, Bryan y Juliana, por ser mis compañeros de vida, por creer en mí y celebrar cada uno de mis logros como suyos propios. Su presencia ha sido un refugio en los momentos de desesperación.

A mis amigos, Anthony, Ismael, Damián, Carolina quienes han sido una constante en mi vida, brindándome su apoyo, su comprensión y su cariño desinteresado. Ustedes han hecho de este trayecto una experiencia mucho más llevadera y enriquecedora.

A todos ustedes, quienes han estado a mi lado en las buenas y en las malas, les dedico este trabajo, fruto de mi esfuerzo, pero también de su amor y su confianza en mí. Espero que se sientan orgullosos de este logro, pues no hubiera sido posible sin su presencia.

AGRADECIMIENTO

En primero lugar, agradezco a Dios Todopoderoso, por darme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para superar cada obstáculo presente en este camino. Sin su guía y bendición, este logro no habría sido posible.

A mis queridos padres, quienes, con su amor incondicional, sacrificios y constantes oraciones, han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo. Gracias por creer en mí y por enseñarme el valor del esfuerzo y la dedicación.

A mis hermanos, por su constante aliento, comprensión y compañía. Su apoyo emocional y sus palabras de ánimo fueron fundamentales en los momentos más difíciles de esta travesía.

A mis amigos, quienes, con su amistad sincera, risas compartidas y palabras de aliento, hicieron de este camino una experiencia más llevadera y enriquecedora. Gracias por estar siempre ahí, en los buenos y malos momentos.

Un agradecimiento muy especial a mi tutor, el Ing. Franklin Salazar, por su invaluable guía, paciencia y apoyo a lo largo de esta tesis. Su conocimiento, dedicación y consejos han sido cruciales para la culminación de este trabajo. Gracias por creer en mi potencial y por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar mis metas.

A todos ustedes, les extiendo mi más sincero agradecimiento. Este logro tanto mío como suyo. ¡Gracias!

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	¡Error! Marcador no definido.
DERECHOS DE AUTOR	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN EJECUTIVO	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema de investigación.....	1
1.1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Antecedentes investigativos	2
1.3 Fundamentación teórica	6

1.3.1 Automatización Industrial.....	6
1.3.2 PLC	9
1.3.3 PLC de arquitectura Maestro – Esclavo.....	11
1.3.4 Sistema de Refrigeración	12
1.3.5 Ciclo de Refrigeración	13
1.3.6 Refrigeración por Compresión.....	15
1.3.7 Compresor.....	16
1.4 Objetivos	17
1.4.1 Objetivo general	17
1.4.2 Objetivos específicos	17
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	18
2.1 Materiales.....	18
2.2 Métodos.....	19
2.2.1 Modalidad de la investigación	19
2.2.2 Recolección de información.....	21
2.2.3 Procesamiento y análisis de datos	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
3.1 Diagrama de bloques.....	24
3.2 Diseño del túnel de congelado	25

3.2.1 Selección del panel aislante	25
3.2.2 Selección de tuberías.....	27
3.2.3 Selección de unidad condensadora.....	29
3.2.4 Selección de evaporador	30
3.2.5 Selección de gas refrigerante	31
3.2.6 Selección del sistema eléctrico.....	32
3.3 Fases del procedimiento del ultra congelado	36
3.4 Ultra congelación de alimentos.....	36
3.5 Diagrama de flujo del proceso de construcción del túnel de congelado	37
3.6 Selección de equipos	37
3.6.1 Selección del Controlador Lógico Programable	37
3.6.2 Selección de la pantalla HMI	38
3.7 Prototipo del Túnel de Congelado.....	39
3.8 Diseño de la estructura	42
3.9 Diagrama eléctrico	43
3.9.1 Diagrama de control eléctrico de entradas.....	43
3.9.2 Diagrama de control eléctrico de salidas	45
3.10 Programación del sistema.....	46

3.10.1 TIA Portal.....	46
3.10.2 Plataforma SITRAD PRO	54
3.10.3 Análisis del arranque del proceso	54
3.11 Evaluación de las ventajas del túnel de congelado.....	55
3.12 Análisis de la eficiencia del tunél de congelado.....	56
3.13 Análisis Comparativos	57
3.13.1 Análisis de resultados entre Agua purificada y Jugo.	57
3.13.2 Análisis de resultados entre Agua purificada y Agua dura.	58
3.13.3 Análisis de resultados ente Agua purificada y Gaseosa.....	59
3.13.4 Análisis de resultados entre Agua dura y Jugo.	60
3.13.5 Análisis de resultados entre Agua dura y Gaseosa.....	61
3.13.6 Análisis de resultados entre Jugo y Gaseosa.....	62
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
4.1 Conclusiones	65
4.2 Recomendaciones.....	67

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXO A	73
ANEXO B.....	74
ANEXO C	75
ANEXO D	76
ANEXO 1	77
ANEXO 2	78
ANEXO 3	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales utilizados	18
Tabla 2. Softwares utilizados	18
Tabla 3. Tipos de temperatura.....	26
Tabla 4. Especificaciones del panel	26
Tabla 5. Dimensiones y condiciones para el túnel	27
Tabla 6. Pasos para selección de tuberías	28
Tabla 7. Pasos para la selección de unidad condensadora	29
Tabla 8. Pasos para seleccionar el evaporador	30
Tabla 9. Pasos para seleccionar el gas refrigerante.....	31
Tabla 10. Selección del disyuntor	33
Tabla 11. Pasos para seleccionar un relé.....	33
Tabla 12. Controladores eléctricos.....	34
Tabla 13. Pasos para selección de indicadores.....	35
Tabla 14. Fases del ultra congelado	36
Tabla 15. Selección de PLC	38
Tabla 16. Pantallas HMI	38
Tabla 17. Declaración de variables de entrada.....	47
Tabla 18. Declaración de variables de salida	47
Tabla 19. Declaración de variables de marcas	47
Tabla 20. Selección de colores según la norma IEC 60073.....	51

Tabla 21. Procesos artesanal y automatizado del túnel de congelado.....	55
Tabla 22. Datos obtenidos en pruebas.....	56
Tabla 23. Análisis de congelación del agua dura	56
Tabla 24. Análisis de congelación del agua purificada.....	57
Tabla 25. Análisis de congelación del jugo	57
Tabla 26. Análisis de congelación de la gaseosa	57
Tabla 27. Agua purificada VS Jugo	58
Tabla 28. Agua purificada VS Agua dura	59
Tabla 29. Agua purificada VS Gaseosa	59
Tabla 30. Agua dura VS Jugo	60
Tabla 31. Agua dura VS Gaseosa	61
Tabla 32. Jugo VS Gaseosa.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pirámide de automatización	7
Figura 2. PLC's tipo compacto	10
Figura 3. PLC tipo modular	11
Figura 4. PLC tipo montaje en rack	11
Figura 5. Configuración Maestro – Esclavo	12
Figura 6. Ciclo de refrigeración	14
Figura 7. Esquema general del proceso de automatización y control del túnel de congelado.	23
Figura 8. Diagrama de bloques del sistema de visualización y monitorización	25
Figura 9. Panel tipo sándwich	26
Figura 10. Tubería de cobre 5/8	28
Figura 11. Tubería de cobre 3/8	28
Figura 12. Unidad condensadora.....	29
Figura 13. Evaporador.....	30
Figura 14. Gas refrigerante R404A	32
Figura 15. Disyuntor	33
Figura 16. Relé	34
Figura 17. Controladores eléctricos	35
Figura 18. Luces piloto	36
Figura 19. Resumen del proceso de construcción del túnel	37

Figura 20. Tablero de control.....	39
Figura 21. Interior del tablero de control	41
Figura 22. Sistema de refrigeración	42
Figura 23. Interior del túnel de congelado	42
Figura 24. Planos del túnel de congelado.....	43
Figura 25. Circuito de entradas	45
Figura 26. Circuito de Salidas.....	46
Figura 27. Línea del inicio del sistema	48
Figura 28. Línea del control del visualizador y ventiladores	49
Figura 29. Línea de control del motor.....	49
Figura 30. Línea de control del descarche	50
Figura 31. Comunicación entre PLC y HMI.....	50
Figura 32. Pantalla principal	52
Figura 33. Pantalla secundaria	52
Figura 34. Pantalla en modo automático.....	53
Figura 35. Pantalla en modo manual.....	53
Figura 36. Software SITRAD PRO Full Gauge.....	54
Figura 37. Grafica del funcionamiento del sistema de refrigeración	55
Figura 38. Jugo vs Agua purificada	58
Figura 39. Agua purificada vs Agua dura	59
Figura 40. Agua purificada vs Gaseosa.....	60

Figura 41. Agua dura vs Jugo	60
Figura 42. Gaseosa vs Agua dura.....	61
Figura 43. Jugo vs Gaseosa.....	62
Figura 44. Tiempo de congelación túnel vs domestica vs industrial	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Grupo de condensación	73
Anexo 2. Circuito eléctrico	74
Anexo 3. Parámetros MT-512E Log.....	75
Anexo 4. Parámetros del motor compresor.....	76
Anexo 5. Estructura base.....	77
Anexo 6. Paredes del túnel.....	77
Anexo 7. Interior del túnel	78
Anexo 8. Ventiladores.....	78
Anexo 9. Tablero de control.....	79

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo aborda el diseño y desarrollo de una máquina automatizada de congelación para el proceso de ultra congelación de alimentos. En el contexto de alta competitividad y avances tecnológicos, las empresas manufactureras requieren modernizar sus operaciones. Este proyecto se centra en la implementación de sistemas de control y las flexibilidades en la producción.

La investigación incluye un análisis detallado del sistema de refrigeración, desde el diseño del túnel de congelado hasta la implementación de un PLC para su control. El túnel de congelado funciona mediante un proceso avanzado en el cual los productos son expuestos a corrientes de aire frío a velocidades controladas, lo que permite una reducción rápida y uniforme de la temperatura. Los resultados demuestran que el sistema desarrollado puede alcanzar temperaturas ultra bajas en tiempos cortos, reduciendo significativamente los costos operativos y aumentando la productividad. En pruebas, la máquina logra congelar productos alimenticios como agua dura, agua purificada, gaseosa (Coca-Cola) y jugo embotellado en un tiempo promedio de 12 minutos, garantizando la preservación óptima de la calidad y frescura.

En conclusión, la máquina de ultra congelación desarrollada representa un avance significativo en la industria alimentaria, ofreciendo beneficios tangibles en términos de calidad, productividad y sostenibilidad.

Palabras claves: Automatización, ultra congelación, eficiencia, calidad, alimentos.

ABSTRACT

This paper deals with the design and development of an automated freezing machine for the ultra-freezing process of foodstuffs. In the context of high competitiveness and technological advances, manufacturing companies need to modernize their operations. This project focuses on the implementation of control systems and production flexibilities.

The research includes a detailed analysis of the refrigeration system, from the desing of the freezing tunnel to the implementation of a PLC for its control. The tunnel freezer operates an advanced process in which products are exposed to cold air streams at controlled speeds, allowing for a rapid and uniform temperature reduction. Results show that the developed system can reach ultra-low temperatures in record times, significantly reducing operating costs and increasing productivity. In tests, the machine was able to freeze food products in an average time of 12 minutes, guaranteeing optimal preservation of quality and freshness.

In conclusion, the developed blast freezing machine represents a significant breakthrough in the food industry, offering tangible benefits in terms of quality, productivity and sustainability.

Keywords: Automation, blast freezing, efficiency, quality, food.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema de investigación

MÁQUINA AUTOMATIZADA DE CONGELACIÓN PARA EL PROCESO DE ULTRACONGELACIÓN DE ALIMENTOS.

1.1.1 Planteamiento del problema

En el contexto actual de alta competitividad global y acelerados avances tecnológicos, las empresas manufactureras se ven obligadas a reestructurar sus operaciones para mantenerse vigentes. La automatización de procesos, máquinas inteligentes y sistemas ciber físicos son elementos clave en esta transformación. Se ha producido una integración de tecnologías de información y producción que mejora los procesos, dando lugar a sistemas innovadores de fabricación y gestión, que incrementan la productividad y calidad. Esto conlleva a obtener mayor flexibilidad, eficiencia y generación de valor agregado[1].

Los sistemas de control automático representan una nueva fase en la revolución industrial. En estos sistemas, funciones de monitoreo y control que anteriormente realizaban operadores humanos de forma manual, ahora son ejecutadas de modo autónomo por los propios dispositivos inteligentes, transformándose en mecanismos automatizados[2].

La automatización industrial ha dotado a las empresas manufactureras de capacidades para supervisar en tiempo real la productividad y calidad, aprovechando los datos generados en la planta. Asimismo, facilita la gestión integral de las operaciones de fabricación. Esto se traduce en la capacidad de producir bienes de alta calidad y precisión, reduciendo errores en los procesos, mermas, fallas en productos terminados y sus costos asociados[3].

Los sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) tienen como propósito principal gestionar, controlar y supervisar procesos industriales sin intervención humana. Esto se logra mediante software especializado que se ejecuta en

estaciones de control e historiadores de datos. Los SCADA permiten acceder remotamente a la planta a través de red Ethernet e interoperar con otros dispositivos como PLCs (Controlador Logico Programable), HMIs (Interfaz Hombre Maquina), variadores de frecuencia y actuadores[4].

Actualmente, la industria manufacturera de Ecuador se encuentra en un proceso de transformación digital de sus operaciones, adoptando la automatización como una palanca clave para mejorar continuamente sus técnicas de producción. Los principales factores que impulsan estos cambios son la optimización en el uso de materias primas, eficiencia energética, aseguramiento de la calidad, trazabilidad, entre otros[5].

Es necesario formar profesionales con conocimientos actualizados en áreas como control de procesos, instrumentación electrónica, programación de PLCs, redes industriales, entre otros. Pero la enseñanza actual enfocada en conceptos teóricos no entrega todas las competencias necesarias.

Se requiere complementar con experiencia práctica a través del desarrollo de proyectos con equipos y sistemas reales que permitan integrar los conocimientos adquiridos. Así se genera experiencia directa en implementación de soluciones de automatización, identificando retos y oportunidades de la aplicación en entornos productivos.

En este proyecto se diseñó y construyó un prototipo didáctico de un sistema automatizado de ultra congelación rápida de alimentos con PLC y SCADA, replicando un proceso industrial real. Esto fortalecerá las capacidades de estudiantes, docentes y profesionales, además de sentar las bases para desarrollar sistemas de automatización más accesibles.

1.2 Antecedentes investigativos

En el ámbito de la automatización industrial, los controladores lógicos programables han tenido una amplia aplicación en el control y supervisión de procesos en una variedad de sectores industriales. Estos dispositivos ofrecen una interfaz de usuario programable e intuitiva para gestionar eficazmente el flujo de datos y señales en sistemas de gran complejidad. Así mismo, los PLC se integran en redes industriales y

se vinculan a Interfaces Hombre-Máquina para simplificar la supervisión de procesos y la posibilidad de control remoto.

El módulo didáctico planteado se centra en la medición de la temperatura y la velocidad de una cinta transportadora, dado que estas variables son frecuentes en numerosos contextos industriales. La toma de estas medidas resulta esencial para el control y seguimiento de procesos en tiempo real y, además brinda a los estudiantes la oportunidad de adquirir experiencia práctica en la programación de PLC, la configuración de redes industriales y el uso de HMI.

En el trabajo de investigación del Instituto Politécnico Nacional titulado como: “Automatización de un sistema de climatización con PLC”, publicado en el año 2012 por el Ing. Roger Valdés Fernández señala que se plantea una propuesta de automatización (que emplea un Controlador Lógico Programable (PLC) para administrar el sistema de aire acondicionado de la institución mencionada) que hace uso de un (PLC) para gestionar el sistema de aire acondicionado de la mencionada institución. Este enfoque implica la realización de estudios psicrométricos del aire, la evaluación de las tecnologías de PLC disponibles en el mercado, así como un análisis detallado del sistema que se busca automatizar, junto con cada uno de sus componentes. Además, se contemple la programación y configuración del controlador lógico, así como la supervisión de este sistema en particular[6].

El trabajo investigativo desarrollado por la Mg. Ingrid Donado Romero con título: “Procedimiento para el diseño e implementación de sistemas SCADA en Indutrónica del Caribe S.A.S, basado en estándares, normas técnicas ISO e ISA y en buenas prácticas de ingeniería.”, publicado en el año 2017 menciona que el enfoque principal de este trabajo se dirige hacia la etapa de control, dado que tiene un impacto directo en sus desarrollos de sistemas SCADA. El resultado de este estudio ha permitido la formulación de una metodología compuesta por 8 procedimientos estandarizados para desarrollar funciones, comúnmente denominados “objetos” de programación. Esta metodología se basa en las normas ISA y en las mejores prácticas de ingeniería. El proceso comienza con la revisión de las normas vigentes, continua con la identificación de los aspectos relevantes de cada norma y concluye con la

programación de funciones u objetos que se utilizan de manera frecuente en diversos sistemas de control[7].

En la investigación titulada "Proyecto de Integración de Autómata Programable Simatic S7-1200 en Red IoT," elaborado por el Mg. Roberto Villena, un estudiante del programa de Maestría en Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Valencia, destaca que, aunque las fábricas actuales cuentan con sistemas de automatización que fueron instalados en su momento, los avances y desarrollos tecnológicos en curso pueden llevar a que tanto los equipos como los procesos se vuelvan obsoletos. Sin embargo, la obsolescencia de estas fábricas y sus equipos no permite una implementación sencilla, o al menos no a simple vista[8].

En su trabajo de investigación denominado "Implementación de un Sistema de Control Automático de Temperatura Regido por un PLC para una Habitación," el Ingeniero Jefferson Tinoco se centra en la implementación de un sistema de control automático de temperatura. Este sistema se vale de un sensor de temperatura LM35 para recolectar datos del entorno. La regulación de la temperatura se lleva a cabo a través de un PLC LOGO, que es un modelo de alta capacidad. Para elevar la temperatura, se utiliza un calefactor eléctrico que transmite calor mediante convección. Para enfriar la habitación, se emplea un ventilador que genera una corriente de aire[9].

En los estudios del Mg. Roberto Villena y del Ing. Jefferson Tinoco comparten la similitud de utilizar PLCs para mejorar procesos industriales, mientras unos se enfocan en la integración y modernización de sistemas existentes, el otro se concentra en la implementación de un control de temperatura eficiente. Este proyecto de investigación se relaciona con estos estudios al buscar optimizar procesos industriales mediante tecnología avanzada, enfrentando retos similares en la adaptación y precisión de los sistemas automatizados.

El trabajo de investigación del Ing. José Carlos Quezada, titulado "Implementación de PLC-HMI para el Control y Monitoreo en la Automatización de una Máquina Empaquetadora en la Industria Refresquera para Empaquetado de Tetra Brik," describe un sistema compuesto por tecnología de control automático, específicamente un PLC. Este PLC recopila y registra información proveniente de diversos instrumentos de medición, como sensores de presencia, fotoeléctricos, de proximidad, inductivos y

RTD. Estos sensores permiten realizar acciones de control basadas en la lógica de control previamente programada en el PLC. El PLC envía señales de control a los elementos actuadores que intervienen en el proceso, como resistencias eléctricas, motores eléctricos, pistones neumáticos, alarmas y lámparas indicadoras. El proceso se inicia moviendo el producto a través de un transportador, lo que determina la cantidad requerida, generalmente 3 o 6 cajas de jugo en presentación de 500 ml. Esta operación se inicia mediante una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) que controla la máquina de empaquetado de bebidas[10].

El trabajo de investigación de la Escuela Superior de Tizayuca, titulado "Sistema de Control Automático Basado en PLC y HMI para una Máquina Estribadora," publicado en el año 2022 por el Ingeniero José Quezada, aborda el desafío de automatizar una máquina estribadora debido al esfuerzo físico significativo requerido para doblar este material manualmente, así como a la alta demanda de estos elementos. El enfoque principal de este proyecto es la automatización de procesos industriales, para lo cual se propone el desarrollo de un sistema de control que utiliza tecnología electroneumática y se basa en PLC. Además, se incorpora un sistema de monitoreo a través de un HMI para facilitar la supervisión y el control del proceso de estribo automatizado[11].

Los sistemas de refrigeración en la industria, independientemente de su ámbito de aplicación, desempeñan un papel crucial al mantener la temperatura adecuada en equipos y entornos. Su función principal es eliminar el exceso de calor generado por procesos industriales, ya sea por combustión o fricción. Esto es esencial para garantizar la fiabilidad y el rendimiento óptimo de estos procesos y equipos. El control de la temperatura de operación es fundamental para mantener la estabilidad en los parámetros de funcionamiento. La capacidad de refrigeración y su continuidad son factores clave en este proceso. El objetivo final es mejorar la eficiencia y reducir las pérdidas en la producción industrial[12].

Existen numerosas investigaciones y proyectos que se centran en la aplicación de lógica programable, redes industriales y HMI. Por ejemplo, En 2018, Siti Mariyam Shamsuddin desarrolló un sistema de supervisión y regulación del nivel de agua utilizando PLC y una red industrial. Esta solución posibilita a los usuarios supervisar

y gestionar los niveles de agua en tiempo real a través de una interfaz de usuario intuitiva[13].

En otra investigación realizada por Kumarasamy Saravanan, se diseñó un sistema de monitorización y regulación de la temperatura empleando un PLC y una red industrial. Este sistema ofrece a los usuarios la capacidad de configurar y regular con precisión y fiabilidad la temperatura en los procesos industriales[14].

Se puede destacar un caso significativo de aplicaciones de la Interfaz Humano-Máquina (HMI) en el trabajo de J. Trumpler en 2019. En esta investigación, se creó una HMI para la supervisión y gestión en tiempo real de una planta de tratamiento de agua. Gracias a este sistema, se logró la monitorización constante de variables críticas como el flujo de agua, la temperatura y el nivel del agua, lo que facilitó la toma de decisiones basada en información actualizada de manera inmediata[15].

Se puede concluir que la creación de un módulo educativo centrado en la utilización de PLCs, redes industriales y HMI, con un enfoque en la medición de temperatura y velocidad de una banda transportadora, es un proyecto de gran relevancia en el campo de la automatización industrial. Los antecedentes actuales respaldan la viabilidad y la importancia de estos dispositivos en aplicaciones prácticas. Además, la reducción de costos gracias al uso de PLCs económicos y software de código abierto demuestra que un proyecto de esta envergadura puede implementarse de manera más asequible, lo que representa una ventaja significativa para su incorporación en el ámbito educativo.

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Automatización Industrial

La automatización como se muestra en la Figura 1 se define como un conjunto de procesos y técnicas destinados a reemplazar la intervención de un operario en labores

tanto físicas como cognitivas. Los procesos industriales están vinculados a conceptos relacionados con la producción, la programación y la planificación de las instalaciones.



Figura 1. Pirámide de automatización[16].

En el contexto de la automatización, se pueden identificar dos tipos de industria predominantes: la industria manufacturera y la industria de procesos. La industria manufacturera se basa en la utilización de máquinas controladas por computadoras para llevar a cabo su proceso de fabricación. Por otro lado, la industria de procesos opera de manera continua y se destaca por el empleo de algoritmos para un control avanzado, así como la utilización de autómatas programables para tareas repetitivas[17].

a. Jerarquía de un sistema de automatización

La disposición de sistemas de automatización industrial se caracteriza por su complejidad y se estructura en distintos niveles:

- Nivel de campo: En este nivel, se encuentran dispositivos como sensores y actuadores cuya función principal es transferir datos y señales de los procesos y máquinas al nivel superior para su posterior análisis. Además, incluye el control de parámetros del proceso a través de actuadores.
- Nivel de control: Aquí se recopilan los datos provenientes del nivel anterior para llevar a cabo algoritmos de control. Basándose en los resultados, se emiten

instrucciones a los actuadores. Este nivel se encarga de gestionar la comunicación entre diversos controladores y entre los distintos niveles.

- Nivel de supervisión y control de producción: En este nivel, los dispositivos automáticos y sistemas de monitoreo desempeñan funciones de control como la supervisión de parámetros, registro histórico, inicio y detención de procesos, entre otras.
- Nivel de información o empresarial: En este nivel se coordinan los diversos procesos que contribuyen a la producción. Las tareas comprenden la planificación de la producción, análisis de clientes y mercados, así como actividades relacionadas con compras y ventas.
- Redes de comunicación industrial: En este nivel se realiza la administración de recursos y se encarga de la gestión de la planta. Sus actividades principales abarcan el control y la planificación de la producción[18].

b. Tipos de sistemas de automatización industrial

Existen tres tipos de automatización en la industria:

- ***Automatización fija:*** Se aplica en tareas que son constantes y repetitivas, con el objetivo de alcanzar altos niveles de producción. Esta forma de automatización se emplea en la fabricación continua de un mismo producto en grandes cantidades.
- ***Automatización programable:*** Se utiliza para la fabricación de unos pocos productos en lotes pequeños, con el propósito de reducir los costos. Es adecuada para procesos de producción por lotes donde se requiere cierta flexibilidad.
- ***Automatización flexible:*** Esta forma de automatización se caracteriza por su versatilidad, ya que el equipo de control automático puede adaptarse a cambios en el diseño del producto. Esto permite la producción de varios productos a través de un proceso combinado[19].

1.3.2 PLC

Un Controlador Lógico Programable es un dispositivo diseñado para sustituir los sistemas de control basados en relés utilizados en el control de maquinaria. Este dispositivo opera mediante la supervisión de sus entradas y, en función de su estado, controla las salidas correspondientes. Un programa específico, creado a través de software, es necesario para definir las operaciones deseadas[18].

Los PLC's se aplican en diversas situaciones, desde tareas diarias hasta el control de procesos industriales. Dependiendo del contexto, su empleo puede reducir los tiempos de procesamiento y prevenir riesgos en labores monótonas[20].

a. Estructura general del PLC

Como se puede apreciar en la Figura 2, el sistema requiere una fuente de energía para mantener los voltajes necesarios para el funcionamiento del controlador, generalmente se utilizan valores de $\pm 5V$, $\pm 12V$ y $\pm 24V$. La parte esencial de un PLC es la Unidad Central de Procesamiento (CPU), que alberga el procesador del controlador y se basa en un microprocesador.

La transferencia de datos y direcciones específicas donde se almacenan dichos datos en los PLC se logra a través de cuatro tipos de buses distintos:

- Bus de datos, que se utiliza para transferir datos entre componentes individuales.
- Bus de direcciones, empleado en transferencias entre celdas donde se almacenan datos.
- Bus de control, destinado a las señales de control de los componentes internos.
- Bus de sistema, que conecta los puertos con los módulos de Entrada/Salida (E/S).

La memoria, donde se almacenan datos e instrucciones, se divide en memoria permanente (PM) y memoria operacional, comúnmente denominada memoria de acceso aleatorio o RAM[21].

b. Tipos de PLC

Hay diversos tipos de PLCs, los cuales varían según su función, la cantidad de entradas/salidas, su capacidad de memoria, su apariencia y otros aspectos. Estos dispositivos pueden ser clasificados en diversas categorías.

- Los PLC compactos, como muestra la Figura 2, son dispositivos que combinan la unidad central de procesamiento (CPU), la fuente de alimentación (PS), y los módulos de entrada/salida (I/O) en una única unidad. Por lo general, ofrecen un número predeterminado de entradas y salidas digitales, uno o dos canales de comunicación y una interfaz hombre-máquina (HMI). Estos PLC compactos también suelen incluir una entrada para control de alta velocidad y una o dos entradas/salidas analógicas[22].



Figura 2. PLC's tipo compacto[23]

- El PLC modular, ilustrado en la Figura 3, se diferencia de los PLC compactos en su mayor robustez y versatilidad. En lugar de tener todos los componentes, como la CPU, SM, CP y otros módulos integrados en una única unidad, en los PLC modulares estos componentes se disponen por separado en un riel. La comunicación entre estos módulos se establece mediante un sistema bus. Aunque estos PLC modulares cuentan con un número limitado de espacios para módulos, en la mayoría de ellos es posible ampliar esta capacidad. Esto les permite gestionar un mayor número de entradas/salidas, admitir programas más extensos, almacenar datos adicionales y funcionar en modo multitarea[24].



Figura 3. PLC tipo modular[25]

- Los PLC de tipo montaje en rack comparten capacidades similares con los PLC modulares, como indica la Figura 4, pero presentan diferencias en cuanto a la disposición de los módulos del PLC. Estos PLCs se caracterizan por tener un rack o chasis con ranuras designadas para la inserción de módulos, y utilizan un sistema bus para la transferencia de información entre estos módulos. Una de las ventajas de este tipo de PLC es su capacidad para facilitar un intercambio rápido de datos entre los módulos, lo que resulta en tiempos de reacción más reducidos de los propios módulos.

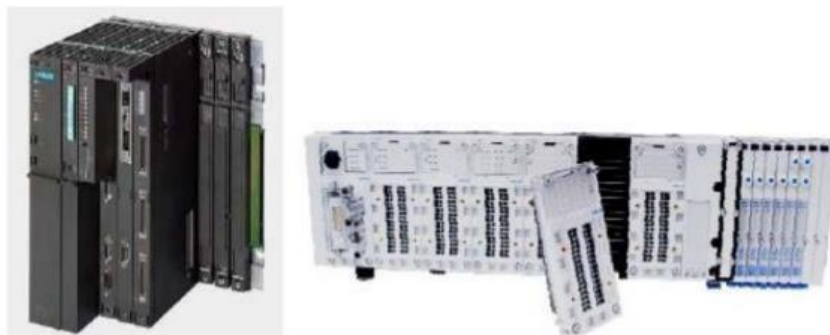


Figura 4. PLC tipo montaje en rack[26]

1.3.3 PLC de arquitectura Maestro – Esclavo

En la Figura 5 muestra que, cuando se configuran redes de comunicación, suele establecerse una estructura jerárquica entre los dispositivos, en la que uno de ellos asume el control de las comunicaciones. Esto se conoce como una relación maestro-esclavo. En este sistema de comunicación maestro-esclavo, un dispositivo actúa como

el maestro y uno o varios dispositivos se denominan esclavos. En un contexto industrial, el dispositivo maestro es un autómatas con la capacidad de leer o escribir datos en otros dispositivos esclavos de la red. Los dispositivos esclavos reciben y responden a los mensajes del dispositivo maestro[27].

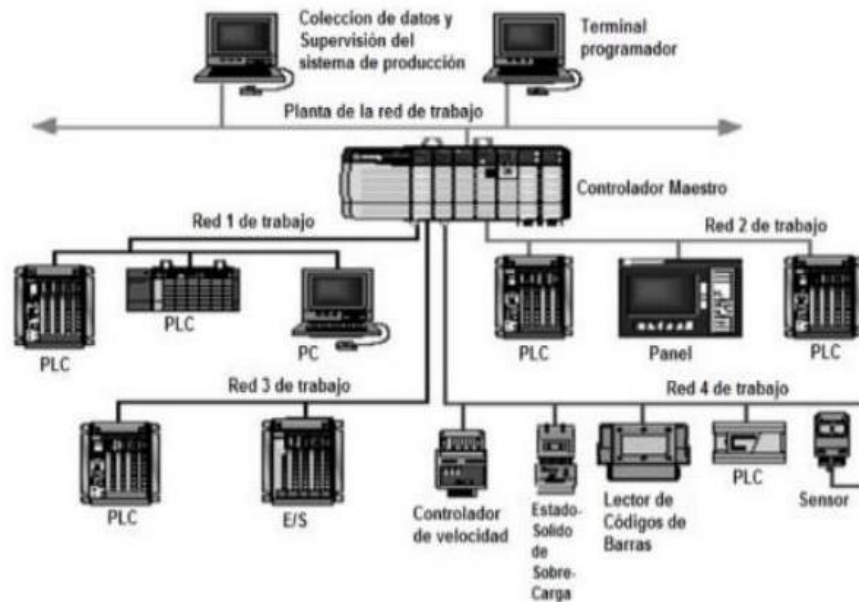


Figura 5. Configuración Maestro – Esclavo[28]

Como se ilustra en la Figura 5, el PLC está diseñado con una arquitectura que permite la ejecución de diversos procesos, empleando redes de PLCs. En este sentido, el dispositivo maestro tiene la capacidad de realizar cambios en los algoritmos, ajustes, estructura y otros aspectos de los dispositivos esclavos. Tanto un PLC como un ordenador pueden actuar como el dispositivo maestro, lo que facilita un mayor acceso a los parámetros de configuración de cada dispositivo esclavo[29].

1.3.4 Sistema de Refrigeración

Este proceso puede ser comprendido como una técnica que permite regular y mantener una temperatura adecuada según las necesidades específicas. La refrigeración implica la extracción de calor de un entorno no deseado, lo que resulta en una disminución de la temperatura, y posteriormente, la transferencia de ese calor a otro cuerpo o espacio. Las aplicaciones de la refrigeración son diversas e incluyen el control de la temperatura en maquinaria y procesos industriales, la conservación de alimentos a través de

dispositivos como refrigeradores, la creación de ambientes confortables mediante sistemas de aire acondicionado y el transporte de productos farmacéuticos, entre otros [30].

1.3.5 Ciclo de Refrigeración

Los ciclos de refrigeración son procesos termodinámicos utilizados para transferir calor de un espacio a otro con el fin de enfriar o mantener una temperatura deseada. Estos ciclos funcionan mediante la circulación de un gas refrigerante a través de una serie de etapas, incluyendo la evaporación, compresión, condensación y expansión.

- **Compresión:** El desempeño del compresor se refiere a su capacidad para llevar a cabo su función, que consiste en aumentar la presión de un fluido, que puede ser un sólido deformable o un medio continuo, lo que resulta en una disminución del volumen y un aumento de la temperatura. El compresor es un dispositivo empleado para reducir el volumen de un líquido o gas mediante la aplicación de presión. Su principal función radica en la generación de movimiento en el fluido, dotándolo de energía cinética a través de la aplicación de fuerzas opuestas que comprimen el fluido. En condiciones de temperatura constante, el compresor succiona vapor de refrigerante a baja presión y lo descarga a alta presión, lo que provoca una reducción en el volumen. Esto se ilustra en el ciclo de refrigeración representado en la Figura 6[31].

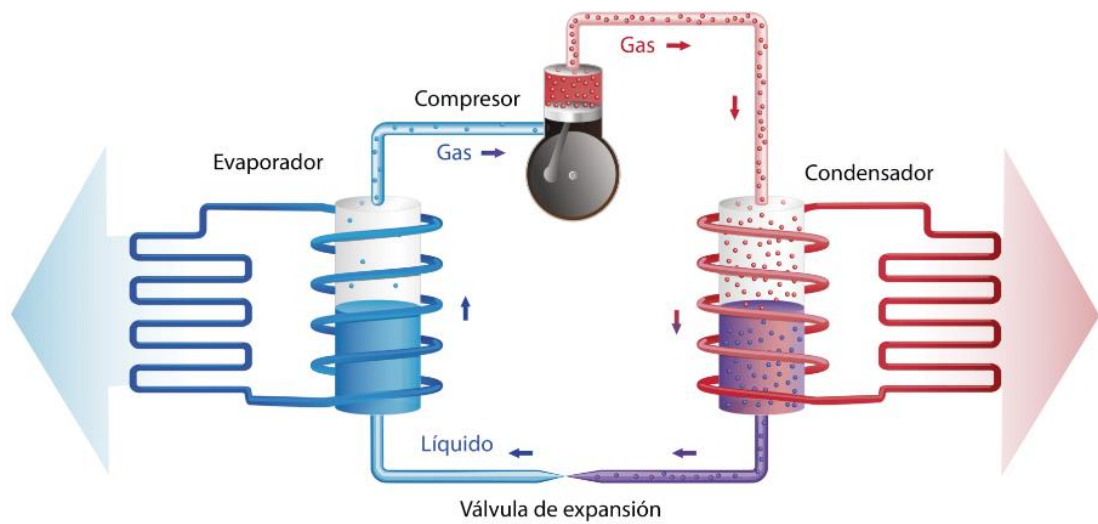


Figura 6. Ciclo de refrigeración[32]

- **Condensación:** La condensación es el proceso contrario a la evaporación, implicando el cambio de estado desde gaseoso a líquido. Este cambio ocurre como resultado de la disminución de la temperatura y normalmente se lleva a cabo en un dispositivo conocido como condensador. En esta etapa, el refrigerante, que se encuentra en forma de gas a alta temperatura, libera el calor que contiene al entorno circundante. Durante este proceso, el refrigerante cede calor, mientras que el entorno adquiere calor, convirtiendo así al condensador en un intercambiador de calor[31].
- **Expansión:** Una de las propiedades de los gases es que pueden expandirse cuando su temperatura aumenta, ya que las partículas que los componen adquieren mayor energía y, por lo tanto, tienden a moverse con mayor facilidad, lo que resulta en un aumento en su volumen en comparación con su estado anterior de menor temperatura. En esta etapa del proceso de refrigeración, se emplea un dispositivo conocido como válvula de expansión. Este componente es fundamental en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado, ya que cumple un papel crucial al generar una caída de presión mediante la atomización del líquido refrigerante, necesario para sincronizar el funcionamiento del condensador y el evaporador en el sistema[31].
- **Evaporación:** El evaporador, en contraste con el condensador, es un dispositivo de transferencia de calor que transforma el refrigerante del estado

líquido al estado gaseoso. En esta fase, el refrigerante absorbe calor del entorno y, al mismo tiempo, se enfría. Su función incluye la eliminación de la humedad para prevenir la formación de partículas de agua congelada debido a las bajas temperaturas. Este proceso implica transferir o extraer el calor desde una ubicación no deseada hacia una deseada. Se le denomina "evaporador" porque en esta etapa el refrigerante experimenta un cambio hacia su estado gaseoso. Esta etapa inicia con el ingreso al evaporador con baja temperatura y baja presión, donde absorbe el calor del medio circundante, y sale del evaporador con alta temperatura y baja presión, completando así el proceso de vaporización[31].

1.3.6 Refrigeración por Compresión

El proceso de refrigeración por compresión es un método que implica la compresión de un flujo de refrigerante en un ciclo cerrado dividido en dos zonas, como se mencionó previamente, de alta y baja presión. El propósito principal de este proceso es facilitar el intercambio de calor, tanto desde el refrigerante hacia el entorno como desde el refrigerante hacia el cuerpo o medio que se desea enfriar. La zona de baja presión y baja temperatura se ubica en el evaporador, donde ocurre el intercambio de calor con el cuerpo o medio que requiere refrigeración. Por otro lado, en el condensador, se encuentra la zona de alta temperatura y presión, donde el refrigerante libera calor al medio circundante[33].

- ***Aplicación de la refrigeración por compresión en la industria:***

Las máquinas frigoríficas basadas en la compresión se encuentran en diversas aplicaciones, tales como:

- Equipos de refrigeración industrial.
- Refrigeradores o frigoríficos para uso doméstico y comercial.
- Sistemas de aire acondicionado, tanto residenciales como comerciales.
- Plantas de fabricación de hielo.

- Enfriadores de agua.
- Cámaras de refrigeración.
- Túneles de congelación
- Sistemas de aire acondicionado para automóviles.
- Tanques de enfriamiento de leche.
- Sistemas de transporte de alimentos.

Estos son algunos ejemplos de dónde se pueden encontrar máquinas frigoríficas que operan mediante el proceso de compresión.

1.3.7 Compresor

Un compresor es una máquina diseñada para incrementar la presión de gases o vapores compresibles, como el aire. Funciona generando aire comprimido al someter el aire a dos fuerzas contrarias con el propósito de reducir su volumen y aumentar la presión. Este principio se rige por la Ley de Boyle-Mariotte, que establece que, a temperatura constante, el volumen es inversamente proporcional a la presión, es decir, cuando el volumen disminuye, la presión aumenta y viceversa[34].

- **Tipos de compresores:** Los compresores se categorizan según sus propiedades en tres grupos principales: abiertos, semiherméticos y cerrados.
- Los compresores abiertos son empleados en situaciones en las que la unidad de producción incorpora un motor eléctrico independiente.
- Por otro lado, los compresores cerrados o herméticos se caracterizan por estar completamente sellados, y se utilizan típicamente en aplicaciones generales de refrigeración.
- Los compresores semiherméticos son dispositivos que incluyen el motor de manera integrada, pero no están completamente sellados, lo que facilita su mantenimiento y reparación cuando sea necesario.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Implementar una máquina automatizada de congelación para el proceso de ultra congelación de alimentos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Investigar los sistemas automatizados de congelación aplicados a la industria alimentaria.
- Elaborar un sistema de automatización completo para el procedimiento de ultra congelación de la máquina.
- Construir una máquina de congelación automatizado destinado al proceso de ultra congelación de alimentos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

A continuación, se presenta en la Tabla 1 y 2 con la información detallada de los materiales y software que se utilizaron en la construcción, control y programación de la máquina del túnel de congelado:

Tabla 1. Materiales utilizados

Materiales	Descripción
Laptop	Maquina electrónica para procesar información para el desarrollo del proyecto.
Celular	Aparato electrónico para registrar evidencias fotográficas.
PLC S7-1200	Controlador lógico programable utilizado para la automatización y control de procesos.
Pantalla KTP-600	Pantalla táctil marca Siemens que permiten el control y visualización de procesos.
Prototipo del túnel de congelado	Modelo físico a escala del túnel de congelado que se utilizara para pruebas y validación.
Control de temperatura	Aparato para visualizar la temperatura de manera digital marca Full Gauge
Sensor de temperatura	Termopar tipo J
Unidad condensadora	Equipo para refrigeración
Evaporador	Equipo para distribuir del aire a través del túnel
Disyuntor de 2 polos	Aparato para suministrar energía al tablero de control
Reles	Utilizados para dar paso de energía
Elementos de control	Pulsador, selector y paro de emergencia
Elementos de visualización	Luces piloto

Tabla 2. Softwares utilizados

Materiales	Descripción
Microsoft Word	Programa informático para el procesamiento de texto.
Autocad	Software de modelado en 2D y 3D para el desarrollo de los planos de la máquina.
CadeSimu	Software de simulación de circuitos eléctricos.
Tia Portal V17	Entorno de programación para la programación de pantallas y PLC.
Sitrad	Software de control y visualización para el control de temperatura.

Estos materiales y software fueron cuidadosamente seleccionados para garantizar un diseño, construcción y control óptimos del túnel de congelado, asegurando un rendimiento eficiente y confiable en el proceso de ultracongelado.

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de la investigación

El presente proyecto tuvo una modalidad de investigación, que tiene como objetivo consolidar todos los fundamentos como conceptos teóricos – prácticos aprendidos durante la carrera Universitaria y un enfoque cualitativo – cuantitativo ajustado en el análisis y el descubrimiento de la causa que provoca el problema con el fin de brindar soluciones factibles a los problemas de aprendizaje en automatización en las carreras de Ingeniería Industrial y Robótica y Automatización.

- ***Investigación Bibliográfica – Documental:*** Este tipo de investigación bibliográfica permite ampliar el conocimiento a partir de aportes científicos y culturales de diversos autores relacionados con el tema propuesto y se enfoca en la búsqueda de información. Se refiere a investigaciones previas de fuentes confiables como: libros, artículos científicos, revistas indexadas, normativa nacional vigente y sitios web de confianza.
- ***Investigación Experimental:*** Este proyecto empleó una metodología de investigación experimental, enfocada en la caracterización y validación del prototipo de máquina desarrollado en condiciones controladas de laboratorio. Esto abarcó actividades como:

Ensayos mecánicos, eléctricos y electrónicos sobre materiales y componentes

- Pruebas de funcionamiento de subsistemas y del sistema integral
- Mediciones de parámetros críticos como temperatura, vibración, eficiencia
- Análisis estadístico y comparativo respecto a requerimientos y especificaciones

El fin es generar resultados cuantitativos que permitan optimizar el diseño, modelar el desempeño frente a distintos escenarios.

- **Investigación Aplicada:** Este proyecto se basó en un tipo de investigación aplicada ya que involucra la construcción de un prototipo funcional utilizando los conocimientos adquiridos durante la carrera en áreas como:
 - Automatización Industrial y Robótica: Para la selección e integración del PLC, módulos de entradas/salidas, instrumentación electrónica, sensores, actuadores y demás componentes del sistema de control.
 - Instrumentación Industrial: Para el diseño y calibración de los circuitos de medición de variables como temperatura, humedad y velocidad críticas en el proceso.
 - Instrumentación Virtual: Para desarrollar mediante software especializado las interfases hombre-máquina que permitan monitorear y controlar el proceso de forma remota.
 - Simulación: Para modelar el comportamiento del sistema de ultra congelación y predecir su desempeño ante distintos escenarios, previo a la construcción.
 - AutoCAD: Para el diseño de los planos mecánicos, eléctricos, de instrumentación y control que definan la ingeniería de detalle.

De esta manera, se consolidan competencias adquiridas a lo largo de la carrera para resolver un problema concreto como es la falta de soluciones de ultra congelación accesibles para la industria local de alimentos. El prototipo desarrollado sentará las bases para réplicas industriales mejoradas y de bajo costo.

- **Investigación Exploratoria:** La modalidad exploratoria es fundamental para comprender y analizar las causas subyacentes de diversos problemas, facilitando una evaluación precisa de la situación actual de los talleres tecnológicos de la facultad. Esta investigación tanto para los talleres como para las empresas interesadas en automatizar sus procesos. Al permitir una mejor comprensión del estado actual y las necesidades específicas del entorno, esta modalidad investigativa ofrece una base sólida para el desarrollo e

implementación de soluciones de automatización adecuadas. Esto resulta especialmente relevante en el contexto de la máquina automatizada de congelación, donde la eficiencia y la precisión son cruciales para garantizar la calidad y seguridad alimentaria.

2.2.2 Recolección de información

Para el diseño y construcción de la máquina se utilizaron diversas fuentes y métodos para reunir la información técnica necesaria:

- Entrevistas con expertos en refrigeración, automatización, instrumentación y control de calidad para levantar los requerimientos funcionales y técnicos.
- Investigación bibliográfica en textos, artículos científicos y catálogos sobre diseño mecánico, selección de materiales, motores, sensores, controladores lógicos programables y aseguramiento de calidad.
- Observación y benchmarking de máquinas existentes en el mercado con funciones similares para identificar mejores prácticas.
- Mediciones técnicas y pruebas en laboratorio para caracterización de materiales y desempeño de componentes.

La triangulación de la información obtenida permitió desarrollar una máquina óptima, cumpliendo con los más altos estándares.

2.2.3 Procesamiento y análisis de datos

Se llevó a cabo el procesamiento y análisis de datos siguiendo estos criterios:

- Evaluación de la calidad de la información, descartando datos inconsistentes o irrelevantes.
- Representación gráfica de la información utilizando el software Microsoft Word.

- Creación de diagramas mediante el software CADESIMU.
- Examinar la información derivada del rendimiento de la máquina.

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo, se expone de forma detallada el desarrollo del túnel de ultra congelado, haciendo uso de sistemas de control HMI. Se proporcionan descripciones de todas las etapas y consideraciones implicadas en el diseño innovador de esta solución tecnológica, orientada a optimizar el proceso de ultracongelado mediante la integración de componentes de automatización avanzada como se indica en la Figura 7. Además, se presta especial atención a la selección de materiales clave, como el panel tipo sándwich usados para los cuartos fríos, sistema de refrigeración y el tablero de control, los cuales han sido escogidos meticulosamente para garantizar un rendimiento óptimo y una eficiencia sobresaliente en el funcionamiento del túnel.

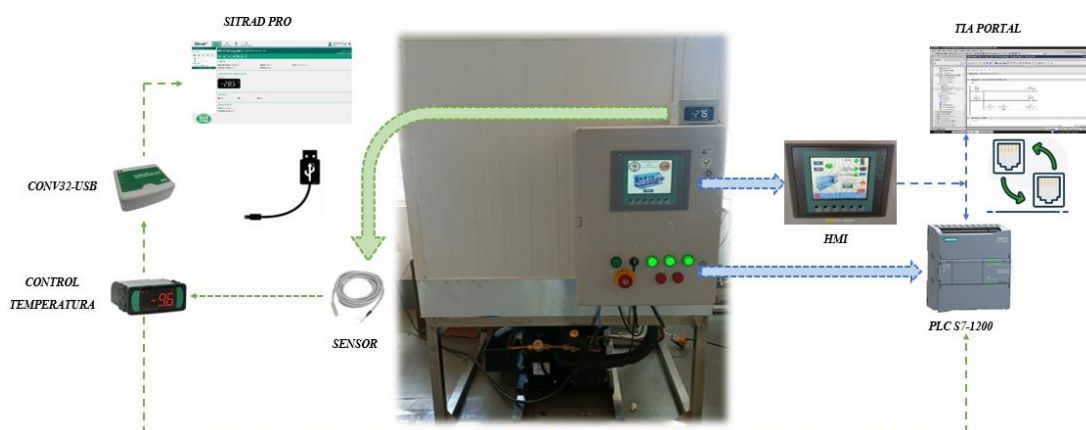


Figura 7. Esquema general del proceso de automatización y control del túnel de congelado.

El sistema de control y monitoreo descrito en la Figura 7 integra diversos componentes que permiten la automatización y supervisión precisa del proceso de control de temperatura en un entorno industrial. Este sistema integra dispositivos de medición, como sensores de temperatura, visor y los combina con dispositivos de control, tales como PLC, relés y válvula de control. Además, incorpora un HMI que facilita la interacción del usuario con el sistema, permitiéndole ajustar y monitorear los parámetros del proceso.

La integración de estos elementos respaldada por un software especializado, permite optimizar la eficiencia del proceso, garantizando un control preciso de la temperatura y otras variables críticas. Esto se traduce en una mayor calidad del producto final y un

entorno de operación más seguro, al minimizar los riesgos asociados con fluctuaciones térmicas no deseadas.

3.1 Diagrama de bloques

El corazón del sistema es un PLC, que se encarga de ejecutar la lógica de control y tomar decisiones basadas en las señales de entrada recibidas. El PLC recibe datos de un sensor de temperatura a través de un control de temperatura encargado de medir y enviar esta variable crítica del proceso. El acondicionamiento de datos se realiza para adaptar las señales del sensor a un formato compatible con el PLC. La alimentación eléctrica del sistema se realiza mediante fuentes de alimentación de corriente continua y corriente alterna, las cuales suministrarán energía a los componentes electrónicos y de control. La comunicación entre los dispositivos se lleva a cabo a través de un enlace de comunicación LAN como se muestra en la Figura 8.

El PLC controla y envía señales de salida a los relés, que actúan como interruptores para activar o desactivar los actuadores del proceso, como motores, válvulas o sistemas de refrigeración. La HMI permite la visualización e interacción del operador con el sistema, mostrando datos de trabajo en tiempo real y permitiendo ajustar parámetros de control. Los datos del proceso se almacenan en un sistema de almacenamiento de datos para su posterior análisis y generación de informes. La comunicación entre los componentes se realiza a través de un convertidor USB (CONV32-USB), que facilita la transferencia de datos entre dispositivos con diferentes protocolos de comunicación. Todo el sistema de visualización y monitorización está integrado en un entorno unificado para una gestión eficiente del proceso industrial.

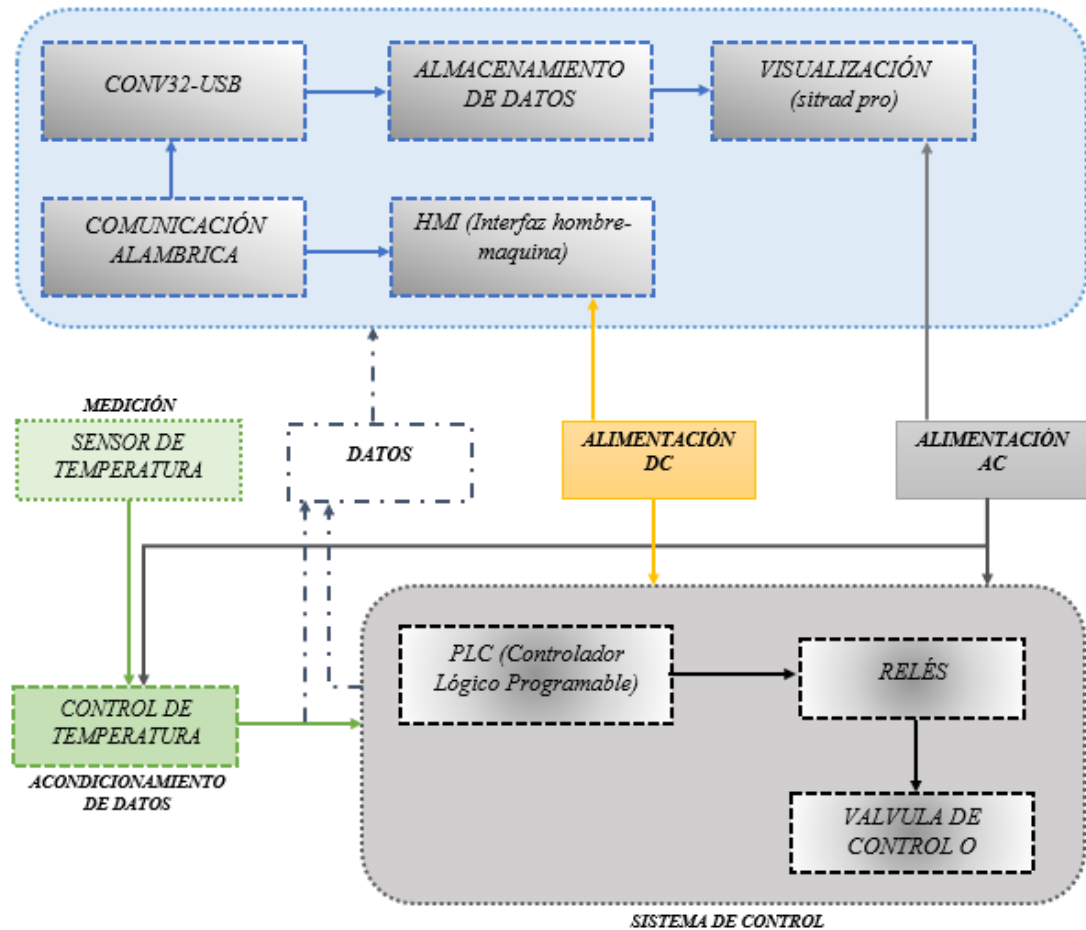


Figura 8. Diagrama de bloques del sistema de visualización y monitorización

3.2 Diseño del túnel de congelado

El diseño del túnel de congelado se centra en maximizar la eficiencia y la uniformidad del proceso de ultra congelación de alimentos. Este túnel esta compuesto por una cámara aislada térmicamente que minimiza la perdida de energía y un sistema de circulación de aire forzado que asegura una distribución homogénea de la temperatura en todo el espacio.

3.2.1 Selección del panel aislante

Uno de los componentes principales es el panel tipo sándwich, Figura 9, se trata de un panel termoacústico diseñado específicamente para aplicaciones de refrigeración. Cuenta con caras fabricadas en acero o aluminio y un núcleo aislante de poliuretano de diversos espesores, dependiendo de los requisitos del proyecto. Es la opción ideal

para su uso en cuartos fríos, de congelación, ultra congelación, así como en cuarto de procesos, almacenamiento y cualquier otro espacio que requiera control preciso de la temperatura[35].

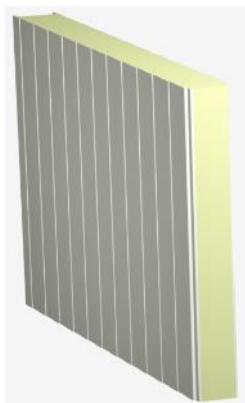


Figura 9. Panel tipo sándwich [35]

En la Tabla 4 se proporciona información detallada sobre las especificaciones técnicas de los paneles que se utilizaron en la construcción del túnel. Estos paneles desempeñan un papel crucial en el aislamiento térmico y el mantenimiento de las condiciones de temperatura ultra baja dentro del túnel como indica la Tabla 3.

Tabla 3. Tipos de temperatura

Tipo	Rango	Aplicaciones
Baja	- 10 °C a - 20 °C	Conservación de alimentos frescos, almacenamiento temporal
Ultra baja	-21 °C a -40 °C	Congelación de alimentos, almacenamiento a largo plazo

Tabla 4. Especificaciones del panel [35]

Longitud	Min: 2,50 m; Max: 6 m
Ancho	1 m
Espesor	Min: 4 cm; Max: 20 cm
Tipo de unión	Machimbrado macho/hembra
Cara interior	Lamina prepintada color blanco
Cara exterior	Lamina prepintada color blanco
Núcleo	Espuma aislante de Poliuretano de alta densidad

La Tabla 5 presenta las dimensiones, áreas, temperatura ambiente y el espesor del panel para varias partes de la estructura del túnel. Cada fila describe una sección específica, como el piso, el techo, las paredes frontal y posterior, así como los laterales izquierdo y derecho. Las dimensiones de cada una de las partes mencionadas se

detallan en metros, mientras que el área se calcula en metros cuadrados. La temperatura ambiente se indica en grados Celsius en donde está situado el túnel, y el espesor del panel se mide en centímetros.

Tabla 5. Dimensiones y condiciones para el túnel

	Dimensión		Área	Temperatura de ambiente (°C)	Espesor del Panel
	Largo	Ancho			
Piso	1,12 m	1 m	1,12 m ²	27	10 cm
Techo	1,12 m	1 m	1,12 m ²	27	10 cm
Pared frontal	1,12 m	0,82 m	0,92 m ²	27	10 cm
Pared posterior	1,12 m	0,82 m	0,92 m ²	27	10 cm
Lateral izquierdo	1 m	0,82 m	0,82 m ²	27	10 cm
Lateral derecho	1 m	0,82 m	0,82 m ²	27	10 cm

3.2.2 Selección de tuberías

Para seleccionar las tuberías de cobre adecuadas para el túnel de congelado, se realizó los cálculos técnicos detallados a continuación y en la Tabla 6:

La carga térmica total Q_t se obtiene sumando las contribuciones de diferentes fuentes de calor:

- Q_{paredes} : Transferencia de calor a través de las paredes del túnel
- Q_{techo} : Transferencia de calor a través del techo
- Q_{piso} : Transferencia de calor a través del piso
- $Q_{\text{infiltración}}$: Calor ganado debido a la infiltración de aire exterior
- $Q_{\text{productos}}$: Calor introducido por los productos a congelar
- Q_{equipos} : Calor generado por los equipos dentro del túnel

Tabla 6. Pasos para selección de tuberías

Paso	Descripción
Carga térmica del túnel	$Q_t = Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{piso}} + Q_{\text{infiltración}} + Q_{\text{productos}} + Q_{\text{equipos}}$ $Q_t = 2000 \text{ BTU/hr} + 2000 \text{ BTU/hr} + 2000 \text{ BTU/hr} + 500 \text{ BTU/hr} + 3000 \text{ BTU/hr} + 500 \text{ BTU/hr}$ $Q_t = 10000 \text{ BTU/hr}$
Selección de refrigerante	Los refrigerantes comunes son: el amoníaco (NH ₃), el freón (R-404 ^a , R-507 ^a) y el CO ₂ . Se considero que el R-404 ^a es el refrigerante esencial, ya que es conocido por su eficiencia energética y su capacidad para operar a muy bajas temperaturas.
Capacidad de refrigeración	La capacidad de refrigeración requerida para el túnel de congelado utilizando el gas refrigerante R-404A y a una temperatura de operación de -30°C es: $Q_r = Q_t / \text{COP}$ $Q_r = 10000 \text{ BTU/hr} / 3.8$ $Q_r = 2631.57 \text{ BTU/hr}$
Diseño y disposición	Se diseño el sistema de tuberías de manera que minimice la resistencia al flujo y optimice la distribución del refrigerante dentro del túnel de congelado.

En la Tabla 6 se ofrece una secuencia clara de pasos para seleccionar las tuberías adecuadas y diseñar el sistema de refrigeración para el túnel de congelado, asegurando un rendimiento optimo y eficiente del sistema.

Las tuberías representadas en las Figuras 10 y 11 son de cobre rígido, ampliamente empleadas en sistemas de refrigeración debido a su excelente conductividad térmica, resistencia a la corrosión y fácil instalación. El primero tiene un diámetro de 5/8 pulgadas (15,9 mm aproximadamente), mientras que el segundo tiene un diámetro de 3/8 pulgadas (9,5 mm aproximadamente), seleccionados después de realizar los cálculos detallados en la Tabla 5.



Figura 10. Tubería de cobre 5/8



Figura 11. Tubería de cobre 3/8

3.2.3 Selección de unidad condensadora

La Tabla 7 proporciona una guía detallada y sistemática para elegir la unidad condensadora más adecuada para el túnel de congelado, con el objetivo de garantizar un funcionamiento óptimo y altamente eficiente del sistema de refrigeración. Esta secuencia de pasos ofrece una dirección clara y precisa para tomar decisiones fundamentadas en la selección de equipos, asegurando que el rendimiento del sistema este en sintonía con las necesidades específicas del túnel.

Tabla 7. Pasos para la selección de unidad condensadora

Paso	Descripción
Carga térmica del túnel	$Q_t = 10000 \text{ BTU/hr}$
Selección de refrigerante	Los refrigerantes comunes son: el amoníaco (NH_3), el freón (R-404^a , R-507^a) y el CO_2 . Se considero que el R-404^a es el refrigerante esencial, ya que es conocido por su eficiencia energética y su capacidad para operar a muy bajas temperaturas.
Capacidad de refrigeración	$Q_r = 2631.57 \text{ BTU/hr}$
Selección de unidad condensadora	Al considerar los factores anteriores, se seleccionó una unidad condensadora que cumpla con los requisitos específicos del túnel de congelado que es de 1.5 HP, con esta potencia de trabajo se pudo asegurar un funcionamiento óptimo y eficiente del sistema de refrigeración.

En la Figura 12 se muestra la unidad condensadora elegida, la cual ha sido diseñada para aplicaciones comerciales o industriales de refrigeración, como cámaras frigoríficas o túneles de congelación. Su construcción robusta y compacta esta especialmente destinado a manejar cargas de refrigeración considerablemente altas de manera eficiente.



Figura 12. Unidad condensadora

3.2.4 Selección de evaporador

En la Tabla 8 se ofrece un completo y meticuloso conjunto de pasos para la selección del evaporador más idóneo para el túnel de congelado, con el propósito de asegurar un rendimiento óptimo y altamente eficiente del sistema de refrigeración.

Tabla 8. Pasos para seleccionar el evaporador

Paso	Descripción
Carga térmica del túnel	$Q_t = 10000 \text{ BTU/hr}$
Selección de refrigerante	Los refrigerantes comunes son: el amoníaco (NH_3), el freón (R-404^a , R-507^a) y el CO_2 . Se considero que el R-404^a es el refrigerante esencial, ya que es conocido por su eficiencia energética y su capacidad para operar a muy bajas temperaturas.
Capacidad de refrigeración	$Q_r = 2631.57 \text{ BTU/hr}$
Selección del evaporador	Teniendo en cuenta los elementos mencionados anteriormente, se optó por seleccionar un evaporador diseñado específicamente para aplicaciones de congelación y compatible con el refrigerante R-404^a . Este evaporador tiene una capacidad de refrigeración de 10000 BTU/hr y está diseñado para operar a temperaturas tan bajas como -30°C .

La Figura 13 presenta el evaporador de aire forzado seleccionado, que es un componente clave en sistemas de refrigeración y congelación. Este tipo de evaporador es comúnmente utilizado en cámaras frigoríficas que son espacios cerrados diseñados para almacenar productos perecederos a bajas temperaturas, túneles de congelación y otras aplicaciones comerciales o industriales de refrigeración, su diseño compacto facilita la instalación en espacios reducidos, mientras que los ventiladores axiales garantizan una distribución uniforme del aire frío en el interior del túnel.



Figura 13. Evaporador

3.2.5 Selección de gas refrigerante

En la Tabla 9 se detalla los diferentes refrigerantes para el proceso de ultra congelado, considerando diversos aspectos técnicos y ambientales. Se evaluaron propiedades termodinámicas, consideraciones de seguridad, impacto ambiental, compatibilidad con la maquinaria y cumplimiento normativo. Después de examinar opciones como el amoníaco R717, dióxido de carbono R744, R404A y R410A, se selecciona finalmente el refrigerante R404A por su alta eficiencia, seguridad y compatibilidad con el sistema de refrigeración.

Tabla 9. Pasos para seleccionar el gas refrigerante

Paso	Descripción
Identificación de requisitos	Se determino los requisitos específicos del proceso de ultra congelado, como la temperatura objetivo de -30°C , la capacidad de enfriamiento y el tipo de producto a congelar.
Opciones de refrigerante	Se investigo y enumero los refrigerantes disponibles que podían alcanzar las temperaturas de ultracongelado necesarias (-30°C), incluyendo opciones como el amoníaco R717, dióxido de carbono R744, propano R290, isobutano R600a y los hidrofluorocarbonos HFCs como el R404A, R410A
Propiedades termodinámicas	Amoníaco R717: conocido por su alta eficiencia energética y excelente capacidad de transferencia de calor. Dióxido de carbono R744: con una alta capacidad de enfriamiento y baja toxicidad. Propano R290 y el Isobutano R600a: ambos ofrecen buenas propiedades termodinámicas y un bajo impacto ambiental. R404A y R410A: presentan alta eficiencia de enfriamiento.
Consideraciones de seguridad	Amoníaco R717: es toxico y requiere estrictas medidas de seguridad. Dióxido de carbono R744: tiene baja toxicidad, pero opera a altas presiones que demandan equipos robustos. Propano R290 y el Isobutano R600a: son inflamables y requieren medidas de prevención contra incendios. R404A y R410A: presentan alta eficiencia de enfriamiento y deben manejarse con cuidado para evitar fugas.
Impacto ambiental	Amoníaco R717: tiene un impacto ambiental nulo ya que no contribuye al calentamiento global ni al agotamiento de la capa de ozono. Dióxido de carbono R744: tiene un impacto ambiental mínimo debido a su bajo potencial de calentamiento global. Propano R290 y el Isobutano R600a: tiene un bajo impacto ambiental, ya que tienen muy bajo GWP y no afectan a la capa de ozono. R404A y R410A: tienen un impacto ambiental considerable debido a su alto GWP y contribuyen significativamente al calentamiento global.
Compatibilidad con la maquina	El R404A, en particular, es altamente compatible con el túnel de congelado debido a su capacidad de mantener temperaturas muy bajas y su compatibilidad con los componentes y materiales del sistema de refrigeración.
Cumplimiento normativo	El gas refrigerante R404A cumple con muchas normativas internacionales tales como la normativa europea F-Gas (reglamento UE N° 517/2014) y el protocolo de Montreal.
Selección final	Basado en los análisis y pruebas anteriores, se seleccionó el refrigerante R404A que tiene más eficiencia, seguridad y compatibilidad con la máquina.

En la Figura 14 se muestra los cilindros que contiene el refrigerante R404A. este refrigerante es una mezcla de gases refrigerantes compuesta por trifluoroetano (R134A), pentafluoroetano(R125) y tetrafluoroetano (R134A). El R404A es ampliamente utilizado en sistemas de refrigeración comercial e industrial. En cámaras frigoríficas, su capacidad de mantener temperaturas constantes es crucial. En túneles de congelado, su alta capacidad de refrigeración permite la rápida congelación de productos. Además, en equipos de procesamiento de alimentos, asegura las temperaturas necesarias para garantizar la seguridad y calidad de los alimentos. Tiene propiedades termodinámicas favorables, como una alta capacidad de enfriamiento y una temperatura de evaporación baja.



Figura 14. Gas refrigerante R404A

3.2.6 Selección del sistema eléctrico

a. *Disyuntor*

La selección adecuada de los componentes eléctricos es crucial en el diseño de sistemas de refrigeración. En la Tabla 10, se calculó la corriente de arranque del motor, que es un valor importante para determinar la capacidad requerida de los dispositivos de protección eléctrica. La corriente de arranque se estimó multiplicando un factor de 6 por la potencia del motor en caballos de fuerza (2HP), lo que resultó en 12 A. Con base en este valor, se procedió a seleccionar un disyuntor con una corriente nominal igual o superior a la corriente de arranque del motor.

Tabla 10. Selección del disyuntor

Paso	Descripción
Corriente de arranque del motor	La corriente de arranque del motor es: $I_{\text{arranque}} = 6 * 2\text{HP}$ $I_{\text{arranque}} = 12\text{A}$
Selección del disyuntor	Se eligió un disyuntor con una corriente nominal igual o mayor a la corriente de arranque del motor.

Un disyuntor de caja moldeada como se muestra en la Figura 15, es un dispositivo de protección eléctrica comúnmente utilizado en sistemas de refrigeración y otros equipos industriales. Los disyuntores son componentes esenciales que protegen los circuitos eléctricos y los equipos conectados contra sobrecargas y cortocircuitos.



Figura 15. Disyuntor[36]

b. Relé 24 Vdc

La Tabla 11 establece que la corriente de operación del relé se fija en 10 A. Al multiplicar dicha corriente por la tensión de operación que es 24 V, se obtiene una capacidad de conmutación de 240 W. Por lo tanto, se elige un relé con al menos esta capacidad para garantizar un funcionamiento adecuado y seguro del sistema.

Tabla 11. Pasos para seleccionar un relé

Paso	Descripción
Corriente de operación	La corriente de operación del relé se establece en 10 A, según las especificaciones del ANEXO A.
Tensión de operación	La tensión de operación del relé es de 24 Vdc, según el voltaje de salida del PLC.
Potencia nominal	La potencia nominal del relé es: $P = 10\text{ A} * 24\text{ V}$ $P = 240\text{ W}$
Capacidad de conmutación	Se optó por un relé con una capacidad de conmutación de al menos 240 W.

La Figura 16 muestra un relé que en particular tiene una bobina de 24 Vdc, lo que significa que se energiza con una tensión de 24 V de corriente continua. Esta tensión de operación coincide con el voltaje de salida del PLC, lo que permite que controle directamente este relé.



Figura 16. Relé

c. Control eléctrico

Se han seleccionado diferentes dispositivos de control, incluyendo un pulsador, un selector y un paro de emergencia, según la información de la Tabla 12. La tensión de alimentación del sistema eléctrico donde se conectarán los dispositivos se establece en 220 V. Se ha evaluado minuciosamente el funcionamiento de cada dispositivo, considerando sus características individuales.

Tabla 12. Controladores eléctricos

Paso	Descripción
Tipo de dispositivo	Se seleccionó un pulsador, un selector y un paro de emergencia dependiendo de la función requerida.
Tensión de alimentación	La tensión de alimentación del sistema eléctrico en donde se conectará los dispositivos es de 220 V.
Funcionamiento	Se evaluó las características de funcionamiento del pulsador, selector y paro de emergencia.
Instalación	Se instaló los dispositivos de control en el tablero de control.

Según la Figura 17 se muestran diferentes dispositivos de control eléctrico. Estos incluyen pulsador, selector y paro de emergencia que se utilizaron para el control del sistema eléctrico del túnel de congelado.



Figura 17. Controladores eléctricos [37]

d. Indicadores

Para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro, se seleccionaron indicadores de color verde y rojo, que se alinean con las funciones específicas requeridas en la Tabla 13. Se evaluaron detalladamente las características de funcionamiento de las luces piloto, considerando factores como potencia, eficiencia y temperatura de color, asegurando así un desempeño óptimo en el entorno deseado. Finalmente, los dispositivos fueron instalados de manera adecuada en el tablero de control, asegurando una integración fluida con el sistema existente y una fácil accesibilidad para su uso y mantenimiento.

Tabla 13. Pasos para selección de indicadores

Paso	Descripción
Tipo de dispositivo	Se seleccionó los indicadores de color verde y rojo, dependiendo de la función requerida.
Tensión de alimentación	La tensión de alimentación del sistema eléctrico en donde se conectará los dispositivos es de 220 V.
Funcionamiento	Se evaluó las características de funcionamiento las luces piloto.
Instalación	Se instaló los dispositivos de control en el tablero de control.

En la Figura 18 se indica indicadores luminosos, que son luces piloto. Estos dispositivos se utilizaron en el tablero de control para indicar diferentes estados, como encendido/apagado, funcionamiento normal/error.



Figura 18. Luces piloto [38]

3.3 Fases del procedimiento del ultra congelado

La Tabla 14 se presenta las cinco fases principales del proceso de congelación de alimentos utilizando el túnel de congelado. Se describe de manera clara y precisa las etapas secuenciales del proceso industrial de congelación de alimentos, abarcando desde la carga inicial hasta el almacenamiento final del producto congelado.

Tabla 14. Fases del ultra congelado

Fases	Definición
Primera	Los productos se introducen manualmente al interior del túnel de congelación para el inicio del proceso[39].
Segunda	Después de ingresar los productos al túnel, se genera aire frío por medio de un sistema de refrigeración con refrigerante que enfría un serpentín evaporador ubicado dentro del túnel, mediante ventiladores[39].
Tercera	El aire frío circula por el túnel a una velocidad y temperatura específicas, controladas por ventiladores y el sistema de refrigeración respectivamente, para lograr la congelación rápida de los productos[39].
Cuarta	En el proceso, el agua que contiene los diferentes productos se transforma en hielo. El tiempo de congelación depende del tamaño, forma y características de cada producto[39].
Quinta	Después de que el producto este congelado, salen del túnel y se trasladan a un área fría de almacenamiento para su posterior distribución y venta[39].

3.4 Ultra congelación de alimentos

Este proceso de congelación rápida enfría bruscamente los productos para alcanzar la temperatura máxima de cristalización en el menor tiempo posible. Es un método eficaz de conservación que garantiza la inocuidad alimentaria y mantiene la calidad sensorial. Sin embargo, un control riguroso del proceso de ultra congelación industrial es crucial para asegurar la posterior conservación y seguridad de los productos[40].

3.5 Diagrama de flujo del proceso de construcción del túnel de congelado

En el diagrama de flujo presentado en la Figura 19 se exhibe las principales etapas, desde su concepción y diseño inicial, pasando por la fase de construcción y finalizando con su puesta en marcha y funcionamiento operativo.

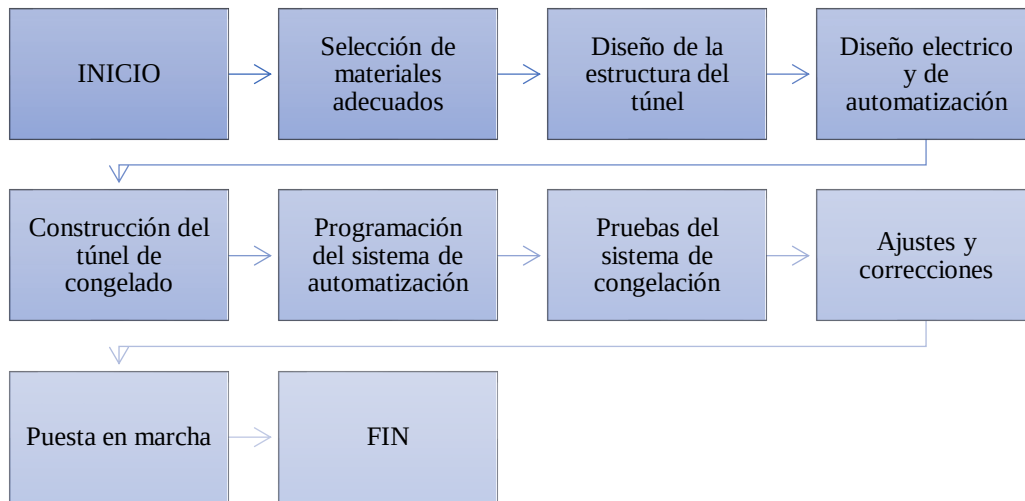


Figura 19. Resumen del proceso de construcción del túnel

3.6 Selección de equipos

3.6.1 Selección del Controlador Lógico Programable

En la Tabla 15 se compara las características de diferentes PLC's que se tiene a disposición en los Talleres Tecnológicos FISE-UTA. Se evaluarán aspectos como el número de entradas/salidas, precio, robustez, ámbito de trabajo y comunicación, con una ponderación del 1 al 10. Los modelos S7-1200 1214, V7 ac/dc/rly y Raspberry Pi 4B obtienen los puntajes más altos respectivamente.

Tabla 15. Selección de PLC

Características	LOGO	PLC	Raspberry Pi
Modelo	V7	S7-1200	4B
Entradas	7	9	4
Salidas	5	10	4
Robustez	8	9	5
Precio	7	8	7
Trabajo	7	9	5
Comunicación	8	8	7
Promedio	7	8.33	4.57

El PLC seleccionado para el proyecto es el S7-1200 1214 ac/dc/rly, ya que cuenta con un número de entradas y salidas mayor en comparación con los otros dispositivos. Este controlador es apto para cualquier entorno laboral y es ampliamente utilizado en aplicaciones industriales[20].

3.6.2 Selección de la pantalla HMI

El monitoreo y regulación de las distintas variables del proceso se lo realiza a través de un sistema SCADA que comprende una HMI conectada al PLC S7-1200 1214 ac/dc/rly. Basándose en la información detallada en la Tabla 16 y por la disponibilidad del dispositivo, la pantalla HMI elegida para el control del proyecto actual es la Pantalla KTP-600.

Tabla 16. Pantallas HMI

Dispositivo	Detalles
Pantalla KTP-400	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de control: Pantalla táctil/4 teclas de función • Memoria: 10MB Interfaz: 1 x RJ45 Ethernet • Versión: PROFINET • Resolución: 480 x 272 px
Pantalla KTP-600	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de control: Pantalla táctil/6 teclas de función • Interfaz: RJ45 Ethernet • Versión: PROFINET • Resolución: 320 x 240 px
Pantalla KTP-700	<ul style="list-style-type: none"> • Elementos de control: Pantalla táctil/8 teclas de función • Interfaz: RJ45 Ethernet • Versión: PROFINET • Resolución: 800 x 480 px

3.7 Prototipo del Túnel de Congelado

La máquina consta de dos partes. La primera es la maqueta, compuesta por la estructura y los siguientes actuadores: unidad condensadora, válvula solenoide, visor de refrigerante, evaporador y ventiladores; la segunda es el tablero de control que incluye pulsador, selector, paro de emergencia, luces piloto, pantalla HMI, control de temperatura digital, disyuntor, relés y el PLC.

La Figura 20 muestra el tablero de control del túnel de congelado. En el que se observa una pantalla táctil HMI que permite visualizar y operar el proceso. Debajo de la pantalla, se encuentran varios elementos de control e indicadores como: pulsador de encendido/apagado, luces piloto de color verde y rojo que indican el estado del proceso, un paro de emergencia y un selector de dos posiciones.



Figura 20. Tablero de control

En Ecuador, para los tableros eléctricos se utiliza la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), la cual está basada en las normas internacionales IEC (Comisión electrotécnica internacional) y en el Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos (NEC, por sus siglas en inglés). Esta norma establece los requisitos para la

construcción, instalación y mantenimiento de sistemas eléctricos en edificaciones, incluyendo los tableros eléctricos.

En cuanto a los colores para los tableros eléctricos y las pantallas HMI, la NEC y la norma IEC 60073 establecen los siguientes criterios:

Tableros eléctricos:

- **Negro:** *Para circuitos de potencia y alimentación principal.*
- **Rojo:** *Para circuitos de control y señalización de emergencia.*
- **Azul:** *Para circuitos de control y señalización de funcionamiento normal.*
- **Verde:** *Para conductores de tierra y puesta a tierra.*

Pantallas HMI:

La norma IEC 60073 establece recomendaciones para el uso de colores en las interfaces de usuario, como las pantallas HMI. Algunos de los colores comunes son:

- **Verde:** *Para iniciar condiciones normales o aceptables.*
- **Rojo:** *Para iniciar condiciones de alarma o peligro.*
- **Amarillo:** *Para indicar advertencias o precauciones.*
- **Azul:** *Para indicar información o guías.*

En la Figura 21, se puede observar el interior del tablero de control del túnel de congelado, con los diferentes componentes eléctricos y de control instalados, como el PLC, contactores, relés, interruptores automáticos y borneras de conexión. Estos elementos son los encargados de controlar y suministrar energía a los diferentes actuadores y dispositivos del sistema de congelación, según la programación cargada en el PLC, siguiendo las normas y códigos de colores establecidos por la NEC y las normas internacionales aplicables.



Figura 21. Interior del tablero de control

En la Figura 22 muestra un sistema de refrigeración que está compuesto por los siguientes elementos principales:

- Válvula solenoide, utilizada para controlar el flujo del refrigerante
- Unidad condensadora, que contiene el compresor encargado de comprimir el refrigerante
- Tablero de control, con pantalla HMI, controladores e indicadores luminosos para operar y monitorear el sistema.
- En el interior del túnel se encuentran el evaporador y ventiladores, como se observa en la Figura 23.



Figura 22. Sistema de refrigeración



Figura 23. Interior del túnel de congelado

3.8 Diseño de la estructura

La Figura 24 se muestra las dimensiones de la estructura rectangular del túnel de congelado. Esta es una estructura básica del túnel de congelación. Las dimensiones compactas y las aberturas en la parte derecha e izquierda permiten cargar o descargar muestras o productos. El armazón de acero inoxidable brinda soporte estructural, mientras que los paneles aislantes térmicos proporcionan hermeticidad para el sistema de refrigeración.

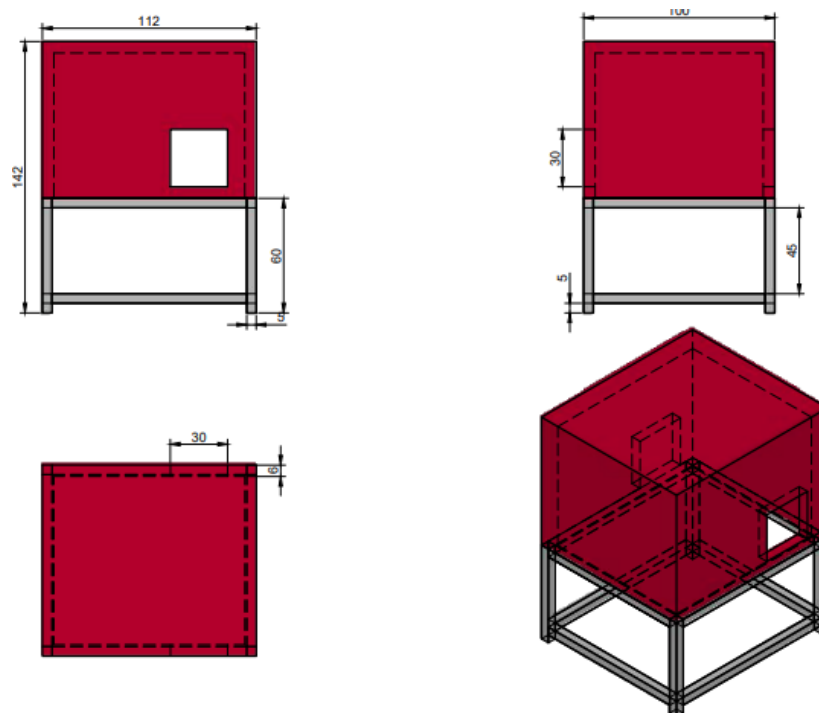


Figura 24. Planos del túnel de congelado

3.9 Diagrama eléctrico

El sistema de control eléctrico que se muestra en las Figuras 25 y 26, incorpora componentes industriales estándar, incluyendo interruptor automático conforme a la norma IEC 60898, un contactor diseñado para soportar corrientes elevadas según la norma IEC 60947-4 y un PLC que cumple con normas de seguridad y compatibilidad electromagnética IEC 61131-2. Además, se emplearon relés que cumplen con la IEC 61810 garantizando así su funcionamiento fiable y seguro.

3.9.1 Diagrama de control eléctrico de entradas

En la Figura 25 se muestra como los varios controladores que supervisan el túnel de congelado están conectados y reciben alimentación de 24 V dc. Este sistema se ha diseñado siguiendo la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC), basada en las normas internacionales IEC y el Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos (NEC).

Para la conexión de los diferentes elementos, se ha utilizado cable de control flexible, tipo THHW/THHN, calibre 18 AWG. Este tipo de cable se eligió debido a su

resistencia a temperaturas bajas, flexibilidad y aislamiento termoplástico adecuado para entornos industriales. Además, cumple con los requisitos de la NEC para circuitos de control y señalización.

En cuanto a los elementos identificados en la Figura 25, se han seleccionado dispositivos de control e indicación robustos y apropiados para entornos industriales, cumpliendo con las normas de seguridad y protección establecidas por la NEC y las normas IEC aplicables.

- a. ***“P.E.”:*** *Este es un botón de paro de emergencia que, al ser accionado, detiene de inmediato el funcionamiento del sistema por motivos de seguridad. Estos botones suelen ser de color rojo y están diseñados para ser fácilmente accesibles y reconocibles.*
- b. ***“ON/OFF”:*** *Este es un selector de encendido/apagado, utilizado para iniciar o detener el funcionamiento del sistema de forma controlada. Suelen ser selectores giratorios o interruptores de palanca, y están diseñados para evitar accionamientos accidentales.*
- c. ***Pulsador NO:*** *Este pulsador es un dispositivo de control momentáneo que, al ser presionado, activa el sistema de descongelamiento del túnel, el cual permite eliminar la acumulación de hielo en las superficies refrigeradas. Este pulsador se selecciona normalmente abierto para evitar activaciones accidentales del sistema de descarche.*

Todos estos elementos están conectados al sistema de control principal y reciben alimentación de 24 Vdc, lo cual es una tensión de control estándar en entornos industriales, ya que reduce el riesgo de choques eléctricos y facilita la integración con dispositivos electrónicos.

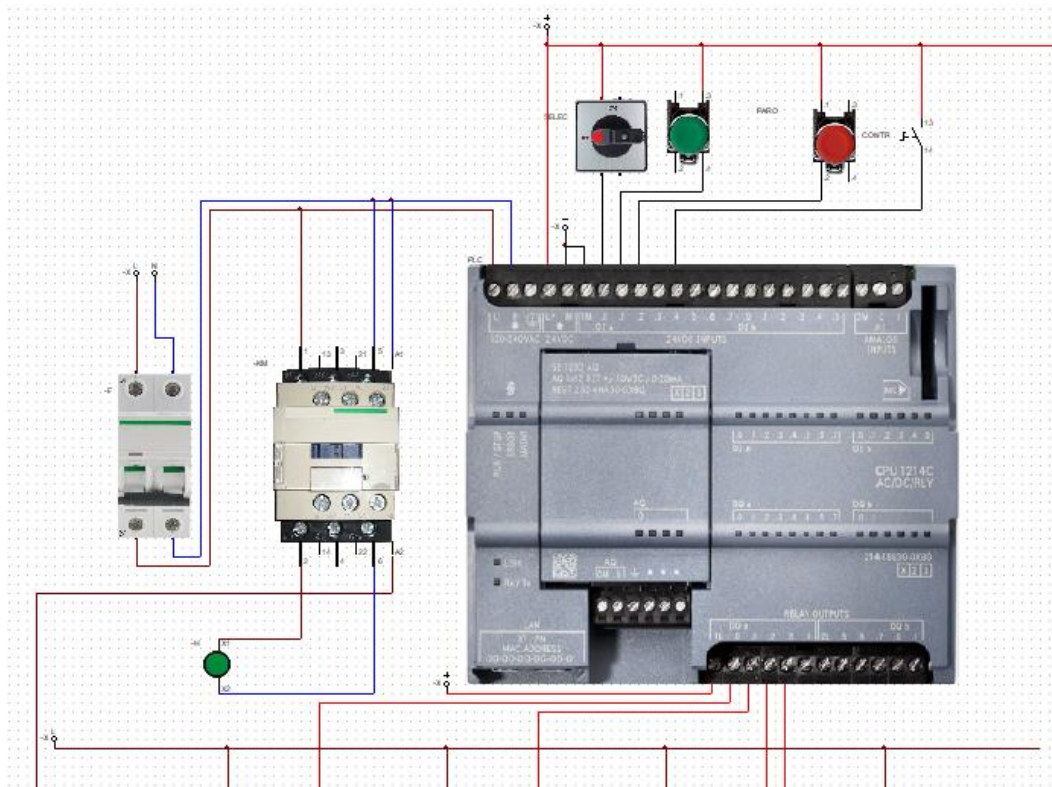


Figura 25. Circuito de entradas

3.9.2 Diagrama de control eléctrico de salidas

Las redes se conectan a las salidas del PLC para activar cada dispositivo de acción, actuando como una medida de seguridad en caso de que ocurra un fallo en el sistema. Todos los relés se alimentan de una fuente externa de 24 V dc, y los actuadores se alimentan con 220 V ac.

El diagrama ilustrado en la Figura 26 representa la configuración eléctrica de las salidas del controlador lógico programable. En este esquema, las salidas accionan relés que actúan como interruptores eléctricos. Estas señales de salida del PLC permiten energizar o des energizar los circuitos de los relés, los cuales están alimentados mediante una fuente de 24 V dc. De esta manera, los relés controlan el suministro de energía a la unidad condensadora, ventiladores, niquelinas y el control de temperatura, según las instrucciones programadas en el PLC.

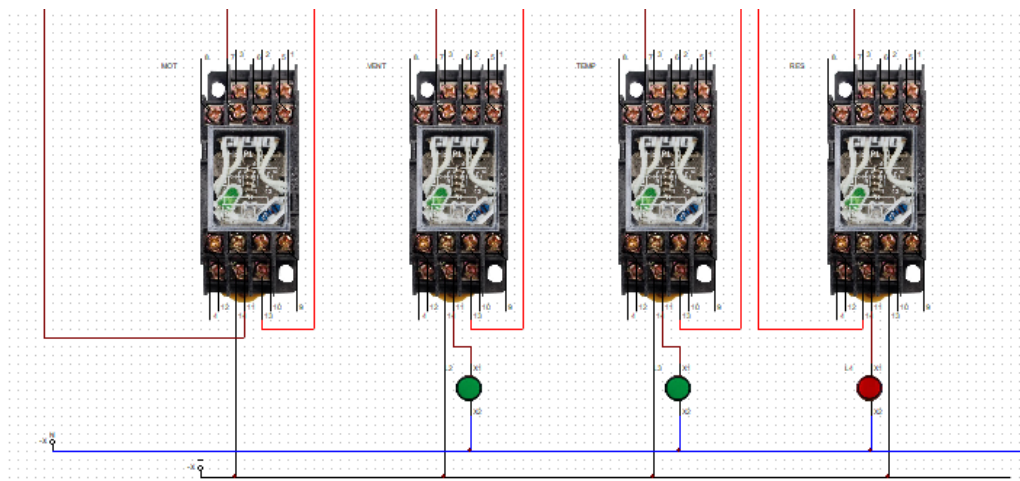


Figura 26. Circuito de Salidas

3.10 Programación del sistema

El PLC S7-1200 de Siemens es ampliamente utilizado en las industrias. Para comenzar con la programación, es necesario conocer los parámetros de operación del túnel. En este caso, puede funcionar en modo automático y en modo manual. Al seleccionar una de estas opciones, el túnel empezará a funcionar.

3.10.1 TIA Portal

El proceso de programación se llevó a cabo mediante el uso del software TIA Portal V17, reconocido por su interfaz intuitiva y funcionalidades avanzadas. Esta plataforma ofrece la flexibilidad necesaria para desarrollar múltiples proyectos que involucran tanto PLC's como HMI's, proporcionando a los usuarios una herramienta completa y eficiente para la configuración y control de sistemas automatizados.

a. Variables usadas en la programación

La Tabla 17 se muestra un listado de variables de entrada del sistema de control automatizado del túnel de congelación. Las entradas son booleanas que están conectadas a un selector, un pulsador, un interruptor de paro de emergencia y una señal del control de temperatura.

Tabla 17. Declaración de variables de entrada

Variables de entrada		
Nombre	Tipo de dato	Dirección
Selector	Bool	%I0.0
Pulsador	Bool	%I0.1
Emergencia	Bool	%I0.2
Indicador Control	Bool	%I0.4

En la Tabla 18 se enlista las variables de salida del sistema de control, las cuales se expresan en forma booleana y que están conectadas a unos relés. Estos relés son responsables de suministrar energía a los actuadores del túnel de congelado.

Tabla 18. Declaración de variables de salida

Variables de salida		
Nombre	Tipo de dato	Dirección
Motor	Bool	%Q0.0
Resistencias	Bool	%Q0.1
Visualizador	Bool	%Q0.2
Ventiladores	Bool	%Q0.3

Las variables detalladas en la Tabla 19 son de tipo marca, las cuales se expresan en formatos booleanos, temporales (time) y enteros de doble longitud (Dint). Algunas de estas variables emiten señales a través de la pantalla HMI, permitiendo así el control del sistema del túnel de congelado.

Tabla 19. Declaración de variables de marcas

Variables de marcas		
Nombre	Tipo de dato	Dirección
On HMI	Bool	%M0.0
Descarche HMI	Bool	%M0.1
Sistema	Bool	%M1.0
MEM 1	Bool	%M2.0
Tag_1	Bool	%M3.0
Marca 1	Bool	%M4.0
Marca 2	Bool	%M4.1
Man_Vent	Bool	%M5.0
Man_Vis	Bool	%M5.1
Man_Motor	Bool	%M5.2
Marca_Tiempo	Time	%MD6
MIN	Dint	%MD20
HORAS	Dint	%MD24

b. Programación del sistema de refrigeración

Para todo sistema eléctrico y automatizado, si no se presenta una emergencia y tanto la HMI como el sistema principal están en condiciones óptimas, se procede con el arranque normal. No obstante, en caso de detectarse una situación de emergencia, el sistema activa el modo de parada segura, deteniendo todas las operaciones hasta que la emergencia sea resuelta como se muestra en la Network 1 de la Figura 27.

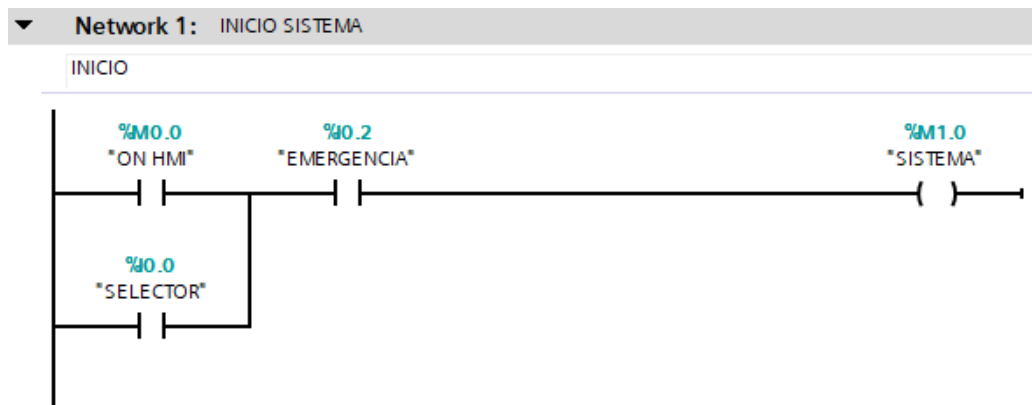


Figura 27. Línea del inicio del sistema

En la Figura 28 se indica la Network 2 donde controla un visualizador y ventiladores del sistema, teniendo en cuenta el modo manual, condiciones de emergencia y el estado del sistema principal. La lógica determina como operan los ventiladores y el visualizador de manera segura y controlada según las diferentes entradas.

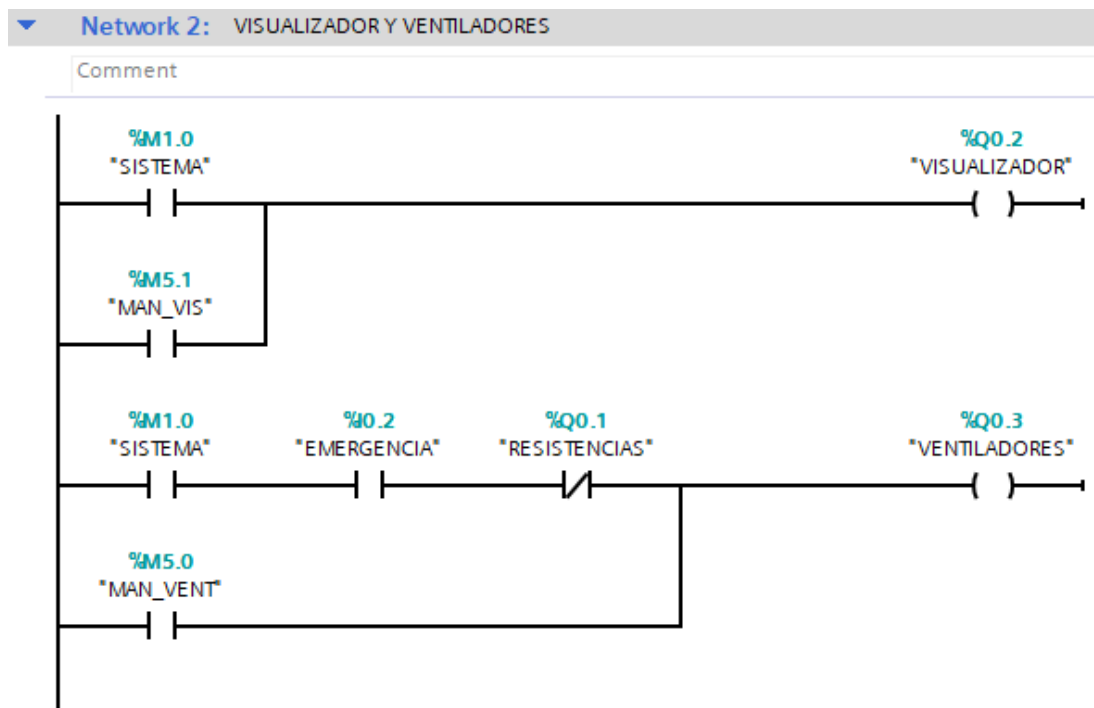


Figura 28. Línea del control del visualizador y ventiladores

La Network 3, como se indica en la Figura 29, controla el motor a través de la señal de entrada del PLC que envía el control de temperatura en el modo automático y controlarlo directamente en el modo manual.

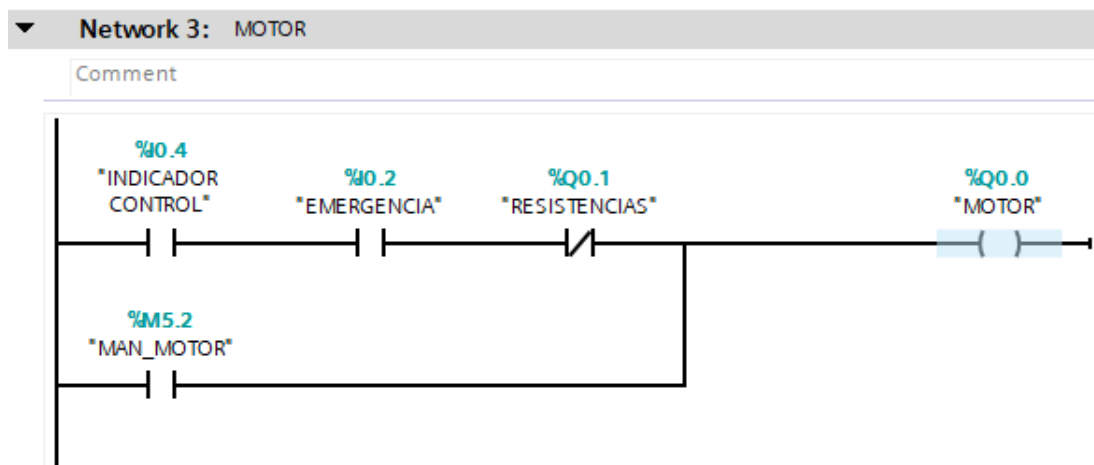


Figura 29. Línea de control del motor

La gestión del proceso de descongelación, tanto en modo manual y automático, como se indica en la Network 4 de la Figura 30, se activa mediante la señal del control de temperatura una vez que cumpla con el tiempo de funcionamiento. Además, se puede activar de manera manual en un momento específico.

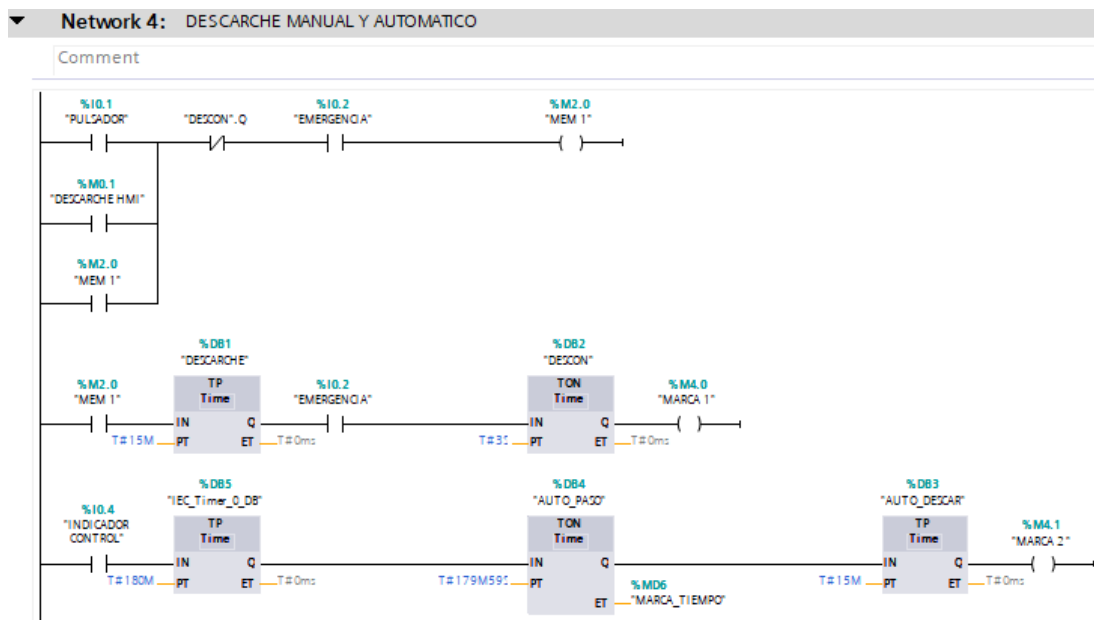


Figura 30. Línea de control del descarche

c. Programación de la pantalla HMI

El sistema de monitoreo está formado por la pantalla HMI de la marca SIEMENS, modelo KTP 600 Basic, elegida tras un análisis previo. Para su programación, se emplea el software TIA Portal V17, que simplifica la tarea gracias a su interfaz amigable. Se configura la HMI de acuerdo con el PLC S7-1200 1214 ac/dc/rly. La comunicación entre el PLC y la HMI se realizó a través de una conexión serial RJ-45 utilizando el protocolo PROFINET, como se muestra en la Figura 31. El propósito del sistema de monitoreo HMI es programar la supervisión de estados del proceso, así como un control virtual, alarmas de estado y un sistema de acceso controlado por usuario.

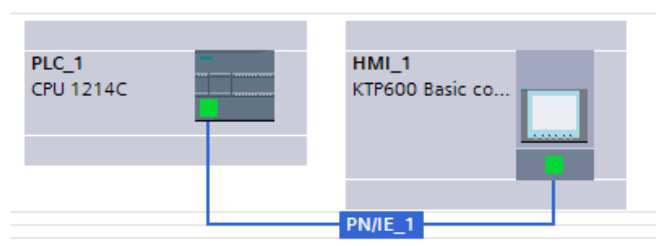


Figura 31. Comunicación entre PLC y HMI

- **Consideraciones en la elaboración de las pantallas**

La paleta de colores que se muestra en la Tabla 19 sigue los lineamientos de la norma IEC 60073 para interfaces eficaces y ergonómicas, evitando colores brillantes o con poco contraste que puedan causar fatiga visual durante el uso prolongado. Los colores de estado también cumplen con las convenciones ampliamente aceptadas en la industria.

Tabla 20. Selección de colores según la norma IEC 60073

Detalle	Aspecto	Color
Elementos de la pantalla		
Botón ON	Gris	
Botón OFF	Gris	
Botón Regreso, Sistema, Automático y Manual	Plomo	
Estatus del proceso de funcionamiento	Verde	
Fondo de Pantalla		
Fondo de pantalla principal	Gris	
Fondo de pantallas secundarias		
Texto en general		
Texto	Negro	

d. Pantalla principal

Utilizando las funciones proporcionadas por la interfaz del TIA Portal, se llevó a cabo la programación del proceso del túnel de congelado y se creó la interfaz principal. Esta pantalla no solo facilita la selección del modo manual o automático del túnel, sino que también permite redirigir hacia una pantalla secundaria dedicada a esta elección.

La disposición de la pantalla principal, visible en la Figura 32, presenta el nombre tanto de la universidad como de la carrera, el título del proyecto, los logotipos representativos de la institución y la facultad, una imagen de referencia y comandos operativos.



Figura 32. Pantalla principal

En la Figura 33, se muestra el diseño de la segunda pantalla, que incluye 4 elementos distintivos. Entre ellos se encuentran 3 botones de ingreso a otra sub-pantallas adicionales: uno para el modo automático, otro para el modo manual y el tercero para regresar a la pantalla principal. Además, se presenta una imagen de referencia del túnel como el ultimo componente de esta pantalla.

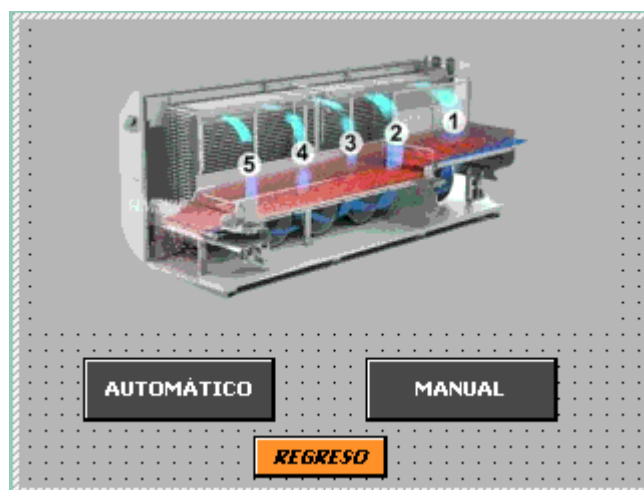


Figura 33. Pantalla secundaria

La Figura 34, se presenta la interfaz del modo automático, destacando una variedad de elementos. Se identifican tres botones: dos destinados al encendido del sistema y uno para retornar a la pantalla principal. Además, se observan cinco indicadores de funcionamiento, un indicador numérico y cinco imágenes que representan los actuadores. Por ultimo en la la pantalla, se muestra una imagen de referencia del túnel.

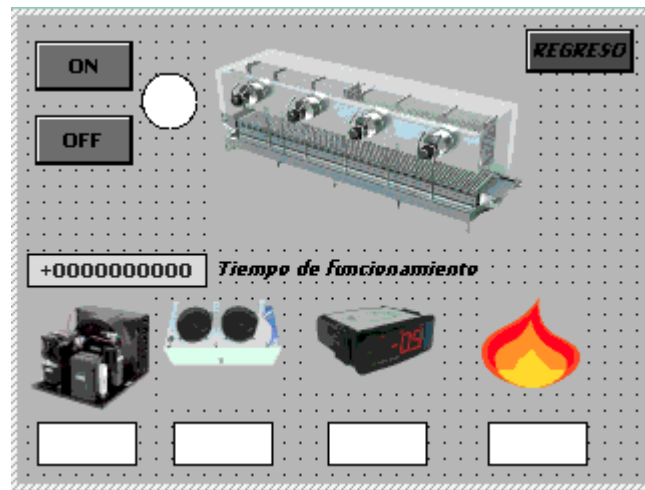


Figura 34. Pantalla en modo automático

Lo que se muestra en la Figura 35 exhibe la interfaz del modo manual, la cual se identifican cinco botones: cuatro para activar los distintos actuadores y uno para volver a la pantalla principal. Además, se visualizan cuatro indicadores de funcionamiento y cuatro imágenes que ilustran los actuadores. Para completar la pantalla, se incluye una imagen de referencia del túnel.

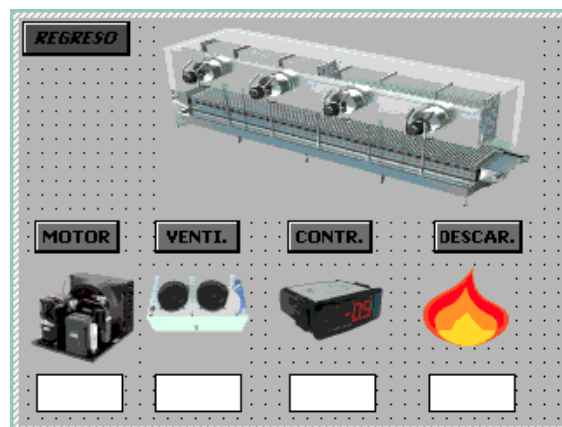


Figura 35. Pantalla en modo manual

3.10.2 Plataforma SITRAD PRO

El SITRAD PRO como se demuestra en la Figura 36, es una solución de software innovadora desarrollada por Full Gauge Controls. Esta herramienta avanzada de monitoreo diseñado para la gestión remota de sistemas de refrigeración, calefacción, aire acondicionado y calefacción solar. Con su interfaz intuitiva y funcionalidades robustas, SITRAD PRO permite a los usuarios supervisar y ajustar de manera eficiente el rendimiento de estos sistemas críticos desde cualquier ubicación, maximizando la eficiencia energética, reduciendo costos operativos y garantizando un entorno interior confortable y saludable. En el caso específico del control y monitoreo del sistema de refrigeración del túnel, este software fue empleado con éxito. [41].

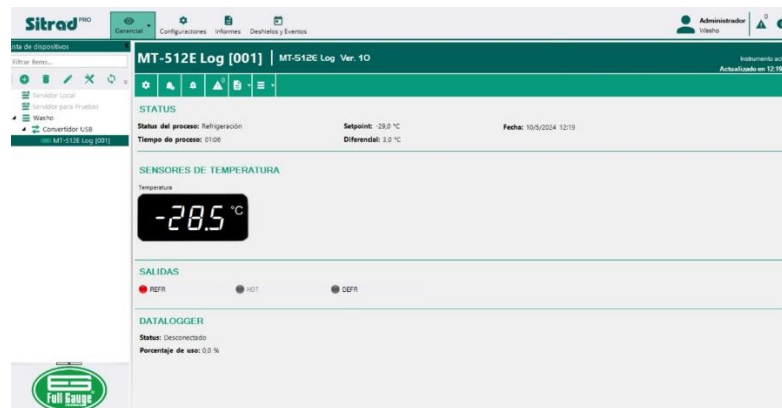


Figura 36. Software SITRAD PRO Full Gauge

3.10.3 Análisis del arranque del proceso

La Figura 37 se presenta el periodo de trabajo del sistema de refrigeración del túnel de congelado. Inicialmente, la temperatura al inicio del proceso fue de 16.5°C. Durante los primeros 30 minutos, la temperatura disminuyó gradualmente hasta alcanzar el valor deseado conocido como SETPONIT, el cual es de -29°C, con un diferencial de temperatura de 3°C. Una vez completado este ciclo de trabajo, que tiene una duración de tres horas, el sistema de refrigeración se apaga temporalmente y se activa el proceso de descongelamiento, el cual se mantiene durante aproximadamente 15 minutos. Posteriormente, el sistema de refrigeración vuelve a encenderse para reiniciar el ciclo.

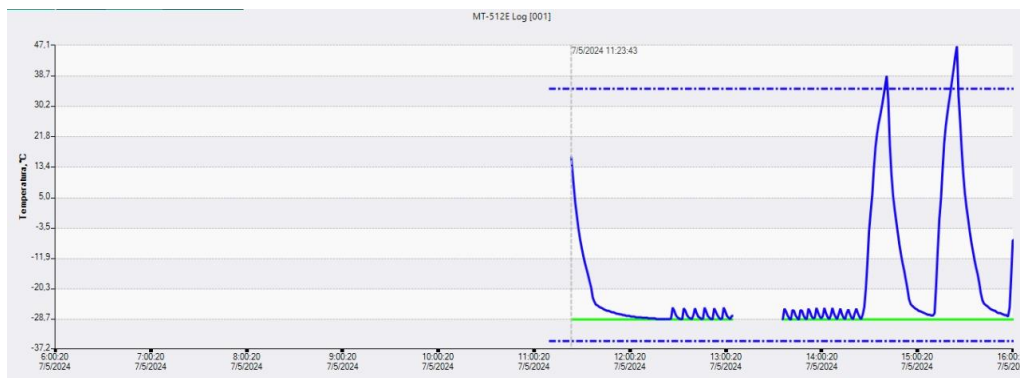


Figura 37. Grafica del funcionamiento del sistema de refrigeración

3.11 Evaluación de las ventajas del túnel de congelado

A través de la investigación llevada a cabo en este proyecto, se procede a examinar las ventajas derivadas de la incorporación del sistema automatizado en el túnel de congelación, diseñado para el proceso de ultra congelación de alimentos. Este sistema contribuye a mejorar las condiciones laborales del operador, eliminando tareas que implican fluctuaciones abruptas de temperatura corporal. Además, facilita una lectura precisa de la temperatura, entre otros beneficios que se detallan en la Tabla 20:

Tabla 21. Procesos artesanal y automatizado del túnel de congelado

Proceso	Actividad	Sistema artesanal	Sistema Automatizado
Carga de productos	Colocar los productos en las bandejas o estantes del túnel.	Cargar manualmente los productos uno por uno.	Utilizar sistemas automatizados de carga, como cintas transportadoras o robots manipuladores.
Enfriamiento previo	Reducir la temperatura de los productos antes de la congelación.	Pasar los productos por un cuarto frío o nevera.	Utilizar un sistema de enfriamiento previo automatizado con control de temperatura.
Congelación	Bajar la temperatura de los productos hasta alcanzar el punto de congelación	Colocar los productos en un túnel de congelación y ajustar manualmente la temperatura y el tiempo de congelación.	Usar un sistema de control automatizado que regule la temperatura, el flujo de aire y el tiempo de congelación
Endurecimiento	Mantener los productos congelados a una temperatura baja durante un tiempo determinado	Dejar los productos en el túnel de congelación por un periodo de tiempo establecido y controlar manualmente la temperatura.	Utilizar un sistema de control automático que mantenga la temperatura y el tiempo de endurecimiento adecuados.

La Tabla 20 se detallan los principales procesos involucrados en el túnel de congelado, junto con las actividades específicas correspondientes a cada uno, así como el enfoque

manual tradicional para llevar a cabo esas tareas y la comparativa con el enfoque automatizado mediante el sistema de control.

3.12 Análisis de la eficiencia del túnel de congelado

La implementación del sistema de automatización en el túnel de congelado permite una comparación con los resultados obtenidos en este estudio de investigación. Al simplificar el proceso de congelación, se reduce la necesidad de supervisión directa, permitiendo que un operador supervise la máquina. Como resultado, se lograron realizar hasta dos pruebas diarias por cinco días consecutivos con diversos productos. Los datos finales se presentan en detalle en la Tabla 21.

Tabla 22. Datos obtenidos en pruebas

Producto	Número de operadores	Pruebas al día	Tiempo
Agua dura	1	2	15 min
Agua purificada	1	2	11 min
Jugo (embotellado)	1	2	14 min
Gaseosa (Coca-Cola)	1	2	17 min

Según el análisis de la Tabla 22, el agua dura contiene minerales disueltos, como principalmente sales de calcio y magnesio, que pueden afectar sus propiedades físicas y químicas. La presencia de estos minerales puede causar un descenso en el punto de congelación del agua, lo que explica el retraso observado en el proceso de congelación.

Tabla 23. Análisis de congelación del agua dura

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Agua dura	2	15 min	El producto fue sometido a dos pruebas diarias, con un tiempo de congelación de 15 min. Cabe destacar que, debido a la presencia de ciertos químicos en el producto, este experimento un retraso en el proceso de congelación.

Basado en el análisis de la Tabla 23, el periodo de congelación de 11 minutos es un dato clave, ya que evidencia que el impacto de purificación previa influye en la reducción del tiempo de congelación. Este hallazgo destaca la importancia de un paso previo para facilitar y acelerar el proceso de congelación del agua.

Tabla 24. Análisis de congelación del agua purificada

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Agua purificada	2	11 min	El producto fue sometido a dos pruebas diarias, con un tiempo de congelación de 11 min. Es importante mencionar que, dado que el producto fue purificado previamente, experimentó un proceso de congelación significativamente más rápido.

La Tabla 24 resalta que el tiempo completo de congelación de 14 minutos es un aspecto destacado, evidenciando que la composición del producto, con su combinación de ingredientes artificiales y naturales, afectó el proceso de congelación rápida.

Tabla 25. Análisis de congelación del jugo

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Jugo (embotellado)	2	14 min	El producto fue sometido a dos pruebas al día, con un tiempo de congelación de 14 min. Es esencial destacar que, debido a la composición del producto, que incluye una variedad de ingredientes tanto artificiales como naturales, se observa una alteración en el proceso de congelación rápida.

Según los datos proporcionados en la Tabla 25, el tiempo de congelación es de 17 minutos resulta significativo, subrayando el papel crucial que desempeña la composición del producto en el proceso de congelación tal como se evidencia también en el caso del jugo embotellado.

Tabla 26. Análisis de congelación de la gaseosa

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Gaseosa (Coca-Cola)	2	17 min	El producto fue sometido a dos pruebas al día, con un tiempo de congelación de 17 min. Es esencial destacar que, debido a la composición del producto, que incluye una variedad de ingredientes tanto artificiales como naturales, se observa una alteración en el proceso de congelación rápida.

3.13 Análisis Comparativos

3.13.1 Análisis de resultados entre Agua purificada y Jugo.

La Tabla 26 se presenta los resultados obtenidos de las pruebas comparativas realizadas entre el agua purificada y el jugo embotellado. Los datos demuestran que el tiempo de congelación fue menor para el agua purificada en comparación con el jugo.

Esta diferencia se atribuye a la cinética del proceso de congelación y la composición de las muestras. En el caso del agua purificada, la ausencia de solutos disueltos facilitó la formación y crecimiento rápido de los cristales de hielo. Por otro lado, en el jugo, la presencia de solutos y compuestos adicionales retardó la nucleación y el crecimiento de cristales, lo que resultó en un tiempo de congelación más prolongado.

Tabla 27. Agua purificada VS Jugo

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Agua purificada	2	11 min	La diferencia en el tiempo de congelación entre el agua purificada (11 min) y el jugo embotellado (14 min) pudo atribuirse a la cinética del proceso de congelación. En el caso del agua purificada, la ausencia de solutos disueltos facilitó la formación y crecimiento rápido de los cristales de hielo, mientras que, en el jugo, la presencia de solutos y compuestos adicionales retardó la nucleación y el crecimiento de cristales, lo que resultó en un tiempo de congelación más prolongado
Jugo (embotellado)	2	14 min	



Figura 38. Jugo vs Agua purificada

3.13.2 Análisis de resultados entre Agua purificada y Agua dura.

La Tabla 27 muestra los resultados de las pruebas de congelación realizadas con el agua purificada y agua dura. Se observa que el tiempo de congelación para el agua purificada fue de 11 minutos, mientras que para el agua dura fue de 15 minutos. Esta diferencia en los tiempos de congelación se atribuye a la naturaleza y concentración de los compuestos químicos presentes en cada muestra, así como al grado de purificación alcanzado.

Tabla 28. Agua purificada VS Agua dura

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Agua purificada	2	11 min	Fue crucial considerar que la naturaleza y concentración específica de los compuestos químicos presentes, así como el grado de purificación alcanzado, influyeron en la magnitud de los efectos observados durante el proceso de congelación. Además, otros factores como la temperatura de congelación, la velocidad de enfriamiento y las características físicas inherentes del producto tuvieron un impacto en la forma en que se desarrolló el proceso.
Agua dura	2	15 min	



Figura 39. Agua purificada vs Agua dura

3.13.3 Análisis de resultados ente Agua purificada y Gaseosa

En la Tabla 28 se presenta los resultados del experimento de congelación comparando agua purificada y una gaseosa (Coca-Cola). Los tiempos de congelación difieren notablemente, siendo de 11 minutos para el agua y 17 minutos para la gaseosa. Esta diferencia en los tiempos de congelación se atribuye principalmente a la composición química de cada producto.

Tabla 29. Agua purificada VS Gaseosa

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Agua purificada	2	11 min	Fue fundamental tener presente que la magnitud de los efectos observados durante el proceso de congelación dependió de la concentración y naturaleza específica de los compuestos presentes en el producto, así como del grado de purificación alcanzado. Además, se indicó que un producto con una composición que incluyó una variedad de ingredientes artificiales y naturales experimentó una alteración en el proceso de congelación rápida. Esto se debió a varios factores como presencia de solutos disueltos, interacciones moleculares y aumento de la viscosidad.
Gaseosa (Coca-Cola)	2	17 min	



Figura 40. Agua purificada vs Gaseosa

3.13.4 Análisis de resultados entre Agua dura y Jugo.

En la Tabla 29 se proporciona una visión detallada de los procesos de prueba para el jugo embotellado y el agua dura, destacando la importancia de varios factores que afectan la calidad del producto. El tiempo de prueba para ambos productos es relativamente similar, con solo un minuto de diferencia. Esto sugiere que los procedimientos de prueba para ambos productos son comparables en términos de duración y posiblemente en complejidad.

Tabla 30. Agua dura VS Jugo

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Jugo (embotellado)	2	14 min	Fue importante tener en cuenta que la naturaleza y concentración específica de los compuestos químicos presentes, así como el grado de purificación logrado, influyeron en la magnitud de los efectos observados. Además, otros factores como la temperatura de congelación, la velocidad de enfriamiento y las características físicas del producto también pudieron afectar en el proceso.
Agua dura	2	15 min	



Figura 41. Agua dura vs Jugo

3.13.5 Análisis de resultados entre Agua dura y Gaseosa

En la Tabla 30 se presenta un análisis comparativo de dos productos, gaseosa (Coca-Cola) y agua dura, ambos productos fueron sometidos a dos pruebas diarias. Este enfoque permite una evaluación continua y sistemática, esencial para el control de calidad y para asegurar que los productos cumplan con los estándares establecidos.

Tabla 31. Agua dura VS Gaseosa

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Gaseosa (Coca-Cola)	2	17 min	Estas observaciones tuvieron implicaciones significativas en los procesos industriales de congelación. Para productos con composiciones complejas que contenían ingredientes artificiales, naturales, químicos y minerales, fue necesario ajustar los parámetros de congelación, como aumentar el tiempo, para lograr una congelación adecuada y evitar problemas de calidad o rendimiento.
Agua dura	2	15 min	



Figura 42. Gaseosa vs Agua dura

3.13.6 Análisis de resultados entre Jugo y Gaseosa

En la Tabla 31 se proporciona datos sobre las pruebas realizadas y el tiempo que duro para el congelado de los productos. Las diferencias en el tiempo de congelación entre la gaseosa y el jugo embotellado reflejaron la complejidad de este proceso y la necesidad de un enfoque meticuloso para ajustar y monitorear los parámetros de congelación.

Tabla 32. Jugo VS Gaseosa

Producto	Pruebas al día	Tiempo	Observación del proceso
Gaseosa (Coca-Cola)	2	17 min	Estas observaciones subrayaron la importancia de considerar cuidadosamente la composición del producto en los procesos industriales de congelación. Fue necesario ajustar los parámetros de congelación, como la temperatura o el tiempo, para lograr una congelación adecuada y evitar problemas de calidad o rendimiento. A pesar de que ambos productos contenían una variedad de ingredientes artificiales y naturales, se observó una diferencia de 3 minutos en el tiempo de congelación registrado. Esta discrepancia se pudo atribuir a varios factores como la variación en la concentración de ingredientes y diferencias en la composición exacta.
Jugo (embotellado)	2	14 min	



Figura 43. Jugo vs Gaseosa

3.13.7 Tiempo de congelación final

En la Figura 44 se muestra una reveladora comparación del tiempo de congelación de los cuatro productos: agua dura, agua purificada, jugo embotellado y gaseosa (Coca-Cola) utilizados en pruebas en el túnel. La figura presenta 3 series de datos: tiempo de congelación túnel (verde), tiempo de congelación domestica (azul), tiempo de congelación industrial (amarillo). Esta grafica no solo destaca las variaciones de congelación entre los productos, sino también el impacto significativo de los distintos métodos de congelación.

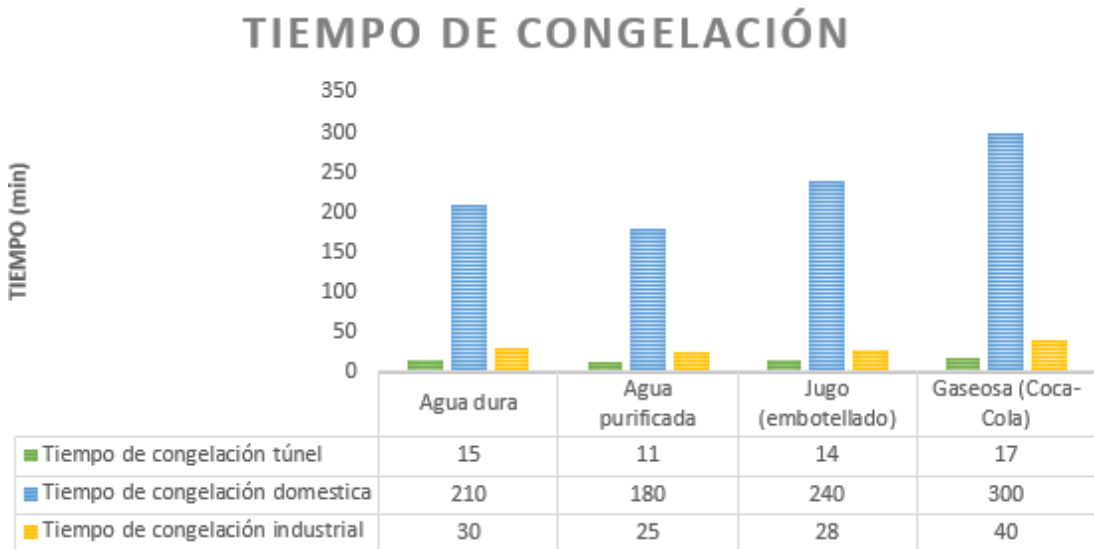


Figura 44. Tiempo de congelación túnel vs domestica vs industrial

El prototipo de túnel de congelación es el que muestra una mayor eficiencia, con tiempos relativamente cortos que fluctúan entre 11 y 17 minutos. Este rendimiento superior se debe a su capacidad de alcanzar y mantener temperaturas muy por debajo del punto de congelación (-30°C) y mantener una alta velocidad de aire, lo que maximiza la transferencia de calor por convección.

En contraste, la congelación doméstica, que registra los tiempos más largos entre 180 y 300 minutos. Esta diferencia tan marcada se atribuye a las limitaciones inherentes de los congeladores caseros, que típicamente trabajan a temperaturas de -18°C a -25°C y menor circulación de aire.

Entre estos dos polos se sitúa la congelación industrial, con tiempos intermedios de 25 a 40 minutos. Este rango sugiere el uso de tecnologías como la congelación por contacto o por inmersión en salmuera, que logran un balance más equilibrado entre la eficiencia y costos operativos.

Particularmente en la gaseosa, cuyo tiempo de congelación varía drásticamente de 300 minutos en un entorno doméstico a tan solo 17 minutos en el túnel. Esta disparidad no solo relata la superioridad del túnel, sino que también pone de manifiesto como los solutos presentes en cada producto influyen significativamente en el crecimiento de cristales de hielo, afectando así el tiempo de congelación.

Esta gráfica no solo compara los productos, sino que también traza la evolución de la innovación tecnológica frigorífica. Muestra avances como los túneles de congelación están transformando los estándares de eficiencia, permitiendo a la industria alimentaria experimentar una revolución silenciosa. Los métodos de congelación de última generación permiten a las empresas alcanzar niveles de eficiencia que, hasta hace poco, se consideraban ideales. Lo que antes requería horas en un congelador doméstico o decenas de minutos en una planta industrial convencional, ahora se logra en cuestión de minutos.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La investigación ha demostrado que los sistemas automatizados de congelación desempeñan un papel fundamental en la preservación de la calidad e inocuidad de los alimentos en la industria alimentaria. Estas tecnologías no solo optimizan la eficiencia operativa y reducen los costos, sino que también permiten un control preciso de las condiciones de congelación, garantizando la conservación y el valor nutricional de los productos. Además, la automatización en este campo contribuye significativamente a la sostenibilidad al minimizar el desperdicio alimentario y optimizar el uso de recursos energéticos. La adopción y el desarrollo continuo de tecnologías avanzadas de congelación automatizada impulsarán aún más la competitividad y la capacidad de innovación de la industria alimentaria.
- Mediante la implementación de un sistema de control automatizado, se logró aumentar la eficiencia y precisión del procedimiento de ultra congelado. Esto se evidenció en una reducción sustancial en el tiempo de operación, así como en una disminución en los errores humanos y costos asociados. Además, el sistema desarrollado permitió un monitoreo en tiempo real de los parámetros clave, proporcionando una mayor visibilidad y control sobre el proceso. Esto facilitó la identificación temprana de posibles fallas y la implementación de acciones correctivas oportunas.
- Las pruebas exhaustivas realizadas durante el desarrollo y la implementación del sistema demostraron un aumento significativo en las tasas de aciertos y una disminución en las fallas del sistema. Estas mejoras contribuyeron a un aumento en la confiabilidad y la reproducibilidad del proceso de ultra congelado, lo que a su vez se tradujo en una mayor eficiencia operativa.
- A través de un enfoque innovador y un diseño meticuloso, uno de los logros más destacados fue la capacidad de la máquina para alcanzar la temperatura deseada de -29°C en un tiempo récord de 30 minutos. Este tiempo de

enfriamiento ultrarrápido representa un avance significativo en comparación con los métodos convencionales, lo que se traduce en un aumento sustancial de la productividad y una reducción de costos operativos. Además, la máquina demostró ser capaz de congelar los productos alimenticios en un tiempo promedio de 12 minutos, lo que garantiza una preservación óptima de la calidad y frescura de los alimentos.

- A través de un enfoque innovador y un diseño meticuloso, uno de los logros más destacados fue la capacidad de la máquina para alcanzar la temperatura deseada de -29°C en un tiempo récord de 30 minutos. Estos ensayos exhaustivos permitieron optimizar el diseño y el funcionamiento del sistema, asegurando así un alto nivel de rendimiento y constancia en los resultados, esta máquina representa un avance significativo en el campo de la ultra congelación de alimentos. Su capacidad para alcanzar temperaturas ultra bajas en tiempo récord, combinada con su eficiencia en el proceso de congelación, los resultados obtenidos demuestran el potencial de esta tecnología para revolucionar la industria alimentaria. Brindando beneficios tangibles en términos de calidad, productividad y rentabilidad.
- La implementación de una máquina automatizada de congelación para el proceso de ultra congelación de alimentos ha demostrado ser una solución altamente eficiente y versátil, especialmente al considerar productos como jugo embotellado, gaseosas, agua dura, licor recién destilado y agua purificada. La tecnología de esta máquina para alcanzar rápidamente temperaturas extremadamente bajas y mantener una alta velocidad de circulación de aire optimiza la transferencia de calor por convección y resulta en tiempo de congelación significativamente reducidos en comparación con métodos tradicionales. Esta eficiencia se logra mediante el diseño avanzado del sistema de distribución de aire mediante el uso de potentes ventiladores, el uso de una unidad condensadora robusta y de trabajo pesado exclusivamente para bajas y ultra bajas temperaturas.
- La máquina de ultra congelación desarrollada representa un avance significativo en la industria alimentaria, ofreciendo beneficios tangibles en

términos de calidad, productividad y sostenibilidad. La utilización de un PLC (Controlador Lógico Programable) es fundamental debido a su capacidad para gestionar de manera eficiente y precisa los procesos automatizados de control de temperatura, garantizando así la fiabilidad y consistencia del sistema. Además, el empleo de un control ON/OFF permite una operación sencilla y efectiva para mantener las temperaturas dentro de los rangos deseados, optimizando el consumo energético y los tiempos de respuesta. Por último, la inclusión de un set point programable de temperatura proporciona flexibilidad en la operación, permitiendo ajustar los parámetros de congelación según las necesidades específicas de los diferentes productos alimenticios, asegurando así la preservación óptima de su calidad y frescura.

4.2 Recomendaciones

- Tras un profundo análisis de los hallazgos de esta investigación, resulta imperativo implementar sistemas inteligentes basados en inteligencia artificial y aprendizaje automático que permitan monitorizar de forma continua e ininterrumpida los procesos de congelación. Estas tecnologías de vanguardia posibilitarán el ajuste automático y en tiempo real de los parámetros críticos, garantizando un control óptimo y preciso de las condiciones de congelación.
- Se recomienda explorar y adoptar técnicas innovadoras de congelación, como la crio congelación o la congelación por la deshidratación, que ofrezcan ventajas significativas en cuanto a la preservación de la calidad nutricional, la inocuidad alimentaria y la eficiencia energética. Estas novedosas metodologías permitirán maximizar el valor nutricional de los productos congelados, al tiempo que se reducen los costos operáticos y se fomentan la sostenibilidad ambiental.
- Se recomienda explorar e implementar un sistema de automatización y control integral para el proceso de ultra congelación, aprovechando las tecnologías emergentes de la Industria 4.0. Este sistema avanzado no solo permitirá un control y monitoreo precisos de las condiciones de congelación, garantizando una preservación óptima de los productos, sino que también ofrecerá

capacidades superiores de optimización, análisis predictivo y toma de decisiones inteligentes.

- Dado el potencial demostrado por la máquina de ultra congelación, se recomienda la incorporación de nuevos módulos y funcionalidades que puedan mejorar aún más su capacidad y versatilidad. En particular, se sugiere la interacción de una banda transportadora automatizada para facilitar el transporte de los productos a través del proceso de congelación de manera más eficiente y uniforme. Además, se considera beneficioso explorar la posibilidad de incorporar una clasificadora automática que pueda categorizar los productos según diferentes criterios, como tamaño, peso, temperatura o calidad. Esto no solo mejoraría la eficiencia del proceso, sino que también permitiría una gestión más efectiva del proceso de clasificación de los productos congelados, aumentando la productividad y reduciendo los tiempos de inactividad.
- Para optimizar aún más el rendimiento de la máquina automatizada de ultra congelación de alimentos desarrollada en este proyecto, se recomienda la implementación de un control PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Un controlador PID proporciona una regulación más precisa y estable de la temperatura en comparación con el control ON/OFF, lo que es crucial para mantener las condiciones ideales de congelación y mejorar la eficiencia del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] C. Tecnológica *et al.*, “PDF generado a partir de XML-JATS4R por Redalyc Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras”, 2017, Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94454631006>
- [2] D. Y. Implementación Programación De Un Módulo De y M. ANTONIO JÁCOME TORRES Riobamba -Ecuador, “ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES”, 2012.
- [3] B. Roque *et al.*, “UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA”.
- [4] E. Pérez-López, “Los sistemas SCADA en la automatización industrial SCADA systems in the industrial automation”.
- [5] E. Patiño, “Diseño e implementación de un prototipo de supervisión de un sistema de control industrial utilizando plataformas empotradas de bajo costo y controladores lógicos programables PLSs.”, *Universidad de Cuenca*, pp. 1–143, 2016.
- [6] R. Valdés, “Automatización de un sistema de climatización con PLC”, *Instituto Politécnico Nacional*, 2012.
- [7] D. Caribe, “PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SCADA EN INDUTRÓNICA”, 2017.
- [8] R. Villena, “Proyecto de integración de autómatas programables simatic S7-1200 en REC IOT”, *Universidad Politécnica de Valencia*, Valencia, 2017.
- [9] E. Y. Telecomunicaciones Autor y J. Vicente Tinoco Piuri, “ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA GOBERNADO POR PLC PARA UNA HABITACIÓN PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN”.
- [10] “Vista de Implementación de PLC-HMI para control y monitoreo en la automatización de una máquina empaquetadora en la industria refresquera para empaquetado de Tetra Briks”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/4016/6247>
- [11] “Vista de Sistema de control automático basado en PLC y HMI para una máquina estribadora”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/9125/9113>
- [12] D. Armando Cóndor Chuqui, “DECLARACIÓN DE AUTORÍA”.
- [13] F. E. Moreno Garcia, B. Medina Delgado, S. Castro, J. Fuentes, y S. Sepúlveda Mora, “Experimentación de controladores digitales clásicos en un sistema embebido aplicado

en un proceso térmico”, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, núm. 1, pp. 81–92, feb. 2018, doi: 10.18273/REVUIN.V17N1-2018008.

- [14] K. Saravanan, “Control automático de temperatura mediante PLC y SCADA”, *Conferencia Internacional sobre Innovaciones en Sistemas de Información, Embebidos y Comunicación*, 2017.
- [15] J. Trumpler, “Integración de SCADA y CPS en el área de gestión de aguas residuales.”, *de Conferencia IEEE sobre Electrónica Industrial y Aplicaciones (ICIEA)*., 2019.
- [16] “LOS 5 NIVELES DE LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.queroautomation.com/blogs/post/los-5-niveles-de-la-automatizacion-industrial>
- [17] E. Arce, “Diseño Industrial DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/9144786/Dise%C3%B1o_Industrial_DISE%C3%91O_Y_AUTOMATIZACI%C3%93N_INDUSTRIAL
- [18] W. Porras, “Automatas Programables y Sistemas de Automatizacion PDFDrive”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/61791424/Automatas_Programables_y_Sistemas_de_Automatizacion_PDFDrive
- [19] G. González-Filgueira, F. Javier, y R. Permy, “Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido”, doi: 10.17013/risti.27.1-17.
- [20] C. Rampirez, “Controladores Lógicos Programables”, *Universidad de Chile*, pp. 1–35, 2001.
- [21] P. Aguilera, “Programación de PLCs”, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, pp. 1–100, 2002.
- [22] R. Solbes Monzó, “Automatismos industriales (Contenidos conceptuales y procedimentales) Instalaciones Eléctricas y Automáticas”, Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: www.naullibres.com
- [23] “plc: Tipos de PLC”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://plcsantiago.blogspot.com/2017/07/tipos-de-plc.html>
- [24] “Sistemas secuenciales programables - NUEVO GARCIA, ANTONIO, ESCAÑO GONZÁLEZ, JUAN MANUEL - Google Libros”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=sKVdDwAAQBAJ&pg=PR4&lpg=PR4&dq=A.+Garc%C3%ADa,+Sistemas+secuenciales+programables,+Madrid:+Graficas+Euj+oa,+2018.&source=bl&ots=NwVVUO_UUq&sig=ACfU3U1RqMQwRIIfV9b2gz1pDq68ILdYsg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjHoNPcsvg6FAxX-r4QIHqWBToQ6AF6BAGdEAM#v=onepage&q=A.%20Garc%C3%ADa%2C%20Sistemas%20secuenciales%20programables%2C%20Madrid%3A%20Graficas%20Euj+oa%2C%202018.&f=false
- [25] “plc: Tipos de PLC”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://plcsantiago.blogspot.com/2017/07/tipos-de-plc.html>

- [26] “plc: Tipos de PLC”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://plcsantiago.blogspot.com/2017/07/tipos-de-plc.html>
- [27] A. R. Penin, “Sistemas SCADA”, 2012, Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://www.alfaomega.com.mx>
- [28] “Curso Controladores industriales inteligentes Mdulo 1 Controladores lgicos”. Consultado: el 8 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://slidetodoc.com/curso-controladores-industriales-inteligentes-mdulo-1-controladores-lgicos/>
- [29] A. F. R. Olaya, A. B. López, y F. G. G. Moreno, “Implementación de una Red MODBUS/TCP”, *Ingeniería y Competitividad*, vol. 6, núm. 2, pp. 35–44, jun. 2011, doi: 10.25100/iyv.v6i2.2277.
- [30] “CICLO DE REFRIGERACION | FISICA FLUIDOS Y TERMODINAMICA”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://athanieto.wordpress.com/tematicas/segundo-principio-de-la-%20termodinamica/ciclo-de-%20refrigeracion/>
- [31] D. Guachi, “Automatización y Monitoreo del Sistema de Refrigeración de los Cuartos Fríos de Fabrilacteos Cía. Ltda. – Helados Jotaerre”, *XXVI JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA - EPN*, pp. 1–11, 2017.
- [32] “Refrigeracion Mecanica por compresion de Gases | Refrigeracion Desde Casa”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://refrigeraciondesdecasa.blogspot.com/2016/06/refrigeracion-mecanica-por-compresion.html>
- [33] R. J, “«Aire acondicionado jr,» Refrigeración y climatización”.
- [34] “Compresores Reciprocantes | PDF | Compresor de gas | Pistón”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/158368126/COMPRESORES-RECIPROCANES>
- [35] “KingFrigo®”. Consultado: el 7 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.kingspan.com/co/es/productos/sistemas-de-paneles-aislantes/sistema-de-paneles-para-refrigeracion/kingfrigo/>
- [36] “DISYUNTORES TERMOMAGNÉTICOS PARA RIEL DIN – SICOELEC”. Consultado: el 8 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.sicoelecgroup.com/producto/625/>
- [37] “PIDTECNOLOGIA SAC - División ELE - Pulsadores, selectores y parada de emergencia”. Consultado: el 8 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.pidtecnologia.com/electricos/270-pulsadores-selectores-y-parada-de-emergencia>
- [38] “Luces Piloto monoblock ABB - Gonzaga & Rodriguez Cia. Ltda.” Consultado: el 11 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://electricoindustrial.com.ec/producto/luces-piloto-monoblock-abb/>
- [39] “Túnel De Congelación. Cómo Funciona, Tipos, Ventajas”. Consultado: el 11 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.refri-climas.com/tunel-de-congelacion/#Como_Funciona_Un_Tunel_De_Congelacion.

- [40] “Ultracongelación de alimentos | Consumer”. Consultado: el 11 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ultracongelacion-de-alimentos.html>
- [41] “¿Qué es el Sitrad PRO? - Sitrad”. Consultado: el 13 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sitrad.com.br/es/que-es-el-sitrad-pro/>

ANEXO A

Anexo 1. Grupo de condensación



A título informativo, potencia frigorífica de los fluidos R449A y R448A: en el punto de evaporación $T_e = -30^\circ\text{C}$, SH10K, aplicar el coeficiente multiplicador 0,94 a las potencias frigoríficas leídas con el R404A.

*Específicos: Grupos tropicales anteriormente llamados HTA.

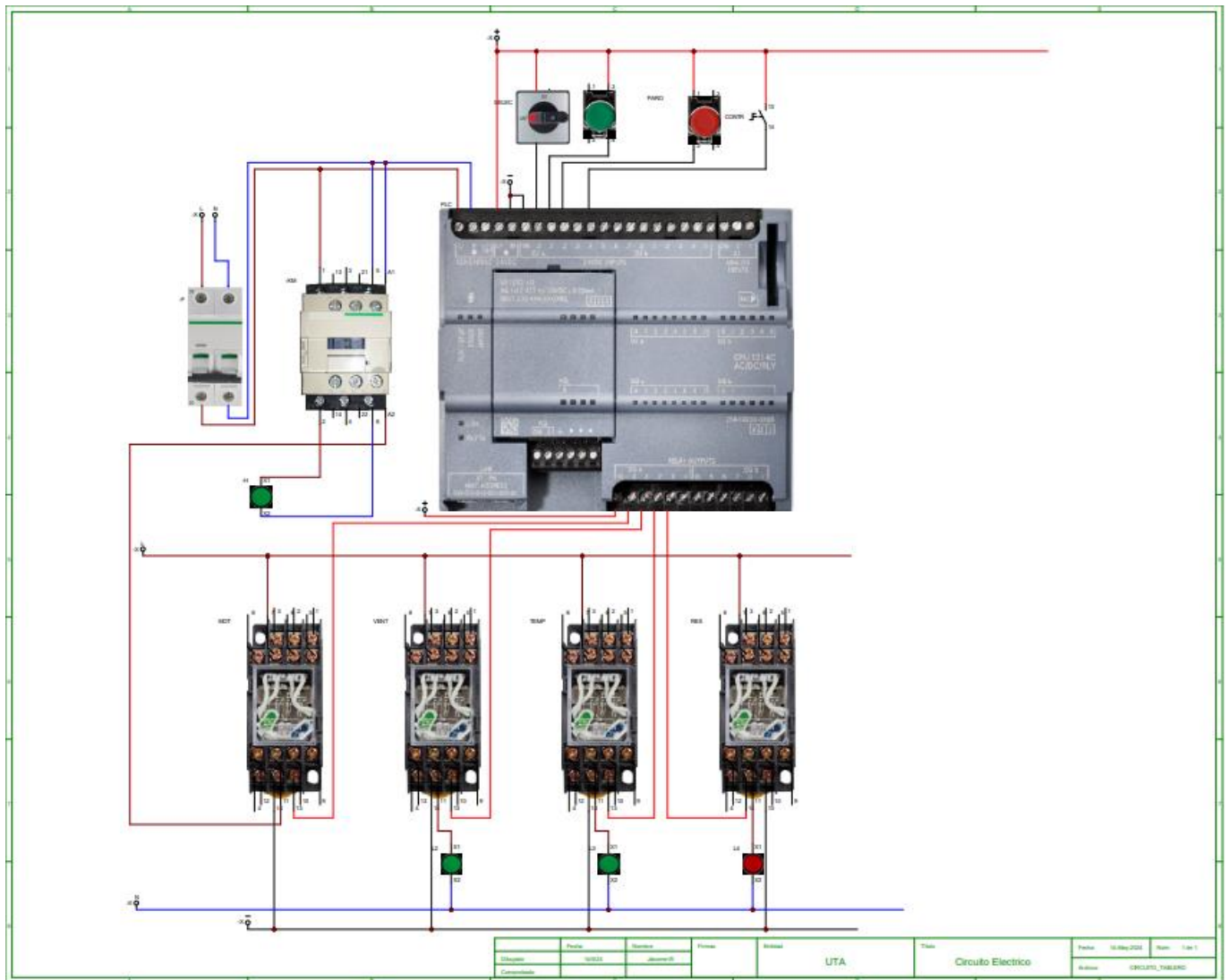
Grupos de condensación tradicionales

MODELO	POTENCIA FRIGORÍFICA 32° amb., 10K sobrecal., 3K subenfri.						POT. FRIGOR. EN13215 Te -35°C		P. son. dB(A) a 10m	Caudal vent. m³/h	Vel. Dep.	Diám. Tub.		Peso neto/bruto Kg	N.º Tam.	Intensidad máx. según código tensión	
	Temperatura de evaporación (°C):						Reed. (W)	COP (WW)				Asp.	De se.			F2	T2
	-35°	-30°	-25°	-20°	-15°	-10°											
AET2415ZBR	160	208	263	323	389	459	202	0,83	28	340	0,75	3/8"	1/4"	20/21	M200	3,2	N/A
AET2420ZBR	206	271	347	432	526	628	259	0,92	27	410	0,75	3/8"	1/4"	20/21	M200	4,6	N/A
CAJ/TAJN2428ZBR	250	339	442	561	694	844	315	0,82	26	550	1,50	1/2"	1/4"	30/31	M250	5,3	2,2
AET2425ZBR	273	359	456	565	685	817	344	0,90	34	500	0,75	3/8"	1/4"	26/27	M250	4,6	N/A
HGA2426ZBR	299	385	482	597	729	880	375	1,07	37	1000	0,75	3/8"	1/4"	21/28	B200	3,8	N/A
CAJN2432ZBR	309	415	536	673	824	991	392	0,95	28	550	1,50	1/2"	1/4"	30/31	M250	6,0	N/A
HGA2432ZBR	367	467	578	705	848	1011	462	1,09	35	1000	0,75	3/8"	1/4"	21/28	B200	4,6	N/A
HGA2436ZBR	384	492	613	750	905	1080	484	1,08	39	1000	0,75	1/2"	1/4"	22/29	B200	5,4	N/A
CAJN2440ZBR	425	577	756	962	1194	1453	529	1,01	27	900	1,50	1/2"	3/8"	32/33	M300	5,8	N/A
HGA2446ZBR	494	636	794	974	1178	1409	623	1,11	38	1000	0,75	1/2"	3/8"	26/33	B200	5,8	N/A
CAJ/TAJN2446ZBR	530	707	907	1129	1370	1629	665	1,04	31	900	2,35	1/2"	3/8"	33/35	M300	8,4	3,2
CAJ/TAJN2464ZBR	678	881	1109	1361	1634	1924	856	0,98	33	900	2,35	5/8"	3/8"	34/36	M300	10,2	4,0
FH/TFHT2480ZBR	1068	1424	1822	2262	2743	3267	1323	1,08	43	1750	1,50	5/8"	3/8"	57/61	M350	16,5	6,9
FH/TFHT2511ZBR	1302	1743	2236	2782	3389	4073	1629	1,09	46	1750	1,50	5/8"	3/8"	57/61	M350	24,6	7,8
TAGT2513ZBR	1482	2002	2610	3632	4550	5553	1840	0,99	51	3000	2,35	7/8"	3/8"	73/87	M420	N/A	9,3
TAGT2516ZBR	1906	2681	3582	4605	5746	7005	2361	1,61*	50	3000	2,35	7/8"	3/8"	79/93	M420	N/A	10,2
TAGT2519ZBR	2117	2978	3977	5110	6377	7784	2629	1,70*	50	2500	3,90	7/8"	3/8"	85/105	M450	N/A	11,7
TAGT2522ZBR	2403	3306	4353	5542	6872	8343	2990	1,70*	51	2500	3,90	1 1/8"	3/8"	86/100	M450	N/A	14,2
TAGT2525ZBR	2631	3589	4676	5888	7220	8671	3280	1,67*	54	2500	3,90	1 1/8"	1/2"	87/101	M450	N/A	14,1
SHT2529ZBR	3378	4452	5661	7002	8473	10075	3813	1,89*	N/A	7600	3,90	1 1/8"	1/2"	132/162	B420	N/A	14,0*
SHT2534ZBR	4197	5481	6926	8527	10275	12169	4753	1,89*	N/A	7000	3,90	1 3/8"	5/8"	134/164	B420	N/A	16,3*
TAGDT2532ZBR	3713	5198	6906	8825	10941	13250	4612	1,73*	53	7000	6,00	1 1/8"	1/2"	154/184	B420	N/A	21,3
TAGDT2538ZBR	4240	5803	7599	9613	11836	14268	5283	1,74*	53	7000	6,00	1 1/8"	1/2"	154/184	B420	N/A	21,3
TAGDT2544ZBR	4755	6390	8264	10364	12687	15241	5944	1,75*	54	7000	6,00	1 1/8"	1/2"	161/191	B420	N/A	29,0
SHT2542ZBR	5042	6424	7978	9703	11599	13666	5741	1,70*	N/A	7000	6,00	1 3/8"	5/8"	134/164	B420	N/A	16,7*
TAGDT2550ZBR	5174	6903	8839	10971	13297	15835	6485	1,63*	57	7000	6,00	1 1/8"	1/2"	161/191	B420	N/A	29
SHT2552ZBR	6387	8176	10219	12520	15076	17881	7206	1,89*	N/A	8270	6,00	1 3/8"	5/8"	151/181	B420	N/A	21,7*
SHT2568ZBR	8076	10176	12451	14929	17629	20579	9252	1,83*	N/A	7600	9,50	1 3/8"	5/8"	199/229	B500	N/A	27,2*
SHT2575ZBR	9525	12247	15300	18727	22557	26810	10749	1,77*	N/A	14600	9,50	1 5/8"	5/8"	221/251	B500	N/A	33,2*

Declaración del COP estacional / N/A: no aplicable / * código tensión XC, * código tensión XG, * código tensión YZ, * código tensión MZ

ANEXO B

Anexo 2. Circuito eléctrico



ANEXO C

Anexo 3. Parámetros MT-512E Log

8.5. Tabla de parámetros

Fun	Descripción	CELSIUS				FAHRENHEIT			
		Min	Máx	Unid	Patrón	Min	Máx	Unid	Patrón
[F01]	Temperatura deseada (Consigna)*	-50.0	200.0	°C	4.0	-58.0	392.0	°F	39.0
[F02]	Compensación de indicación (Compensación)	-20.0	20.0	°C	0	-36.0	36.0	°F	0.0
[F03]	Setpoint mínimo permitido al usuario final	-50.0	200.0	°C	-50.0	-58.0	392.0	°F	-58.0
[F04]	Punto de consigna máximo permitido al usuario final	-50.0	200.0	°C	75.0	-58.0	392.0	°F	167.0
[F05]	Diferencial de control (histéresis)	0.1	20.0	°C	1.0	0.1	36.0	°F	1.8
[F06]	Modo de operación	0-refrig.	1-calent.	-	0-refrig.	0-refrig.	1-calent.	-	0-refrig.
[F07]	Salida mínima a tiempo	0(Off)	9999	seg	20	0(Off)	9999	seg	20
[F08]	Tiempo mínimo de inactividad	0(Off)	9999	seg	20	0(Off)	9999	seg	20
[F09]	Tiempo de enfriamiento (intervalo entre desescarches)	1	9999	min	240	1	9999	min	240
[F10]	Tiempo de descongelación	0(Off)	999	min	30	0(Off)	999	min	30
[F11]	Estado inicial al encender el instrumento	0-refrig.	1-deshielo	-	0-refrig.	0-refrig.	1-deshielo	-	0-refrig.
[F12]	Pantalla de temperatura bloqueada durante el desescarche	0	2	-	1	0	2	-	1
[F13]	Tiempo máximo de indicación de temperatura bloqueado en el proceso de descongelación	0(Off)	999	min	15	0(Off)	999	min	15
[F14]	Retraso en el encendido del instrumento (delay)	0(Off)	240	min	0(Off)	0(Off)	240	min	0(Off)
[F15]	Tiempo adicional al final del primer ciclo	0(Off)	240	min	0(Off)	0(Off)	240	min	0(Off)
[F16]	Estado del compresor con sensor inoperativo	0	2	-	0	0	2	-	0
[F17]	Compresor tiempo encendido en caso de error	1	999	min	15	1	999	min	15
[F18]	Tiempo de apagado del compresor en caso de error	1	999	min	15	1	999	min	15
[F19]	Fuerza del filtro digital	0(Off)	9	-	0(Off)	0(Off)	9	-	0(Off)
[F20]	Modo de bloqueo de funciones	0	2	-	0	0	2	-	0
[F21]	Tiempo de bloqueo de función	15	60	seg	15	15	60	seg	15
[F22]	Desactivación de las funciones de control	0(Off)	2	-	0(Off)	0(Off)	2	-	0(Off)
[F23]	Modo de funcionamiento del registrador de datos	0(Off)	2	-	2	0(Off)	2	-	2
[F24]	Tiempo entre cada muestra en la memoria	1	999	seg	30	1	999	seg	30
[F25]	Variación de temperatura para forzar la escritura de datos	0(Off)	10.0	°C	0(Off)	0(Off)	18.0	°F	0(Off)
[F26]	Variación de entrada y salida para forzar la escritura de datos	0(Off)	1(On)	-	0(Off)	0(Off)	1(On)	-	0(Off)
[F27]	¿Sobrescribir registros antiguos cuando la memoria está llena?	0(Off)	1(On)	-	1(On)	0(Off)	1(On)	-	1(On)
[F28]	Entrada digital	0(Off)	6	-	0(Off)	0(Off)	6	-	0(Off)
[F29]	Tiempo de puerta abierta para alarma	0(Off)	999	min	5	0(Off)	999	min	5
[F30]	Dirección del instrumento en la red RS-485	1	247	-	1	1	247	-	1

ANEXO D

Anexo 4. Parámetros del motor compresor

<div> <div>50 Hz R404A</div> <div>  </div> <div>N°124ST-FZ</div> </div>									
4 T condensation	5 T évaporation	(°C)	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10
30	1 P frigorifique	(Watt)	760	1036	1371	1772	2243	2792	3425
	2 P absorbée	(W)	723	835	948	1061	1176	1293	1411
	3 I absorbée	(A)	4.13	4.50	4.91	5.37	5.87	6.43	7.03
40	1 P frigorifique	(Watt)	589	828	1116	1459	1864	2336	2882
	2 P absorbée	(W)	714	845	979	1116	1257	1401	1550
	3 I absorbée	(A)	4.08	4.55	5.06	5.62	6.22	6.88	7.58
50	1 P frigorifique	(Watt)		623	862	1146	1482	1876	2334
	2 P absorbée	(W)		833	988	1149	1315	1487	1666
	3 I absorbée	(A)		4.54	5.15	5.81	6.51	7.27	8.07
60	1 P frigorifique	(Watt)			613	837	1103	1416	1785
	2 P absorbée	(W)			979	1162	1354	1554	1763
	3 I absorbée	(A)			5.18	5.94	6.74	7.60	8.50
1 = cooling capacity 2 = power input 3 = current 4 = condensing temperature 5 = evaporating temperature									

ANEXO 1

Anexo 5. Estructura base



Anexo 6. Paredes del túnel



ANEXO 2

Anexo 7. Interior del túnel



Anexo 8. Ventiladores



ANEXO 3

Anexo 9. Tablero de control



INTERNATIONAL STANDARD

**IEC
60073**

Sixth edition
2002-05

Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification – Coding principles for indicators and actuators

*This **English-language** version is derived from the original **bilingual** publication by leaving out all French-language pages. Missing page numbers correspond to the French-language pages.*



Reference number
IEC 60073:2002(E)

Anexo 11. Norma IEC 60073 parte 2

60073 © IEC:2002

– 3 –

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references	11
3 Definitions	13
4 Coding principles.....	17
4.1 General	17
4.2 Visual codes.....	21
4.2.1 Coding by colours.....	21
4.2.2 Coding by shapes and/or position.....	25
4.2.3 Coding by changing of characteristics over time	27
4.3 Acoustic codes.....	27
4.4 Tactile codes.....	29
5 Application requirements	31
5.1 Indication modes	31
5.2 Actuation modes.....	41
5.2.1 Non-illuminated actuators	41
5.2.2 Illuminated actuators	43
5.2.3 Actuators as a part of pictorial presentation on a video display screen	45
Annex A (normative) Special requirements for mechanical indicators	47
Annex B (informative) Example for the application of indication coding (using colours)	49
Annex C (informative) Examples of visual, acoustic and tactile codes	53
Bibliography.....	61

Anexo 12. Norma IEC 60073 parte 3

60073 © IEC:2002

– 5 –

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

BASIC AND SAFETY PRINCIPLES FOR MAN-MACHINE INTERFACE, MARKING AND IDENTIFICATION –

Coding principles for indicators and actuators

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60073 has been prepared by IEC technical committee 16: Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification.

This sixth edition cancels and replaces the fifth edition published in 1996 and constitutes a technical revision.

Compared to the fifth edition, the following substantial modifications have been made:

- the field of application has been extended to include displays on screens;
- the concept of "message" has been adopted from IEC 60050(721);
- clarifications are provided in 4.2.1 and 5.2.3.2.

It has the status of a Basic safety publication in accordance with IEC Guide 104.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
16/402/FDIS	16/404/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

Anexo 13. Norma IEC 60073 parte 4

60073 © IEC:2002

– 7 –

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annex A forms an integral part of this standard.

Annexes B and C are for information only.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2007. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

Anexo 14. Norma IEC 60073 parte 5

60073 © IEC:2002

– 9 –

INTRODUCTION

This basic safety publication is intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 and in ISO/IEC Guide 51.

It should be noted that one of the responsibilities of a technical committee is, wherever possible, to include or refer to the requirements of basic safety publications in standards for equipment within its scope. Consequently, the requirements of this basic safety publication apply only if they are included, or are referred to in those standards.

Supervision and intervention are the principal tasks of personnel engaged in the monitoring and control of equipment or processes.

Indicator for the representation of conditions, and actuating devices to enable intervention under normal and fault conditions, are essential to this purpose.

The information presented should meet the needs of the users for the monitoring and control tasks which they are required to perform, for example, in extensive industrial processes.

Safety and ergonomic aspects should also be taken into account. The use of only a single means of coding is often insufficient to ensure unambiguous representation of information.

Apart from an unambiguous marking of the indicating and actuating devices, there is a requirement for a clear and consistent system of coding.

The choice of a code will depend on the information which it is intended to impart. This may relate to the state of equipment (or part of it), to the condition of a process, and/or to the effects which this condition has on persons, property and the environment.

The user is required to decide on which of these criteria the coding for the relevant application is to be based.

Anexo 15. Norma IEC 60073 parte 6

60073 © IEC:2002

– 11 –

BASIC AND SAFETY PRINCIPLES FOR MAN-MACHINE INTERFACE, MARKING AND IDENTIFICATION –

Coding principles for indicators and actuators

1 Scope

This International Standard establishes general rules for assigning particular meanings to certain visual, acoustic and tactile indications in order to

- increase the safety of persons, property and/or the environment through the safe monitoring and control of the equipment or process;
- facilitate the proper monitoring, control and maintenance of the equipment or process;
- facilitate the rapid recognition of control conditions and actuator positions.

This standard is for general application:

- from simple cases such as single indicator lights, push-buttons, mechanical indicators, light emitting diodes (LEDs) or video display screens to extensive control stations which may include a wide variety of devices for controlling an equipment or process;

NOTE Application of the general coding principles for displays on screens should be carried out without modification.

- where the safety of persons, property and/or the environment is involved, and also where the above-mentioned codes are used to facilitate the proper monitoring and controlling of equipment;
- where a particular kind of coding is to be assigned by a technical committee to a special function.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60027 (all parts), *Letter symbols to be used in electrical technology*

IEC 60050(441), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 441: Switchgear, controlgear and fuses*

IEC 60050(721), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 721: Telegraphy, facsimile and data communication*

IEC 60050(845), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) Lighting*

IEC 60417 (all parts), *Graphical symbols for use on equipment*

Anexo 16. Norma IEC 60073 parte 7

60073 © IEC:2002

– 13 –

IEC 60447, *Man-machine interface (MMI) – Actuating principles*

IEC 60617 (all parts), *Graphical symbols for diagrams*

IEC 61310-1, *Safety of machinery – Indication, marking and actuation – Part 1: Requirements for visual, auditory and tactile signals*

IEC Guide 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

ISO 3864, *Safety colours and safety signs*

ISO 7000, *Graphical symbols for use on equipment – Index and synopsis*

ISO 8201, *Acoustics – Audible emergency evacuation signal*

ISO 11429, *Ergonomics – System of auditory and visual danger and information signals*

ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

CIE (International Commission on Illumination): Publication No. 2-2 (TC 1.6), *Colours of light signals*

Anexo 17. Código Eléctrico Nacional de Estados Unidos (NEC)

Copyright © 2007, National Fire Protection Association®. Todos los derechos reservados

NFPA 70®

Código Eléctrico Nacional - National Electrical Code®

Edición 2008

Esta edición del NFPA 70, Código Eléctrico Nacional, *National Electrical Code*, fue preparada por el Comité del Código Eléctrico Nacional con la aprobación de la NFPA en su Asamblea Técnica de la Asociación celebrada en junio 3 a 7 de 2007, en Boston, MA. Fue publicada por el Consejo de Normas en julio 26 de 2007, con fecha de vigencia a partir de agosto 15 de 2007 y sustituye a todas las ediciones anteriores.

Esta edición de la NFPA 70 fue aprobada como una Norma Nacional de los Estados Unidos en agosto 15 de 2007.

Historia y desarrollo del Código Eléctrico Nacional

La *National Fire Protection Association* ha actuado como promotor del Código Eléctrico Nacional desde 1911. El documento del Código original se desarrolló en 1897 como resultado de los esfuerzos unidos de diferentes sectores de seguros, electricidad, arquitectura e intereses vinculados.

De acuerdo con las disposiciones del Reglamento que rige el Comité de Proyectos de la NFPA, la NFPA publicó en julio de 2006 un Reporte del Comité del Código Eléctrico Nacional, sobre propuestas que contenían enmiendas al Código Eléctrico Nacional 2005. Este reporte registró las acciones de los diferentes Paneles de Elaboración del Código y del Comité de Correlación del Comité del Código Eléctrico Nacional, sobre cada propuesta efectuada para corregir el Código de 2005. El reporte se circuló a todos los miembros del Comité del Código Eléctrico Nacional y se puso a disposición de los otros miembros interesados de la NFPA y al público general para revisión y comentarios. Con posterioridad al cierre del período de comentarios públicos, los Paneles de Elaboración del Código se reunieron, actuaron sobre cada comentario y reportaron su acción al Comité de Correlación. La NFPA publicó el Reporte de Comentarios del Comité del *Código Eléctrico Nacional* en marzo de 2007, el cual registra las acciones de los Paneles de Elaboración del Código y del Comité de Correlación sobre cada comentario público para el Reporte de Propuestas del Comité del *Código Eléctrico Nacional*. Dicho Reporte de Propuestas y el Reporte de Comentarios del Comité del *Código Eléctrico Nacional* se presentaron para su adopción a la Asamblea Técnica de la Asociación de junio de 2007.

La NFPA cuenta con una Sección Eléctrica que brinda la oportunidad especial para sus miembros interesados en seguridad eléctrica de estar mejor informados y contribuir al desarrollo del *Código Eléctrico Nacional* y otras normas eléctricas de la NFPA. En la Sesión de Revisión de Normas y Códigos de la Sección Eléctrica realizada en la Exposición y Conferencia Mundial sobre Seguridad de la NFPA en 2007, los miembros de la Sección tuvieron la oportunidad de discutir y revisar el reporte del Comité del Código Eléctrico Nacional antes de la adopción de esta edición del *Código* por parte de la Asociación en su Sesión Técnica realizada en junio de 2007.

Esta 51ª edición reemplaza todas las ediciones, suplementos e impresiones anteriores fechadas en 1897, 1899, 1901, 1903, 1904, 1905, 1907, 1909, 1911, 1913, 1915, 1918, 1920, 1923, 1925, 1926, 1928, 1930, 1931, 1933, 1935, 1937, 1940, 1942, 1943, 1947, 1949, 1951, 1953, 1954, 1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1962, 1965, 1968, 1971, 1975, 1978, 1981, 1984, 1987, 1990, 1993, 1996, 1999, 2002 y 2005.