

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TEMA:

Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos.

AUTOR:

Navarrete Enderica, Victor Alejandro

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:

Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo

TUTOR:

M.A.E. Gallardo Posligua Jacinto Esteban

Guayaquil, Ecuador

28 de Febrero del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Navarrete Enderica, Victor Alejandro** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

M.A.E. Gallardo Posligua Jacinto Esteban

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando
Guayaquil, a los 28 días del mes de febrero del año 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Navarrete Enderica, Victor Alejandro**

DECLARÓ QUE:

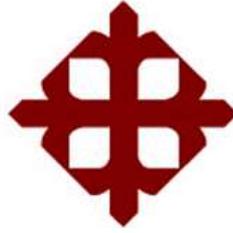
El trabajo de titulación **“Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos.”** previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 28 días del mes de febrero del año 2020

EL AUTOR

NAVARRETE ENDERICA, VICTOR ALEJANDRO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Navarrete Enderica, Victor Alejandro**

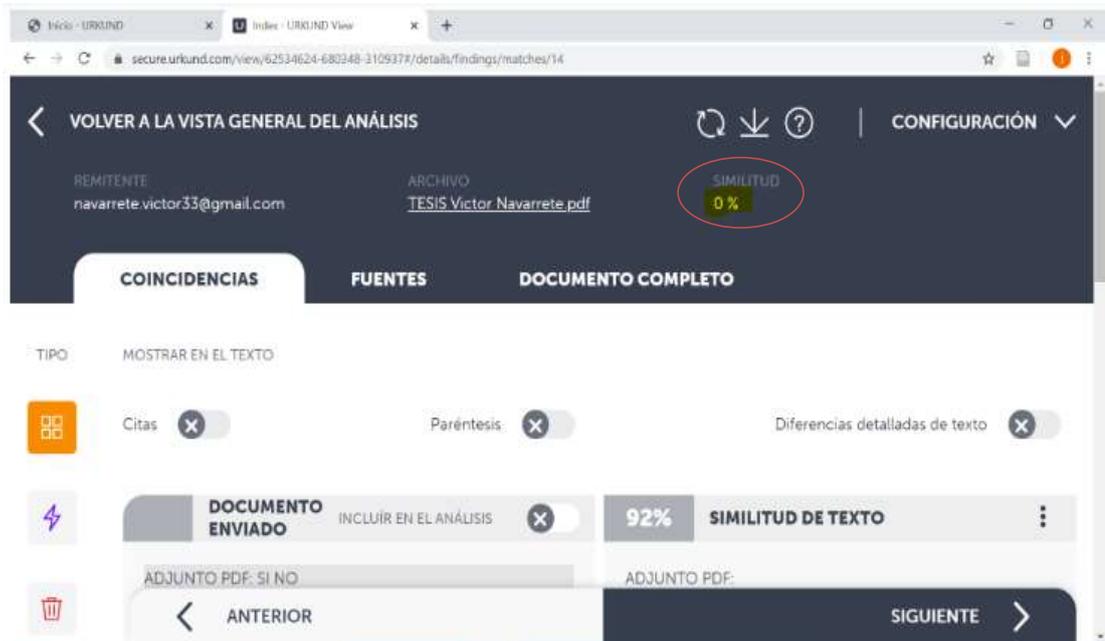
Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 28 días del mes de febrero del año 2020

EL AUTOR

NAVARRETE ENDERICA, VICTOR ALEJANDRO

REPORTE URKUND



Reporte Urkund del trabajo de titulación en Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo titulado: **Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos.** Del estudiante, **Navarrete Enderica, Victor Alejandro** el análisis de anti-plagio indica 0% de coincidencias.

Atentamente.

M.A.E. Gallardo Posligua, Jacinto Esteban

AGRADECIMIENTO

Le agradezco primordialmente a Dios por la fuerza espiritual que me brinda diariamente y saber más que todo que sin él no podría haber llegado hasta este instante en el cual cumpliré un objetivo más en mi vida.

A mis Padres Alejandro y Sara los cuales estuvieron en cada instante de mi vida universitaria, brindándome las fuerzas para seguir adelante y no fracasar, gracias a ellos poder cumplir esta gran meta propuesta y sé que tarde o temprano se los recompensare grandemente por todo su esfuerzo y oraciones hacia mi persona.

A todos mis compañeros, hermanos en Cristo y familiares que estuvieron pendiente de mi vida universitaria, ya sea de los más mínimo a lo más grande que me brindaron su apoyo y mi Dios se los recompensara grandemente por todo su esfuerzo.

Le Agradezco a todos los docentes que me formaron e instruyeron por el camino correcto para cumplir con mis metas y objetivos, y que estuvieron pendientes de mí.

EL AUTOR

NAVARRETE ENDERICA, VICTOR ALEJANDRO

DEDICATORIA

A Dios porque sin él no podría haber hecho realidad este sueño de ser un gran profesional ya que sin su ayuda no sería lo soy ahora y saber que me tiene muchas bendiciones por delante de mi vida profesional.

A mis Padres porque ellos me ayudan diariamente a seguir adelante para poder cumplir mis metas y esta será una de muchas que vendrán, porque con la ayuda de Dios todo es posible.

A mis Primos más cercanos que siempre estuvieron pendiente de mi vida universitaria, ayudándome en momentos importantes e incentivándome a que me forme como un gran profesional sin olvidar de dónde vengo.

EL AUTOR

NAVARRETE ENDERICA, VICTOR ALEJANDRO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

M. Sc. MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE
OPONENTE

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN.	2
Capítulo 1: Descripción general del trabajo de titulación.	4
1.1. Definición del problema.	4
1.2. Justificación.....	6
1.3. Delimitación.....	6
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivos específicos.	7
1.5. Metodología de investigación.....	7
Capítulo 2: Fundamentación teórica.	9
2.1 Estado de Arte.....	9
2.2. Sistemas de refrigeración.	10
2.2.1. Análisis de los equipos de refrigeración actuales.	12
2.3. Sistemas de control.	14
2.3.1. Configuraciones de un sistema de control.....	16
2.3.2. Tipos de Sistemas de Control.	17
2.3.3. Sistemas de control alternativos.....	17
2.4. La automatización.....	18
2.4.1. Pirámide de la automatización.	19
2.4.1.1. Nivel de campo.	19
2.4.1.2. Nivel de control.	20
2.4.1.3. Nivel de supervisión.	20
2.4.1.4. Nivel de gestión.	20
2.5. Topologías de red.....	21
2.6. Arquitecturas de sistemas de control.	23
2.7. Protocolos de comunicación industriales.	24
2.8. Sistemas SCADA	25
2.8.1 Componentes de un sistema Scada.	26

2.9. Controladores lógico programable.	27
2.9.1. Estructura de un autómata programable.	27
2.9.2. Sistemas de interfaz hombre máquina.	28
2.9.3. Logo PLC.	29
2.10. Software de programación LogoSoft.	30
2.11. Módulos de expansión RTD.	31
2.12. Sensores.	31
2.12.1. Válvulas de expansión electrónicas.	32
2.13. Equipos de medición full gauge.	32
2.13.1. Programador de temperatura Vx-950Plus.	33
2.13.2. Dispositivo de protección de fases Phaselog.	33
2.13.3. Software de supervisión sitrad.	34
2.13.4. Dispositivo de conversión serial a USB Conv32.	35
2.13.5. Bloque de conexión Sitrad.	35
2.14. Normativas de conservación.	35
2.14.1. Condiciones de conservación.	37
2.14.2. Aire y humedad en almacenamiento.	38
2.15. Consumo energético.	38
2.16. Proceso de industria.	38
Capítulo 3: Propuesta de Proyecto.	40
3.1. Consideraciones iniciales.	40
3.1.1. Detalle del sistema.	41
3.1.2. Descripción de los sistemas de refrigeración en el área de almacenamiento de medicamentos.	41
3.1.3 Descripción del sistema a implementar.	42
3.1.3.1 Sistema actual de equipos de refrigeración.	42
3.1.3.2. Sistema propuesto para equipos de refrigeración.	45
3.1.4. Características del sistema.	46
3.1.5. Descripción funcional del sistema.	48
3.1.5.1. Primera fase:	48
3.1.5.2. Segunda fase.	53
3.1.6. Topología de sistema supervisorio.	58
3.1.7 Sistema Supervisorio.	60
3.1.7.1. Simulación de sistema supervisorio.	60

3.2. Simulación de sistema de control PLC.	65
3.2.1 Simulación de accionamiento normal de equipo.	65
3.2.2 Simulación por rotación de equipos semanal.	66
3.2.3 Simulación de falla por alta temperatura.	67
3.2.4 Simulación de falla por baja temperatura	68
3.2.5 Falla por sobrecalentamiento en motor.	68
3.2.6 Simulación falla por presión de gas.	69
3.3. Diseño de panel de control.	70
3.4. Posibles costos e impactos del sistema en la industria.	70
3.4.1. Posibles costos de inversión de sistema propuesto.	70
3.4.2. Posibles impactos energéticos en la Industria.	73
3.4.3. Posibles impactos en calidad de productos farmacéuticos.	75
3.4.4. Posibles Impacto de seguridad laboral.	75
3.5. Comparativa de costos de instalación de equipos convencionales y sistemas propuesto.	76
Capítulo 4: Resultados y discusión.	78
4.1. Presentación de resultados.	78
4.2. Resultados de interfaz gráfica.	78
4.3. Resultados de software.	78
4.4. Discusión de resultado.	79
4.4.1. Cumplimientos de los objetivos.	79
4.4.2. Análisis metodológico.	79
4.4.3. Análisis de la solución del problema de investigación.	79
Conclusiones.	80
Recomendaciones.	81
Bibliografía	82

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1: Análisis de causas mediante diagrama de Ishikawa.....	5
---	---

CAPÍTULO 2

Figura 2.1: Esquema de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor.	11
Figura 2.2: Equipo Condensador de Sistema de Refrigeración.	12
Figura 2.3: Evaporador Frigorífico de tres ventiladores.	14
Figura 2.4: Esquema conceptual de un sistema de control.	15
Figura 2.5: Esquema en bloques de las configuraciones de un sistema de control.	17
Figura 2.6: Pirámide representativa a los niveles de la Automatización.	19
Figura 2.7: Topología de tipo bus.	21
Figura 2.8: Topología de tipo anillo.	22
Figura 2.9: Topología de tipo estrella.	22
Figura 2.10: Topología de tipo Malla.	22
Figura 2.11: Topología de tipo Árbol.	23
Figura 2.12: Arquitectura de red Centralizada y Distribuida de un sistema de bobinas.	23
Figura 2.13: PLC modelo Simatic s7-1500 de Siemens.	28
Figura 2.14: HMI de Siemens Logo TDE.	29
Figura 2.15: Logo V8.2 con conexión a ethernet.	30
Figura 2.16: Entorno de trabajo de Logo Soft.	30
Figura 2.17: Modulo AM2 RTD para Logo8.	31
Figura 2.18: Sensor de Temperatura PT100.	32
Figura 2.19: Válvula de expansión electrónica VEE.	32
Figura 2.20: Dispositivo controlador VX-950 Plus para control de VEE.	33
Figura 2.21: Dispositivo de protección y monitorización Phaselog.	34
Figura 2.22: Topología de Conexión de Comunicación con Software Sitrad.	34
Figura 2.23: Dispositivo Conv32 para comunicación con PC.	35
Figura 2.24: Bloque de Comunicación Sitrad.	35

Figura 2.25: Fases de Producción de una industria farmacéutica.	39
--	----

CAPÍTULO 3

Figura 3.1: Etapas de producción interna de industria.	41
Figura 3.2: Esquema de sistema de refrigeración típico.	42
Figura 3.3: Diagrama de flujo de funcionamiento de sistema típico de refrigeración.	44
Figura 3.4: Esquema de sistema de refrigeración mejorado.	45
Figura 3.5: Diagrama de flujo de control de PLC LOGO.	51
Figura 3.6: Continuación de etapa A de diagrama de flujo de control de PLC LOGO.	52
Figura 3.7: Continuación de etapa B de diagrama de flujo de control de PLC LOGO.	53
Figura 3.8: Diagrama de flujo de equipo Phaselog.	56
Figura 3.9: Diagrama de flujo de procesos de controlador Vx950Plus.	57
Figura 3.10: Continuación de Etapa A de diagrama de flujo de controlador Vx950Plus.	58
Figura 3.11: Topología de red de sistema de control y supervisión.	59
Figura 3.12: Cuadro de datos obtenidos durante simulación del sistema.	61
Figura 3.13: Grafico de estados obtenidos durante simulación.	62
Figura 3.14: Funcionamiento del sistema ante respuesta de estabilidad.	62
Figura 3.15 Cuadro de informes de Alarmas en Sistema Supervisorio.	65
Figura 3.16: Ventana de estado de equipos accionados en operación normal.	66
Figura 3.17: Ventana de visualización de tiempo restante de rotación de equipos semanal.	67
Figura 3.18: Visualización de falla del sistema durante su operación.	68
Figura 3.19: Simulación de falla por baja temperatura en equipo 1.	68
Figura 3.20: Visualización de falla por recalentamiento de motor en Logo TD.	69
Figura 3.21: Visualización de falla por fuga de gas refrigerante.	70
Figura 3.22: Comparación de costos de consumo energético.	75

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1: Tabla de comparación de estabilidad Temp. Ambiente.	63
Tabla 3.2: Tabla de comparación de estabilidad Temp. evaporador.	64
Tabla 3.3: Tabla de comparación de estabilidad Temp. Succión.	64
Tabla 3.4: Costo de materiales eléctricos como propuesta de diseño.	71
Tabla 3.5: Costo de equipos de control de sistema propuesto.	72
Tabla 3.6: Costos de inversión de mano de obra de sistema propuesto.	73
Tabla 3.7: Detalle general de inversión final para sistema propuesto.	73
Tabla 3.8: Tabla de Costos comparativos de equipos de refrigeración convencional y propuesto.	77

RESUMEN

Los equipos de refrigeración en la actualidad ofrecen pocas prestaciones y características durante su funcionamiento, en el sector industrial farmacéutico llevar el control exhaustivo de conservación de los productos fármacos es un papel importante, que en muchos casos la calidad de estos puede verse comprometida, cuando un equipo de refrigeración falla, se empieza a incrementar de manera rápida la temperatura interna de los cuartos de almacenamiento, lo cual el incremento de temperatura ocasiona un efecto negativo para los medicamentos. El presente trabajo de investigación propone un sistema de control automatizado y supervisión remota, que permita evaluar los estados y procesos de manera eficaz, logrando un sistema robusto mediante la utilización de equipos de control y supervisión de bajo costo, que conlleva un sistema de refrigeración aplicada a la conservación de medicamentos. Como resultados se obtiene un sistema supervisorio y de control mediante etapas que demuestran que el sistema propuesto permite una mayor eficiencia y optimización del control de temperatura de los cuartos refrigerados, mediante simulaciones realizadas en software y con equipos reales, las cuales demuestran su funcionalidad al realizar las pruebas en un cuarto refrigerado real lo cual servirá de evidencia de la funcionalidad del sistema. La metodología utilizada en este documento es de tipo correlacional con un enfoque cuantitativo, el cual mediante análisis permite valorar la información que se obtenga de las fuentes, simulaciones, y procesos para que de esta manera se pueda evaluar y experimentar el desempeño del sistema en un ambiente de trabajo real.

PALABRAS CLAVES: Defrost, Supervisión, Refrigeración, PLC, Válvulas de Expansión Electrónica, Termolábiles.

ABSTRACT

The refrigeration equipment currently offers few features and features during its operation, in the pharmaceutical industrial sector, carrying out the exhaustive control of the preservation of pharmaceutical products is an important role, which in many cases the quality of these can be compromised, when a refrigeration equipment fails, the internal temperature of the storage rooms begins to increase rapidly, which increases the temperature causes a negative effect for the medicines. This research work proposes an automated control and remote monitoring system, which allows to evaluate the states and processes efficiently, achieving a robust system through the use of low-cost control and supervision equipment, which involves an applied cooling system to the conservation of medicines. As a result, a supervisory and control system is obtained through stages that demonstrate that the proposed system allows greater efficiency and optimization of the temperature control of the refrigerated rooms, through simulations performed in software and with real equipment, which demonstrate its functionality when performing the tests in a real refrigerated room which will serve as evidence of the functionality of the system. The methodology used in this document is of a correlational type with a quantitative approach, which through analysis allows to assess the information obtained from the sources, simulations, and processes so that in this way the performance of the system can be evaluated and experienced in a real work environment.

KEY WORDS: Defrost, Supervision, Refrigeration, PLC, Electronic Expansion Valves, Thermolabil

INTRODUCCIÓN.

Con el incremento acelerado de nuevos métodos de automatización y supervisión que permiten tener un control de los procesos de manera eficiente, se presenta la necesidad de que los sistemas sean optimizados. Debido al crecimiento tecnológico las industrias y empresas optan por la aplicación y desarrollo de nuevos métodos de control que permitan mantenerse a la par de la tecnología garantizando la calidad y producción de sus productos.

La industria aplicada a la elaboración de fármacos no es una excepción en el proceso de mejora de calidad, teniendo en cuenta que la conservación de sus productos o materia prima son puntos clave para ofrecer un producto que cumpla con las normas de conservación, los cuales buscan una mejor continua de los procesos que conllevan al almacenaje de estos fármacos, evitando que los productos elaborados no sufran daño en sus composiciones químicas, físicas o su grado de eficacia, los cuales pueden verse afectados cuando se presentan fallas en los equipos encargados de la producción de frío en las áreas refrigeradas, por lo que les conlleva a tomar decisiones de mejorar su infraestructura y sus equipos de control.

Los sistemas de control son equipos centralizados capaces de tomar decisiones según los ambientes, parámetros y estados actuales de los sistemas, ofreciendo un sistema de automatización eficaz en los distintos procesos en los que se aplica, así como los sistemas de supervisión los cuales se emplean como sistemas capaces de recolectar información de un sin número de variables aplicadas al nivel de campo de una industria y mostrar estos valores o variables en un software (Dagoberto Montero et al., 2015).

En el presente trabajo de investigación se presenta un sistema de control y supervisión aplicado a equipos de refrigeración industrial en el área de conservación de medicamentos, empleando dispositivos de control más eficientes para tener un control preciso de los estados y procesos que conlleva este tipo de sistema, así como un sistema capaz de responder ante fallas

presentadas de los equipos, los cuales dichos procesos y pruebas se realizan mediante simulaciones con equipos reales para verificar que los procesos y etapas propuestas cumplan con las deficiencias habituales que se encuentran en un sistema de refrigeración típico.

Capítulo 1: Descripción general del trabajo de titulación.

1.1. Definición del problema.

Los equipos de refrigeración en la actualidad juegan un papel importante en los sectores industriales, dando un crecimiento notable en la conservación de alimentos e incluso medicamentos. Durante años la conservación de medicamentos en industrias farmacéuticas ecuatorianas ha conllevado a que obtén por la incorporación de equipos de refrigeración, debido a las diferentes temperaturas que tiene nuestro país en sus 4 regiones, que pueden afectar drásticamente a los medicamentos, siendo la temperatura y humedad los enemigos de estos (Control Sanitario, 2015).

Dados estos problemas varias empresas farmacéuticas optan por la implementación de equipos de refrigeración con nuevas tecnologías, que implican el uso de controladores lógicos programables, dado que los equipos de refrigeración industrial actualmente comercializados en Ecuador son equipos que cuentan dispositivos de accionamiento y control básicos (Carel, 2017). Siendo el campo de la refrigeración un área abierta para aplicar nuevos métodos de control como pueden ser los controladores robustos, PID e incluso difusos.

Los softwares destinados a la supervisión de los dispositivos de control, son partes integrales en la gran mayoría de áreas industriales de tipo complejo, ya que pueden almacenar y recopilar información de manera rápida y presentarla de forma amigable y eficaz, siendo estos puntos clave para un sistema automático (Dagoberto Montero et al., 2015).

Al no tener un equipo de supervisión en los sistemas, estos pueden empezar a salirse de los parámetros de funcionamiento sin previo aviso, por lo que necesita un seguimiento constante de sus procesos, lo cual conlleva a tener un operario de manera constante en el área del sistema.

Los sistemas de refrigeración son muy propensas a sufrir fallos eléctricos de manera constante si no se lleva un correcto seguimiento de las variaciones eléctricas que se tiene normalmente en una industria, que ocasionan que los equipos dejen de operar de manera inoportuna sin previo

aviso, generando que los medicamentos conservados pierdan su cadena de frío (Periáñez Parraga et al., 2016).

Si a los usuarios finales que se les suministran medicamentos que han pasado por una rotura de su cadena frío, puede ocasionar que al aplicarles estos medicamentos no cumplan con su tratamiento, dado a que han perdido de forma ligera su eficacia o la pérdida total de esta, que en ciertos casos estos pueden volverse tóxicos para el ser humano ocasionando la muerte.

Mediante el siguiente diagrama de causa-efecto que se muestra en la figura 1.1, se definen las distintas causas que afectan a la materia prima en estas industrias, las cuales fueron analizadas de forma general sobre las posibles fallas y efectos que estas producen en la industria de conservación, siendo este documento el cual se enfoca en dar solución a la falta de control de los sistemas de refrigeración que se encuentran instalados en la industria farmacéutica.



Figura 1.1: Análisis de causas mediante diagrama de Ishikawa.
 Nota: Diagrama elaborado en base a causa- efecto de la conservación inadecuada de medicamentos.

1.2. Justificación.

Los dispositivos de control PLC ofrecen un sistema más seguro para poder ser utilizado en la industria, siendo estos de gran aporte para mejorar los procesos de los sistemas actuales a comparación de los dispositivos de control que se encuentran en los equipos de refrigeración actualmente. Mediante el gran avance tecnológico se pueden controlar y manipular parámetros de forma remota, sin la necesidad de estar junto a los equipos, gracias al uso de los sistemas de supervisión SCADA se facilita de gran manera este tipo de aplicación de control remoto para la industria, permitiendo tener un control más preciso y rápido del funcionamiento actual de los equipos. El diseño del sistema de control y sistema de supervisión que se proponen a los equipos de refrigeración, mediante equipos de bajo costo y uso de software gratuito para el mejorar el sistema de estas industrias farmacéuticas. Los resultados obtenidos del sistema propuesto se simularán para demostrar su correcto funcionamiento de acuerdo con los procesos a controlar, permitiendo ofrecer un sistema eficiente que cumpla con las necesidades de los sistemas de refrigeración.

1.3. Delimitación.

Los sistemas de refrigeración en las industrias farmacéuticas que se dedican a la elaboración de fármacos cuentan con equipos de control y supervisión básicos. Siendo estos dos elementos puntos clave para el funcionamiento correcto de de estos equipos. Por lo cual al observar las aplicaciones básicas de control y supervisión con los que cuentan estos sistemas, en esta investigación se plantea únicamente la elaboración de un diseño de control y supervisión remota, considerando los equipos actuales y procesos que conlleva los sistemas de refrigeración actuales en este sector de conservación de medicamentos.

Para constatar el estudio de investigación se presenta los siguientes puntos a tratar:

- Uso de controladores lógicos programables de bajo costo para la elaboración del sistema de control principal y de las interfases HMI de los equipos de refrigeración.

- Simulación y pruebas del sistema supervisorio y de control propuestos en equipos reales.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Desarrollar un sistema de control automatizado y monitorización remota para la conservación adecuada de medicamentos de tipo termolábiles, mediante el uso de equipos de bajo costo industrial.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Proponer el diseño de un sistema de control automatizado para la correcta conservación de medicamentos mediante el uso de controladores lógicos programables aplicados a equipos de refrigeración industrial.
- Exponer los procesos internos que conllevan cada elemento de control para la automatización de equipos de refrigeración, mediante la representación de diagramas flujo.
- Realizar las simulaciones de funcionamiento y análisis de los datos producidos, por la operación entre los equipos PLC y los equipos de control de Refrigeración Full Gauge, mediante el uso de software de uso gratuito.

1.5. Metodología de investigación.

El estudio propuesto de los sistemas de refrigeración en el sector de conservación de medicamentos tendrá como punto clave el estudio de los equipos PLC y sistemas de monitorización, permitiendo tratar sobre la tendencia de estos sistemas y equipos en la industria, mediante el control automatizado de las unidades se logra proyectar el sistema a un control más robusto y preciso. Todo esto lleva a una investigación de tipo correlacional, descriptiva y explicativa mediante un enfoque cuantitativo, debido a las muestras que se darán como resultados al ejercer las simulaciones correspondientes de los sistemas a tratar en conjuntos con los equipos que

conforman un sistema de refrigeración industrial. En consecuencia, a la metodología propuesta se cumplirán aspectos tales como:

- Identificar y exponer los equipos de fuerza que conforman un sistema de refrigeración de tipo industrial.
- Describir los requerimientos que tiene los distintos equipos que conforman un control de temperatura, en el área de conservación de medicamentos.
- Definir las etapas de funcionamiento de un sistema de refrigeración las cuales se denotan en 2 unidades principales de funcionamiento.
- Proponer un sistema de control mediante el uso de equipo PLC y Controladores Full Gauge para refrigeración.
- Exponer las condiciones de conservación reglamentadas para la correcta conservación de medicamentos.
- Exponer los resultados obtenidos mediante el análisis y simulación del sistema propuesto.
- Exponer posibles costos de inversión, eficiencia y consumo energético de las unidades con el sistema propuesto.

Capítulo 2: Fundamentación teórica.

2.1 Estado de Arte.

En este punto se tratarán los distintos avances científicos desarrollados a equipos de control y sistemas de monitorización, los cuales servirán como aporte científico para el trabajo a desarrollar.

Los sistemas actuales de control y monitorización adoptan funcionamiento que permiten tener una reducción de emisiones y optimizar el funcionamiento general de los sistemas, siendo la refrigeración un proceso industrial que abarca un gran mercado de aplicación, que se debe considerar como punto clave para tener un sistema más eficiente reduciendo su impacto energético (Prtr-España, 2017). Los dispositivos tecnológicos actuales como los controladores lógicos programables puedan ejecutar diversos procesos secuenciales, mediante el uso de distintos lenguajes de programación, permitiendo realizar múltiples instrucciones de manera ordenada para poder ejecutar una operación, el punto favorable es que un solo equipo PLC puede ejercer diferentes trabajos, convirtiéndose en un dispositivo reconfigurable (Ruiz Juárez, 2017).

Según (Pérez, 2015) los sistemas de SCADA son un conjunto de aplicación de software que son diseñadas para poder operar sobre equipo de control de producción, teniendo acceso a la comunicación de los instrumentos, actuadores e interfaces graficas como HMI de alto nivel. Estos sistemas SCADA permiten comunicarse con los equipos de campo para así poder tener el control de los procesos de forma automática mediante pantallas ya sean de un computador, celular o Tablet, permitiendo al operario ver el estado de los equipos en forma real, así como cambiar los parámetros de funcionamientos de los equipos de forma remota, además de proveer a múltiples usuarios toda la información de los procesos.

Los sistemas de monitorización de tipo remoto son fiables para ofrecer a los usuarios un control de los estados de un proceso así como la evaluación a distancia de equipos cardiacos, como lo propone (Osca et al., 2009) para ser implementado un sistema de monitorización a distancia para el control de

equipos cardiacos permitiendo reducir el número de visitas hospitalarias a pacientes portadores de marcapasos.

El campo de la medicina tiene un crecimiento exponencial que puede permitirse implementar a este ámbito tecnologías de monitorización, permitiendo llevar un seguimiento de los pacientes, como propone (Aguas et al., 2017) un sistemas capaz de convertirse en telemedicina lo cual a transformado el control de enfermedades crónicas como son las enfermedades de tipo inflamatoria intestinal, la cual los medios de monitorización remota promueven una autonomía de los paciente para mejorar la calidad de vida de estos, haciéndole frente a la enfermedad.

Mediante los distintos protocolos de comunicación que posee el Internet, ha permitido que el sector industrial aplique sistemas de control y supervisión en sus instalaciones, a través de un puesto principal desde cualquier parte del planeta, permitiendo a la empresa establecer acciones sin la necesidad de una gran cantidad de operarios en las distintas máquinas de proceso, lo cual facilita el control de los estados y eventos que ocurran en los equipos, reduciendo costos de puestos de trabajos innecesarios (Navarro, 2016).

La automatización en las industrias y viviendas, son sistemas capaces de cumplir con las expectativas del usuario, teniendo a mano y en todo momento un control y detección de fallas, así como la elaboración de históricos de la evolución de los procesos a controlar. Hoy en día los puntos que se deben tener en cuenta en una instalación refrigerada, es que esta sea lo más automatizada posible para tener una correcta regulación de los sistemas de control, permitiendo obtener el máximo beneficios de estas, como serian una mayor seguridad y fiabilidad por parte del sistema (Serra & Colomé, 2017).

2.2. Sistemas de refrigeración.

Es un proceso el cual se usa para la conservación de productos o para generar un ambiente agradable, dado a que los sistemas de refrigeración se encargan en reducir la temperatura de un espacio y mantener la temperatura baja. Uno de los sistemas más comunes de refrigeración son los que cumplen el ciclo de compresión por vapor, el cual se muestra en la Figura 2.1, este

sistema funciona con 5 elementos indispensable los cuales son evaporador, condensador, compresor, válvula de expansión y gas refrigerante.

Los principales usos de los sistemas de control de temperatura se dan en áreas de almacenamiento, transporte de alimentos y en la comodidad humana pero también se dan de manera numerosa en procesos industriales. Dada estas circunstancias las aplicaciones de los sistemas de refrigeración son muy diversas. Los sistemas de refrigeración son muy distintos a los aires acondicionados convencionales, pero funcionan de la misma manera, aplicando el ciclo inverso de Rankine (Romero et al., 2017).

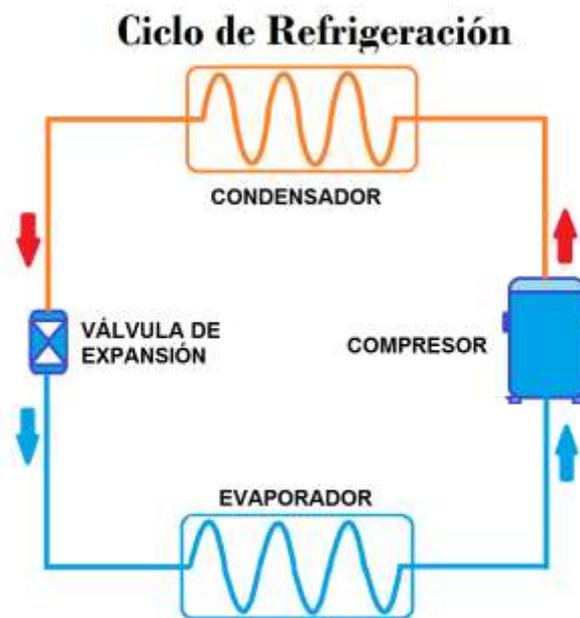


Figura 2.1: Esquema de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor.
Nota: Obtenido de (Quimobasicos, 2019) y modificado por Autor.

El proceso de refrigeración por compresión se logra haciendo circular el gas refrigerante que se encuentra en estado líquido mediante la compresión del compresor, a través de las tuberías hacia un dispositivo de expansión el cual se encarga en convertirlo en estado gaseoso e ingresarlo al evaporador, y este el cual se encargara de absorber el calor que genera el estado de evaporación, pasando este proceso, el gas viaja a través de la tuberías hacia el condensador, el cual se encarga de expulsar el calor absorbido anteriormente y a su vez convirtiendo el gas nuevamente a estado líquido, repitiendo el proceso.

2.2.1. Análisis de los equipos de refrigeración actuales.

Para poder entender la funcionalidad de un equipo de refrigeración, se expondrá múltiples conceptos y breves descripciones de las partes que conforman estos equipos. Se analizará uno de los equipos de refrigeración más utilizado en la industria, para el enfriamiento y conservación de productos, dados a que estos equipos pueden ser utilizados en diferentes ambientes y cargas de trabajo.

Un equipo de refrigeración industrial consta con dos elementos principales, los cuales trabajan conjuntamente para lograr el enfriamiento de un espacio, estos elementos son conocidos como equipo condensador y equipo evaporador, generalmente estos equipos son muy similares a los sistemas de enfriamiento convencionales, como son los refrigeradores, congeladores y aires acondicionados, por lo cual estos conforman una sola familia. Las diferencias que se pueden encontrar en los equipos de refrigeración industriales a comparación de los convencionales son las capacidades de enfriamiento que estos equipos pueden alcanzar o mantener, de manera que no existan muchas pérdidas o variaciones de temperaturas en los espacios enfriamiento (Angulo, 2016).

A continuación, se detallará los equipos que conforman un sistema de refrigeración industrial, en la siguiente Figura 2.2 se observa las partes que conforman un Equipo Condensador de Refrigeración.



Figura 2.2: Equipo Condensador de Sistema de Refrigeración.
Nota: Obtenido de (CRYO SYSTEMS, 2018)

- Compresor. El compresor es uno de los elementos más importante en un condensador, este dispositivo permita la compresión y circulación del gas refrigerante que circula por el sistema.
- Ventilador. El ventilador es el dispositivo encargado de expulsar el aire caliente que se encuentra en la línea de condensación, evitando recalentamiento al sistema.
- Presostato. Los presostatos son elementos indispensables en las líneas de alta y baja presión del sistema de refrigeración, esta se encarga de accionar o no el flujo de corriente al compresor, en caso de que exista una fuga de gas refrigerante.
- Serpentin del Condensador. En este elemento circula el gas refrigerante a alta presión, expulsando el aire caliente absorbido en el sistema de evaporación.
- Recibidor de Líquido. Este elemento es el encargado de acumular el gas refrigerante que se encuentra en exceso durante la absorción de la carga térmica del evaporador.
- Solenoide de líquido. Es la encargada de hacer accionar y apagar el compresor.

Los elementos que conforman al equipo condensador, se los puede encontrar en cualquier otro equipo de las mismas capacidades, estos equipos no constan con circuitos de control y potencia, los cuales deben ser implementados por parte del personal técnico instalador, generalmente estos paneles de control son de tipo mecánicos o análogos (Angulo, 2016).

A continuación, en la siguiente Figura 2.3 se puede observar los elementos que conforma un equipo evaporador industrial frigorífico.

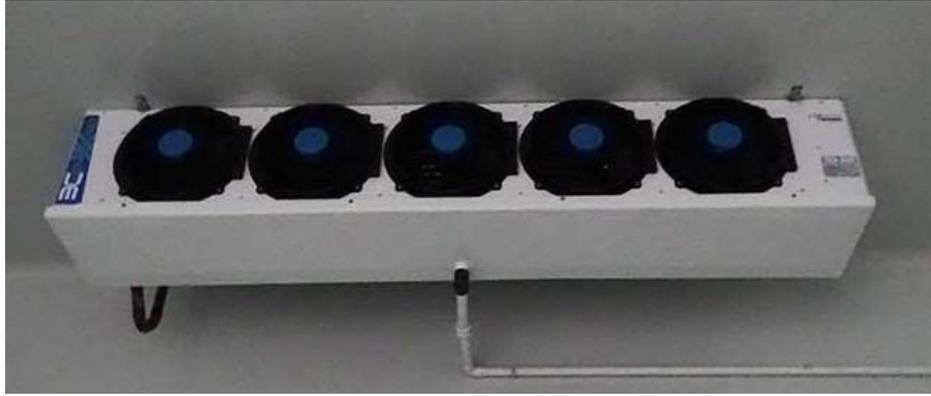


Figura 2.3: Evaporador Frigorífico de tres ventiladores.
Nota: Obtenido de (Bernad Refrigeración, 2019)

Un evaporador frigorífico consta con los siguientes componentes;

- Ventiladores. Estos son los encargados de hacer circular el aire caliente que se encuentra en el espacio o área de trabajo.
- Serpentín de Evaporador. Es un componente en el cual circula el gas refrigerante a baja presión, absorbiendo la carga térmica que se encuentra en el ambiente.
- Válvula de expansión. La válvula de expansión es la encargada de reducir el gas refrigerante de alta presión a baja presión, para que este ingrese al serpentín del evaporador, generalmente es mecánico y funciona con un bulbo que sensa la temperatura, este permite la regulación y apertura de la válvula de expansión.
- Resistencia de descongelamiento. Es la encargada de mantener el serpentín del evaporador libre de cristalización de hielo, para evitar que se obstruya.

2.3. Sistemas de control.

Un sistema de control puede definirse como un ente que toma datos externos o variables de entrada, las cuales son procesadas para luego ejecutar una acción en respuestas a las variables de entradas. En los datos externos existen dos tipos de variables, las que se pueden manipular y las perturbaciones que son las no controlables. En la siguiente Figura 2.4 podemos observar de modo conceptual el funcionamiento de un sistema de control. Un sistema de control se caracteriza por tener una serie de elementos que trabajan entre sí para poder influir en el funcionamiento correcto del sistema, su objetivo es conseguir mediante las alteraciones de las variables

de entradas o manipulables un control sobre las acciones en la salida del sistema, de tal manera se logre llegar a las consignas predefinidas. (Fernández, 2017)

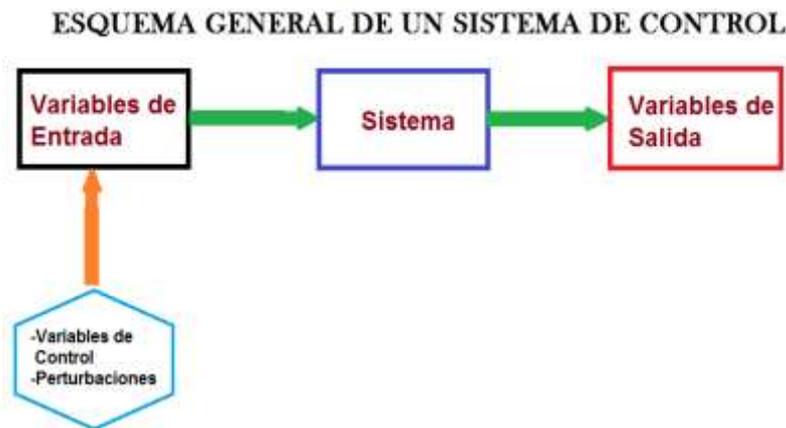


Figura 2.4: Esquema conceptual de un sistema de control.
Nota: Obtenido de (Moreno et al., 2014) y modificado por Autor.

Un sistema de control ideal debe cumplir su deber fundamental cumpliendo las siguientes características:

1. Garantizar la mayor estabilidad posible y poder responder ante las perturbaciones.
2. Ser lo más eficiente, teniendo el control total de las variables de control para que así evitar que el sistema tenga comportamientos bruscos.
3. Deber ser intuitivo y de fácil implementación, además de ser cómodo de operar a través de un ordenador que maneje el sistema en tiempo real.

Los elementos básicos que permiten su manipulación y control en un sistema son los siguientes:

- Sensores. Nos permiten leer las variables que se pueden medir mediante valores digitales o análogos en el sistema.
- Controladores. Estos calculan la acción que deben ejecutar las variables de control mediante los valores que se obtuvieron en la lectura de los sensores y la consigna fijada.
- Actuadores. Es el dispositivo que ejecuta la acción emitida por el controlador y que es capaz de modificar las variables de control.

2.3.1. Configuraciones de un sistema de control.

Las configuración de un sistema de control son las siguientes, la de lazo abierto y la de lazo cerrado, en los sistemas de control de lazo abierto se toman acciones de acuerdo a las señales de entradas del sistemas, en estos casos el sistema no puede tomar acciones o compensaciones a las perturbaciones que se incorporan a las señal del actuador, esto ocurre debido a que el sistema carece una retroalimentación, en los sistemas de control de lazo cerrado estos toman decisiones de acuerdo a la salida y comparan las señales que se encuentran en la entrada del sistema, esto se le denomina retroalimentación, la cual nos permite que el sistema tome acciones de acuerdo a las perturbaciones exteriores y que estas puedan ser corregidas.(Pérez & Cauro, 2016)

En la siguiente Figura 2.5 podemos observar cuales son los elementos que conforman un lazo de control abierto y uno cerrado, en la parte superior tenemos el lazo de control cerrado, el cual consta con la señal de entrada que ingresa a un comparador, la salida de este comparador se dirige al elemento de control, la salida de este se dirige al proceso a controlar y que a su vez su salida se dirige a la etapa de retroalimentación que ingresa los datos obtenidos de las perturbaciones y que posteriormente ingresa al comparador para hacer el cálculo respectivo para responder ante estos cambios, en la parte inferior se observa el sistema de control de lazo abierto, el cual no posee retroalimentación pero este responde a las señales de entrada que ingresan al elemento de control y la salida de este al proceso, que a su vez este ya será la señal del dispositivo a controlar.

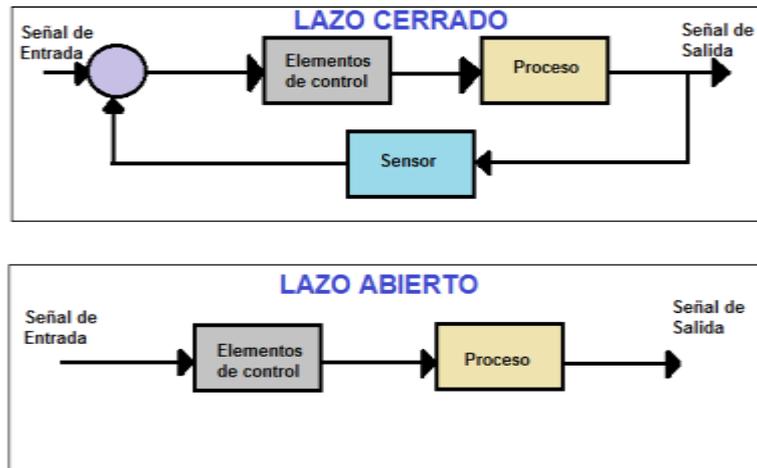


Figura 2.5: Esquema en bloques de las configuraciones de un sistema de control.

Nota: Obtenido de (Mecafenix, 2019) y modificado por Autor.

2.3.2. Tipos de Sistemas de Control.

Existen varios tipos de sistemas control, estos pueden ser de tipo on-off, tipo integral, tipo proporcional, tipo proporcional-integral, tipo proporcional-derivativa y tipo proporcional-integral-derivativa. Estos distintos tipos de sistemas de control nos proporcionan una mejor respuesta del sistema de forma estable y transitoria. (Perez & Cauro, 2016a)

Los sistemas de control que cuentan con estas acciones ya sean integral, derivativa o proporcional, juegan un papel importante en el control de procesos, ya que cada uno se enfoca, en que el sistema pueda responder a posibles perturbaciones externas de forma rápida y eficiente, sin perder control en los sistemas.

2.3.3. Sistemas de control alternativos.

Los tipos de sistemas de control que se mencionaron anteriormente son muy utilizados en la actualidad, pero estos poseen muchas limitantes ya que pueden ser vulnerables a cambios que no se tomaron en cuenta cuando estos fueron diseñados. Debido a esto existen tres tipos de configuraciones alternativas en la actualidad como son el control adaptativo, control robusto y el control difuso. El control adaptativo puede cambiar su comportamiento para actuar en cambios que no estaban previstos en los diseños. El control Robusto

se enfoca en la falta de seguridad de los sistemas y reacciona a estos para que responda de manera óptima. El control difuso es muy diferente a los sistemas de control convencionales, debido a que utiliza el conocimiento experto para responder en una acción de control. (Perez & Cauro, 2016a)

2.4. La automatización.

La automatización abarca grandes industrias en la actualidad, facilitando los sistemas de control para los operarios, y generando una mayor productividad para las empresas. En la actualidad estos sistemas son incorporados en áreas de la producción, que habitualmente las ejercían los operarios y que ahora son reemplazados con dispositivos tecnológicos.

En un sistema automatizado tiene dos partes fundamentales, las cuales son; La parte operativa y la parte de mando. La Parte Operativa. Es aquella que se encuentra actuando directamente sobre la máquina. son los elementos y dispositivos que hacen que la maquina se mueva y ejecute las acciones deseadas. Aquellos elementos que conforman la parte operativa son los actuadores que en este caso serían los motores, válvulas, bombas, finales de carrera, etc. La Parte de Mando. Suele ser siempre el dispositivo que se encarga de enviar las acciones a los actuadores, estos son conocidos como autómatas programables, y que generalmente son tarjetas electrónicas o módulos lógicos. Este dispositivo es el centro del sistema y debe ser capaz de comunicarse con las partes que conforman el sistema automatizado (Jaramillo, 2016).

Los objetivos que tienen la automatización son los siguientes;

- Mejora de producción en la empresa, generando mayor calidad y menor costo de producción.
- Mejorar las condiciones del operario, eliminando los trabajos que atentan con su seguridad.
- Poder realizar trabajos que son difíciles de controla de forma manual.
- Simplificar la operación de las maquinas, para que los trabajadores no requieran de grandes conocimientos para su respectivo control.

2.4.1. Pirámide de la automatización.

Desde los principios en los cual se incorporó la automatización en las industrias, estas han evolucionado de forma agigantada, gracias a la integración de nuevas tecnologías que mejoran su productividad, estos sistemas hoy en día son capaces de controlar las más altas demandas en la producción industrial.

La tecnología que fue creciendo en estos sistemas a formado parte de grandes avances, que hasta ahora han sido representados en forma de una pirámide, con los distintos niveles de evolución de estos sistemas, en la siguiente Figura 2.6 se puede observar dicha pirámide de la automatización.



Figura 2.6: Pirámide representativa a los niveles de la Automatización.
Nota: Obtenido de (Says & Rojas, 2017) y modificado por Autor.

2.4.1.1. Nivel de campo.

El nivel de campo es la base de la pirámide, dado a que en el reposa toda la responsabilidad de confiabilidad y seguridad. De forma general este nivel hace referencia a los dispositivos e instrumentos de medición y acción, en los cuales se pueden mencionar algunos, tales como motores, cilindros, bombas, sensores de presión, sensores de caudal, y entre otros. Esta área es la que conlleva mayor cuidado y mantenimiento, por ser el nivel que tiene más actividad y uso continuo en los procesos.

En este nivel se sitúan múltiples elementos que incluyen los dispositivos físicos que están presentes en la industria, como son los actuadores y sensores, estos dispositivos son parte de un equipo productivo de la industria.

El nivel de campo está en constante comunicación con el nivel de control, debido a que informan al nivel de control como están los procesos en tiempo real. (Witorg, 2018)

2.4.1.2. Nivel de control.

En este nivel se encuentran los controladores lógicos programables (PLC), se encarga de recibir los datos de los instrumentos de medición del nivel de campo, además envía las señales de activación a los actuadores. En el nivel de control los PLC son los encargados de tomar la decisión que ejecutaran los actuadores, y de llevar un análisis y recopilación de datos de los sensores en el nivel de campo, los PLC se encuentran en constante comunicación con la etapa de supervisión, mostrando los datos obtenidos de manera visual en la etapa antes menciona. De forma física la mayoría de los dispositivos de la etapa de control son muy robustos, por lo que ofrecen una mayor seguridad, velocidad de procesamiento y resistencia a las condiciones en las que son expuestas. (Steemit, 2018)

2.4.1.3. Nivel de supervisión.

En este nivel se utilizan sistemas SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) en los cuales se pueden observar, supervisar y controlar las distintas variables del sistema, tomando en cuenta los datos obtenidos por los PLC. A estos dispositivos se los conoce comúnmente como HMI (Interfaz Hombre-Maquina) y generalmente están ubicados cerca de los procesos de nivel de campo. En esta área un operario se encuentra supervisando los procesos y visualizando los estados de las maquinas, sin tener que comprometer su seguridad. Los entornos SCADA permiten comunicarse con varios dispositivos del nivel de control, y coordinarlos entre sí para poder tener los datos en un solo sistema. (Witorg, 2018)

2.4.1.4. Nivel de gestión.

Este nivel tiene un enfoque más administrativo en la automatización, debido a que se pueden visualizar datos importantes del entorno de trabajo,

tales como históricos, fallas, tiempo de uso y la optimización de los procesos. En el área de gestión se pueden observar todos los datos obtenidos del sistema durante todo su tiempo de ejecución de los procesos y de esta manera poder realizar un estudio de las posibles mejoras o correcciones que se deberían hacer al sistema. (Steemit, 2018)

Como se menciona anteriormente esta área está enfocada al área administrativa, dando facilidad a las compañías monitorear sus procesos productivos tanto en ventas, compras y otros aspectos relacionados a la producción.

2.5. Topologías de red.

Las topologías de red son disposiciones físicas o lógicas en las que se realiza una conexión en una red, para entrelazar distintos dispositivos, existen varios tipos de topología las cuales se describen a continuación.

- Topología de tipo Bus; este tipo de topología es una de las más utilizadas por redes de difusión, dado a que se transmite sin que esta haya sido solicitada. Físicamente esta red cuenta con una línea principal central, la cual incorpora varios nodos de conexión, en los cuales se conectan los dispositivos a comunicar.

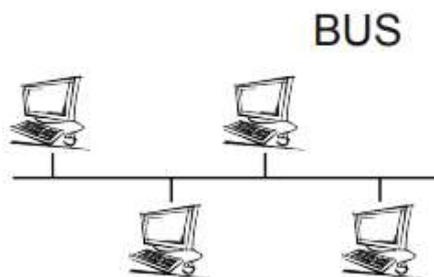


Figura 2.7: Topología de tipo bus.
Nota: Obtenido de (Zúñiga, 2015).

- Topología de tipo Anillo: este tipo de conexión se conoce por estar interconectada con los dispositivos terminales a través de un cable de comunicación, situado uno a continuación del otro, dando forma a un círculo, las señales circulan en un solo sentido alrededor del anillo o círculo.

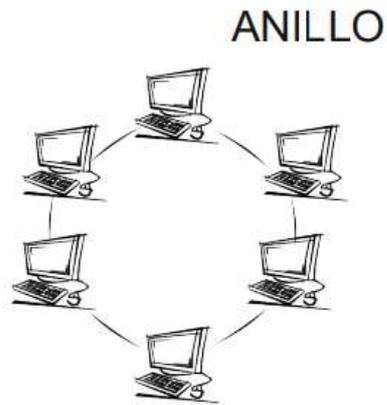


Figura 2.8: Topología de tipo anillo.
Nota: Obtenido de (Zúñiga, 2015).

- Topología de tipo Estrella: Este tipo de topología permite una conexión directa de los dispositivos terminales y el concentrador.

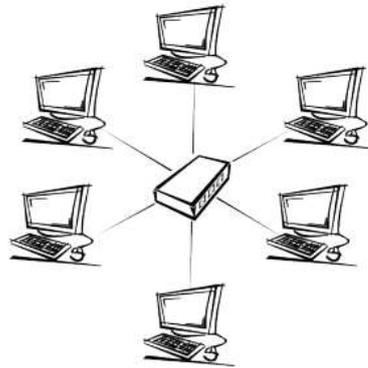


Figura 2.9: Topología de tipo estrella.
Nota: Obtenido de (Zúñiga, 2015).

- Topología tipo Malla: este tipo de conexión es muy común en redes WAN, dado a que todos los nodos están interconectados uno con otro, dando forma a una malla.



Figura 2.10: Topología de tipo Malla.
Nota: Obtenido de (Zúñiga, 2015).

- Topología tipo Árbol: este tipo de red da forma similar a un árbol jerárquico de conexiones entre elementos terminales, donde si un nivel falla afecta a los que le continua, mas no afecta a las conexiones anteriores.

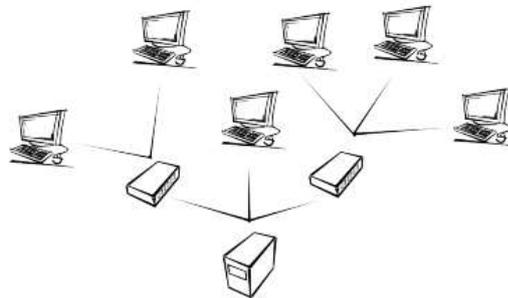


Figura 2.11: Topología de tipo Árbol.
Nota: Obtenido de (Zúñiga, 2015).

2.6. Arquitecturas de sistemas de control.

Las arquitecturas más utilizadas en los sistemas de control industrial son dos, arquitectura centralizada y arquitectura distribuida, existen otras que se basan en la combinación de estas mencionadas. Las arquitecturas de tipo centralizada se constituyen por una estación principal de operación, la cual se encarga de facilitar el flujo de información entre los procesos. En cambio, la arquitectura de tipo distribuida es habitualmente usada en procesos que operen de forma continua y que los elementos de control no se encuentren en un lugar específico, sino a través de todo el sistema, generalmente este se emplea mediante un solo canal (Uribe et al., 2016).

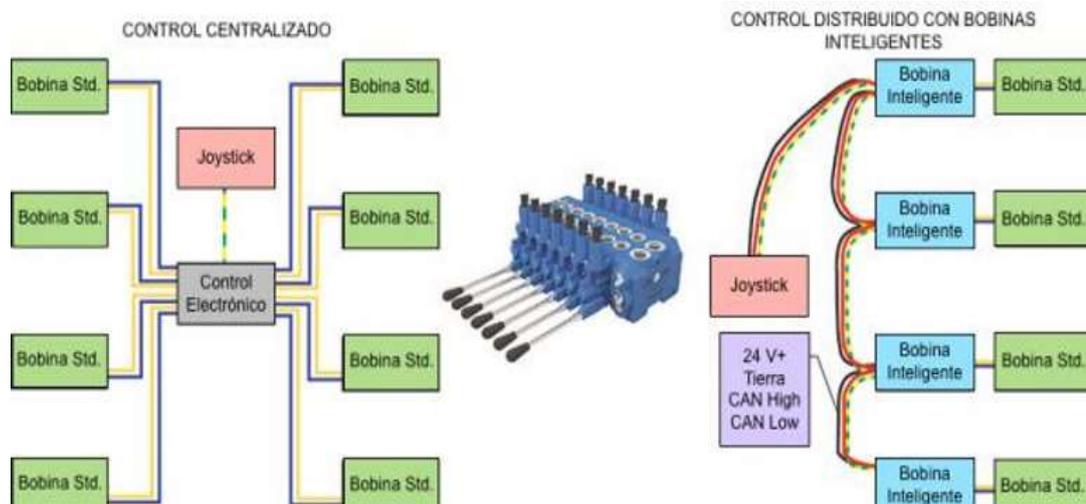


Figura 2.12: Arquitectura de red Centralizada y Distribuida de un sistema de bobinas.

Nota: Obtenido de (Solorzano, 2016).

2.7. Protocolos de comunicación industriales.

Los protocolos de comunicación son conjuntos de reglas que permiten el intercambio de información entre varios dispositivos que conforman una red, permitiendo intercomunicar dos equipos de distintas marcas, teniendo en cuenta si los dos poseen el mismo protocolo de comunicación, como se menciona a continuación, los distintos protocolos que existen en la industria (Roque & Enciso, 2017).

- Ethernet / IP: Este es un protocolo de red que es muy utilizado en la automatización industrial, la cual se basa en protocolos TCP / IP, además de ser bastante utilizados por hardware y software Ethernet, brindando un nivel de protocolo de fácil configuración.
- DeviceNet: Este protocolo de comunicación permite a los dispositivos de forma individual (actuadores, arrancadores, sensores, etc.) comunicarse con el controlador de red principal, lo que implica que este protocolo trabaja con los dispositivos del nivel jerárquico más bajo según su capa.
- AS-Interface: Es un sistema de cables avanzado que son conectados a un controlador y a los dispositivos de campo, este protocolo permite el uso rápido y fácil de comunicar con los dispositivos, todo esto mediante el uso de un solo cable.
- Profibus: Es un estándar de tipo abierto donde su interfaz permite una gran variedad de procesos, fabricación y automatización, en este protocolo existen tres versiones distintas tales como, Profibus-DP, Profibus-PA, y Profibus-FMS.
- ModBus TCP / IP y Modbus RTU: Este protocolo ModBus se utiliza para crear una comunicación entre cliente y servidor en los dispositivos, El ModBus TCP/IP es un protocolo diseñado para permitir la comunicación industrial de equipos PLC, drivers, Pc, y otros tipos de equipos físicos de entradas y salidas, mientras que el protocolo ModBus RTU es una representación binaria de datos compactados.

- Profinet: Este protocolo está basado en Ethernet industrial, TCP/IP y otros estándares de comunicación, sus características destacan que es un Ethernet de comunicación real, donde los equipos se pueden comunicar mediante un bus de campo, con el cual cada dispositivo coopera para realizar sus solicitudes de estados, existen algunos de estos como, Profinet/CBA, Profinet/DCP, Profinet/IO, Profinet/MRP, Profinet/MRRT, Profinet/PTCP, Profinet/RT, y Profinet/IRT.
- Serial Attached SCSI: es una tecnología de transmisión de datos con dispositivos de almacenamiento, en las cuales una de sus características es que puede gestionar una tasa de transferencia al momento en el que se incrementa los dispositivos conectados, haciendo que el sistema responda más rápido.
- Ethercat: Es un protocolo abierto para informática, dado a que tiene un rendimiento muy alto, estos son muy utilizados en ambientes industriales donde puede ser activado con o sin interruptores.
- Bacnet: Es un protocolo utilizado en edificios automatizados en donde la comunicación es esencial, hoy en día este sistema tiene tres capas físicas de enlaces con las cuales permiten una comunicación segura y rápida, sus capas físicas son las siguientes, PTP (Punto a Punto), MS/TP (MasterEsclavo / TokenPassing), y ARCNET.

2.8. Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA o más conocidos como Sistema de control y Adquisición de Datos, es un software capaz de supervisar y controlar los estados de un sistema de control de forma remota, facilitando a los usuarios y operarios los datos de los estados de los equipos, así como el cambio de forma remota de los parámetros de funcionamiento de los equipos, generalmente estos sistemas son utilizados en áreas donde los equipos se encuentran alejados. La parte visual de los sistemas SCADA son puntos importantes, ya que ofrece a los operarios la posibilidad de usar el sistema sin tener conocimiento teórico sobre los procesos del sistema. Es fundamental

comentar que los sistemas SCADA funcionan o efectúan sus acciones mediante los controladores lógicos programables, y que mediante esta comunicación entre ellos, se puede manipular y controlar la producción (Romera, 2018).

2.8.1 Componentes de un sistema Scada.

Los sistemas Scada tienen múltiples componentes que trabajan en conjunto para obtener un solo sistemas adaptables a las necesidades de los procesos, los componentes más esenciales son los siguientes.

- Unidad Remota RTU: este es un equipo instalado en un lugar específico para encargarse de recopilar y codificar los datos para luego ser transmitidos hacia la estación principal MTU o hacia otra RTU, esta también recibe información desde la unidad principal y sirve de intermediario para ejecutar las acciones enviadas por el MTU (Corrales, 2017).
- Sistemas de Comunicación: Este componente se encarga de la transferencia de información desde la ubicación del RTU hasta el sistema supervisor MTU, los tipos de comunicación pueden ser cableados o no cableados mediante protocolos de comunicación estándares (Silupú, 2016).
- Unidad Maestra MTU: es el dispositivo principal del sistema el cual se encarga de supervisar y recoger la información del resto de las estaciones, este además se encarga de preguntar constantemente el estado del RTU y enviar las acciones correspondiente a este (Perez & Cauro, 2016).
- Interfaz Hombre-Maquina: Es un mecanismo que le permite al operador interactuar de manera fácil con el sistema, además de controlar los procesos, y observar alarmas o eventos producidos en el sistema durante su operación (Corrales, 2017).

2.9. Controladores lógico programable.

Los autómatas programables o también conocidos como PLC, son dispositivos programables que están diseñados para ser utilizados en el entorno industrial debido a su robustez, estos dispositivos tiene memorias internas que le permiten ejecutar acciones previamente programadas por parte del técnico, estos autómatas nos proveen soluciones específicas como temporizadores, contadores, comparadores, funciones, con el objetivo de poder controlar y manipular las entras y salidas ya sean digitales o analógicas de diversos procesos.

Los PLC como se los conoce son dispositivos electrónicos que pueden ser programados por el usuario a través de un software, estos dispositivos fueron fabricados para cumplir operaciones lógicas y están destinado a controlar grandes procesos y maquinas complejas. Este dispositivo es capaz de reemplazar una gran variedad de elementos mecánicos, tales como relés de comandos, temporizadores y contadores electromecánicos, controles sencillos de lazos abiertos o lazos cerrados y además es capaz de poder tener el control o visualización de alarmas, y la regulación de dispositivos remotos (Cappiello & Pezzolo, 2017).

2.9.1. Estructura de un autómata programable.

Los autómatas programables tienen como parte principal la Unidad Central de Procesamiento, la cual se encara de ejecutar las acciones y verificar las entradas y salidas de este dispositivo, un autómata programable por lo general establece comunicación mediante canales de buses internos, los cuales se les puede incorporar entradas y salidas mediante módulos expansores, tales como sensores, entradas y salidas análogas o digitales (Atencio & Huallparimachi, 2018).



Figura 2.13: PLC modelo Simatic s7-1500 de Siemens.
Nota: Obtenido de (Siemens, 2018)

La estructura del hardware está formada por:

- Unidad central de procesamiento.
- Memoria de programas.
- Elementos de entrada.
- Elementos de salida.
- Elementos de acoplamiento.
- Elementos de alimentación.

Los grupos de entrada preparan las señales externas que se reciben en los módulos del autómata, de la misma manera incorporan filtros y separadores de señales de fuerza y control para prevenir fallas en el dispositivo.

El campo de aplicación de los PLC es muy extenso, por lo habitual se aplica en procesos de fabricación o control industrial, dado a que su sistema es de fácil manejo y permite ser modificado su programación en cualquier momento (Cappiello & Pezzolo, 2017).

2.9.2. Sistemas de interfaz hombre máquina.

Los sistemas que permiten la interacción entre maquina y operario son los dispositivos denominados HMI o Interfaz Hombre-Maquina, estos sistemas permiten al operario o usuario de los sistemas de control o supervisión la interacción con los procesos, permitiendo leer y manipulas múltiples variables de una planta o industria. (Dagoberto Montero et al., 2015) .

Estos sistemas brindan la interacción con los procesos mediante una interfaz gráfica, que permite la comunicación con el sistema de control principal, algunos de los aspectos que brinda este sistema son:

- Indicación de estados de los procesos que se ejecutan en el sistema.
- Indicación de eventos y alarmas del sistema.
- Ejecución de acciones a distancia.



Figura 2.14: HMI de Siemens Logo TDE.
Nota: Obtenido de (Siemens, 2018)

2.9.3. Logo PLC.

Es un dispositivo electrónico que hace la mención de ser un autómata programable, nos permite tener el control de uno o varios procesos sin tener que acudir a la intervención humana, este dispositivo debe ser programado previamente a través de su software de programación o de forma manual, a través de su teclado y pantalla funcional.

El logo V8.2 es uno de los dispositivos más actuales de esta gama de PLC LOGO, Siemens como empresa diseñadora de este dispositivo, ofrece al usuario tener control de sus bloques de programación, de acuerdo con proceso o trabajo a implementar, el Logo consta con entradas digitales y analógicas, y a su vez salidas digitales. Existen varios modelos relacionados a este dispositivo. Su fabricante a diseñado este autómata para que sea accesible a cualquier público, puesto que es muy económico y de fácil manejo para tareas no tan complejas.



Figura 2.15: Logo V8.2 con conexión a ethernet.
Nota: Obtenido de (SyS, 2018).

2.10. Software de programación LogoSoft.

LogoSoft es un software que permite la programación de controladores lógicos programables de la marca Siemens, el cual mediante programación en Bloques se pueden crear las acciones que el sistema debe tomar, así como las variables que debe leer en sus entradas, no tan solo puede ser programado en Bloques, sino también en Ladder (Escalera), el lenguaje intuitivo que ofrece este software es de fácil uso, dado a que se basa en lógica secuencial mediante el uso de compuertas lógicas como AND, OR, NOT, y entre otras, además de ofrecer un medio de simulación de la programación creada en este software en el mismo computador, el cual ofrece al usuario realiza las pruebas correspondientes de funcionalidad, antes de cargar el programa al PLC. (Siemens, 2018)

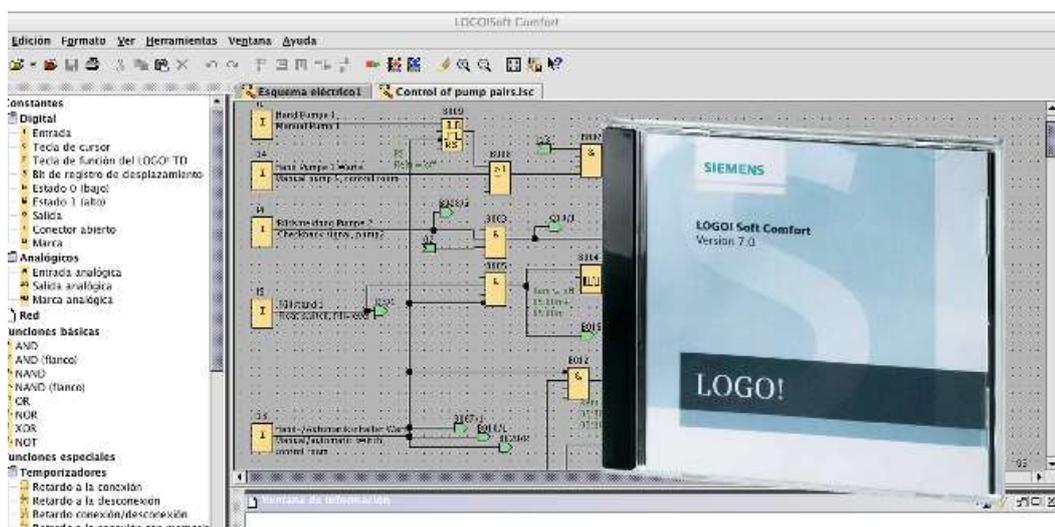


Figura 2.16: Entorno de trabajo de Logo Soft.
Nota: Obtenido de (Siemens, 2018)

2.11. Módulos de expansión RTD.

Los módulos de expansión son dispositivos adicionales que se le colocan al PLC LOGO para aumentar sus capacidades de entradas y salidas, el módulo de expansión RTD nos permite tener lectura de sensores de temperatura, tales como Pt100/Pt1000, dicho módulo de expansión amplía las lecturas Análogas que nos provee un Logo, permitiendo aplicar el PLC en áreas donde se necesite el control de temperaturas como hornos o equipos refrigerados.

Este dispositivo funciona con una entrada de voltaje de 12vdc o 24vdc, nos permite conectar dos Sensores de Temperatura PT100/PT1000, la cual lee temperatura desde -50° a 200° C, y se acopla fácilmente al Logo.



Figura 2.17: Modulo AM2 RTD para Logo8.
Nota: Obtenido de (Automation24, 2019).

2.12. Sensores.

Los sensores de temperatura son dispositivos que convierten magnitudes físicas en variables eléctricas medibles, estos dispositivos son capaces de medir la mayoría de los parámetros físico, tales como temperatura, presión, luz, humedad, entre otros. Están presentes en aquellos lugares donde no sea posible obtener magnitudes eléctricas.

Al convertir las magnitudes físicas en señales eléctricas, estas pueden ser leídas por un microcontrolador o autómeta, el cual usara esta información para responder y accionar o controlar una salida o actuador.



Figura 2.18: Sensor de Temperatura PT100.
Nota: Obtenido de (SRC, 2016).

2.12.1. Válvulas de expansión electrónicas.

Las válvulas de expansión electrónica son dispositivos de accionamiento electromagnético regulable, los cuales apertura o cierran el pase de gas refrigerante por el interior de su cámara, no si antes calcular las temperaturas de salidas y de entradas, las cuales sirven como datos esenciales para realizar el cambio de apertura de estas válvula, mediante el uso de un controlador electrónico, generalmente estas VEE son usadas en equipos de refrigeración convencional, como son los aires de tipo Split Inverter.



Figura 2.19: Válvula de expansión electrónica VEE.
Nota: Obtenido de (Full Gauge Controls, 2016).

2.13. Equipos de medición full gauge.

Full Gauge una empresa la cual se dedica a la fabricación y diseño de una amplia gama de dispositivos de medición digital, estos están enfocados al área de la automatización industrial, comercial y residencial. Los instrumentos digitales que ofrece esta empresa están dirigidos a dar soluciones para la refrigeración, calefacción, climatización y calefacción solar.

De los dispositivos que gestiona Full Gauge son los de medición y control, los cuales pueden recopilar temperatura, corriente, voltajes, humedad y controles PID. Todos los productos que ofrece esta empresa pueden ser

comunicados entre si mediante equipos de comunicación, para luego ser visualizados de manera local a través de dispositivos HMI o SCADA, dado a que trabajan con protocolos de comunicación tipo Serial.

2.13.1. Programador de temperatura Vx-950Plus.

Dispositivo capaz de controlar sistemas de refrigeración de gran magnitud, este controlador permite medir variables de temperatura, control de defrost (Descongelamiento de Panel) y control de compresores o ventiladores de hasta 2 hp. El Vx-950Plus puede ser aplicado en equipos de refrigeración, congelación y sistemas en los que requieran el control de temperatura. Este dispositivo controlador, se encarga de adquirir los datos de temperatura de salida y presión del evaporador, para que esta sea comparada con los datos técnicos del gas refrigerante, que se encuentra circulando en el sistema. Mediante un controlador de lazo cerrado, permite hacer la regulación de forma automática a la Válvula de expansión electrónica (VEE), la cual se encargará de mantener la circulación óptima de gas refrigerante por el serpentín del evaporador.



Figura 2.20: Dispositivo controlador VX-950 Plus para control de VEE.
Nota: Obtenido de (Full Gauge Controls, 2019).

2.13.2. Dispositivo de protección de fases Phaselog.

Es un dispositivo electrónico que se encarga de la monitorización y protección de los equipos eléctricos conectados a su sistema. Puede controlar cargas monofásicas, bifásicas y trifásicas, mediante la medición de voltaje True RMS, puede proteger de alertar si existe cambios o faltas de las fases de energía. Posee un reloj interno y memoria capaz de almacenar los valores de voltaje obtenidos en cada fase de la red eléctrica, durante un tiempo determinado por el usuario. Este dispositivo puede ser conectado mediante comunicación serial por medio del sitrad para tener el control y visualización

de los datos a través de un sistema de supervisión. (Full Gauge Controls, 2017)



Figura 2.21: Dispositivo de protección y monitorización PhaseLog.
Nota: Obtenido de (Full Gauge Controls, 2017).

2.13.3. Software de supervisión sitrad.

El software Sitrad es un programa desarrollado por Full Gauge Controls, el cual le permite al usuario tener control de los procesos a distancia, ya sea de forma local o remota mediante móvil, este software es aplicado al sector de refrigeración, climatización y calefacción solar. El software permite el acceso a los usuarios previamente registrados en el sistema, cada usuario puede acceder al sistema desde cualquier parte del mundo, solo teniendo un computador con conexión a internet. Este software nos permite hacer cambios en los parámetros de funcionamiento de los dispositivos a controlar, poder visualizar los datos en tiempo real, historial de funcionamiento y visualización de alertas o alarmas del sistema.

Para poder comunicar los dispositivos de control Full Gauge se necesita un módulo Sitrad y un dispositivo Conv32, a continuación, se puede observar la conexión de estos dispositivos en la Figura 2.22.

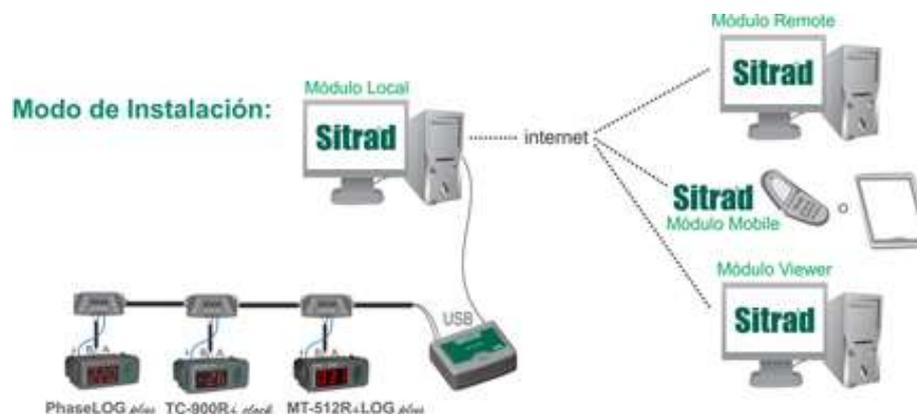


Figura 2.22: Topología de Conexión de Comunicación con Software Sitrad.
Nota: Obtenido de (Full Gauge Controls, 2016).

2.13.4. Dispositivo de conversión serial a USB Conv32.

Es un dispositivo capaz de interconectar hasta 32 instrumentos de control, su función es establecer la comunicación de los controladores con el computador local a través de la conversión de señal serial RS-485 a USB. (Full Gauge Controls, 2016)



Figura 2.23: Dispositivo Conv32 para comunicación con PC.
Nota: Obtenido de (Full Gauge Controls, 2016).

2.13.5. Bloque de conexión Sitrad.

El Bloque de Conexión permite conectar los instrumentos de control y hacer la conexión de la red para el software Sitrad, posee una protección interna que disminuye los interferencias y ruidos parásitos que originan los motores, cables eléctricos y oscilaciones de energía, entre otros. (Full Gauge Controls, 2017)



Figura 2.24: Bloque de Comunicación Sitrad.
Nota: Obtenido de (Full Gauge Controls, 2017).

2.14. Normativas de conservación.

Los distribuidores de fármacos se rigen a ciertas normas de conservación, que están reglamentadas por las autoridades de cada país, cada medicamento sigue una norma para su correcto uso y conservación desde el fabricante hasta el usuario final para no perder calidad en el producto. Las normativas se desarrollan en distintos aspectos, los cuales se relacionan con la adquisición, custodia y conservación de medicamentos, por lo que se debe seguir ciertos puntos importantes, los cuales se mencionan a

continuación; Llevar un seguimiento y registro de la temperatura máxima y mínima de forma diaria, y verificar que la cadena de frío sea mantenido desde el proveedor hasta los distribuidores. (Del Arco & Seisdedos, 2017)

Las industrias farmacéuticas llevan un control exhaustivo de sus fármacos, mediante las lecturas periódicas de temperatura y humedad dentro de los equipos frigoríficos, de acuerdo con el rango de temperatura que requieran los medicamentos. Estos equipos de refrigeración son configurados mediante directrices establecidas por los entes reguladores, para la conservación de los medicamentos.

El control de las temperaturas en las industrias farmacéuticas se basa en los siguientes tipos de conservación las cuales son; Conservación Local y Conservación Refrigerada.

Para la Conservación de tipo local, se establece que los medicamentos que requieran una adecuación de temperatura ideal deben ser de ± 25 grados Celsius, a excepción de aquellos casos que requiera condiciones especiales de almacenaje, establecidas por sus composiciones químicas y físicas.

La Conservación de tipo refrigerada está dispuesta para los medicamentos de tipo termolábiles, como pueden ser las insulinas, las vacunas y ciertos antibióticos, estos medicamentos deben estar expuestos a temperaturas constantes de conservación que van desde la temperatura mínima de 2° Celsius hasta 8° Celsius como máximo. (Del Arco & Seisdedos, 2017)

La optima conservación de los medicamentos, representa a la empresa que los productos que distribuyen son de excelente calidad, por eso mediante los diferentes procesos en los que circula los fármacos, no se deben perder la cadena de frío en ningún momento, para así poder garantizar un producto idóneamente preparado. Los medicamentos que son expuestos a temperaturas superiores a los de refrigeración, ya sea por fallo en los equipos frigoríficos o corte eléctrico, son calificados como no aptos para su utilización, en la mayoría de los casos estos pierden su efectividad.

2.14.1. Condiciones de conservación.

La temperatura y la humedad son factores que influyen en la conservación, estas condiciones varían de acuerdo con la ubicación en la que se encuentra la empresa distribuidora, los medicamentos son productos muy frágiles que no pueden estar expuestos a condiciones de temperatura y humedad muy alta de forma continua, puesto que podrían sufrir cambios en sus composiciones químicas y físicas.

En Ecuador los entes reguladores como la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria, han establecido que se debe tomar en cuenta cinco condiciones de almacenamiento de los medicamentos, los cuales se detallan a continuación;

- Almacenamiento menor a 30° C. Varios medicamentos al estar expuestos a temperaturas mayores a 30° C empiezan a presentar deterioro en la concentración de sus principios activo.
- Almacenamiento en congelación. Algunos medicamentos como ciertas vacunas y productos biológicos necesitan tener una cadena de frío de -20° C.
- Almacenamiento de 2° a 8° C. Los productos que son de tipo termolábiles generalmente deben mantenerse en la primera y segunda parte de un refrigerador, nunca en el congelador. Esta temperatura es la idónea para la conservación de ciertas vacunas durante un corto tiempo.
- Almacenamiento en frío. Se le denomina almacenamiento en frío a temperaturas de 8° a 15° C, la cual es idónea para productos como insulinas, vacunas, determinados colirios y algunos antibióticos.
- Almacenamiento en condiciones ambientales. Almacenaje de producto en lugares secos y limpios, con un margen de temperatura de 15° a 25° C, o hasta 30° C, según las condiciones climáticas.(Control Sanitario, 2015)

2.14.2. Aire y humedad en almacenamiento.

El aire y la humedad son factores que se encuentran en el ambiente, en los lugares de almacenamiento la humedad relativa para la conservación de medicamentos no debe ser superior a 65%, dado a que estos pueden deteriorar las cajas o recipientes que contienen a los medicamentos. Para ellos se debe tener un control exhaustivo de estos factores, para la buena conservación (Control Sanitario, 2015).

2.15. Consumo energético.

Los sistemas de refrigeración utilizan la energía eléctrica como principal fuente, para hacer mover los compresores, ventiladores y elementos asociados al sistema. El uso de la refrigeración industrial es utilizado en muchos tipos de industrias que van desde la conservación de alimentos, hasta la conservación de elementos biológicos. El sector farmacéutico es uno de los que más utiliza estos equipos.

En el sector farmacéutico en Ecuador ha tenido un crecimiento exponencial, debido al gran consumo de medicamentos que se representan anualmente. Este sector es uno de los más productivos y de mayor consumo eléctrico que representa el sector industrial. El uso de equipos de refrigeración industrial en el sector farmacéutico representa más del 50% del consumo total de la industria. (ITCL, 2018)

Para poder realizar un diagnóstico de tipo energético en las áreas de estas industrias, se debe conocer muy bien las instalaciones en la que se encuentran los equipos.

2.16. Proceso de industria.

La fabricación de fármacos se realiza en instalaciones especiales, las cuales constan con tecnologías de punta y con los últimos sistemas de refrigeración industrial, calidad y seguridad, para así otorgar y garantizar que sus productos farmacológicos cuentan con las condiciones óptimas, para poder ser manipulado.

Estas industrias que se dedican a la fabricación y producción de medicamentos se dividen en distintas salas o etapas, donde se fabrica un producto a la vez, con un control de limpieza profundo y sistemas de refrigeración automatizados.

Los fármacos para poder ser distribuidos al usuario final deben pasar por varias etapas, que conllevan un producto de óptima calidad, en la siguiente Figura 2.22 se representa la continuidad de estas etapas. La primera etapa está dada por Fabricación y Control de Calidad, en esta fase los fármacos son fabricados, sellados y evaluados por el personal de control de calidad, La segunda etapa es la de Embalaje, en esta fase los productos son separados según su composición y rango de conservación, La tercera etapa es de Almacenamiento, en esta fase los productos después de haber sido separados por el personal de Embalaje, pasan al área de conservación y almacenamiento en la cual se clasifican los productos según sus rangos de conservación de temperatura, y estos son ingresados a cámaras frigoríficas de conservación, La cuarta etapa es la de Distribución, en esta fase los productos farmacológicos que se encuentran en las áreas de conservación son separados y distribuidos al área de Transporte Refrigerado, para que los medicamentos no pierdan su margen de conservación (Cofepris, 2018).

FASES DE PRODUCCIÓN EN INDUSTRIAS FARMACEUTICAS

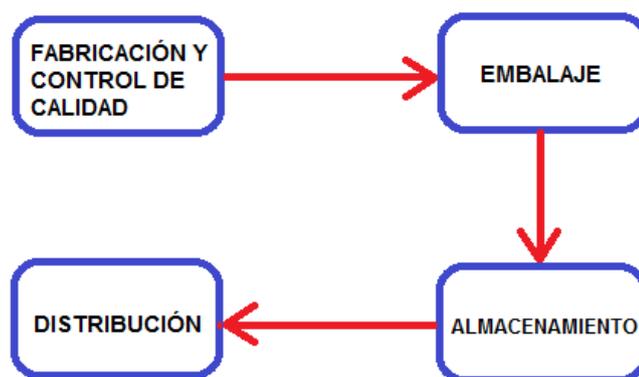


Figura 2.25: Fases de Producción de una industria farmacéutica.
Nota: Obtenido de (InterEmpresa, 2016) y modificado por Autor.

Capítulo 3: Propuesta de Proyecto.

En este capítulo se detallan las consideraciones iniciales del sistema, sus procesos y etapas que conforman un sistema de control automatizado y supervisorio para equipos de refrigeración industriales en el área de conservación de medicamentos. De la misma manera se presenta la arquitectura de control y topología correspondiente al sistema propuesto, y como etapa final se presentan las simulaciones y resultados correspondiente al sistema propuesto.

3.1. Consideraciones iniciales.

En el ambiente industrial los sistemas de control son sistemas necesarios para obtener una producción óptima calidad, teniendo en cuenta que al aplicar sistemas de control más actuales y con mejores prestaciones de trabajo, estos serán competitivos con múltiples mejoras a comparación de otros sistemas ya implementados en las industrias.

La mayoría de los procesos de las industrias requieren de sistemas que mejoren su productividad, aplicándose equipos de control y supervisión automatizados en los cuales se obtengan un mejor control de los procesos de la industria. Es así como las industrias que se dedican a la distribución, producción y almacenaje de medicamentos, requieren que sus productos lleguen al usuario final con la mejor conservación posible, ofreciendo un producto de óptima calidad para el consumo de los usuarios.

Los sistemas de refrigeración dedicados a la conservación de medicamentos cuentan con sistemas de accionamiento on-off, los cuales pueden ser mejorados aplicando dispositivos de control y supervisión de bajo costo, los cuales permitirán tener un sistema más eficiente y control remoto de las unidades a controlar.

Los equipos de refrigeración actuales que se encuentran en la industria cuentan con unidades de enfriamiento de alta capacidad, en los cuales se tienen dos unidades evaporadoras para tener un enfriamiento más rápido de los cuartos refrigerados, y en las unidades condensadores se tienen dos motores conectados en paralelo, para ofrecer el mayor rendimiento posible de la unidad durante su operación normal de trabajo.

3.1.1. Detalle del sistema.

La descripción del sistema tiene varias partes que trabajan en conjunto como son la de control automatizado y la de supervisión, dado a que estas dos partes deben funcionar una con otra para comprender el funcionamiento de los equipos de refrigeración, y los métodos que se tomaran para tener un control y monitorización eficiente en estos equipos.

3.1.2. Descripción de los sistemas de refrigeración en el área de almacenamiento de medicamentos.

Los sistemas de refrigeración funcionan con cuatro etapas indispensables para el correcto funcionamiento de estos, los cuales se mencionaron en el capítulo 2, y que se detallan a continuación mediante el siguiente diagrama de procesos.

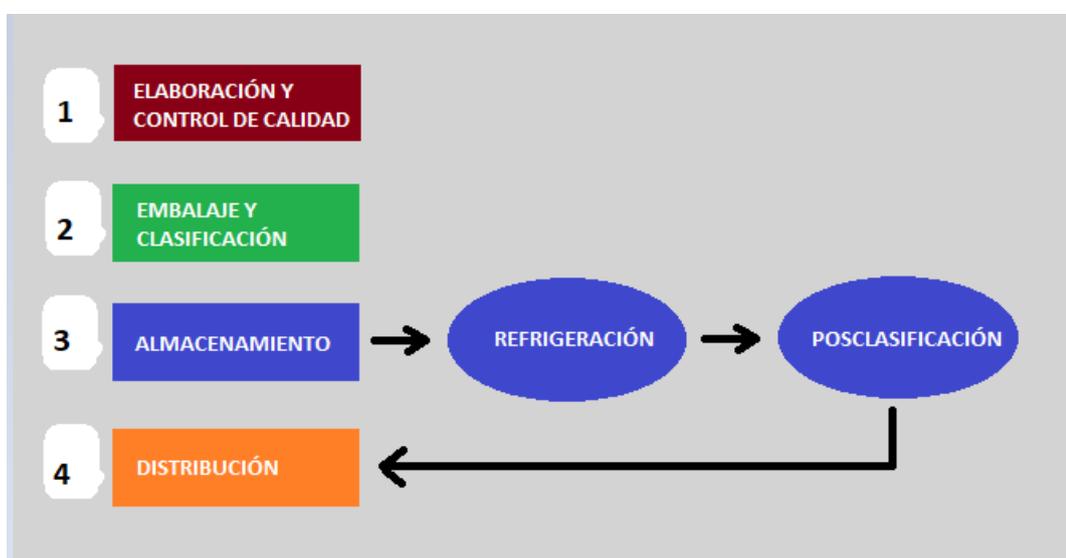


Figura 3.1: Etapas de producción interna de industria.
Nota: Obtenido de (Difare, 2018) y modificado por Autor.

En la figura 3.1 anterior donde se muestra las etapas de proceso de una industria dedicada a la elaboración de medicamentos, se observa que existen 4 etapas principales que representan los estados por los que pasan los medicamentos antes de llegar al usuario final.

En la primera etapa se denota la elaboración de los distintos medicamentos que se comercializan en estos tipos de industria, por lo que pasan por un control de calidad antes de pasar a la siguiente etapa. En la segunda etapa se clasifica y se embala el producto de acuerdo con el tipo de

medicamento que este está elaborando. En la tercera etapa se lleva los productos ya embalados y clasificados al interior de un cuarto frío donde el producto debe estar a una temperatura de conservación ideal para que esta no sufre eficacia o pierda sus composiciones, en esta etapa después de pasar un tiempo de unas 24hrs el producto es clasificado nuevamente, de acuerdo a su fecha de vencimiento, para luego pasara a la cuarta etapa, en la cual el producto es distribuido a las distintas farmacias para su respectiva comercialización.

3.1.3 Descripción del sistema a implementar.

En este diseño se enfoca en la cuarta etapa de producción de la industria, en la sección de Refrigeración, en este se detalla los distintos equipos de accionamiento que posee el sistema para obtener una temperatura ideal de conservación.

3.1.3.1 Sistema actual de equipos de refrigeración.

Mediante la siguiente figura 3.2 se muestra los equipos que conlleva un sistema de refrigeración de esta magnitud, como se detalló brevemente en el punto 3.1.

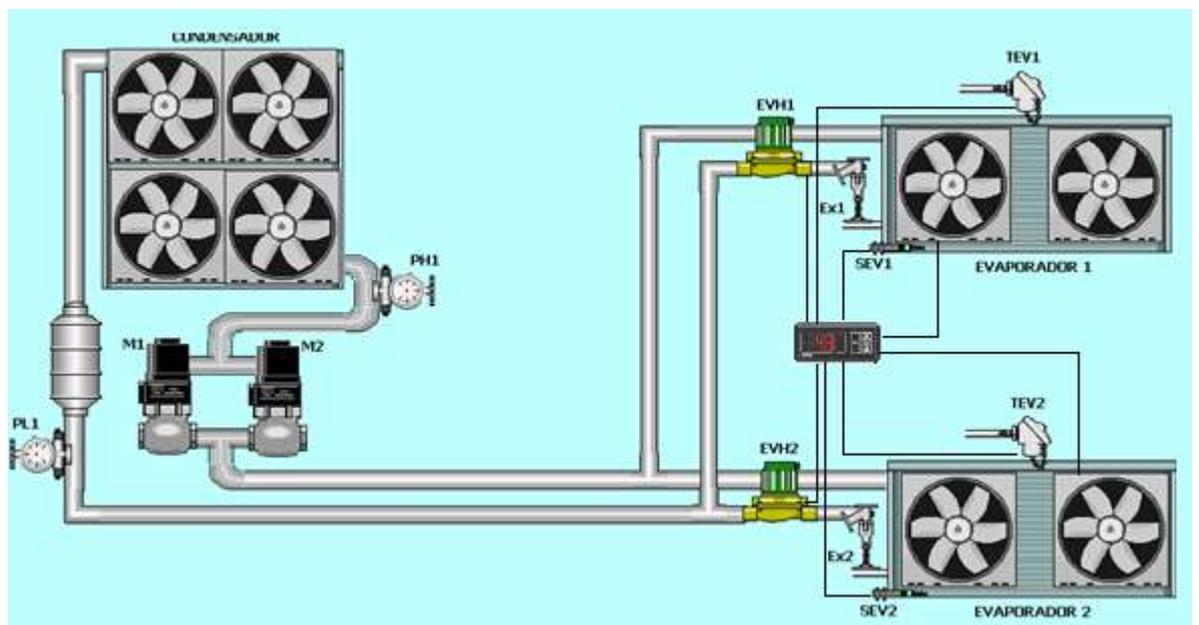


Figura 3.2: Esquema de sistema de refrigeración típico.
Nota: Obtenido de (Danfoss, 2017) y modificado por autor.

Para una comprensión más clara del funcionamiento del sistema, se muestra en la figura 3.2 las conexiones y procesos que comprende un sistema de refrigeración industrial típico, en el cual se conforman de tres unidades conectadas entre sí mediante las tuberías de circulación de gas refrigerante, en el sistema se puede encontrar múltiples sensores, actuadores, y motores que permiten la compresión de gas que se va a recircular en el sistema.

Un equipo de refrigeración se conforma de 4 etapas fundamentales para su funcionamiento correcto, el cual se detalló brevemente en el capítulo 2, la primera etapa se le denomina evaporación, de acuerdo con la figura 3.2, se observa el Evaporador 1 el cual es el encargado de absorber la carga térmica que se encuentra en el área a refrigerar, este está conformado con sensores de control de temperatura ambiente (TEV1 y TEV2) y sensor de temperatura de evaporación (SEV1 y SEV2), los cuales se encargan de obtener los datos de temperatura para ser enviados a su respectivo controlador y que este tome las decisiones del caso como son accionar o desactivar los motores de recirculación, en el evaporador también se encuentran actuadores como los ventiladores de recirculación, las resistencias de descongelamiento y las válvulas solenoide (EVH1 y EVH2) de circulación del gas refrigerante.

A la segunda etapa se le denomina expansión, esta se encuentra en el interior del evaporador el cual se encarga de regular el flujo de gas refrigerante que ingresa por las tuberías hacia las líneas del evaporador, permitiendo que el gas refrigerante pueda llegar a la temperatura ideal de evaporación establecida por el fabricante del gas, para que esto ocurra se usa un regulador de flujo de gas (Ex1 y Ex2) de tipo analógico mediante perilla que permite regular esta presión que ingresa a las líneas del evaporador.

La tercera etapa se le denomina compresión y la cuarta etapa se le denomina condensación, estas dos conforman un solo sistema, se le da el nombre de compresión a los equipos que se encargan de hacer recircular el gas refrigerante a alta presión, estos son los motores (M1 y M2) los cuales en un sistema típico trabajan con una conexión de tipo paralelo, que al ser activado los motores trabajan al mismo tiempo durante el mismo periodo de activación, esto es para lograr que el sistema llegue a la temperatura deseada configurada por el operario de manera más rápida. Y la etapa de

condensación es la cual donde se encarga que el gas refrigerante expulse la carga térmica absorbida por el evaporador, para que ocurra esto, se debe activar los ventiladores de condensación, los cuales extraerán el calor emitido por el gas refrigerante al pasar por esta etapa, como sistema de precaución, cuentan con equipos termostático (PH1 y PL1) que controlan si el sistema cuenta con la cantidad exacta de gas refrigerante para que el sistema opere de forma normal.

Mediante el siguiente diagrama de flujo se presenta en la figura 3.3, se muestra los procesos y acciones que ejecuta el sistema para su funcionamiento actual.

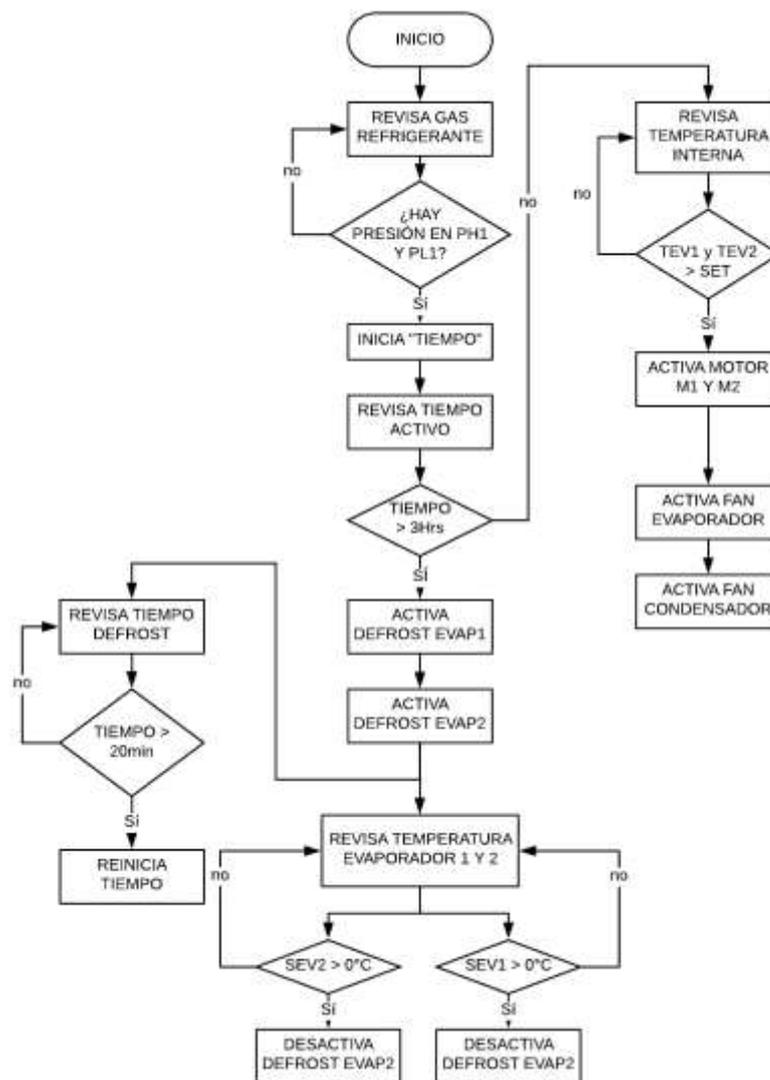


Figura 3.3: Diagrama de flujo de funcionamiento de sistema típico de refrigeración.
 Nota: Funcionamiento actual de sistema de control de equipos de refrigeración.

3.1.3.2. Sistema propuesto para equipos de refrigeración.

El sistema que se propone mejora la funcionalidad y los procesos que tiene los equipos de refrigeración, implementado actuadores y sensores que permiten tener un mayor control en la funcionalidad del sistema, como se muestra en la figura 3.4.

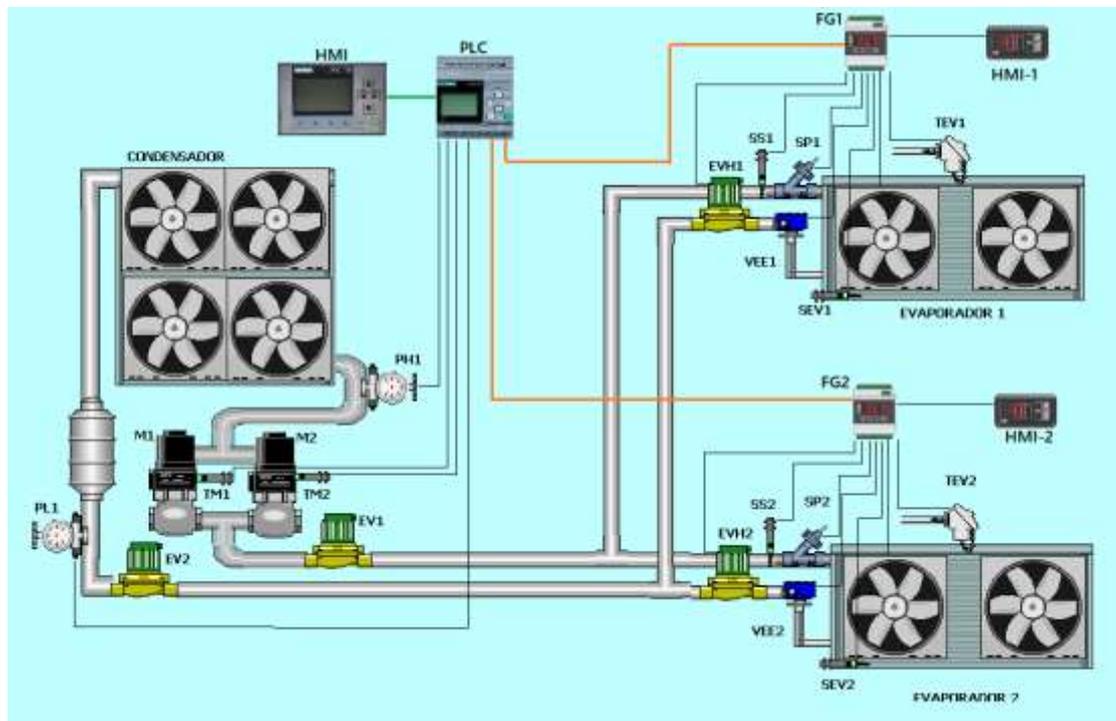


Figura 3.4: Esquema de sistema de refrigeración mejorado.

Nota: Esquema de conexión de equipos de refrigeración con mejoras.

El sistema descrito en la sección 3.1.3.1 se explica la funcionalidad de un sistema típico de refrigeración, en este punto se explica los elementos nuevos que se incorporan al sistema, empezando por la primer etapa, la cual es la de evaporación, en esta se incorpora dispositivos de expansión regulable, mediante válvulas de flujo electrónico variable (VEE1 y VEE2), permitiendo un flujo más preciso del gas refrigerante por las líneas del evaporador para que el sistema de expansión funcione correctamente, se incorpora también sensores de retroalimentación los cuales son; el sensor de succión (SS1 y SS2), y el sensor de presión (SP1 y SP2) para que trabajen en conjunto con la válvula de flujo variable.

En la etapa de compresión, se agregó sensores y actuadores, que permiten tener el control de la unidad de una manera precisa, los cuales son los sensores de temperatura (TM1 y TM2) los cuales toman la temperatura de

los motores para ser visualizados en un entorno supervisorio, de la misma manera se usó actuadores mediante válvulas solenoides (EV1 y EV2) que permiten el corte de flujo de gas en caso de que el sistema presente una avería por fuga de gas refrigerante.

3.1.4. Características del sistema.

En este punto se describen los aspectos técnicos y funcionales del sistema de control y supervisión, de los distintos dispositivos actuadores, y sensores que posee el sistema en general. En la parte correspondiente a sensores se detallan los siguiente:

1. Sensores.

Teniendo en cuenta que el sistema es de índole industrial, se emplean sensores robustos que funcionen en ambientes de trabajo pesado, los cuales ofrecen una mayor fiabilidad y precisión de las variables a tomar. Se emplean sensores de temperatura, sensores de presión y equipos de medición presostática, los cuales tiene como característica técnica, que entran a su salida un voltaje variable de 0-10v DC los sensores de presión, en el caso de los sensores de temperatura entran una salida de 4-20mA, y por el lado del equipo presostático nos facilita contactos de tipo NC y NO.

2. Actuadores.

Estos dispositivos de accionamiento que se utilizan son de índole industrial, tales como las válvulas de cierre solenoide y la válvula de apertura variable, así como los motores de compresión, ventiladores y resistencias eléctricas. Las válvulas solenoides funciona con un voltaje de operación de 220v AC, mientras que las válvulas de apertura variable (VEE) funcionan con un voltaje de operación de 24v DC, y en cuanto a los motores se alimentan mediante un voltaje trifásico de 220v, y los ventiladores y resistencias operan con un voltaje de 220v monofásico.

3. Controladores.

En este apartado se utilizan controladores lógicos programables, de la marca Siemens como son el Logo8 el cual tiene las siguientes

características de operación, funcionan a una alimentación de 24vDC, tiene 8 entradas digitales, 4 salidas digitales activada por relay, 4 entradas/salidas analógicas configurables, y puerto de red mediante comunicación tipo Profinet, este PLC ejecutara las acciones en base a los sensores y actuadores instalados en el sistema, los mismos datos pueden ser mostrados en dispositivos o sistemas de supervisión.

Se emplean también dispositivos de control auxiliares de la marca Full Gauge los cuales supervisaran parámetros como cambios de tensión, control de operación de los equipos variables como son las válvulas de apertura electrónica, los dispositivos que se emplean son el Vx950Plus el cual es un controlador de las VEE, este dispositivo funciona con un voltaje de operación de 24vDC, el cual tiene tres salidas accionamientos mediante relay de hasta 20A, tiene 4 entradas análogas en las cuales pueden configurarse también con entradas digitales, además posee una salida de tipo análoga para el control de las válvulas de tipo VEE.

Se emplea también dispositivos de control de fases eléctrica denominado PhaseLog el cual se encargará de evaluar las líneas de tensión eléctrica, ofreciendo al sistema una protección en los equipos, este dispositivo tiene 4 entradas de supervisión de fases eléctricas, 2 entradas de alimentación de 220v AC, y una salida acciona por relay de hasta 20A. Los controladores Full Gauge tienen un protocolo de comunicación de tipo serial Rs-485, para comunicarse con el sistema supervisorio.

4. Supervisión.

En este nivel se presentan los equipos y sistemas de supervisión que controlan a los procesos del sistema, mediante estos se puede cambiar los parámetros de funcionamiento de forma amigables, así como mostrar los estados de los equipos y proceso, muestreos de históricos de funcionamiento, eventos, alarmas, y recetas, mediante el uso de software gratuito que ofrece Full Gauge.

En el sistema supervisorio se utilizan un HMI de la marca Siemens modelo LogoTDE, tiene un visualizador de texto y formas que permite

visualizar múltiples datos que se le configuren, este dispositivo trabaja con una alimentación de 24vDC lo que permite una fácil adaptación al sistema, además que cuenta con protocolo de comunicación tipo Profinet.

En el sistema de supervisión SCADA se utiliza un software gratuito que permite el control de las unidades instaladas en el sistema, ya sea de forma local o de forma remota teniendo una conexión a internet.

3.1.5. Descripción funcional del sistema.

El sistema propuesto se clasifica en dos fases de funcionamiento, las cuales trabajan en conjunto para formar un solo sistema, a continuación, se detallan estas fases.

3.1.5.1. Primera fase:

Esta fase fue clasificada como sistema de respaldo ante fallas, en este apartado tendrá el control, el autómata programable PLC LOGO8 para responder ante fallas general que se presentan en un sistema convencional, además de enviar las señales de control para las activaciones de los equipos. A continuación, se presentan las funciones principales que se cumplen en esta fase.

1. Activación general del sistema.
2. Activación de unidades de enfriamiento principal.
3. Activación de unidades de respaldo.
4. Activación de rotación semanal de equipos.
5. Medición de las temperaturas ambientes internas de los cuartos fríos.
6. Medición de temperatura de motores.
7. Lectura de verificación de tensión eléctrica.
8. Control de HMI principal y HMI secundario.

Las funciones secundarias que tiene esta fase se detallan en la siguiente lista:

1. Interfaz de visualización secundaria para operarios, donde se muestra el estado de las unidades, tiempo de operación, fallas de equipos y señalización de posible lugar de falla, muestreo de estado general del equipo, muestreo de equipos accionados y representación de tiempo restante para rotación de equipo.
2. Muestreo de datos obtenidos por los sensores, tales como temperatura ambiente de cuarto refrigerado, y temperatura de motores.
3. Verificación de fallos tales como presión de líneas de gas, falla térmica de motores, falla de congelamiento de evaporador.

El equipo PLC es el encargado de verificar el estado general del sistema, este se encarga de hacer las verificaciones iniciales de alimentación eléctrica, si el dispositivo encargado (PhaseLog) de supervisar este estado le envía al PLC la señal de estado correcto, entonces el sistema podrá operar y ser activado.

El sistema verifica los estados de los eventos que pueden ocurrir antes y durante la activación el sistema de forma general, para ello el equipo revisa las temperaturas de evaporadores 1 y 2 para verificar que el sistema no cuenta con obstáculos tales como masa de hielo, las cuales son generadas al no activarse el proceso de descongelamiento periódico. Otro evento que se verifica es si los motores no presentan sobrecalentamiento, lo cual puede ocurrir durante su operación que generalmente es ocasionada por la obstrucción del panel de disipación que tiene el condensador. El equipo también es el encargo de revisar la señal de activación de los dispositivos presostáticos, los cuales indican que el sistema cuenta con la presión de gas normal de operación.

El sistema cuenta con independización de motores y evaporadores, para que estos no funcionen al mismo tiempo durante su operación, permitiendo tener sistemas individuales a comparación de lo mencionado en un sistema típico de refrigeración como se mostró en el punto 3.1.3.1. al tener

activaciones individuales el sistema se separa en dos equipos, lo cual permite clasificar un evaporador y un motor como una sola unidad de trabajo lo cual se representa como equipo 1 y al sobrante como equipo 2. Mediante esta separación de unidades se aplicó una clasificación en la cual el equipo 1 sea el principal y el equipo 2 sea el secundario de respaldo, haciendo que el sistema funcione con el equipo 1 durante toda su operación.

Se empleo un sistema de funcionamiento de rotación en la cual de manera semanal los equipo 1 y equipos 2 roten o intercambien papeles, siendo en la semana 1 el equipo 1 el cual debe ejecutar el funcionamiento y control de temperatura de forma principal, y al momento de que el sistema cambie a la semana 2, sea entonces el equipo 2 el que pasa a operar de manera principal. El equipo que quede como unidad secundaria durante cualquier semana, es la que se activa como respaldo para mantener la correcta operación y conservación interna de temperatura en el cuarto refrigerado, esta solo se activa cuando existe una falla en el equipo principal que esté operando, convirtiéndose el equipo secundario en principal, y este se mantendrá hasta que se dé solución a la falla presentada en la unidad averiada. Cabe recalcar que los equipos intercambian cada 168hrs (7 días).

El sistema cuenta con dispositivos visualizadores de eventos, los cuales se activan cuando se presenta una falla en el sistema, las cuales pueden ser fallas en la temperatura de evaporador 1, evaporador 2, motor 1, motor 2, falla de presión en línea PH1 y PH2.

En la interfaz gráfica que posee el PLC LOGO incorporada y la Interfaz HMI LOGO TD, se muestran los estados de funcionamiento de cada sensor, motor, semana operativa, y tiempo restante para rotación de equipos.

El diagrama eléctrico que conforma esta fase se puede visualizar en el Anexo donde se detallan las conexiones de este equipo y en el Anexo se encuentran los diagramas de bloque correspondiente a su programación.

En la siguiente figura 3.5 se visualiza los diagramas de flujo que operan en el controlador lógico programable.



Figura 3.5: Diagrama de flujo de control de PLC LOGO.
Nota: Se denotan la inicialización y revisión inicial de estados.

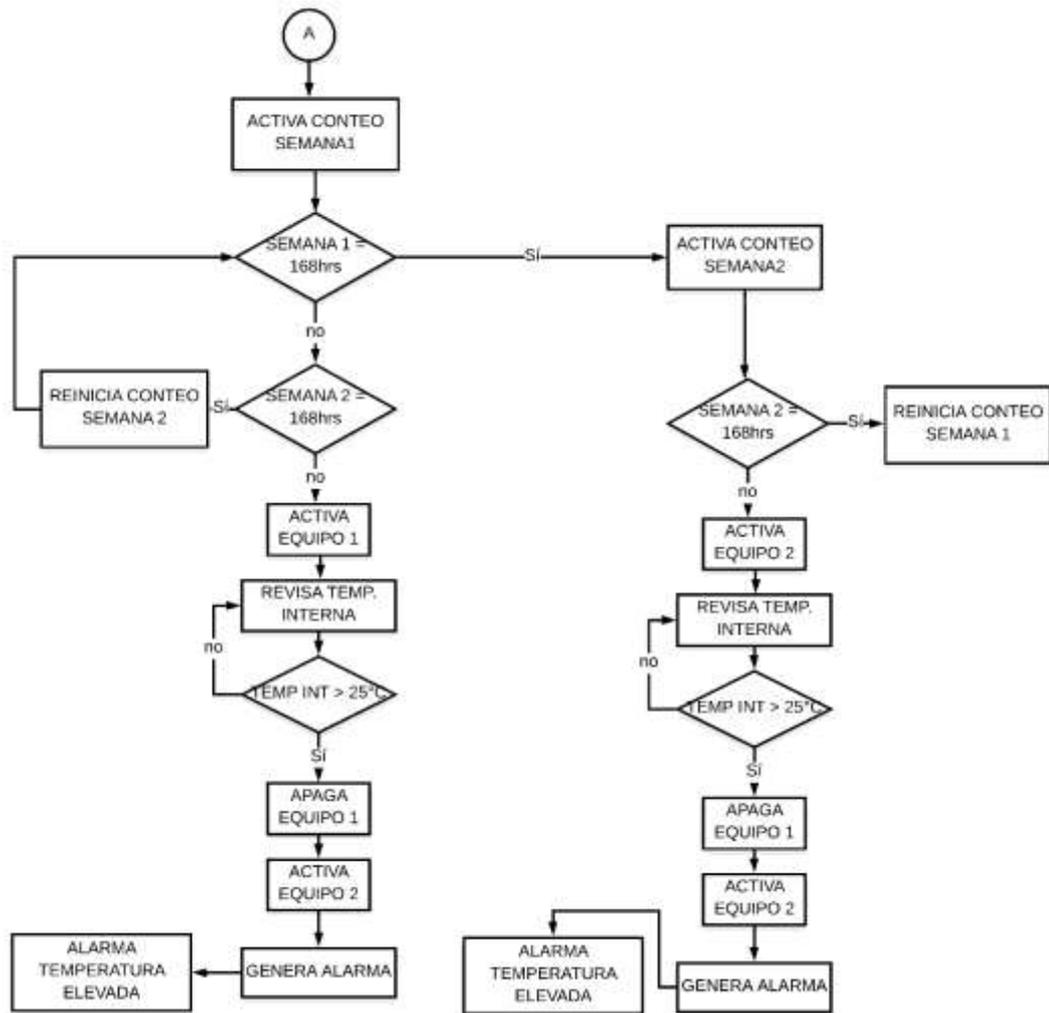


Figura 3.6: Continuación de etapa A de diagrama de flujo de control de PLC LOGO.
 Nota: Etapa de activación y rotación de equipos.

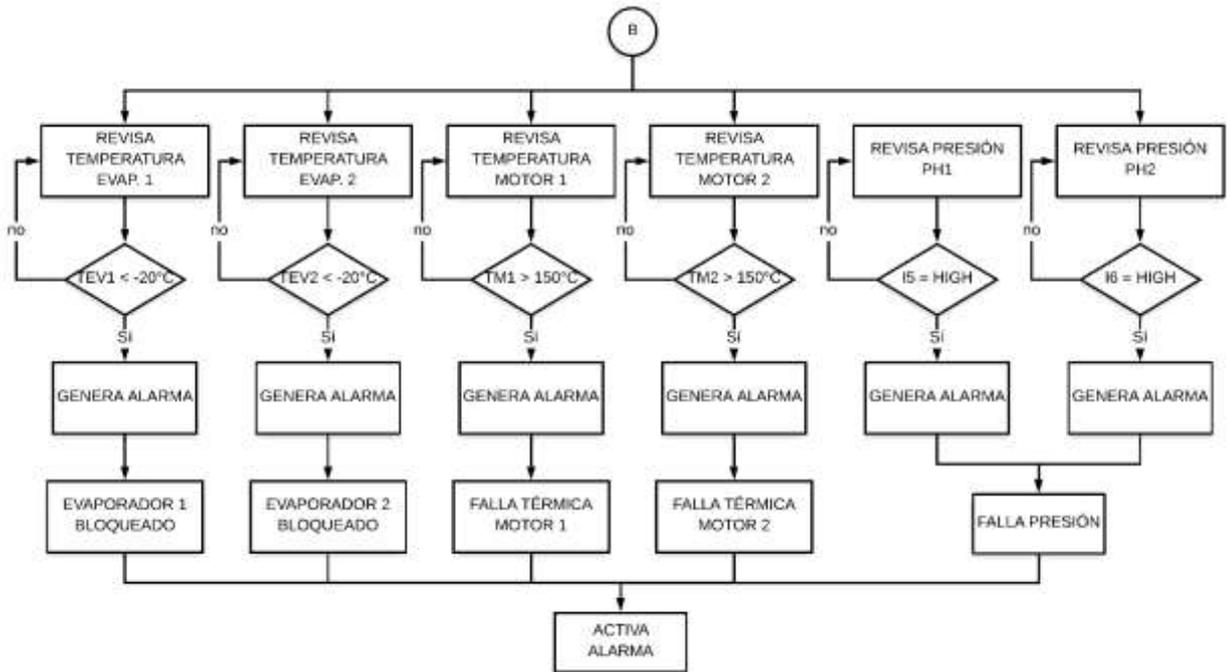


Figura 3.7: Continuación de etapa B de diagrama de flujo de control de PLC LOGO.
Nota: Etapa de diagnóstico de alarmas y fallas del sistema.

3.1.5.2. Segunda fase.

En este punto se detallan los sistemas principales correspondiente al control de temperatura de las unidades, así como el sistema de protección de tensión eléctrica. Esta fase se clasificó como sistema de control de temperatura, tensión y supervisión, en donde se presentan los equipos de control auxiliares Full Gauge Vx950PLUS, VX950HMI, y PhaseLog, en cuanto a supervisión se presente el software Sitrad. A continuación, se detallan los puntos principales de esta fase.

1. Activación de motores, ventiladores de recirculación, y sistema de descongelamiento.
2. Control del sistema de expansión VEE.
3. Control de protección de tensión eléctrica.
4. Control de temperatura interna de cuarto de enfriamiento.

Como puntos secundarios se detallan a continuación;

1. Visualización grafica de estado de temperatura, y porcentaje de apertura de válvulas VEE mediante HMI integrado en los dispositivos VX950HMI.

2. Activación de unidades de refrigeración de forma manual y automática según las necesidades de la industria.
3. Control de sistema mediante software de supervisión local, visualización de estados actuales y reales del sistema, cambio de parametrización y configuración de los equipos, muestreo de históricos de eventos, fallas, sensores y actuadores, visualización de máximos y mínimos de estados.
4. Control de sistema mediante aplicativos de forma remota, con las mismas prestaciones que ofrece el sistema de supervisión local.

En esta fase los equipos de control manipulan el sistema de forma independiente, cuando estos reciben la señal de activación del PLC LOGO. El equipo que interviene de manera principal es el controlador de fases o tensión eléctrica PhaseLog, este se encarga de revisar forma constante el estado actual de las fases eléctrica, al detectar que la tensión es la ideal entonces el dispositivo envía la señal al PLC LOGO para que este de paso a la activación de los equipos.

Dado a que los sistemas de refrigeración típica tienen un control de temperatura mediante accionamiento on-off, se usa en este caso equipos de precisión aplicados a válvulas electrónicas VEE para tener un control eficiente de la temperatura interna de los cuartos refrigerados, el equipo que se utiliza es el controlador Vx950Plus, el cual mide las temperatura ambiente, temperatura de salida del evaporador y la presión del gas refrigerante a la salida del evaporador, mediante estas comparaciones de temperaturas, el sistema apertura de forma automática las VEE permitiendo tener un enfriamiento más preciso, estos datos internamente son comparados en su CPU con datos técnico ya incorporados en su sistemas, dado a que los valores cambian de acuerdo al tipo de gas a utilizar. Este dispositivo mediante su control PID interno puede mantener de forma precisa la temperatura, además de que este sistema debe entrar en proceso de descongelamiento cada 3 horas durante un periodo de 20min, en el cual se activan las resistencias eléctricas interna del evaporador permitiendo el descongelamiento rápido de estos, dado a la acumulación de hielo por el constante uso de forma continua.

El sistema además cuenta con accionamiento de forma manual, el cual, en caso de reparación, el primer inicio, o que la demanda interna del cuarto de refrigerado sea mayor, pueda accionarse para llegar a la temperatura de forma rápida en el área.

Mediante el sistema supervisorio Sitrad se puede tener un control de los equipos, mediante el uso de este software, el cual facilita a los operarios a poder observar el estado actual en tiempo real de los procesos, así como el cambio de las configuración de operación, muestreo de datos históricos sobre control de temperatura, accionamientos de relés, máximos y mínimos de los estados, porcentaje de apertura de las VEE, eventos, armas, y la generación de escenas para su operación, estas manipulaciones y visualizaciones se las puede realizar de forma local o remota mediante un aplicativo, facilitando el control o supervisión de estos equipos.

En el siguiente diagrama de flujo se representa los estados que conllevan el funcionamiento de los equipos mencionados en este punto, cabe recalcar que en los Anexos se pueden observar los diagramas de conexiones de los instrumentos de control y supervisión mencionados.

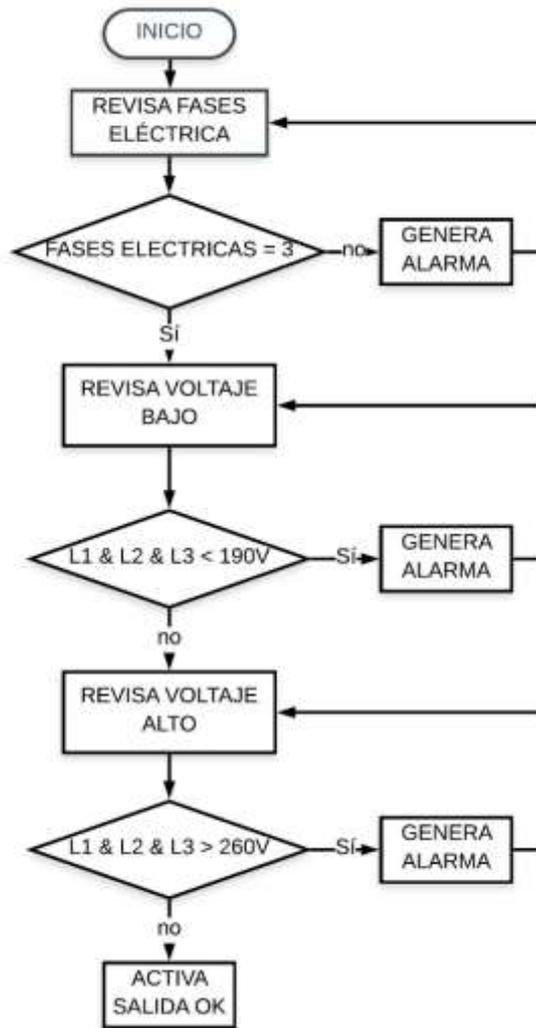


Figura 3.8: Diagrama de flujo de equipo Phaselog.
 Nota: Equipo de protección y evaluación de tensión eléctrica.

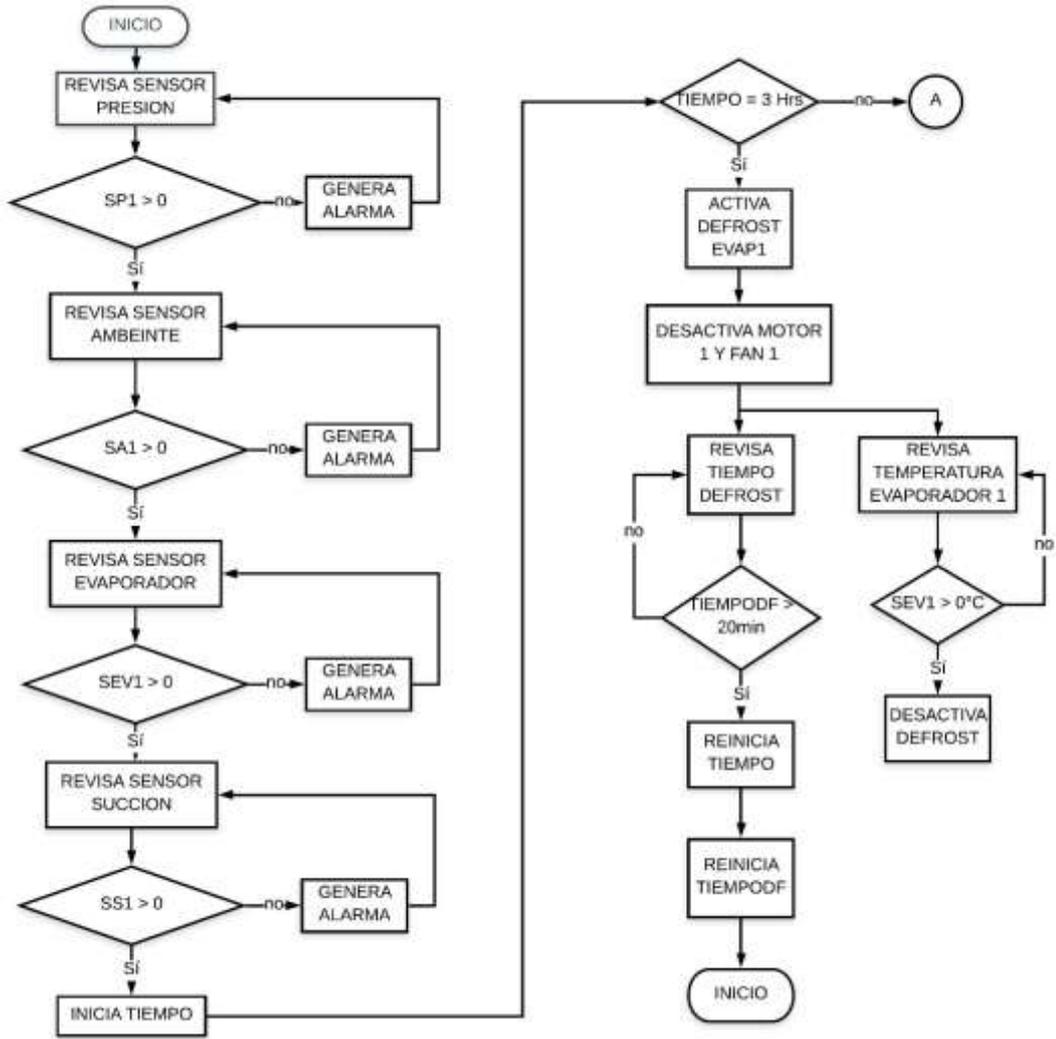


Figura 3.9: Diagrama de flujo de procesos de controlador Vx950Plus.
 Nota: Etapa de evaluación de entradas y activación de descongelamiento del equipo 1.

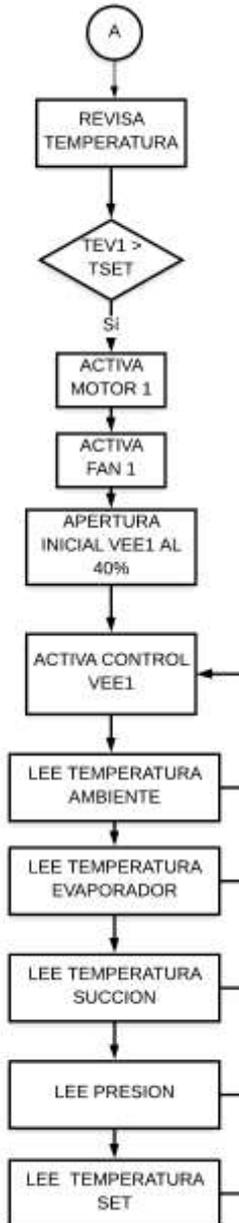


Figura 3.10: Continuación de Etapa A de diagrama de flujo de controlador Vx950Plus.

Nota: Etapa A correspondiente a control de actuadores del sistema del equipo 1.

3.1.6. Topología de sistema supervisorio.

Para la interpretación de la topología del sistema, se elaboró un diagrama de topología tipo bus, en la cual se conectan los distintos equipos correspondientes a los sistemas de control, de la fase dos mencionada en el punto 3.1.5. mediante la comunicación serial que poseen los equipos del fabricante Full Gauge se estable este tipo de topología para ser interconectada con el sistema supervisorio local mediante un conversor de

serial a USB para ser leída por el computador local, y este computador se encuentra conectado a una red de internet para transmitir los datos por este medio a cualquier dispositivo remoto agregado.

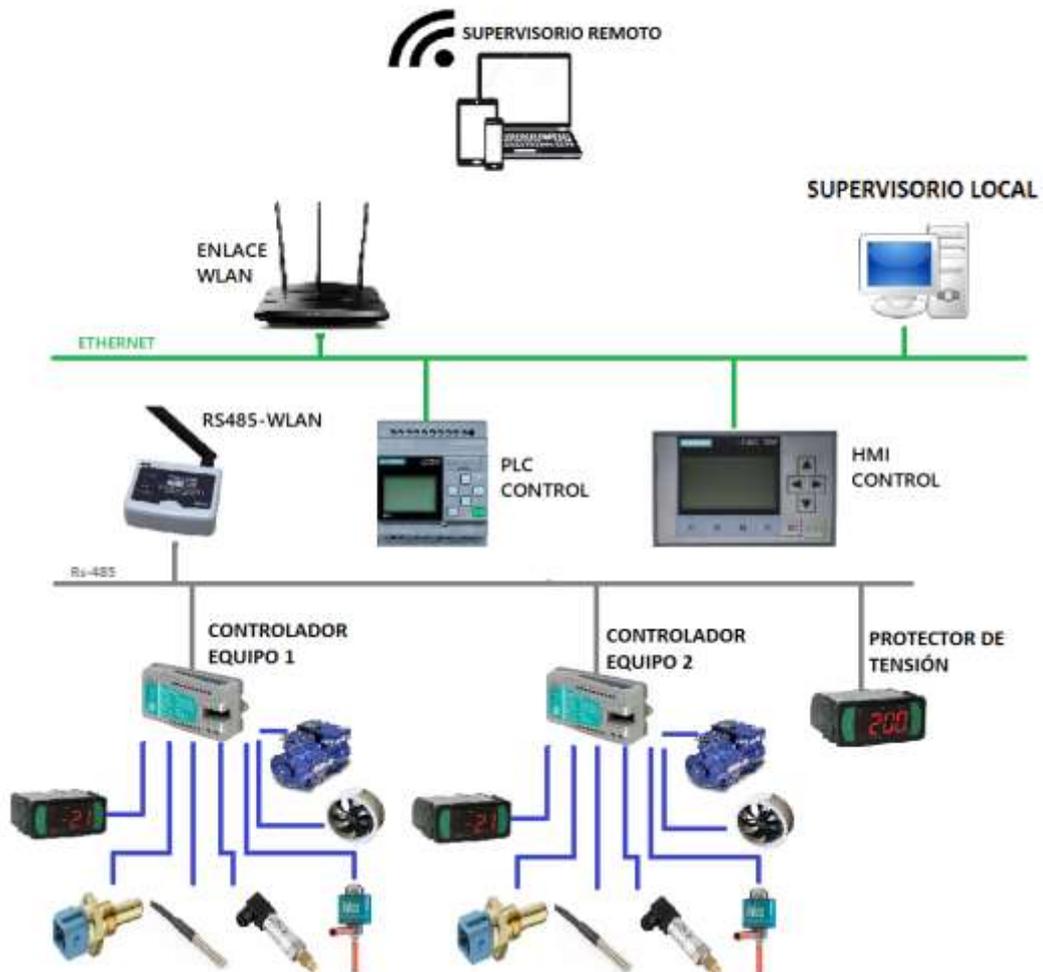


Figura 3.11: Topología de red de sistema de control y supervisión.
Nota: Conexión de equipos mediante topología tipo bus.

En la línea del controlador del equipo 1 se observan los distintos elementos de control, los cuales son los sensores y actuadores, así como las HMI integradas en cada controlador, este controlador principal se conecta mediante una red de tipo serial con los demás equipos, para así poder enviar la información de forma directa con el sistema supervisorio local, no sin antes pasar por un conversor de lectura serial rs-485 a USB, para que el computador lea la información correspondiente, así como envió y recepción del funcionamiento de los controladores.

El equipo supervisorio local se encuentra conectado a una red ethernet mediante un enrutador, el cual permitirá la transmisión de información entre los dispositivos de acceso remoto, para ser observados desde cualquier dispositivo móvil, Tablet o computador.

3.1.7 Sistema Supervisorio.

El sistema de supervisión empleado en esta investigación es de uso gratuito, el cual la empresa distribuidora de los equipos de la marca Full Gauge brinda al usuario el uso de este software de monitorización y control, este sistema brinda múltiples funciones que permiten tener un control total de los equipos implementados, las funciones que brinda el sistema se detallan a continuación.

1. Cambio de configuraciones de los parámetros de los equipos.
2. Visualización de los estados y procesos actuales de cada dispositivo de control.
3. Muestreo de históricos de funcionamiento del sistema de cada dispositivo, sensor y actuador utilizado en el sistema.
4. Muestreo de máximos y mínimos de las variables medibles.
5. Visualización de alarmas producidas en el sistema.
6. Activación de setpoint de tipo económicos para ahorro energético.
7. Visualización de informes de tipo gráficos, textos, alarmas.
8. Envío de notificaciones de estados a correo.

El sistema propuesto en esta investigación pudo ser simulado con equipos reales, en una cámara de refrigeración que se brindó para realizar dichas pruebas, en la empresa Difare, dicha cámara tiene unas dimensiones de 3mt de ancho x 4mt de largo x 2.5mt de alto, tanto el sistema supervisorio como el sistema de control responde con absoluta funcionalidad en las siguientes pruebas.

3.1.7.1. Simulación de sistema supervisorio.

Mediante pruebas establecidas durante un periodo de una hora, se pudo obtener datos del funcionamiento del sistema estando en el punto de

estabilización, para demostrar la eficiencia del sistema cuando llega a la temperatura de setpoint, en el cuadro de la figura 3.12 se observa un resumen de los datos obtenidos durante esta prueba, en los cuales se muestran los valores de temperatura de Ambiente, Evaporador, Succión, y Setpoint.

Período					
4/02/2020 10:11 hasta 4/02/2020 11:11					
TCP48S Converter VX-950: Válvula Expansion electronica					
Ambiente	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
	7,9 °C	8,6 °C	8,1 °C	0,0 °C	0,2 %
Límite de Alarma -50 hasta 60 °C		Conformidad	100%		
		Tiempos			
		Conforme 00:59:53	No conforme 00:00:00		
	Arriba 00:00:00	Abajo 00:00:00			
Evaporador	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
	7,9 °C	8,1 °C	8,0 °C	0,2 °C	0,1 %
Temperatura Succión	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
	0,5 °C	8,6 °C	5,5 °C	8,1 °C	8,1 %
Setpoint actual	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación
	8,0 °C	8,0 °C	8,0 °C	0,0 °C	0,0 %

Figura 3.12: Cuadro de datos obtenidos durante simulación del sistema.

Nota: Los datos mostrados son resultados del funcionamiento del sistema cuando este está estabilizado en la temperatura de setpoint.

En el cuadro anterior se puede observar los datos de temperatura obtenidos durante la simulación del sistema, esta prueba se realizó en tiempo aproximado de una hora después que el sistema empezó a funcionar, donde este cuadro representa los valores de las lecturas de los sensores cuando este se mantiene en estabilidad, en donde se muestran los valores promedios, valores máximos, valores mínimos, desviación de los datos y el coeficiente de variación de estos datos.

El número total de datos obtenidos durante la simulación fueron de 491 valores, los que se obtuvieron al ejecutar el sistema durante un periodo de prueba de 1 hora, en estas pruebas intervinieron los dispositivos de control Vx950Plus, sensor de temperatura ambiente, sensor de temperatura de evaporación, sensor de temperatura de succión, y la válvula VEE.

En la siguiente figura 3.13, se muestran las gráficas donde se representan cada valor de temperatura leída por el controlador durante su operación cuando este llega a su estabilización, correspondiente al cuadro anterior.

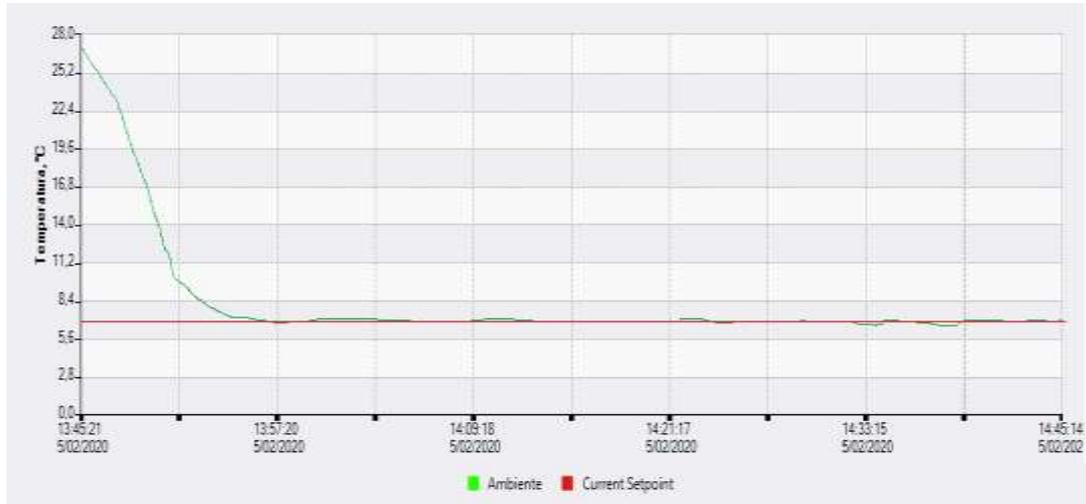


Figura 3.13: Grafico de estados obtenidos durante simulación.
Nota: Valores reales obtenidos durante pruebas ejecutadas de simulación.

En la Figura se observan las distintas graficas ejecutadas por el sistema, las cuales se representan en distintos tonos de color, el Verde representa la temperatura ambiente, y el color Rojo representa el setpoint establecido durante ese periodo de tiempo. En la gráfica se puede observar el proceso de disminución de temperatura desde una temperatura aproximada de 28°C a la temperatura de Setpoint que en este caso fueron 8°C, luego se observa la estabilidad del sistema cuando este llega a su setpoint de trabajo establecido, con un tiempo aproximado de estabilización de 13min.

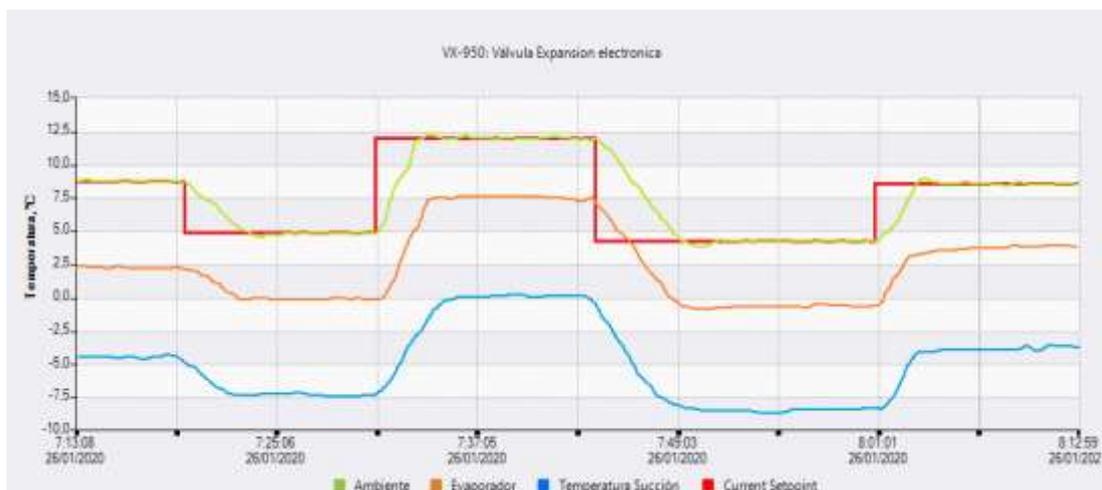


Figura 3.14: Funcionamiento del sistema ante respuesta de estabilidad.
Nota: Prueba de estabilidad ante varios cambios de setpoint.

En la figura 3.14 se representa la simulación de estabilidad del sistema ante el cambio de múltiples setpoint durante su funcionamiento, los cuales se representan en la gráfica con los distintos colores, el color verde representa el valor de temperatura ambiente interno, el color rojo representa el valor de setpoint, el color naranja representa la temperatura del evaporador, y el color azul representa la temperatura de succión a la salida del evaporador. Estas variables medidas sufren cambio de manera proporcional a cada valor, lo cual se aprecia el cambio de las curvas de lectura de temperatura en cada sensor, observando la estabilidad del sistema.

En la tabla 3.1 se aprecian los valores resultantes de la prueba de estabilidad realizando los cambios de setpoint, y comparando la respuesta que tiene el valor medido de la temperatura ambiente interna de la cámara de refrigeración, en ella también se aprecia el tiempo que le lleva al sistema en estabilizarse. Los valores de la temperatura ambiente son valores resultantes promedios, de los valores reales obtenidos, concluyendo que el sistema se mantiene con un porcentaje de error de 1% del valor de Setpoint establecido.

Tabla 3.1: Tabla de comparación de estabilidad Temp. Ambiente.

Prueba de Estabilidad		
Setpoint (°C)	Temp. Promedio Ambiente (°C)	Tiempo Promedio de Estabilidad (min)
8	8,4	0
5	5,5	6,1
12	12,8	3,3
4	4,5	11,1
8	8,2	4,5

Nota: Tabla comparativa correspondiente a múltiples cambios de setpoint y muestreo de resultados de temperatura ambiente.

En la tabla 3.2 se aprecian los valores resultantes de la prueba de estabilidad realizando los cambios de setpoint, y comparando la respuesta que tiene el valor medido de la temperatura del evaporador, en ella también se aprecia el tiempo que le lleva al sistema en estabilizarse. Los valores de la temperatura ambiente son valores resultantes promedios, de los valores reales obtenidos, concluyendo que el sistema se mantiene bajo un umbral aproximado de 4°C del valor de Setpoint establecido, lo cual indica que la temperatura es la correcta en el evaporador, debido a que la temperatura del

evaporador debe ser menor a la temperatura ambiente, para lograr llegar al valor de Setpoint.

Tabla 3.2: Tabla de comparación de estabilidad Temp. evaporador.

Prueba de Estabilidad		
Setpoint (°C)	Temp. Promedio Evaporador (°C)	Tiempo Promedio de Estabilidad (min)
8	2,4	0
5	0,2	4,2
12	7,5	3,2
4	-0,3	9,3
8	3,8	3,1

Nota: Tabla comparativa correspondiente a múltiples cambios de setpoint y muestreo de resultados de temperatura de evaporador.

En la tabla 3.3 se aprecian los valores resultantes de la prueba de estabilidad realizando los cambios de setpoint, y comparando la respuesta que tiene el valor medido de la temperatura de la línea de succión o retorno de gas refrigerante del evaporador, en ella también se aprecia el tiempo que le lleva al sistema en estabilizarse. Los valores de la temperatura de succión son valores resultantes promedios, de los valores reales obtenidos, concluyendo que el sistema se mantiene bajo un umbral aproximado de 6°C del valor de Setpoint establecido, debido a la baja temperatura que tiene el gas refrigerante al circular por las líneas del evaporador.

Tabla 3.3: Tabla de comparación de estabilidad Temp. Succión.

Prueba de Estabilidad		
Setpoint (°C)	Temp. Promedio Succión (°C)	Tiempo Promedio de Estabilidad (min)
8	2,4	0
5	0,2	3,1
12	7,5	5,2
4	-0,3	8,1
8	3,8	2,3

Nota: Tabla comparativa correspondiente a múltiples cambios de setpoint y muestreo de resultados de temperatura de succión.

Informe de alarmas			
Predefinición de informe seleccionada: No definida			
Instrumento	Descripción de la alarma	Fecha inicial	Fecha final
PhaseLOG E [003]	Error de lectura de la fase R	20/01/2020 13:14:01	20/01/2020 4:47:56
PhaseLOG E [003]	Error de lectura de la fase S	26/01/2020 13:14:01	26/01/2020 4:47:56
PhaseLOG E [003]	Error de lectura de la fase T	26/01/2020 13:14:01	26/01/2020 4:47:56
PhaseLOG E [003]	Error de lectura de la fase R	26/01/2020 4:48:04	26/01/2020 8:03:40
PhaseLOG E [003]	Error de lectura de la fase S	26/01/2020 4:48:04	26/01/2020 8:03:40
PhaseLOG E [003]	Error de lectura de la fase T	26/01/2020 4:48:04	26/01/2020 8:03:40
PhaseLOG E [003]	Tensión de la fase R fuera de los límites definidos en F07 y F08 Valor: 107Vac (Límites 100Vac hasta 440Vac)	26/01/2020 8:03:40	26/01/2020 8:03:45

Figura 3.15 Cuadro de informes de Alarmas en Sistema Supervisorio.
Nota: Cuadro de alarmas de equipo Phaselog.

El sistema supervisorio puede representar de forma textual las alarmas emitidas por el sistema durante ciertos periodos de tiempo establecidos como se muestra en la figura 3.15, donde se muestran las alarmas del dispositivo de supervisión de tensión eléctrica Phaselog las cuales se han emitido durante un periodo de lectura de 2 días, estas alarmas son representadas con una descripción de la alarma, fecha y hora en la cual se presentó la falla y cuando finalizo.

3.2. Simulación de sistema de control PLC.

En este apartado se tiene la simulación de respuesta del sistema de control, para accionamiento de equipos de respaldo, muestreo de datos, y visualización de alarmas del sistema, las simulaciones se realizaron mediante el uso del software Logosoft, el cual brinda la función de simulación virtual de los procesos, las simulaciones reales con los equipos se exponen en los Anexos.

3.2.1 Simulación de accionamiento normal de equipo.

En la Figura 3.16 se visualiza el estado de los equipos durante la simulación del sistema, se observa las dos interfases de usuario, la de Logo y de Logo TD, en este apartado se simula el accionamiento inicial del sistema, al activar el interruptor principal de marcha establecido en la entrada I3 el

sistema entra a un proceso de retardo de encendido de 3min como protección de los equipos, al pasar el tiempo de retardo se acciona la primera unidad asignada como principal, que en esta prueba es el Equipo 1, cabe mencionar que el sistema solo se activa si recibe la señal de confirmación de la evaluación de las líneas de tensión eléctrica ejecutadas por el dispositivo PhaseLog.



Figura 3.16: Ventana de estado de equipos accionados en operación normal.
Nota: Simulación de sistema propuesto.

3.2.2 Simulación por rotación de equipos semanal.

En este apartado el sistema trabaja de forma continua durante 7 días corridos con el equipo 1 como principal, luego de cumplirse ese tiempo el sistema entra en estado de rotación, accionando el equipo 2 para el funcionamiento seguido de 7 días restantes, al finalizar este tiempo se repite el proceso nuevamente desde la semana 1. Como se muestra en la siguiente Figura 3.17 el tiempo restante para rotación de equipos se representa en las interfaces graficas del PLC Logo y del HMI.



Figura 3.17: Ventana de visualización de tiempo restante de rotación de equipos semanal.

Nota: Simulación de sistema propuesto.

3.2.3 Simulación de falla por alta temperatura.

En este apartado el sistema actúa de manera en la cual detecta un incremento de temperatura en el interior de la cámara frigorífica, esta temperatura es leída por el sensor de la entrada análoga AI5, como se observa en la Figura 3.18, el valor de AI5 sobrepasa el límite de temperatura del funcionamiento normal del equipo que es de 20°C, al presentarse esta alarma, las pantallas empiezan a destellar de color ámbar en el Logo y el Logo TD, de la misma manera se enciende la Baliza indicadora de falla, y el sistema apaga el equipo que se encontraba encendido en el último estado antes de presentarse la falla, luego pasa accionar el equipo de respaldo para evitar un aumento exagerado de temperatura en el interior de la cámara de refrigeración.



Figura 3.18: Visualización de falla del sistema durante su operación.
Nota: Simulación de sistema propuesto.

3.2.4 Simulación de falla por baja temperatura

Quando se presenta una falla por baja temperatura en uno de los evaporadores, se acciona la Alarma en la salida Q3, y se visualiza esta alarma en la interfaz de visualización del Logo TD, indicando que la falla se presentó en el equipo 1- evaporador 1, como se muestra en la Figura 3.19. al presentar esta falla el sistema entra en la etapa de activación de respaldo.

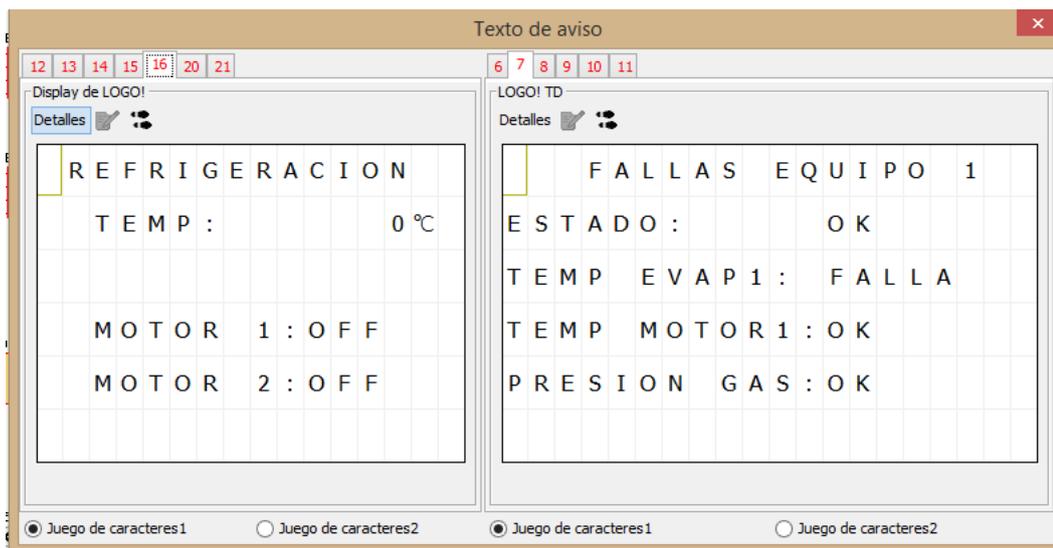


Figura 3.19: Simulación de falla por baja temperatura en equipo 1.
Nota: Simulación de sistema propuesto.

3.2.5 Falla por sobrecalentamiento en motor.

Quando se presenta en el sistema una falla por recalentamiento de motor, se enciende la Alarma y se visualiza en el Logo TD la falla, como se

muestra en la Figura 3.20 en la que se ve una falla del motor 1 del equipo 1, esta falla en sistema se le denomina falla térmica, la cual al presentar la temperatura interna del cuarto refrigerado empieza a ascender, detectando el sistema que debe activar la unidad o equipo de respaldo.



Figura 3.20: Visualización de falla por recalentamiento de motor en Logo TD.
Nota: Simulación de sistema propuesto.

3.2.6 Simulación falla por presión de gas.

Al presenciar una fuga de gas refrigerante en el sistema, se desactiva los contactos de los presostatos de presión de alta, indicando que falta gas refrigerante en el sistema, esta falla se visualiza en la interfaz del Logo TD, indicando el lugar de la falla y en cual equipo se manifestó. Esta señal está representada en la entrada I5 la cual es correspondiente a PH1, y al presenciar esta falla se acciona la alarma ubicada en la salida Q3, en la Figura 3.21 se visualiza la falla indicada en este punto.



Figura 3.21: Visualización de falla por fuga de gas refrigerante.
Nota: Simulación de sistema propuesto.

3.3. Diseño de panel de control.

Para incorporar los elementos y dispositivos de control propuestos, así como dispositivo HMI, breakers, contactores, relés, luces pilotos y equipos de control se diseñó un modelo de las ubicaciones de los dispositivos de control en el panel eléctrico principal, como se muestra en el Anexo. Este panel incorpora todos los elementos de control que se presentan en el sistema propuesto. Los cuales están ubicados según su función como son la etapa de protección, etapa de control y etapa de fuerza.

3.4. Posibles costos e impactos del sistema en la industria.

3.4.1. Posibles costos de inversión de sistema propuesto.

Los costos que se exponen del sistema de control propuesto para la conservación de medicamentos se elaboran en base al sistema ejemplo que se indica en el Anexo.

En la Tabla 3.4. se indican las listas de materiales que se utilizan en el diseño propuesto del tablero de control general del sistema.

Tabla 3.4: Costo de materiales eléctricos como propuesta de diseño.

LISTA DE MATERIALES ELÉCTRICO DE SISTEMA PROPUESTO			
MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
BRECKER 100A TRIFASICO TIPO DIMM	2	\$ 70,00	\$ 140,00
BRECKER MONOFASICO 40A TIPO DIMM	2	\$ 15,00	\$ 30,00
BRECKER MONOFASICO 50A TIPO DIMM	2	\$ 20,00	\$ 40,00
BRECKER MONOFASICO 20A TIPO DIMM	1	\$ 8,00	\$ 8,00
BRECKER MONOFASICO 30A TIPO DIMM	1	\$ 10,00	\$ 10,00
CONTACTOR TRIFASICO 50A TIPO DIMM	2	\$ 45,00	\$ 90,00
CONTACTOR MONOFASICO 32A TIPO DIMM	4	\$ 30,00	\$ 120,00
CONTACTOR MONOFASICO 40A TIPO DIMM	2	\$ 35,00	\$ 70,00
FUSIBLE CERÁMICO 10A TIPO DIMM	2	\$ 5,00	\$ 10,00
FUSIBLE CERÁMICO 20A TIPO DIMM	2	\$ 8,00	\$ 16,00
TERMICO BIMETALICO TRIFASICO 60A	2	\$ 50,00	\$ 100,00
RELÉ 220V 10A 8 PINES TIPO DIMM	7	\$ 8,00	\$ 56,00
SELECTOR 2 POSICIONES 15A 220V	1	\$ 3,50	\$ 3,50
SELECTOR 3 POSICIONES 15A 220V	2	\$ 4,50	\$ 9,00
LUZ PILOTO VERDE 220V	4	\$ 3,00	\$ 12,00
LUZ PILOTO AMARILLO 220V	2	\$ 3,00	\$ 6,00
LUZ PILOTO ROJO 220V	2	\$ 3,00	\$ 6,00
SIRENA 100DB 220V	1	\$ 56,00	\$ 56,00
BALIZA TIPO POSTE 220V	1	\$ 52,00	\$ 52,00
PANEL DOBLE FONDO 75CM*50CM*25CM	1	\$ 75,00	\$ 75,00
CABLE AWG #8	100MTS	\$ 52,00	\$ 52,00
CABLE AWG #10	100MTS	\$ 38,00	\$ 38,00
CABLE AWG #12	100MTS	\$ 32,00	\$ 32,00
CABLE AWG #16	100MTS	\$ 25,00	\$ 25,00
TOTAL:			\$ 1.056,50

Nota: Tabla de posibles costos de sistema propuesto.

La lista de materiales anterior, son basadas en valores estándares en el mercado ecuatoriano, estos pueden cambiar según el campo de aplicación y las capacidades de los equipos de refrigeración en los que se implementan el sistema propuesto, de la misma manera los valores de la Tabla 3.5. pueden sufrir cambios en sus precios, dado a que son elementos de gran demanda.

Tabla 3.5: Costo de equipos de control de sistema propuesto.

LISTA DE MATERIALES DE CONTROL DE SISTEMA PROPUESTO			
MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
FUENTE CONMUTADA AC-DC 10A 220VAC - 24VDC - 12VDC	1	\$ 45,00	\$ 45,00
SOLENOIDE SOLDABLE 220V 1/2"	2	\$ 32,00	\$ 32,00
LOGO8 24RCE	1	\$ 162,00	\$ 162,00
AM2 RTD	1	\$ 130,00	\$ 130,00
PT100	1	\$ 20,00	\$ 20,00
LOGO TDE 24VDC	1	\$ 120,00	\$ 120,00
PROGRAMADOR PHASELOG	1	\$ 45,00	\$ 45,00
PROGRAMADOR VX950-HMI	2	\$ 48,00	\$ 96,00
PROGRAMADOR VX950-PLUS	2	\$ 84,00	\$ 168,00
MODULO CONEXIÓN SITRAD	3	\$ 10,00	\$ 30,00
INTERFACE SERIAL CONV32	1	\$ 35,00	\$ 35,00
VALVULA VEE 3/4" 10ma	2	\$ 65,00	\$ 130,00
SENSOR PRESIÓN 3/4" 10ma	2	\$ 56,00	\$ 112,00
TOTAL:			\$ 1.125,00

Nota: Tabla de posibles costos de sistema propuesto.

En la siguiente Tabla 3.6. se detallan los valores correspondiente a servicio de ensamblaje, servicio de programación, y servicio de implementación, para el valor correspondiente a ensamblaje, se refiere a la conexión eléctrica con los equipos de control en el tablero principal de mando, de la misma manera en el valor correspondiente a programación, se denota las configuraciones de los parámetros de funcionamiento del sistema en los equipos de control, y software de monitorización, en cuanto a el valor correspondiente a implementación, hace referencia a la conexión del tablero de control con los diferentes dispositivos de campo del sistema de refrigeración.

Tabla 3.6: Costos de inversión de mano de obra de sistema propuesto.

COSTO DE SERVICIO TÉCNICO	
	PRECIO
SERVICIO DE ENSAMBLAJE	\$ 300,00
SERVICIO DE PROGRAMACION	\$ 650,00
SERVICIO DE IMPLEMENTACION	\$ 750,00
TOTAL:	\$ 1.700,00

Nota: Tabla de posibles costos de sistema propuesto.

Para los valores finales del costo de inversión del sistema propuesto se detallan en la siguiente Tabla 3.7., la cual tiene los valores de servicio técnico, valores de materiales eléctricos, y valores de materiales de control.

Tabla 3.7: Detalle general de inversión final para sistema propuesto.

COSTO TOTAL DE SISTEMA	
	PRECIO
MATERIALES ELÉCTRICOS	\$ 1.056,50
MATERIALES DE CONTROL	\$ 1.125,00
SERVICIO TÉCNICO	\$ 1.700,00
TOTAL:	\$ 3.881,50

Nota: Tabla de posibles costos de sistema propuesto.

3.4.2. Posibles impactos energéticos en la Industria.

La eficiencia energética es uno de los puntos más importante en cualquier industria, al ofrecer sistemas y equipos que aporten de manera considerable en el ahorro eléctrico de la industria generara gran aceptación y mayor ingreso económico.

Para explicar los costos actuales de consumo eléctrico de los equipos de refrigeración, se denotará en los siguientes cálculos de consumo en base al equipo ejemplo que se denota en el Anexo;

- Consumo Mensual de los 2 Equipos Funcionando en Conjunto (Actual).

$$\text{Consumo Mensual} = \frac{(\text{Potencia}) \times (\text{Horas al día}) \times (\text{Días de uso al mes})}{1000}$$

$$\text{Consumo Mensual} = \frac{(4.5\text{Kw}) \times (22\text{h}) \times (30)}{1000}$$

$$\text{Consumo Mensual} = 2.97\text{Kw horas/mes}$$

$$\text{Precio de Consumo Mensual} = (\text{Consumo Mensual}) \times (\text{Precio KwHora})$$

$$\text{Precio de Consumo Mensual} = (2.97\text{Kw}) \times (0.093\text{ctv})$$

$$\text{Precio de Consumo Mensual} = \mathbf{277.10\$}$$

- Consumo Mensual de Equipos con Sistema Propuesto.

$$\text{Consumo Mensual} = \frac{(\text{Potencia}) \times (\text{Horas al día}) \times (\text{Días de uso al mes})}{1000}$$

$$\text{Consumo Mensual} = \frac{(2.25\text{Kw}) \times (22\text{h}) \times (30)}{1000}$$

$$\text{Consumo Mensual} = 1.485\text{Kw horas/mes}$$

$$\text{Precio de Consumo Mensual} = (\text{Consumo Mensual}) \times (\text{Precio KwHora})$$

$$\text{Precio de Consumo Mensual} = (1.485\text{Kw}) \times (0.093\text{ctv})$$

$$\text{Precio de Consumo Mensual} = \mathbf{138.55\$}$$

De manera gráfica se puede exponer los datos de consumo mensual del sistema, ofreciendo un ahorro energético aproximado del 50% en los sistemas instalados en la industria, como se muestra en la siguiente Figura 3.20, donde se comparan los costos actuales de un equipo convencional con los propuestos.

COSTO MENSUAL ENERGÉTICO



■ CONSUMO EQ. CONVENCIONAL ■ CONSUMO EQ. PROPUESTO

Figura 3.22: Comparación de costos de consumo energético.

Nota: Gráfico de costos actuales de sistemas convencionales vs costos de sistema propuesto.

3.4.3. Posibles impactos en calidad de productos farmacéuticos.

Con respecto a la calidad de los productos a conservar en los interiores de los cuartos fríos o frigoríficos, se garantiza que el sistema responderá ante fallas de subidas de temperatura, las cuales afectan a la calidad, y las composiciones físicas y químicas de los medicamentos.

Se mantendrá una calidad de conservación óptima sin pérdidas durante su proceso de almacenaje. Como ventaja principal del sistema, este responderá bajando la temperatura en un rango mayor, para recompensar las aperturas de las puertas y la entrada térmica del calor exterior del cuarto frío.

3.4.4. Posibles Impacto de seguridad laboral.

El sistema al ser amigable con los operarios ofrece un mayor control y monitorización de cada dispositivo de control, el cual permite tener una mayor seguridad de índole laboral, como se menciona en los siguientes puntos;

- Seguridad Ante Riesgos de Choque Eléctrico, debido a que el operario ya no deberá movilizarse al exterior de las instalaciones de la industria, para realizar las mediciones de campo que conlleva su trabajo, dado a que se tiene mediante el software de monitorización y equipos HMI la información de cada variable medible en el sistema.

- Seguridad Ante Caídas de Alturas, hace referencia a que el personal u operario encargado del a supervisión no tendrá que exponerse a este peligro debido a que la mayoría de la instalaciones de los equipos de refrigeración se realizan en zonas altas, como puede ser la terraza de una industria, debido al gran ruido excesivo y carga térmica de calor que estos generan durante su operación, y como solución el sistema ofrece tener las variables medibles en los equipos de monitorización desde dentro de la empresa dando la facilidad al operario.
- Fácil Manejo de Parámetros.
- Fácil Supervisión de Datos.

Referente al punto de Seguridad ante riesgos de choque eléctrico, se refiere a que los operarios eviten estar expuestos a conexiones eléctricas de alto voltaje, que les puede afectar en la salud de ellos, mediante el sistema supervisorio se facilita a los usuarios tener un control y seguimiento de los procesos de forma fácil mediante las interfaces de visualización y de control local o remoto, evitando que recorran grandes áreas para supervisar los datos o variables asignadas a ellos, lo que en muchos casos implican que estas unidades estén expuestas a líneas de alto voltaje.

El punto de Seguridad ante caídas se refiere a evitar que los operarios estén expuestos a altas alturas durante la toma de datos o supervisión de las maquinas o equipos, dado a que la mayoría de estos se encuentran instalados en grandes alturas, para tener más espacio libre en la industria. Como se mencionó en el punto anterior, mediante los sistemas supervisores se tendrá un seguimiento de los datos de cada equipo ofreciendo un control detallado de estos para los encargados de supervisión.

3.5. Comparativa de costos de instalación de equipos convencionales y sistemas propuesto.

La siguiente comparativa demuestra el costo de inversión del sistema instalado en un equipo totalmente nuevo, el cual se compara con una unidad de refrigeración que ofrece prestaciones similares al tema de investigación. La siguiente Tabla 3.8 son valores extraídos de una cotización de un sistema

de refrigeración convencional que cuenta con los mismos equipos que se muestran en el Anexo 19.

Tabla 3.8: Tabla de Costos comparativos de equipos de refrigeración convencional y propuesto.

COSTO DE INVERSIÓN DE EQUIPO CONVENCIONAL	
	PRECIO
1 EQUIPO BOHN CONDENSADOR RACK DOBLE	\$45350
2 EQUIPO EVAPORADOR	\$4200
INSTALACIÓN Y PROGRAMACIÓN SISTEMA	\$19820
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN	\$69370,00
COSTO DE INVERSIÓN DE EQUIPO PROPUESTO	
	PRECIO
1 EQUIPO BOHN CONDENSADOR DOBLE	28650
2 EQUIPO EVAPORADOR	\$4200
INSTALACION DE EQUIPO	\$13140
INSTALACIÓN SISTEMA PROPUESTO	\$3881,5
COSTO TOTAL DE INVERSIÓN	\$49871,5

Nota: Tabla de posibles costos de sistema propuesto.

Se puede demostrar que el costo de inversión de un sistemas de refrigeracion que cuente con el sistema propuesto en este documento, puede representar una inversion total menor a comparacion de un equipo convencional que cuente con prestaciones similares, como se observa en la tabla 3.5 que el costo de ahorro es de un aproximado de \$19000. Lo que permite concluir que el sistema propuesto tiene un costo menor de aplicación, debido al precio menor de los equipos de control y supervisión que se mencionan en esta investigación.

Capítulo 4: Resultados y discusión.

4.1. Presentación de resultados.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de los sistemas de control actuales en los equipos de la refrigeración industrial dan a entender que estos equipos en su gran mayoría no cuentan con sistemas de control óptimos para obtener un control de la temperatura ideal en las áreas refrigeradas, lo que se implica que puede implementarse un sistema más eficiente mediante el uso de equipos actuales, los cuales ofrecen un control más preciso si se emplean con controles automatizados que respalden y evalúen los sistemas de forma continua como son los sistemas de supervisión SCADA, los cual facilitan este control si se aplican las técnicas correctas.

4.2. Resultados de interfaz gráfica.

En cuanto a la interfaz gráfica del sistema supervisorio, cumple con las expectativas de tener a la mano un sistema capaz de ofrecer el control de los dispositivos de campo de forma local y remota, dado a los distintos aspectos que tiene el software utilizado en este documento, lo cual facilita la interpretación de los estados y fácil uso del manejo del software, de la misma manera cumple con los puntos de un sistema de supervisión estándar a pesar de ser un software de uso gratuito.

4.3. Resultados de software.

Por parte del software se obtienen los resultados esperados para poder implementar un control preciso de los elementos de control propuestos en este documento, permitiendo entender de forma más detalla mediante los diagramas de flujo los procesos que conllevan cada dispositivo de control que incorpora el sistema, facilitando su comprensión y la interpretación de este, de la misma manera el uso de los software que facilitaron la simulación del sistema y su implementación virtual como son el Logosoft y el SitradPro, los cuales fueron de gran aporte para realizar las pruebas de funcionamiento.

4.4. Discusión de resultado.

4.4.1. Cumplimientos de los objetivos.

Los objetivos propuestos al inicio del documento pudieron ser abarcados en su totalidad, los cuales implicaron realizar un diseño de un sistema de control que permita la mejora y eficiencia de los equipos de refrigeración actuales en las industrias, también se empleó el uso de un sistema de supervisión local y remoto de uso gratuito, para tener el control de los equipos mencionados. Mediante el uso de diagramas de flujo se pudo exponer los procesos que conlleva un sistema de refrigeración típico y un sistema de refrigeración con mejoras de diseños, además de poder exponer los resultados de las simulaciones realizadas del funcionamiento total del sistema propuesto.

4.4.2. Análisis metodológico.

La metodología que se empleó al documento fue de tipo correlacional debido a las distintas variables involucradas en los procesos que conlleva el sistema empleado, aportando las simulaciones y los análisis como parte fundamental de los resultados expuestos, mediante la metodología utilizada y el enfoque que se le dio a la investigación se pudo denotar que el sistema cuenta con errores muy bajos de funcionamiento, los cuales demuestran que el análisis que se le dio a la investigación con el tipo de metodología fue punto clave para cumplir con lo propuesto.

4.4.3. Análisis de la solución del problema de investigación.

Como se mencionó al principio de la investigación el problema que abarca a la falta de control de los equipos de refrigeración del sector industrial enfocados a la conservación de medicamentos, es la falta de uso de equipos de precisión que permitan tener un control eficaz de las temperaturas en el interior de los cuartos refrigerados, mediante el uso de un sistema de control y de supervisión robusto se pudo obtener como resultado un sistema más eficiente y completo para responder ante fallas de funcionamiento inoportunos que puedan ocurrir durante su operación.

Conclusiones.

- El sistema de control y supervisión propuestos mediante el uso de controladores lógicos programables robusto y de bajo costos, brindan una fiabilidad de los procesos enfocados a la conservación de medicamentos en áreas refrigeradas, los cuales brindaron una solución a la problemática establecida por la falta dispositivos de precisión en los equipos mencionados, otorgando un sistema más eficiente para el control de temperatura y conservación de los fármacos.

- Mediante la exposición de los procesos de los dispositivos de control aplicando técnicas de análisis de flujo, se pudo denotar que los sistemas pueden cumplir con funciones más complejas para cubrir las necesidades de la industria, los cuales brindan un control más preciso y viable sin tener que modificar los sistemas actuales ya instalados en las industrias.

- La aplicación del software Sitrad para la supervisión del sistema demuestra que puede cumplir con las necesidades que se requieren, para tener un control más exhaustivo de los equipos y procesos que conllevan los sistemas de refrigeración, además que se pudo verificar con las simulaciones brindadas con equipos reales, que el sistema de investigación propuesto funciona de manera óptima logrando una mayor eficiencia.

Recomendaciones.

- Los sistemas de refrigeración en la actualidad ofrecen muchas características de control, para que los usuarios puedan tener temperaturas optimas en los cuartos fríos, pero que se deben mejorar para ofrecer un mayor respaldo de los productos en caso de averías de los equipos de refrigeración.

- Como diseño del sistema propuesto en este documento se recomienda que se cumplan las respectivas conexiones y funciones que tiene cada programador y equipo de control que posee este sistema, para que estos funcionen con absoluta normalidad y cumpla con las expectativas del usuario.

- El sistema propuesto puede ofrecer múltiples mejoras de conservación y producción en la industria, teniendo en cuenta que se debe tener operarios instruidos para evitar las fallas producidas por la mala operación.

Bibliografía

- Aguas, M., Del Hoyo, J., Faubel, R., Valdivieso, B., & Nos, P. (2017). Telemedicina en el manejo de pacientes con enfermedad inflamatoria intestinal. *Gastroenterología y Hepatología*, 40(9), 641–647. <https://doi.org/10.1016/j.gastrohep.2017.07.001>
- Angulo, A. (2016). *Evaluación de Sistemas de Refrigeración para Sistemas Comerciales Centralizados* [UNIVERSITAT JAUME I]. http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/10234/158937/1/TFM_2016_AnguloAlfredo.pdf
- Atencio, A., & Huallparimachi, R. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de recuperación y almacenamiento automatizado mediante controladores lógicos programables para la industria*. [Universidad Tecnológica del Perú]. http://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/UTP/1805/4/Andres%20Atencio_Roberto%20Huallparimachi_Trabajo%20de%20Investigacion_Bachiller_2018.pdf
- Automation24. (2019, mayo 2). *Expansion module Siemens LOGO! AM2 RTD - 6ED10551MD000BA2*. <https://www.automation24.com/expansion-module-siemens-logo-am2-rtd-6ed10551md000ba2>
- Bernad Refrigeracion. (2019). *Enfriador de cámaras frigoríficas, sistemas robustos*. AEFYT. <https://www.josebernad.com/que-es-un-enfriador-para-camaras-frigorificas/>
- Cappiello, V., & Pezzolo, M. (2017). *Sistema SCADA para inyectora de calzado de CONFECAT* [Universidad Nacional de Catamarca].

<http://repositorios.tecno.unca.edu.ar:8080/xmlui/bitstream/handle/RIA-AFTYCAUNCA/33/Cappiello-Pezzolo%20-Sistema%20SCADA%20para%20inyectora%20de%20calzado%20de%20CONFECAT%20SA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carel. (2017). *Controles para refrigeración, conservación y congelación*. BCRL. <http://www.bohn.com.mx/archivospdf/BCT-065-BCRL-01-Controles-para-refrigeracion-CAREL.pdf>

Cofepris. (2018). *SERVICIO INTEGRAL DE LOGÍSTICA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE BIENES TERAPÉUTICOS (MEDICAMENTOS, MATERIAL DE CURACIÓN, MATERIAL RADIOLÓGICO Y DE LABORATORIO)*. DROklahoma. https://compranetinfo.hacienda.gob.mx/descargas/CM/27062019_Especificaciones_Tecnicas_y_Alcances_Servicio_Integral_de_Logistica.pdf

Control Sanitario. (2015). *GUÍA DE USUARIO BUENAS PRÁCTICAS DE RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y DISPENSACIÓN DE MEDICAMENTOS EN FARMACIAS Y BOTIQUINES*. https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/ge-d.2.1-est-05_guia_dispensacion_socializaci%C3%93n.pdf

Corrales, L. (2017). *Interfaces de Comunicación Industrial*. VESTERTRAIN. https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf

CRYO SYSTEMS. (2018, febrero 25). *Equipo de condensador de Bitzer para cámara frigorífica_Guangzhou Cryo Systems Refrigeration Equipment*

Co., Ltd. http://www.cold-storage-project.com/spanish/Product_view-154.html

Dagoberto Montero, David B. Barrantes, & Jorge M. Quirós. (2015). *Introducción a los sistemas de control supervisor y de adquisición de datos (SCADA)* (MONOGRAFIA IE – 431 Sistemas de Control; p. 47).

Universidad de Costa Rica.
https://instrumentacionycontrol.net/Descargas/Documentacion/HMI_SCADA/IyCnet_Introduccion_Sistemas_SCADA.pdf

Danfoss. (2017). *Controles Automáticos para Sistemas de Refrigeración Industriales*. DanfossRa Marketing MWA.
<https://files.danfoss.com/TechnicalInfo/Dila/01/PA000C205.pdf>

Del Arco, J., & Seisedos, N. (2017). Almacenamiento, custodia y conservación de productos en la farmacia. Actualización. *Farmacia Profesional*, 23(1), 44–47.

Difare. (2018). *Informe de responsabilidad corporativa y sostenibilidad*. JagMedia. <https://difare.com.ec/informes-rcs/>

Fernandez, E. (2017). *Análisis Temporal de los Sistemas de Control* (pp. 5–12). Universidad Politécnica De Catalunya BARCELONATECH.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Full Gauge Controls. (2016). *Vx950 HMI MODULO*. FGEDitorial.
<https://www.fullgauge.com/es/public/uploads/files/products/manual-de-produto-138-154.pdf>

Full Gauge Controls. (2019). *Full Gauge Controls*.
<https://www.fullgauge.com/es/productos-tc-900e-power>

- Full Service Panama. (2019). Tabla de presión de gases refrigerantes. *Tabla de presión de gases refrigerantes*.
<https://fullserviceparana.blogspot.com/2014/06/tabla-de-presion-de-gases-refrigerantes.html>
- InterEmpresa. (2016, febrero 5). *El proceso productivo en la industria farmacéutica*. Interempresas.
<https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/150598-El-proceso-productivo-en-la-industria-farmaceutica.html>
- ITCL. (2018, febrero 19). Cómo conseguir la eficiencia energética en refrigeración industrial. *ITCL*. <https://itcl.es/itcl-noticias/eficiencia-energetica-refrigeracion-industrial/>
- Jaramillo, M. (2016). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA UNA ESTACIÓN MECATRÓNICA DIDÁCTICA, UTILIZANDO AL MENOS UN PUERTO EN SERIE DE LA PLACA ARDUINO*. [UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL].
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8317/6298G111.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mecafenix, F. (2019). *Sistema de control -lazo abierto y cerrado*. Editorial del Sol. <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sistema-de-control/>
- Moreno, F., Becerra, J., & Cardenas, E. (2014, febrero 24). *Implementación de una estrategia fuzzy adaptativa para el control activo de vigas vibratorias* | *Revista Facultad de Ingeniería*.
<https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/2711/436>

- Navarro, D. (2016). *Realización de un SCADA versátil para instalaciones de refrigeración industrial*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Osca, J., SanchoTello, M. J., Navarro, J., Cano, Ó., Raso, R., Castro, J. E., Olagüe, J., & Salvador, A. (2009). Fiabilidad técnica y seguridad clínica de un sistema de monitorización remota de dispositivos cardiacos antiarrítmicos. *Revista Española de Cardiología*, 62(8), 886–895. [https://doi.org/10.1016/S0300-8932\(09\)72071-8](https://doi.org/10.1016/S0300-8932(09)72071-8)
- Perez, C., & Cauro, J. (2016a). *TEMA Nº 1 INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES* (Núm. 52–54; p. 17). http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo2.pdf
- Perez, C., & Cauro, J. (2016b). *TEMA Nº 1 INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES* (Núm. 52–54; p. 17). http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo2.pdf
- Pérez, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, 28(4), 3–14.
- Periáñez Parraga, L., Gómez-Lobón, A., Gamón Runnenberg, I., Seco Melantuche, R., Delgado Sánchez, O., & Puigventós Latorre, F. (2011). Medicamentos termolábiles. Protocolo de actuación en la rotura de la cadena de frío. *Farmacia Hospitalaria*, 35(4), 190.e1-190.e28. <https://doi.org/10.1016/j.farma.2010.07.003>
- Prtr-España. (2017). *Sistemas de refrigeración industrial*. <http://www.en.prtr-es.es/Data/images//Resumen%20Ejecutivo%20BREF%20Refrigeraci%C3%B3n%20y%20Vac%C3%ADo-0BBE00E0169AC61A.pdf>

- Quimobasicos. (2019). *Ciclo de refrigeración*. FlexEditorial.
<https://www.quimobasicos.com/2014/08/20/superheat/>
- Romera, C. (2018). *Aplicación de la tecnología WEB en el desarrollo de un sistema SCADA*. Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología Universidad de la Laguna.
- Romero, R., Rojas, J., Rodríguez, A., & Rangel, D. (2017, junio). Análisis termodinámico de un ciclo de refrigeración real con refrigerante R-134a para la obtención de un COP óptimo de operación. *Revista de Sistemas Experimentales*, 4(11), 53–60.
- Roque, J., & Enciso, E. (2017). *Protocolos de comunicaciones industriales*. Logicbus. <https://www.coursehero.com/file/37847551/Fase-2-Dise%C3%B1ar-y-construir-un-sistema-de-Comunicaci%C3%B3n-industrial-avanzado-Eladiodocx/>
- Ruiz Juarez, F. de J. (2017). *Automatización de una estación de barrenado [LA ESPECIALIDAD TECNÓLOGO EN MECATRÓNICA, CENTRO DE INGENIERÍA Y DESARROLLO INDUSTRIAL]*. <https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/273/1/ETM-FJRJ-2017.pdf>
- Says, S. A., & Rojas, J. (2017, febrero 23). Productos alemanes para la Pirámide de Automatización. *Tecnología Alemana*. <http://tecnologia.alemaniahoy.com/tecnologia/productos-alemanes-piramide-automatizacion/>
- Serra, J., & Colomé, J. (2017). *Automatización y control de una industria frigorífica con producción de energía solar*. [Escuela Técnica Superior

de

Ingeniería].

<http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/473pub.pdf>

Siemens. (2018). *SIMATIC S7-1500* [Newton_ps-detail]. Siemens México.

<https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>

Silupú, I. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA USANDO WONDERWARE SYSTEM PLATFORM PARA EL MONITOREO DEL INTERCONECTADO ELÉCTRICO DEL LOTE 1AB DE PLUSPETROL NORTE S.A.* UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO.

Solorzano, R. (2016, septiembre 26). *4 razones por las cuales considerar un Control Distribuido vs. Centralizado.* Hydraulics & Pneumatics.

<https://www.hydraulicspneumatics.com/hp-en-espanol/article/21886630/4-razones-por-las-cuales-considerar-un-control-distribuido-vs-centralizado>

SRC. (2016, marzo 1). ▷ ¿Qué es un Sensor PT100? | Todo lo que Debes Saber. *Sistemas de Regulación y Control, S.L. :: Especialistas en temperatura y control de procesos.* <https://srcsl.com/que-es-un-sensor-pt100/>

Steemit. (2018, febrero 11). *La Pirámide de Automatización.* Steemit. <https://steemit.com/spanish/@autinf/la-piramide-de-automatizacion>

SyS. (2018, febrero 6). *Logo! 8 el relé programable de Siemens.* <https://www.solucionesyservicios.biz/Logo-v8>

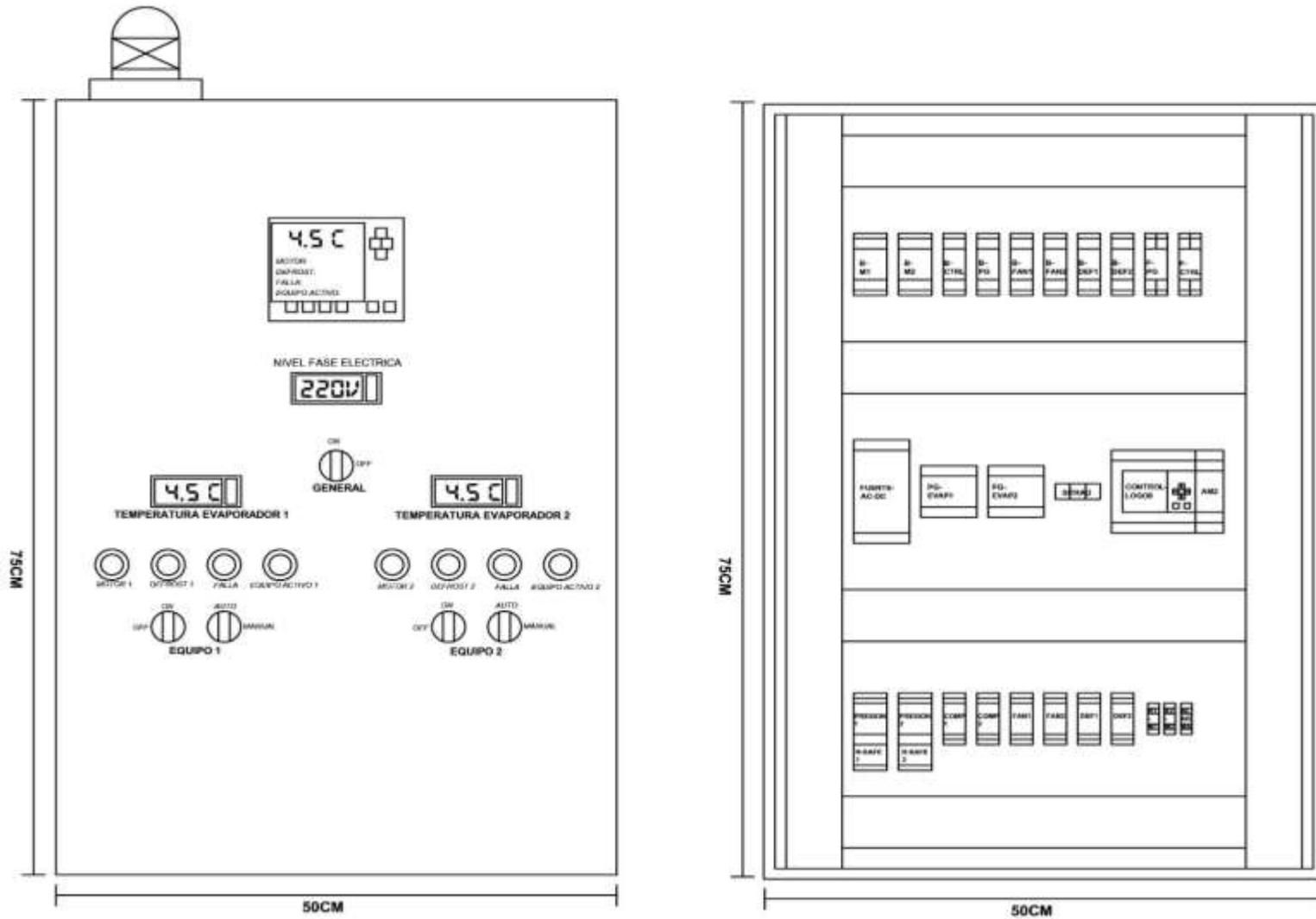
Uribe, L., Rodríguez, L., & Romero, J. (2016). *Estandarización de gráficos Dinámicos para sistemas de control distribuido* [Universidad Nacional Autónoma de México UNAM].

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/325/A4.pdf?sequence=4>

Witorg. (2018, diciembre 23). Pirámide de la automatización e industria 4.0. *witorg*. <https://www.witorg.org/piramide-de-la-automatizacion-e-industria-4-0/>

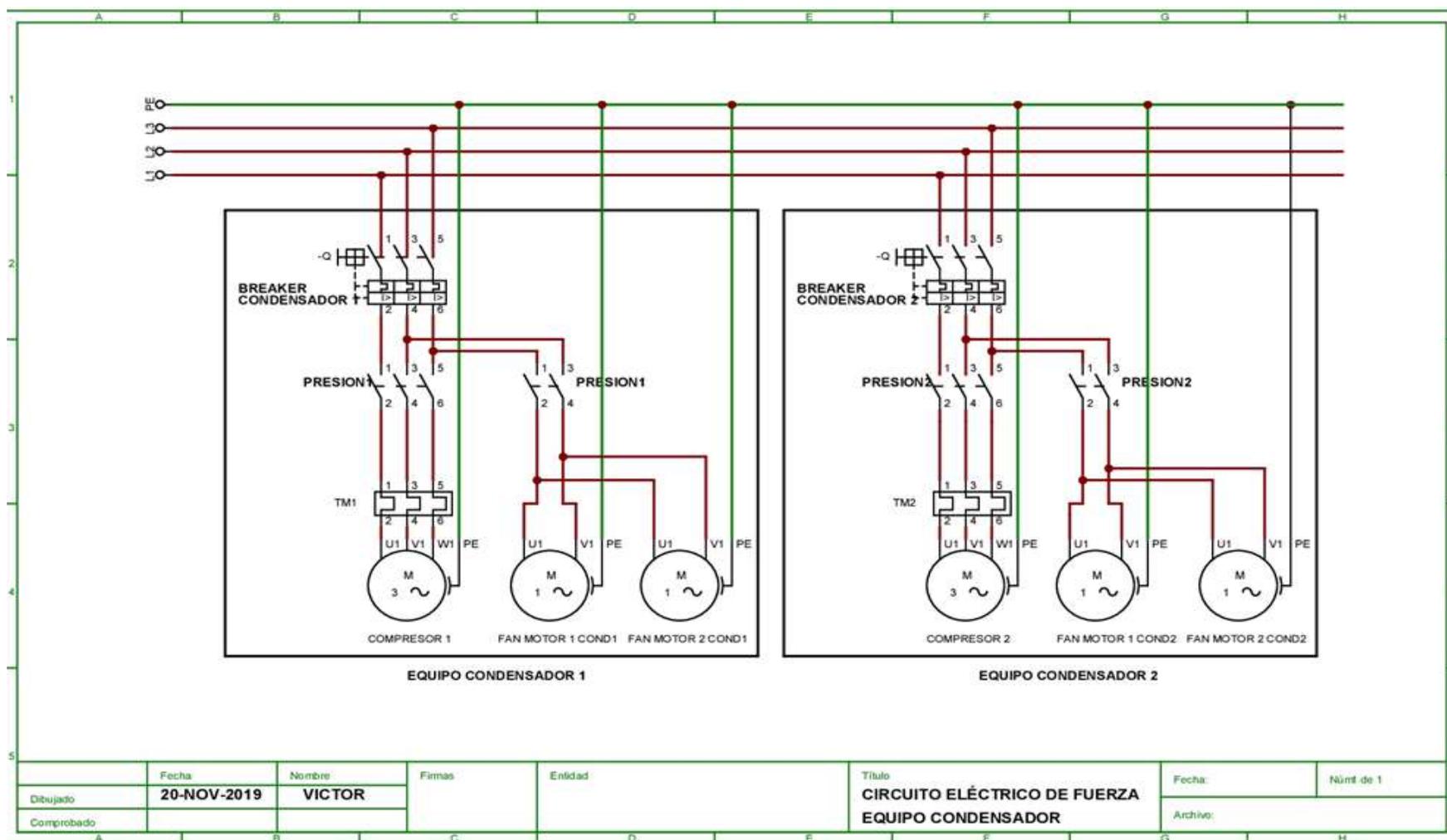
Zuñiga, V. (2015). *Topología de redes informáticas*. <https://guiascursos.files.wordpress.com/2011/08/topologia.pdf>

ANEXO 1: Tablero de control propuesto del sistema.



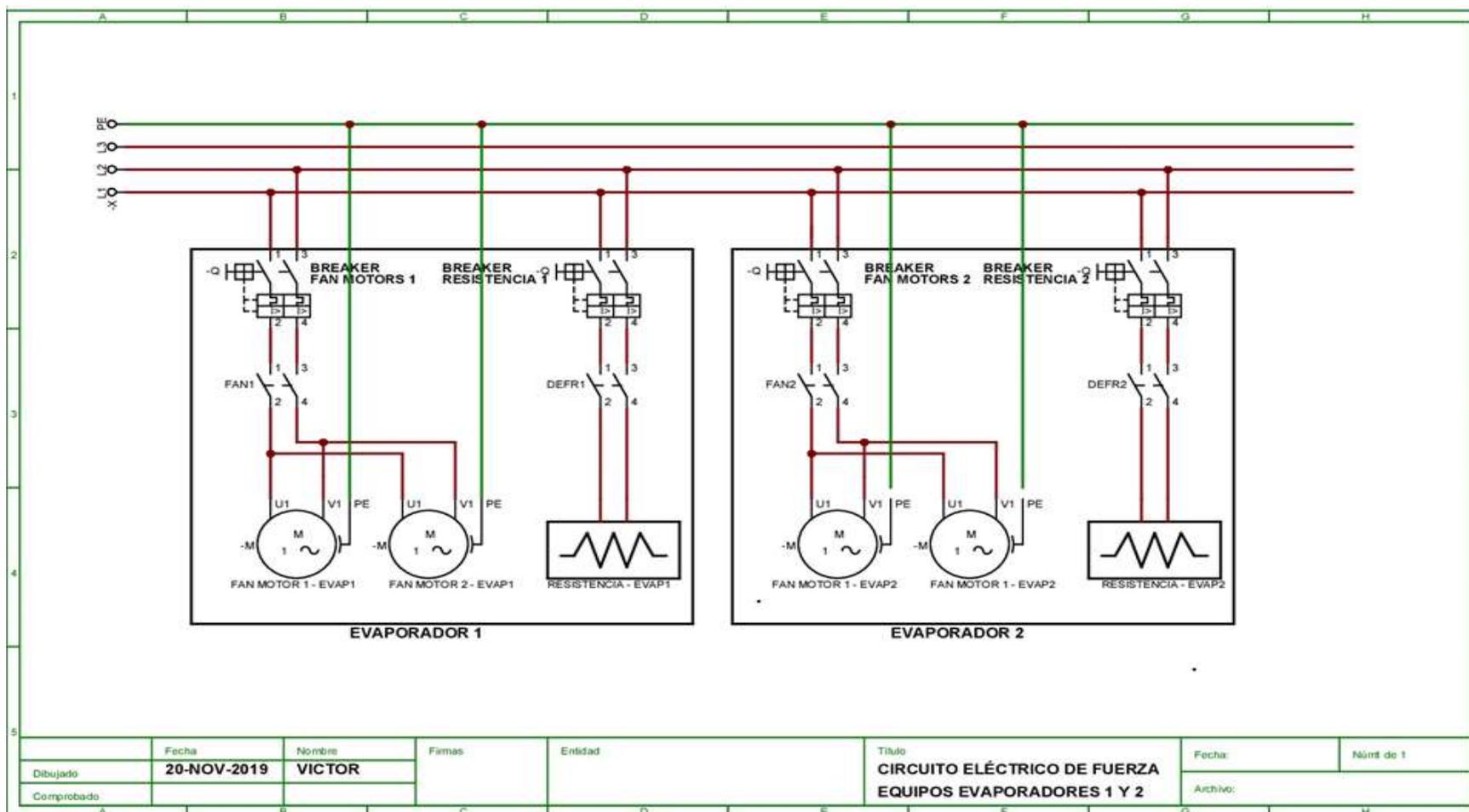
Nota: Diseño de panel eléctrico de control se sistema propuesto.

ANEXO 2: Diagrama de conexión de equipos de fuerza, condensador.



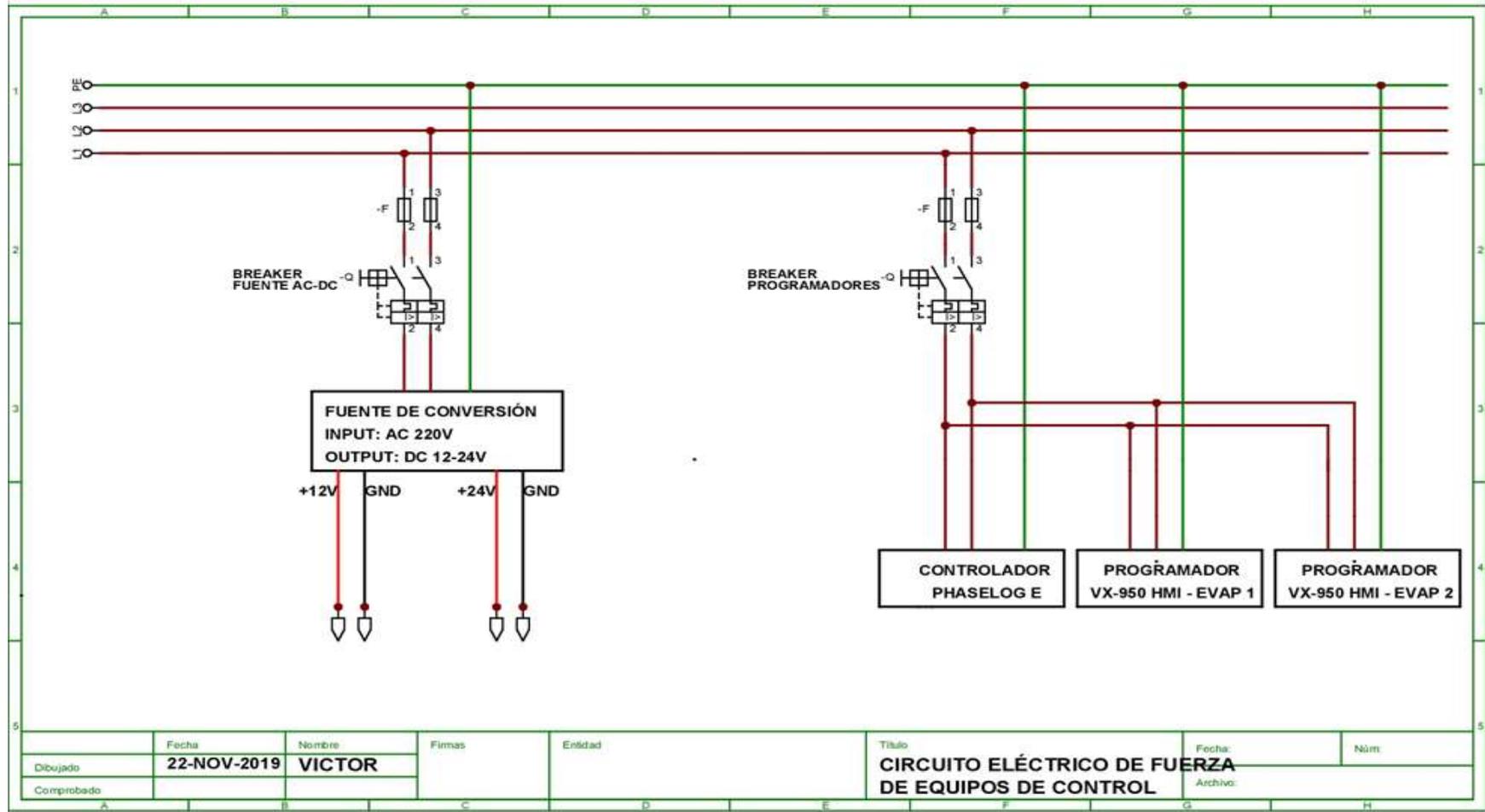
Nota: Circuito eléctrico de fuerza de equipos condensadores. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

ANEXO 3: Diagrama de conexión de equipos de fuerza, evaporador.



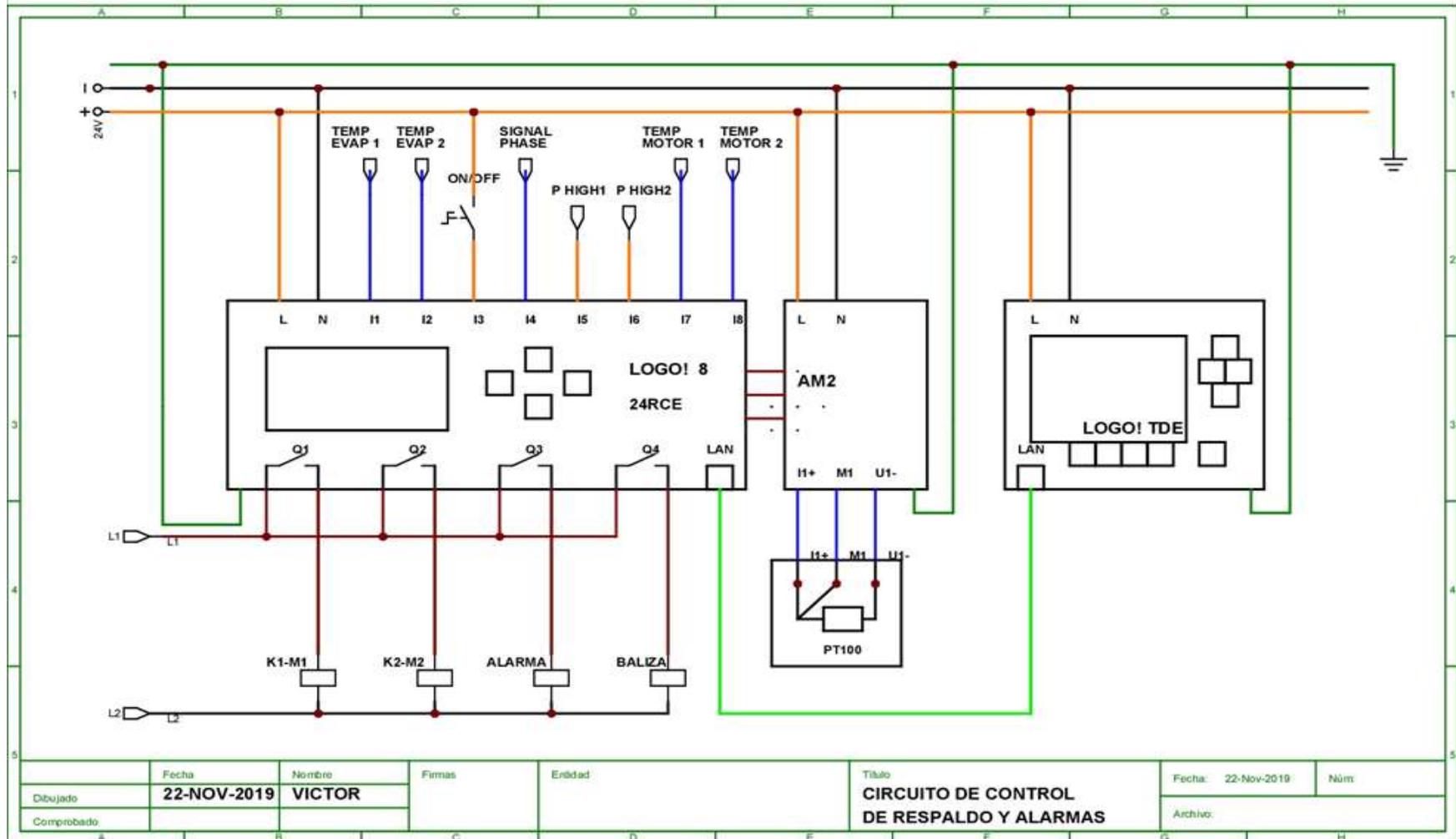
Nota: Circuito eléctrico de fuerza de equipos evaporadores. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

ANEXO 4: Diagrama de conexión de equipos de fuerza.



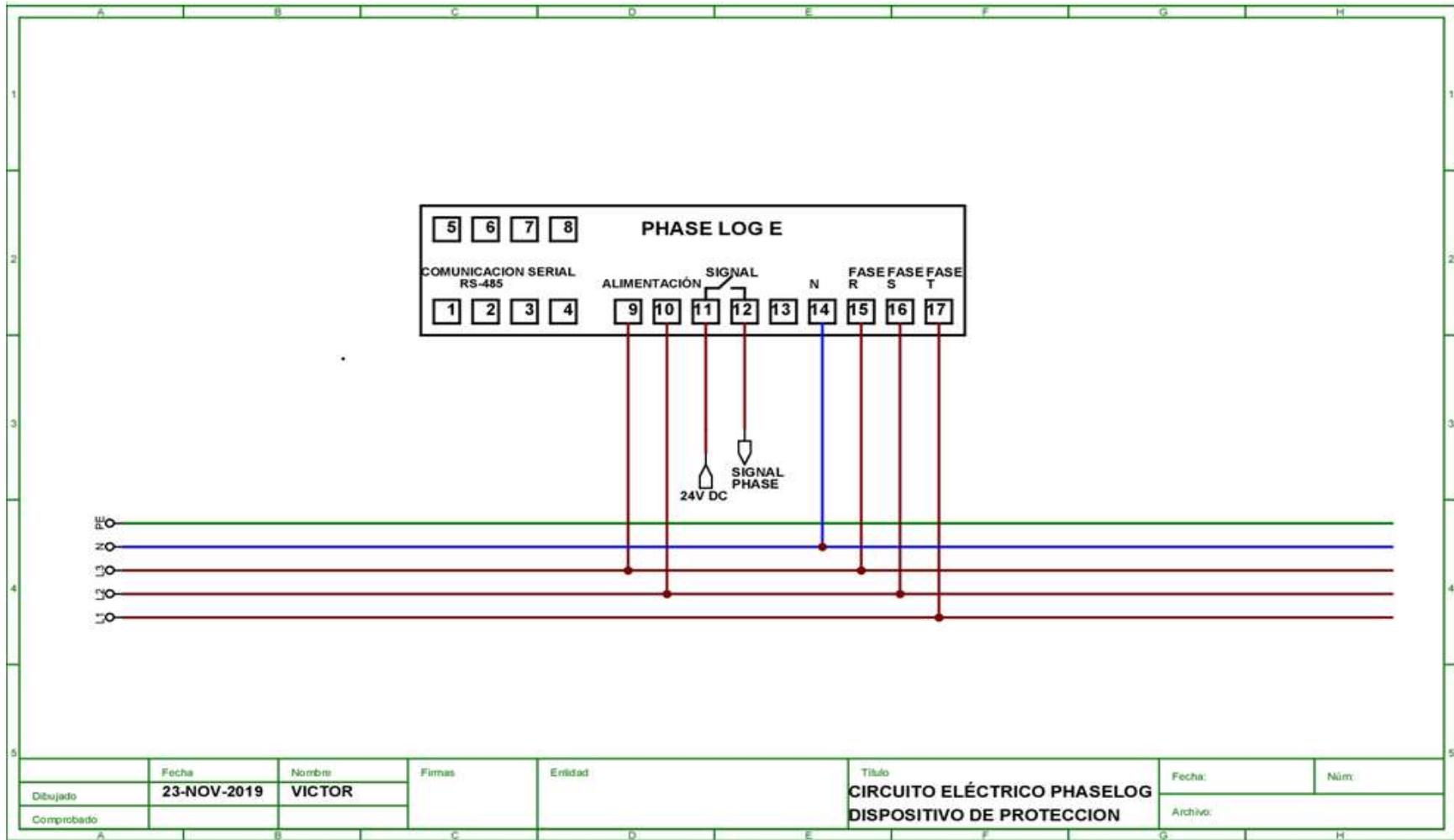
Nota: Circuito eléctrico de fuerza para equipos de control. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

ANEXO 5: Diagrama de conexión de equipos de control, PLC.



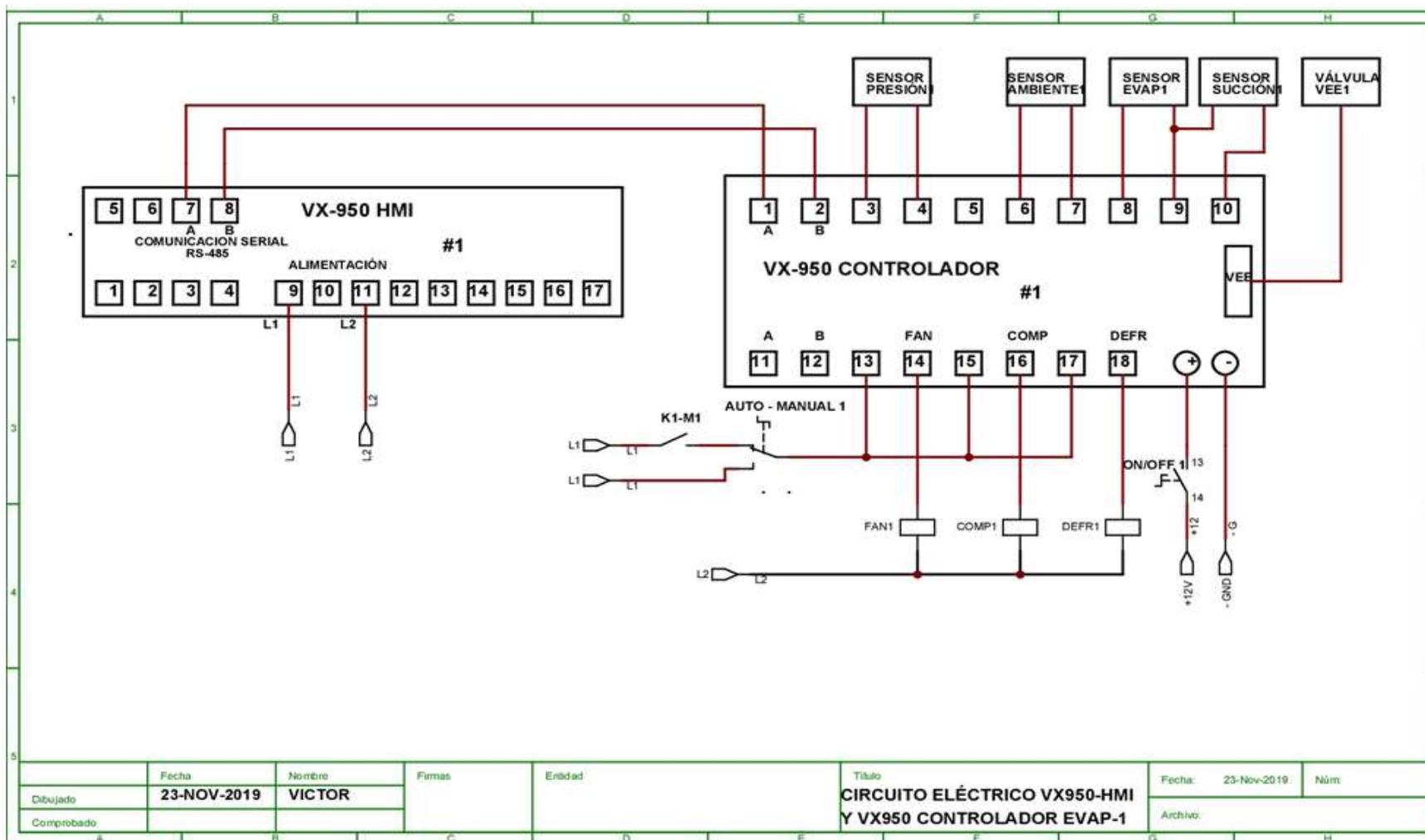
Nota: Diagrama eléctrico de dispositivo de control de Alarmas y HMI. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

ANEXO 6: Diagrama de conexión de equipos de control, PhaseLog.



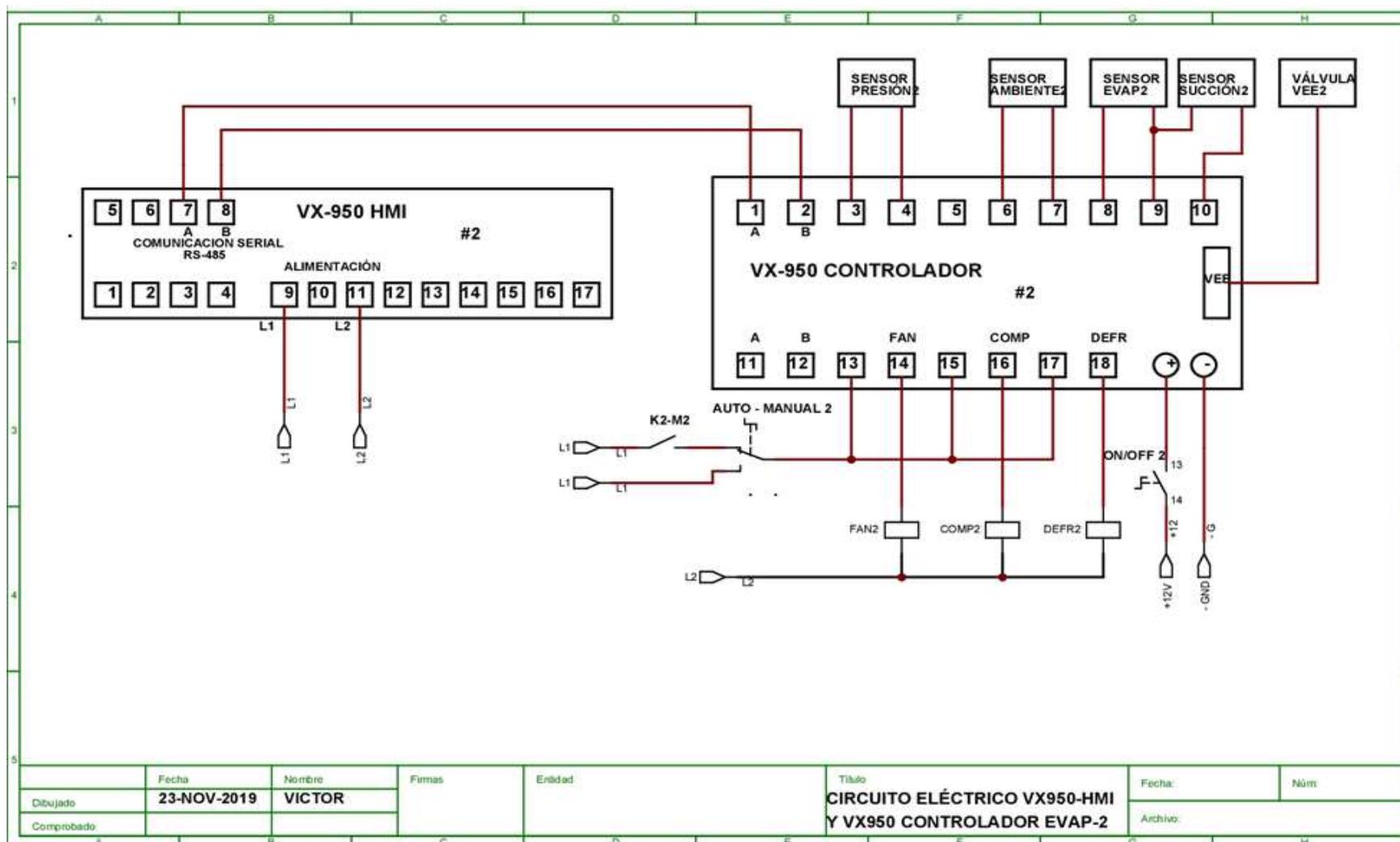
Nota: Circuito eléctrico de conexión de dispositivo de protección eléctrica PhaseLog. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

ANEXO 7. Diagrama de conexión de equipos de control, controlador 1.



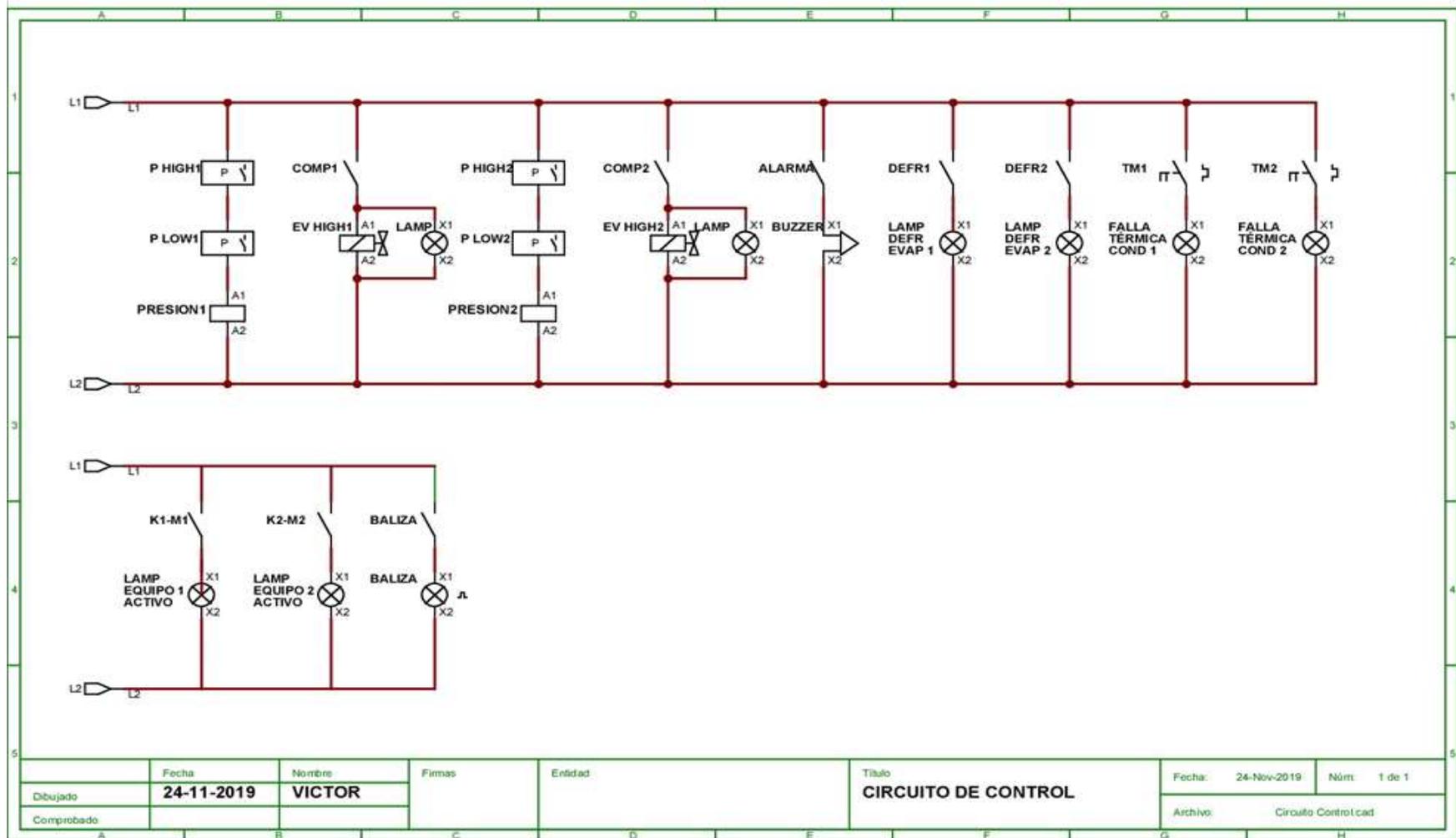
Nota: Circuito eléctrico de HMI y controlador Vx-950 Plus para el Evaporador 1. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

ANEXO 8: Diagrama de conexión de equipos de control, controlador 2.



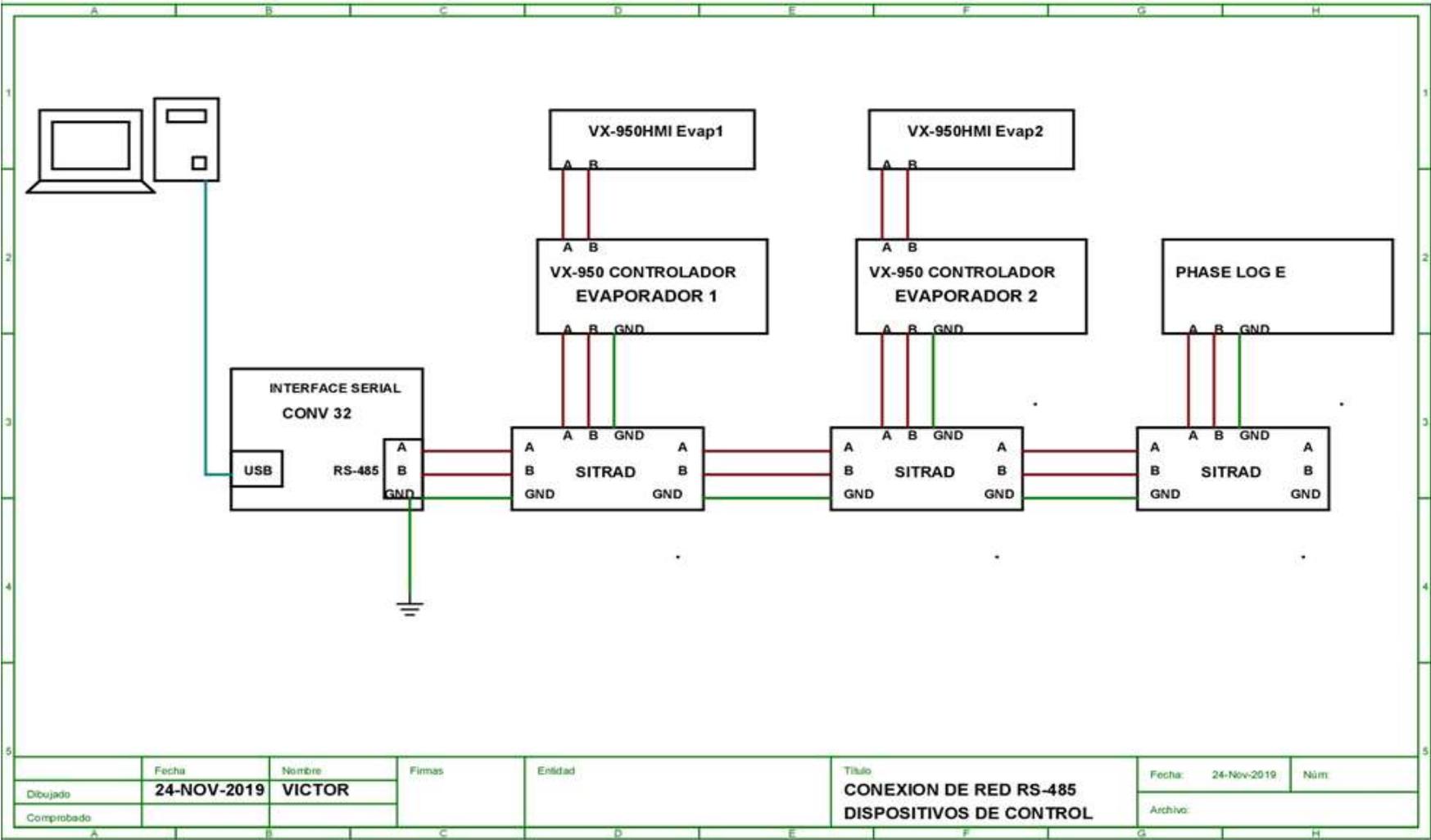
Nota: Circuito eléctrico de HMI y controlador Vx-950 Plus para el Evaporador 2. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

ANEXO 9: Diagrama de circuito de control.



Nota: Circuito de control para actuadores principales. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

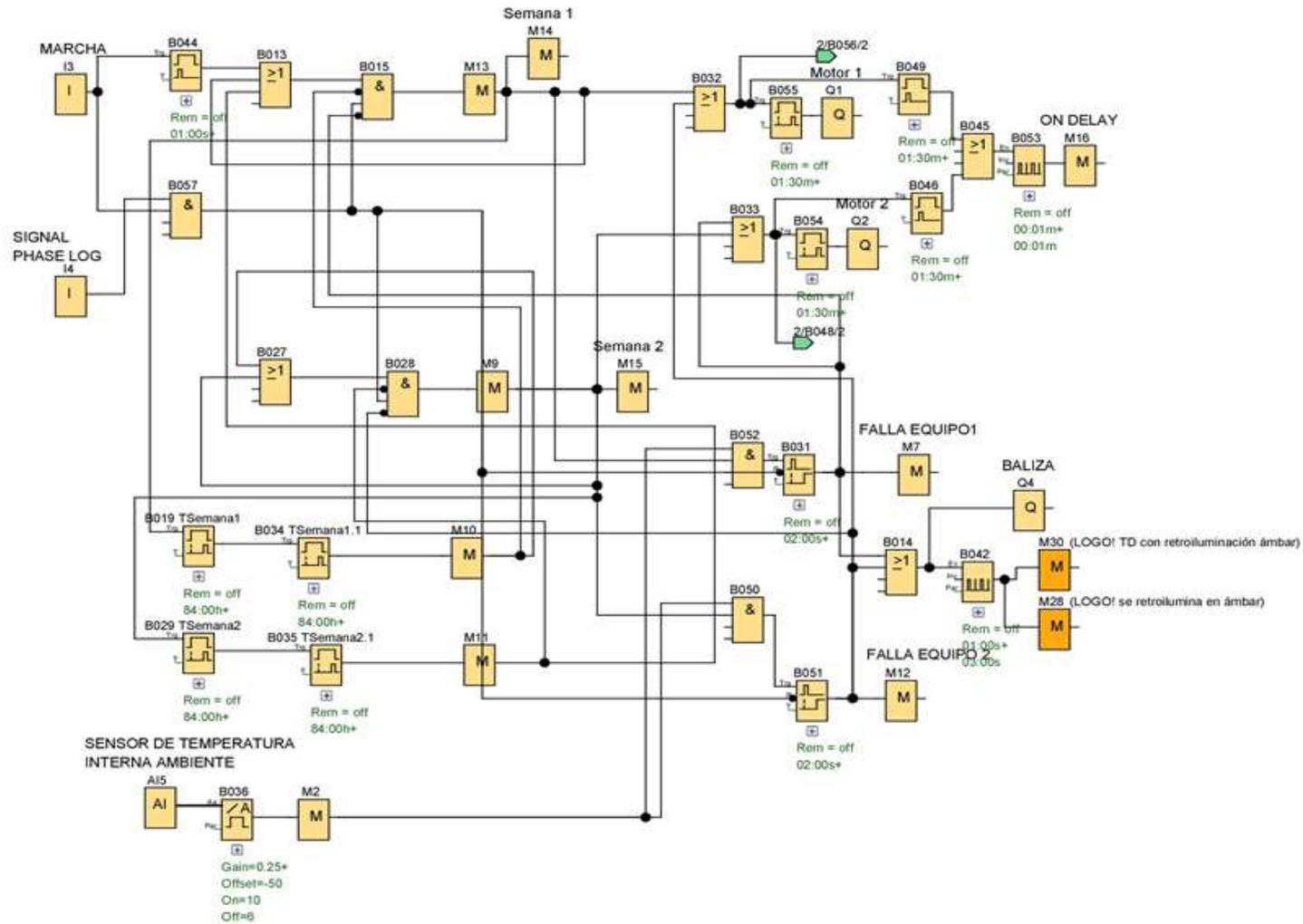
ANEXO 10: Diagrama de conexión de equipos de control, Full gauge.



Nota: Circuito de interconexión tipo Bus entre CPU Local y Dispositivos de Campo. Diagrama de conexión de sistema propuesto.

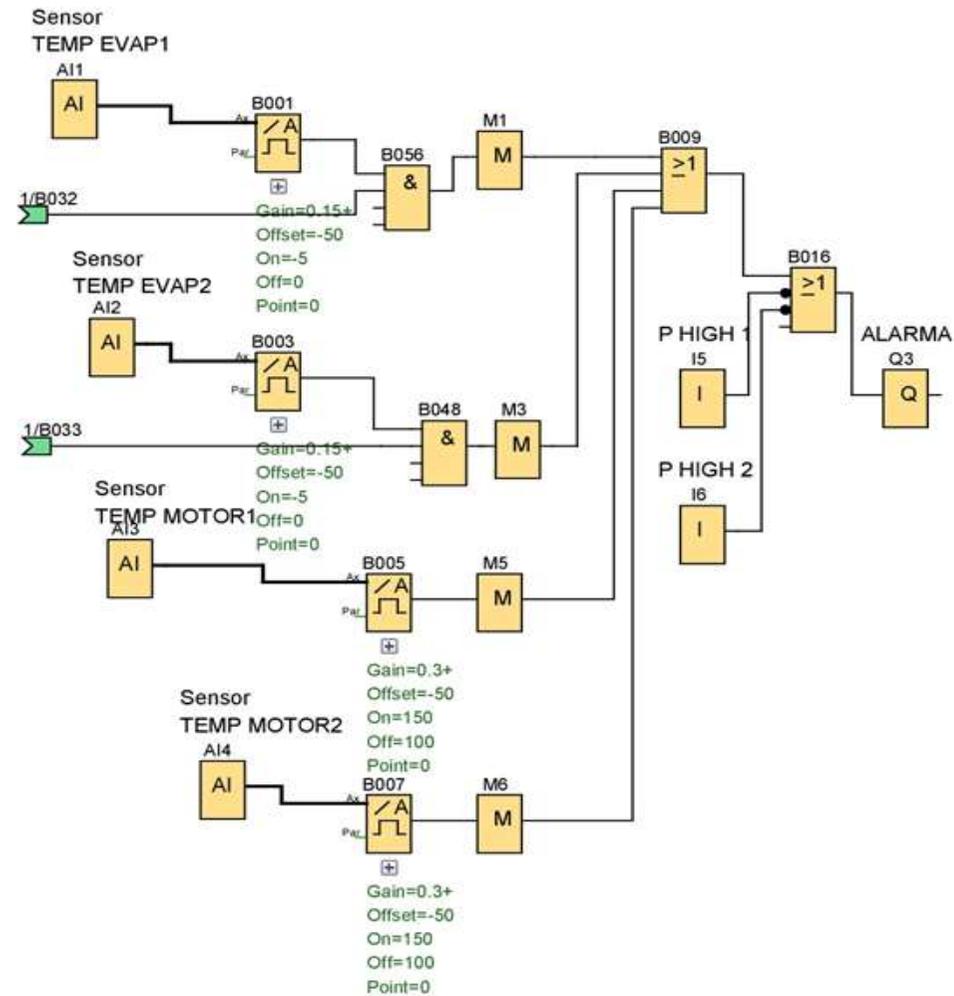
ANEXO 11: Bloques de programación de PLC, Respaldo.

CONTROL DE SISTEMA DE REFRIGERACION INDUSTRIAL



Nota: Bloques de Programación en LOGOSOFT para Sistema de Control propuesto etapa 1. Diagrama de interconexión de bloques en Logo8 del sistema propuesto

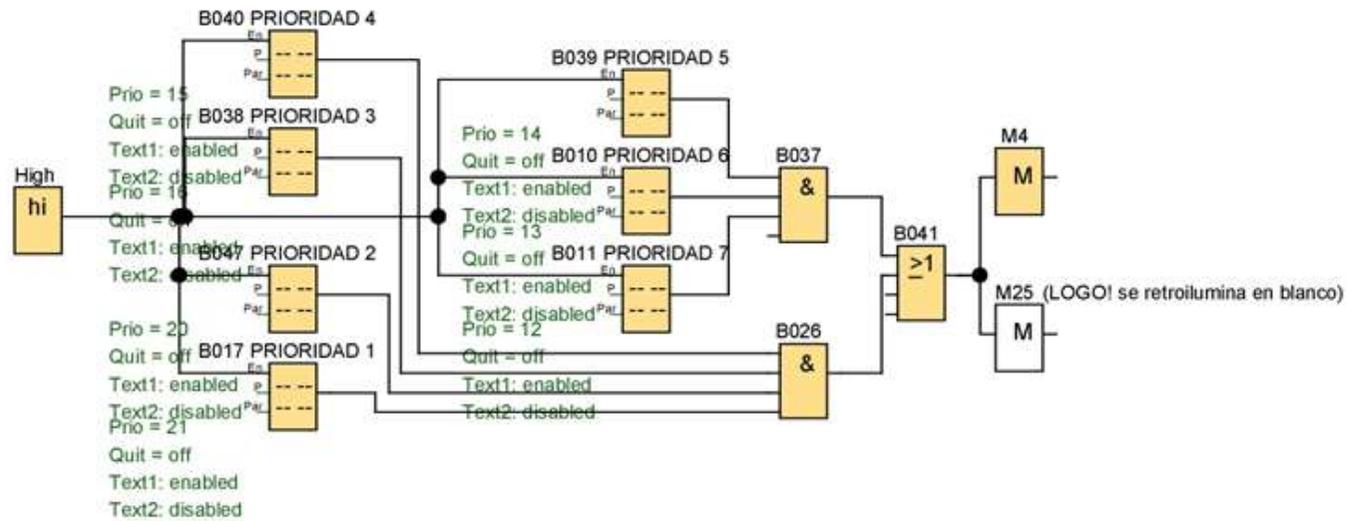
ANEXO 12: Bloques de programación de PLC, Alarmas.



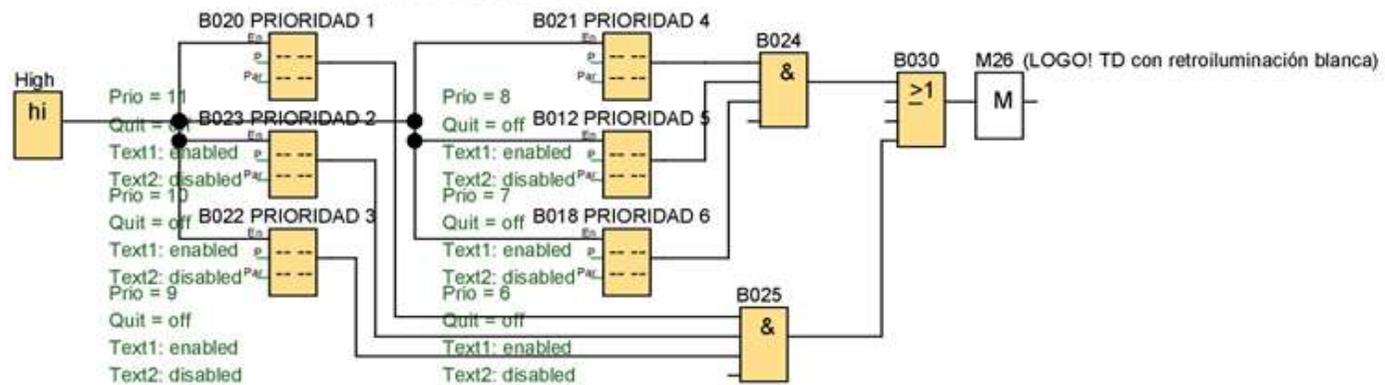
Nota: Bloques de Programación en LOGOSOFT para Sistema de Control propuesto etapa 2. Diagrama de interconexión de bloques en Logo8 del sistema propuesto.

ANEXO 13: Bloques de programación de PLC, Interfaz.

INTERFAZ LOGO 8



INTERFAZ LOGO TDE



Nota: Bloques de Programación en LOGOSOFT para Sistema de Control propuesto etapa 3. Diagrama de interconexión de bloques en Logo8 del sistema propuesto

ANEXO 14: Tabla de funcionamiento de gas refrigerantes.

Tabla de equivalencia de presión- temperatura obtenido de (Full Service Panama, 2019).

TABLA PRESIÓN-TEMPERATURA GASES FRIGORÍFICOS

Temperatura		R22	R407		R410A	R134a	R404A	R405A		R409A		R408A
°C	°F		Presión líquido	Presión vapor				Presión líquido	Presión vapor	Presión líquido	Presión vapor	
-40,0	-40	0,5	3,0	4,4	11,6	14,8	4,3	8,8	16,7	—	—	2,8
-37,2	-35	2,6	5,4	0,6	14,9	12,5	6,8	5,9	14,7	—	—	5,1
-34,4	-30	4,9	8,0	1,8	18,5	9,9	9,5	2,6	12,4	0,2	9,9	7,6
-31,7	-25	7,4	10,9	4,1	22,5	6,9	12,5	0,4	10	1,8	7,0	10,4
-28,9	-20	10,1	14,1	6,6	26,9	3,7	15,7	2,3	7,1	3,9	3,8	13,5
-26,1	-15	13,2	17,6	9,4	31,7	0,6	19,3	4,4	4,1	6,2	0,3	16,8
-23,3	-10	16,5	21,3	12,5	36,8	1,9	23,2	6,7	0	8,7	1,7	20,4
-20,6	-5	20,1	25,4	15,9	42,5	4,0	27,5	9,2	1,5	11,4	3,8	24,4
-17,8	0	24,0	29,9	19,6	48,6	6,5	32,1	11,9	3,6	14,4	6,1	28,7
-15,0	5	28,2	34,7	23,6	55,2	9,1	37,0	14,9	5,8	17,6	8,6	33,3
-12,2	10	32,8	39,9	28,0	62,3	11,9	42,4	18,1	8,2	21,1	11,4	38,3
-9,4	15	37,7	45,6	32,8	70,0	15,0	48,2	21,6	10,9	24,9	14,4	43,7
-6,7	20	43,0	51,6	38,0	78,3	18,4	54,5	25,3	13,7	29,0	17,6	49,5
-3,9	25	48,8	58,2	43,6	87,3	22,1	61,2	29,3	16,9	33,4	21,2	55,8
-1,1	30	54,9	65,2	49,6	96,8	26,1	68,4	33,6	20,2	38,1	25,0	62,5

Nota: Datos de temperaturas y presión de trabajo del gas R404a.

ANEXO 15: Tabla de capacidad máxima de sistema propuesto.

EQUIPO CONDENSADOR				
	TIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	VOLTAJE
MOTOR	HERMETICO SCROLL TORNILLO DISCUS	10HP	12kw	220V 3Ø
FAN MOTOR	AXIALES	2HP	14042 m ³ /h	220v
EQUIPO EVAPORADOR				
	TIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	VOLTAJE
FAN MOTOR	AXIALES	2HP	10548 m ³ /h	220V
RESISTENCIA	ELECTRICA	1,5HP		220V

Nota: Nota: Capacidad máxima de equipos soportado por sistema propuesto. Tabla de características técnicas de equipos, que puede soportar el sistema propuesto.

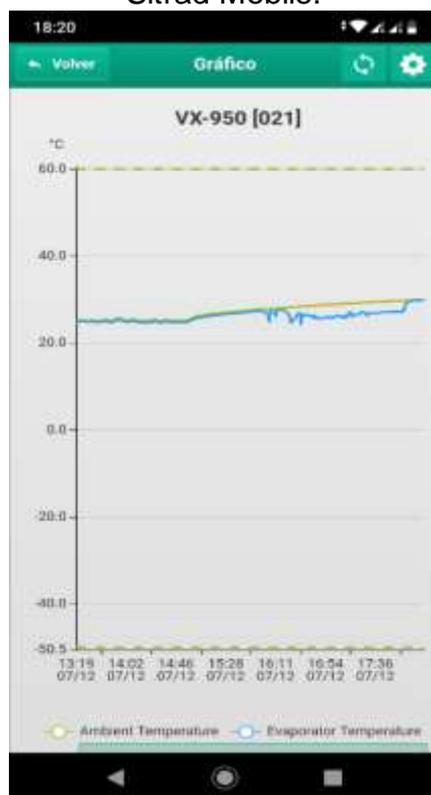
ANEXO 16: Ventanas de simulación en aplicativo Mobile SITRAD



Nota: Simulación de Ventana de información de equipo en aplicativo Sitrad Mobile.



Nota: Simulación de ventana de Alarmas en aplicativo Sitrad Mobile.

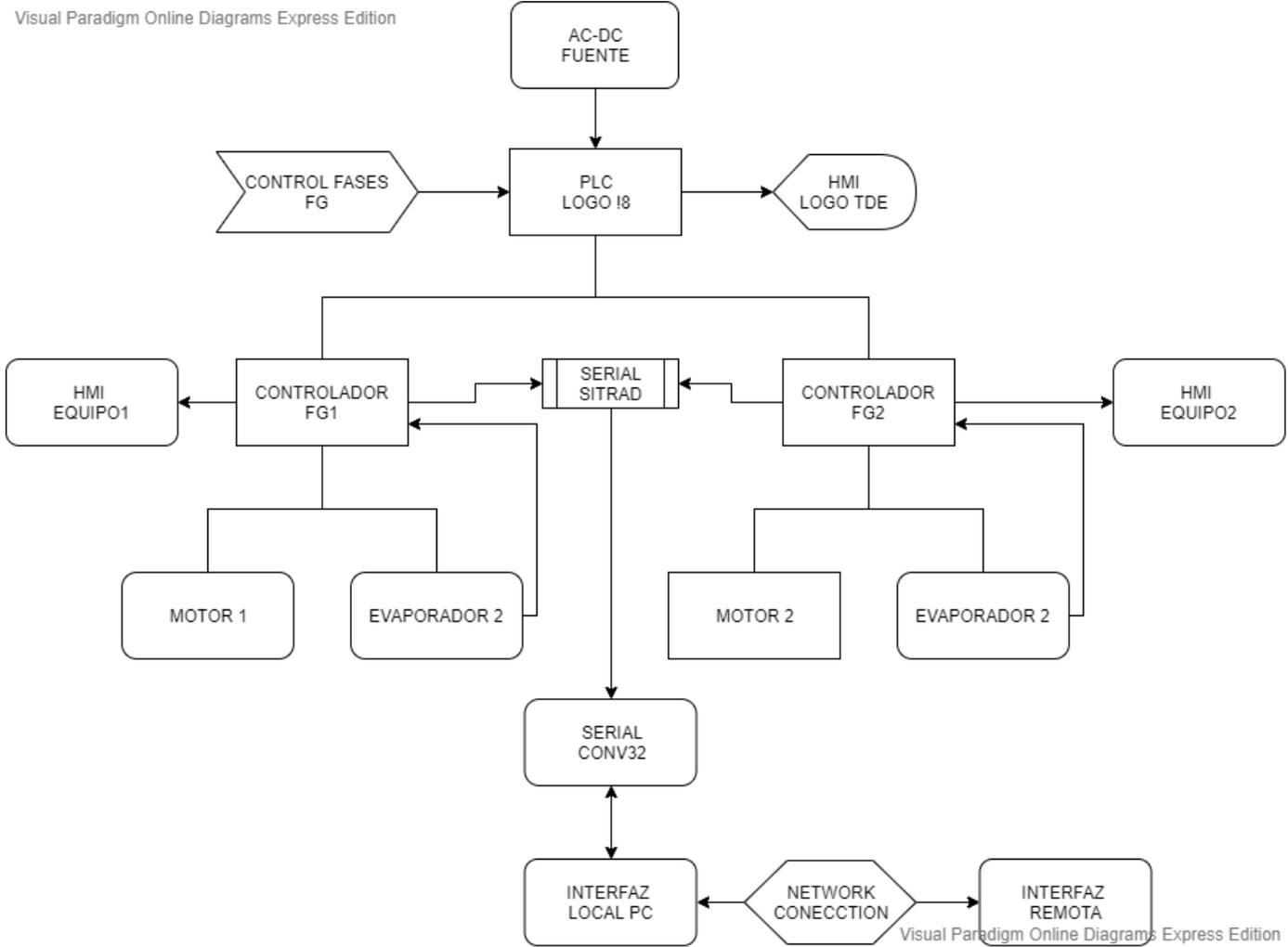


Nota: Simulación de Ventana de datos históricos mediante aplicativo.



Nota: Simulación de Ventana de cambios de parámetros de forma remota mediante Sitrad Mobile.

ANEXO 18: Diagrama de bloques de conexión de sistema.



Nota: Diagrama de Bloques de Sistema de Control Propuesto. Diagrama de interconexión y enlazado de etapas en el sistema propuesto.

ANEXO 19: Tabla de equipo ejemplo para investigación.

EQUIPO CONDENSADOR				
	TIPO	POTENCIA	CANTIDAD	VOLTAJE
MOTOR	HERMETICO SCROLL TORNILLO DISCUS	4Hp	2	220V 3Ø
FAN MOTOR	AXIALES	372w	2	220v
EQUIPO EVAPORADOR				
	TIPO	POTENCIA	CAPACIDAD	VOLTAJE
FAN MOTOR	AXIALES	280w	2	220V
RESISTENCIA	ELECTRICA	1,3Kw	1	220V

Nota: Tabla de datos del equipo ejemplo que se utiliza para implementar el sistema y realizar los respectivos cálculos de energía.

ANEXO 20: Simulación en sistema supervisorio.

The screenshot displays the Sitrad PRO supervisor interface for a VX-950 plus [001] unit. The interface is organized into several sections:

- Header:** Includes the Sitrad PRO logo, navigation tabs (Gerencial, Configuraciones, Informes, Deshielos y Eventos), and user information (Administrator, Servidor Local).
- Lista de dispositivos:** A sidebar menu showing the device hierarchy: Local Server MACHINE > CONV32 > VX-950 plus [001].
- STATUS:** Displays the current process status as "Refrigeración", the process time as "01:01", the mode as "Normal", and the door status as "Cerrada".
- SENSORES DE TEMPERATURA:** Shows two temperature readings: Ambiente at 31.5 °C and Evaporador at 4.6 °C.
- MEDICIONES:** Shows four measurement values: Apertura de la Válvula at 52.9 %, Temperatura Succión at -6.5 °C, Presión Succión at 12.0 psi, and Supercalentamiento at 25.7 °C.
- SALIDAS:** Shows three output indicators: Compresor (red dot), Ventiladores (red dot), and Deshielo (grey dot).
- Footer:** Includes the Full Gauge logo and a watermark for "Activar Windows".

Nota: Ventana principal de supervisión del controlador Vx950PLUS. Simulación de prueba del equipo en Primer encendido.

ANEXO 21: Baco de pruebas de controlador vx950Plus.



Nota: Prueba de funcionamiento de equipo controlador vx950Plus en banco de pruebas, representando los sensores como entradas análogas mediante potenciómetros. Las pruebas fueron realizadas en la empresa CoolMaster la cual permitió el uso de su banco de prueba de exhibición para probar este equipo controlador.

ANEXO 22: Simulación en banco de pruebas.



Nota: Banco de pruebas de equipos controladores Full Gauge. Imagen obtenida de pruebas de simulación realizadas con el sistema supervisorio Sitrad Pro. La imagen fue enviada por el personal de la empresa Full Gauge en Brasil, debido a la solicitud que se le envió para poder realizar las pruebas de funcionamiento del sistema propuestos con equipos reales en sus bancos de pruebas.

ANEXO 23: Equipo evaporador de prueba para simulaciones.



Nota: Equipo de prueba para realizar las simulaciones correspondientes, en cuarto refrigerado, de la empresa Difare.

ANEXO 24: Parametrización de equipos de control.

Los equipos de control que se usan en el diseño del sistema de refrigeración deben ser configurados de acuerdo con los parámetros de enfriamiento del área y el gas refrigerante a utilizar en los equipos. En los siguientes apartados se puede observar la configuración que deben ser parametrizadas antes de encender los equipos por primera vez.

- **Configuración de dispositivo PhaseLog.**

El dispositivo de control de fases eléctricas detecta si existe una falla en la red eléctrica, como pueden ser subidas de tensión, bajadas de tensión, falta de fases, asimetría angular y modular e intercambio de fases. Al detectar alguna de estas anomalías mencionadas, el dispositivo desactiva la señal de control que ingresa al PLC Logo, desactivando los equipos de refrigeración para prevenir fallas graves en el sistema.

Para su óptimo funcionamiento el dispositivo PhaseLog debe ser configurado previamente antes de dar inicio al sistema, en el siguiente tema se explica los parámetros que se configuran para el correcto funcionamiento de los equipos. Para poder ingresar al menú de parametrización se deben presionar al mismo tiempo las teclas de aumentar y disminuir durante un lapso de 1 segundo, luego se mostrará en el display el texto "Code", en ese momento se debe presionar la tecla Set, y deberemos cambiar el valor que está en la pantalla con las teclas de aumentar o disminuir, ingresando el código "123", luego presionamos Set nuevamente y ya ingresaremos al apartado de configuración del dispositivo.

Los parámetros que se cambiarán en el dispositivo serán esenciales para el funcionamiento correcto del sistema de refrigeración, por ende, se configuran los siguientes parámetros;

- F01 - Cantidad de fases en funcionamiento.
- F02 -Activa detección de inversión de fase.
- F07 - Tensión mínima de funcionamiento.
- F08 - Tensión máxima de funcionamiento.
- F23 - Dirección en la red RS-485:

a) Cantidad de fases en funcionamiento.

En este parámetro configurable se debe establecer las cantidades de fases a controlar, en este sistema de refrigeración se establecen 3 fases eléctricas de 220v, por lo que se debe ingresar en la función F01 en el menú de configuración del dispositivo e ingresar la opción “3”, la cual nos indica una conexión Trifásica R, S, T, de tipo estrella con línea Neutra.

b) F02 -Activa detección de inversión de fase.

En este apartado podemos establecer si se habilita o no la detención por inversión de fases para el sistema, al existir un intercambio de fases en el sistema puede perderse la sincronía del motor tipo Discuss que se utiliza, haciendo que cambie el giro de este y se pierda el control de compresión del gas refrigerante, para habilitar esta función se debe ingresar la opción F02 en el menú de configuración y cambiar el parámetro a la opción “1” (Activado).

c) F07 - Tensión mínima de funcionamiento.

Este parámetro nos permite establecer el valor mínimo de tensión cuando ocurre una baja de tensión, por lo cual se debe configurar para que los equipos no presenten fallas futuras por estar trabajando a un voltaje fuera del rango de operación de sus datos técnicos, para cambiar este parámetro se debe ingresar al código F07 y establecer el valor, en este caso propuesto será de “180v”.

d) F08 - Tensión máxima de funcionamiento.

Al ocurrir una sobre tensión de voltaje en algunas de las fases eléctricas, los equipos conectados al sistema pueden sufrir daños de choques eléctricos por sobre tensión. Para eso debemos configurar el valor máximo de voltaje en caso de ocurrir dicha sobretensión, para lo cual debemos ingresar al código F08 e ingresar el valor máximo, en este caso propuesto será de “260v”.

e) F23 - Dirección en la red RS-485.

En este parámetro configurable debemos ingresar la dirección que se le asignará al dispositivo PhaseLog para ser reconocido por el software de Monitorización, para ello le daremos la dirección número “1” en el parámetro

F23, de esta manera no existirá conflicto de información en el software de monitoreo.

- **Configuración de dispositivo Vx950-HMI y Vx950-Plus**

El dispositivo Vx950-Hmi nos permite visualizar el estado de funcionamiento del equipo, mediante el enlace recibido de los valores de lectura de los Sensor de Temperatura Ambiente, Sensor de Temperatura de Evaporador, Sensor de Temperatura de Descarga y los valores de medición del Sensor de Presión en la línea de descarga del evaporador enviados por el controlador Vx950-Plus.

El Vx950-HMI funciona en conjunto con el Módulo de control Vx950-Plus el cual se encarga del control de accionamiento del evaporador, motor, resistencia de deshielo y Válvula Electrónica VEE, además de las lecturas antes mencionadas de los sensores.

Para obtener una comunicación entre estos dispositivos, se conectan por comunicación Serial los bornes A y B del dispositivo 1 (Vx950-HMI) y los bornes A y B del dispositivo 2 (Vx950-Plus). Luego de tener esta conexión entre dispositivos, se puede ingresar a través del dispositivo 1 al Menú de configuración de parámetros del dispositivo 2, dado a que este no posee interfaz de visualización.

Los parámetros básicos de funcionamiento que necesita el dispositivo 2 para la lectura y accionamiento de las cargas son los siguiente;

- F04: Presión máxima de operación.
- F08: Tipo de fluido refrigerante.
- F11: Abertura inicial de la VEE.
- F18: Setpoint de operación.
- F21: Histéresis.
- F28: Tipo de deshielo.
- F30: Tiempo de refrigeración.
- F37: Tiempo de deshielo.
- F65 - Dirección en la red RS-485.

Para ingresar al menú de configuración, se debe acceder de la misma manera en la cual se accedió en la programación del PhaseLog, se debe

presionar las teclas de aumento y de disminución al mismo tiempo durante un segundo, luego ingresar la clave de acceso "123" y buscar el parámetro a configurar.

a) F04: Presión máxima de operación.

Este parámetro configurable permite establecer la presión máxima en la que va a trabajar, de acuerdo con el gas refrigerante que circula en el sistema de refrigeración. Este valor debe ser configurado para evitar que el gas refrigerante en forma de líquido retorne de manera rápida al motor y ocasione daños en las válvulas internas de este equipo. Se debe configurar este valor de acuerdo con el gas refrigerante que se va a utilizar. Con fines de ejemplo se establece que se usará el gas refrigerante tipo R404a.

b) F08: Tipo de fluido refrigerante.

En este apartado se debe establecer el gas refrigerante que va a circular por el sistema, como se mencionó anteriormente, se utiliza el gas r404a, para poder establecer este valor, se debe buscar la función F08 y elegir la opción "3" la cual corresponde a R404a.

c) F11: Abertura inicial de la VEE.

En este parámetro se debe definir el porcentaje de apertura de la Válvula VEE cuando se acciona el sistema, este parámetro trabaja en conjunto con el parámetro F12-Tiempo de retardo para control de sobrecalentamiento, como datos estándar se debe configurar una apertura del "50%" para que el gas refrigerante llegue al valor de temperatura de evaporación de manera rápida, sin afectar el funcionamiento del motor, por exceso de líquido en la línea de refrigeración. El apartado F12 debe ser configurado a un tiempo de "120s" máximo, para que el sistema luego de pasar este tiempo accione de manera automática el control total de la apertura de la válvula VEE. Estos datos parametrizados son valores estándares que se establecen en las válvulas electrónicas según Danfoss.3.6.2.4 F18: Setpoint de operación.

d) F18: Setpoint de operación.

La temperatura de Setpoint debe ser configurada de acuerdo con la capacidad de enfriamiento de los equipos, en este caso debe ser configurado dentro del margen de valor de 2° a 8° grados Celsius, dado a que los medicamentos se conservan dentro de este rango, por lo cual el parámetro a

configurar es un valor intermedio entre este rango mencionado, el cual es “3° C”. para configurar este valor se debe ingresar al parámetro F18 y se coloca el valor deseado de funcionamiento.

e) F21: Histéresis.

El margen de activación después de haber alcanzado el Setpoint debe ser establecido en el parámetro F21 el cual se denomina Histéresis, en este caso se establece el valor de “6° C” para que el equipo no salga del margen de conservación establecido de 2° a 8° C.

f) F28: Tipo de deshielo.

En este apartado se elige el tipo de deshielo que se ejecuta a la ingresar a la etapa de defrost, en este caso se elige el tipo de defrost por Deshielo eléctrico, dado a que los evaporadores con los que se establece este ejemplo poseen resistencias eléctricas. Las opciones que nos ofrece este parámetro son las siguientes; 0: Deshielo eléctrico, 1: Deshielo por gas caliente, 2: Deshielo natural.

g) F30: Tiempo de refrigeración.

En el tiempo de refrigeración se tiene en cuenta el valor o tiempo mínimo de funcionamiento para alcanzar el setpoint configurado en el primer inicio, este valor es configurado con un valor máximo de 10min, lo cual implica que el compresor no puede detenerse por ningún motivo durante ese lapso para alcanzar el valor de Setpoint

h) F37: Tiempo de deshielo.

El valor del tiempo de deshielo varía según la aplicación del equipo a utilizar en el sistema de refrigeración, para nuestro ejemplo el sistema tendrá un valor máximo de encendido de defrost de 15min, dado a que los medicamentos en el interior de las cámaras no pueden estar expuestos a temperaturas y humedades altas durante largos periodos.

i) F65 - Dirección en la red RS-485.

En este parámetro configurable debemos ingresar la dirección que se le asignará al dispositivo Vx950Plus para ser reconocido por el software de Monitorización, para ello le daremos la dirección número “2” al controlador del equipo 1, y la dirección número “3” al controlador del equipo 2 en el parámetro

F65, de esta manera no existirá conflicto de información en el software de monitoreo.

- **Bloques configurables en PLC Logo.**

Al sistema de control se le puede cambiar los parámetros de funcionamiento, en el caso de que se impelente en otros ambientes de trabajo, a continuación, se muestra los Bloques y los parámetros básicos a configurar para su óptimo funcionamiento.

a) Bloque de encendió de equipo de respaldo.

El bloque correspondiente a esta alarma es B036, tiene un valor por defecto; Parámetro ON= 10°C y Parámetro OFF= 6°C. (ON Encendido de alarma, OFF Apagado de Alarma).

b) Tiempo de rotación de equipos.

Para la Semana 1 se deben configurar los siguientes bloques dados por defecto en B019 = 84:00 horas (h;m) o (3.5 Días) y B034 = 84:00 horas (h;m) o (3.5 Días), dando una sumatoria total de 7 Días para el Próximo Cambio o Rotación.

Para la Semana 2 se deben configurar los siguientes bloques dados por defecto en B029 = 84:00 horas (h;m) o (3.5 Días) y B035 = 84:00 horas (h;m) o (3.5 Días), dando una sumatoria total de 7 Días para el Próximo Cambio o Rotación.

c) Retardo de encendido de motores.

Cada Unidad tiene un retardo de arranque, si el usuario desea se puede cambiar el tiempo de retardo por defecto en los siguientes bloques, para el MOTOR 1 es el Bloque B055 = 1:30 minutos (m;s) y para el MOTOR 2 es el Bloque B054 = 1:30 minutos (m;s).

d) Alarma por baja temperatura de evaporador 1.

Para el cambio del parámetro de activación de alarma por baja temperatura en el sistema, se debe cambiar el valor del bloque B001 que este dado por defecto con los siguientes valores de activación y apagado; valor umbral de ON= -50°C y valor umbral de OFF= -15°C, (ON Encendido de alarma, OFF Apagado de Alarma).

e) Alarma por baja temperatura de Evaporador 2.

Para el cambio del parámetro de activación de alarma por baja temperatura en el sistema, se debe cambiar el valor del bloque B003 que este dado por defecto con los siguientes valores de activación y apagado; valor umbral de ON= -50°C y valor umbral de OFF= -15°C, (ON Encendido de alarma, OFF Apagado de Alarma).

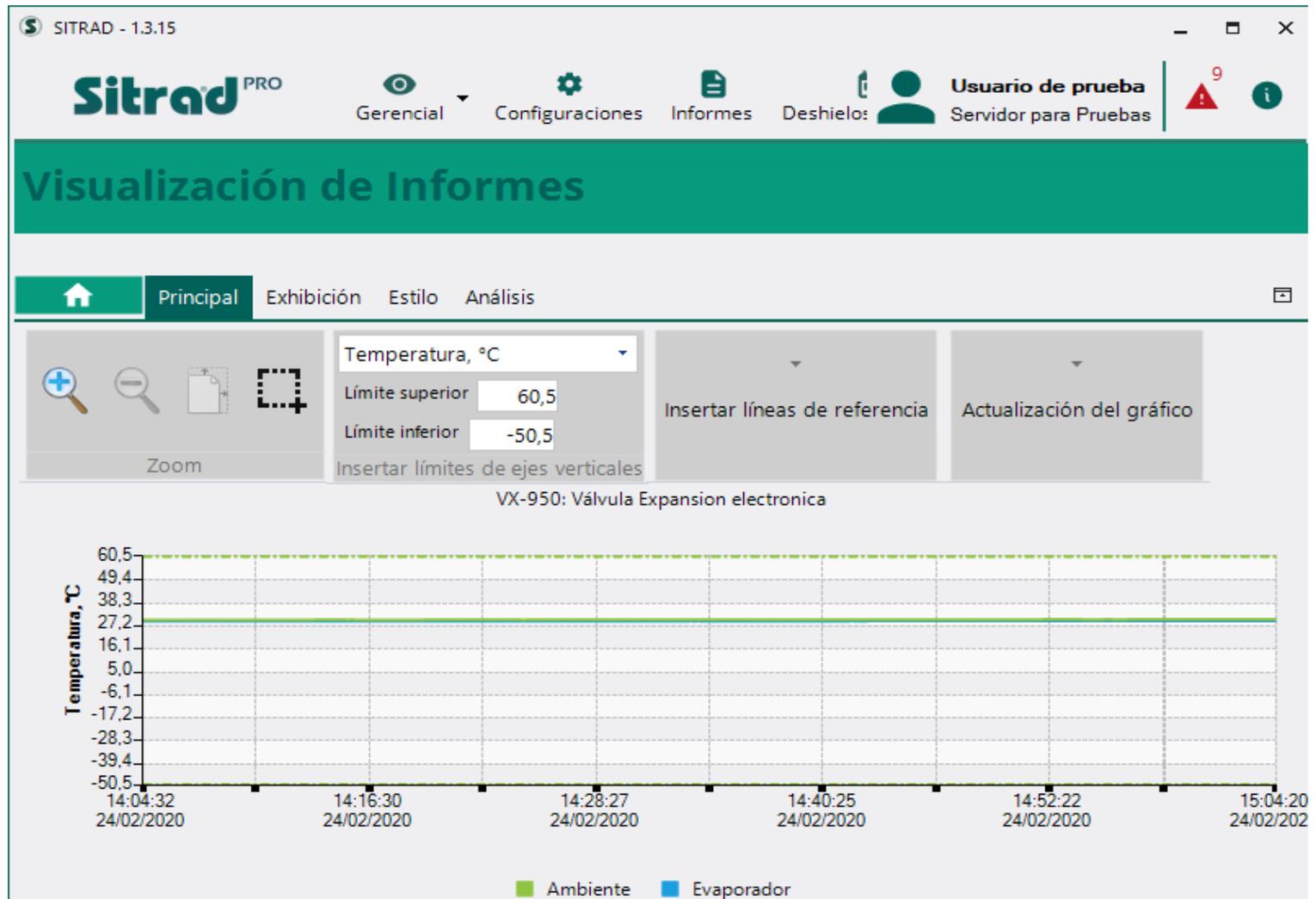
f) Alarma por alta temperatura en Motor1.

Para el cambio del parámetro de activación de alarma por alta temperatura o sobrecalentamiento en el sistema, se debe cambiar el valor del bloque B005 que este dado por defecto con los siguientes valores de activación y apagado; valor umbral de ON= 150°C y valor umbral de OFF= 100°C, (ON Encendido de alarma, OFF Apagado de Alarma).

g) Alarma por alta temperatura en Motor2.

Para el cambio del parámetro de activación de alarma por alta temperatura o sobrecalentamiento en el sistema, se debe cambiar el valor del bloque B007 que este dado por defecto con los siguientes valores de activación y apagado; valor umbral de ON= 150°C y valor umbral de OFF= 100°C, (ON Encendido de alarma, OFF Apagado de Alarma)

ANEXO 25: Simulación de generación de informes en software de supervisión Sitrad.



ANEXO 26: Nota: Cambio de parámetros de equipos de control mediante sistema supervisorio Sitrad.

SITRAD - 1.3.15

Sitrad PRO

Gerencial Configuraciones Informes Deshielos y Eventos

Usuario de prueba
Servidor para Pruebas

Lista de dispositivos

Filtrar ítems...

+ - ✎ ✕ ↺

- Servidor para Pruebas
 - TCP485 Converter
 - VX-950: Válvula Exp...**
 - PCT-3001 [022]
 - MOD142 [201]
 - MOD64 [006]
 - USB Converter
 - MT-512E Log [001]
 - PhaseLOG E [003]
 - MT-530E Super [009]
 - TI-44E [011]
 - TI-33Ri [012]
 - TC-900 clock [013]
 - MT-543Ri Log [014]
 - TC-960Ri Log [015]
 - MT-512Ri [016]
 - EnergyLog [018]

Windows 10 Compatible

VX-950: Válvula Expansion electronica

↺ 🔍 📄 🖨️ 📄

Código	Descripción	Valor min.	Valor máx.	Unidad	Valor actual
F01	Offset de presión (P1)	-5	5	psi	5
F02	Faja del sensor de presión	1	5		5
F03	Alarma de presión baja(LOP)	-1	200	psi	1
F04	Alarma de presión alta(MOP)	1	500	psi	200
F05	Ganancia estática (Kp)	0	999		0
F06	Tiempo de Integral (TI)	0	999	sec	0
F07	Tiempo de derivada (Td)	0	999	sec	0
F08	Tipo de fluido refrigerante	0	5		3
F09	Número total de pasos de la válvu...	1	9999		5400
F10	Velocidad de operación (pasos por s...	1	120		30
F11	Valor Inicial de abertura de la válvu...	0	100	%	53
F12	Tiempo de retardo para control d...	1	99	min	9
F13	Setpoint de sobrecalentamiento	0,0	60,0	°C	50,0
F14	Alarma de sobrecalentamiento crítico	0,0	60,0	°C	2,0
F15	Alarma de sobrecalentamiento bajo	0,0	40,0	°C	4,0
F16	Alarma de sobrecalentamiento alto	4,0	60,0	°C	40,0
F17	Setpoint de operación	0,0	30,0	°C	4,0

Descripción de la función

Permite ajustar algún desvío de medida de la presión.

ANEXO 27: Cotización de equipos de refrigeración tipo rack con servicio de instalación.

KEVIN EDWIN VILLAMAR NAVARRETE
 Servicio de Venta, Instalación, Mantenimiento y
 Reparación de equipos de Refrigeración Comercial e industrial
 y Equipos de línea blanca.



Tel.: 04-2188272- 0994561128
 email: coolmaster.ecuador@gmail.com
 Guayaquil - Ecuador

R. U. C. 1307243871
PROFORMA
 756

Cliente:	CONSUMIDOR FINAL	Fecha:	20/12/2019
R.U.C. / C.I:	NADA	Forma de pago:	NADA
Dirección:	NADA		

CANT.	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	VALOR DE VENTA
1	EQUIPO CONDENSADOR DE REFRIGERACION RACK INCLUYE:		45350,00
2	MOTOR 2HP 220V 3FASES		
4	FAN AXIAL 372WATTS 220V		
1	PRESOSTATO DE ALTA PRESION R507		
1	PRESOTATO DE BAJA PRESION R507		
1	EQUIPO EVAPORADOR DE REFRIGERACION INCLUYE:		4200,00
2	FAN AXIAL 280WATTS 220V		
1	RESISTENCIA 1,3KWATTS 220V		
6	GAS R500 10KILOS	163,93	983,56
8	GAS R507 10KILOS	165,05	1320,37
	SERVICIO TECNICO DE INSTALACION		15392,50
	MATERIALES VARIOS PARA PANEL DE CONTROL		
Son: SESENTA Y NUEVE MIL TRESCIENTOS SETENTA CON 00/100 dolares.			
ELABORADO POR		RECIBI CONFORME	
		SUB TOTAL	61937,50
		SUB TOTAL 12%	7432,50
		VALOR TOTAL	69370,00



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Navarrete Enderica, Victor Alejandro** con C.C: # 093170079-3 autor del Trabajo de Titulación: **Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos**, previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 28 de febrero del 2020

f. _____

Nombre: Navarrete Enderica, Victor Alejandro

C.C: 093170079-3

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de sistema de control automatizado y utilización de software para la monitorización remota de equipos de refrigeración industrial de bajo costo, en la industria de conservación de medicamentos		
AUTOR(ES)	Navarrete Enderica, Víctor Alejandro		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M.A.E. Gallardo Posligua Jacinto Esteban		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	28 de febrero del 2020	No. DE PÁGINAS:	136
ÁREAS TEMÁTICAS:	Automatización, Refrigeración, Sistemas de Supervisión.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Defrost, Supervisión, Refrigeración, PLC, Válvulas de Expansión Electrónica, Termolábiles.		

Los equipos de refrigeración en la actualidad ofrecen pocas prestaciones y características durante su funcionamiento, en el sector industrial farmacéutico llevar el control exhaustivo de conservación de los productos fármacos es un papel importante, que en muchos casos la calidad de estos puede verse comprometida, cuando un equipo de refrigeración falla, se empieza a incrementar de manera rápida la temperatura interna de los cuartos de almacenamiento, lo cual el incremento de temperatura ocasiona un efecto negativo para los medicamentos. El presente trabajo de investigación propone un sistema de control automatizado y supervisión remota, que permita evaluar los estados y procesos de manera eficaz, logrando un sistema robusto mediante la utilización de equipos de control y supervisión de bajo costo, que conlleva un sistema de refrigeración aplicada a la conservación de medicamentos. Como resultados se obtiene un sistema supervisorio y de control mediante etapas que demuestran que el sistema propuesto permite una mayor eficiencia y optimización del control de temperatura de los cuartos refrigerados, mediante simulaciones realizadas en software y con equipos reales, las cuales demuestran su funcionalidad al realizar las pruebas en un cuarto refrigerado real lo cual servirá de evidencia de la funcionalidad del sistema. La metodología utilizada en este documento es de tipo correlacional con un enfoque cuantitativo, el cual mediante análisis permite valorar la información que se obtenga de las fuentes, simulaciones, y procesos para que de esta manera se pueda evaluar y experimentar el desempeño del sistema en un ambiente de trabajo real.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-91896427	Email: navarrete.victor33@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Mendoza Merchán, Eduardo Vicente	
	Teléfono: +593-9-85086815	
	E-mail: eduardo.mendoza@cu.ucsg.edu.ec	

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

Nº. DE REGISTRO (en base a datos):	
Nº. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	