

ELABORACIÓN DE TABLEROS DE CONTROL Y FUERZA PARA LA AUTOMATIZACIÓN EN CUARTOS FRÍOS

DEVELOPMENT OF CONTROL AND FORCE CABINETS FOR THE AUTOMATION IN COLD ROOMS

Dhayan Isabel Rochín Reyes

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
dhayanisabel.fic@uas.edu.mx

Mario García Irigoyen

Universidad Autónoma de Sinaloa, CECATI 32, México
mariogarcia@uas.edu.mx

Jorge Valentín Bajo de la Paz

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
e.vale.bajo@uas.edu.mx

Canek Portillo Jiménez

Universidad Autónoma de Sinaloa, México
canekportillo@uas.edu.mx

Recepción: 11/noviembre/2022

Aceptación: 19/marzo/2023

Resumen

Se han elaborado tres gabinetes como parte de la automatización del control de temperatura de tres cámaras frigoríficas de una empresa del ramo agrícola. Se han considerado dos etapas: etapa de fuerza y de control. Para la etapa de fuerza se ha dimensionado los elementos de protección y monitorización, considerando todos los parámetros eléctricos de los actuadores. En la etapa de control se ha utilizado un controlador lógico programable (PLC), implementándose un programa desarrollado en lenguaje escalera. Aunado a ello, se han diseñado los planos y diagramas eléctricos para, como parte del proceso constructivo, acoplar e interconectar las distintas etapas. Finalmente, se han instalado los gabinetes y se han realizado pruebas y ajustes de verificación del correcto funcionamiento. Los tres gabinetes están instalados en los sitios correspondientes en la empresa, donde han permitido un control adecuado y seguro en las cámaras frigoríficas de almacenamiento de productos hortícolas.

Palabras Clave: Automatización, cámaras frigoríficas, control de temperatura, cuartos fríos, tablero de control.

Abstract

Three cabinets have been developed as part of the temperature control of three cold rooms of a company in the agricultural sector. Two stages have been considered: Control and Power Stage. In the power stage the protection and monitoring elements have been dimensioned considering the electrical parameters of the different actuators. In the control stage, a programmable logic controller (PLC) has been used, implementing a program developed in ladder language. In addition to this, the electrical diagrams have been designed to, as part of the construction process, interconnect the different stages. Finally, the cabinets have been installed and tests and adjustments have been made to verify their correct operation. The three cabinets are installed in the corresponding locations of the company, where they have allowed an adequate and safe control in the cold rooms for storage of horticultural products.

Keywords: Automation, cold rooms, control panel, temperature control.

1. Introducción

Los sistemas de automatización han contribuido en el desarrollo industrial proporcionando medios confiables para realizar procesos cuyo funcionamiento se requiere que se mantenga de forma ininterrumpida. Al implementarse un proceso automatizado específico, usualmente se acompaña con la instalación de un tablero o gabinete de control para facilitar la gestión del sistema automatizado. Estos tableros suelen integrarse de dispositivos de protección y control, además de instrumentos de medición [Martín, 2009]. Por otro lado, existen empresas del ramo agroindustrial que incluyen, dentro de sus procesos de postcosecha, el almacenamiento de frutas y hortalizas para una mejor conservación y manejo de sus productos [Meneses, 2001]. Por lo anterior, para el mantenimiento de un sistema de refrigeración de cuartos fríos, que garantice una operación con seguridad y tomando en cuenta las necesidades del producto, se suele utilizar

sistemas automatizados de control de temperatura. Este proyecto consiste en la automatización del control de temperatura de tres cuartos fríos de una empresa dedicada a la agroindustria. Este trabajo ha sido una colaboración entre una empresa dedicada a la automatización ubicada en Culiacán, Sinaloa y la Universidad Autónoma de Sinaloa, donde esta última se ha enfocado en el desarrollo de los gabinetes. Las necesidades de la empresa agroindustrial consistían en la automatización del control de temperatura de tres cuartos fríos, llamados también cuartos de gaseo. En este caso, la empresa ya contaba con equipo de refrigeración instalado, consistente en un condensador evaporativo para los tres cuartos fríos, además de una manipuladora de aire y un compresor por cada uno de los cuartos considerados. Se procede a realizar un diagnóstico y una propuesta, de la cual resulta la instalación de tres gabinetes: uno denominado de accionamiento, otro nombrado de fuerza y control, y un tercero llamado del condensador evaporativo. El esquema conceptual e interrelación entre los gabinetes se puede observar en figura 1.



Figura 1 Esquema conceptual e interrelación de los gabinetes.

El gabinete de fuerza y control, y el gabinete del condensador evaporativo incluyen tanto dispositivos de protección y control, como dispositivos de fuerza para motores. El gabinete de accionamiento incluye órganos de mando y elementos de visualización. En el mercado existen tableros ya disponibles para su adquisición, pero pueden ser relativamente genéricos para un proyecto específico, no ajustándose a los requerimientos o ser de mayor capacidad de la que se necesita. Incluso, ocupando más espacio del disponible con componentes que no son

necesarios para la aplicación que se ha de implementar y con un consumo mayor de energía [Nassar, 2021], [Wattco, 2021], [Siemens, 2020]. Por otro lado, los condicionamientos preestablecidos de la programación pueden no ajustarse a los requerimientos específicos, tomando en cuenta que el cliente requiere de un proceso transparente en el que solo tenga que accionar para visualizar la temperatura de cada sitio con su secuencia de funcionamiento correcta.

Una de las principales ventajas de este proyecto es el desarrollo de una implementación *ad hoc* al cliente, donde se aprovecha de forma óptima la infraestructura ya instalada, adaptándose a los equipos ya existentes sin necesidad de instalación de maquinaria nueva, permitiendo un ahorro recursos y un menor costo. Existen gabinetes de control que se desarrollan de acuerdo con el contexto del lugar, facilitando el manejo automático de una estación de servicio y logrando la operación de surtidores y dispensadores a distancia, mediante la apertura y cierre de válvulas localizadas [Cardozo, 2011]. Aunque este tablero es solo de fuerza, no cuenta con programación, siendo implemente de accionamiento mediante contactores y relés. En [Guachalla, 2017] logran realizar el control de temperatura de un cuarto frío, aunque con la ayuda de un controlador TC-900Ri y sin utilizar un PLC. En [Godínez, 2018] implementan un sistema de monitorización de temperatura para cuartos térmicos para una empresa dedicada a la fabricación de polímetros, pero lo hacen utilizando un microcontrolador. Por otro lado, existen gabinetes que incorporan algún proceso de programación con PLC, pero solo con propósitos didácticos, además de funciones muy específicas para el aprendizaje del control de alguna máquina de laboratorio [Briceño, 2020]. En [Guachi, 2016] automatizan y monitorizan un sistema de refrigeración de cuartos fríos de una empresa de productos lácteos. Incluso, utilizan un PLC para el control, sin embargo, además de ser una aplicación distinta, utilizan un PLC diferente y no se logra observar los dispositivos físicos o algún gabinete de control en su proyecto.

2. Métodos

Con el fin de facilitar la explicación relativa al diseño y construcción de los gabinetes, en este apartado se presenta las diferentes etapas del desarrollo. En la

figura 2 se observa el esquema general de las etapas de la metodología de trabajo. Se inicia con partes integrantes, seguido del desarrollo y finalmente las pruebas y ajustes.



Figura 2 Etapas de la metodología de trabajo.

Partes integrantes

Un desglose en diagrama a bloques de esta etapa se muestra en la figura 3. Se comienza con la obtención de los requerimientos específicos de los diversos componentes que son necesarios para la elaboración de los tres gabinetes. En la selección de dichos componentes se toma en cuenta las características eléctricas de los distintos elementos ya instalados, además se determina el calibre del cableado eléctrico, respetando la normatividad correspondiente [NOM-SEDE, 2018]. Una vez establecidos todos los elementos necesarios se procede a la compra del material.

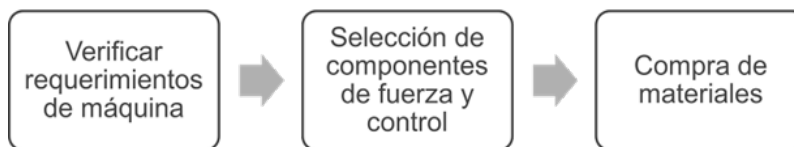


Figura 3 Desglose en bloques de la etapa de partes integrantes.

Requerimientos

En tablas 1 y 2 se muestran las especificaciones eléctricas de las máquinas del cuarto de compresor y el condensador evaporativo, respectivamente; esta información es útil para seleccionar los distintos componentes del conjunto a controlar. FLA se refiere al Amperaje a Plena Carga, MCA es la Capacidad Mínima de un Circuito, MOPD es el acrónimo para referirse al Dispositivo de Protección de Máxima Sobrecorriente, y MOA significa Corriente de Servicio Máxima. Cabe mencionar que se consideran tres cuartos con un compresor y dos manejadoras.

Por otro lado, solo se tiene un condensador evaporativo para los tres cuartos. En la tabla 2 se presentan sus características eléctricas.

Tabla 1 Cuarto de compresor 1 x 15 HP (consumo de placa).

Descripción	Cantidad	Capacidad	Consumo unitario	Voltaje	Consumo total
Compresor	1	15 HP	32.0 MOA	460 VCA	32.0 A
Motor de manejadora	2	2.0 HP	3.4 FLA	460 VCA	6.8 A
Amperaje a plena carga				FLA	38.8 A
Capacidad del circuito de alimentación				MCA	46.8 A
Interruptor principal				MODP	50.0 A

Tabla 2 Condensador evaporativo.

Descripción	Cantidad	Capacidad	Consumo unitario	Voltaje	Consumo total
Bomba	1	1.5 HP	3.0 MOA	460 VCA	32.0 A
Ventilador	2	2.0 HP	3.4 FLA	460 VCA	6.8 A
Amperaje a plena carga				FLA	9.8 A
Capacidad del circuito de alimentación				MCA	10.6 A
Interruptor principal				MODP	15.0 A

Selección de componentes

La tabla 3 muestra el guardamotor y contactor elegido para los tres compresores de cada uno de los cuartos. En la tabla 4 se aprecian los distintos componentes de fuerza utilizados para las manejadoras (seis piezas por componente), para la bomba (una pieza por componente) y para el ventilador (dos piezas por componente), razón por la cual suman nueve piezas por cada componente.

Tabla 3 Componentes de fuerza para compresor (marca ABB).

Descripción	Cantidad (piezas)	Modelo
Guardamotor de 30 a 42 amperes	3	MS165-42
Contacto 40 amperes bobina 100 a 250 VCA	3	AF-40-30-00-13

Tabla 4 Componentes de fuerza para manejadora (marca ABB).

Descripción	Cantidad (piezas)	Modelo
Guardamotor de 2.5 a 4 amperes	9	MS132-4.0
Contacto 9 amperes bobina 100 a 250 VCA	9	AF-09-30-10-13
Conector contactor guardamotor MS132	9	BEA16-4
Contacto auxiliar frontal guardamotor MS132	9	HKF1-11

En la tabla 5 se observa el listado del tipo de bus a utilizar para la alimentación de los compresores y el condensador evaporativo. En la tabla 6 se presenta la descripción de los componentes de control que se utilizará en los tableros.

Tabla 5 Componentes de fuerza para la alimentación.

Descripción	Cantidad (piezas)	Modelo
Bloque de alimentación bus bar	4	S1-M1-25
Bus bar para 2 guardamotores	4	PS1-2-0-65

Tabla 6 Componentes de control.

Descripción	Cantidad (piezas)	Marca	Modelo
Monitor de voltaje	4	BRAMEX	CLPT44/3F-A
Transformador seco 460/110 VCA	4	N/A	N/A
Disyunto 2x4 amperes	3	ABB	S202-C4
Disyuntor 2x10 amperes	1	ABB	S202-C10
Relé AC de 110 V	14	FINDER	55.12
Toggle Switch 15A-250VAC/20A-125V	6	GEBILDET	AF09-30-10-13

Desarrollo

La etapa de desarrollo se puede desglosar en otras subetapas como se muestra en la figura 4.

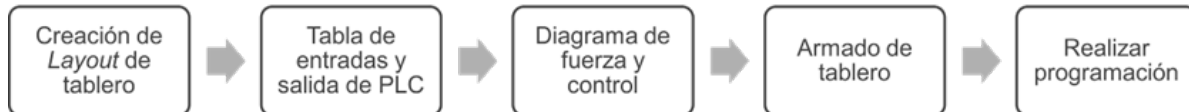


Figura 4 Diagrama a bloques de la etapa de desarrollo.

Creación de *layout* de los tableros

Esta subetapa consiste en la creación del *layout* o diseño de los tres tableros. A continuación, se hace una breve descripción de estos. El tablero de fuerza y control gestiona el control de las manejadoras y los compresores de los tres cuartos fríos. Este contiene el Controlador Lógico Programable. El tablero del condensador evaporativo gestiona el control de los ventiladores y la bomba del condensador para mantener un nivel de agua de seguridad en el evaporador. El tablero de accionamiento contiene las señales de control de encendido y apagado de cada cuarto, además de los indicadores de estado para cada máquina. En la figura 5 se

muestra parte del *layout* realizado del tablero de control para el condensador evaporativo.

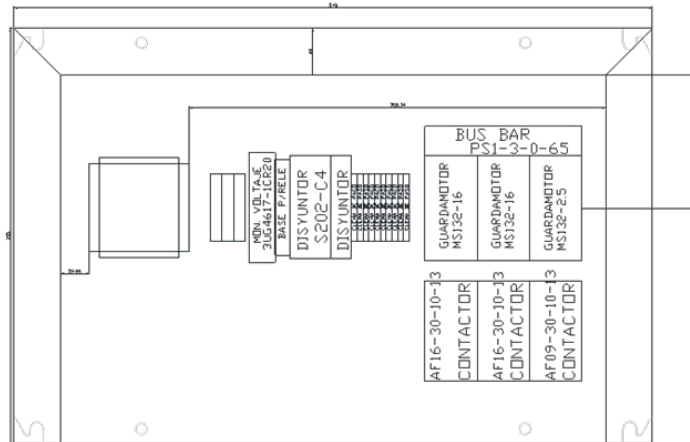


Figura 5 *Layout* tablero del condensador evaporativo (parte interna).

Entradas y salidas del PLC

Se ha implementado el PLC: LOGO! modelo: 230RCE de SIEMENS. En la figura 6 se muestra parte del diagrama de conexión del PLC que se ha realizado, donde se observa las diferentes entradas y salidas, así como algunos de los elementos a los que se ha interconectado.

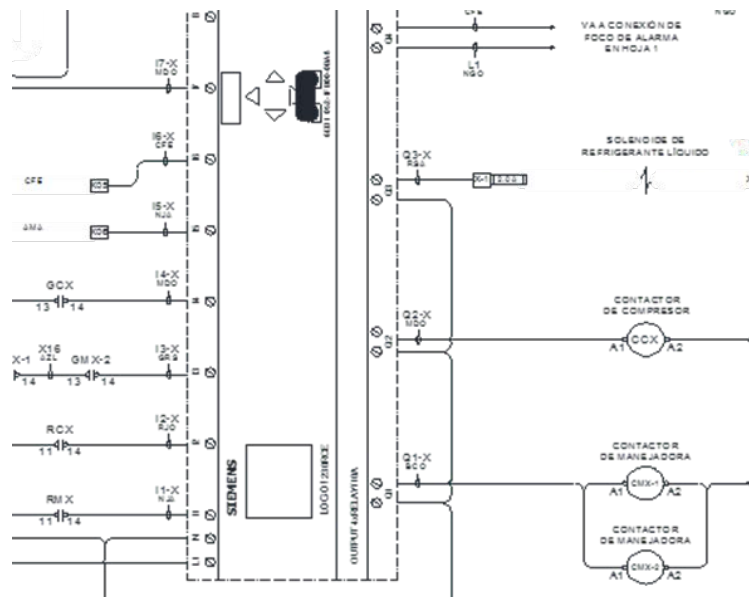


Figura 6 Diagrama de conexión del PLC.

En la tabla 7 se presenta la naturaleza de las entradas (I) y las salidas (Q) de las conexiones.

Tabla 7 Entradas y salidas del PLC.

ID	Entradas digitales	ID	Salidas digitales
I1	Señal de manejadora	Q1	Contactador de manejadora
I2	Señal de compresor	Q2	Contactador de compresor
I3	Guardamotor de manejadora	Q3	Válvula solenoide de refrigerante líquido
I4	Guardamotor de compresor	Q4	Foco de alarma
I5	Control de baja presión		
I6	Control de alta presión		
I7	Módulo de protección interna		

Diagrama de fuerza y control

Se han realizado diagramas de fuerza y de control para el compresor, condensador evaporativo, y para el accionamiento. Como ejemplo, en la figura 7 se muestra una parte correspondiente al diagrama de control de compresor.

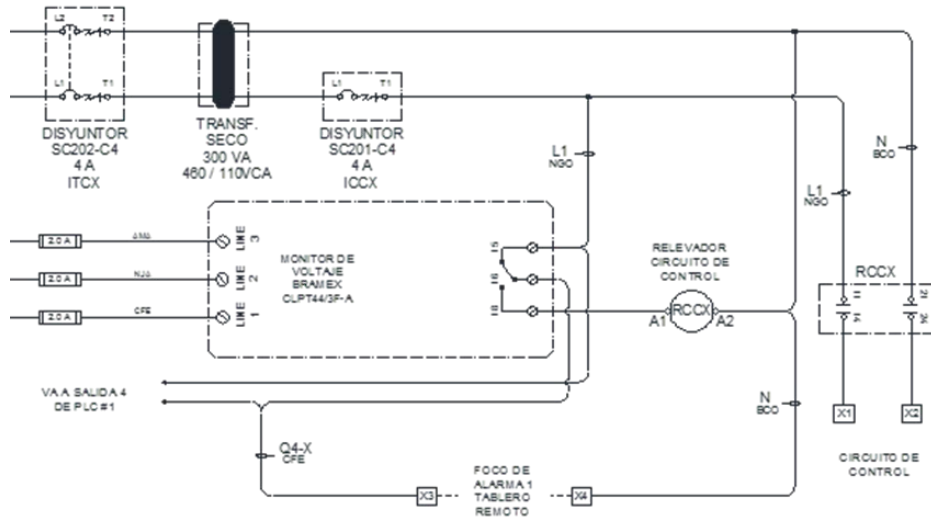


Figura 7 Diagrama de control de compresor.

Armado de tableros

En la figura 8 se presenta un ejemplo del proceso de armado de los tableros. Inicialmente se marcan las proporciones para la colocación de las canaletas y el riel din. Posteriormente se realizan las conexiones y ajustes de los componentes necesarios. En la figura 9 se observa el proceso de ajuste de un contactor con

guardamotor (Figura 9a) y la colocación de los componentes de acuerdo con el diseño del *layout* (Figura 9b). En siguiente paso, se realiza el cableado, atornillado y sujeción. Finalmente, una muestra de los tableros terminados se observa en la figura 10.



Figura 8 Colocación de canaletas y el riel din.



a) Ajuste de guardamotor



b) Colocación de componentes

Figura 9 Ajuste de guardamotor y colocación de componentes.



a) Accionamiento

b) Fuerza y control

c) Condensador evaporativo

Figura 10 Resultado después del cableado.

Programación

En la figura 11 se muestra el diagrama el flujo del programa del PLC. Se observa la lectura inicial de las diferentes señales. Posteriormente el cumplimiento de ciertas condiciones iniciales de seguridad para posteriormente echar a andar el proceso de acuerdo con la secuencia indicada.

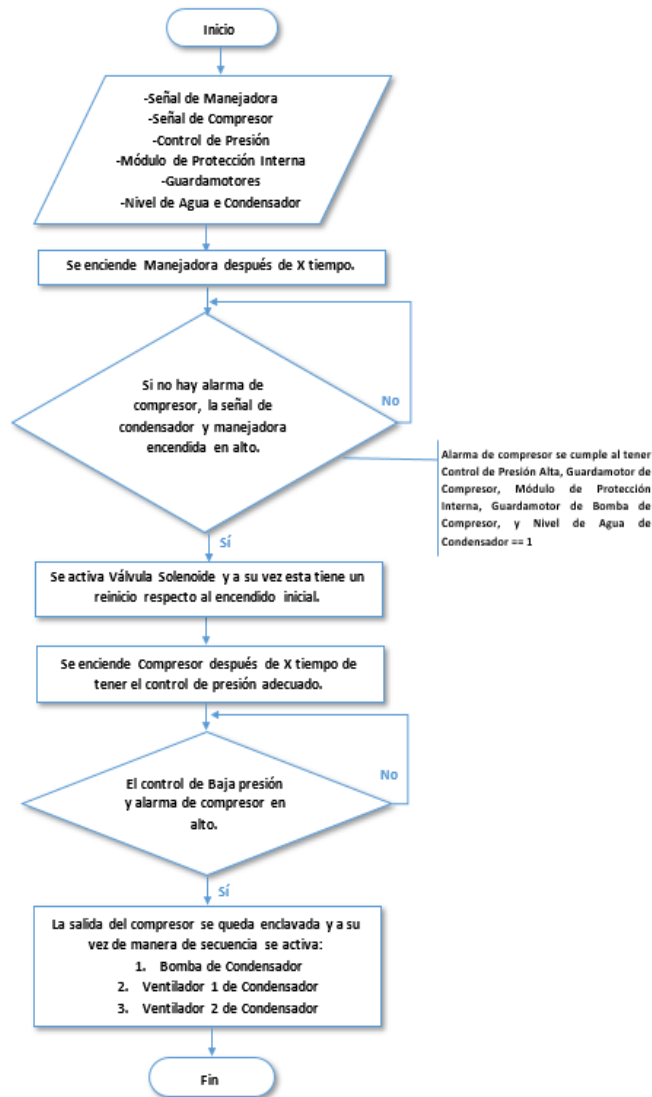


Figura 11 Diagrama de flujo.

Pruebas y ajustes

En la etapa de pruebas y ajustes se realizan diversas verificaciones tales como: alimentación del tablero, compilación del programa y lógica cableada, prueba de

rotación, prueba de fuerza y funcionamiento, parametrización de los sensores de temperatura, y monitoreo. La figura 12 muestra el diagrama a bloques de esta etapa.

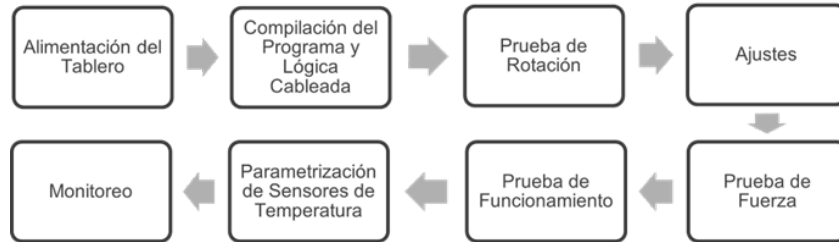


Figura 12 Diagrama a bloques de la etapa de pruebas y ajustes.

En la figura 13 se muestran imágenes donde se realizan pruebas de verificación. En la figura de la izquierda (inciso a) se observa la revisión del amperaje del compresor como parte de las pruebas de fuerza. En la figura de la derecha (inciso b), como parte de las pruebas de alimentación de los tableros, se verifica el flujo de fases.



a) Amperaje.



b) Flujo de fases.

Figura 13 Pruebas de verificación.

Para asegurar el correcto desempeño se evaluó:

- El funcionamiento de alarmas, donde fue necesario probarlas forzando una alta presión del sistema, un bajo nivel de fluidos en el condensador evaporativo y accionando manualmente los guardamotores.
- El control adecuado de la presión, siendo 350 psi para la presión alta, 40 psi para la presión baja y 60 psi para la presión diferencial.
- La secuencia correcta de apagado, cierre de válvulas y corte de baja presión.

3. Resultados

Los tres gabinetes se han instalado en campo en sus respectivos sitios donde hasta el momento han estado operando adecuadamente. En las figuras siguientes se muestra imágenes de cada uno de ellos. La figura 14 corresponde a las imágenes del gabinete de accionamiento en un pasillo; la figura 14a muestra la parte interna del gabinete durante el proceso cableado; en figura 14b se visualiza la parte interna también de la tapa; y en figura 14c se aprecia la vista exterior del gabinete donde se han colocado los distintos indicadores e interruptores.

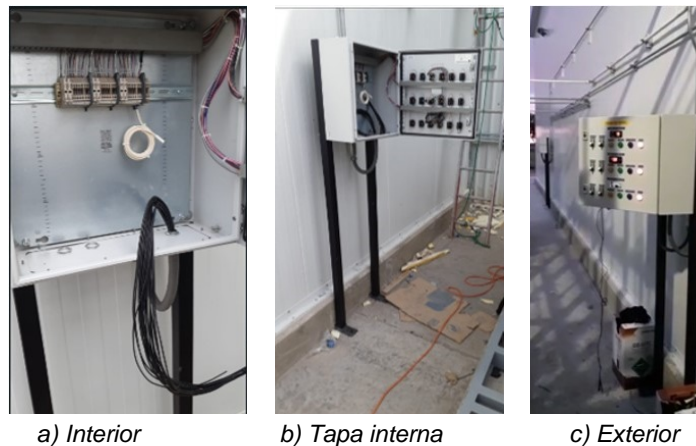


Figura 14 Instalación en campo del gabinete de accionamiento.

Por otro lado, en la figura 15 se observa el gabinete de condensador evaporativo, tanto una vista interna que se muestra en la figura 15a, con el proceso de cableado final, y una vista exterior (Figura 15b), ya como ha quedado finalmente instalado.

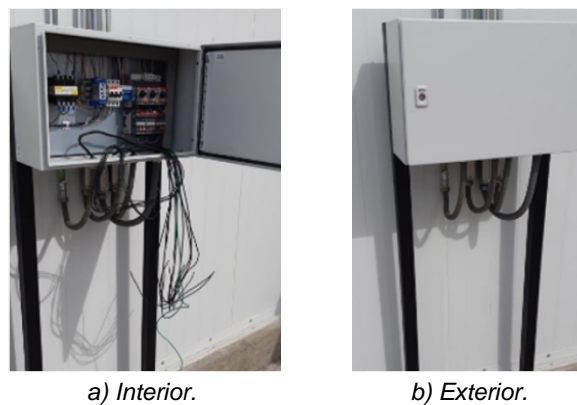


Figura 15 Instalación en campo de gabinete de condensador evaporativo.

Finalmente, el denominado gabinete de fuerza y de control se muestra en la figura 16. En la parte derecha de la imagen se aprecia una vista lateral del tablero, pero observándose también el contexto general, donde hay productos hortícolas en primer plano.



Figura 16 Instalación en campo de tablero de fuerza y control.

4. Discusión

Los tres tableros se han instalado y de acuerdo con información que ha proporcionado la empresa, hasta la fecha actual, se encuentran operando adecuadamente. Cumplen con los requerimientos y necesidades de la empresa, puesto que se ha realizado un proceso de automatización ad hoc adaptándose a los equipos existentes y, por tanto, generándose ahorros significativos. Los tableros realizados se ajustaron a las necesidades del cliente, uno para fuerza y control, otro para el condensador evaporativo, así como otro último denominado de accionamiento. El primero que se ha mencionado se ha constituido de dispositivos de protección y control, protección contra sobrecargas, además de los controladores lógicos programables (PLC). El segundo, no cuenta con el PLC, sino que éste se ha interconectado al primer tablero por medio de relés. Por último, el gabinete de accionamiento se constituye de órganos de mando e igualmente de un controlador para la temperatura y visualización. Se usaron reglamentos como la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2018 y el Código Eléctrico Nacional (NEC) para su construcción. Por otra parte, en la programación se usó el formato de escalera.

5. Conclusiones

Se han diseñado, instalado y probado tres tableros de control y fuerza para cuartos fríos con características específicas para una empresa del ramo agrícola. Los tableros se diseñaron ajustándose a las necesidades del cliente después de atender sus peticiones, para posteriormente realizar su instalación en campo y poder realizar las pruebas de funcionamiento adecuado, las cuales fueron totalmente exitosas. Actualmente dichos equipos siguen funcionando de manera adecuada, con la siempre existente posibilidad de una actualización y mejora pensando en las necesidades del proceso. Como posible trabajo futuro se contempla una mejora para el tablero de accionamiento, donde es posible realizar el monitoreo de temperaturas. Para ello, se puede aprovechar los controladores (MT-51E LOG) instalados, los cuales cuentan con puerto de comunicación para monitoreo vía remota. Estas temperaturas se pueden gestionar desde una computadora o celular mediante un software de licencia libre. Lo anterior permitiría tener un monitoreo en tiempo real de las temperaturas desde la computadora o teléfono celular y posibilitaría el almacenamiento de datos históricos de temperaturas para generar gráficos. Por otro lado, permitiría también la generación de alarmas cuando la temperatura tienda a salirse del rango, avisando al instante vía SMS o correo electrónico.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Briceño, V., & Chaparro, C. Tablero de control didáctico para motores trifásicos. Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá, Colombia. 2020.
- [2] Cardozo, C.A. Diseño y construcción de un tablero de control aplicable a una estación de combustibles líquidos. Bucaramanga, Colombia, 2014.
- [3] Godínez, R., & Magos, M. Sistema de monitoreo de temperatura en red. *Pistas Educativas* No. 128 (SENIE 2017), Celaya, México. Febrero, 2018.
- [4] Martín, J., & García, M. Automatismos industriales. Editorial Editex. Madrid, España, 2009.
- [5] Meneses, M.A. Planeación y operación de cuartos fríos para frutas y hortalizas. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Colombia. 2001.

- [6] Guachalla, V., Rojas J., & Sotomayor, N. Montaje de cámaras frigoríficas e instalación de tableros eléctricos en la empresa Cero Grado Importaciones. La Paz, Bolivia. 2017.
- [7] Guachi, D, et al. Automatización y monitoreo del sistema de refrigeración de cuartos fríos de Fabrilácteos Cía. Ltda. -Helados Jotaerre. Jornadas de Ingeniería Eléctrica y Electrónica (FIEE). Ecuador, 2016.
- [8] Nassar. Soluciones Innovadoras de Control, Protecciones y Automatización. Nassar Electronics. Catálogo. México, 2021.
- [9] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2018, Instalaciones eléctricas (utilización), pp.1171. México, 2018.
- [10] Siemens. Catálogo de baja tensión, control y distribución. Siemens México. 2020.
- [11] Wattco. Control Panels. Manufacture of Electric Heating Elements and Controls. Catálogo, USA, 2021.