



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO
REMOTO DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DE LOS
LOCALES COMERCIALES DE CORPORACIÓN FAVORITA**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

AUGUSTO JAVIER DÍAZ ANDA

DIRECTOR: ING. VLADIMIR BONILLA

Quito, febrero 2019

© Universidad UTE 2019

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN


DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1721057733
APELLIDO Y NOMBRES:	DÍAZ ANDA AUGUSTO JAVIER
DIRECCIÓN:	PASAJE G N66-74 Y DE LOS EUCALIPTOS
EMAIL:	ajdiazanda@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	02 2481 241
TELÉFONO MOVIL:	0998779201

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DE LOS LOCALES COMERCIALES DE CORPORACIÓN FAVORITA
AUTOR O AUTORES:	AUGUSTO JAVIER DÍAZ ANDA
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	FEBRERO 2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	VLADIMIR BONILLA
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El presente trabajo describe el proceso de diseño de un sistema de control y monitoreo remoto de los equipos de refrigeración de los locales comerciales de Corporación Favorita. En las instalaciones frigoríficas de los supermercados existen equipos que generan un gran consumo de energía, tienen un bajo rendimiento y demandan mantenimientos frecuentes, por lo tanto, es necesario desarrollar tecnologías que permitan la reducción significativa de dicho consumo. Corporación Favorita, al ser una de las empresas más representativas del país, siempre está en constante búsqueda de implementar métodos, tecnologías y sistemas que permitan reducir el consumo

	<p>de recursos y aumentar su productividad y eficiencia empresarial. Con este particular, se propuso el diseño de un sistema de control y monitoreo remoto que reemplace el proceso manual de tomar los datos de los equipos de refrigeración para verificar su funcionamiento. Así, el sistema se compone de controladores interconectados a una red Ethernet para la comunicación remota con la interfaz gráfica. A cada controlador le llegan las señales de los sensores de presión y temperatura para regular el nivel de refrigerante mediante la válvula de expansión electrónica. El sistema diseñado cumple con los requerimientos planteados de aumentar la disponibilidad de frío en los equipos, controlar parámetros de presión y temperatura desde una interfaz gráfica, enviar alertas vía correo electrónico y actuar automáticamente frente a situaciones emergentes. En la prueba piloto realizada en un local comercial se verificó la reducción del 10% de consumo energético y la disponibilidad del 99,925% de frío en los equipos de refrigeración.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Control, monitoreo, remoto, refrigeración, supermercados</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>This paper describes the design process of a remote control and monitoring system of the refrigeration equipment of the commercial premises of Corporación Favorita. Given that the refrigeration facilities of the supermarkets are equipment that generate a high energy consumption, it is necessary to develop technologies that allow a significant reduction of said consumption. Corporación Favorita, being one of the most representative companies in the country, is always looking to implement methods, technologies and systems that reduce the consumption of resources and increase their productivity and business efficiency. With this in mind, the design of a remote control and monitoring system was proposed in order to replace the obsolete process that the company currently has to verify its refrigeration equipment. Thus, the system consists of controllers interconnected to an Ethernet network to enable remote communication with the graphic interface, each controller receives signals of pressure</p>

	and temperature sensors to regulate the cooling level through an electronic expansion valve. The system meets the established requirements such as temperature and pressure control from a graphical interface, sends email alerts and acts automatically against emerging situations. According to the pilot test carried out in a commercial premise, there was a verifiable reduction in energy consumption.
KEYWORDS	Control, monitoring, remote, cooling, supermarkets

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: 

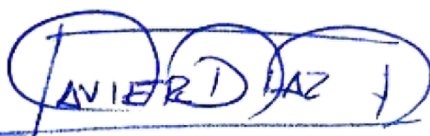
DIAZ ANDA AUGUSTO JAVIER
172105773 – 3

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **DÍAZ ANDA AUGUSTO JAVIER**, CI 172105773-3 autor del proyecto titulado: **Diseño de un sistema de control y monitoreo remoto de los equipos de refrigeración de los locales comerciales de Corporación Favorita** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** en la Universidad UTE.

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 graduación 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 BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

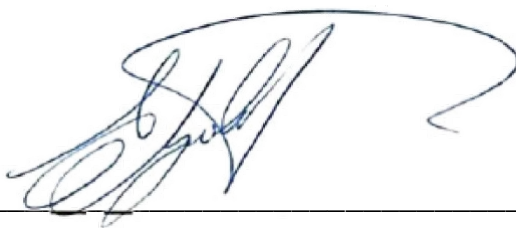
Quito, febrero de 2019

f:  _____

DÍAZ ANDA AUGUSTO JAVIER
172105773 – 3

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, **EDGAR ALFONSO CASTRO PAVÓN** con cédula de identidad N.-1711401529 en calidad de Sub Gerente de Mantenimiento del Departamento de Bienes de Corporación Favorita C.A. autorizo al Sr. **AUGUSTO JAVIER DIAZ ANDA**, realizar la investigación para la elaboración de su proyecto de titulación “Diseño de un sistema de control y monitoreo remoto de los equipos de refrigeración de los locales comerciales de Corporación Favorita”, basada en la información proporcionada por la compañía.



f: _____

CASTRO PAVÓN EDGAR ALFONSO
171140152 – 9

DECLARACIÓN

Yo **AUGUSTO JAVIER DÍAZ ANDA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad UTE puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



DIAZ ANDA AUGUSTO JAVIER
C.I. 172105773 – 3

CARTA DE AVAL DE LA EMPRESA

Yo, **EDGAR ALFONSO CASTRO PAVÓN** con cédula de identidad N.-1711401529 en calidad de Sub Gerente de Mantenimiento del Departamento de Bienes de Corporación Favorita C.A certifico que el Sr. **AUGUSTO JAVIER DÍAZ ANDA**, realizó su trabajo de titulación con el tema “Diseño de un sistema de control y monitoreo remoto de los equipos de refrigeración de los locales comerciales de Corporación Favorita”, por requerimientos, y basada en la información proporcionada por la empresa. Los resultados del trabajo se entregaron el día **30 DE MARZO DE 2018**.


f: _____



CASTRO PAVÓN EDGAR ALFONSO
171140152 – 9

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “Diseño de un sistema de control y monitoreo remoto de los equipos de refrigeración de los locales comerciales de Corporación Favorita”, que, para aspirar al título de **INGENIERO EN MECATRÓNICA** fue desarrollado por **AUGUSTO JAVIER DÍAZ ANDA**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Vladimir Bonilla

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1710300045

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	3
2 METODOLOGÍA	10
2.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA	10
2.2 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO	11
2.3 DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA	11
2.4 DISEÑO CONCEPTUAL	12
2.5 DISEÑO ESPECÍFICO	15
2.6 INTEGRACIÓN	20
2.7 PRUEBAS	23
3 RESULTADOS	25
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
CONCLUSIONES.....	27
RECOMENDACIONES	27
ANEXOS	29

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Transductores de presión Danfoss	15
Tabla 2. Presostatos baja presión Danfoss	16
Tabla 3. Presostatos alta presión Danfoss	17
Tabla 4. Válvulas de expansión electrónica Danfoss	18
Tabla 5. Controladores Danfoss de evaporadores	18
Tabla 6. Protocolo de pruebas.....	23
Tabla 7. Notificaciones de alarmas Supermaxi Eloy Alfaro febrero 2018	25
Tabla 8. Resumen alarmas Supermaxi Eloy Alfaro febrero 2018	25
Tabla 9. Disponibilidad de frío Supermaxi Eloy Alfaro febrero 2018.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Dispositivos del sistema retail de CAREL	4
Figura 2. PCT – 3001 plus	5
Figura 3. Válvula de expansión electrónica VX-950 plus	6
Figura 4. Dispositivos Dixell para el control de refrigeración.....	6
Figura 5. Válvula de expansión electrónica Danfoss.....	8
Figura 6. Unidad central de control de refrigeración Danfoss	9
Figura 7. Modelo V para el desarrollo de sistemas mecatrónicos.	10
Figura 8. Estructura básica del sistema de control y monitoreo remoto.....	11
Figura 9. Esquema simple del sistema de compresión de vapor	12
Figura 10. Control de temperatura en lazo cerrado.....	13
Figura 11. Control de presión en lazo cerrado	14
Figura 12. Sistema de comunicación remota	15
Figura 13. Transductor Danfoss tipo AKS-32R modelo 060G5961	16
Figura 14. Presostato Danfoss tipo KP1 modelo 060-110166	16
Figura 15. Presostato Danfoss tipo KP5 modelo 060-001866	17
Figura 16. Presostato Danfoss tipo KP7B modelo 060-119166	17
Figura 17. Presostato Danfoss tipo KP7S modelo 060-119266	18
Figura 18. Válvula de expansión electrónica Danfoss modelo AKV 10.....	18
Figura 19. Controlador Danfoss tipo AK-CC 550 modelo 084B8020	19
Figura 20. Controlador Full Gauge modelo PCT – 3001 plus	19
Figura 21. Convertidor de datos Full Gauge modelo TCP – 485.....	20
Figura 22. Integración general del sistema	21
Figura 23. Sistema de compresión.....	21
Figura 24. Tablero de control	22
Figura 25. Circuito de control	23

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. Equipos de refrigeración Supermaxi Eloy Alfaro	29
ANEXO 2. Datos técnicos compresor Bitzer modelo 4DES-7(Y).....	30
ANEXO 3. Datos técnicos evaporador LU-VE modelo F35HC 143	31
ANEXO 4. Pantalla principal del software Sitrad	32

RESUMEN

El presente trabajo describe el proceso de diseño de un sistema de control y monitoreo remoto de los equipos de refrigeración de los locales comerciales de Corporación Favorita. En las instalaciones frigoríficas de los supermercados existen equipos que generan un gran consumo de energía, tienen un bajo rendimiento y demandan mantenimientos frecuentes, por lo tanto, es necesario desarrollar tecnologías que permitan la reducción significativa de dicho consumo. Corporación Favorita, al ser una de las empresas más representativas del país, siempre está en constante búsqueda de implementar métodos, tecnologías y sistemas que permitan reducir el consumo de recursos y aumentar su productividad y eficiencia empresarial. Con este particular, se propuso el diseño de un sistema de control y monitoreo remoto que reemplace el proceso manual de tomar los datos de los equipos de refrigeración para verificar su funcionamiento. Así, el sistema se compone de controladores interconectados a una red Ethernet para la comunicación remota con la interfaz gráfica. A cada controlador le llegan las señales de los sensores de presión y temperatura para regular el nivel de refrigerante mediante la válvula de expansión electrónica. El sistema diseñado cumple con los requerimientos planteados de aumentar la disponibilidad de frío en los equipos, controlar parámetros de presión y temperatura desde una interfaz gráfica, enviar alertas vía correo electrónico y actuar automáticamente frente a situaciones emergentes. En la prueba piloto realizada en un local comercial se verificó la reducción del 10% de consumo energético y la disponibilidad del 99,925% de frío en los equipos de refrigeración.

ABSTRACT

This paper describes the design process of a remote control and monitoring system of the refrigeration equipment of the commercial premises of Corporación Favorita. Given that the refrigeration facilities of the supermarkets are equipment that generate a high energy consumption, it is necessary to develop technologies that allow a significant reduction of said consumption. Corporación Favorita, being one of the most representative companies in the country, is always looking to implement methods, technologies and systems that reduce the consumption of resources and increase their productivity and business efficiency. With this in mind, the design of a remote control and monitoring system was proposed in order to replace the obsolete process that the company currently has to verify its refrigeration equipment. Thus, the system consists of controllers interconnected to an Ethernet network to enable remote communication with the graphic interface, each controller receives signals of pressure and temperature sensors to regulate the cooling level through an electronic expansion valve. The system meets the established requirements such as temperature and pressure control from a graphical interface, sends email alerts and acts automatically against emerging situations. According to the pilot test carried out in a commercial premise, there was a verifiable reduction in energy consumption.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la humanidad consume más recursos de los que el planeta tiene disponibles para mantener su equilibrio. Es un problema latente que compromete a todos y que debe ser resuelto. Es por eso que, empresas y organismos internacionales están conscientes que se debe buscar métodos, sistemas, implementaciones tecnológicas, que permitan la reducción significativa del consumo de recursos en general.

Corporación Favorita, al ser una de las empresas más grandes e importantes a nivel nacional, es parte de este grupo que buscan ayudar al medio ambiente con innovación en todas sus áreas de trabajo. Posee una central hidroeléctrica que provee energía limpia y eficiente al centro de distribución en Amaguaña. Además, dentro de su misión está mejorar la calidad de vida de la comunidad a través de la provisión de productos de óptima calidad, de la manera más eficiente y rentable.

Cabe mencionar que, Corporación Favorita ha sufrido una serie de contratiempos a lo largo de sus sesenta y cinco años de historia. Uno de los más recordados es el incendio que tuvo lugar en el antiguo centro de distribución al norte de la ciudad de Quito en el año 2001. Dicho incendio redujo a cenizas 45.000 m², pero gracias a la eficiente organización, no se afectó la distribución de los productos.

Otro acontecimiento importante ocurrió el año 2016, cuando un refrigerador del local Megamaxi San Luis se sobrecalentó y se incendió, perdiendo toda la mercadería de su interior. El incendio fue controlado y no pasó a daños mayores.

Agrupando estos y otros accidentes fortuitos con las excesivas devoluciones al proveedor, donaciones o dadas de baja de productos refrigerados, se ve la necesidad de llevar un control adecuado de los sistemas de refrigeración dentro de los locales comerciales.

Según Lindhard (2001), las instalaciones frigoríficas de los supermercados son elementos que requieren un gran consumo de energía. Dependiendo del tamaño de la superficie comercial, la cantidad de energía consumida por las aplicaciones de refrigeración varía entre el 20% y 50% del total. Por esta razón, el ahorro de energía en este sector puede representar, en valor absoluto, una cifra muy significativa, y los controladores electrónicos de refrigeración han ampliado considerablemente las posibilidades de conseguirlo.

Con lo expuesto, un sistema de control y monitoreo remoto ayudará a mejorar el rendimiento, siendo un gran aporte para alcanzar la rentabilidad deseada. Además, se reducirán los desperdicios o devoluciones de alimentos y se evitarán contratiempos como incendios dentro de las instalaciones de los locales comerciales.

Ciertos factores como el gasto energético elevado, la pérdida de productos refrigerados, la reposición de equipos de refrigeración, el costo alto de

mantenimiento, son consecuencia de un sencillo y obsoleto proceso de monitoreo y control en los locales comerciales, que no ha sido actualizado en los 60 años de vida institucional de Corporación Favorita.

El control actual consiste en anotar, cada cierto tiempo, las temperaturas de cada equipo de refrigeración y notificar al departamento de mantenimiento si un refrigerador está fuera del rango normal de operación. Es un proceso sencillo que no garantiza el correcto funcionamiento de los equipos ni permite obtener su máximo rendimiento.

A continuación, se describen las marcas de los dispositivos y sistemas de control de refrigeración que están incorporados en los equipos de los locales comerciales de Corporación Favorita.

El sistema *retail* de Carel obtiene los beneficios de los treinta años de experiencia de Carel en el sector de los controladores automáticos y el valor que se da al cliente se basa en:

Seguridad, garantizada por la unidad individual que es perfectamente independiente en realizar sus propias funciones.

La facilidad de uso, importante en los mercados emergentes como en los más maduros, garantizada por funciones de programación inteligentes y semiautomáticas, interfaces de usuario gráficas o pantalla táctil y algoritmos de ahorro de energía autoadaptables.

La reducción del consumo de energía y el impacto ambiental. En la figura 1 se muestran los dispositivos que ofrece Carel.

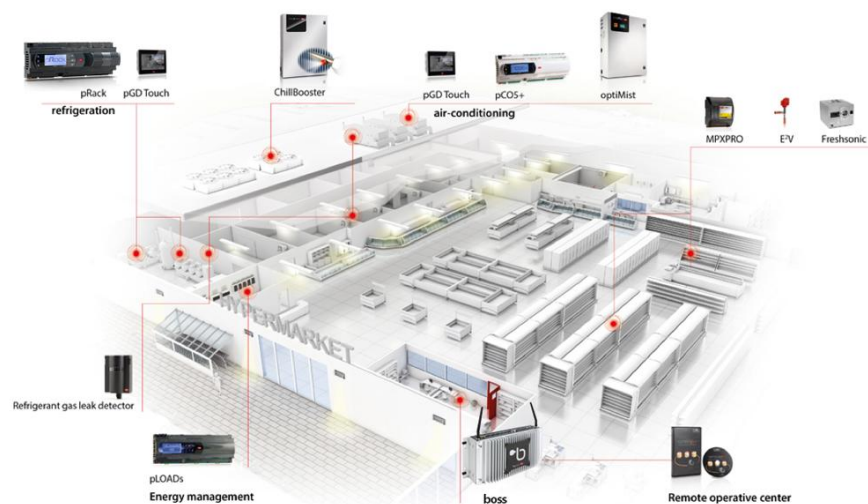


Figura 1. Dispositivos del sistema *retail* de CAREL
(Carel, 2018)

El sistema *retail* de CAREL permite un completo control y monitoreo del sitio y de los diversos subsistemas en supermercados más complejos, manejando eficientemente alarmas y supervisión, suministrando a los usuarios soluciones que permiten:

Ahorro energético y gestión del consumo.

Reducción del impacto ambiental a través de la compatibilidad con las soluciones de sistemas más recientes y la automatización de procesos. Optimización en tiempos de gestión e instalación a través de funcionalidades verticales específicas para este mercado.

Dentro de las herramientas de Full Gauge para el control de equipos de refrigeración están:

PCT-3001: Presostato para racks de compresores que controla las etapas de la succión (compresores) y de la descarga (ventiladores). Es posible conectar hasta 4 transductores de presión, para 2 grupos de refrigeración independientes (dos succiones y dos descargas). Basado en la lectura de estos 4 transductores de presión y 6 sensores de temperatura, ejecuta diferentes modos de control utilizando las 26 salidas digitales y 4 salidas analógicas. Controla, también, el sobrecalentamiento total a través de la lectura de la temperatura y de la presión del gas en la entrada de cada succión. En la figura 2 se muestra al presostato PCT – 3001.



Figura 2. PCT – 3001 plus
(Full Gauge, 2018)

VX-950: Instrumento digital proyectado para control de la válvula de expansión electrónica además del control de sobrecalentamiento, presión, deshielo y temperatura ambiente. O sea, la VX-950 plus substituye el controlador o termostato de la instalación, pues controla los procesos de refrigeración, además del flujo de líquidos. Es compatible con válvulas para las capacidades más comunes en los sistemas de refrigeración, incluso plantas con evaporadoras de hasta 35kW de potencia. Por su precisión y tecnología, el usuario ahorra aproximadamente un 20% en la compra de equipos que complementan la instalación, ya que estos pueden ser más compactos y con menor capacidad de potencia. El usuario también tendrá un ahorro inmediato en energía eléctrica, entre otras ventajas, como durabilidad y un mantenimiento reducido. En la figura 3 se muestra la válvula de expansión electrónica VX-950.



Figura 3. Válvula de expansión electrónica VX-950 plus
(Full Gauge, 2018)

Con todos los ítems que completan el sistema de la VX-950 plus, es posible monitorear los controles de tres maneras: con el Sitrad, con la interfaz hombre-máquina (HMI) o ambos (en redes RS-485 distintas) para visualizaciones de medidas, parametrización de funciones y comandos como deshielo manual y bloqueo de funciones.

Sitrad: es el software de Full Gauge Controls para administración a distancia de las instalaciones de refrigeración, calentamiento, climatización y calentamiento solar. Atiende las más rígidas exigencias del mercado. Es versátil, pues accede tanto local como remotamente a instalaciones de los más diversos segmentos como redes de supermercados, frigoríficos y restaurantes, hasta hoteles, hospitales, laboratorios, residencias, entre otros. Además, evalúa, configura y almacena continuamente datos de temperatura, humedad, tiempo, presión y voltaje. Vía Internet, permite la modificación de los parámetros de operación de los instrumentos con total seguridad y precisión en cualquier lugar del mundo a través de la computadora o celular.

Dixell presenta su amplia experiencia en refrigeración al ofrecer una gama completa de controladores paramétricos con excelente rendimiento y durabilidad. La figura 4 muestra los dispositivos Dixell para el control de refrigeración.



Figura 4. Dispositivos Dixell para el control de refrigeración
(Emerson, 2018)

Muchos campos pueden aprovechar los reguladores de Dixell:

Propósito general: termostatos y controladores para aplicaciones de temperatura media y baja disponibles en formatos CX (32x74 mm), 4 Riel DIN, WING horizontal y vertical (versiones compactas y divididas).

Función HACCP: módulo de registro de temperatura y estado para aplicaciones de temperatura media y baja que funciona de acuerdo con las normas HACCP.

Gabinete multiplexado: controladores multifunción avanzados para aplicaciones de temperatura media y baja con encendido / apagado y administración de válvulas de expansión electrónicas paso a paso.

Válvulas electrónicas: ON / OFF y controlador de válvula de expansión electrónica paso a paso con gestión de sobrecalentamiento.

Salas de refrigeración y maduración: controladores multifunción diseñados para cámaras frigoríficas, salas con gestión dual de temperatura y aplicaciones de sala de maduración con regulación simultánea de temperatura y humedad.

Blast Chillers: controladores para enfriadores rápidos y aplicaciones de mantenimiento de temperatura con cuatro ciclos configurables.

Temperatura y humedad: controladores diseñados para aplicaciones donde la regulación simultánea de la temperatura y la humedad es esencial: cámaras frigoríficas, armarios / salas para embutidos de queso y salami, armarios calientes.

Dual Temperature: controladores para aplicaciones de temperatura media y baja con administración dual de temperatura.

Racks de compresores: una amplia gama de controladores capaces de dar respuesta a todas las necesidades de los racks de compresores. Ideal para scroll de compresor, semihermético, multi etapas, diferente potencia y tornillo, la serie incluye un modelo especial para aplicaciones de unidad de condensación en tándem con facilidad de desplazamiento digital, gestión de presión de descarga y succión y modulación de ventilador.

Camiones refrigerados: controladores (versiones compactas y divididas) diseñados para camiones refrigerados (fuente de alimentación de 8-40 V CC) con registro de temperatura máximo y mínimo y posibilidad de controlar un compartimiento LT y uno NT o un compartimiento refrigerado y uno calefaccionado.

Velocidad del ventilador: controladores de velocidad de fase estrangulados para controlar la presión y la temperatura en los sistemas de refrigeración, incluidos los ventiladores de refrigeración.

Danfoss combina una climatización interior cómoda y saludable con el ahorro energético y económico, así como con la protección del medio ambiente. Tener en cuenta la climatización interior supone realmente el futuro del clima exterior. Al tiempo que hacen frente al desafío climático global, los productos de Danfoss también contribuyen a la productividad

humana y al bienestar interior optimizando la calefacción, la ventilación y los sistemas de aire acondicionado para adaptarnos a las necesidades y los estilos de vida individuales.

Algunas de las herramientas que ofrece Danfoss para el control de refrigeración son:

Válvula de expansión electrónica: se utilizan en combinación con controles electrónicos, normalmente de la gama de Controladores ADAP-KOOL® de Danfoss. La gama se compone de válvulas de expansión electrónicas para sistemas de refrigeración fluorados y de amoníaco (R 717), válvulas de presión de evaporación, y válvulas piloto de presión de evaporación que permite un funcionamiento electrónico y remoto de una válvula principal PM. En la figura 5 se muestra una válvula de expansión electrónica.



Figura 5. Válvula de expansión electrónica Danfoss
(Danfoss, 2018)

Regulador de presión y temperatura: El rango de Reguladores de presión y temperatura tiene muchas funciones diferentes tanto en aplicaciones de refrigeración comercial e industrial como para aire acondicionado, tales como: regulación de capacidad, regulación de presión en el cárter, regulación de presión en el recipiente, regulación de presión de evaporación y regulación de presión de condensación. La gama incluye también distribuidores de líquido, válvulas piloto, válvulas motorizadas, válvulas de regulación de aceite y válvulas de descarga.

Controles electrónicos: La gama de controles de refrigeración ADAP-KOOL® es un sistema completo para control, monitorización y gestión de alarmas de instalaciones de refrigeración comerciales e industriales. La gama de productos ADAP-KOOL® está compuesta por: controladores serie- EK y serie- AK, centrales de gestión y unidades de monitorización, válvulas de expansión electrónicas, sensores de temperatura, sensores y transmisores de presión, comunicación de datos, software para PC.

Los controladores AKC pueden utilizarse con todos los refrigerantes y mediante un simple ajuste en su software pueden adaptarse a nuevos refrigerantes. La monitorización remota permite evaluar si alarmas recibidas, por ejemplo, alarmas producidas durante la noche, requieren una atención de servicio inmediata o puedan ser retrasadas. En la figura 6 se muestra una central de control de refrigeración.



Figura 6. Unidad central de control de refrigeración Danfoss
(Danfoss, 2018)

Del análisis previo se plantea el siguiente objetivo general:

Diseñar un sistema que permita controlar y monitorear, de manera remota, los equipos de refrigeración de los locales comerciales de Corporación Favorita.

Derivándose los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar el sistema de control de presión y temperatura de los equipos de refrigeración
- Seleccionar la interfaz de comunicación para realizar el monitoreo remoto
- Implementar el sistema de monitoreo y control de presión y temperatura de los equipos de refrigeración

Para lo cual, mediante un estudio y análisis de los equipos de refrigeración que funcionan en los locales comerciales de Corporación Favorita, se puede determinar los elementos mecatrónicos necesarios para el sistema de control y monitoreo a implementar. Se debe tomar en cuenta que, ciertos equipos adquiridos por la empresa ya tienen instalados instrumentos de control por lo que, el nuevo sistema debe acoplarse a las necesidades de los equipos.

El sistema diseñado debe ser capaz de controlar la temperatura y presión de los equipos de refrigeración y generar alertas en caso de desperfectos. Además, debe contar con una interfaz gráfica para el monitoreo del usuario y su respectiva comunicación remota.

2 METODOLOGÍA

2.1 METODOLOGÍA MECATRÓNICA

Un enfoque para el desarrollo de sistemas mecatrónicos es el llamado “Modelo V” que se describe en la figura 7.

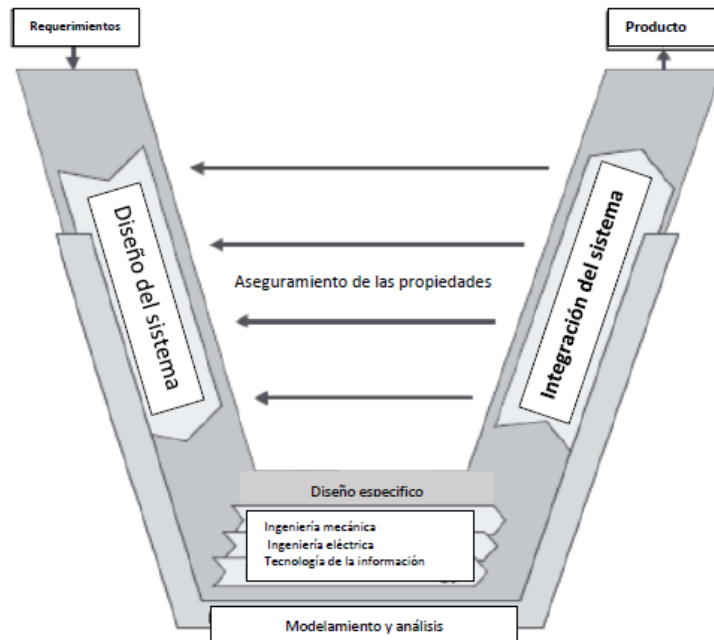


Figura 7. Modelo V para el desarrollo de sistemas mecatrónicos.
(Verein Deutscher Ingenieure, 2004)

Teniendo en cuenta dicho modelo, lo primero fue recopilar y analizar los requerimientos por parte de la Corporación. En este punto, se plantearon alternativas de solución, para que el sistema ayude a cubrir las necesidades prioritarias con un desarrollo sencillo pero efectivo en la disponibilidad de frío de los equipos. Dentro del análisis, se tomaron en cuenta factores como temperatura, presión, almacenamiento y conservación de los alimentos en los equipos de refrigeración. Además, se enfatizó que el tiempo de respuesta frente a un contratiempo debe ser menor a cinco minutos para evitar riesgos de trabajo.

Con la información recopilada, empezó el diseño de los diferentes sistemas. El sistema de control se diseñó de acuerdo con las entradas y salidas que posee el sistema. Su lógica consiste en receptar la temperatura o presión provenientes de los sensores, verificar si estaban fuera del rango normal de funcionamiento, enviar señales para que los actuadores entren en funcionamiento y controlen a los equipos y enviar las alertas al usuario final. A partir de esto, se seleccionaron los sensores y actuadores que cumplen con las necesidades, para luego determinar el controlador capaz de cubrir la lógica descrita.

Dentro de todos los locales de Corporación Favorita existe la red Ethernet para la comunicación con los sistemas web y de facturación. Por lo que, se aprovechó este recurso para la comunicación remota del sistema de control.

Para la interfaz, se revisaron algunas alternativas que ofrecen los diferentes proveedores de equipos de refrigeración, pero se optó por la que sea compatible con la mayoría de los equipos de Corporación Favorita.

Cada sistema pasó por una etapa de pruebas, con el fin de encontrar posibles defectos de funcionamiento. Dichas pruebas fueron realizadas en un plan piloto dentro de un local comercial de Corporación Favorita. En esta etapa también se aseguró el cumplimiento de las propiedades de cada sistema y se verificó que tengan un estado estable y confiable.

Luego de terminar con las pruebas individuales, se comprobó la integración entre los sistemas. Se tomó en cuenta las características particulares de cada equipo de refrigeración para que pueda ser compatible con todos.

Finalmente, se comprobó que el producto sea capaz de cumplir con los requerimientos establecidos.

2.2 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO

- Comunicación remota con todos los locales desde el centro de distribución de Quito.
- Reportes a cada hora por correo electrónico.
- Control de presión y temperatura en los equipos de refrigeración. Deben estar dentro del rango de funcionamiento normal según el anexo 1.
- Interfaz gráfica para el monitoreo y control de presión y temperatura.
- Compatibilidad con los diferentes equipos de refrigeración.
- 99% de eficiencia de rendimiento de los equipos de refrigeración.
- Reducción del 15% de consumo energético.

2.3 DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA

En la figura 8 se muestra la estructura básica del diseño general del sistema de control y monitoreo remoto de los equipos de refrigeración.

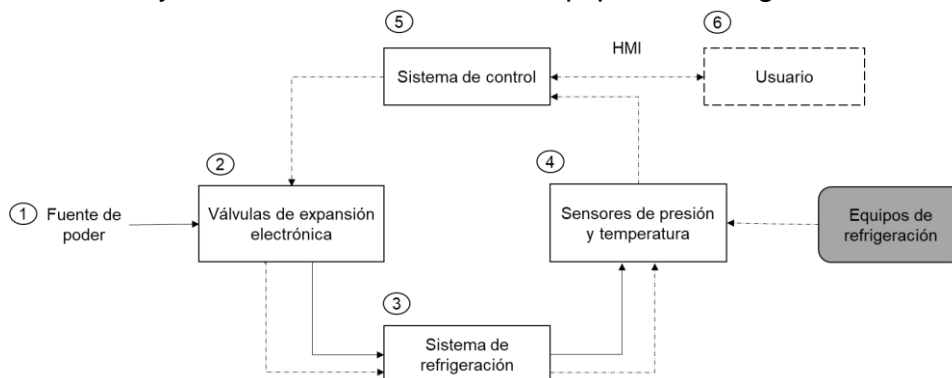


Figura 8. Estructura básica del sistema de control y monitoreo remoto

Donde se puede observar:

1. La fuente de poder del sistema consta de un auto transformador trifásico para alimentar a los compresores. Además, un transformador de 24V para alimentar los sensores y actuadores digitales.
2. Las válvulas de expansión electrónica cumplen la función de actuadores del sistema, controlando el flujo de refrigerante.
3. El sistema de refrigeración consta de cuatro procesos fundamentales. El ciclo de evaporación, ciclo de compresión, ciclo de condensación y ciclo de expansión.
4. Las sondas de presión se ubican en la entrada del evaporador y los sensores de temperatura están en cada equipo de refrigeración.
5. El sistema de control estará a cargo de las señales de entrada y salida de sensores y actuadores respectivamente.
6. El usuario final será el encargado de llevar el monitoreo, control y ajuste de parámetros mediante la interfaz gráfica. La comunicación con dicha interfaz será vía Ethernet.

2.4 DISEÑO CONCEPTUAL

Para describir el Sistema de refrigeración, la figura 9 muestra el esquema simple de un sistema de compresión de vapor.

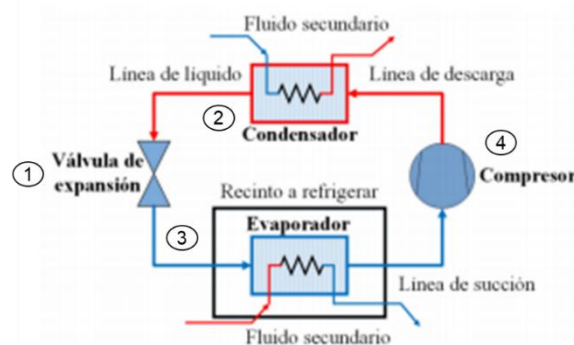


Figura 9. Esquema simple del sistema de compresión de vapor
(Bejarano, Ortega, Rubio, & Morilla, 2013)

En donde:

1. La válvula de expansión electrónica regula la cantidad de líquido que entra en el evaporador, para que los vapores aspirados por el compresor puedan mantener constante la presión en el evaporador. Además, el paso por la válvula genera la reducción de presión alta existente en el condensador, hasta la presión baja que tiene el evaporador. El control del flujo del refrigerante es por medio de una sonda de presión y un sensor de temperatura, los cuales están posicionados a la salida del evaporador. Las dos señales son procesadas por un regulador que controla en tiempo real, la apertura de la válvula.

2. El condensador es el intercambiador de calor donde se da lugar a la condensación del refrigerante. Dependiendo de la presión existente en el condensador, será la temperatura de condensación para cada refrigerante utilizado. El refrigerante en el condensador se encuentra a alta presión y temperatura.
3. El evaporador es un intercambiador de calor, localizado en el medio a enfriar, donde se lleva a cabo la evaporación del refrigerante. Dependiendo de la presión de evaporación, se tiene la temperatura correspondiente al refrigerante líquido, el cual absorberá calor del medio a enfriar. Una característica del refrigerante es que se encuentra a baja presión y temperatura en el evaporador.
4. El compresor tiene una función doble. Por una parte, genera y mantiene la baja presión del evaporador, que permite la evaporación a baja temperatura del refrigerante. Por otra parte, crea y mantiene la alta presión del condensador que permite la nueva utilización del refrigerante en estado líquido. El refrigerante en el compresor se encuentra, a baja presión y temperatura durante la succión, y a alta presión y temperatura en la descarga.

El Sistema de control permite administrar las etapas de succión y descarga dentro del ciclo de refrigeración. Además, genera alertas al usuario, para que, mediante la interfaz gráfica, regule parámetros o solicite un mantenimiento de los equipos.

Al controlador llegan las señales de los transductores de presión y de los sensores de temperatura. Con estos datos, es capaz de generar señales digitales de salida, para controlar las válvulas de expansión electrónica y generar alarmas externas. Además, el controlador es capaz de accionar un start/stop en casos de emergencia. Se debe tomar en cuenta que, cada equipo de refrigeración tiene un controlador propio y cada uno está conectado a un controlador principal, el cual procesa la información recibida, genera acciones y envía alarmas. La figura 10 describe el control de temperatura en lazo cerrado.

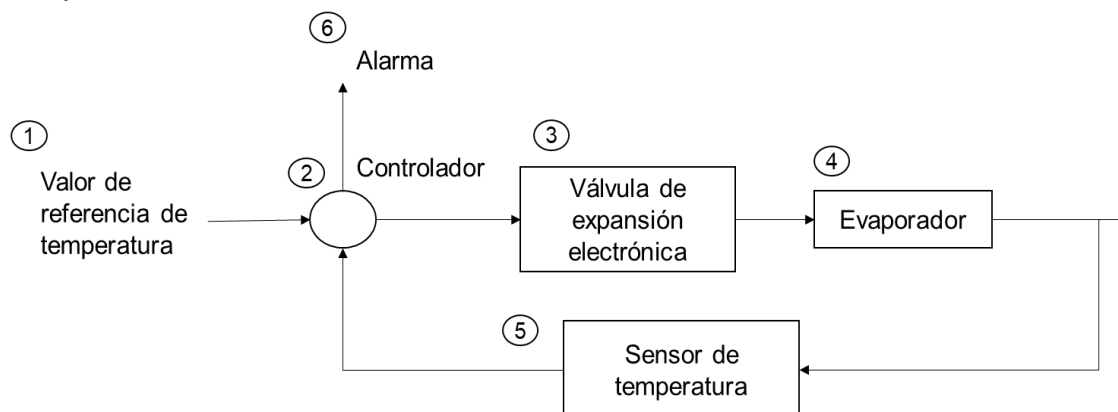


Figura 10. Control de temperatura en lazo cerrado

En el cual:

1. El valor de referencia es el rango de temperaturas en las que los sistemas de refrigeración actúan eficientemente.
2. El controlador es el cerebro del ciclo. Está encargado de comparar las temperaturas referenciales con los valores que entrega el sensor de temperatura, ajustar los parámetros de la válvula de expansión y enviar alertas al usuario.
3. La válvula de expansión electrónica regula el paso de refrigerante al evaporador.
4. Al evaporador llega la cantidad adecuada de refrigerante para continuar con el sistema de refrigeración.
5. El sensor de temperatura envía las mediciones obtenidas en de los equipos de refrigeración, para que se cumple el ciclo de lazo cerrado.
6. La alarma es activada cuando las mediciones de temperatura están fuera del rango de referencia

En la figura 11 se muestra el control de presión en lazo cerrado.

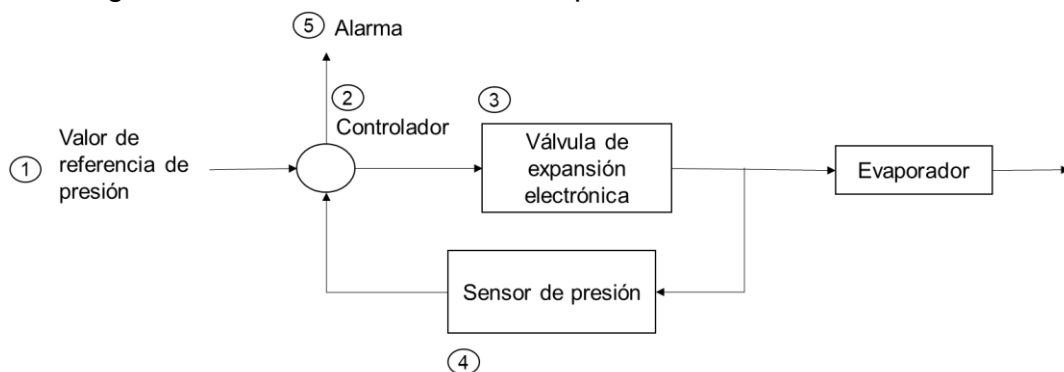


Figura 11. Control de presión en lazo cerrado

En donde:

1. El valor de referencia de presión permite tener las temperaturas óptimas en los equipos de refrigeración, y es el valor comparativo que necesita el controlador para ejecutar acciones.
2. El controlador está a cargo de ajustar los parámetros de control de acuerdo con las señales que recibe de los sensores de presión. Además de generar las alertas al usuario.
3. La válvula de expansión controla el nivel de refrigerante que pasa al evaporador de acuerdo con las órdenes del controlador.
4. El sensor o transmisor de presión se coloca justo a la entrada del evaporador para medir la presión que tiene el líquido refrigerante y enviar las mediciones al controlador.

El Sistema de comunicación es el encargado de enviar y recibir datos entre la interfaz gráfica y los equipos de refrigeración. En la figura 12 se muestra el sistema de comunicación remota.

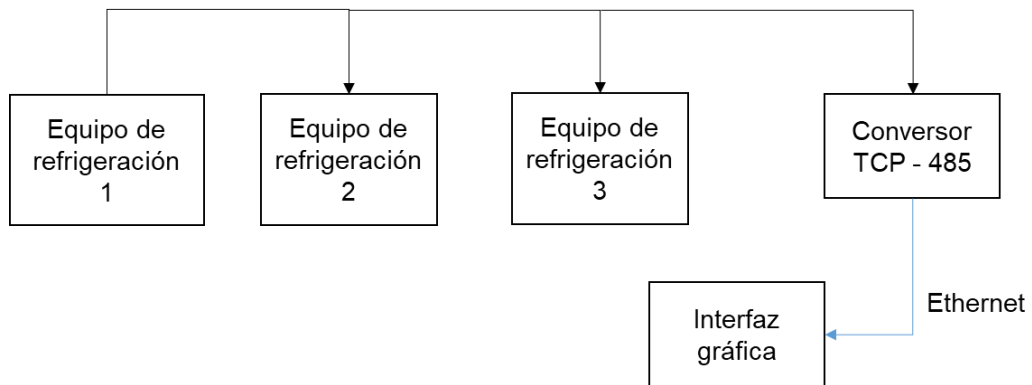


Figura 12. Sistema de comunicación remota

Se debe aclarar que cada equipo de refrigeración tiene su propio controlador de entrada y salida de datos. Cada uno se encuentra conectado, a través de un mismo bus de datos, a un convertidor TCP – 485 que transforma el patrón RS – 485 para comunicación Ethernet. Mediante las direcciones IP de cada equipo, dicho convertidor gestiona la comunicación remota con la interfaz gráfica, donde se visualizan los parámetros de presión y temperatura para poder ajustarlos.

2.5 DISEÑO ESPECÍFICO

Los componentes para el sistema de control y monitoreo remoto son seleccionados de acuerdo con las características que poseen los equipos de refrigeración y el rango nominal de operación. El anexo 1 muestra el listado de equipos, con sus características, del local comercial Supermaxi Eloy Alfaro que servirá como piloto para la implementación del proyecto.

Además, hay que tomar en cuenta los datos de los compresores que se encuentran en el anexo 2.

A continuación, se describen las tablas de cada componente que fue seleccionado.

En la tabla 1 se muestra la lista de transductores de presión de la marca Danfoss.

Tabla 1. Transductores de presión Danfoss

Tipo	Rango de presión [bar]	Presión máxima [bar]
AKS 32R	-1.00 – 9.00	33.00
AKS 32R	-1.00 – 12.00	33.00
AKS 32R	-1.00 – 16.00	33.00

Se eligió la marca Danfoss por la compatibilidad con los equipos de refrigeración del local comercial Supermaxi Eloy Alfaro, pues tienen implementados controladores internos de la misma marca. Se debe tomar en

cuenta que, cada local tiene sus equipos particulares y se debe seguir el mismo proceso de selección considerando dichas características.

En la lista solo se muestran transductores con presión máxima de 33 bares, pues, de acuerdo con el anexo 2, los compresores alcanzan una compresión máxima de 32 bares. El transductor seleccionado es el modelo 060G5961 por su tiempo de respuesta de 4 milisegundos y su conexión macho y hembra. Se debe tomar en cuenta que, se necesitan dos transductores para monitorear las presiones altas y bajas. En la figura 13 se muestra al transductor seleccionado.



Figura 13. Transductor Danfoss tipo AKS-32R modelo 060G5961
(Danfoss, 2018)

Además de los transductores de presión, se requieren también presostatos, que son los encargados de proteger a los compresores y equipos de las altas o bajas presiones.

En la tabla 2 se muestran las opciones de presostatos de baja presión de la marca Danfoss.

Tabla 2. Presostatos baja presión Danfoss

Código	Tipo	Rango reg [bar]	Diff [bar]
060-110166	KP1	-0.20 – 7.50	0.70 – 4.00
060-110366	KP1	-0.90 – 7.00	0.70
060-112066	KP2	-0.20 – 5.00	0.40 – 1.50
060-112366	KP2	-0.20 – 5.00	0.40 – 1.50
060-114166	KP1	-0.20 – 7.50	0.70 – 4.00
060-201366	KP2	-0.20 – 3.50	0.40 – 2.20

El presostato de baja presión seleccionado para conectarlo al compresor es el modelo 060-110166. Su presión máxima de trabajo de 17 bares está dentro del límite de la presión baja máxima de 19 bares del compresor, según el anexo 2. En la figura 14 se visualiza el modelo de presostato seleccionado.



Figura 14. Presostato Danfoss tipo KP1 modelo 060-110166
(Danfoss, 2018)

En la tabla 3 se muestra la lista de presostatos de alta presión de la marca Danfoss.

Tabla 3. Presostatos alta presión Danfoss

Código	Tipo	Rango reg [bar]	Diff [bar]
060-001866	KP5	8.00 - 32.00	1.80 – 6.00
060-114266	KP5	8.00 - 32.00	1.80 – 6.00
060-117166	KP5	8.00 - 32.00	1.80 – 6.00
060-117366	KP5	8.00 - 32.00	3.00
060-119166	KP7B	8.00 - 32.00	4.00
060-119266	KP7S	8.00 - 32.00	4.00
060-205466	KP7B	8.00 - 32.00	4.00
060-519066	KP6W	8.00 -42.00	4.00 -10.00
060-519166	KP6B	8.00 -42.00	4.00

El presostato de alta presión seleccionado para conectar a cada compresor es el modelo 060-001866. Su presión máxima de trabajo de 46,5 bares está por encima de la máxima del compresor, según el anexo 2. El modelo se lo puede ver en la figura 15.



Figura 15. Presostato Danfoss tipo KP5 modelo 060-001866
(Danfoss, 2018)

Además, se deben tomar en cuenta las tuberías por donde circula el refrigerante, debido a que en estas también existen presiones considerables dentro del sistema. Para la tubería fría se utiliza el presostato 060-119166, que cumple con el requerimiento de tener una presión máxima superior a 27 bares. En la figura 16 muestra el presostato descrito.



Figura 16. Presostato Danfoss tipo KP7B modelo 060-119166
(Danfoss, 2018)

Para la tubería caliente se utiliza el presostato 060-119266, que cumple con el requerimiento de tener una presión máxima superior a 28 bares. El modelo se visualiza en la figura 17.



Figura 17. Presostato Danfoss tipo KP7S modelo 060-119266 (Danfoss, 2018)

La tabla 4 muestra los modelos AKV de válvula de expansión electrónica de la marca Danfoss.

Tabla 4. Válvulas de expansión electrónica Danfoss

Modelo	Rango temperatura evaporación [°C]
AKV 15	-50 / 60
AKV 10	- 60 / 60
AKV 20	-40 / 60

La válvula de expansión electrónica seleccionada es la AKV 10. Como punto de referencia se tomó su rango de temperatura de evaporación que está entre los -60 °C a 60 °C. Según el anexo 3, el rango de temperatura de los evaporadores de los cuartos de congelados es de -40 °C a 55 °C. En la figura 18 se muestra la válvula seleccionada.



Figura 18. Válvula de expansión electrónica Danfoss modelo AKV 10 (Danfoss, 2018)

En cada equipo de refrigeración consta un controlador. En la tabla 5 se puede verificar los modelos de controladores de evaporadores.

Tabla 5. Controladores Danfoss de evaporadores

Modelo	Tipo
084B8020	AK-CC 550
084B8024	AK-CC 550
084B8030	AK-CC 550A
084B8036	AK-CC 550A

Para el control de cada equipo de refrigeración se eligió el modelo 084B8020. Es un controlador flexible para la regulación de evaporadores en líneas de servicio y cámaras de frío. Además, ofrece optimización de energía y varios tipos de aplicación predefinidos que permiten una adaptación y compatibilidad con las diferentes configuraciones de servicios en línea o cámara. En la figura 19 se visualiza el controlador seleccionado.



Figura 19. Controlador Danfoss tipo AK-CC 550 modelo 084B8020 (Danfoss, 2018)

En el control general del sistema se usa el instrumento digital PCT – 3001 plus de la marca Full Gauge. Se seleccionó dicho instrumento por la compatibilidad con los diferentes dispositivos de control y con la interfaz gráfica seleccionada. Dicho equipo controla las etapas de la succión (compresores) y de la descarga (ventiladores). Es posible conectar hasta 4 transductores de presión, para 2 grupos de refrigeración independientes. Basado en la lectura de estos 4 transductores de presión y 6 sensores de temperatura, ejecuta diferentes modos de control utilizando las 26 salidas digitales y 4 salidas analógicas. Las 4 últimas salidas digitales pueden ser utilizadas para alarmas externas y activadas por temperatura, presión o por las 5 entradas digitales disponibles, a las cuales se puede asociar también, la activación de setpoints nocturnos. La figura 20 muestra al PCT – 3001 plus.



Figura 20. Controlador Full Gauge modelo PCT – 3001 plus (Full Gauge, 2018)

Dentro de la comunicación, es parte fundamental el uso del convertidor de datos TCP – 485 de la marca Full Gauge. Dicho dispositivo transforma el patrón RS-485 para comunicación Ethernet, de modo que los instrumentos con salida para el Sitrad se puedan comunicar con él a través de cableado

de datos (RJ-45). Permite que el Sitrad se conecte a aparatos que no estén próximos a él. A través de la dirección IP del convertidor es posible accederlo donde esté ubicado, dentro de la red de la empresa o en internet. En la figura 21 se visualiza el convertidor TCP – 485.



Figura 21. Convertidor de datos Full Gauge modelo TCP – 485
(Full Gauge, 2018)

La interfaz gráfica utilizada para el proyecto es la plataforma Sitrad. Es un software de gerenciamiento a distancia desarrollado por la marca Full Gauge para la utilización en instalaciones de refrigeración, calefacción, climatización y calentamiento solar. Versátil, accede tanto local como remotamente a instalaciones de los más diversos segmentos, desde red de supermercados, frigoríficos y restaurantes, hasta hoteles, hospitales, laboratorios y residencias, entre otros.

El Software posibilita evaluar, configurar y almacenar, continuamente, datos de temperatura, humedad, tiempo, presión y voltaje, permitiendo modificar remotamente los parámetros de los controladores con total precisión, vía Internet, a través del computador o teléfono celular (Sitrad Mobile). Con él es posible, por ejemplo, obtener gráficos e informes generados a partir de los datos almacenados, enviar mensajes de alerta para celulares registrados en caso de que las variables no estén de acuerdo con los patrones establecidos, gerenciar los parámetros de los equipos de cualquier lugar del mundo, entre otras acciones. Y todos esos beneficios son ofrecidos con absoluta seguridad, ya que el Software utiliza el acceso client/server, un tipo de comunicación que permite el intercambio exclusivo de datos (criptográficos) entre sus Módulos. El anexo 3 muestra la ventana de administración de Sitrad.

2.6 INTEGRACIÓN

Al ser un tema delicado el uso y manejo de los equipos de refrigeración dentro de un local comercial de Corporación Favorita, surgió la necesidad de contar con una empresa tercera que desarrolla este tipo de proyectos y que posee años de experiencia en el campo del control de refrigeración.

La figura 22 muestra la integración de los componentes del sistema general.

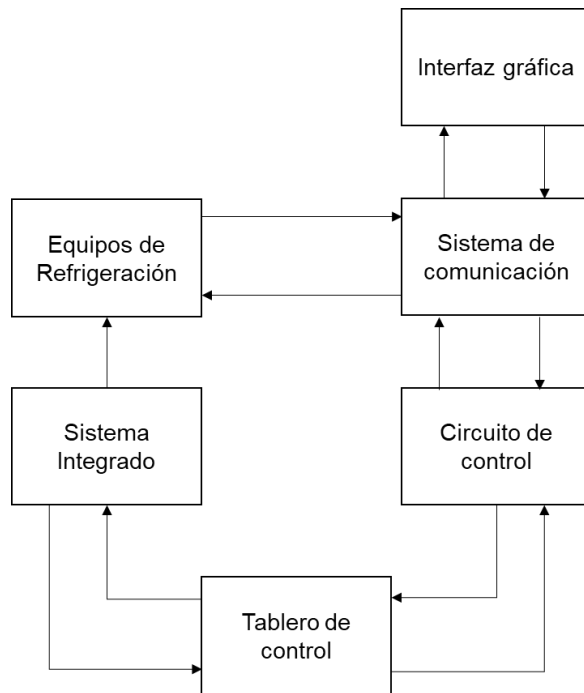


Figura 22. Integración general del sistema

Donde, los equipos de refrigeración se conectan a la interfaz gráfica y al circuito de control mediante el sistema de comunicación. La interfaz es capaz de enviar y recibir señales de los equipos y del circuito de control y presentarlos al operario. El circuito de control gestiona los parámetros en los equipos de refrigeración. Además, se encarga de controlar al sistema integrado de refrigeración y dispone del tablero de control para generar eventos manuales en casos de emergencia.

Mediante un convenio con Metro Cool y Corporación Favorita, la integración de los componentes se llevó a cabo en su taller. En la figura 23 se puede apreciar el conjunto del sistema de compresión.

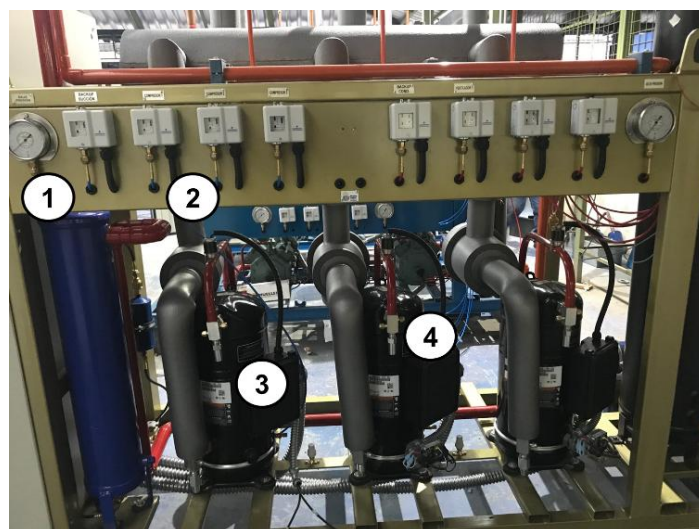


Figura 23. Sistema de compresión

En la cual:

1. Barómetro (alta y baja presión)
2. Presostato (altas y bajas presiones de cada compresor)
3. Compresor
4. Válvula de presión

Las válvulas de expansión electrónica están junto a los evaporadores de los equipos de refrigeración.

En la figura 24 se aprecia el tablero de control con los botones de encendido y apagado y las luces de alarma.

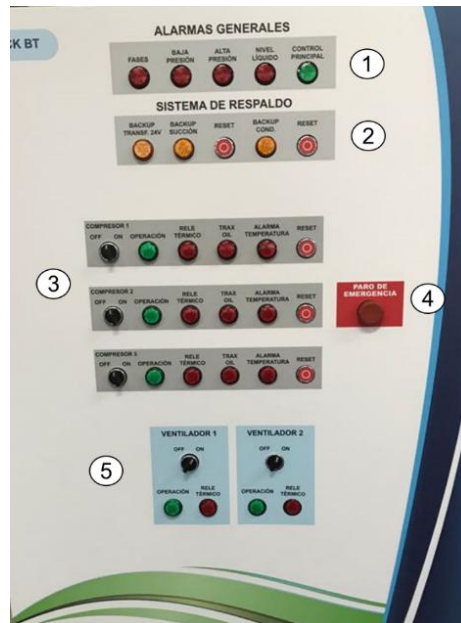


Figura 24. Tablero de control

En donde:

1. Alarmas generales
2. Sistema de respaldos
3. Control general de los compresores
4. Botón para paro de emergencia
5. Control general de ventiladores

La figura 25 muestra el circuito de control donde se aprecia el controlador general PCT – 3001 plus, los transformadores y reguladores de voltajes, borneras de conexión y relés de activación. Este circuito fue construido con la asesoría de Mega Cool.



Figura 25. Circuito de control

En la figura se puede observar:

1. Interruptor automático
2. Detector de voltaje trifásico
3. PCT – 3001 plus (controlador)
4. Distribuidor de energía
5. Interruptores
6. Transformador 24V

2.7 PRUEBAS

Para la realización de las pruebas se utilizó el protocolo implementado por la empresa Metro Cool. En la tabla 6 se describe el protocolo de pruebas llevado a cabo.

Tabla 6. Protocolo de pruebas

ACCIÓN	ESTADO
Verificación alimentación foco rojo encendido	OK
Verificación de cable de conexión RS-485 (Exhibidores a TCP)	OK
Colocación mediante ethernet config de dirección ip, submáscara y gateway (asignada al equipo por local)	OK
Colocación de dirección ip gemela (último número xxx, submáscara y gateway) en computadora	OK
Conexión de patchcore desde switch a TCP-485 y desde switch a computadora	OK
Transmisión de datos desde computador y Sitrad local.	OK
Configurar Sitrad para recopilación de datos vía red (Ethernet)	OK
Registrar convertidor en software local (Verificar reconocimiento; en caso de no verificar conexión switch – tcp485; puertos abiertos en switch; dirección ip no repetida)	OK
Verificar en sitio y con el personal de monitoreo los números	OK

asignados a cada equipo	
En Sitrad local realizar búsqueda por números	OK
Iniciar dispositivo en la red	OK
Validar ajuste de parámetros con Sitrad	OK
Verificar envío de alarmas	OK

Como primer paso se verificó, en intervalos de tiempo de 5 segundos, la conexión RS-485 de los exhibidores y cuartos fríos con el TCP-485. Al tener la comunicación levantada, se configuró las direcciones ip, sub-máscaras y gateways de cada equipo.

Configurados los equipos de refrigeración, los switches y el CPU del monitoreo, se verificó la transmisión de datos comprobando con el comando “ping” desde el computador y validando que no existan pérdidas de datos superiores al 5% durante el lapso de 60 segundos.

A partir de esto, se configuró el Sitrad local para la recopilación de datos vía Ethernet.

El punto crítico de las pruebas es la verificación del reconocimiento de conexión entre los controladores, mediante el TCP-485, y el controlador principal. Se debe tomar en cuenta que, no existan puertos abiertos, direcciones ip repetidas y que el convertidor esté enviando los datos correctos. Para esto, a cada equipo se envió información y se validó que no existan pérdidas de datos o información errónea. Se obtuvo un 98% de confiabilidad de datos correctos.

Además, se debe validar, con el equipo de monitoreo del local, los números asignados a cada equipo. Con los números correctamente asignados, se verificó la búsqueda por números en la interfaz Sitrad. Existieron casos en los que no se localizaban los equipos mediante sus números y se procedió a revisar detalladamente las conexiones físicas (conexión de cable/controles). Al tener todos los equipos reconocidos con su número único, se pasó al siguiente punto de pruebas.

Se validó que se puedan ajustar parámetros en cada equipo de refrigeración mediante la pantalla de Sitrad. Dentro de la misma, se pudo visualizar los valores de presión y temperatura de cada equipo en el local comercial, cumpliendo con el requerimiento de monitoreo remoto.

Por último, se constató que las alarmas se envíen correctamente mediante correo electrónico, con toda la información necesaria. Para esta prueba, se generaron alarmas en el 50% de equipos del local y se enviaron a 20 correos al mismo tiempo. Las alarmas llegaron al 100% de los correos registrados.

3 RESULTADOS

Una vez ensamblado todo el sistema y con la asesoría de Mega Cool, se verificó el funcionamiento en conjunto de los elementos dentro del taller. Se comprobó el funcionamiento del sistema de refrigeración, validando que el sistema de control lo tenga en un estado estable. Además, se verificó que el sistema de comunicación entregue la información a la interfaz gráfica para la visualización de parámetros y generación de alertas.

Dentro de las pruebas se validó que el uso de diferentes marcas no afecta en el desempeño del sistema, pero se deben tomar en cuenta las especificaciones de cada equipo para su correcto desempeño.

A partir de las pruebas realizadas en el taller, se llegó a un acuerdo con la empresa tercera y Corporación Favorita para realizar la implementación del sistema en el local comercial Supermaxi Eloy Alfaro como prueba piloto. Se tomaron los datos de todos los equipos de refrigeración y de los compresores dentro del local comercial. A partir de la información recaudada, se analizaron los equipos adecuados para implementar en dicho local como fue descrito en el capítulo de diseño de componentes.

Luego del plan piloto y de la implementación en el local comercial Supermaxi Eloy Alfaro, se arrojaron los siguientes resultados de control en todo el mes de febrero del año 2018.

En la tabla 7 se muestran las alarmas generadas en el mes de febrero en el local Eloy Alfaro.

Tabla 7. Notificaciones de alarmas Supermaxi Eloy Alfaro febrero 2018

Ubicación de la alarma	Notificación de la alarma	Fecha y hora
Cuarto de congelados	Temperatura alta	09/02/18 9H15
Cuarto de congelados	Temperatura alta	09/02/18 10H45
Exhibidor de pollos 2	Temperatura alta	20/02/18 17H19
Exhibidor de pollos 2	Temperatura alta	20/02/18 18H52
Exhibidor de pollos 2	Temperatura alta	21/02/18 6H59
Exhibidor de pollos 3	Temperatura alta	27/02/18 17H37

Donde se puede verificar que los equipos descritos presentaron temperaturas altas en las fechas y horas señaladas.

En la tabla 8 se muestra el resumen de alarmas del mes de febrero en el local Eloy Alfaro

Tabla 8. Resumen alarmas Supermaxi Eloy Alfaro febrero 2018

Ubicación de la alarma	Notificación de la alarma	Número de notificaciones
Cuarto de congelados	Temperatura alta	2
Exhibidor de pollos 2	Temperatura alta	3
Exhibidor de pollos 3	Temperatura alta	1
Total		6

Según la tabla, el cuarto de congelados presentó dos notificaciones de temperaturas altas, el exhibidor de pollos 2 presentó tres notificaciones de temperaturas altas y el exhibidor de pollos 3 presentó una notificación de temperatura alta. En total, se presentaron seis notificaciones de temperatura alta en el mes de febrero en el local Supermaxi Eloy Alfaro.

En la tabla 9 se muestra la disponibilidad de frío en el local Eloy Alfaro del mes de febrero 2018. Estuvieron conectados 39 equipos durante 28 días.

Tabla 9. Disponibilidad de frío Supermaxi Eloy Alfaro febrero 2018

Tiempo total de trabajo [h]	24
Tiempo total temperatura fuera rango [h]	22,73
Temperatura fuera de rango (%)	0,075
Disponibilidad de frío (%)	99,925

Según la tabla, el tiempo total de horas de trabajo para mantener el frío fueron 24, en donde 22,73 horas estuvo fuera de rango la temperatura, eso representa el 0,075 por ciento fuera de rango, por lo que, hubo una disponibilidad del 99,925 por ciento de frío en el local.

Con los resultados obtenidos, se puede asegurar que los equipos estuvieron con una disponibilidad de frío de 99,925%, es decir, alcanzaron su máximo rendimiento y eficiencia.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se diseñó una lógica de control genérica, que permite interactuar con los distintos equipos de refrigeración y sus rangos de operación.

Debido a la variedad de equipos de refrigeración en los locales comerciales de Corporación Favorita, no se pueden determinar instrumentos específicos para el sistema de control. El sistema debe ser compatible, genérico y adaptable a cualquier local comercial.

Se determinó que la interfaz gráfica Sitrad es compatible con la mayoría de los equipos de refrigeración. Además, al ser visualmente intuitivo, permite al usuario final monitorear y ajustar parámetros de manera sencilla.

Los resultados demostraron que, con el monitoreo y ajuste de parámetros remoto, se puede llegar a obtener un 99,925% de disponibilidad de frío en un local comercial. Esto garantiza una calidad en los productos perecederos.

RECOMENDACIONES

Realizar un estudio para implementar el sistema desarrollado en todos los locales de Corporación Favorita, pues garantiza la calidad de productos perecederos, aumenta la eficiencia de los equipos de refrigeración y reduce el gasto energético.

Analizar la opción de tener centros de control en cada oficina regional a nivel nacional, para agilizar la gestión de eventuales contratiempos.

Implementar la interfaz gráfica en los computadores de cada administrador de local, para que puedan dar seguimiento a cada equipo de su local y reportar anomalías presentadas.

Investigar sobre la posibilidad de implementar el sistema de control y monitoreo remoto en los tableros de alta tensión del centro de distribución de Corporación Favorita, para evitar posibles incendios.

BIBLIOGRAFÍA

- Lindhard, B. (2001). Control inteligente de refrigeración—una herramienta potente para el ahorro energético en los supermercados. *The danfoss Journal*, (54), 10-11.
- Carel.mx. (2018). Hipermercados. [online] Available at: <http://www.carel.mx/application/hypermarket>
- Fullgauge.com. (2018). Full Gauge Controls. [online] Available at: <http://www.fullgauge.com/es/>
- Emersonclimate.com. (2018). Emerson Climate Technologies Europe. [online] Available at: <http://www.emersonclimate.com/europe/en-eu/pages/default.aspx>
- Danfoss.mx. (2018). Danfoss América Latina. [online] Available at: <http://www.danfoss.mx/home/#/>
- Lazzarin, R., Nardotto, D., & Noro, M. (2009). Válvula de Expansión Electrónica vs. Válvula de Expansión Termostática.
- Igual, E. V. M. (2016). Diseño de instalación eléctrica del sector de refrigeración de centro comercial (Doctoral dissertation).
- López, D. (2016). Desarrollo y construcción de un prototipo de lámpara inteligente. (Bachelor's thesis, Quito, Universidad tecnológica equinoccial, 2016)
- Candelas-Herías, F. A. (2011). Comunicación con RS-485 y MODBUS. *Automatización Avanzada*.
- Medina Ramírez, S. (2009). Las cadenas de frío y el transporte refrigerado en México. *Comercio exterior*, 59(12), 1010-1017.
- Zurita, C., Fabián, N., Suntaxi, T., & Iván, L. (2015). Diseño y construcción de una cámara frigorífica modular de 9.6 m3 para conservación de vacunas (Bachelor's thesis).
- ARNALTE, J. M. G. (2015). Proyecto de instalación frigorífica para cámara de conservación de congelados de 16.700 M3 (Doctoral dissertation).
- Bejarano, G., Ortega, M. G., Rubio, F. R., & Morilla, F. (2013). Modelado simplificado y orientado al control de sistemas de refrigeración. XXXIV Jornadas de Automática, Terrassa, España, 506-513.
- Anon, (2018). [online] Available at: <https://www.bitzer.de/es/es/compresores-de-piston/ecoline/#!4DES7>
- Sitrad413.sitrad.com. (2018). Manual del Sitrad. [online] Available at: http://sitrad413.sitrad.com/es/user_guide/

ANEXOS

ANEXO 1
Equipos de refrigeración Supermaxi Eloy Alfaro

Cant.	Modelo	Fabricante	Volt. [V]	Frec. [Hz]	Rango temp. [°C]	Función
3	F35HC	LU-VE	230	50	- 40 / 55	Cuartos fríos.
5	LI429627	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Exhibidores congelados
2	LI438390	COSTAN	230	60	-25 / 3	Exhibidores finales de góndola
6	LI438052	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Exhibidores carnes
2	LI429476	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Final de góndola pasillo frío
6	LI438053	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Exhibidores lacteos
6	LI434547	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Exhibidores legumbres
1	LI435514	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Exhibidor mariscos esquina
1	LI435515	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Exhibidor mariscos completos
2	LI435513	COSTAN	230	50 – 60	-25 / 3	Exhibidores embutidos
2	LI429599	COSTAN	230	60	-25 / 3	Exhibidores inicio de góndola

ANEXO 2

Datos técnicos compresor Bitzer modelo 4DES-7(Y)

CARACTERÍSTICAS	SI
Volumen desplazado (1450 rpm a 50 Hz)	26,84 m ³ /h
Volumen desplazado (1750 rpm a 60 Hz)	32,39 m ³ /h
N° de cilindros x diámetro x carrera	4 x 50 mm x 39,3 mm
Presión máxima (BP/AP)	19 / 32 bar
Peso	88,5 kg
Conexión línea aspiración	28 mm – 1 1/8"
Conexión línea descarga	22 mm – 7/8"
Tipo de aceite R134a / R407C / R404A / R507A / R407A / R407F	BSE32 (Standard) / R13a tc > 70°
Aceite para R22 (R12/R502)	B5.2 (Option)

ANEXO 3
Datos técnicos evaporador LU-VE modelo F35HC 143

CARACTERÍSTICAS	SI
Volumen	6,00 dm ³
Temperatura	-40°C / 55°C
Presión máxima	2,4 MPa
Número motores	2
Tensión	230 V
Frecuencia	50 Hz
Alterna	175 W / 0,8 A
Tipo de aceite R134a / R22 / R404A / R407C / R507 / R407F	BSE32 (Standard) / R13a tc > 70°

ANEXO 4

Pantalla principal del software Sitrad

The screenshot shows the main interface of the SITRAD Local software. It features several panels and controls:

- Top Left Panel (1):** Controls for defrosting, including 'Prog. Deshielos: Sí', 'Tiempo: 01:44', and 'Status: Refrigeración'.
- Temperature Displays (2, 5):** Two digital displays showing 'TEMPERATURA 1 (°C)' at 08.9 and 'TEMPERATURA 2 (°C)' at 04.3.
- Control Parameters (3, 6):** A section for 'SALIDAS' (REFR, FANS, DEFR) with 'Temp. Control' at 25.0 °C and 'Diferencial' at 2.0 °C. It also includes a 'Horario' display showing '15:15:59 Vie' and buttons for 'Parámetros' and 'Deshielo'.
- Alarms Panel (4):** A section titled 'Alarmas' with a 'Virtual' button and a list of alarm conditions: '1 - Sensor 1 desconectado', '2 - Sensor 2 desconectado', '3 - Temperatura 1 baja', '4 - Temperatura 1 alta', and '5 - Fin deshielo por tiempo'.
- Unit Selection:** A dropdown menu showing 'Unidad en realce: TC-900 clock'.
- Table (7):** A table with columns: Direc, Descripción, Temp1, Temp2, Refr, Fans, Defr, Alarmas, Tiempo, Status, Prg.Desh., Point, Difer, and Horario. It contains one row of data for unit '004 TC-900 clock'.

Direc	Descripción	Temp1	Temp2	Refr	Fans	Defr	Alarmas	Tiempo	Status	Prg.Desh.	Point	Difer	Horario
004	TC-900 clock	8.9	4.3	Desc	Desc	Conex	-----	00:11	Deshielo	No	15.0	02.0	07:26:27 Jue

En la cual:

1. Programación deshielos
2. Temperatura alta
3. Temperaturas de control
4. Alarmas sensores
5. Temperatura baja
6. Ajuste de parámetros y deshielo
7. Tabla informativa de cada equipo