



Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

**Retrofit de sistema de refrigeración comercial mediante racks de
compresores con refrigerantes sostenibles.**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Magister en Ingeniería y Proyectos de Climatización

Presentado por:

Ricardo Antonio Lucas Aguilar

Guayaquil - Ecuador

Año: 2026

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico a Dios,
mi esposa Alexandra Moreira, mis hijos
Ricardo y Rosangela, mis padres y hermanos.

Agradecimientos

 Mi más sincero agradecimiento para los impartidores de conocimientos y experiencias, al Msc. Frank Porras, a mis tutores Msc. Luis Pacheco, Msc. Fernando Garnica, a la Corporación Megafrio SA, al departamento de proyectos ACR PROYECTOS SA

Declaración Expresa

Yo Ricardo Antonio Lucas Aguilar acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autores/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 29 de marzo del 2026.

Ricardo Antonio Lucas Aguilar

Autor

Evaluadores

Msc. Frank Porras

Evaluador

Msc. Fernando Garnica

Tutor de proyecto

Resumen

Este trabajo propone una metodología para la gestión de proyectos orientada a modernizar sistemas de refrigeración en supermercados, centrándose en la transición hacia refrigerantes con bajo Potencial de calentamiento Global (GWP), lo que reduce su impacto ambiental. Actualmente, muchos equipos presentan deficiencias operativas y emplean refrigerantes hidrofluorocarbonados, los cuales poseen una huella de carbono extremadamente alta que se traduce en un alto potencial de calentamiento global. La solución integra un enfoque técnico detallado, un proceso de ejecución estructurado y la sustitución de refrigerantes, aplicando una metodología en cascada basada en análisis documental, técnico y control secuencial por fases. Como parte de la implementación, se instaló un rack de compresores que integra sistemas de media y baja temperatura, logrando un funcionamiento óptimo en refrigeración y congelación mediante la aplicación de refrigerantes sostenibles (CO₂ y mezcla agua-glicol como fluido secundario), con un ahorro energético del 24%. Adicionalmente, se incorporó un sistema de monitoreo remoto para el control en tiempo real, optimizando procesos, garantizando eficiencia operativa y mejorando la confiabilidad del sistema.

Palabras Clave: Metodología, modernizar, transición, eficiencia, confiabilidad.

Abstract

This work proposes a project management methodology aimed at modernizing refrigeration systems in supermarkets, focusing on the transition to refrigerants with a low Global Warming Potential (GWP), thereby reducing their environmental impact. Currently, many systems have operational deficiencies and use hydrofluorocarbon refrigerants, which have an extremely high carbon footprint that translates into a high global warming potential. The solution integrates a detailed technical approach, a structured execution process, and refrigerant replacement, applying a cascade methodology based on document analysis, technical analysis, and sequential phased control. As part of the implementation, a compressor rack was installed that integrates medium- and low-temperature systems, achieving optimal refrigeration and freezing performance through the adoption of sustainable refrigerants (CO₂ and a water-glycol mixture as a secondary fluid), with energy savings of 24%. Additionally, a remote monitoring system was incorporated for real-time control, optimizing processes, ensuring operational efficiency, and improving system reliability.

Keywords: Methodology, modernize, transition, efficiency, reliability.

Índice general	
Resumen	VI
Abstract.....	VII
Abreviaturas.....	XI
Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XV
Capítulo 1	1
1 Introducción	2
1.1 Descripción del Problema.....	3
1.2 Justificación del Problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Refrigerantes	6
1.4.2 Tendencia Regulatoria y el Impacto del GWP	7
1.4.3 Inflamabilidad vs. GWP	7
1.4.4 Clasificación de Seguridad (ASHRAE 34)	8
1.4.5 Marco Regulatorio Global: El Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali	8
1.4.6 Refrigerante Natural	9
1.4.7 Agua con Glicol	10
1.4.8 Sistema de refrigeración en eficiencia energética	13
1.4.9 Control Centralizado	14
1.5 Consideraciones de Seguridad.....	18
1.5.1 Riesgos para la Salud por Desplazamiento de Oxígeno.....	19
1.5.2 Altas Presiones de Operación.....	19
1.5.3 Riesgos Térmicos por Bajas Temperaturas (Criogenia)	19
1.5.4 Formación de Hielo Seco por Descompresiones Bruscas.....	19

Capítulo 2	22
2 Metodología	22
2.1 Inicio	23
2.1.1 Recolección de datos generales.....	23
2.1.2 Sistema antiguo media temperatura	23
2.1.3 Sistema antiguo baja temperatura	25
2.2 Planificación.....	26
2.2.1 Carga frigorífica para cámaras de frío.....	26
2.2.2 Carga frigorífica para exhibidores de frío	29
2.2.3 Selección del Rack de compresores	31
2.3 Ejecución del proyecto.	33
2.3.1 Documentación.....	33
2.3.2 Rack de compresores.....	35
2.3.3 Exhibidores frigoríficos.....	36
2.3.4 Cámara frigorífica	38
2.3.5 Sistema de Tuberías	38
2.3.6 Conexiones Eléctricas y de control	43
2.3.7 Sistema de monitoreo remoto.....	48
2.4 Monitoreo y control.....	51
2.5 Cierre del proyecto	51
2.6 Operación del Sistema de Refrigeración	51
2.6.1 Sistema de agua con glicol	52
2.6.2 Exhibidores y cámara frigoríficas	54
2.7 Consideraciones de Seguridad.....	55
Capítulo 3	23
3 Análisis Generales.....	58
3.1 Análisis del sistema de refrigeración en lógica de funcionamiento del rack	58
3.2 Control principal P-rack.	61

3.3 Controlador MPX-PRO.....	62
3.4 Controlador IJ.....	63
3.5 Análisis de Costos	64
3.5.1 Costos Operativos	64
3.6 Resultados.....	68
Capítulo 4	62
4 Conclusiones y recomendaciones.....	71
4.1 Conclusiones.....	71
4.2 Recomendaciones	72
Referencias	74

Abreviaturas

ESPOL: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

GWP: Global Warming Potential (Potencial de calentamiento Global).

CO₂: Dióxido de Carbono.

HFC: Hidrofluorocarbonos.

SNAP: Significant New Alternatives Policy (Política Nuevas Alternativas Significativas).

EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de EE. UU.)

COP: Coefficient of Performance (Coeficiente de Rendimiento).

CCAC: Climate and Clean Air Coalition (Coalición Clima y Aire Limpio).

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

PLC: Controladores Lógicos Programables.

HC: Hidrocarburos.

HCFC: Hidroclorofluorocarbonos.

PAO: Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono.

pH: Potencial de Hidrógeno.

kW: Kilovatio.

HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado).

BOSS: Building Operation Supervisory System

PPR: polipropileno

DN: Diámetro Nominal

NTC: Coeficiente de Temperatura Negativo

AWG: American Wire Gauge.

MT: Media Temperatura.

BT: Baja Temperatura.

HPV: High Pressure Valve o Válvula de Alta Presión.

RPRV: Válvula Reductora de Presión en Refrigeración.

Índice de figuras

Figura 1 <i>Instalación de CO₂ transcíticos en América Latina</i> [4]	5
Figura 2 <i>Penetración en el mercado de la refrigeración comercial con CO₂</i> [4].....	6
Figura 3 <i>Comportamiento del refrigerante en el ciclo de refrigeración</i> [6]	7
Figura 4 <i>GWP frente a Densidad de los principales grupos de refrigerantes.</i> [8].....	8
Figura 5 <i>Características del R744.</i>	10
Figura 6 <i>Refractómetro (medición de concentración de glicol en el sistema de agua ...</i>	11
Figura 7 <i>Escala de concentración vista desde el Refractómetro</i>	12
Figura 8 <i>Volumen barrido para varios refrigerantes en comparación con CO₂ (CO₂ = 1). Evaporación a -30 °C (-22 °F) y 0 °C (32 °F), respectivamente, y condensación a 20 °C (68 °F)[13]</i>	13
Figura 9 <i>Gama de Boss</i>	14
Figura 10 <i>Controlador pR300T</i>	15
Figura 11 <i>Controlador c.pco</i>	15
Figura 12 <i>Controlador MPXpro</i>	16
Figura 13 <i>Esquema de control sistema de refrigeración con rack de compresores</i>	17
Figura 14 <i>Efectos sobre la salud de diversas concentraciones de CO₂.</i> [13]	18
Figura 15 <i>Hoja de Ruta para el proyecto de modernización del sistema de refrigeración del supermercado.</i>	22
Figura 16 <i>Antiguo rack de compresores de media temperatura.</i>	24
Figura 17 <i>Antiguo condensadora de media temperatura.</i>	24
Figura 18 <i>Antiguas unidad condensador de expansión directa de baja temperatura para exhibidor de congelados.</i>	25
Figura 19 <i>Antiguas unidad condensadoras de expansión directa de baja temperatura para cámara de congelados.</i>	25
Figura 20 <i>Cálculo de carga frigorífica en cámara de media temperatura mediante software coolselector2.</i>	27
Figura 21 <i>Cálculo de carga frigorífica en cámara de baja temperatura mediante software coolselector2.</i>	28
Figura 22 <i>Exhibidor de congelado del supermercado.</i>	29
Figura 23 <i>Exhibidor de refrigerados del supermercado.</i>	29
Figura 24 <i>Rack de compresores nuevo</i>	31
Figura 25 <i>Cronograma de actividades.</i>	33

Figura 26	<i>Acta de Constitución del proyecto.</i>	34
Figura 27	<i>Placa de datos técnicos del Rack de compresores</i>	35
Figura 28	<i>Fotografías del Rack de compresores, vista frontal y posterior.</i>	36
Figura 29	<i>Fotografías de exhibidores de frío.</i>	37
Figura 30	<i>Serpentín de cobre para evaporador de CO2.</i>	37
Figura 31	<i>Diagrama de instalación de cámara frigorífica</i>	38
Figura 32	<i>Fotografías de cámaras frigoríficas</i>	38
Figura 33	<i>Dato técnico kit Válvula de equilibrado dinámico</i>	39
Figura 34	<i>Ficha técnica de la tubería de polipropileno.</i>	39
Figura 35	<i>Cálculo de diámetro de la tubería de polipropileno.</i>	40
Figura 36	<i>Diagrama conexión de tubería de polipropileno con válvula kit pettinaroli evaporador agua+glicol.</i>	41
Figura 37	<i>Ficha técnica de la tubería de cobre tipo K</i>	41
Figura 38	<i>Plataforma de cálculo del dimensionamiento de las tuberías de cobre</i>	42
Figura 39	<i>Diagrama de conexión de tubería de cobre en evaporadores de Baja temperatura.</i>	43
Figura 40	<i>Diagrama conexiones Eléctrica de Tablero de equipo de Cámara de baja Temperatura.</i>	44
Figura 41	<i>Placa de evaporador de cámara de baja Temperatura.</i>	44
Figura 42	<i>Diagrama conexiones Eléctrica de Tablero de equipo de Cámaras de media Temperatura.</i>	45
Figura 43	<i>Placa de evaporador de cámara de media temperatura.</i>	45
Figura 44	<i>Diagrama conexión de Control MPX-pro Exhibidor de baja</i>	46
Figura 45	<i>Placa de exhibidor de baja temperatura.</i>	47
Figura 46	<i>Diagrama conexión de Control IJ Exhibidor de media temperatura</i>	47
Figura 47	<i>Placa de exhibidor de media temperatura.</i>	48
Figura 48	<i>Lazo de comunicación para monitoreo.</i>	49
Figura 49	<i>Pantalla de inicio del sistema de monitoreo</i>	50
Figura 50	<i>Plataforma del sistema de Control.</i>	50
Figura 51	<i>Unidad de compresores para sistemas de media y baja temperatura.</i>	51
Figura 52	<i>Controlador P-rack de tablero de Rack de compresores</i>	52
Figura 53	<i>Tabla dilución en agua de Propilenglicol para refrigeración[16]</i>	53
Figura 54	<i>Visión del refractómetro</i>	53
Figura 55	<i>Exhibidores de Refrigeración (baja y media temperatura)</i>	54
Figura 56	<i>Temperatura de exhibidores de baja y media temperatura.</i>	54

Figura 57	<i>Temperatura de cámara de baja y media temperatura.</i>	55
Figura 58	<i>Plataforma del detector de CO2. [13]</i>	56
Figura 59	<i>Cambio de temperaturas y presión durante un día en el gas cooler</i>	58
Figura 60	<i>Porcentaje de trabajo de la válvula HVP, RPRV compresor paralelo y presión en el recibidor en horario 11h20-14h39</i>	59
Figura 61	<i>Porcentaje de trabajo de la válvula HVP, RPRV compresor paralelo y presión en el recibidor en horario 17h52-21h11</i>	60
Figura 62	<i>Porcentaje de trabajo de la válvula HVP, RPRV compresor paralelo y presión en el recibidor en horario 23h28-02h47</i>	60
Figura 63	<i>Plataforma del control principal P-rack.</i>	61
Figura 64	<i>Plataforma del controlador MPX-PRO de la cámara de congelados.</i>	62
Figura 65	<i>Plataforma del controlador ij del exhibidor de carnes</i>	63
Figura 66	<i>Proforma de equipos e Instalación.</i>	64
Figura 67	<i>Datos de consumo de energía del rack de compresores.</i>	65
Figura 68	<i>Comparativo de consumos eléctrico.</i>	66
Figura 69	<i>Reducción de consumo.</i>	67
Figura 70	<i>Reporte de consumos energético.</i>	83
Figura 71	<i>Grafica de consumos energético.</i>	84
Figura 72	<i>Consumo del equipo rack de compresores.</i>	85
Figura 73	<i>Proforma de equipos e Instalación.</i>	86

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Resultados técnicos de cálculo de cargas frigorífica para cámara de media temperatura</i>	27
Tabla 2	<i>Resultados técnicos de cálculo de cargas frigorífica para cámara de baja temperatura</i>	28
Tabla 3	<i>Datos técnicos para cálculo de cargas frigoríficas en baja temperatura</i>	30
Tabla 4	<i>Resumen de cálculo de cargas frigoríficas</i>	30
Tabla 5	<i>Resumen de resultado cálculo de cargas frigoríficas y capacidades en compresores de rack.....</i>	32
Tabla 6	<i>Modelos de compresores de rack con dato de potencia en su punto de trabajo.</i>	32
Tabla 7	<i>Resultado de cálculos de diámetros de tubería de cobre para el sistema de baja temperatura</i>	42
Tabla 8	<i>Datos de consumo eléctrico comparativos entre antiguo sistema y nuevo sistema de refrigeración, en un mes</i>	66
Tabla 9	<i>Ahorro en dólares por cantidad de meses por consumo energético</i>	67
Tabla 10	<i>Comparativo en costos de refrigerante</i>	67
Tabla 11	<i>Datos de consumo de amperajes de antiguo sistema y nuevo sistema de refrigeración.....</i>	82

Capítulo 1

1 Introducción

El consumo energético en los supermercados es un factor crítico para la sostenibilidad global, especialmente cuando operan con equipos ineficientes y de alto impacto ambiental. Estas instalaciones destacan entre los mayores consumidores del sector comercial debido al funcionamiento continuo de sistemas como refrigeración, iluminación y climatización. En particular, los equipos de refrigeración representan entre el 30% y el 60% del consumo eléctrico total en establecimientos comerciales [1], donde la variabilidad depende de factores climáticos, tecnológicos y regulatorios.

Frente a esto, la creciente conciencia ambiental ha impulsado la transición hacia sistemas de refrigeración sostenibles, priorizando refrigerantes con bajo Potencial de Calentamiento Global (PCG). Esto se alinea con acuerdos internacionales como el Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali, ratificada por Ecuador [2]. El análisis comparativo de productos fluorocarbonados, incluidos los hidrofluorocarbonos (HFC), evidencia que muchos de estos compuestos se encuentran entre los gases de efecto invernadero de mayor impacto, conociendo que la liberación de un kilogramo de ciertos fluorocarbonos puede ser entre mil y diez mil veces más perjudicial que la misma cantidad de dióxido de carbono (CO₂).

Como alternativas, sobresalen el CO₂ (R744) y los sistemas secundarios con agua glicolada, que equilibran eficiencia y sostenibilidad. A pesar de requerir una inversión inicial elevada (alrededor de 4 veces mayor en este caso en costos de equipos), debido a sus condiciones de trabajo, el CO₂ reduce drásticamente las emisiones indirectas asociadas al consumo eléctrico [3]. Esta alternativa se ha incrementado en la industria por su eficiencia, rendimiento y cumplimiento normativo [4], además de reflejar un compromiso con la innovación y la huella de carbono. Estas soluciones han demostrado resultados positivos en climas tropicales y templados, logrando reducciones del 30% en consumo energético y hasta 60% en emisiones.

No obstante, la implementación enfrenta disparidades socioeconómicas. Mientras Estados Unidos y Canadá avanzan con marcos regulatorios estrictos (como las normativas SNAP de la EPA), América Latina enfrenta barreras estructurales. Casos como Chile (con proyectos piloto de CO₂ transcríticos) y Brasil (con regulaciones progresivas sobre HFC) muestran avances técnicamente viables, pero persisten desafíos en conocimientos y financiamiento.

En la región Costa de Ecuador, el clima cálido y húmedo incrementa la carga térmica en los sistemas de refrigeración, agravada por el uso predominante de refrigerantes como R-404A o R-134a (con alto PCG). Aunque algunas cadenas han implementado sistemas con CO₂ transcríticos

en nuevas construcciones, la falta de especialización técnica y los altos costos limitan su escalabilidad.

Ante este escenario, este proyecto propone una modernización mediante un sistema híbrido que combina CO₂ para cámaras frigoríficas (-18 °C), como fluido secundario agua glicolada para vitrinas (0–5 °C) con monitoreo remoto.

El CO₂ Por encima de su temperatura crítica (31.1 °C), opera en estado gaseoso por ello el cambio de denominación de condensador a gas cooler estos sistemas validados en supermercados de Colombia, Chile y Ecuador, ha demostrado reducciones del 20–30% en consumo energético frente a sistemas de expansión directa, además de minimizar fugas de refrigerante gracias a circuitos cerrados y con la ayuda de detectores de fugas ubicados estratégicamente. La solución busca generar ahorro bajo cumplimiento de normativas y posicionar al sector como referente de sostenibilidad en la región.

1.1 Descripción del Problema

La transición hacia sistemas de refrigeración ecológicamente responsables en el sector comercial representa un desafío ambiental y energético crítico. Esto se debe, en primer lugar, a la predominancia de equipos que emplean refrigerantes con alto potencial de calentamiento global (GWP), como el R404A (GWP = 3922) y el R507A (GWP = 3985), cuyos impactos se intensifican por la ausencia de planes de mantenimiento programado. A ello se suma el elevado consumo energético generados por la mala operación y agravado por la carencia de sistemas de control y adquisición de datos que permitan optimizar su eficiencia operativa. Esta combinación de factores genera un ciclo de ineficiencia técnica, mayor huella de carbono y costos operativos elevados, lo que exige soluciones integrales

1.2 Justificación del Problema

En regiones de la costa ecuatoriana con temperaturas elevadas que llegan a los 35 grados Celsius y altos niveles de humedad que oscilan entre 75% a 88 %, como es el caso de Machala, los sistemas de refrigeración operan bajo una demanda continua, lo que genera un desafío dual: reducir el consumo energético y minimizar el riesgo ambiental asociado a fugas de refrigerantes convencionales, como los hidrofluorocarbonos (HFC), cuyo potencial de calentamiento global es miles de veces superior al del dióxido de carbono. La implementación de sistemas que utilicen refrigerantes con bajo Potencial de Calentamiento Atmosférico (PCA) no solo incrementa la eficiencia energética reduciendo costos operativos, sino que también mitiga el impacto ecológico en caso de fallos técnicos, un escenario crítico debido a la frecuencia de fugas y sus efectos acumulativos en el calentamiento global. Esta solución técnica, además, se alinea con normativas

internacionales como la Enmienda de Kigali, garantizando sostenibilidad operacional y responsabilidad ambiental.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica de la transición hacia un sistema de refrigeración ecológicamente sostenible, mediante un “retrofit” en un supermercado, empleando una metodología de gestión de proyectos que asegure el avance técnico en cada etapa, y garantice el cumplimiento de los estándares técnicos, operativos y ambientales aplicables.

1.3.2 Objetivos específicos

- Aplicar el modelo metodológico tipo cascada para la gestión del proyecto asegurando su ejecución en cada fase del mismo que contribuyan al desarrollo ordenado hasta su cierre
- Validar los resultados de la instalación de un sistema de refrigeración centralizado, garantizando la integración adecuada de sus componentes conforme a los estándares técnicos y de seguridad del fabricante
- Cuantificar el impacto ambiental del sistema mediante la implementación de refrigerantes con bajo Potencial de Calentamiento Global (PCG) y el uso de mezclas agua-glicol como fluido secundario.
- Analizar un sistema de monitoreo en tiempo real basado en instrumentación, que permita obtener datos de presión, temperatura del sistema para optimizar su eficiencia energética.

1.4 Marco teórico

La refrigeración industrial experimenta avances tecnológicos significativos, destacándose sistemas como los ciclos transcíticos con CO₂ (R744) y soluciones de eficiencia energética. Estas innovaciones no solo minimizan el impacto ambiental, sino que también incrementan la competitividad empresarial

El R744, o dióxido de carbono, es un refrigerante natural con ventajas técnicas y ecológicas: bajo potencial de calentamiento global (GWP = 1), no toxicidad, no inflamabilidad y eficiencia energética superior a refrigerantes como el R134a (GWP = 1430) o el R410a (GWP = 2088). Su punto crítico (31.1 °C; 72.9 bar) y estado supercrítico le confieren alta densidad y

capacidad de transferencia térmica, optimizando el coeficiente de rendimiento (COP) en comparación con alternativas convencionales [2].

Implementación en América Latina:

Estudio en Chile de comparación de eficiencia energética realizado en nuestro país, comprobó que los sistemas de refrigeración basados en la tecnología de CO₂ transcíticos presentan un 20% más de eficiencia energética y son 4.000 veces menos contaminantes que un refrigerante químico convencional. El estudio fue apoyado por la Unidad Ozono del Ministerio del Medio Ambiente y financiado por el Fondo Multilateral del Protocolo de Montreal y la Coalición del Clima y el Aire Limpio (CCAC), a través del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).[3]

Se calcula que había 125 supermercados y tiendas de comestibles en Ecuador, 80 en Colombia y 70 en Argentina utilizando CO₂ sistemas.[4]

Arneg también se ha establecido en América Latina, con Arneg Central América, que opera desde Ciudad de Panamá. Rolando Bissot, Gerente de Ingeniería y Mantenimiento de Arneg Centroamérica, dijo en 2020 que la empresa italiana había instalado dos plantas transcíticas de CO₂ en dos tiendas Mi Comisariato en Guayaquil, Ecuador, y afirmó que las cadenas de supermercados más grandes de Ecuador sólo eligen sistemas de captura de CO₂ refrigeración para las nuevas tiendas. "Han experimentado el ahorro energético y no quieren dar marcha atrás", añadió [4]

Figura 1 Instalación de CO₂ transcíticos en América Latina[4]

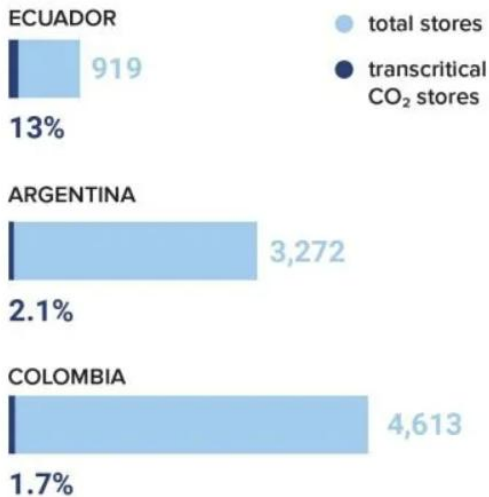


En diciembre de 2024, había un mínimo de 580 supermercados y tiendas de comestibles que utilizan CO₂ de América Latina. Con al menos 100, el número total de instalaciones transcíticas de CO₂ instalaciones era de un mínimo de 680.[4]

Figura 2 Penetración en el mercado de la refrigeración comercial con CO₂[4]

Transcritical CO₂ Commercial Refrigeration Market Penetration

(in three leading markets, as of December 2024)



Se calcula que había 125 supermercados y tiendas de comestibles en Ecuador, 80 en Colombia y 70 en Argentina utilizando CO₂ sistemas.[4]

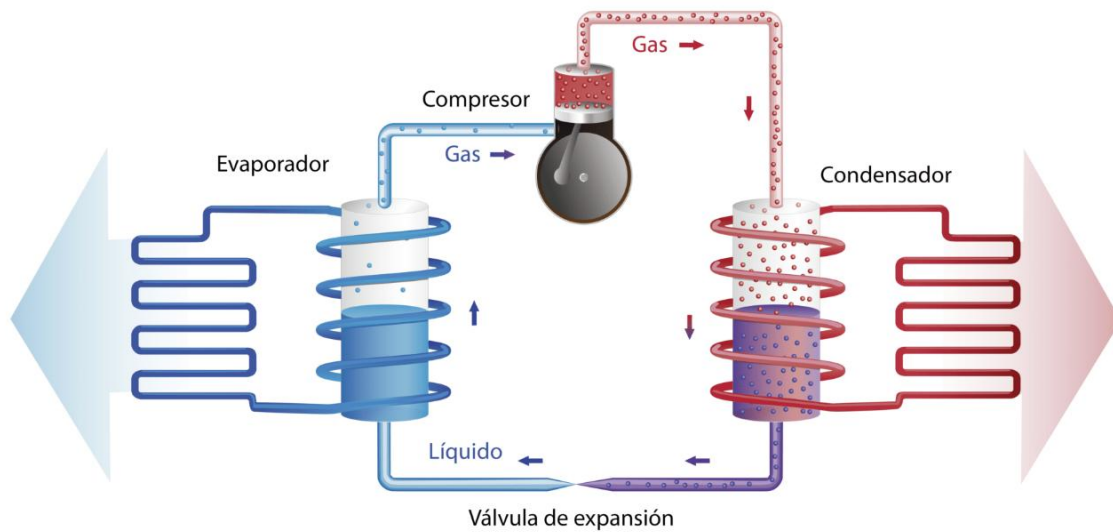
Se calcula que en Ecuador había 919 supermercados y tiendas de comestibles en mayo de 2024, por lo que la penetración en el mercado de los sistemas transcíticos de CO₂ en el sector de los supermercados del país 13% [4]

En resumen, la aplicación en supermercados de refrigeración con CO₂ garantiza la cadena de frío mediante ciclos termodinámicos eficientes, apoyados por PLCs y sensores para monitoreo preciso. Tecnologías como ejectores optimizan el COP, mientras que la pureza del CO₂ (99%) permite menor consumo energético y tuberías compactas. Su implementación refleja la evolución hacia sistemas sostenibles, respaldados por principios termodinámicos y de transferencia de calor. [5]

1.4.1 Refrigerantes

Los refrigerantes son sustancias químicas o fluidos de trabajo esenciales que absorben calor. Su función principal se desarrolla dentro de los ciclos de refrigeración, donde transfieren energía térmica de un espacio a otro mediante el proceso de cambio de estado (de líquido a vapor y viceversa), tal como lo muestra en la figura a continuación

Figura 3 Comportamiento del refrigerante en el ciclo de refrigeración [6]



1.4.2 Tendencia Regulatoria y el Impacto del GWP

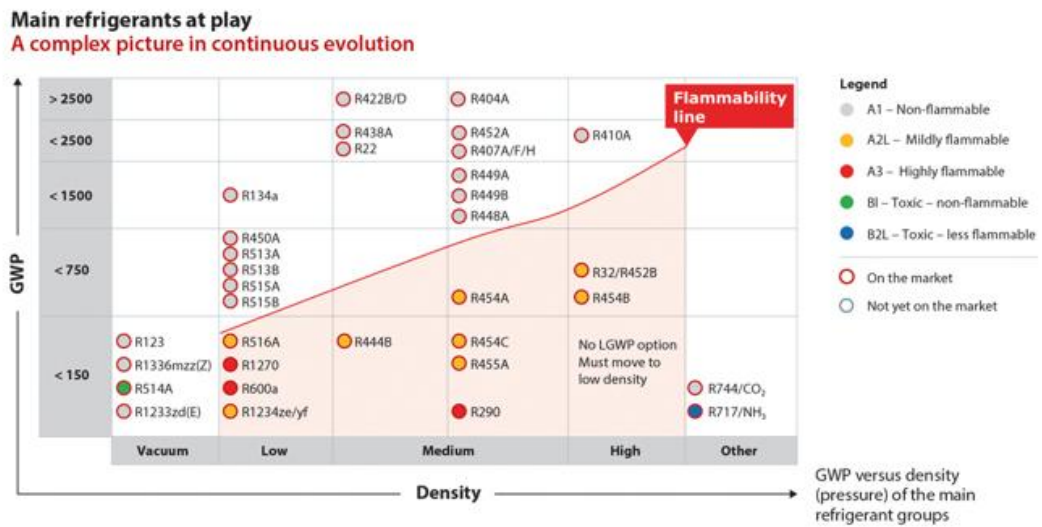
Ante la presión normativa creciente, especialmente impulsada por regulaciones como la normativa F-Gas en Europa, la industria ha iniciado una transición hacia refrigerantes con menor Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés, o PCA en español). Un ejemplo de esta transición es la prohibición, a partir de 2020, del uso en nuevos proyectos de gases con un GWP superior a 2.500, como el R-404A y el R-507. Las alternativas más comunes de GWP intermedio incluyen refrigerantes como el R-410A, R-407A, R-407F, R-442A y el R-134A, siendo este último una opción conocida para usos de media temperatura. [7]

1.4.3 Inflamabilidad vs. GWP

Ante las crecientes presiones normativas para eliminar los refrigerantes de alto GWP, se introducen muchas alternativas. En general, existe un equilibrio entre el GWP y la inflamabilidad. La mayoría de los antiguos refrigerantes no inflamables no tienen sustitutos sencillos de bajo GWP: en otras palabras, la inflamabilidad está vinculada al GWP y a la capacidad del refrigerante.

Un menor potencial de calentamiento global (GWP) se asocia con un aumento en el nivel de inflamabilidad, tal como se describe en la gráfica. En ella, los círculos de color rojo y naranja representan, respectivamente, los niveles alto y medio de inflamabilidad.

Figura 4 GWP frente a Densidad de los principales grupos de refrigerantes. [8]



Nota: Refrigerantes basados en la cadena de carbono (HCs, HFCs, HCFCs),[8]

El principal método para reducir el GWP de los HFC consiste en hacerlos químicamente inestables (insaturados) para que, en caso de liberarse a la atmósfera, se descompongan en poco tiempo y no permanezcan en ella[8].

1.4.4 Clasificación de Seguridad (ASHRAE 34)

Los refrigerantes se dividen en clases en función de su toxicidad e inflamabilidad. Los refrigerantes A1 no son inflamables y tienen una toxicidad muy baja. En el otro extremo de la escala, con alta inflamabilidad y elevada toxicidad, no existen refrigerantes B3. Los hidrocarburos, caracterizados por su baja toxicidad y alta inflamabilidad, requieren precauciones especiales. El amoníaco, en cambio, es muy tóxico y poco inflamable. Su uso está muy extendido, especialmente en refrigeración industrial, debido a su alta eficiencia energética.[8]

El subgrupo A2L está formado por refrigerantes de baja inflamabilidad. La velocidad de propagación de la llama es baja, inferior a 10 cm/s. Estos refrigerantes ya están desempeñando un papel importante a medida que nos alejamos de los antiguos HFC de alto PCA. [8]

1.4.5 Marco Regulatorio Global: El Protocolo de Montreal y la Enmienda de Kigali

La capa de ozono es una capa protectora dentro de la atmósfera terrestre que tiene la función de preservar la vida del planeta Tierra haciendo las veces de escudo contra la radiación ultravioleta (rayos UV). Se encuentra entre 15 y 50 kilómetros de altura de la superficie de la Tierra y absorbe más del 97 % de la radiación solar que resulta dañina para los seres vivos.[9]

El compromiso internacional en marco regulatorio para la mitigación del cambio climático y la protección de la capa de ozono se consolida a través del Protocolo de Montreal, específicamente mediante la Enmienda de Kigali.

El objetivo central de esta enmienda es la reducción progresiva del consumo y la producción de Hidrofluorocarbonos (HFC), gases con un alto Potencial de Calentamiento Global (GWP) utilizados comúnmente en sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Ecuador formalizó su adhesión a este acuerdo internacional al ratificar la Enmienda de Kigali el 22 de enero de 2018.

El impacto de esta normativa es significativo, en mitigación Climática se proyecta que la plena implementación de la enmienda podría evitar hasta 0,4° de calentamiento global hacia finales del presente siglo, siendo considerada una de las medidas de mitigación climática más rápidas y seguras disponibles a corto plazo, además de la reducción de HFC: El acuerdo establece una meta ambiciosa para reducir el uso, la producción y el consumo proyectado de HFC en más de un 80% durante los próximos 30 años.

La Enmienda de Kigali establece un calendario de reducción diferenciado según el nivel de desarrollo de los países, en países desarrollados iniciaron su reducción programada en 2019, con el compromiso de alcanzar una reducción del 85% para el año 2036, en tanto en países en desarrollo (como Ecuador): Iniciaron su transición en 2024, con el objetivo de lograr una reducción del 80% para el año 2045. Hasta abril de 2019, más de 70 países habían ratificado formalmente la enmienda, consolidando su alcance global y la expectativa de adhesiones futuras.[9]

1.4.6 Refrigerante Natural

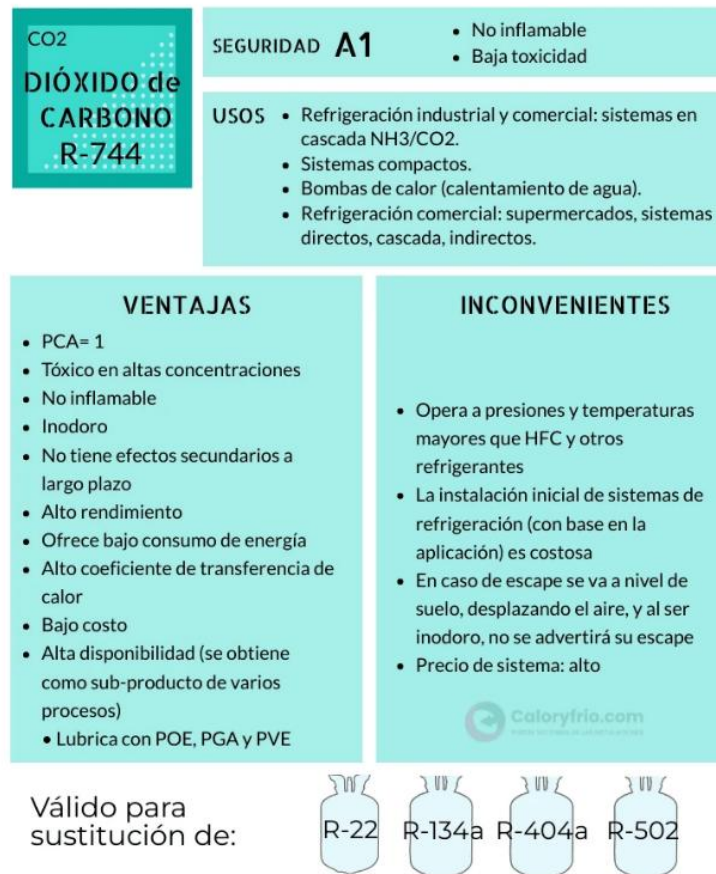
A medida que la legislación elimina gradualmente los gases fluorados, los refrigerantes alternativos y naturales dejan de ser una opción para convertirse en una obligación.

El Dióxido de carbono (CO₂) se ha considerado como una buena alternativa para sustituir a los HFC (hidrofluorocarbonos) porque no daña la capa de ozono. Es un fluido inodoro, incoloro y más pesado que el aire. Se ha utilizado como refrigerante desde hace más de un siglo. Su Potencial de Calentamiento Global (PCG) se encuentra en la unidad –de esta manera se ubica como la principal referencia para determinar el PCG de otros gases– y su valor de Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO) es de cero, favoreciéndolo en el aspecto ambiental.

. Es clasificado por las normas de refrigeración como R-744, con una clasificación de seguridad de tipo A1 (no inflamable y baja toxicidad) [10]

La refrigeración con CO₂ (R744) aporta una excelente eficiencia energética, Además, el CO₂ es un refrigerante natural que no es tóxico ni inflamable, lo que beneficia tanto al medio ambiente, a continuación, se presenta las características del R744

Figura 5 Características del R744.



Nota: Refrigerante CO₂, Dióxido de carbono [10]

1.4.7 Agua con Glicol

Función y Composición del Agua Glicolada

El agua glicolada es una mezcla (refrigerante secundario), esencial en sistemas de refrigeración que operan a temperaturas bajo cero. Se trata de una mezcla anticongelante que, al incorporar glicol, reduce drásticamente el punto de congelación del agua (pudiendo alcanzar temperaturas de hasta ‘55 grados Celsius. Esta propiedad es crucial no solo para permitir la operación en climas fríos o aplicaciones de baja temperatura, sino también para proteger las tuberías y los componentes del sistema contra daños estructurales causados por la expansión del hielo.[11]

Beneficios y Tipos de Glicol

El uso de agua glicolada, particularmente en industrias como la alimentaria, farmacéutica y manufacturera, ofrece varios beneficios técnicos. Además de su función anticongelante, el glicol que se utiliza suele estar inhibido, lo que proporciona una protección significativa contra la corrosión de los componentes metálicos del sistema, extendiendo así su vida útil. También contribuye a la estabilidad térmica del sistema, manteniendo temperaturas más bajas y uniformes frente a fluctuaciones extremas.

En cuanto a la composición, la elección del tipo de glicol depende de la aplicación y el riesgo de contacto. El propilenglicol es el preferido por su baja toxicidad (clasificado a menudo como "glicol alimentario"), mientras que el etilenglicol ofrece un rendimiento superior, pero es tóxico.

Consideraciones Operativas y de Mantenimiento

Para asegurar la eficiencia óptima del sistema, la mezcla de agua y glicol requiere consideraciones específicas de mantenimiento. La concentración (típicamente entre 30% y 50%) debe ajustarse con precisión para alcanzar el punto de congelación deseado. Es crucial utilizar agua de alta calidad (filtrada o desmineralizada), ya que los minerales presentes en el agua corriente pueden provocar incrustaciones y corrosión, comprometiendo la transferencia de calor. El mantenimiento debe incluir pruebas periódicas para verificar el pH, la concentración y el nivel de inhibidores. Aunque el agua glicolada reduce ligeramente la eficiencia de transferencia térmica en comparación con el agua pura, sus ventajas funcionales superan esta desventaja en aplicaciones de baja temperatura.

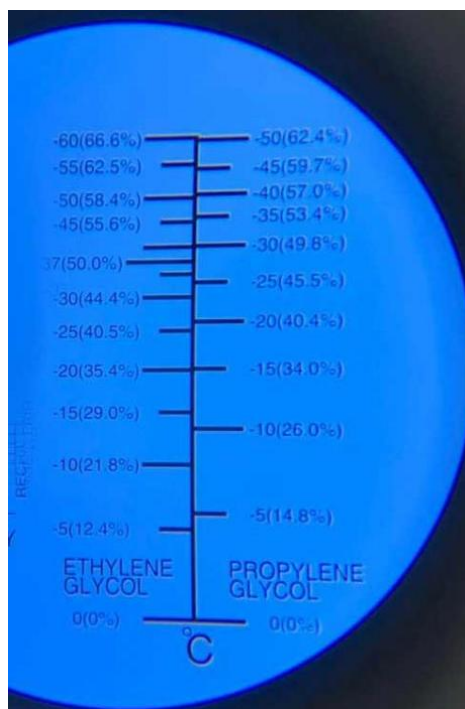
Al realizar la mezcla es importante la medición constante hasta obtener los porcentajes deseados para ellos nos ayudamos de un refractómetro

Figura 6 *Refractómetro (medición de concentración de glicol en el sistema de agua)*



Para medir la concentración de glicol con un refractómetro, primero se calibra el instrumento utilizando agua destilada, ajustando la línea de referencia (usualmente azul) al punto cero. Posteriormente, se depositan unas gotas de la muestra sobre el prisma, se observa a través del ocular dirigiendo el equipo hacia una fuente de luz, y se enfoca girando el ocular hasta visualizar nítidamente la línea divisoria entre las zonas clara y oscura. Dicha línea se interpreta en la escala específica para propilenglicol, la cual indica directamente el porcentaje de concentración y el punto de congelación equivalente. Esto permite evaluar el estado del fluido en sistemas de refrigeración de manera precisa.

Figura 7 Escala de concentración vista desde el Refractómetro



Aplicación en Sistemas Indirectos

En la búsqueda de la sostenibilidad y el cumplimiento normativo (por ejemplo, para reducir la carga de refrigerantes primarios con alto GWP, como el R-134a), la utilización de sistemas indirectos de refrigeración es cada vez más común. En estos esquemas, un intercambiador de calor transfiere el frío generado por el refrigerante primario a la mezcla de agua glicolada. Este fluido secundario es luego bombeado a los enfriadores de aire o equipos de proceso, permitiendo una carga mínima de refrigerante primario y contribuyendo a las demandas de ahorro energético y medioambientales.

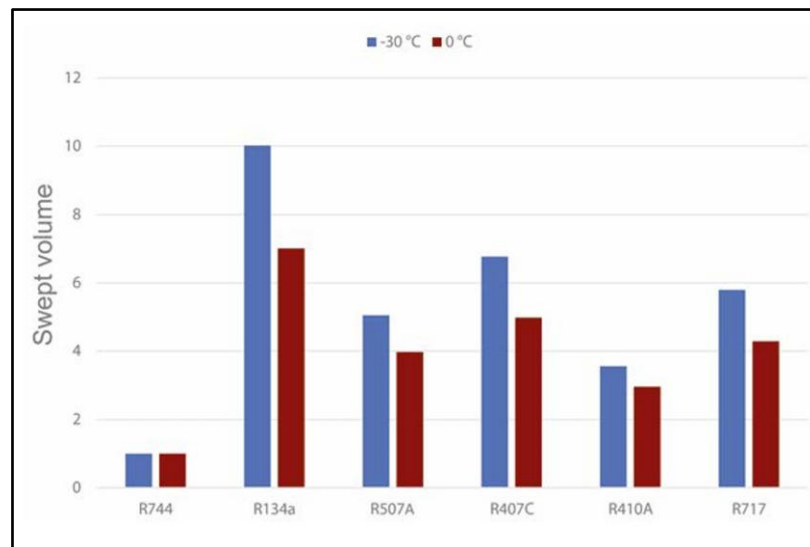
1.4.8 Sistema de refrigeración en eficiencia energética

Cabe mencionar detalles importantes en el sistema de refrigeración ya que posee características del sistema de refrigeración con CO₂ que tienen efectos en el diseño y el funcionamiento las cuales fortalecen el camino a la eficiencia energética

1.4.8.1 Volumen de desplazamiento y eficiencia del compresor

La alta densidad del gas provoca la presión de funcionamiento normalmente alta del CO₂ en los sistemas de refrigeración. Esto resulta en una reducción significativa del requisito de volumen de barrido para el compresor. El volumen de barrido de un sistema de refrigeración con R744 suele ser solo del 15 al 20 % de lo que necesitaría un sistema de refrigeración convencional, con una capacidad de enfriamiento similar. La figura a continuación muestra la comparación de los volúmenes de barrido teóricos requeridos (valores relativos; CO₂ = 1) para un sistema de refrigeración con R744 y otros refrigerantes.

Figura 8 Volumen barrido para varios refrigerantes en comparación con CO₂ (CO₂ = 1). Evaporación a -30 °C (-22 °F) y 0 °C (32 °F), respectivamente, y condensación a 20 °C (68 °F)[13]



El tamaño del compresor depende del volumen de gas necesario que debe pasar para generar la capacidad de refrigeración deseada, por ende, aunque por las presiones alta que maneja el CO₂ el compresor debe estar compuesto de materiales más fuerte, sin embargo, trabajaría solo un 20% para llegar a los valores seteados en comparación de usos de otros refrigerantes.

Este efecto también surge al momento del diseño de la tubería de cobre, aunque se selecciona del tipo K, los diámetros de selección disminuyen en comparación en las mismas condiciones con el uso de otro refrigerante, así como también en los tamaños de los evaporadores.

1.4.9 Control Centralizado

Hoy en día los sistemas de control son parte clave de los sistemas de refrigeración por medio de controladores que integran la lógica completa en funcionamiento de todas sus partes.

El sistema de control principalmente para aplicaciones de refrigeración comercial se basa en una arquitectura jerárquica donde el supervisor central coordina controladores especializados para cada parte del sistema. A continuación, se describe los principales componentes:

Supervisor: Boss

El Boss es un PLC dedicado a sistemas de refrigeración perteneciente a la marca “CAREL” Como gestión principal centraliza alarmas, registros de temperatura y algoritmos de optimización energética para reducir consumos.

Figura 9 Gama de Boss



Control de Centrales de Frío: p-rack

Controlador dedicado específicamente a la gestión de racks de compresores.

Como gestión de unidades centralizadas, incluyendo sistemas con refrigerantes (HFC) y soluciones avanzadas de CO2 transcrito o subcrítico.

En cuanto a capacidad, controla hasta dos líneas de aspiración y dos de condensación simultáneamente, que incluye algoritmos para recuperación de calor y setpoints flotantes sincronizados con el supervisor.

La pantalla de un p-Rack de Carel muestra principalmente valores de temperatura (ambiente, evaporador, condensador) y estado operativo de los componentes como compresores, ventiladores y desescarches, permitiendo la visualización y ajuste de setpoints (ST), alarmas y

variables de proceso clave para la gestión de centrales frigoríficas, a menudo configurables para mostrar diferentes sensores según el parámetro seleccionado

Figura 10 *Controlador pR300T*



Controlador Programable: cPCO mini

Es un controlador universal y compacto para unidades HVAC/R donde el espacio es limitado. Se utiliza en enfriadoras (chillers), rooftops, unidades de tratamiento de aire o pequeñas centrales de frío. Posee puertos USB-C, conectividad Ethernet integrada y driver para válvulas de expansión electrónicas unipolares.

Figura 11 *Controlador c.pco*



Control de Servicios (Vitrinas/Cámaras): MPXpro

Es el controlador de referencia para la gestión completa de vitrinas refrigeradas y cámaras frigoríficas. Entre sus funciones tenemos que puede controlar la temperatura, el desescarche (7 tipos diferentes), la iluminación y los ventiladores. Especializado en la gestión de válvulas de expansión electrónicas (PWM o CAREL) para maximizar el ahorro energético.

Figura 12 Controlador MPXpro



Válvula de pulso

Una válvula de expansión electrónica PWM (Modulación por Ancho de Pulso) es un dispositivo avanzado en refrigeración y climatización que controla con precisión el flujo de refrigerante al evaporador, abriendo y cerrando rápidamente mediante pulsos eléctricos (PWM) para ajustar el caudal según la demanda, ofreciendo mayor eficiencia, control de temperatura y ahorro energético que las válvulas termostáticas tradicionales.

Válvula Pettinaroli

Fratelli Pettinaroli es un fabricante de válvulas y componentes para sistemas hidráulicos y HVAC. Sus productos, como las válvulas de control independiente de la presión (EvoPICV), están diseñados para un control preciso del caudal de agua en sistemas de calefacción y refrigeración, asegurando una característica de control lineal y eficiencia.

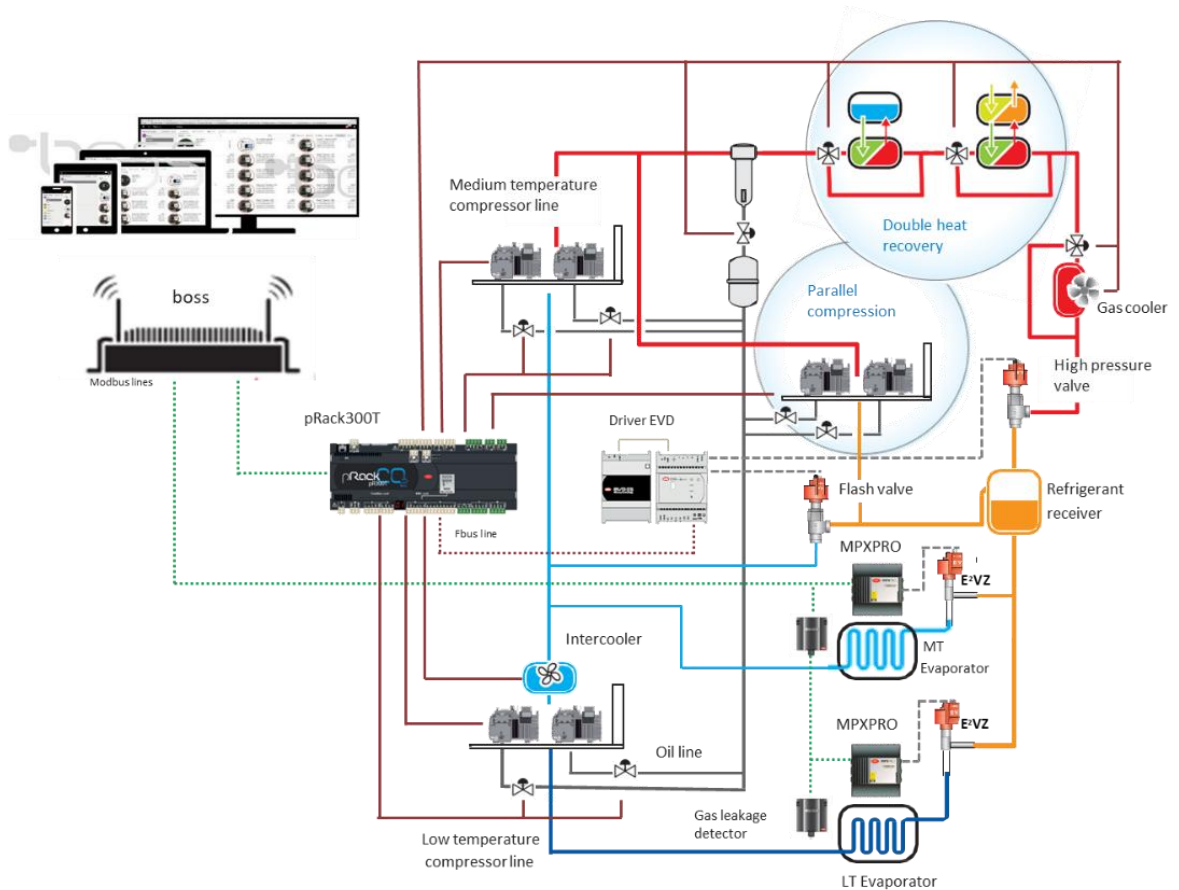
Sensores de temperatura

Para los sensores de temperatura se utilizaron del tipo NTC donde su variación de resistencia se traduce en cambios de voltaje para que una unidad de control ajuste el funcionamiento del dispositivo traducido a temperatura es decir son resistencias sensibles a la temperatura que disminuyen su valor óhmico (resistencia) a medida que la temperatura aumenta, y viceversa.

Integración del Sistema

Estos componentes trabajan juntos en una red, generalmente mediante comunicación RS485 u otros protocolos, donde los controladores locales (MPXPRO, c. pCO La mayoría de los termistores NTC se utilizan en aplicaciones de -55°C a 200°C mini, P-rack) gestionan las funciones operativas de campo, y el supervisor BOSS coordina, optimiza y proporciona una interfaz centralizada para toda la instalación. La integración de válvulas electrónicas de Carel y Pettinaroli permite un control de alta precisión tanto en el circuito de refrigerante como en el circuito hidráulico (si aplica), maximizando el rendimiento y el ahorro energético.

Figura 13 Esquema de control sistema de refrigeración con rack de compresores



1.5 Consideraciones de Seguridad

La exposición a altas concentraciones de CO₂, aunque generalmente reversible con aire fresco, requiere evaluación médica en casos severos, sin que se reporten comúnmente efectos de largo plazo.

Figura 14 Efectos sobre la salud de diversas concentraciones de CO₂. [13]



La seguridad en el diseño de sistemas con CO₂ requiere una evaluación de riesgos que determine la necesidad de un sistema de detección y alarma. Esta necesidad se establece si una liberación completa de la carga de refrigerante puede superar el Límite Práctico definido en la norma EN 378: 10 g/m³ (equivalente a 54 000 ppm o 5,4 % en volumen a 1 bar y 20 °C).

La norma europea EN 378 establece los requisitos esenciales de seguridad y medioambientales para el diseño, fabricación, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de refrigeración y bombas de calor. Abarca la seguridad personal y la limitación de fugas, alineándose con las directivas europeas y normas ISO.

El uso del dióxido de carbono (R744) como refrigerante presenta ventajas ambientales significativas por ser un gas natural, no inflamable y no tóxico en condiciones normales (clasificación de seguridad A1). Sin embargo, su implementación exige consideraciones críticas de seguridad debido a sus propiedades físicas extremas:

1.5.1 Riesgos para la Salud por Desplazamiento de Oxígeno

Aunque no es tóxico, el CO₂ es un gas asfixiante que desplaza el oxígeno. Su peligrosidad se acentúa por ser más denso que el aire, lo que provoca su acumulación en zonas bajas o confinadas. Al ser inodoro e incoloro, es imperativo instalar detectores de CO₂ y alarmas que se activen antes de alcanzar niveles peligrosos. El límite de peligro inmediato para la vida o la salud (IDLH) es de 40,000 ppm (4%). Los niveles elevados provocan cefaleas, mareos, taquicardia y, en casos extremos, pérdida del conocimiento o muerte por asfixia. Se requieren sistemas de ventilación mecánica forzada y una señalización clara en todas las áreas de riesgo.

1.5.2 Altas Presiones de Operación

El R744 opera a presiones muy superiores a las de los refrigerantes sintéticos convencionales (como el R134a o R404A). En ciclos transcíticos (por encima de 31°C), las presiones en el lado de alta pueden alcanzar los 90 a 100 bares, por lo que se requieren componentes robustos, tuberías de menor diámetro, pero mayor espesor (de acero inoxidable o cobre tipo K) y válvulas de seguridad con alivio de presión.

El CO₂ licuado no debe quedar atrapado en tramos de tubería sin dispositivos de alivio, ya que la expansión térmica por aumento de temperatura podría generar presiones destructivas.

1.5.3 Riesgos Térmicos por Bajas Temperaturas (Criogenia)

La manipulación del refrigerante a temperaturas extremadamente bajas puede causar daños físicos inmediatos. El CO₂ líquido fluye a aproximadamente -18°C, y el CO₂ sólido (hielo seco) alcanza los -78°C. El contacto directo puede causar congelamiento instantáneo y daños severos en los tejidos (aspecto encerado). Es obligatorio el uso de equipo de protección personal como los guantes criogénicos, protección ocular y ropa que cubra la piel para evitar el contacto con componentes metálicos fríos o fugas de líquido.

1.5.4 Formación de Hielo Seco por Descompresiones Bruscas

Una caída repentina de presión (por ejemplo, durante la carga o una fuga rápida) puede provocar la formación de nieve carbónica (CO₂ sólido) dentro de las tuberías o válvulas. Este sólido puede bloquear dispositivos de alivio de presión o elementos de control, creando situaciones de sobrepresión peligrosas.

En conclusión, para garantizar la seguridad, los sistemas deberían ser operadas exclusivamente por personal técnico capacitado en sistemas de alta presión y todas las instalaciones deben cumplir todas las normas de seguridad, una guía a seguir es el Reglamento de Seguridad para Instalaciones Frigoríficas (RSIF) en España, la guía está regulada actualmente por el Real Decreto 552/2019. Su propósito principal es establecer las condiciones técnicas y de seguridad que deben cumplir estas instalaciones para proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente

Capítulo 2

2 Metodología.

Este estudio implementó un enfoque metodológico integrador basado en el modelo tradicional en cascada para la gestión de proyectos[14], lo que permitió controlar detalladamente cada fase mediante análisis documental previamente validados por el fiscalizador. La investigación surgió por iniciativa del gerente de mantenimiento de una corporación de supermercados, con el objetivo de modernizar los sistemas de refrigeración para incrementar su eficiencia energética y eliminar el uso de refrigerantes contaminantes, reduciendo así el impacto ambiental. El proyecto se implementó entre marzo y junio de 2025 en Machala (Ecuador), con un plazo estimado de tres meses. Durante la ejecución, se contó con asesoría técnica especializada para garantizar el monitoreo, control y cumplimiento de los resultados esperados.

Este proceso metodológico se sintetizó en un diagrama que detalla las etapas clave del proyecto.

Figura 15 Hoja de Ruta para el proyecto de modernización del sistema de refrigeración del supermercado.



2.1 Inicio

Una vez definido el alcance del proyecto, se recopilaron los datos necesarios para diseñar el sistema de refrigeración.

2.1.1 *Recolección de datos generales.*

El análisis inicial se encontró la infraestructura frigorífica existente, que trabajaba deficientemente con refrigerante R404 y R507 con un tiempo de servicio de aproximadamente 10 años

El proceso de retrofit implicó considerar atenuantes importantes para la corporación:

- Garantizar la continuidad operativa en la parte comercial durante la transición para evitar afectar las ventas al público, con los que se estimó que ciertas actividades de trabajo se las tenga que realizar en horario nocturno.
- Adaptar el nuevo diseño del sistema de refrigeración con sus componentes (tuberías de cobre, polipropileno) a la infraestructura arquitectónica existente, mediante evaluación in situ.
- Paralelamente, se recopilaron datos técnicos de los equipos que serían reemplazados (consumo energético y especificaciones) para contrastarlos con los nuevos sistemas y realizar un análisis de costos comparativo ajustado a la realidad operativa.

2.1.2 *Sistema antiguo media temperatura*

El antiguo sistema de refrigeración para media temperatura operaba con un rack de tres compresores scroll y refrigerante R404, acoplado a una unidad condensadora y trabajaba en conjunto con una cámara frigorífica y cinco exhibidores.

Se estima que su consumo energético en el rack alcanzaba aproximadamente 29,39 kW en promedio cuando los tres compresores funcionaban simultáneamente e incluyendo el consumo de los exhibidores

A continuación, se presentan fotografías del antiguo rack de compresores con su gas cooler

Figura 16 Antigo rack de compresores de media temperatura.



Figura 17 Antigo condensadora de media temperatura.



2.1.3 Sistema antiguo baja temperatura

El antiguo sistema de refrigeración de baja temperatura funcionaba con condensadoras de expansión directa con el que trabajaba para el exhibidor y cámara de baja temperatura con refrigerante R507, consumo energético de 2.22 kW y de 2,54 kW.

Figura 18 Antiguas unidad condensador de expansión directa de baja temperatura para exhibidor de congelados.



Figura 19 Antiguas unidad condensadoras de expansión directa de baja temperatura para cámara de congelados.



2.2 Planificación

En esta sección se describe el desarrollo del plan de proyecto

Se realizó el cálculo de cargas frigoríficas para la selección de Rack.

El cálculo de cargas frigoríficas se lo realizó con software de Danfoss para las cámaras frigoríficas y tablas de datos de fabricantes para calcular la carga en los exhibidores, el cual nos da una aproximación muy cercana a la realidad, mediante el ingreso de datos

2.2.1 Carga frigorífica para cámaras de frío

El software de cálculo requiere datos específicos para estimar las ganancias de calor y determinar la carga térmica total. Primero, se ingresó la ubicación (ciudad o región), lo que permite al software utilizar automáticamente los valores climáticos externos (temperatura, humedad, etc.), aunque estos son editables.

Posteriormente, se introdujeron las dimensiones de la cámara (longitud, anchura y altura), así como las condiciones interiores deseadas (temperatura y humedad relativa), adaptadas al producto almacenado: +1 °C y 85% HR para productos a media temperatura, y -18 °C y 85% HR para productos a baja temperatura. Además, se especificaron los materiales de construcción y el espesor del aislante en paredes, techo y suelo con paneles de poliuretano como panel de poliuretano expandido de densidad 40 kg/m³ con acero galvanizado prepintado (espesor de chapa nominal de 0,5 mm) y coeficiente térmico de 0,022 W/m·K, en espesor de 100 mm para la cámara de baja temperatura y 75 mm para la cámara de media temperatura, considerando el almacenamiento de productos como cárnicos o lácteos y embutidos en media temperatura y productos generales de congelados en la cámara de baja temperatura .

Se seleccionó el producto a almacenar desde la base de datos del software, lo que define propiedades termodinámicas como el calor específico.

Asimismo, se consideraron la capacidad de almacenamiento y la carga diaria, ingresando la cantidad total de producto y la entrada diaria, junto con su temperatura inicial. También se incluyeron las cargas internas y de infiltración, como la potencia y horas de funcionamiento de ventiladores e iluminación, el número de personas en la cámara y sus horarios laborales.

Figura 20 Cálculo de carga frigorífica en cámara de media temperatura mediante software coolselector2.

Cámara Frigorífica - Paso 2 de 5: Revisión de la carga de la Cámara Frigorífica

Los datos siguientes son necesarios para calcular la capacidad de refrigeración requerida en la Cámara Frigorífica:

Longitud: 3,37 m
 Anchura: 3,16 m
 Altura: 3,20 m
 Dimensiones interiores
 Dimensiones exteriores

Condiciones de Cámara:
 Temperatura: 1,0 °C
 Humedad relativa: 80 %
 Hora de trabajo: 24 h

Producto: Embutido
 Cantidad diaria: 4000 kg
 Temperatura de entrada: 15,0 °C
 Carga térmica de respiración:
 Carga total de la cámara: 20000 kg

Renovaciones de aire (infiltraciones):
 Temperatura: 30,0 °C
 Humedad relativa: 65 %
 Aperturas de puerta:
 Regulares
 Tasa de renovaciones de a: 8,57
 (tantas veces el volumen de la cámara cada 24 horas)

TRansferencia de calor:
 Paneles estándar
 Paneles personalizados
 Tipo: Poliuretano
 Espesor: 75,00 mm
 Temperatura ambiente: 30,0 °C
 Temperatura del suelo: 24,0 °C
 Suelo aislado

Carga adicional
 Luces: 85,19 W
 Ventiladores: 174,8 W
 Personas: 2 h/día
 Otros: 0 W

Desescarche
 Eléctrico
 Natural
 Potencia: 1263 W
 Desescarches al día: 3
 Tiempo de desescarche: 30 min

Tabla 1 Resultados técnicos de cálculo de cargas frigorífica para cámara de media temperatura

Coolselector2



Cámara Media Temperatura - Detaller de cámara frigorífica

Condiciones del evaporador

Capacidad de refrigeración:	3,884 kW
Temperatura de punto de rocío:	-7,7 °C
Temperatura de entrada del aire:	1,0 °C
Diferencia media de temperatura:	9,0 K
Potencia estimada del ventilador:	174,8 W
Potencia estimada del desescarche:	1263 W

Figura 21 Cálculo de carga frigorífica en cámara de baja temperatura mediante software coolselector2.

Cámara Frigorífica - Paso 2 de 5: Revisión de la carga de la Cámara Frigorífica

Los datos siguientes son necesarios para calcular la capacidad de refrigeración requerida en la Cámara Frigorífica:

Longitud: 3,16 m Condiciones de Cámara: Temperatura: -20,0 °C Producto: Productos varios, congelado
 Anchura: 2,80 m Humedad relativa: 70,28 % Cantidad diaria: 4200 kg Carga térmica de respiración:
 Altura: 3,20 m Hora de trabajo: 24 h Temperatura de entrada: -5,0 °C Carga total de la cámara: 20000 kg
 Dimensiones interiores
 Dimensiones exteriores

Renovaciones de aire (infiltraciones):
 Temperatura: 35,0 °C
 Humedad relativa: 65 %
 Aperturas de puerta:
 Regulares
 Tasa de renovaciones de a: 9,4
 (tantas veces el volumen de la cámara cada 24 horas)

TRansferencia de calor:
 Paneles estándar Paneles personalizados
 Tipo: Poliuretano
 Espesor: 100,0 mm
 Temperatura ambiente: 30,0 °C
 Temperatura del suelo: 10,0 °C
 Suelo aislado

Carga adicional
 Luces: 70,78 W Desescarche Eléctrico Natural Potencia: 1595 W
 Ventiladores: 156,3 W Desescarches al día: 4
 Personas: 2 h/día Tiempo de desescarche: 45 min
 Otros: 30 W

Tabla 2 Resultados técnicos de cálculo de cargas frigorífica para cámara de baja temperatura

Coolselector2



Cámara Baja Temperatura - Detaller de cámara frigorífica

Condiciones del evaporador	
Capacidad de refrigeración:	3,722 kW
Temperatura de punto de rocío:	-30,3 °C
Temperatura de entrada del aire:	-20,0 °C
Diferencia media de temperatura:	10,7 K
Potencia estimada del ventilador:	156,3 W
Potencia estimada del desescarche:	1595 W

Con estos datos, el software calculó la capacidad frigorífica requerida: 3,884 kW para media temperatura y 3,722 kW para baja temperatura. Estos resultados permitieron seleccionar los componentes del sistema de refrigeración (unidad rack de compresores, evaporadores y accesorios), optimizados para la carga térmica estimada.

2.2.2 Carga frigorífica para exhibidores de frío

Tenemos un exhibidor de baja temperatura y cinco exhibidores de media temperatura

Figura 22 Exhibidor de congelado del supermercado.



Figura 23 Exhibidor de refrigerados del supermercado.



Para el cálculo de la carga frigorífica de se utilizaron los datos de la ficha técnica de los para exhibidores de refrigeración y congelados la marca Arneg, las cuales están alineadas a la norma ISO23953

Tabla 3 *Datos técnicos para cálculo de cargas frigoríficas en baja temperatura*

REFRIGERATION POWER

Working temperature °C	Average Evap. Temp. °C	Heat extraction rate for unit length (EN ISO 23953) W/m	Heat extraction rate in W for cabinet length (EN ISO 23953 part 2)			
			1562	2343	3124	3905
-22 / -25	-33	667	1042	1563	2084	2605
-18 / -21	-31	640	1000	1500	1999	2499

REFRIGERATION POWER

Working temperature °C	Average Evap. Temp. °C	Heat extraction rate for unit length (EN ISO 23953) W/m	Heat extraction rate in W for cabinet length (EN ISO 23953 part 2)			
			1250	1875	2500	3750
-1 / +1	0	353	441	662	883	1324
0 / +2	+1	329	411	617	823	1234
+2 / +4	+3	297	371	557	743	1114

La ficha completa se presenta en el Anexo

Tomando en consideración los datos se obtuvo los resultados presentados en la tabla a continuación

Tabla 4 *Resumen de cálculo de cargas frigoríficas*

Rango de Temperaturas	Descripción de cámara /Exhibidor	Longitud de exhibidor (m)	Factor (W/m)	Carga frigorífica (W)	Capacidad de refrigeración (kW)+5%
	cámara			3880,00	4,07
Media Temperatura	LEG-01	3,75	1324	4965	5,21
	CAR-01	3,75	1324	4965,0	5,21
	EMB-01	3,75	1324	4965,0	5,21
	LAC-02	3,75	1324	4965,0	5,21
	LAC-01	3,75	1324	4965,0	5,21
Total, de carga en media temperatura					30,14
Baja Temperatura	cámara			3722,00	3,91
	CON-01	3,124	1999	6244,88	6,56
Total, de carga en baja temperatura					10,47

2.2.3 Selección del Rack de compresores


Una vez calculada la carga de refrigeración requerida, se determinó que la potencia frigorífica necesaria es de 30,14 kW para media temperatura y 10,47 kW para baja temperatura. Según el catálogo del fabricante nacional de racks de compresores, la opción seleccionada es el modelo CO₂ + Glicol Compact Línea Ilinizas [9], diseñado para operar en exteriores y adecuado para la aplicación requerida. Este sistema combina dos refrigerantes en una única unidad: CO₂ (baja temperatura) y la mezcla de agua con glicol como refrigerante secundario (en media temperatura). Sus rangos de capacidad 15 a 50 kW (media temperatura) y 8 a 16 kW (baja temperatura) se ajustan a las necesidades del proyecto.[15]

Figura 24 Rack de refrigeración transcrito de media y baja temperatura de CO₂



Realizando la confirmación de capacidades en el software de Bitzer tenemos

Tabla 5 *Resumen de resultado cálculo de cargas frigoríficas y capacidades en compresores de rack*

		AKI COLON TINOCO SISTEMA REFRIGERACION CO2+GLICOL		
BITZER Software v7.1.2 rev1		Sunday 11. January 2026 6:45:26 PM / Todos los datos son susceptibles de cambio		
Resultado				
Compresor	Etapa BT	2KME-2K	2KME-2K	
Frecuencia del compresor	-- Hz	60,0 Hz	-- Hz	
Potencia en el evap.	12,33 kW	6,16 kW	6,17 kW	
Caudal másico del evaporador	193,7 kg/h	--	--	
Ratio	--	50,0 %	50,0 %	
Potencia absorbida	2,68 kW	1,35 kW	1,33 kW	
Corriente	7,28 A	3,60 A	3,68 A	
Gama de tensiones	--	440-480V	440-480V	
Caudal másico	193,7 kg/h	96,8 kg/h	96,9 kg/h	
Recalentamiento total	10,00 K	10,00 K	10,00 K	
Temp. Gas de descarga no enfriado	43,7 °C	44,2 °C	43,3 °C	
Compresor	Etapa TP	2KTE-7K	4KTE-10K	4KTE-10K
Frecuencia del compresor	-- Hz	60,0 Hz	-- Hz	-- Hz
Potencia en el evap.	58,0 kW	11,63 kW	23,2 kW	23,2 kW
Caudal másico del evaporador	896 kg/h	--	--	--
Ratio	--	20,1 %	40,0 %	40,0 %
Capacidad enfriador de gas	108,8 kW	21,8 kW	43,5 kW	43,5 kW
Caudal másico del gascooler	1427 kg/h	--	--	--
Potencia absorbida	33,9 kW	6,87 kW	13,51 kW	13,51 kW
Corriente	48,1 A	10,48 A	18,79 A	18,79 A
Gama de tensiones	--	440-480V	440-480V	440-480V
Caudal másico	1427 kg/h	286 kg/h	571 kg/h	571 kg/h
Flujo másico del Flashgas	338 kg/h	--	--	--
Recalentamiento total	17,00 K	17,00 K	17,00 K	17,00 K
Temp. Gas de descarga no enfriado	123,2 °C	123,9 °C	123,0 °C	123,0 °C
Alta presión óptima	75,0 bar(a)	--	--	--

Siendo la potencia absorbida de un compresor, la energía eléctrica real que el motor toma de la red para funcionar, medida en kilovatios (kW). La potencia absorbida representa el consumo energético total, incluyendo pérdidas, y es la cifra base para calcular el coste de la factura eléctrica y la eficiencia real del equipo.

Tomando en consideración la simulación en el software de Bitzer, se presenta a continuación la tabla resumida de la potencia absorbida por los compresores en funcionamiento normal

Tabla 6 *Modelos de compresores de rack con dato de potencia en su punto de trabajo.*

SISTEMA		MODELO DE COMPRESORES	POTENCIA ABSORVIDA (kW)
MEDIA TEMPERATURA	1	2KTE-7K-2DU	6,87
	2	4KTE-10-2DU-OK	13,51
	3	4KTE-10-2DU-OK	13,52
BAJA TEMPERATURA	1	2KME-2K-DU	1,35
	2	2KME-2K-DU	1,33

2.3 Ejecución del proyecto.

2.3.1 Documentación

Entre los documentos clave en la fase inicial de un proyecto destacan el Acta de Constitución y el cronograma de trabajo. El primero define formalmente el alcance, los lineamientos de gestión y los criterios de éxito, sirviendo como marco de referencia para el equipo durante la ejecución; el segundo, por su parte, estructura las tareas pendientes y sus plazos para asegurar el cumplimiento de los objetivos

Cronograma de Trabajo

Para garantizar una adecuada organización de las tareas, se implementó un cronograma que detalla las actividades, fechas de inicio, plazos de entrega y responsables. Esta herramienta permitió visualizar el flujo de trabajo, asegurando la productividad y el cumplimiento de los objetivos del proyecto.


Figura 25 Cronograma de actividades.

Cronograma de estudio y ejecución de Retrofit Sistema de Refrigeración en un Supermercado																
SUPERMERCADO	MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO			
NOMBRE DE LA TAREA	SEMANAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RECOLECCIÓN DE DATOS INICIALES																
Visita técnica al supermercado																
Análisis de ubicación de equipos y recorridos de tuberías																
Documentación de proyectos (Acta de Constitución, Cronograma)																
Planificación de horarios de Trabajo con el gerente del local																
Toma de datos de funcionamiento del sistema actual																
INSTALACIÓN (MONTAJE Y DESMONTAJE)																
RACKS																
Izaje De Rack																
Instalación De Rack																
EVAPORADORES																
Montaje Evaporador Congelación en Cámara																
Montaje Evaporador Conservación en Cámara																
Desmontaje serpentín de evaporador de congelado (exhibidor)																
Instalación serpentín de evaporador de congelado (exhibidor)																
Preparación de serpentines de media temperatura (exhibidores)																
Instalación VEE Y sondas y transductor																
RED TUBERIAS																
Instalación Tuberías Baja Temperatura																
Instalación Tuberías Media Temperatura																
TABLEROS																
Armado Tableros Evaporadores																
Instalación Tableros Evaporadores																
INTEGRACION																
Proceso de Pruebas De Presión																
Proceso de Vacío Sistemas																
Conexión De Cableado De Control Y Alim																
Arranque Y Calibracion Del Sistema																
Evaluación del sistema de control																
Toma de datos de funcionamiento del nuevo sistema																
Análisis comparativos de los sistemas																
Documentación de los datos																
Presentación de Estudio																

Acta de Constitución

Uno de los principales documentos para iniciar un proyecto es el acta de constitución del proyecto el cual se describió estatutos que autoriza el inicio de un proyecto, definió su alcance, objetivos y los principales interesados, el presupuesto aproximado y también estableció la autoridad del director del proyecto. El propósito fue asegurar la alineación de todas las partes interesadas y proporcionar una visión general y una guía clara desde el principio.

Figura 26 Acta de Constitución del proyecto.

	FORMULARIO	RICARDO LUCAS
	PROYECTOS	FECHA: 12/2/2025
		REV: 1.0
ACTA CONSTITUTIVA DEL PROYECTO		P: 2 de 3

1. Información General	
Tema:	PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN RETROFIT DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL A SISTEMA DE RACK DE COMPRESORES INTEGRANDO MEDIA Y BAJA TEMPERATURA CON UN SISTEMADE CONTROL EN GENERACIÓN DE DATOS POR MEDIO DE ACCESORIOS DE MEDICIÓN.

2. Información General	
Preparado por:	Ricardo Lucas
Fecha de emisión de este documento:	17/03/2025

3. Descripción del Proyecto (breve resumen de Alcance y condiciones)	
<p>Actualmente, en el país existe una amplia variedad de supermercados cuyos sistemas de cadena de frío requieren incorporar equipos de refrigeración comercial. Estos sistemas incluyen unidades individuales (evaporadores y condensadores) para exhibidores y cámaras de media/baja temperatura que operan con refrigerantes como el R404a y R507. Ante la necesidad de mejorar su sostenibilidad ambiental, el gerente de mantenimiento de la cadena evalúa implementar un Retrofit en los sistemas de refrigeración. El objetivo es eliminar el uso de refrigerantes contaminantes, cumplir con normativas ecológicas y obtener una certificación ambiental. Para liderar este proyecto, se ha designado como director al Ing. Ricardo Lucas, con inicio programado para marzo de 2024 en Machala.</p>	

4. Objetivos medibles del proyecto (fechas, costos, documentación, etc)	
- Se da inicio al proyecto el 17 de marzo 2025.	
- El presupuesto total del proyecto es de USD 128000.	
- El plazo total para la entrega del proyecto es de tres meses.	

5. Resumen del cronograma de Hitos	
- Inicio de actividades en obra: 24/03/2025	
- Instalación de tuberías terminada: 14/04/2025	
- Recepción de equipos en obra: 25/04/2025	
- Terminación de instalación (sin pruebas): 15/05/25	
- Puesta en marcha de equipos: 16/05/2025 y 02/06/2025	

6. Resumen de costos aprobados del proyecto (logístico, viáticos, izaje de equipos, etc.).	
- Mano de Obra, (viáticos: 5200 usd	
- Izaje: 1000 Usd	

2.3.2 Rack de compresores

El rack de compresores de CO2 seleccionado incluye tres compresores de para el sistema de media temperatura y dos compresores para el sistema de baja temperatura, colectores (aspiración y descarga), un tablero de control que incluye un sistema lógico de control principal y un sistema de back up que consiste principalmente de controlador electrónico modelo P-rack, marca Carel para gestionar la potencia, accesorios de tubería como acumuladores, filtros, separadores de aceite, válvulas de seguridad/servicio, y se conecta a un gas cooler para formar la central completa, controlando la refrigeración a distintas temperaturas.

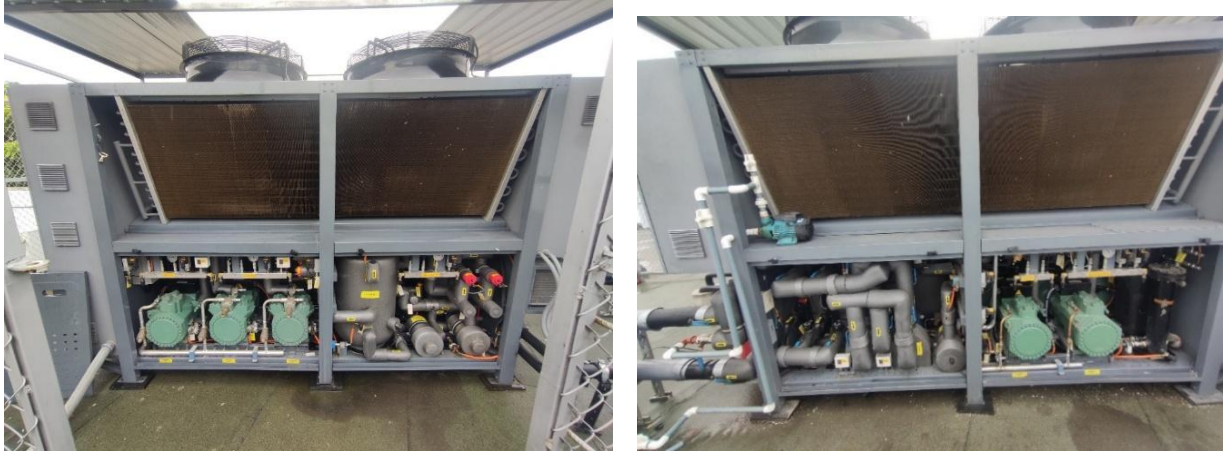
En la placa del rack se muestra los datos técnico eléctrico y físicos del rack que incluye modelo, serie , cantidades de compresores en media y baja temperatura.

Figura 27 Placa de datos técnicos del Rack de compresores

ACR		MEGA THERM	
MEGA BOOSTER CO2			
MODELO:	RK-B008/M030-30322-SHP-6-H-TF2	I max. Total Ope.:	200 Amp.
NUMERO DE SERIE:	RK-B008/M030-30322-SHP-6-B-UI0924-0831	MCA equipo:	250 Amp.
V/HZ/PH:	220/60/3		
BAJA TEMPERATURA			
MODELO COMP. 1:	2KME-2K-2DU	SERIE COMP. 1:	1604114628
MODELO COMP. 2:	2KME-2K-2DU	SERIE COMP. 2:	1604114626
MODELO COMP. 3:	N/A	SERIE COMP. 3:	N/A
MEDIA TEMPERATURA			
MODELO COMP. 1:	2KTE-7K-2DU	SERIE COMP. 1:	2504407782
MODELO COMP. 2:	4KTE-10-2DU-OK	SERIE COMP. 2:	2506323302
MODELO COMP. 3:	4KTE-10-2DU-OK	SERIE COMP. 3:	2506221671
ACEITE:	POLYOLESTER BSE - 85	REFRIGERANTE:	CO2 AGUA + GLICOL
CANT. ACEITE:	5 GL.	MARCA COMP.:	BITZER
ACR PROYECTOS		www.acrproyectos.com	

A continuación, se presentan fotografías del rack transcrito de CO2 instalado.

Figura 28 Fotografías del Rack de compresores, vista frontal y posterior



2.3.3 Exhibidores frigoríficos

Para la conversión de los exhibidores de frío a media temperatura al sistema de agua glicolada, se reutilizaron los equipos que operaban previamente con expansión directa y refrigerante R507. Como preparación, se procedió a una limpieza interna de los serpentines mediante un barrido con nitrógeno a alta presión, con el objetivo de eliminar los residuos de aceite del refrigerante anterior y maximizar así la eficiencia de la transferencia térmica del nuevo fluido. Adicionalmente, se desinstaló la válvula de expansión termostática correspondiente al sistema antiguo. A continuación, se muestran fotografía de los exhibidores de media temperatura

Figura 29 Fotografías de exhibidores de frío



En el exhibidor de baja temperatura se realizó el cambio del serpentín de evaporador, puesto que el sistema de baja temperatura trabajará con CO₂, los cuales maneja presiones más elevadas que el refrigerante con el que trabajaba, la selección del nuevo serpentín cuenta con tuberías de cobre de paredes más gruesa las cuales pueden soportar hasta 80 bares.

Figura 30 Serpentín de cobre para evaporador de CO₂



2.3.4 Cámara frigorífica

En un esquema técnico de una cámara frigorífica se muestra indicando las posiciones en la instalación del evaporador, tablero de control, detector de fugas de CO2.

Figura 31 Diagrama de instalación de cámara frigorífica

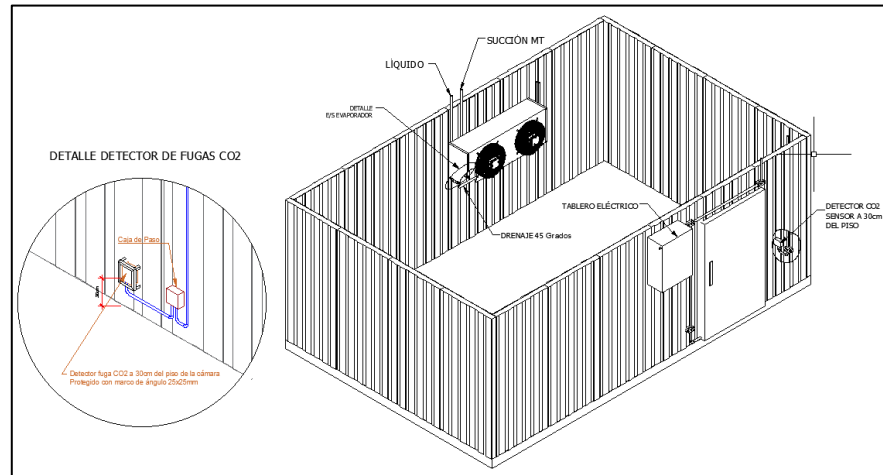
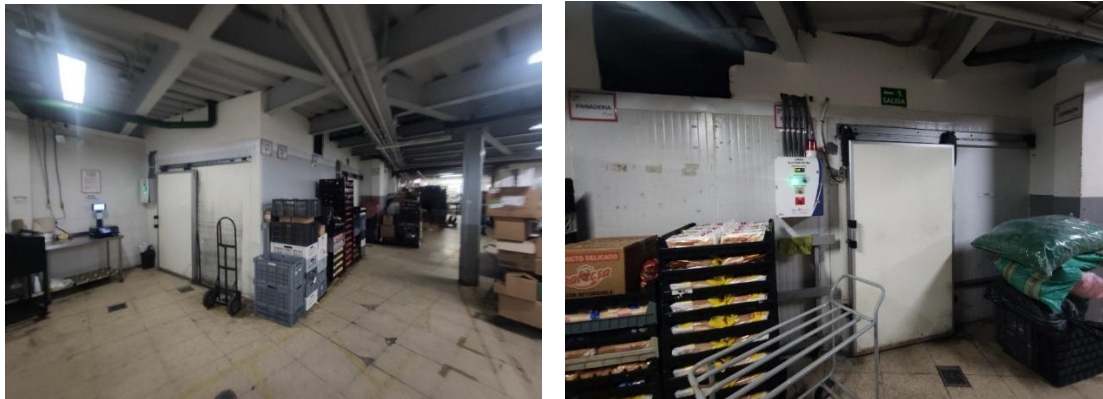


Figura 32 Fotografías de cámaras frigoríficas



2.3.5 Sistema de Tuberías

Tubería en sistema de media temperatura (Distribución agua glicolada)

La tubería que se utilizó en el proyecto para el sistema de media temperatura para agua glicolada fue de polipropileno (PPR) en conjunto con accesorios de acero inoxidable y un kit válvulas Pettinaroli.

EL kit válvulas Pettinaroli integran múltiples funciones en un solo conjunto, incluyendo el equilibrado dinámico, es una válvula de Control Independiente de Presión (PICV) que combina en una sola pieza un limitador de caudal constante y una válvula de control de temperatura, es ideal para sistemas de refrigeración de caudal variable, logrando un equilibrio hidráulico automático y una temperatura precisa, integrando funciones de control, equilibrado y control de presión diferencial, simplificando la instalación y mejorando la eficiencia energética.

Figura 33 Dato técnico kit Válvula de equilibrado dinámico

XT880G



Kit hidráulico PCS con válvula de equilibrado dinámico DYNASTY, Pettinaroli Filter-ball (válvula de bola con filtro incorporado), by-pass de limpieza. Casco aislante incluido

Ø"	Código	
3/4" H X 1" H X 2500 l/h (11,01 GPM)	1	

La tubería de polipropileno (PPR) con chaqueta (o pre-aislada) ofrece excelente aislamiento térmico, reduciendo pérdidas de calor y ahorrando energía, además de protección mecánica, resistencia a la corrosión, larga vida útil (>50 años), instalación fácil (termofusión), interior liso que previene incrustaciones, y es atóxica, ideal para agua potable, siendo una solución eficiente para sistemas de agua fría y caliente.

La tubería que se utilizo es la que esta provista con el aislamiento y protección de PVC, en la ficha técnica a continuación se puede observar las características del tubo y la relación que existe entre el diámetro del tubo con respecto al aislamiento

Figura 34 Ficha técnica de la tubería de polipropileno

TUBERIAS PREAISLADAS EN POLIPROPILENO PREAISLADO

FICHA TÉCNICA TUBERÍA PN 10 PREAISLADA AGUA FRÍA

Materia prima certificado SKZ
KIWA Certificate
Conductividad termica tubería interna 0,23 W/m²K
NTC 4897 sistema de tuberías para instalaciones de agua caliente y fría en PP
ISO 15874 Plastics Piping systems for hot and cold water installations. PP
Tubería Interna Polipropileno PN10 Marca Blue Ocean - Dicol
Chaqueta de polietileno PE 100 alta densidad marca Dicol resistente a los rayos UV

AISLAMIENTO EN POLIURETANO			
PROPIEDAD	ESPECIFICACIÓN	TOLERANCIA	NORMATIVIDAD
Densidad Libre	54 Kg/m³	± 1	ASTM D3574A-95
Densidad Empacada	65 Kg/m³	± 5	ASTM D1622-98
Densidad Central	55 Kg/m³	± 2	ASTM D1622-98
% Celda cerrada	90	± 5	ASTM D6226-98
Coefficiente de conductividad Térmica	0,166 Btu-in/hr-ft²-F	0,002	ASTM C518-98
Estabilidad Dimensional	-28°C a 93°C	± 1	ASTM D2126-94

TUBERÍA PREAISLADA PN 10								
DIAMETRO INTERNO DE TUBERIA PP		CHAQUETA PEAD DIAMETRO EXTERNO	ESPESOR AISLAMIENTO	TEMPERATURA	PRESION MAXIMA DE TRABAJO PSI	PESO TUBERIA	TIPO DE UNION	CAUDAL
B (mm)	Equivalente B (in)	A (in)	S (in)	°C	PSI	KG	TERMOFUSION	Q (L/s)
20	1/2"	3"	1,25	0 - 20	199	4,09	Union Socket	0,3
25	3/4"	3"	1,125	0 - 20	199	4,37	Union Socket	0,5
32	1"	3"	1	0 - 20	199	7,37	Union Socket	1,1
40	1-1/4"	4"	1,375	0 - 20	199	7,41	Union Socket	1,65
50	1-1/2"	4"	1,25	0 - 20	199	10,41	Union Socket	2,6
63	2"	6"	2	0 - 20	199	11,58	Union Socket	4,2



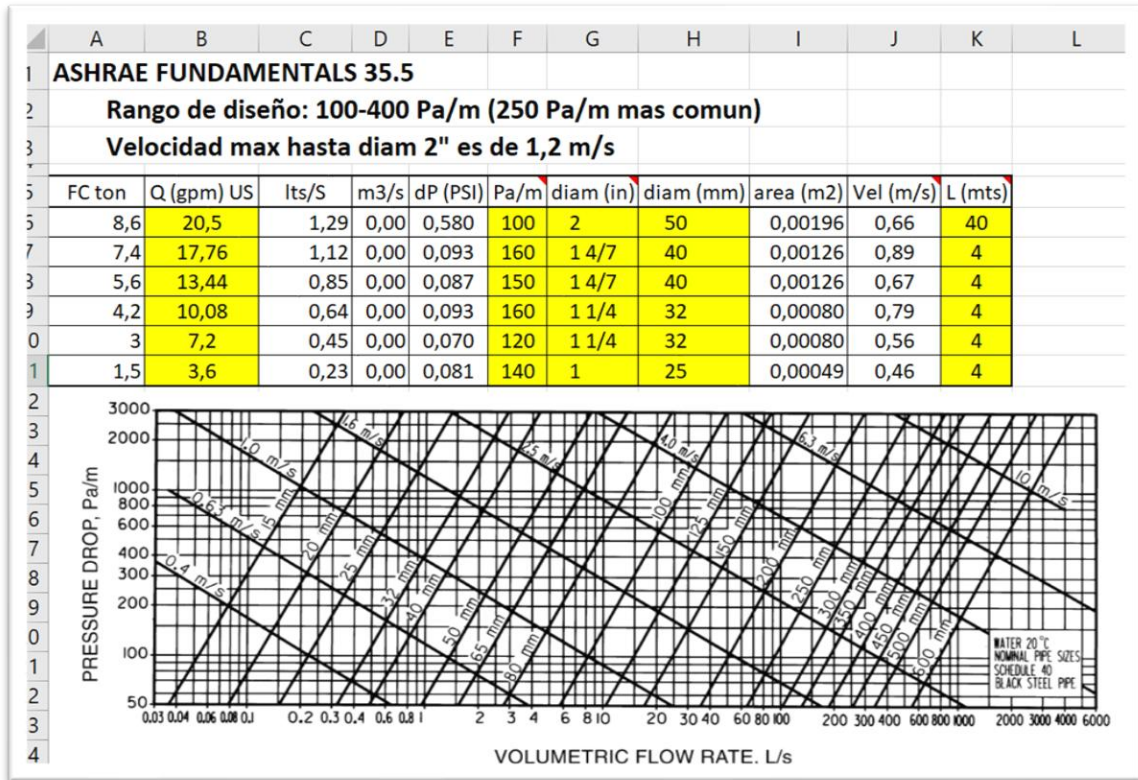
DICOL LTDA.

ESPECIALISTAS EN EL MANEJO DEL AGUA Y FLUIDOS INDUSTRIALES



Seguindo la norma Ashrae Fundamentals 35.5 tabulada en la hoja de cálculo en Excel, tenemos los diámetros de la tubería de polipropileno

Figura 35 Cálculo de diámetro de la tubería de polipropileno



Los diámetros calculados, establecen las secciones principales y las entradas a los evaporadores y cámara frigorífica.

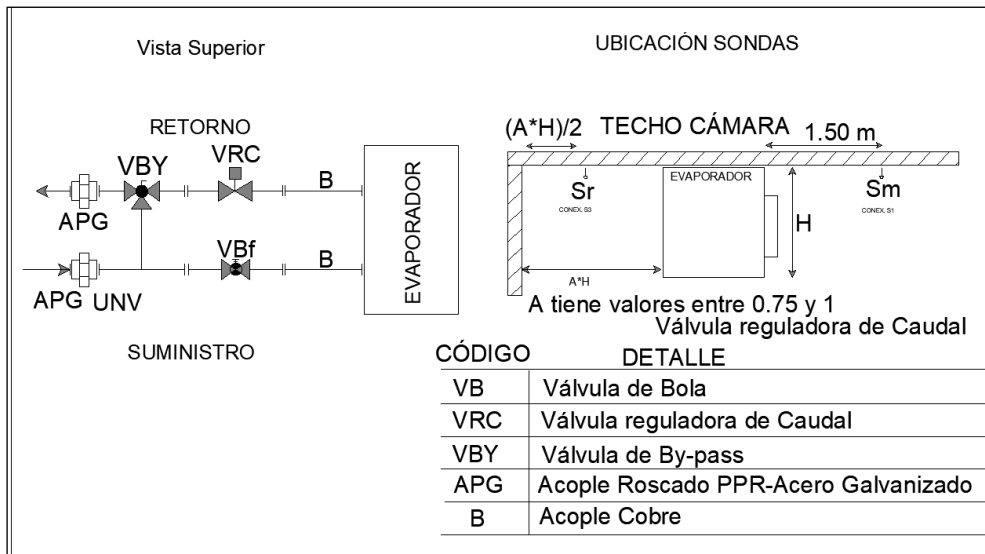
Diámetros de la tubería en el sistema de media temperatura

	Cámara Frigorífica y exhibidor	Sección Principal al Rack	1.- Sección	2.-Sección	3.-Sección	4.-Sección
Alta Presión	D25	DN50	DN50	DN40	DN32	DN25
Baja Presión	DN25	DN50	DN50	DN40	DN32	DN25

Nota: DN: diámetro nominal

Un diagrama técnico se muestra para indicar las partes de la instalación en tubería de polipropileno y accesorios del sistema para media temperatura como la válvula reguladora de caudal, válvula by pass, y acoples y elementos roscados en acero inoxidable que permiten la transición de la tubería de polipropileno a acero inoxidable y luego a cobre para ingresar al evaporador.

Figura 36 Diagrama conexión de tubería de polipropileno con válvula kit pettinaroli evaporador agua+glicol



Tubería en sistema de baja temperatura (Distribución de CO2)

Para el sistema de baja temperatura del proyecto se empleó tubería de cobre tipo K. Esta selección se justifica por las elevadas presiones de trabajo del sistema, las cuales requieren una tubería con mayor espesor de pared en comparación con el tipo L, garantizando así la integridad y seguridad de la instalación

Figura 37 Ficha técnica de la tubería de cobre tipo K



Ficha Técnica

Tubería de Cobre tipo k



Longitud: Tramo 6.10 m
Código de color: VERDE

Aplicación: Mismas que las del tipo L:

- Instalaciones de servicio donde las presiones son severas
- **Estándares:** NMX-W-018-SCFI; ASTM-B-88



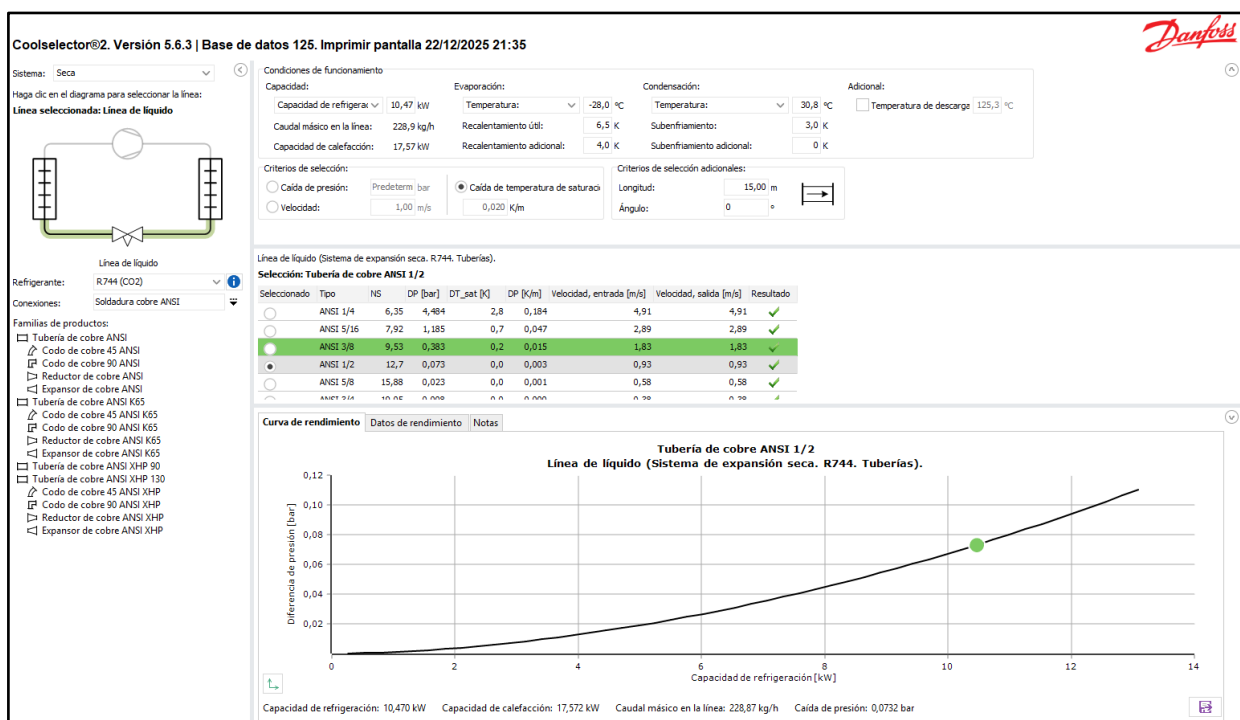

catálogo de tubería							
	k10	k13	k19	k25	k32	k38	k51
Medida	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"
mm	10	13	19	25	32	38	51
diam ext	0.500	0.625	0.875	1.125	1.375	1.625	2.125
diam int	0.402	0.527	0.745	0.995	1.245	1.481	1.959
Rígido	°	°	°	°	°	°	°
presión Máx (psi) rígido	8820	7056	6685	5200	4260	3988	3515

composición química		
Aleación	Cu. (%)	P
C12200	99.9	0.015-0.040

Para el dimensionamiento de tuberías de cobre, ASHRAE recomienda un rango de velocidades con el fin de evitar problemas como ruido y erosión. En líneas de líquido, donde el flujo es más lento (aproximadamente 0,5–1,5 m/s), y en líneas de succión, con velocidades mayores (alrededor de 2–5 m/s), se busca un equilibrio entre el tamaño de la tubería y la eficiencia del sistema. Este equilibrio es especialmente relevante en sistemas con CO₂, dado su alto nivel de presión y propiedades termodinámicas particulares, que hacen recomendable el uso de velocidades más bajas.

Para seleccionar los diámetros de tubería de cobre por secciones, se utilizó el programa Danfoss Cool Selector 2. Como datos de entrada se consideraron, la carga frigorífica, el tipo de línea (líquido o gas), el refrigerante utilizado, la longitud de cada tramo, la dirección del flujo, y las temperaturas de evaporación y condensación.

Figura 38 Plataforma de cálculo del dimensionamiento de las tuberías de cobre



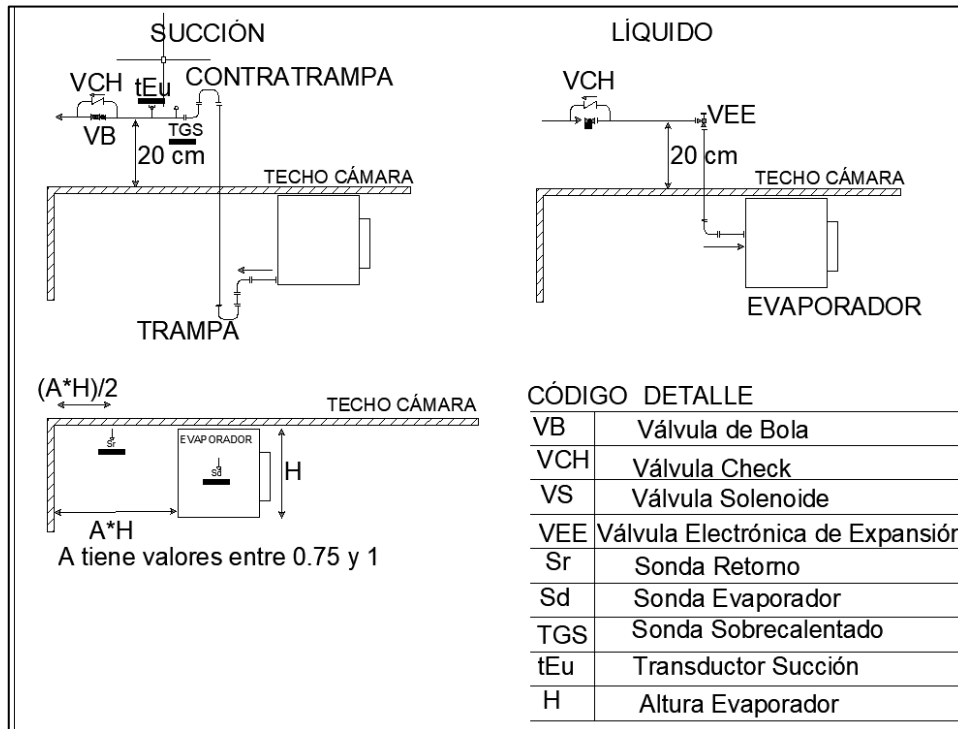
Luego de realizar los cálculos de selección de tubería, tenemos los siguientes diámetros para cada sección.

Tabla 7 Resultado de cálculos de diámetros de tubería de cobre para el sistema de baja temperatura

Diámetros de la tubería en el sistema de baja temperatura			
	Cámara Frigorífica	Exhibidor	Ramal al Rack
Alta Presión	3/8"	3/8"	1/2"
Baja Presión	1/2"	1/2"	1/2"

El siguiente diagrama técnico se muestra para indicar las partes de la instalación en tubería de cobre y accesorios del sistema para baja temperatura como la válvula electrónica de expansión de pulso, válvula solenoide, transductor de presión y sensor de temperatura tipo NTC.

Figura 39 Diagrama de conexión de tubería de cobre en evaporadores de Baja temperatura.



2.3.6 Conexiones Eléctricas y de control

Conexiones Eléctricas de Tablero de Cámaras de baja Temperatura

En el diagrama técnico de la figura a continuación, muestra las conexiones de fuerza y control para el funcionamiento del sistema de baja temperatura en la cámara de congelación, la acometida de fuerza en el tablero (BT) esta provista de cableado concéntrico compuesta de dos fases más una línea de tierra, para cubrir la potencia aproximadamente de 4400 W.

Desde este tablero (BT) parten líneas de cableado hacia el evaporador para alimentar los ventiladores con un cable concéntrico 3x#12 AWG, para una potencia eléctrica de 288 W para las resistencias eléctricas con un cable concéntrico 3x#8 AWG para una potencia eléctrica de 3920 W, para la válvula de expansión y el transductor de presión se usa cable concéntrico 3x#18 AWG en ambos casos, ya que sus consumos son muy bajos.

También, se incluyen tres líneas destinadas a conectar sensores de temperatura, las cuales funcionarán para controlar el deshielo, el retorno de flujo de aire en el serpentín del evaporador y

el sobrecalentamiento colocando el sensor en la tubería de cobre a la salida del evaporador en los tres casos se usa cable 2x#18 AWG “apantallado” ya que tiene una malla o lámina de protección contra interferencias electromagnéticas, usado comúnmente en instrumentación, control de procesos y audio para señales analógicas y digitales.

Adicionalmente, se provee alimentación desde el tablero BT, para el detector de fuga de CO₂ con un cable concéntrico 2x#18 AWG, para el visualizador con un cable concéntrico 2x#18 AWG y por último para la luz estroboscópica con un cable concéntrico con un cable concéntrico 2x#16 AWG.

Figura 40 Diagrama conexiones Eléctrica de Tablero de equipo de Cámara de baja Temperatura.

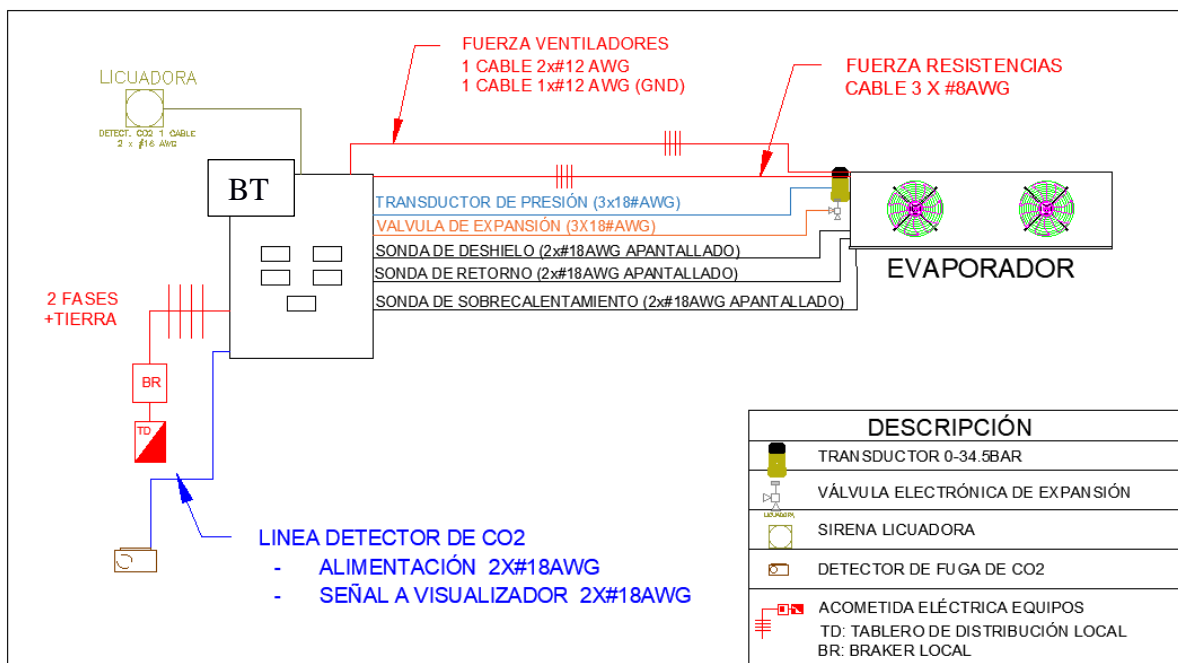


Figura 41 Placa de evaporador de cámara de baja temperatura.



Conexiones Eléctrica de Tablero de Cámaras de media Temperatura

En el diagrama técnico de la figura a continuación, muestra las conexiones de fuerza y control para el funcionamiento del sistema de media temperatura en la cámara frigorífica, la acometida de fuerza en el tablero (MT) esta provista de cableado concéntrico compuesta de tres fases más una línea de tierra. para cubrir la potencia aproximadamente de 2500 W.

Desde este tablero (MT) parten líneas de cableado hacia el evaporador para alimentar los ventiladores con un cable concéntrico 3x#12 AWG para una potencia eléctrica de 288 W, para la válvula reguladora de caudal se usa cable concéntrico 3x#16 AWG. También, se incluyen dos líneas destinadas a conectar sensores de temperatura, las cuales funcionarán para controlar el suministro y el retorno de flujo de aire en el serpentín del evaporador en los dos casos se usa cable 2x#18 AWG tipo “apantallado”.

Figura 42 Diagrama conexiones Eléctrica de Tablero de equipo de Cámaras de media Temperatura.

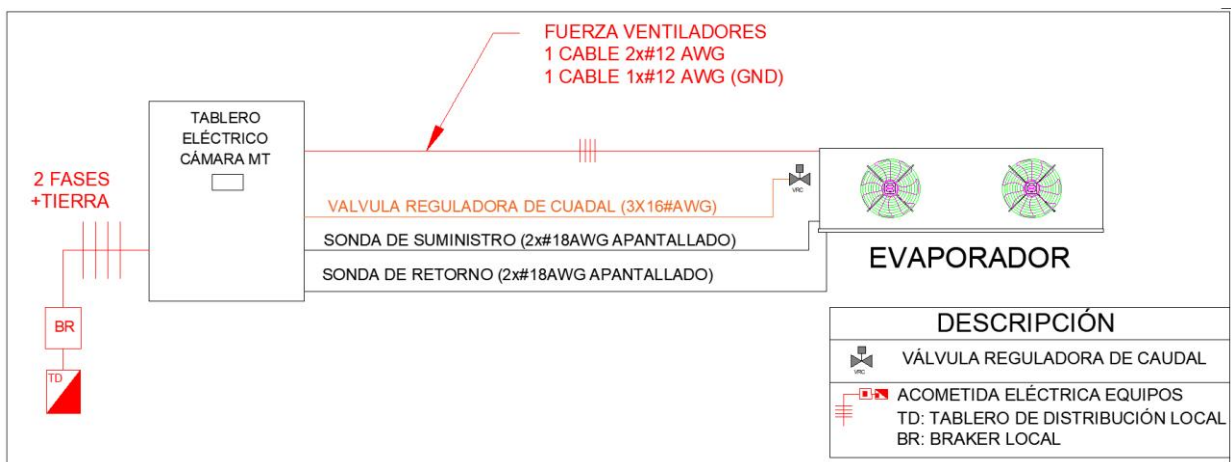


Figura 43 Placa de evaporador de cámara de media temperatura.



Diagrama de sistema de exhibidor de baja temperatura

En el diagrama técnico de la figura a continuación, muestra las conexiones de fuerza y control para el funcionamiento del sistema de baja temperatura en la cámara de congelación, la acometida de fuerza en el tablero (MODULO MPXPRO) esta provista de cableado concéntrico compuesta de dos fases más una línea de tierra y una línea de neutro, para cubrir una potencia de 8020,6 W. Desde este tablero (MODULO MPXPRO) parten líneas de cableado hacia el evaporador para alimentar los ventiladores con un cable concéntrico 3x#12 AWG para una potencia de 1648,3 W, para las resistencias eléctricas con un cable concéntrico 3x#8 AWG 6148,3 W, para la válvula de expansión y el transductor de presión se usa cable concéntrico 3x#18 AWG en ambos casos.

También, se incluyen tres líneas destinadas a conectar sensores de temperatura, las cuales funcionarán para controlar el deshielo, el retorno de flujo de aire en el serpentín del evaporador y el sobrecalentamiento colocando el sensor en la tubería de cobre a la salida del evaporador en los tres casos se usa cable 2x#18 AWG, pero del tipo “apantallado” así mismo para alimentar a la pantalla visualizadora se necesita un cable apantallado 2x#16 AWG

Adicionalmente, se provee alimentación desde el tablero BT, para el detector de fuga de CO₂ con un cable concéntrico 2x#18 AWG, y para la luz estroboscópica con un cable concéntrico con un cable concéntrico 2x#16 AWG.

Figura 44 Diagrama conexión de Control MPX-pro Exhibidor de baja

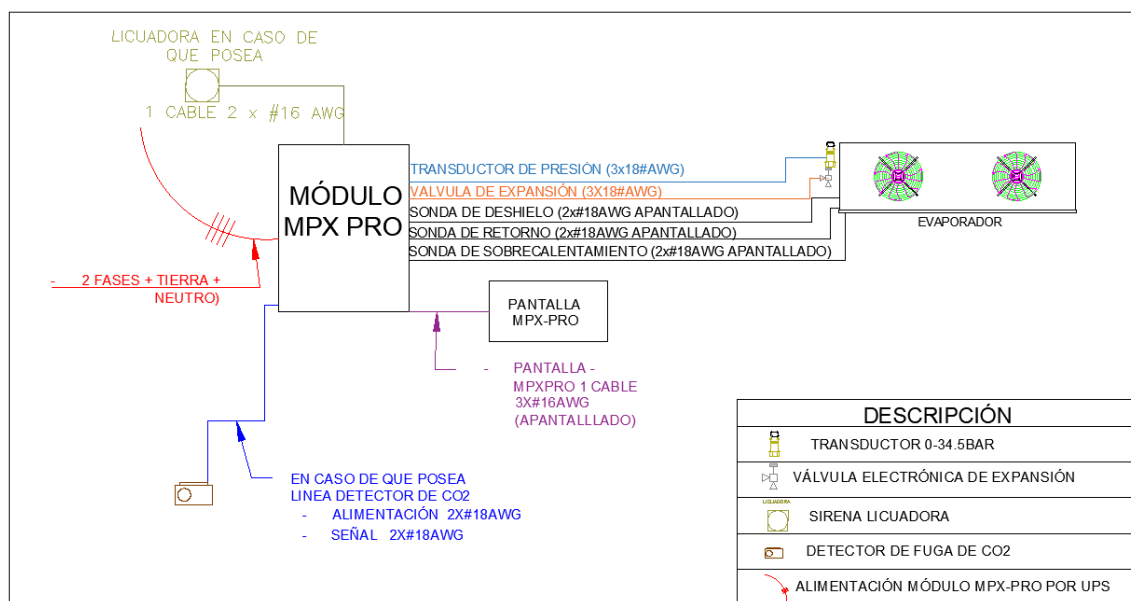


Figura 45 Placa de exhibidor de baja temperatura.



Diagrama de sistema de exhibidor de media temperatura

En el diagrama técnico de la figura 42, muestra las conexiones de fuerza y control para el funcionamiento del sistema de media temperatura en la cámara frigorífica, la acometida de fuerza en el tablero (MODULO IJ) esta provista de cableado concéntrico compuesta de dos fases más una línea de tierra y una línea de neutro, para una potencia de 545 W

Desde este tablero (MODULO IJ) parten líneas de cableado hacia el evaporador para alimentar los ventiladores con un cable concéntrico 3x#12 AWG para una potencia de 313 W, y para la válvula reguladora de caudal se usa cable concéntrico 3x#16 AWG.

También, se incluyen dos cableados 2x#18 AWG, tipo apantallado, para la conexión a de sensores, las cuales funcionarán para medir la temperatura del aire antes y después del serpentín del evaporador.

El diagrama técnico en la figura a continuación muestra la acometida de fuerza en el tablero principal (Tablero Eléctrico Cámara MT). Desde este tablero, parten líneas de cableado hacia el evaporador, destinadas a alimentar a los ventiladores del evaporador y la válvula reguladora de caudal. Adicionalmente, se incluyen dos líneas para conectar sendas sondas de temperatura, una en suministro y otra en retorno.

Figura 46 Diagrama conexión de Control IJ Exhibidor de media temperatura

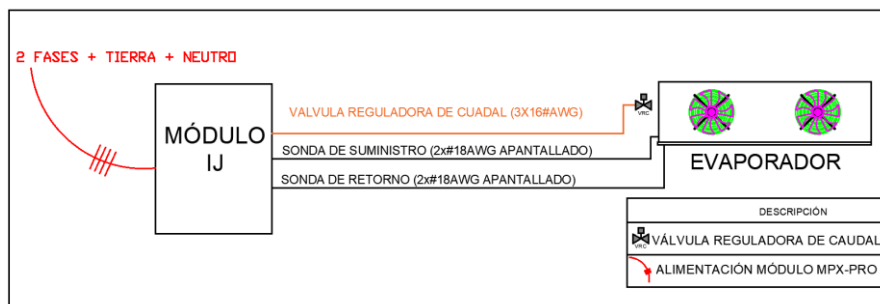


Figura 47 Placa de exhibidor de media temperatura.



2.3.7 Sistema de monitoreo remoto.

El supervisor Boss está diseñado para adaptarse a diferentes arquitecturas de red utilizando varias interfaces físicas entre las cuales se utilizó el puerto serial RS485 para la conexión de dispositivos de campo que utilizan protocolos como Modbus RTU y BACnet MS/TP.

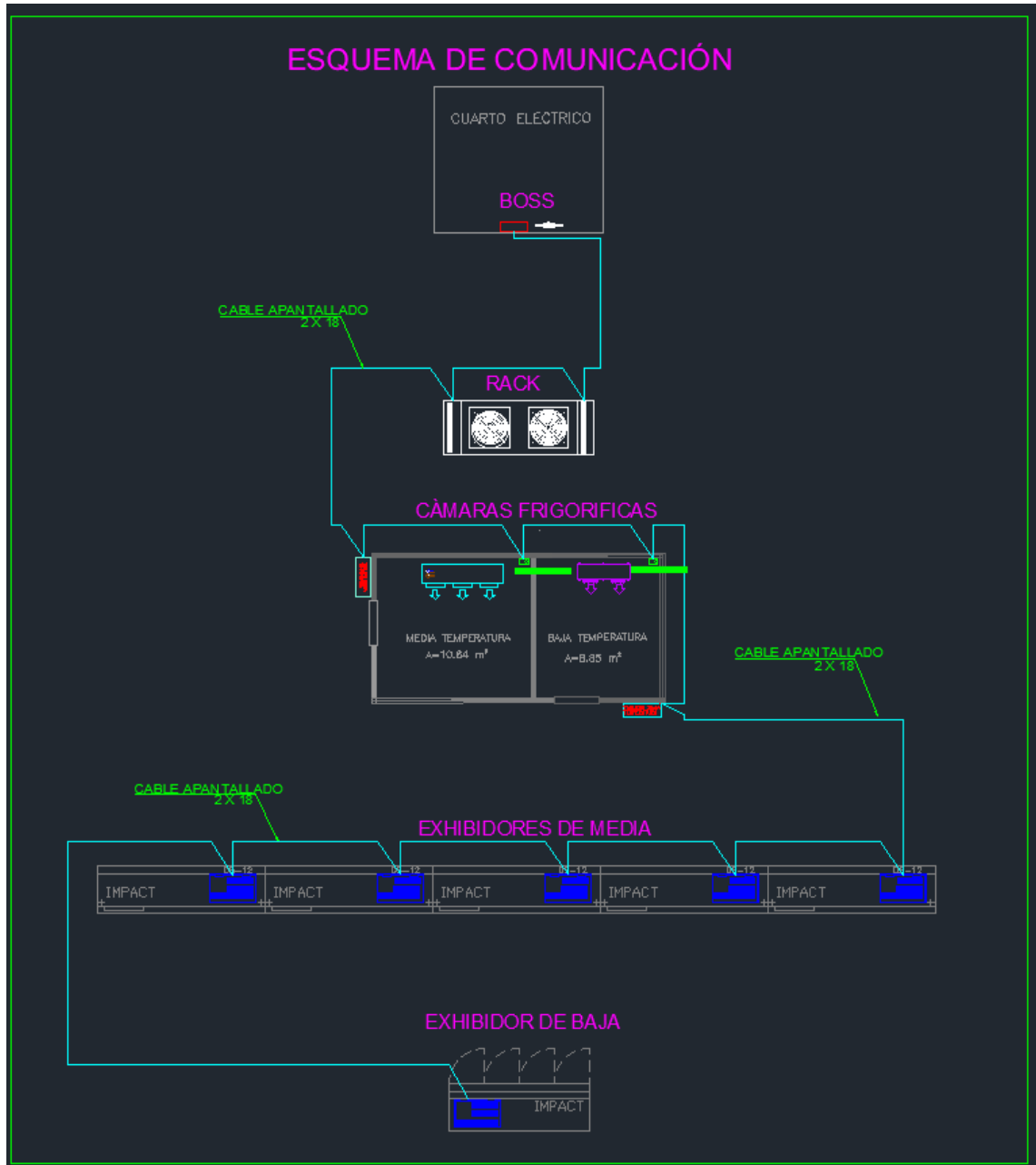
En sitio se realizó una conexión en serie en un lazo abierto, aprovechando que todos los elementos son la misma marca, se logra establecer comunicación, como se muestra en la figura a continuación

En la figura a continuación se observa el lazo de comunicación realizado con cable 2x#18 AWG, tipo apantallado, que conecta a los controladores ubicados dentro de los tableros de los exhibidores, tableros de cámaras frigoríficas, tableros del rack de compresores, hasta finalmente llegar al supervisor Boss ubicado en el cuarto eléctrico del local.

Los accesorios necesarios para monitoreo remoto son el controlador Boss en la marca Carel, con un alimentador/ transformador a 24 V, se aconseja que se alimente con energía regulada, porque garantiza protección y distribución eficiente de la electricidad, asegurando un voltaje estable para los controladores electrónicos, minimizando fluctuaciones, protegiendo contra sobrecargas, asegurando el monitoreo por un tiempo prudente y optimizando el consumo, lo que se traduce en mayor fiabilidad operativa, seguridad y eficiencia energética, ya que si existe algún corte de energía, asegura la continuidad del suministro eléctrico por un tiempo prudente.

Mediante la plataforma de monitoreo CAREL BOSS (Building Operation Supervisory System), que permite controlar, monitorear y optimizar las instalaciones de forma remota desde dispositivos móviles o PC, mediante acceso vía Wi-Fi, Ethernet, y protocolos como BACnet y Modbus, con funciones de gestión de alarmas, ahorro energético y gráficos adaptables, facilita la operación y el mantenimiento del equipo racks de compresores, cámaras frigoríficas y el sistema de refrigeración. Se convierte en una solución integral de supervisión para los sistemas de refrigeración y climatización (HVAC/R)

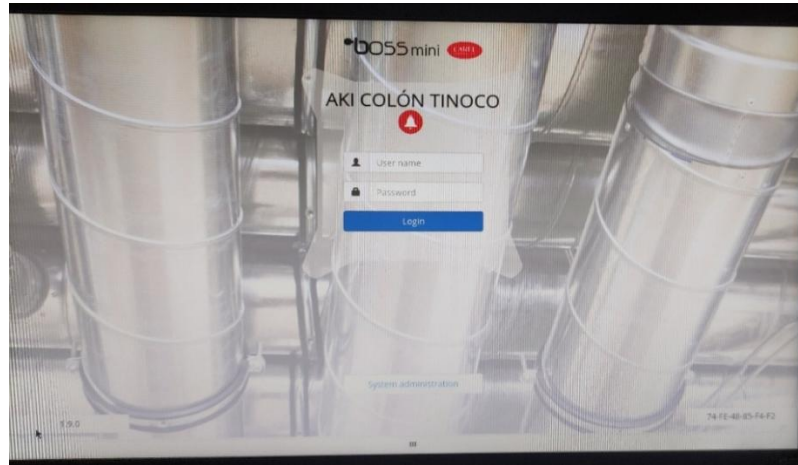
Figura 48 Lazo de comunicación para monitoreo.



Pantalla de inicio

En la figura 49, se muestra la interfase al ingresar a la plataforma del controlador Boss, se visualiza el nombre del local y para para ingresar se generó un usuario y clave.

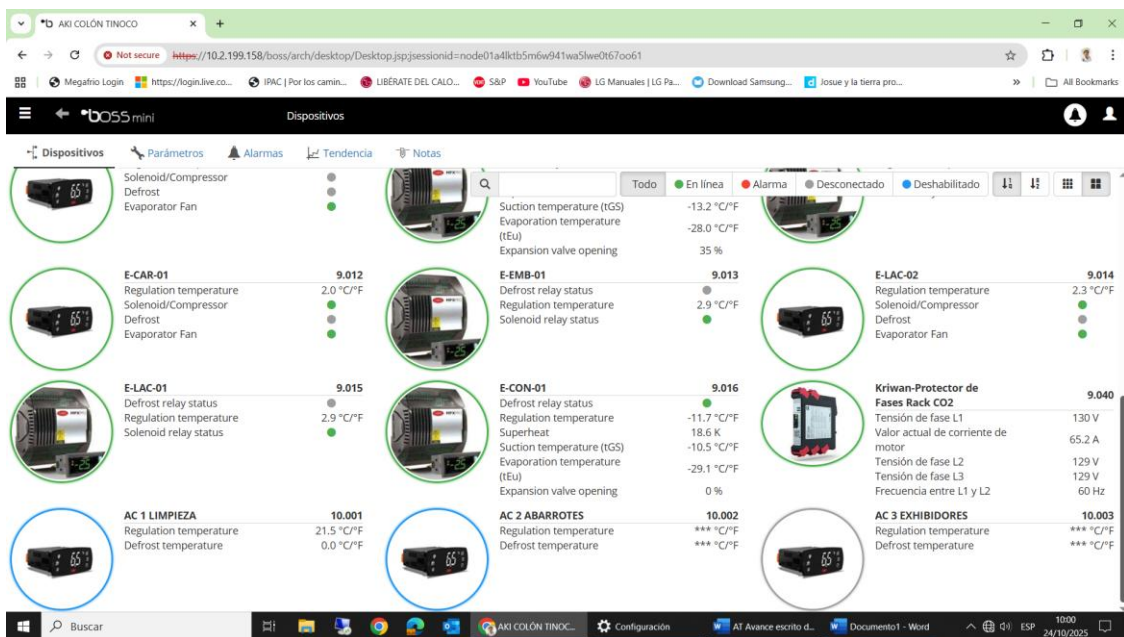
Figura 49 Pantalla de inicio del sistema de monitoreo



Plataforma del sistema de Control

Una vez ingresado a la plataforma se observan cada uno de los controladores, como mpx-pro de evaporadores de baja temperatura, controladores ij que trabajan con el sistema de media temperatura de agua con glicol, así mismo p-rack, protector de fase, detectores de fuga., etc., los cuales muestran parámetros en tiempo real y se cuenta con almacenamiento de datos.

Figura 50 Plataforma del sistema de Control.



2.4 Monitoreo y control

Esta sección de la metodología en gestión del proyecto nos indica sobre la verificación de los avances y el cumplimiento de cada parte del proyecto.

2.5 Cierre del proyecto

La documentación de cierre de proyecto consta de actas formales que resumen el proyecto, validan el cumplimiento de objetivos, formalizan la aprobación final por parte de las partes interesadas, entre la documentación de cierre de proyecto tenemos el plano As Built, la garantía técnica integral del proyecto y el acta de entrega y recepción del proyecto.

2.6 Operación del Sistema de Refrigeración

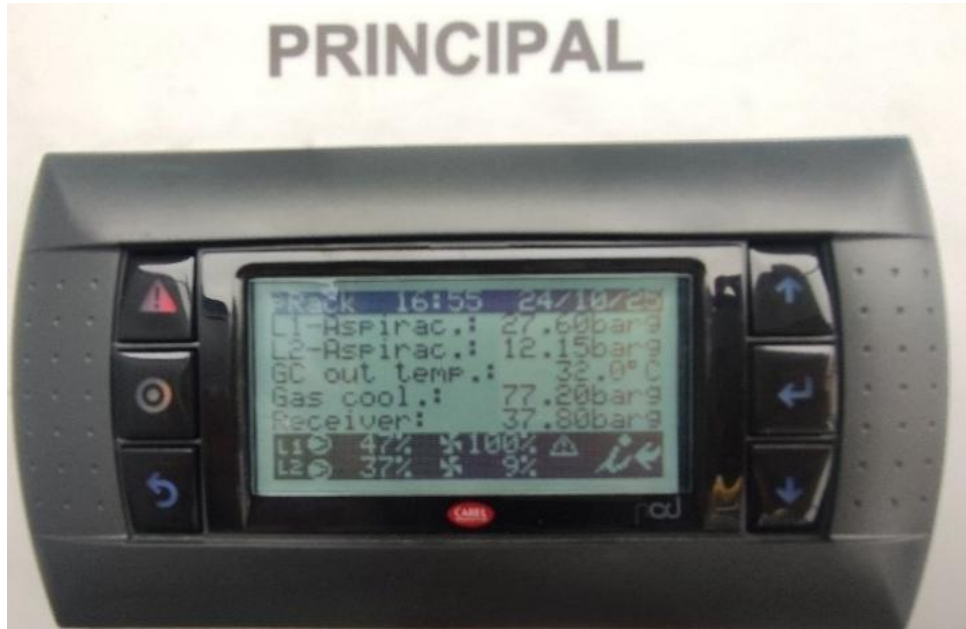
El sistema de refrigeración nuevo consta de un rack de compresores con sistema de condensación integrado que trabajaran para media temperatura con sistema de agua glicolada para (cinco exhibidores de + una cámara de refrigeración) y para baja temperatura con refrigerante R744, CO2 para (un exhibidor +una cámara de congelación).

Figura 51 Unidad de compresores para sistemas de media y baja temperatura.



El tablero de control del rack incorpora un visualizador del p_{rack}, el cual muestra los valores de presión de las líneas de aspiración para los sistemas de refrigeración y congelación.

Figura 52 Controlador P-rack de tablero de Rack de compresores



La línea L1, correspondiente al sistema de media temperatura, registra 27,60 bar (dentro del rango operativo de 20 a 30 bar). Por su parte, la línea L2, asociada al sistema de baja temperatura, indica 12,15 bar (rango admisible: 9 a 15 bar). Adicionalmente, se monitorea la presión del gas cooler, la cual por razones de seguridad no debe superar los 80 bar, y la presión del receptor, establecida entre 30 a 40 bar. El visualizador también presenta el porcentaje de funcionamiento de los compresores activos en cada sistema en tiempo real. Cabe destacar que estos operan dentro de rangos definidos gracias al uso de variadores de velocidad específicos para cada circuito

2.6.1 Sistema de agua con glicol

En sistemas de refrigeración de industrias alimenticias como fábricas de helados, fábricas de cerveza o en industrias farmacéuticas se usa Propilenglicol, porque no es tóxico como el etilenglicol.

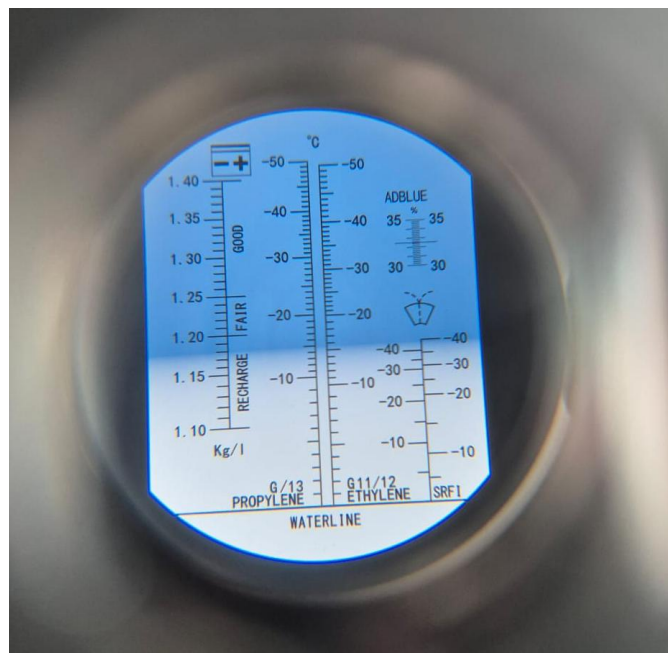
Para asegurar una temperatura -14 grados centígrados en el sistema de media temperatura, acudimos a las tablas para aplicar la concentración de glicol en agua.

Figura 53 Tabla dilución en agua de Propilenglicol para refrigeración[16]

% Propilenglicol	Temperatura de Congelación °C
0%	0
10%	-3
20%	-8
30%	-14
40%	-22
50%	-34
60%	-48
100%	-59

Se utilizó un tanque como un pozo de mezcla, con propilenglicol al 30% en agua. Eso garantiza que podemos trabajar con temperaturas hasta -14°C sin que se produzcan congelamiento, así como lo muestra la fotografía a continuación del refractómetro.

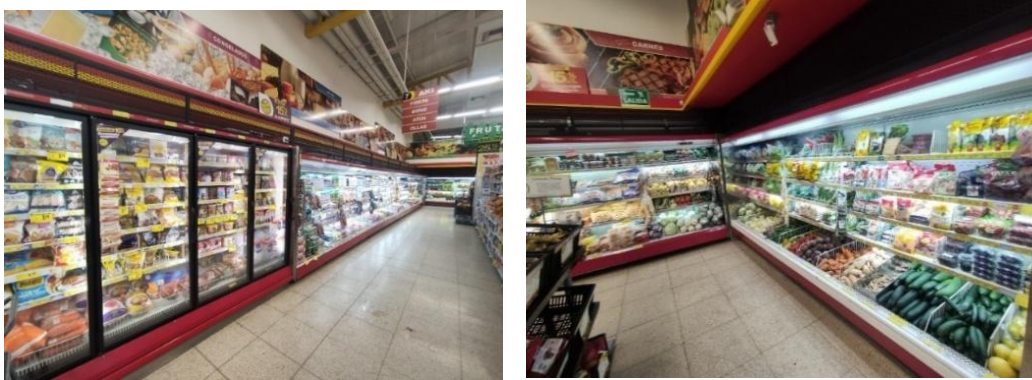
Figura 54 Visión del refractómetro



2.6.2 Exhibidores y cámara frigoríficas

La fotografía muestra el exhibidor de baja temperatura y los exhibidores de media temperatura, todos en operación con sus respectivos productos.

Figura 55 Exhibidores de Refrigeración (baja y media temperatura)



Temperatura de exhibidores

Las fotografías registran las temperaturas en los exhibidores con un setpoint variable de 1 a 5 °C para media temperatura y de -18 °C para el congelador. Estos controladores facilitan la supervisión y el ajuste de los parámetros de operación. Su interfaz permite monitorear el estado del equipo, mostrando si el compresor y el ventilador se encuentran activos o en proceso de desescarchado. En caso de una falla, el sistema emite una doble alerta: un mensaje de error parpadeante en pantalla y un pitido audible, lo que sirve de aviso inmediato para realizar la revisión técnica pertinente.

Figura 56 Temperatura de exhibidores de baja y media temperatura.



Temperatura de cámaras frigoríficas

Las fotografías muestran los tableros de control de las cámaras frigoríficas, donde se visualizan las temperaturas operativas, las cuales se encuentran cercanas a sus respectivos setpoints:

Cámara de media temperatura: 2°C

Cámara de baja temperatura: -18°C

Además de la temperatura, el tablero permite monitorear el estado del sistema mediante indicadores luminosos: luz verde para operación normal y luz roja para modo de falla. También se visualiza el estado de componentes específicos: la activación de la electroválvula en la cámara de media temperatura, y, en la de baja temperatura, el funcionamiento de las resistencias durante el ciclo de desescarchado y la detección de fugas de CO₂.

Figura 57 Temperatura de cámara de baja y media temperatura.



2.7 Consideraciones de Seguridad

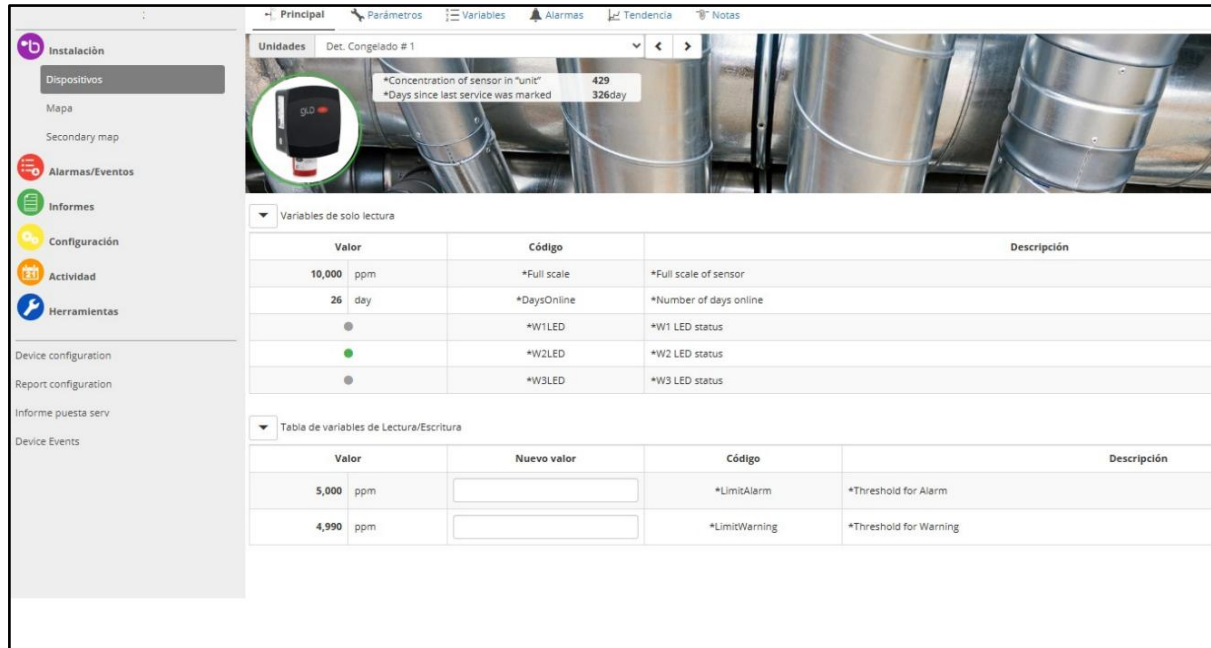
Se instalaron detectores de CO₂ dentro de la cámara de congelación, ya que se trata de un espacio confinado con riesgo de alcanzar dicha concentración. Los detectores se ubicaron en niveles bajos debido a la mayor densidad del CO₂ respecto al aire, y se protegieron contra posibles daños físicos.

Para mantener un margen de seguridad adecuado, los umbrales de alarma se configuraron por debajo del límite práctico:

Alerta de advertencia (baja): 5 000 ppm (0,5 % vol.) en el sensor de CO₂.

Alarma de peligro (alta): 10 000 ppm (1,0 % vol.), activando una señal luminosa estroboscópica.

Figura 58 Plataforma del detector de CO2. [13]



Tras cualquier descarga significativa de refrigerante, se debe ventilar el área de manera exhaustiva y verificar mediante medición directa que la concentración de CO₂ sea inferior a 5 000 ppm (límite de exposición prolongada) y, preferiblemente, menor a 1 000 ppm, antes de autorizar el reingreso al espacio.

Para garantizar la ventilación del área, se instalaron dos extractores de pared modelo HCM-225 de la marca Soler & Palau. Estos equipos funcionarán en un sistema de impulso y extracción, inyectando aire fresco y extrayendo el aire viciado, respectivamente. El sistema está diseñado para proporcionar aproximadamente 25 renovaciones de aire por hora, Cada extractor tiene una capacidad de caudal de 850 pies cúbicos por minuto (CFM).

Capítulo 3

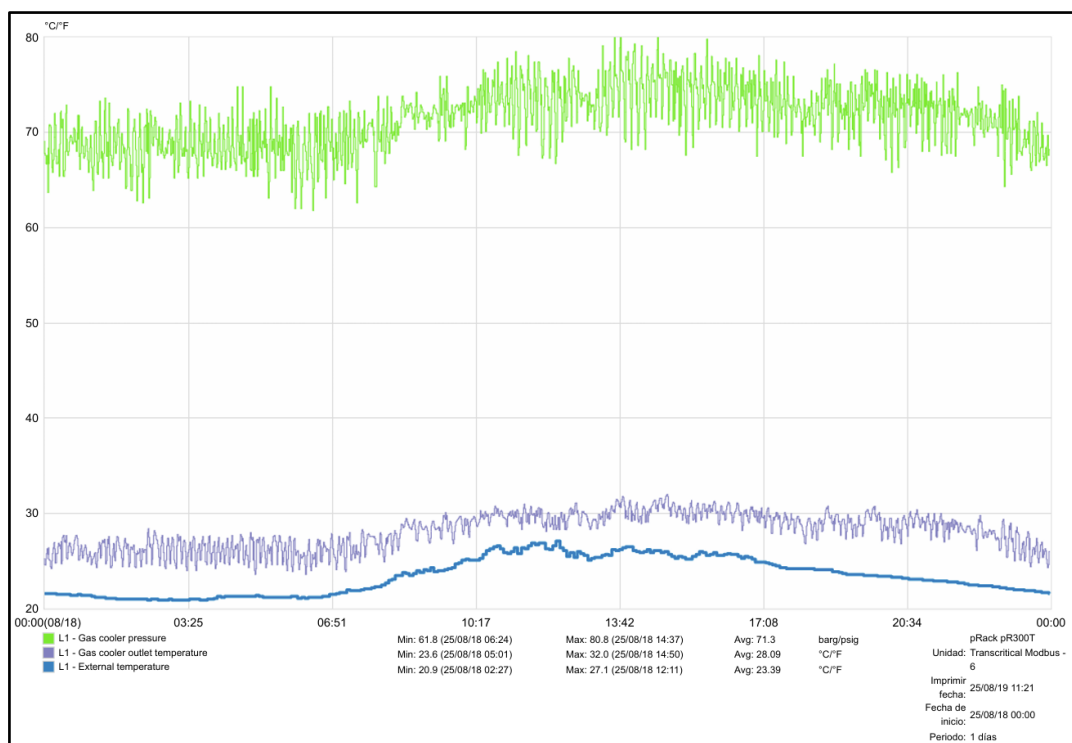
3 Análisis Generales

3.1 Análisis del sistema de refrigeración en lógica de funcionamiento del rack

De acuerdo al diseño del rack, el sistema de refrigeración depende en gran medida de las condiciones ambientales de trabajo.

En la gráfica de la figura a continuación, se muestra el monitoreo de los cambios en la presión y la temperatura externa que experimenta el gas cooler, en función de las condiciones ambientales. A pesar de estas fluctuaciones, el sistema mantiene su rango de presión de trabajo entre 65 y 80 bares, gracias a los ventiladores equipados con variadores de velocidad.

Figura 59 Cambio de temperaturas y presión durante un día en el gas cooler



En el análisis del funcionamiento del equipo "rack de compresores", es importante mantener el equilibrio de presión en el tanque flash al momento se observa un promedio de 37 bares, (para garantizar la eficiencia del sistema debe estar en un rango de entre 30 y 40 bares). La presión en el tanque flash está determinada por el flujo proveniente del gas cooler (sujeta a variaciones ambientales) a través de la válvula HPV (Válvula de Alta Presión), paralelamente, el tanque flash libera presión hacia los compresores según la demanda de carga frigorífica de los

exhibidores y cámaras, un proceso regulado por la válvula de flash o RPRV (Válvula Reductora de Presión en Refrigeración).

Un incremento en la temperatura ambiental provoca un aumento correspondiente en la presión de entrada al tanque flash. En condiciones extremas, donde las temperaturas superan el punto crítico del CO₂, la capacidad de la válvula RPRV para liberar presión puede resultar insuficiente. Para mitigar este riesgo, se ha implementado un compresor paralelo, cuyo propósito es aliviar la presión del tanque y asegurar una integración estable con el sistema de control.

A continuación, se presentan tres gráficas para verificar el porcentaje de trabajo de la válvula HPV, la RPRV y el compresor paralelo, así como la presión en el receptor en diferentes horarios, lo que denota claramente la influencia de las condiciones ambientales. Pues en horario aproximadamente de 11h00 a 18h00 se observa que el compresor paralelo tiene más trabajo.

Figura 60 Porcentaje de trabajo de la válvula HVP, RPRV compresor paralelo y presión en el receptor en horario 11h20-14h39

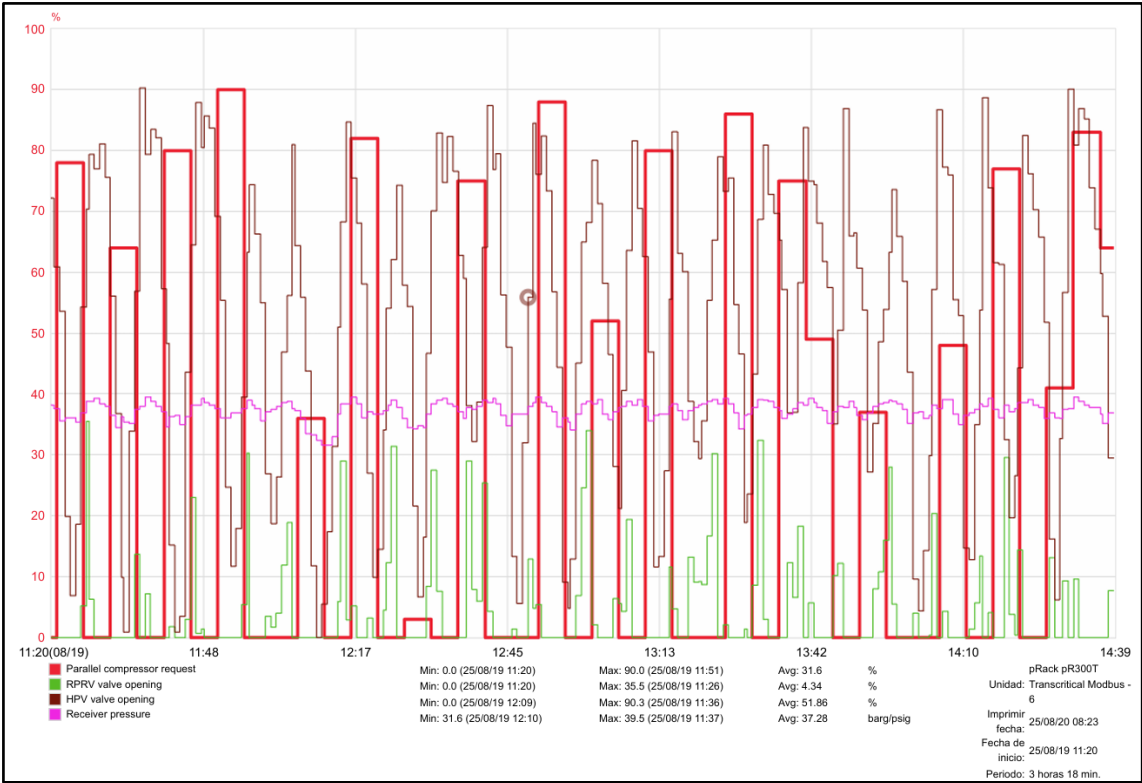


Figura 61 Porcentaje de trabajo de la válvula HVP, RPRV compresor paralelo y presión en el receptor en horario 17h52-21h11

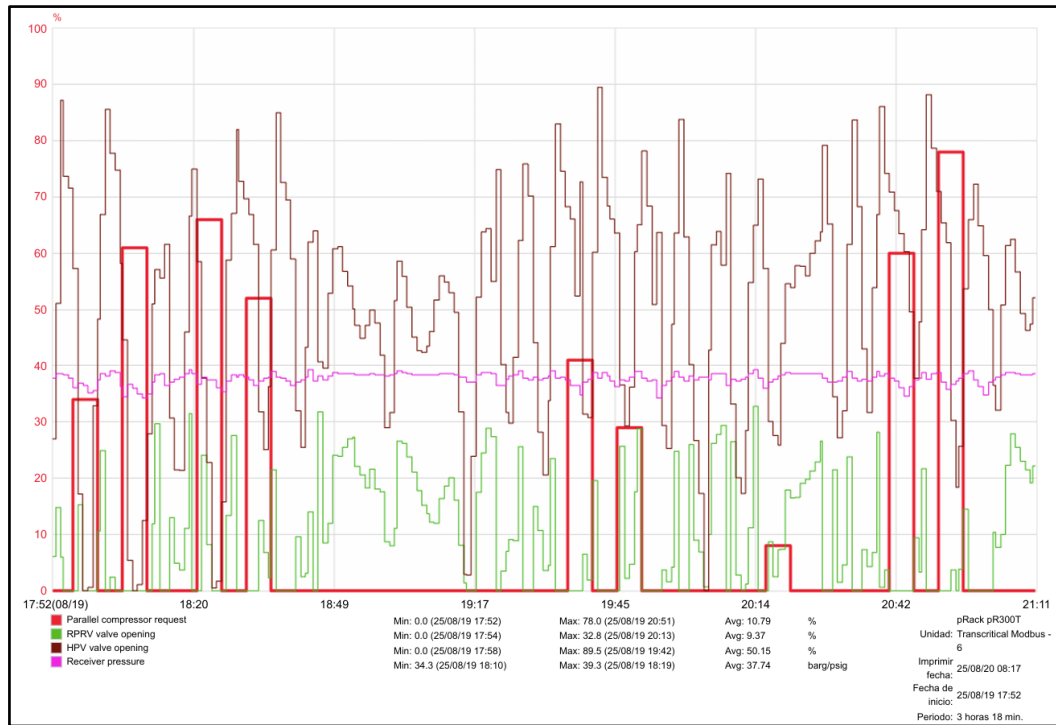
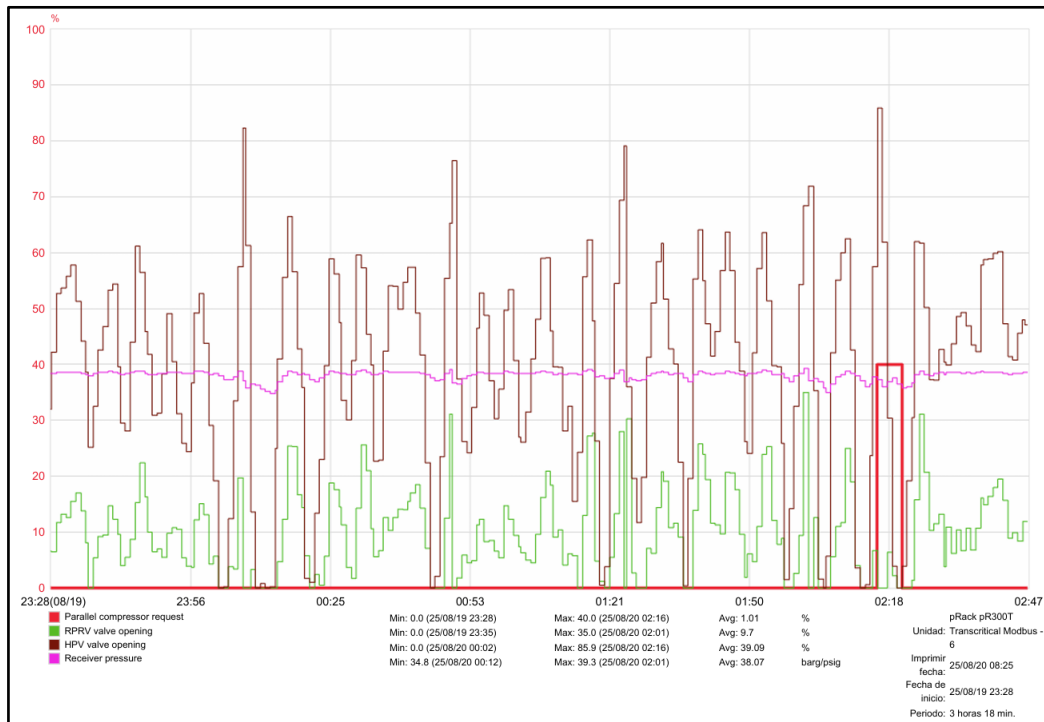


Figura 62 Porcentaje de trabajo de la válvula HVP, RPRV compresor paralelo y presión en el receptor en horario 23h28-02h47



En síntesis, cuando la temperatura ambiente se sitúa por debajo del punto crítico del refrigerante, el sistema opera en modo subcrítico. Este régimen de operación se caracteriza por una eficiencia energética superior en comparación con el modo transcritical.

3.2 Control principal P-rack.

Al ingresar al icono del p-rack principal podemos observar datos generales de encendidos y apagados de compresores, datos de presión de las líneas de succión, en general despliega un resumen operativo que permite gestionar la eficiencia energética.

Figura 63 Plataforma del control principal P-rack.



El gráfico presenta los valores mínimos, máximos y promedios de las presiones registradas durante un período determinado en bar. Incluye las mediciones del receptor o tanque flash (37,63 bar en promedio) la cual debe estar en un rango de entre 30 a 40 bares y la presión del gas cooler (73,82 bar en promedio) la cual debe estar en un rango de 70 a 80 bares.

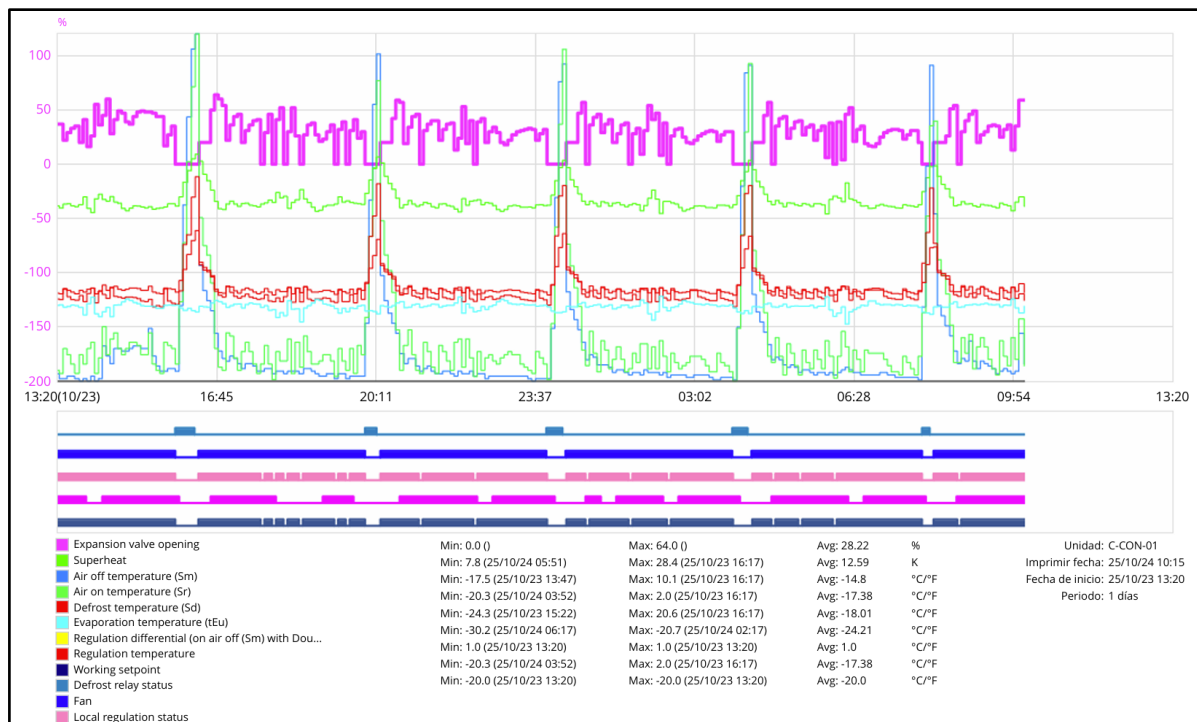
En la parte baja de la gráfica muestra el estatus de trabajo de los compresores identificándolos con colores y leyenda L1 y L2,

Para el sistema de baja temperatura se observa el trabajo de dos compresores representado por las líneas en color rojo y color azul, en la cola el primer compresor tiene un trabajo continuo y por momento ingresa a trabajar en conjunto el compresor dos, esto es debido a que el primer compresor está trabajando con un variador de velocidad y existe una sincronización entre ambos, con el fin de mantener la presión de succión en la línea L2 (sistema de baja temperatura 12,07 bar

en promedio) , de igual manera para el sistema de media temperatura se observa tres compresores, siendo el primero que trabaja con un variador de velocidad y trabaja en forma sincronizada con los otros dos compresores para mantener la presión de succión en la línea L1 (sistema de media temperatura 27,35 bar en promedio), de esta manera el sistema da una sensación de consumo de trabajo bajo demanda para contribuir con otra característica más de este sistema a la eficiencia energética.

3.3 Controlador MPX-PRO

Figura 64 Plataforma del controlador MPX-PRO de la cámara de congelados



El gráfico presenta los valores mínimos, máximos y promedios de los principales parámetros operativos registrados durante el período analizado en el evaporador de la cámara de congelado.

Se observa una temperatura de regulación promedio es de -17.38 °C. La válvula electrónica modula su apertura entre 0% y 64%, siendo el valor cercano a cero cuando la temperatura medida está cerca de la temperatura de setpoint , y abriendo más cuando ya detecta la temperatura alta para así empezar a bajar temperatura, en función de la temperatura de evaporación y el grado de sobrecalentamiento del gas, estos parámetros, a su vez, dependen de las mediciones

proporcionadas por los sensores de temperatura según su ubicación en suministro, retorno o ciclo de defrost y del transductor de presión.

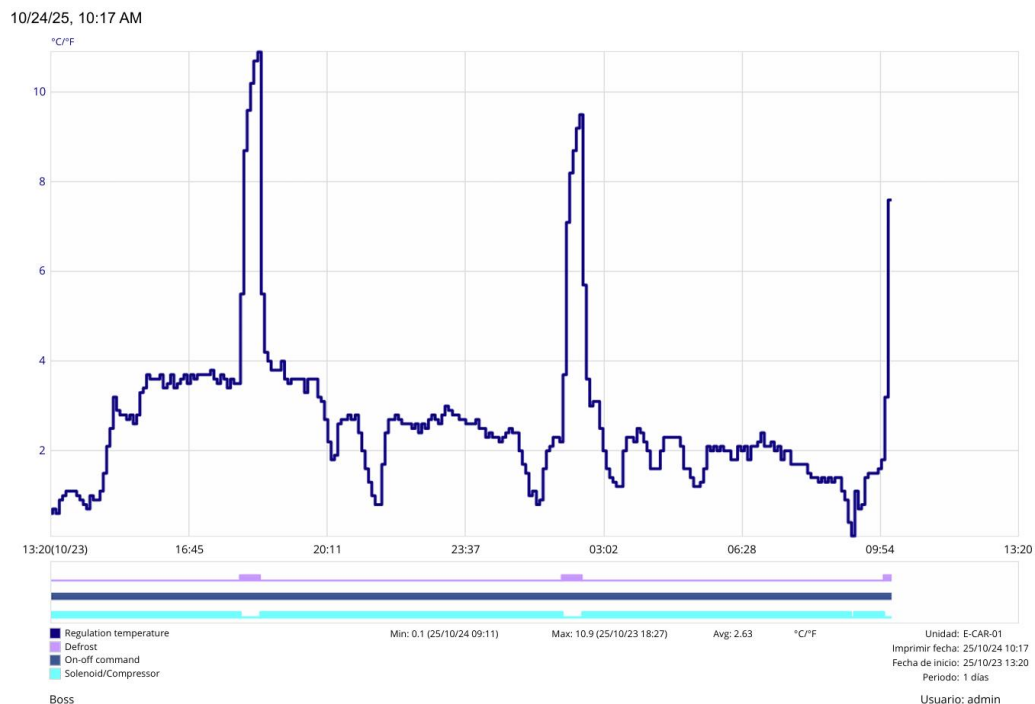
Además, el gráfico detalla los periodos de operación del sistema de defrost los cuales lo realiza cada cuatro horas, y se verifica que los ventiladores se desactivan durante el ciclo de defrost en evaporador las resistencias eléctricas actúan.

Respecto a los valores de medición, uno de los principales parámetros es el sobrecalentamiento útil, medido a la salida del evaporador, nuestro valor promedio registrado es de 12 °C, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable.

En una visión general la gráfica, muestra una variación constante y armónica en sus picos y valores en la temperatura de regulación, lo que indica que el ciclo de refrigeración opera de manera estable y uniforme.

3.4 Controlador IJ

Figura 65 Plataforma del controlador ij del exhibidor de carnes



El gráfico presenta los valores mínimos, máximos y promedios de la temperatura del exhibidor teniendo un set point de 1° centígrado trabaja entre rangos de 0.1 a 10.9 , tomando en consideración el periodo de defrost, la tendencia que grafica la temperatura se presenta en forma armónica y estable, en la parte de abajo se observa que los ventiladores siempre permanecen

encendido incluso durante el periodo de defrost (color lila), durante este periodo la válvula cierra el paso del fluido refrigerante representada en color turquesa

3.5 Análisis de Costos

El costo total del proyecto ascendió a \$127487,81, incluyendo suministro e instalación.

La proforma que incluyen materiales, equipos y costos por instalación

Figura 66 Proforma de equipos e Instalación.

2. INFORMACIÓN Y RESUMEN DE LA OFERTA						
RESUMEN DE LA OFERTA						
INSTALACIÓN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO					\$27.306,33	
EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO					\$100.181,48	
VALORES NO INCLUYEN IVA					\$127.487,81	
DESCRIPCIÓN: La presente oferta pone a su disposición la oferta por la instalación del sistema de refrigeración con sistema tipo cascada con refrigerante R744/AGUA + GLICOL en la sucursal AKI COLON TINOCO						
EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
MATERIALES						
MATERIALES CONEXIÓN MEDIA TEMPERATURA						
1	RACK BOOSTER BO08/M030 R744+GLICOL 3MT/2BT/2B 220V	1	u	\$ 133.575,31	\$ 133.575,31	
SUMAN					\$ 133.575,31	
				DESCUENTO	25%	\$ 33.393,83
				SUBTOTAL		\$ 100.181,48
				IVA	15%	\$ 15.027,22
				VALOR TOTAL		\$ 115.208,70
3. DESGLOCE DE LA OFERTA						
INSTALACIÓN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	
MATERIALES						
MATERIALES CONEXIÓN MEDIA TEMPERATURA						
1	ACCESORIOS DE ACERO PARA CONEXIÓN DE EXHIBIDORES Y CÁMARA DE MEDIA TEMPERATURA	6	u	\$ 490,00	\$ 2.940,00	
32	MANO DE OBRA POR INSTALACIÓN DE RACK EXP. DIRECTA - CASCADA INCLUYE ARRANQUE Y VERIFICACIÓN DEL SISTEMA	1	glb	\$ 5.200,00	\$ 5.200,00	
SUMAN					\$ 36.408,44	
				DESCUENTO	25%	\$ 9.102,11
				SUBTOTAL		\$ 27.306,33
				IVA	15%	\$ 4.095,95
				VALOR TOTAL		\$ 31.402,28

3.5.1 Costos Operativos

Al inicio del proyecto en la toma de información, se recopiló datos de consumo energético lo que nos permitió realizar un análisis comparativo entre el sistema antiguo y el nuevo sistema de refrigeración, con la ayuda del sistema de control que esta monitoreado a cada minuto el consumo energético en el equipo a través de un protector de fase se logró obtener el dato de consumo.

Protector de fases del rack

Al Ingresar al Kriwan, que es el protector de fases del rack, observamos datos de consumo eléctrico porque está monitorizando activamente la salud del motor para evitar daños, especialmente en el sistema de refrigeración.

Figura 67 Datos de consumo de energía del rack de compresores.



La gráfica muestra los valores mínimos, máximos y promedios de voltaje para cada línea de fase, registrados durante un período determinado. En la sección inferior, el resumen incluye los amperajes consumidos por el rack íntegramente (60.84 en promedio).

Para el análisis de costos operativos, se consideró los datos de consumo de energía de los equipos ubicados en el exterior y de los equipos interiores (exhibidores de frío).

Los cálculos de consumo fueron realizados tomando en consideración las variables de voltaje en 230 voltios, 0,92 en factor de potencia, frecuencia 60 Hz y, mediante la fórmula:

$$Pot = \frac{V * I * \sqrt{3} * \cos \phi}{1000}$$

Tabla 8 Datos de consumo eléctrico comparativos entre antiguo sistema y nuevo sistema de refrigeración, en un mes

Sistema	Intensidad (A)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)	Costo (\$)
Sistema Antigo	80,18	29,39	21160,80	\$1.692,86
Sistema Nuevo	60,84	22,30	16056,00	\$1.284,48
Diferencia	19,32	7,09	5104,80	\$ 408,38

A continuación, un gráfico representativo de comparación entre el sistema antiguo y el sistema nuevo

Figura 68 Comparativo de consumos eléctrico.

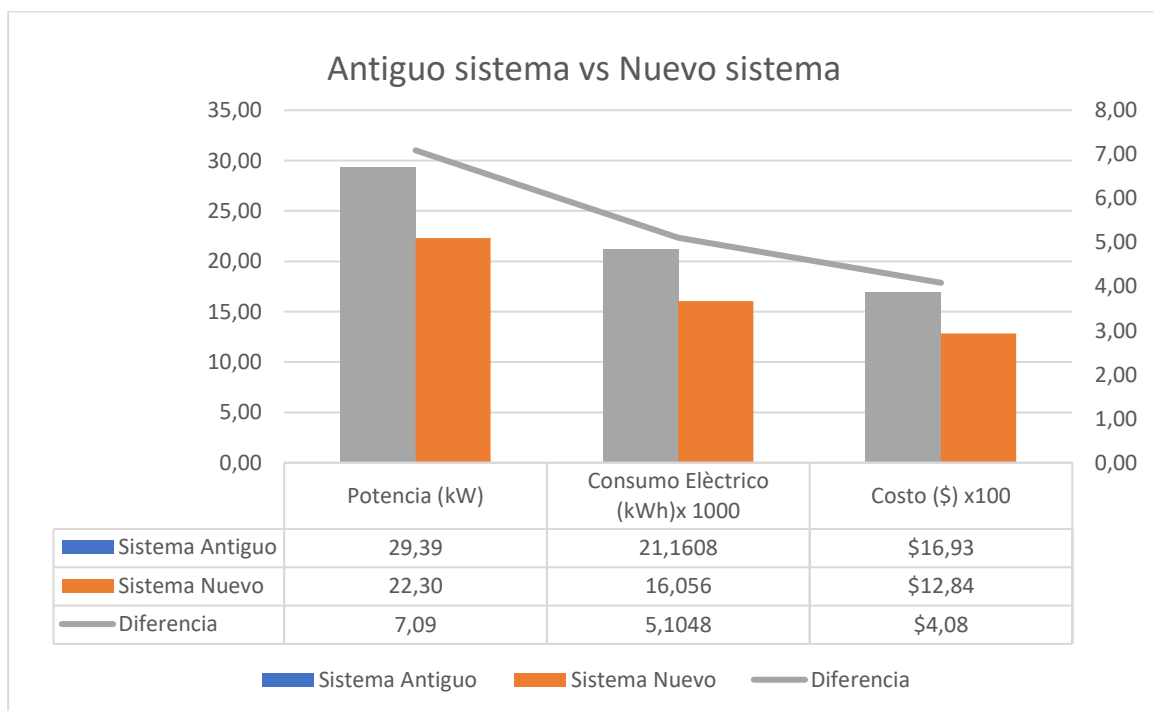
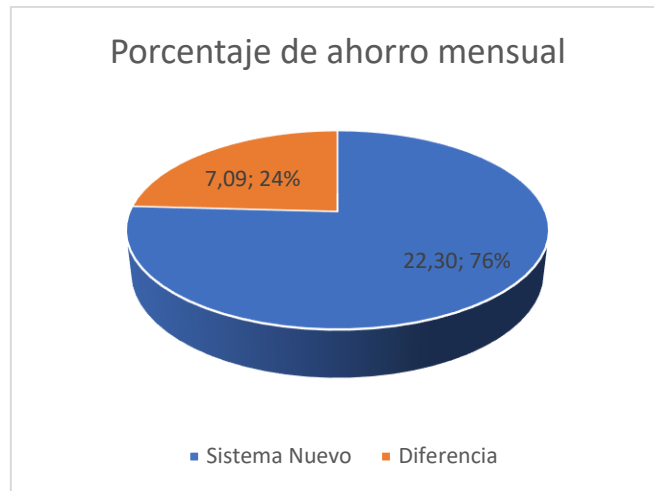


Figura 69 Reducción de consumo.



Con los cuales se obtuvo una reducción en el costo del consumo de energía de aproximadamente 24,12 % por cada mes, calculado con un costo de energía de 0,08 \$/kWh, cada hora en un día y por 30 días del mes

Tabla 9 Ahorro en dólares por cantidad de meses por consumo energético

Meses	Costos \$
1	\$ 408,38
12	\$ 4900,61
60	\$ 24503,04
120	\$ 49006,08

Tenemos que en 10 años por concepto de consumo energético y en condiciones normales de operación existiría un ahorro de \$ 49006,08.

Es importante considerar que los costos de refrigerante se reducirían, como mínimo, en aproximadamente un 50%, lo que impactaría positivamente en este rubro presupuestario al momento de realizar algún correctivo y se necesite suministrar refrigerante.

Tabla 10 Comparativo en costos de refrigerante

DESCRIPCIÓN	KG	COSTO \$	\$/Kg	REPRESENTACIÓN	AHORRO
REFRIGERANTE R744 (20kg)	20	93,4	4,67	1	1
REFRIGERANTE R507 (25 lb) FREON	11,33	157,25	13,88	34%	66%
REFRIGERANTE R507 (25 lb) ICELOONG	11,33	102	9,00	52%	48%
REFRIGERANTE R404A (24 lb) FREON	10,88	127,5	11,72	40%	60%
REFRIGERANTE R404A (24 lb) ICELOONG	10,88	97,75	8,98	52%	48%

3.6 Resultados

Como resultado tenemos:

1. Viabilidad Económica y Análisis de Costos

Si bien la inversión inicial para el sistema de refrigeración con CO₂ (R-744) fue considerablemente mayor (aproximadamente \$127,487.81), frente a un costo estimado de \$48,000 para un sistema convencional con HCFC, la rentabilidad se garantiza a mediano y largo plazo. Esta viabilidad se sustenta en dos factores clave: la reducción del consumo energético y el bajo costo operativo del refrigerante natural.

2. Resultados de Eficiencia Energética y Ahorro

La implementación del sistema de CO₂ con un sistema secundario de agua glicolada resultó obtener una reducción del 24% en el consumo energético total del sistema de refrigeración, lo que equivale a un ahorro anual de 61,257.6 kWh. Traducido a términos económicos, este ahorro energético representa aproximadamente \$4,900.61 USD anuales. El sistema operó con un consumo mensual promedio de 22.3 kW, validando su alta eficiencia operacional en condiciones reales.

3. Impacto Ambiental y Sustentabilidad

El proyecto logró un impacto ambiental directo y significativo mediante la eliminación de aproximadamente 110 kg de refrigerantes sintéticos de alto PCA (Potencial de Calentamiento Atmosférico), específicamente mezclas de R-404A (PCA = 3922) y R-507A (PCA = 3985). Estos fueron sustituidos completamente por CO₂ (PCA = 1), un refrigerante natural. Adicionalmente, el costo del refrigerante CO₂ es entre un 60% y 66% menor por kilogramo en comparación con el R-507A, reduciendo no solo el impacto ambiental sino también el costo de recargas.

4. Rentabilidad a Largo Plazo y Análisis de Ciclo de Vida

La robustez y eficiencia del sistema permiten distribuir la mayor inversión inicial a lo largo de su vida útil. Proyectando el ahorro energético anual constante, se estima un ahorro acumulado de aproximadamente \$49,006.08 USD en un período de 10 años solo por concepto de energía. Esta proyección refuerza la competitividad económica del sistema en un mercado global orientado hacia la descarbonización.

5. Desempeño Operativo y Ventajas del Sistema de Control

El sistema de control y monitoreo automatizado, basado en controladores P-rack, MPX-Pro e IJ, fue fundamental para optimizar el rendimiento. Sus algoritmos permitieron el ajuste en tiempo real de parámetros clave (presión de descarga, setpoints de temperatura, secuencia de compresores), logrando los ahorros mencionados. Las tendencias gráficas obtenidas demuestran un control más estable y uniforme de temperaturas y presiones, asegurando la integridad de la cadena de frío en todos los productos.

6. Mantenimiento Predictivo y Operatividad

La disponibilidad de datos históricos y en tiempo real facilita un análisis profundo para la toma de decisiones, permitiendo el mantenimiento predictivo, el ajuste fino de setpoints y la optimización de consumos eléctricos. La verificación remota reduce drásticamente la necesidad de intervención manual, aumentando la consistencia operativa. Además, el sistema puede alertar de manera proactiva sobre anomalías (como bajo nivel de glicol o válvulas atascadas), permitiendo una acción correctiva inmediata que previene fallas mayores y la potencial pérdida de inventario.

Capítulo 4

4 Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

El análisis de resultados, realizado con el nuevo sistema operando al 100% de su capacidad, determinó una reducción del consumo energético del 24,12% en comparación con el sistema anterior. Esta mejora genera un ahorro económico mensual de \$408.38, lo que refuerza la eficiencia energética de la solución implementada. Luego de ejecutar el Retrofit, se estimó un periodo de retorno de la inversión del 33% en un lapso de 10 años, considerando los costos de equipamiento e instalación en relación con el ahorro energético del nuevo sistema.

Adicionalmente, el proyecto aporta beneficios ambientales significativos al emplear un refrigerante de bajo potencial de calentamiento global (GWP). El impacto ecológico se reduce considerablemente en comparación con el refrigerante anterior (R-507A, con un GWP 3985 veces mayor que el CO₂), lo que contribuye a los objetivos de sostenibilidad del Protocolo de Kioto.

El avance tecnológico permitió implementar un sistema de control integral que optimiza las operaciones de refrigeración. La integración de controladores CAREL posibilitó una gestión precisa de la presión de descarga, la temperatura de gas caliente y el subenfriamiento, optimizando el ciclo transcrito de CO₂. El sistema mantuvo una estabilidad operativa, con variaciones de presión no mayores al $\pm 5\%$ respecto al setpoint, cumpliendo con los márgenes de seguridad de la norma ASHRAE 15-2022 [14].

Se verificó la compatibilidad del CO₂ con los componentes existentes, aunque fue necesario reemplazar elementos críticos como el serpentín del evaporador, válvulas electrónicas, transductor de presión y sondas NTC, para adaptarse a las altas presiones de operación (hasta 100-130 bar). Este aspecto se alinea con las directrices de la norma ISO 5149:2014 [15] sobre seguridad en sistemas de refrigeración.

La implementación de CO₂ como refrigerante alternativo demostró un desempeño técnico satisfactorio, con coeficientes de rendimiento (COP) entre 2,8 y 3,2 en condiciones de media y baja temperatura, valores comparables o superiores a los de sistemas convencionales con HFC en climas templados.

El costo total del proyecto ascendió a \$154.202,87, incluyendo suministro e instalación.

La implementación demostró que el retrofit a un sistema CO₂ transcrito más sistema secundario de agua glicolada más un control inteligente es una solución técnicamente viable, ambientalmente superior y económicamente atractiva para la refrigeración comercial, logrando una triple ganancia (energética, ambiental y operacional).

4.2 Recomendaciones

La operación con CO₂ como refrigerante implica manejar presiones elevadas, donde el lado de alta presión puede alcanzar los 100 bar (1450 psi). En consecuencia, el cumplimiento de las normativas de seguridad y los estándares técnicos vigentes constituye un requisito fundamental para el diseño de la instalación, la calificación de componentes y la ejecución de los protocolos operativos.

Es fundamental que el personal calificado, con sólidos conocimientos en refrigeración y control operativo, lleve a cabo el mantenimiento preventivo, correctivo y las revisiones de rutina. En caso de detectar anomalías, debe actuar o informar con base en la novedad identificada, asegurando así la eficiencia del sistema.

Además, se recomienda implementar un proceso de commissioning continuo para analizar los parámetros operativos y tomar acciones correctivas oportunas, como la medición periódica de la concentración de glicol en el sistema de agua el cual debe tener una concentración del 30 %. Agregar demasiado glicol a un sistema de enfriamiento resultará en un sistema ineficiente. Sin embargo, una cantidad insuficiente de glicol puede hacer que el sistema se congele, posiblemente reventando tuberías e incluso destruyendo el evaporador del enfriador.

Se sugiere establecer un programa de mantenimiento preventivo trimestral que incluya la revisión y limpieza de los componentes mecánicos y eléctricos, con el fin de mantener una alta eficiencia y prolongar la vida útil de los equipos.

Asimismo, es aconsejable aprovechar las ventajas del sistema de monitoreo mediante programación remota, de modo que las alarmas y alertas sean recibidas en dispositivos del personal a cargo. Estos servicios digitales permiten reducir costos de mantenimiento correctivo, optimizar el consumo energético y mejorar el rendimiento, por ejemplo, el p_rack principal al observar datos de encendidos y apagados de compresores, permite gestionar la eficiencia energética y el desgaste mecánico de los equipos, se podría mejorar la programación para evitar daños en los compresores.

En las rutinas de mantenimiento, por seguridad, debe verificarse la operatividad del sensor de CO₂ y de las luces estroboscópicas, asegurando que los valores de medición se encuentren dentro de los parámetros normales.

Un enfoque integral que combine conocimiento técnico, cumplimiento normativo, y atención a la eficiencia y sostenibilidad resulta clave para el éxito de cualquier sistema de refrigeración.

Referencias

- [1] «Prevención del vertido de equipos de refrigeración ineficientes con refrigerantes de alto potencial de calentamiento global | Climate & Clean Air Coalition». Accedido: 29 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.ccacoalition.org/es/content/preventing-dumping-inefficient-cooling-equipment-high-global-warming-potential-refrigerants>
- [2] «El futuro sostenible de la refrigeración ¿Por qué R744 o CO2? - INTARCON». Accedido: 13 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.intarcon.com/el-futuro-sostenible-de-la-refrigeracion-por-que-r744-o-co2/>
- [3] «CO2 transcrito: Gas refrigerante natural más eficiente y sustentable – MMA». Accedido: 11 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://mma.gob.cl/co2-transcritico-gas-refrigerante-natural-mas-eficiente-y-sustentable/>
- [4] «6.2 Latin American Market Data: Stores Using Natural Refrigerants - ATMOSphere». Accedido: 13 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://atmosphere.cool/es/chapters_report/6-2-latin-american-market-data-stores-using-natural-refrigerants/
- [5] H. Dave *et al.*, «Diseño de un sistema de refrigeración tipo booster CO2 transcrito con un alto coeficiente de performance en supermercados de Perú en el 2023», 2023, Accedido: 5 de septiembre de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/8267/H.Guanilo_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- [6] «¿Cómo funciona el ciclo de refrigeración industrial? - Freeo». Accedido: 12 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://freeo.com.mx/como-funciona-el-ciclo-de-refrigeracion-industrial/>
- [7] «Los gases refrigerantes sustitutos - Infografía: evolución y futuro - caloryfrio.com». Accedido: 12 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/evolucion-futuro-refrigeracion-gases-refrigerantes.html>
- [8] «Refrigerantes con menor potencial de calentamiento global | Examinar las opciones | Danfoss». Accedido: 12 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.danfoss.com/es-es/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerants-for-lowering-the-gwp/>

- [9] «Enmienda de Kigali: – Unidad Técnica de ozono». Accedido: 12 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ozonoecuador.produccion.gob.ec/enmienda-de-kigali/>
- [10] «Refrigerantes naturales, ventajas y desventajas - Infografía - caloryfrio.com». Accedido: 10 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/refrigerantes-naturales-caracteristicas-ventajas-desventajas-uso-infografia.html>
- [11] «Refrigeración industrial y comercial con glicol y R290 - INTARCON». Accedido: 12 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.intarcon.com/refrigeracion-con-glicol/>
- [12] «Natural Refrigerants: Applications and Practical Guidelines», feb. 2022.
- [13] «Metodologías para la Gestión de Proyectos que debes conocer». Accedido: 9 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://colombia.unir.net/actualidad-unir/metodologias-gestion-proyectos/>
- [14] «CO₂ + Glicol Compact (Línea Ilinizas)». Accedido: 10 de diciembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.acrproyectos.com/refrigeracion/co2-glicol-compact-linea-ilinizas.html>
- [15] «Determinación de Etilenglicol o Propilenglicol en el fluido refrigerante ya cargado en un chiller o heladera - Laboratorios Ladco». Accedido: 9 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.ladco.com.ar/determinacion-de-etilenglicol-o-propilenglicol-en-el-fluido-refrigerante-ya-cargado-en-un-chiller-o-heladera/>

Apéndice A

ACTA DE CONSTITUCIÓN

	FORMULARIO	RICARDO LUCAS
	PROYECTOS	FECHA: 12/2/2025
		REV: 1.0
ACTA CONSTITUTIVA DEL PROYECTO		P: 1 de 3



PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN RETROFIT DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL A SISTEMA DE RACK DE COMPRESORES INTEGRANDO MEDIA Y BAJA TEMPERATURA CON UN SISTEMA DE CONTROL DE GENERACIÓN DE DATOS POR MEDIO DE ACCESORIOS DE MEDICIÓN.

	FORMULARIO	RICARDO LUCAS
	PROYECTOS	FECHA: 12/2/2025
		REV: 1.0
ACTA CONSTITUTIVA DEL PROYECTO		P: 2 de 3

1. Información General	
Tema:	PROYECTO DE IMPLEMENTACIÓN RETROFIT DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL A SISTEMA DE RACK DE COMPRESORES INTEGRANDO MEDIA Y BAJA TEMPERATURA CON UN SISTEMA DE CONTROL EN GENERACIÓN DE DATOS POR MEDIO DE ACCESORIOS DE MEDICIÓN.

2. Información General	
Preparado por:	Ricardo Lucas
Fecha de emisión de este documento:	17/03/2025

3. Descripción del Proyecto (breve resumen de Alcance y condiciones)	
<p>Actualmente, en el país existe una amplia variedad de supermercados cuyos sistemas de cadena de frío requieren incorporar equipos de refrigeración comercial. Estos sistemas incluyen unidades individuales (evaporadores y condensadores) para exhibidores y cámaras de media/baja temperatura que operan con refrigerantes como el R404a y R507. Ante la necesidad de mejorar su sostenibilidad ambiental, el gerente de mantenimiento de la cadena evalúa implementar un Retrofit en los sistemas de refrigeración. El objetivo es eliminar el uso de refrigerantes contaminantes, cumplir con normativas ecológicas y obtener una certificación ambiental. Para liderar este proyecto, se ha designado como director al Ing. Ricardo Lucas, con inicio programado para marzo de 2024 en Machala.</p>	


4. Objetivos medibles del proyecto (fechas, costos, documentación, etc)	
- Se da inicio al proyecto el 17 de marzo 2025.	
- El presupuesto total del proyecto es de USD 128000.	
- El plazo total para la entrega del proyecto es de tres meses.	

5. Resumen del cronograma de Hitos	
- Inicio de actividades en obra: 24/03/2025	
- Instalación de tuberías terminada: 14/04/2025	
- Recepción de equipos en obra: 25/04/2025	
- Terminación de instalación (sin pruebas): 15/05/25	
- Puesta en marcha de equipos: 16/05/2025 y 02/06/2025	

6. Resumen de costos aprobados del proyecto (logístico, viáticos, izaje de equipos, etc.).	
- Mano de Obra, (viáticos: 5200 usd)	
- Izaje: 1000 Usd	

CONTROLADO

LA INFORMACION CONTENIDA ES CONFIDENCIAL Y PERTENECE A LA EMPRESA ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, POR CUALQUIER MEDIO, SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DEL GERENTE GENERAL.

	FORMULARIO	RICARDO LUCAS
	PROYECTOS	FECHA: 12/2/2025 REV: 1.0
ACTA CONSTITUTIVA DEL PROYECTO		P: 3 de 3

7. Restricciones (Cantidad de H-H aprobadas en el proyecto, horario de trabajo, tolerancia en fechas y costos, etc.).

- No se realizará trabajos en horario extraordinario ni fines de semana.
- El periodo laboral es de lunes a viernes de 08h00 a 17h00 y de 20h00 a 05h00 en periodos variados en coordinación con itinerario del supermercado
- Solamente se asignará 6 trabajadores para la instalación y puesta en marcha
- Solamente se usará personal adicional para izaje y movimiento del rack de compresores.

8. Roles y Responsabilidades (lista de interesados clave)

- Ing. Jeovanny Ordoñez, jefe Zonal (La Favorita)
- Ing. Luis Pacheco, Gerente de Proyectos ACR
- Ing. Carlos Ludeña, Gerente del Local Supermercado
- Ing. Juan Carlos Guamangallo, proveedor de Rack de Compresores

9. Riesgos (Opcional).

- Que debido a falta de stock exista retraso en la fecha de entrega de las unidades condensadoras afectando la fecha de entrega al cliente final.
- Que debido a la inseguridad del sector exista robo/perdida de material/herramientas durante la ejecución del proyecto afectando la utilidad del proyecto.

10. Director del proyecto

Nombre:	Ing. Ricardo Lucas
Nivel de autoridad:	Planificación, ejecución y control total del proyecto, toma de decisiones sobre la gestión de cambios en consulta con el Patrocinador. Conformar y liderar el equipo de trabajo. Resolver los problemas durante el proyecto Gestionar el avance de las etapas o hitos del proyecto

11. Patrocinador

Nombre:	Ing. Jeovanny Ordoñez
Nivel de autoridad:	Apoyo con los recursos necesarios para el éxito y culminación del proyecto

Apéndice B

TABLA DE CONSUMOS ENERGETICOS

SISTEMA ANTIGUO				
MEDIA TEMPERATURA				
	L 1	L 2	L 3 (A)	TOTAL(A)
RACK DE COMPRESORES DE MEDIA TEMPERATURA	67,2	67,2	67,2	67,20
TOTAL, CONSUMO				
BAJA TEMPERATURA				
	L 1	L 2	L 3 (A)	PROM(A)
CONDENSADOR DE CAMARA DE CONGELADO	6,51	5,92	5,74	6,06
CONDENSADOR DE EXHIBIDOR DE CONGELADO	7,15	7,4	6,21	6,92
TOTAL, CONSUMO				

SISTEMA NUEVO		
	L 3 (A)	TOTAL(A)
RACK DE COMPRESORES		60,83
TOTAL, CONSUMO		60,83

CONSUMO ANTIGUO	
-----------------	--

CONSUMO NUEVO	60,83
---------------	--------------

AHORRO

Apéndice C

FICHA TÉCNICA DE EXHIBIDORES DE FRIO



ID DOC. MINI ASTANA H205 - CL 3
Subject to change without notice

TECHNICAL DATA

MINI ASTANA H205

Climate Class 3 - 25°C 60% RH

DIMENSIONAL PROPERTIES

	1562	2343	3124	3905
Cod.	96279730	96279731	96279732	96279733
Length without end-walls	mm 1562	2343	3124	3905
Height	mm 2071	2071	2071	2071
Depth	mm 732	732	732	732
Display opening area	m2			
Horizontal display area *	m2 3,11	4,66	6,21	7,76
Net volume *	dm3 922	1383	1844	2305
TDA ** Total Display Area	m2			
Foot print	m2 1,14	1,72	2,29	2,86
Weight (end-walls not included)	kg 334	449	610	728
Noise level	dB(A) ≤ 60	≤ 60	≤ 60	≤ 60

* = with 4 shelves 395 mm ** = Total Display Area calculated as in EN ISO 23953, part 2, Annex A

EVAPORATORS

	1562	2343	3124	3905
Direct expansion evaporator				
Cod.	02841512	02841494	02841513	02841514
Surface	m2 7,68	12,43	17,22	21,96
Internal pipes volume	dm3 2,739	4,322	5,905	7,488
Cabinet connections in/out	mm 10 / 18	10 / 18	10 / 18	10 / 18

EXPANSION VALVES

	1562	2343	3124	3905
Cod.	04722793	04722793	04722794	04722795
Mechanical Valve	R 404A	TISE-SW	TISE-SW	TISE-SW
Orifice	TIO-002	TIO-002	TIO-003	TIO-004

ELECTRIC COMPONENTS

	1562	2343	3124	3905
Cod.	04681362V	04681362V	04681362V	04681362V
Evaporator fan motors	n° x W 2 x 29.8	3 x 29.8	4 x 29.8	5 x 29.8
Model or diameter / incl. blade	W1G200EC91	W1G200EC91	W1G200EC91	W1G200EC91
Cod.	04380546	04380546	04380546	04380546
Door lighting	n° x W 3 x 38	4 x 38	5 x 38	6 x 38
Cod.	03510451	03510452	03510453	03510454
Heated frame	n° x W 1 x 243	1 x 354	1 x 466	1 x 578
Cod.	03511611	03511611	03511611	03511611
Heated doors	n° x W 2 x 136.9	3 x 136.9	4 x 136.9	5 x 136.9
Cod.	02530002	02530003	02530004	02530005
Defrost heaters R1 R2 R3	n° x W 3 x 600	3 x 900	3 x 1200	3 x 1500

ELECTRICAL LOADING

	1562	2343	3124	3905
Fans	W 59,6	89,4	119,2	149,0
Anti-sweat heater	W 516,8	764,7	1013,6	1262,5
Defrost heaters	W 1800,0	2700,0	3600,0	4500,0
Electronic ballast light	W 174,0	232,0	290,0	348,0

OPTIONS / ALTERNATIVES

	1562	2343	3124	3905
Total electrical powers absorbed in W referred to 230V / 50Hz electric input				
Door lighting (LED)	36	48	60	72
Alu Frame + Low Emissivity doors	472	697	924	1150
PVC/Alu Frame + Serigr. Low Emissivity doors	335	508	681	853
Alu Frame + UltraBright doors	313	460	607	754
PVC/Alu Frame + UltraBright doors	144	221	298	375

REFRIGERATION POWER

Working temperature °C	Average Evap. Temp. °C	Heat extraction rate for unit length (EN ISO 23953) W/m	Heat extraction rate in W for cabinet length (EN ISO 23953 part 2)			
			1562	2343	3124	3905
-22 / -25	-33	667	1042	1563	2084	2605
-18 / -21	-31	640	1000	1500	1999	2499

CONTROLS

Data referred to a controlling probe fitted on air off duct												
Working temperature °C	Thermostat			Defrosting						Alarms		
	ON °C	OFF °C	Type	Fan motors working cond. on/off	n°/24h	End defrost temp. °C	Maximum defrost duration min	Dripping time min	Fans starting delay		Alarm set point °C	Alarm delay time min
									Time min	Temperature °C		
-22 / -25	-21,0	-22,0	Electric	Off	2	+10	50	2	3		-14	35
-18 / -21	-20,0	-21,0		Off	2	+10	50	2	3		-13	35

Setting datas can be changed as per real environmental conditions

Apéndice D

FICHA TÉCNICA DE EXHIBIDORES DE FRIO



ID DOC. OSAKA 3 80/203 Air System -
CL 3
Subject to change without notice

OSAKA 3 80/203 Air System

Climate Class 3 - 25°C 60% RH

TECHNICAL DATA

DIMENSIONAL PROPERTIES

	1250	1875	2500	3750
Cod.	96408202	96408204	96408206	96408209
Length without end-walls	mm 1250	1875	2500	3750
Height	mm 2030	2030	2030	2030
Depth	mm 817	817	817	817
Display opening area	m2			
Horizontal display area *	m2 3,24	4,85	6,47	9,71
Net volume *	dm3 1012	1518	2024	3037
TDA ** Total Display Area	m2			
Foot print	m2 1,02	1,53	2,04	3,06
Weight (end-walls not included)	kg		457	
Noise level	dB(A) ≤ 60	≤ 60	≤ 60	≤ 60

* = with 4 shelves 500 mm ** = Total Display Area calculated as in EN ISO 23953, part 2, Annex A

EVAPORATORS

	1250	1875	2500	3750
Cod.	02841059	02841551	02841199	02841528
Surface	m2 9,78	15,89	21,99	34,20
Internal pipes volume	dm3 3,594	5,579	7,606	11,66
Cabinet connections in/out	mm 10 / 12	10 / 12	10 / 16	10 / 16

EXPANSION VALVES

	1250	1875	2500	3750
Cod.	04722717	04722718	04722719	04722720
Mechanical Valve	R 404A TES 2-0,21	TES 2-0,45	TES 2-0,6	TES 2-1,2
Orifice	00	01	02	03

ELECTRIC COMPONENTS

	1250	1875	2500	3750
Cod.	04680084V	04680084V	04680084V	04680084V
Evaporator fan motors	n° x W 2 x 15	3 x 15	4 x 15	6 x 15
Model or diameter / incl. blade	W1G200EG57	W1G200EG57	W1G200EG57	W1G200EG57
Cod.	04380680	04380681	04380680	04380681
Roof lighting	n° x W 1 x 29,7	1 x 40	2 x 29,7	2 x 40

ELECTRICAL LOADING

	1250	1875	2500	3750
Fans	W 30,0	45,0	60,0	90,0
Electronic ballast light	W 28,0	35,0	56,0	70,0

OPTIONS / ALTERNATIVES

	1250	1875	2500	3750
Cod.	02841175	02841176	02841184	02841185
Surface	m2 9,781	15,886	21,991	34,201
Internal pipes volume	dm3 3,594	5,6	7,525	11,494
Cabinet connections in/out	mm 22 / 22	22 / 22	22 / 22	22 / 22
Cod.	02841090	02841091	02841092	02841093
Surface	m2 9,58	15,559	21,539	33,497
Internal pipes volume	dm3 2,26	3,532	4,804	7,349
Cabinet connections in/out	mm 10 / 10	10 / 10	10 / 10	10 / 10
Evap-exchanger for CO2 - PUMP	1250	1875	2500	3750
Cod.	02841094	02841095	02841096	02841097
Surface	m2 9,781	15,886	21,991	34,201
Internal pipes volume	dm3 3,103	4,835	6,567	10,031
Cabinet connections in/out	mm 16 / 18	16 / 18	16 / 18	16 / 18

REFRIGERATION POWER

Working temperature °C	Average Evap. Temp. °C	Heat extraction rate for unit length (EN ISO 23953) W/m	Heat extraction rate in W for cabinet length (EN ISO 23953 part 2)			
			1250	1875	2500	3750
-1 / +1	0	353	441	662	883	1324
0 / +2	+1	329	411	617	823	1234
+2 / +4	+3	297	371	557	743	1114

CONTROLS

Data referred to a controlling probe fitted on air off duct												
Working temperature °C	Thermostat		Type	Fan motors working cond. on/off	n°/24h	End defrost temp. °C	Maximum defrost duration min	Dripping time min	Fans starting delay		Alarms	
	ON °C	OFF °C							Time min	Temperatur e °C	Alarm set point °C	Alarm delay time min
	-1 / +1	0,0							-1,0	Off cycle	On	1
0 / +2	+1,0	0,0		On	1	+4	15			+6	35	
+2 / +4	+3,0	+2,0		On	1	+4	15			+7	35	

Setting datas can be changed as per real environmental conditions

Apéndice E.

Datos de consumos eléctricos

Los datos recopilados fueron organizados en la siguiente tabla para facilitar su comparación.

Tabla 11 *Datos de consumo de amperajes de antiguo sistema y nuevo sistema de refrigeración.*

SISTEMA ANTIGUO		SISTEMA NUEVO	
MEDIA TEMPERATURA		MEDIA Y BAJA TEMPERATURA	
	TOTAL		TOTAL
RACK DE COMPRESORES DE MEDIA TEMPERATURA	67,20	RACK DE COMPRESORES	60,86
TOTAL CONSUMO	67,20		
BAJA TEMPERATURA			
	TOTAL		
CONDENSADOR DE CAMARA DE CONGELADO	6,06		
CONDENSADOR DE EXHIBIDOR DE CONGELADO	6,92		
TOTAL CONSUMO	12,98	TOTAL CONSUMO	60,86
CONSUMO ANTIGUO	80,18	CONSUMO NUEVO	60,86
AHORRO			24%

Nota. Elaboración propia.

Apéndice F.

Reporte de consumos energético.

Figura 70 *Reporte de consumos energético.*

	A	B	C	D	E	F
1	Graph Report					
2	23/10/2025 13:20	24/10/2025 13:20				
3	AKI COLÓN TINOCO					
4	admin					
5		Kriwan-Protector de Fases	Kriwan-Protector de Fases Rack	Kriwan-Protector de Fases Rack	Kriwan-Protector de Fases Rack	Kriwan-Protector de Fases Rack
6		Tensión de fase L2	Tensión de fase L3	Valor actual de corriente de motor	Frecuencia entre L1 y L2	Tensión de fase L1
7	2025-10-23 13:20:00.857	129	129	30	60	130
8	2025-10-23 13:21:00.857	129	129	30	60	130
1254	2025-10-24 10:07:00.857	129	129	66	60	130
1255	2025-10-24 10:08:00.857	129	129	66	60	130
1256	2025-10-24 10:09:00.857	129	129	66	60	130
1257	2025-10-24 10:10:00.857	130	130	64	60	131
1258	2025-10-24 10:11:00.857	130	130	64	60	131
1259	2025-10-24 10:12:00.857	130	130	64	60	131
1260	2025-10-24 10:13:00.857	130	130	64	60	131
1261	2025-10-24 10:14:00.857	130	130	64	60	131
1262	2025-10-24 10:15:00.857	130	130	65	60	131
1263	PROMEDIO AMPERAJE EN 21 HORAS			60,86 amperios		

Apéndice G

Grafica de consumos energético.

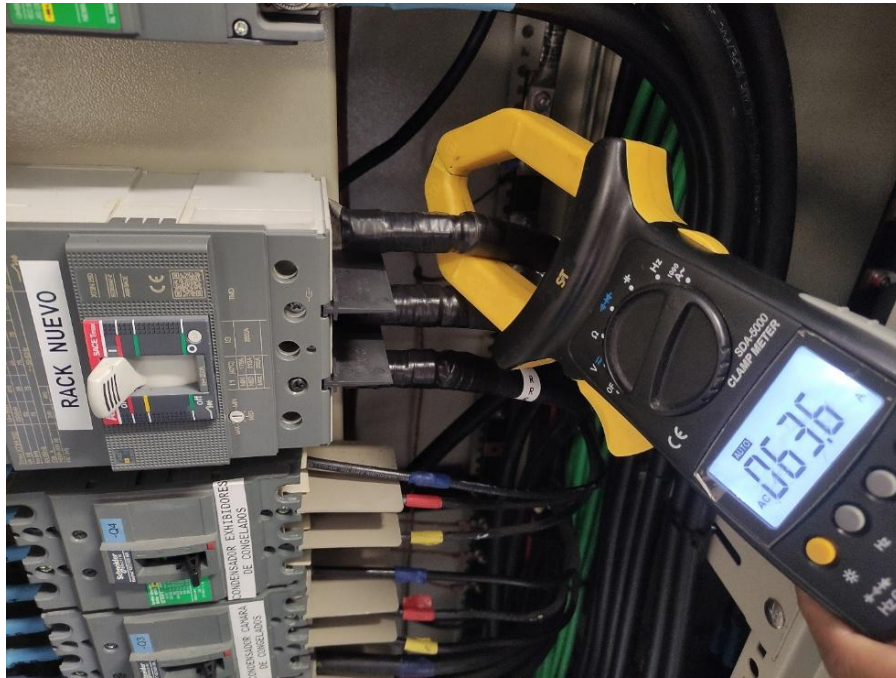
Figura 71 Grafica de consumos energético.



Apéndice H.

Consumo del equipo rack de compresores.

Figura 72 *Consumo del equipo rack de compresores.*



Apéndice I.

Costos de equipo e instalación

Tenemos la proforma que incluyen materiales, equipos y costos por instalación

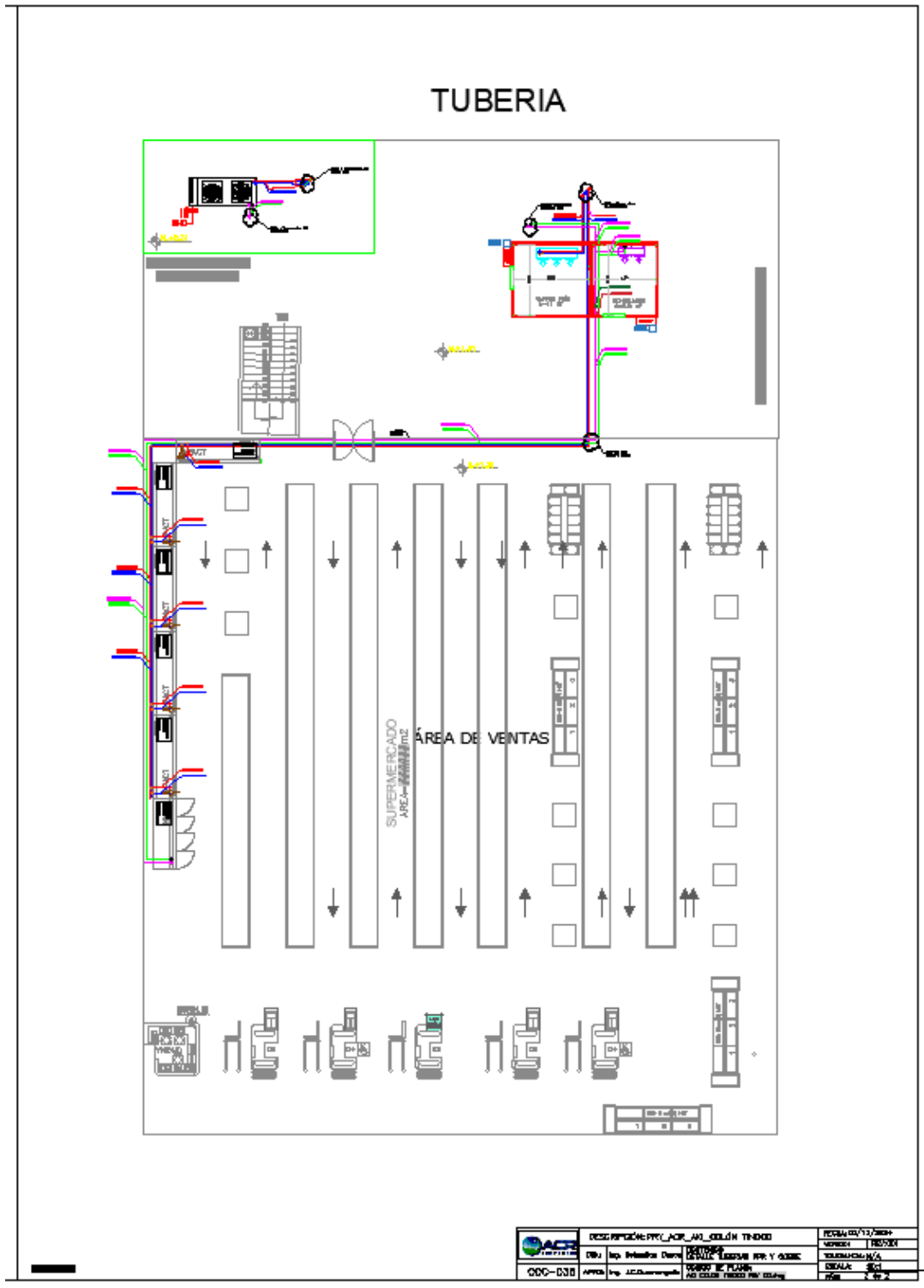
Figura 73 Proforma de equipos e Instalación.

2. INFORMACIÓN Y RESUMEN DE LA OFERTA					
RESUMEN DE LA OFERTA					
INSTALACIÓN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO				\$27.306,33	
EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO				\$100.181,48	
VALORES NO INCLUYEN IVA				\$127.487,81	
DESCRIPCIÓN: La presente oferta pone a su disposición la oferta por la instalación del sistema de refrigeración con sistema tipo cascada con refrigerante R744/AGUA + GLICOL en la sucursal AKI COLON TINOCO					
EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
MATERIALES					
MATERIALES CONEXIÓN MEDIA TEMPERATURA					
1	RACK BOOSTER BO08/M030 R744+GLICOL 3MT/2BT/2B 220V	1	u	\$ 133.575,31	\$ 133.575,31
SUMAN					\$ 133.575,31
				DESCUENTO	25%
					\$ 33.393,83
SUBTOTAL					\$ 100.181,48
				IVA	15%
					\$ 15.027,22
VALOR TOTAL					\$ 115.208,70
3. DESGLOCE DE LA OFERTA					
INSTALACIÓN EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN R744/AGUA+GLICOL - AKI COLON TINOCO					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
MATERIALES					
MATERIALES CONEXIÓN MEDIA TEMPERATURA					
1	ACCESORIOS DE ACERO PARA CONEXIÓN DE EXHIBIDORES Y CÁMARA DE MEDIA TEMPERATURA	6	u	\$ 490,00	\$ 2.940,00
32	MANO DE OBRA POR INSTALACIÓN DE RACK EXP. DIRECTA - CASCADA INCLUYE ARRANQUE Y VERIFICACIÓN DEL SISTEMA	1	glb	\$ 5.200,00	\$ 5.200,00
SUMAN					\$ 36.408,44
				DESCUENTO	25%
					\$ 9.102,11
SUBTOTAL					\$ 27.306,33
				IVA	15%
					\$ 4.095,95
VALOR TOTAL					\$ 31.402,28

Esta proforma incluye suministro e instalación del sistema de refrigeración y en operación.

Apéndice J

As Built



Apéndice K

Garantía Técnica

	FORMULARIO	A: FC8-A85-06-01
	DEPARTAMENTO DE CLIMATIZACIÓN, REFRIGERACIÓN, MANTENIMIENTO, SUCURSAL Y LOGÍSTICA	R: Marzo 2019 N: 1.1
GARANTÍA TÉCNICA DEL PRODUCTO/SERVICIO		P: 1 de 2

GARANTÍA TÉCNICA

ACR PROYECTOS S.A. de la ciudad de Guayaquil, garantiza que el sistema de refrigeración suministrados para la "AKI COLÓN TINOCO", en la ciudad de Machala, son de buena calidad y cumplen con las normas establecidas para cada una de las aplicaciones. El tiempo que cubre la garantía es de doce (12) meses por defectos de fabricación o de montaje, a partir del 18 de junio del 2025 día en el que se realiza las pruebas de funcionamiento con la presencia de las partes interesadas, y esta aplica para el listado de equipos señalados en el Anexo incluido en la presente Garantía.

Esta garantía cubre defectos de fabricación debidamente comprobados y/o los ocasionados por una inadecuada instalación. La garantía queda sin efecto por los siguientes motivos:

- Falta de cancelación de la totalidad del monto contratado, registrado en la factura emitida y recibida por el cliente.
- Falta de mantenimiento periódico: El mantenimiento se lo debe realizar por lo menos una vez cada tres meses, o menos dependiendo de la aplicación del equipo. El mantenimiento el cual se recomienda realizar se comprende en ajustes de conexiones eléctricas, calibración de parámetros de funcionamiento (presiones, intensidades de corriente eléctrica), limpieza general de todos los elementos y revisión y verificación de todo el equipo en general.
- El suministro de energía eléctrica no deberá tener variaciones mayores al +/- 5% del Voltaje requerido para el correcto funcionamiento de los equipos, se deberá evitar cortes o interrupciones del suministro eléctrico para no causar daños a los equipos por variaciones extremas de voltaje.
- Averías ocasionadas por un inadecuado transporte del equipo y/o materiales cuando este transporte lo realice el cliente.
- Cuando se realice un manejo inadecuado o negligencia en la utilización de los equipos.
- Aplicación inadecuada de los sistemas.
- Catástrofes naturales: incendio, terremoto, inundación, etc.

La Garantía será solicitada al Departamento Técnico de ACR PROYECTOS S.A., por escrito, presentando una copia del acta entrega – recepción y/o factura, y, motivo de la solicitud de garantía.

El trámite de la garantía seguirá los siguientes pasos:

- Solicitud de la garantía y copia de la factura respectiva.
- Coordinación para inspección y revisión por parte del Departamento Técnico de ACR PROYECTOS S.A.
- Informe técnico, mediante el cual se confirmará o no la aplicación de la garantía.

LA INFORMACION CONTENIDA ES CONFIDENCIAL Y PERTENECE A LA EMPRESA ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL
POR CUALQUIER MEDIO, SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DEL GERENTE GENERAL

CONTROLADO

	FORMULARIO	A: FC8-A85-06-01
	DEPARTAMENTO DE CLIMATIZACIÓN, REFRIGERACIÓN, MANTENIMIENTO, SUCURSAL Y LOGÍSTICA	R: Marzo 2019 N: 1.1
GARANTÍA TÉCNICA DEL PRODUCTO/SERVICIO		P: 2 de 2

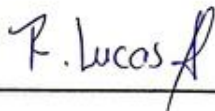
- De ser aplicable la garantía se procederá con la reparación o cambio si es necesario, de la parte o accesorio.

Esta Garantía será aplicable siempre y cuando sea aprobada por el Departamento Técnico de **ACR PROYECTOS S.A.** luego de realizar un análisis del problema y las causas.

Para las unidades colocadas, **ACR PROYECTOS S.A.** recomienda el mantenimiento con una frecuencia de cada tres meses.

Atentamente,

ACR PROYECTOS S.A.




Ing. Ricardo Lucas
Supervisor Técnico Regional
ACR PROYECTOS SA

CONTROLADO

LA INFORMACION CONTENIDA ES CONFIDENCIAL Y PERTENECE A LA EMPRESA ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL POR CUALQUIER MEDIO, SIN LA AUTORIZACION ESCRITA DEL GERENTE GENERAL

Acta de entrega Recepción

	FORMULARIO	A: ODC-022
	DEPARTAMENTO DE CLIMATIZACIÓN, REFRIGERACIÓN, MANTENIMIENTO Y SUCURSAL	R: Diciembre 2017
		N: 1.0
ENTREGA RECEPCIÓN DEFINITIVA		P: 1 de 3

ACTA DE ENTREGA RECEPCIÓN DEFINITIVA

Por medio del presente documento, la Empresa ACR PROYECTOS S.A realiza la entrega definitiva de la instalación de equipos de Refrigeración para el proyecto de SUPER AKI COLÓN TINOCO ubicado en MACHALA.

En las instalaciones del proyecto de Super Aki Colón Tinoco ubicado en Machala, al 18 de junio del 2025, se procede a la suscripción del Acta de entrega recepción definitiva de los trabajos de "Suministro e Instalación de Equipos de refrigeración que incluye un rack sistema Agua + CO2" la misma que queda integrada de la siguiente manera: ACR PROYECTOS S.A. representando por el Sr Ricardo Lucas Aguilar, y por Corporación La Favorita, el Sr Eugenio Quiroz, quienes convienen en suscribir la presente acta, bajo los siguientes acuerdos:

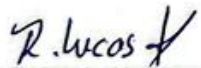
ACUERDOS.-

Los delegados que comparecen en esta Acta de entrega recepción DEFINITIVA declaran haber realizado la respectiva inspección física de las instalaciones y unidades del sistema. En base y conocimiento de toda documentación contractual dejan expresa constancia de lo siguiente:

- Que el contratista ha cumplido con los trabajos de instalación, el cual se encuentra funcionando correctamente.
- Una vez revisados todos los sistemas físicamente el Contratante se declara satisfecho por los trabajos realizados, razón por la cual recibe la obra en forma

Atentamente,

ACR PROYECTOS S.A.



**Ing. Ricardo Lucas A
Supervisor Técnico
ACR PROYECTOS S.A**

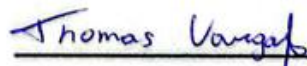


**Gerente de Local
Corporación La Favorita**

**AKI
COLON TINOCO**



**Ing. Eugenio
Supervisor Técnico
La Favorita**



Mantenimiento