



# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## CREACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL DE UNA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL BASADO EN LA PLATAFORMA DE INDUSTRIA 4.0 KICONEX

Autor: Gonzalo Dorao Sánchez-Campos

Director: Antonio Montanary Morales

Madrid



Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
“Creación de un gemelo digital de una instalación de refrigeración comercial basado en la  
plataforma de Industria 4.0 KiConex”

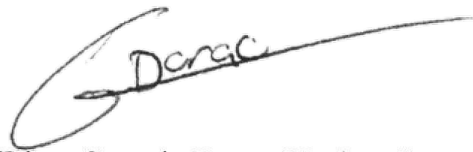
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Gonzalo Dorao Sánchez-Campos

Fecha: 21/07/2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Antonio Montanary Morales

Fecha: 21/07/2023





# MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

## CREACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL DE UNA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL BASADO EN LA PLATAFORMA DE INDUSTRIA 4.0 KICONEX

Autor: Gonzalo Dorao Sánchez-Campos

Director: Antonio Montanary Morales

Madrid



# **CREACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL DE UNA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL BASADO EN LA PLATAFORMA DE INDUSTRIA 4.0 KICONEX**

**Autor: Dorao Sánchez-Campos, Gonzalo.**

Director: Montanary Morales, Antonio.

Entidad Colaboradora: Kiconex

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

En este proyecto se ha creado una aplicación capaz de gestionar los gemelos digitales de distintos equipos frigoríficos. Estos equipos virtuales servirán para simular diversas situaciones y estudiar el comportamiento de los equipos sin necesidad de inutilizar un equipo real. Los datos obtenidos de las simulaciones servirán para optimizar las instalaciones y su operación.

**Palabras clave:** IoT, Machine Learning, Gemelo Digital, Refrigeración, Simulación, Optimización.

### **1. Introducción**

Kiconex es una plataforma de industria 4.0 que recoge datos en tiempo real de instalaciones en las que se utilizan equipos de refrigeración.

Estos datos son almacenados en su base de datos y se puede acceder a ellos desde su aplicación web o mediante su API. Sin embargo, la información almacenada es únicamente del pasado, pues la plataforma no tiene capacidades de predicción ni simulación.

### **2. Definición del proyecto**

El objetivo de este proyecto es crear gemelos digitales de distintos equipos comerciales de refrigeración. Del mismo modo, se creará una herramienta con una interfaz gráfica que permita gestionar estos gemelos de manera cómoda e intuitiva.

Aunque la cantidad de equipos de refrigeración que se pueden simular es considerable, se ha decidido concretar el alcance del proyecto y virtualizar los equipos del supermercado Más y Más de Los Villares, en Jaén.

La instalación de refrigeración se compone de tres tipos de equipos distintos:

- XR60CX
- XW270K
- XM670K

### 3. La herramienta

La herramienta consistirá en una interfaz gráfica diseñada con la librería de Python PySide6.

La aplicación tendrá las siguientes capacidades:

- Conexión con la API de Kiconex
  - Validación de credenciales.
  - Obtención de datos de equipos.
  - Obtención de datos históricos
- Análisis de datos
- Ajuste de modelo físico
- Simulación
- Validación
  - De la controladora virtual (comparando salida real y simulada frente a entrada real)
  - Del modelo físico (comparando comportamiento real y simulado durante el mismo periodo de tiempo)
- Ajuste manual de parámetros
  - Para probar distintas configuraciones de la controladora
  - Para simular situaciones que no se pueden probar en un equipo real
- Exportar datos reales y simulados a formato csv para posterior análisis.

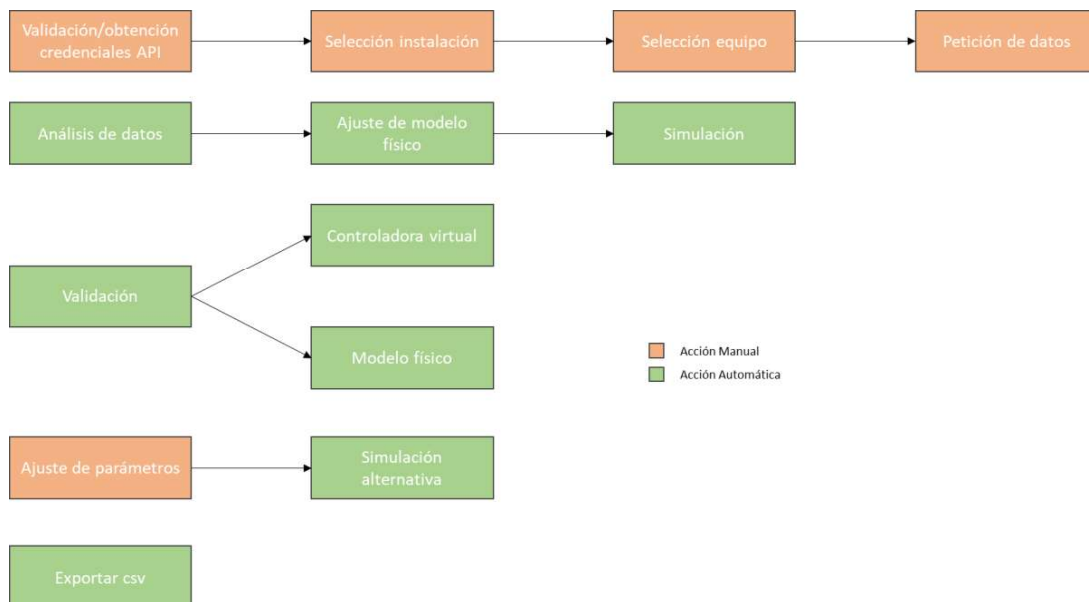
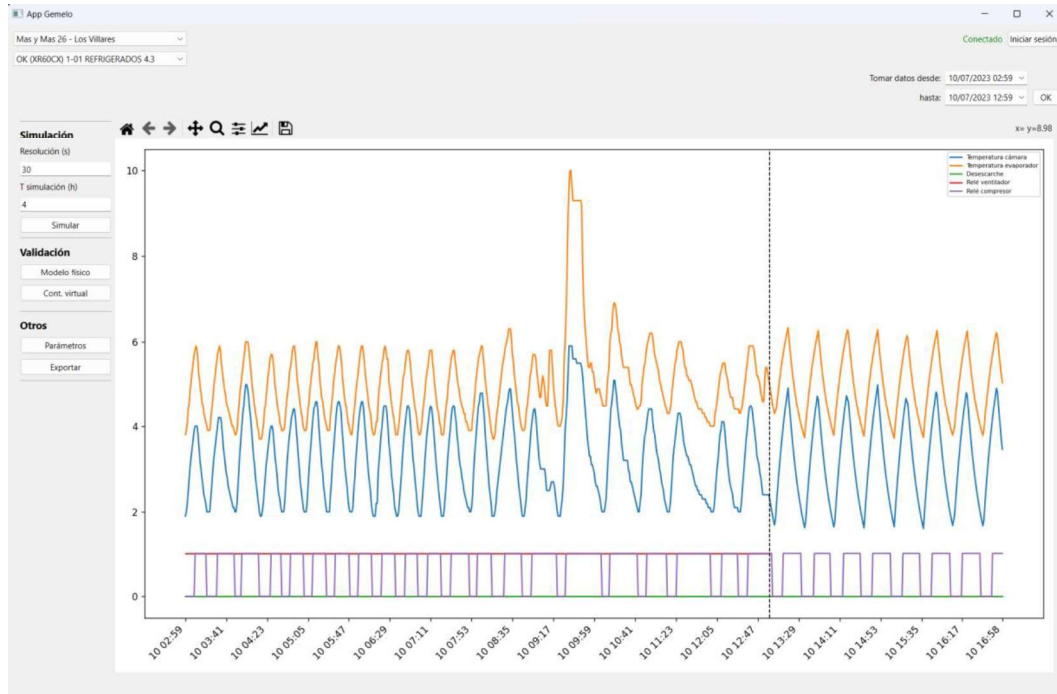


Ilustración 1 - Esquema del funcionamiento de la aplicación



## 4. Resultados

Se ha creado una interfaz con todas las funciones necesarias. El resultado es una aplicación completa con capacidades predictivas y en la que se pueden observar datos tanto reales como simulados y guardarlos para posterior análisis.



*Ilustración 2 - Interfaz de la aplicación. Mostrando datos reales y simulados*

El diseño es simple y fácil de entender. Además, se puede modificar en el futuro mediante PySide6.

## 5. Conclusiones

El producto final es una aplicación con todas las funciones de gestión, simulación y predicción requeridas por Kiconex. En el caso de que se necesite alguna nueva funcionalidad o un cambio en el diseño, se podrá modificar fácilmente mediante programación en Python con la librería PySide6.

## 6. Referencias

- [1] Kiconex. “Monitorización/Supervisión y Control de dispositivos Advanced Connectivity Solutions for Smart Installations (IoT) Industry 4.0”, Catálogo 2022.  
<https://www.intarcon.com/pdfs/ES/catalogo-kiconex-2022.pdf>
- [2] Intarcon. “EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN GAMA COMERCIAL”, Tarifa 2023.  
[https://www.intarcon.com/pdfs/ES/2023-tarifa-comercial-INTARCON-LQ.pdf?utm\\_source=analytics&utm\\_medium=contenidoabierto&utm\\_campaign=cp-web&utm\\_id=catalogos&utm\\_term=tarifa-comercial-2023](https://www.intarcon.com/pdfs/ES/2023-tarifa-comercial-INTARCON-LQ.pdf?utm_source=analytics&utm_medium=contenidoabierto&utm_campaign=cp-web&utm_id=catalogos&utm_term=tarifa-comercial-2023)

# **CREATION OF A DIGITAL TWIN FOR A COMMERCIAL REFRIGERATION FACILITY BASED ON THE INDUSTRY 4.0 PLATFORM KICONEX**

**Author: Dorao Sánchez-Campos, Gonzalo.**

Supervisor: Montanary Morales, Antonio.

Collaborating Entity: Kiconex

## **ABSTRACT**

This project consists of an application capable of managing Digital Twins of different refrigeration equipment. This virtual equipment will be used to simulate various situations and study the behavior of the machines without the need to use a real unit. The data obtained from the simulations will be used to optimize the installations and their operation.

**Keywords:** IoT, Machine Learning, Digital Twin, Refrigeration, Simulation, Optimization.

## **1. Introduction**

Kiconex is an Industry 4.0 platform that collects real-time data from installations that use refrigeration equipment.

This data is stored in their database and can be accessed through their web application or via their API. However, all the stored information is past information, as the platform does not have any prediction or simulation capabilities.

## **2. Project definition**

The objective of this project is to create digital twins of various commercial refrigeration equipment. Also, a tool with a graphical interface will be developed to manage these twins in a comfortable and intuitive manner.

Although a many different refrigeration units can be simulated, the scope has been focused on the equipment from the Más y Más supermarket in Los Villares, Jaén.

This installation consists of three different types of refrigeration units:

- XR60CX
- XW270K
- XM670K

### 3. The application

The tool will consist of a graphical interface designed with the Python library PySide6.

The application will have the following capabilities:

- Connection to the Kiconex API
  - Credential validation.
  - Obtaining equipment data.
  - Obtaining historical data.
- Data analysis
- Physical model tuning
- Simulation
- Validation
  - Of the virtual controller (comparing real and simulated output vs. real input)
  - Of the physical model (comparing real and simulated behavior over the same period of time)
- Manual parameter tuning
  - To test different controller configurations
  - To simulate situations that cannot be tested on real equipment.
- Export real and simulated data to csv format for further analysis.

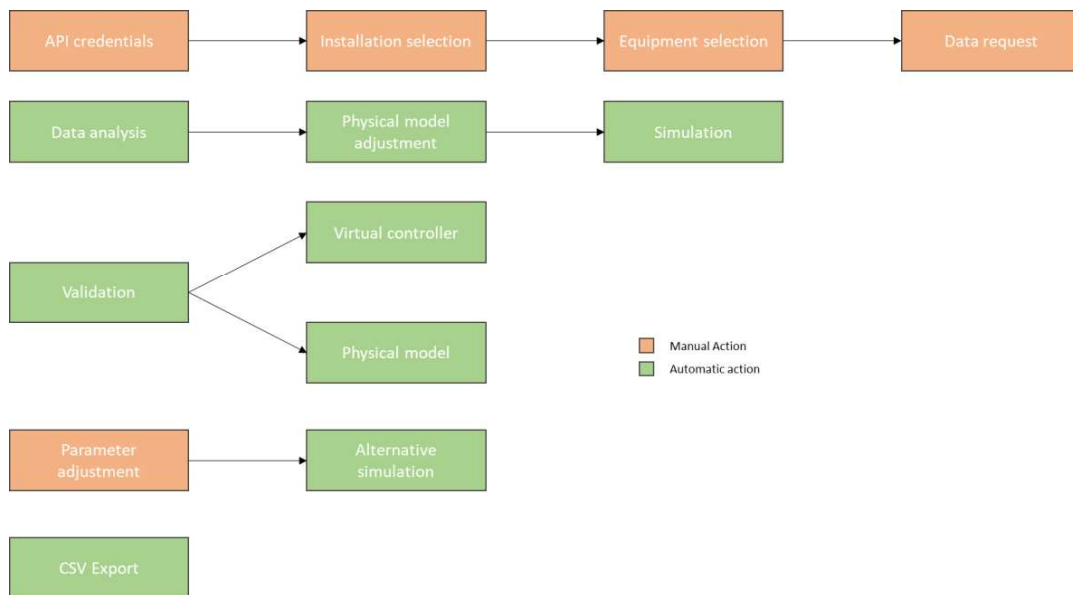


Illustration 3 - Diagram of the application's functions

## 4. Results

The interface that was developed has all the required functionalities. The result is a complete application with predictive capabilities in which both real and simulated data can be observed and stored for later analysis.

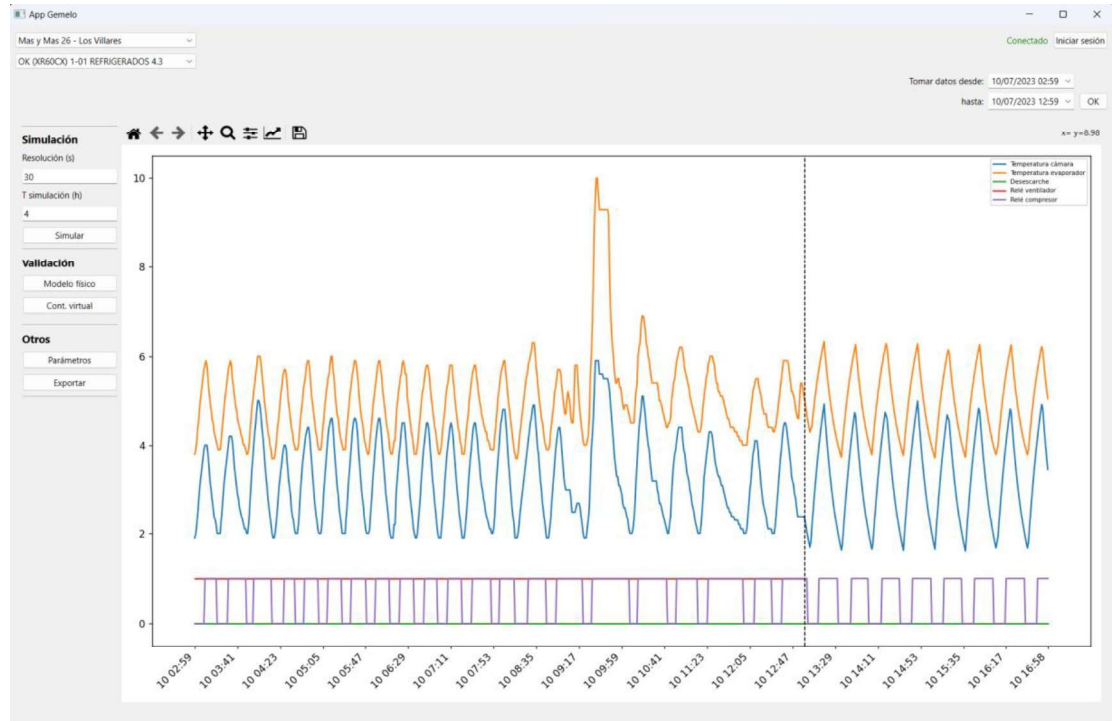


Illustration 4 - Application's interface. Showing real and simulated data.

## 5. Conclusions

The final product is an application with all the capabilities required by Kiconex. In case any new features or a change in the design is needed, it can be easily modified through Python programming using the PySide6 library.

## 6. References

- [1] Kiconex. “Monitorización/Supervisión y Control de dispositivos Advanced Connectivity Solutions for Smart Installations (IoT) Industry 4.0”, Catálogo 2022.  
<https://www.intarcon.com/pdfs/ES/catalogo-kiconex-2022.pdf>
- [2] Intarcon. “EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN GAMA COMERCIAL”, Tarifa 2023.  
[https://www.intarcon.com/pdfs/ES/2023-tarifa-comercial-INTARCON-LQ.pdf?utm\\_source=analytics&utm\\_medium=contenidoabierto&utm\\_campaign=cp-web&utm\\_id=catalogos&utm\\_term=tarifa-comercial-2023](https://www.intarcon.com/pdfs/ES/2023-tarifa-comercial-INTARCON-LQ.pdf?utm_source=analytics&utm_medium=contenidoabierto&utm_campaign=cp-web&utm_id=catalogos&utm_term=tarifa-comercial-2023)



## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>6</b>
1.1 Motivación del proyecto.....	6
1.2 Objetivos del proyecto.....	7
1.3 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible .....	8
<b>Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 3. Estado de la Cuestión.....</b>	<b>10</b>
<b>Capítulo 4. Definición del Trabajo .....</b>	<b>11</b>
4.1 Justificación.....	11
4.2 Objetivos .....	11
4.3 Metodología.....	12
4.4 Planificación y Estimación Económica .....	12
<b>Capítulo 5. La instalación .....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 6. Interfaz de Usuario (UI).....</b>	<b>14</b>
6.1 Conexión con la API .....	14
6.1.1 Inicio automático.....	15
6.1.2 Usuario y contraseña .....	15
6.1.3 Actualización de token.....	16
6.2 Elección de instalación y controles .....	17
6.3 Obtención de datos .....	19
6.4 Simulación.....	20
6.5 Validación .....	23
6.5.1 Controladora virtual .....	23
6.5.2 Modelo físico .....	24
6.6 Ajuste de parámetros .....	26
6.7 Exportar a Excel.....	27
<b>Capítulo 7. Controladoras.....</b>	<b>29</b>
7.1 Clase base.....	29

7.2	XR60CX.....	29
7.2.1	Funcionamiento.....	29
7.2.2	Señales.....	30
7.2.3	Parámetros.....	30
7.2.4	Memoria.....	31
7.3	XW270K.....	31
7.3.1	Funcionamiento.....	31
7.3.2	Señales.....	32
7.3.3	Parámetros.....	32
7.3.4	Memoria.....	34
7.4	XM670K.....	34
7.4.1	Funcionamiento.....	34
7.4.2	Señales.....	35
7.4.3	Parámetros.....	35
7.4.4	Memoria.....	35
<b>Capítulo 8.</b>	<b>Modelo físico.....</b>	<b>36</b>
8.1	Introducción.....	36
8.2	Análisis de curvas.....	36
8.2.1	Flancos.....	36
8.2.2	Límites.....	37
8.2.3	Análisis de forma de las curvas.....	38
8.2.4	Análisis final.....	39
8.3	Simulación.....	42
8.3.1	Actualización de memoria.....	42
8.3.2	Simulación por pasos.....	43
<b>Capítulo 9.</b>	<b>Análisis de Resultados.....</b>	<b>44</b>
<b>Capítulo 10.</b>	<b>Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>	<b>45</b>
<b>Capítulo 11.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO I –</b>	<b>Parámetros XR60CX.....</b>	<b>48</b>

<i>ANEXO II – Parámetros XW270K.....</i>	<i>49</i>
<i>ANEXO III – Parámetros XM670K.....</i>	<i>50</i>



## *Índice de figuras*

Ilustración 1 - Esquema del funcionamiento de la aplicación.....	8
Ilustración 2 - Interfaz de la aplicación. Mostrando datos reales y simulados.....	9
Illustration 3 - Diagram of the application's functions.....	11
Illustration 4 - Application's interface. Showing real and simulated data. ....	12
Ilustración 5 - Esquema de funcionamiento de Kiconex.....	10
Ilustración 6 - Esquema de la instalación Más y más, los Villares .....	13
Ilustración 7 - Posición inicial de la interfaz .....	14
Ilustración 8 - Usuario conectado.....	15
Ilustración 9 - Usuario desconectado.....	15
Ilustración 10 - Pantalla de inicio de sesión .....	15
Ilustración 11 - Validación de usuario.....	16
Ilustración 12 - Validación de token .....	16
Ilustración 13 - Apartado de instalación y control .....	17
Ilustración 14 - Elección de instalación.....	17
Ilustración 15 - Barra de carga .....	17
Ilustración 16 - Elección de control.....	18
Ilustración 17 - Algunas controladoras inicializadas.....	19
Ilustración 18 - Apartado de obtención de datos .....	19
Ilustración 19 - Representación de datos reales.....	20
Ilustración 20 - Apartado de simulación.....	20
Ilustración 21 - Resultado simulación (4h).....	21
Ilustración 22 - Resultado simulación (resolución 180s) .....	22
Ilustración 23 - Apartado validación .....	23
Ilustración 24 - Validación de la controladora virtual.....	24
Ilustración 25 - Validación del modelo físico .....	25
Ilustración 26 - Apartado otros.....	26

---

Ilustración 27 - Parámetros de una XR60CX .....	26
Ilustración 28 - Simulación alternativa con cambio en tiempo entre desescarches.....	27
Ilustración 29 - Guardando los resultados de una simulación .....	28
Ilustración 30 - Funcionamiento básico XR60CX .....	29
Ilustración 31 - Validación controladora XW270K .....	33
Ilustración 32 - Activación compresores en cascada.....	34
Ilustración 33 - Extracción de un ciclo completo .....	37
Ilustración 34 -Pairplot de análisis de curvas .....	40

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de este proyecto es la simulación de equipos típicos de refrigeración. La plataforma de *IoT*<sup>1</sup> de Kiconex tiene la capacidad de almacenar datos históricos de numerosos equipos frigoríficos y de otros tipos. Sin embargo, no posee la capacidad de simulación ni predicción.

Crear un gemelo digital de una instalación con equipos de refrigeración comerciales y cotidianos tiene la ventaja que va a tener una cobertura muy extensa en un gran número de instalaciones a nivel internacional.

El bajo coste de desarrollo de estos gemelos digitales junto a su capacidad de reutilización supone una ventaja significativa a la hora de realizar pruebas para optimización y diseño de instalaciones.

### ***1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO***

La creación de un gemelo digital puede solucionar la falta de capacidades predictivas mencionada anteriormente.

El gemelo digital tendrá una controladora simulada idéntica a la controladora real, solo que sin las restricciones de actuación en tiempo real. En cualquier momento, el gemelo digital puede adelantarse unos minutos en el futuro, prediciendo el estado de las entradas analógicas y digitales y calculando el estado correspondiente de sus salidas. De esta manera, se pueden prevenir las situaciones críticas mediante una actuación preventiva.

---

<sup>1</sup> Internet of Things. Internet de las Cosas.

## ***1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO***

El proyecto tiene la siguiente lista de objetivos tecnológicos, económicos y de calidad.

Ampliar el conocimiento sobre las mejores soluciones tecnológicas para las distintas tipologías de instalaciones.

Gracias a la simulación, se podrán probar los equipos en multitud de situaciones, obteniendo grandes cantidades de datos que podrán ser utilizados para analizar el desempeño de distintas tecnologías en diversas condiciones. De esta manera, se podrán identificar las tecnologías más eficientes y económicas para el diseño de futuras instalaciones de refrigeración comercial.

Mejorar el diseño de sistemas mediante la predicción de condiciones de funcionamiento singulares que den lugar a comportamientos anómalos.

La simulación de equipos en condiciones singulares permitirá optimizar la configuración real de los equipos para minimizar el riesgo de fallos y aumentar la eficiencia energética.

A su vez, estos datos pueden servir a los fabricantes para descubrir posibles situaciones críticas no contempladas anteriormente y mejorar sus equipos en la siguiente iteración de diseño.

Mejorar la seguridad de la cadena de frío a través de la simulación de fallos de funcionamiento.

La simulación permitirá identificar y corregir las posibles vulnerabilidades del sistema real y garantizar el correcto mantenimiento de la cadena de frío en todo momento.

### ***1.3 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE***

Este proyecto, como todos los que se encargan de la evolución de la industria, está alineado con varios [Objetivos de Desarrollo Sostenible \(ODS\)](#), pues una mayor eficiencia en los procesos industriales trae consigo numerosas repercusiones positivas.

#### Industria, innovación e infraestructura.

El objetivo de los gemelos digitales es facilitar el desarrollo de la industria. Se pueden realizar ensayos en modelos simulados antes de implementar las soluciones en el mundo real. De esta manera, se consiguen infraestructuras sólidas que ya han sido probadas en multitud de casos límite.

#### Producción y consumo responsables.

El uso de gemelos digitales permite estudiar en qué condiciones se debe trabajar para disminuir el consumo energético durante la refrigeración. Una simulación robusta descarta la necesidad de sobredimensionamiento de equipos, permitiendo una operación menos costosa y más eficiente.

#### Acción por el clima.

Uno de los objetivos actuales de Kiconex es colaborar con sistemas que contribuyan a la disminución del uso de refrigerantes altamente contaminantes. Gracias a la virtualización de los sistemas de refrigeración, se podrán probar los sistemas Waterloop de manera virtual antes de introducirlos en nuevas instalaciones o de reemplazar los equipos de instalaciones anteriores. Estos sistemas realizan la distribución del frío en la instalación a través de un anillo (loop) de agua glicolada a baja temperatura, por tanto, no contaminante. De esta manera se reduce considerablemente la carga total de refrigerante de la instalación frigorífica.

## Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

Las tecnologías utilizadas durante el proyecto son las siguientes:

Python: Se empleó este lenguaje de programación debido a su versatilidad y a la amplia comunidad de desarrollo. Su creciente capacidad de análisis gracias a las librerías y las mejoras en rendimiento de los últimos años están convirtiendo este lenguaje en uno de los preferidos para análisis de datos.

Las librerías más importantes empleadas fueron las siguientes:

- Matplotlib: Esta librería se utilizó para la representación gráfica de las diferentes visualizaciones de datos obtenidos.
- Pandas: Se empleó esta librería para la manipulación y procesamiento de datos, permitiendo realizar operaciones eficientes en la información recopilada.
- Scipy: Esta librería fue utilizada para llevar a cabo el análisis de datos, ofreciendo una amplia gama de algoritmos y funciones estadísticas.
- Seaborn: Se usa esta librería para representación de datos estadísticos.
- PySide6: Se utilizó esta herramienta para la creación de la interfaz gráfica interactiva, que facilitó la interacción con el gemelo digital.

API Kiconex: Se hizo uso de esta API para obtener datos históricos y en tiempo real de la instalación de refrigeración comercial, integrando así la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

## Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Kiconex es un sistema de supervisión y control remoto para instalaciones y/o equipos de diversa índole: climatización y frío industrial, energía fotovoltaica, medidores de consumos eléctricos, instalaciones de iluminación, ACS, etc. Está basado en almacenamiento de datos en la nube y está compuesto por una parte hardware que captura los datos y los envía a la nube mediante VPN (KiBox) y la propia plataforma de control y supervisión (myKiconex).

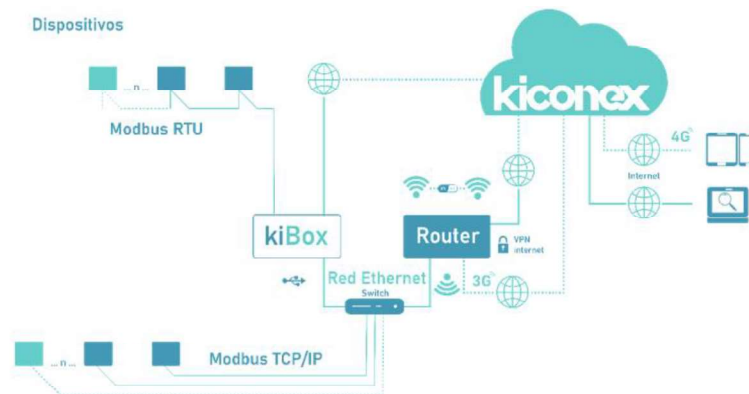


Ilustración 5 - Esquema de funcionamiento de Kiconex

Estos datos son mostrados en la plataforma myKiconex, desde la cual es posible gestionar y monitorizar la instalación de forma remota. Los datos pueden ser representados a través de gráficas, e incluso pueden descargarse para realizar un estudio de estos.

Sin embargo, Kiconex no tiene capacidad de simulación. A pesar de su capacidad de almacenamiento de datos y control remoto, carece de las capacidades predictivas necesarias para anticipar posibles situaciones no deseadas.

Los equipos de refrigeración utilizados en las instalaciones que monitoriza Kiconex son variados y no existe un gemelo digital válido para todos ellos. Para asegurar que la integración con la plataforma es correcta, se debe hacer un modelo virtual de cada equipo de refrigeración de manera individual.

## **Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO**

### **4.1 JUSTIFICACIÓN**

Estos gemelos digitales servirán para mejorar la planificación de instalaciones de refrigeración, reduciendo el número de equipos necesarios, su capacidad frigorífica y su consumo, repercutiendo así tanto en los costes de inversión iniciales como en los costes de operación.

Gracias a las capacidades de simulación, se podrá estimar la configuración óptima de los equipos y los parámetros de los mismos para reducir el consumo y el desgaste de los equipos a la vez que se cumplen los objetivos de refrigeración.

Además, se podrá estudiar el impacto de anomalías o averías y realizar un plan de prevención o actuación acorde a los resultados de la simulación.

Los gemelos digitales están ganando popularidad en los últimos años gracias a la capacidad de experimentar con una copia del equipo real sin tener que incurrir en gastos adicionales por cada prueba ni poner en riesgo la instalación o las personas.

### **4.2 OBJETIVOS**

Se programará la lógica de 3 controladoras virtuales y se simulará su respuesta física. Se integrará todo ello en una interfaz gráfica intuitiva en la que se puedan ver los valores reales y simulados, así como exportar dichos valores a Excel para su posterior análisis.

La interacción del usuario con estos gemelos digitales será mediante una interfaz gráfica simple y comprensible.



### **4.3 METODOLOGÍA**

El trabajo se dividirá en las siguientes fases:

1. Desarrollo de gemelos virtuales de controladores comunes de equipos frigoríficos. Se modelizará el funcionamiento de un servicio frigorífico y se simulará el comportamiento de sus entradas y salidas.
2. Definición y construcción virtual de una instalación de refrigeración comercial tipo, como gemelo digital de una instalación real.
3. Validación del modelo a través del ensayo de la instalación virtual y comparación con los resultados de la instalación real.

La programación se realizará de manera modular para permitir la reutilización del código en otros equipos con el menor número de modificaciones.

### **4.4 PLANIFICACIÓN Y ESTIMACIÓN ECONÓMICA**

El desarrollo del proyecto comienza en enero de 2023 y finaliza en julio de 2023.

Se realiza un gemelo digital de la instalación Más y Más los Villares, un supermercado situado en Jaén. Este supermercado tiene equipos frigoríficos gobernados por 3 tipos de controladoras:

- XR60CX
- XW270K
- XM670K

Durante enero y febrero, se realiza el estudio del funcionamiento de las controladoras y su respuesta temporal en el entorno.

En marzo y abril se programan las controladoras virtuales y la simulación física.

Desde mayo hasta julio se programa la interfaz y se añaden funcionalidades adicionales como posibilidad de comparar la respuesta real con la simulada con el propósito de verificar el buen funcionamiento del modelo o la exportación de datos a herramientas externas.

El proyecto no supone ningún coste para la empresa.

## Capítulo 5. LA INSTALACIÓN

La instalación que se va a simular es un supermercado de la cadena Más y Más, en Los Villares, Jaén. El esquema de la instalación es el siguiente:



Ilustración 6 - Esquema de la instalación Más y más, los Villares. Kiconex.

Cuenta con 6 equipos de refrigeración (5 refrigerados + frutas), 2 de congelados, 4 vitrinas refrigeradas y cuatro cámaras de almacenamiento (3 refrigeradas y 1 de congelados). Además, cuenta con dos aeroenfriadores Sigilus, de la marca INTARCON, que proporcionan el agua utilizada por todo el sistema Waterloop. En el momento de realizar este trabajo, se está comenzando la instalación de un tercer aeroenfriador para cumplir con los requisitos de frío.

## Capítulo 6. INTERFAZ DE USUARIO (UI)

La interfaz de usuario es el elemento que permite la comunicación entre el usuario, la API y los gemelos digitales. Desde esta interfaz se pueden controlar todos los aspectos de visualización y simulación de la aplicación.

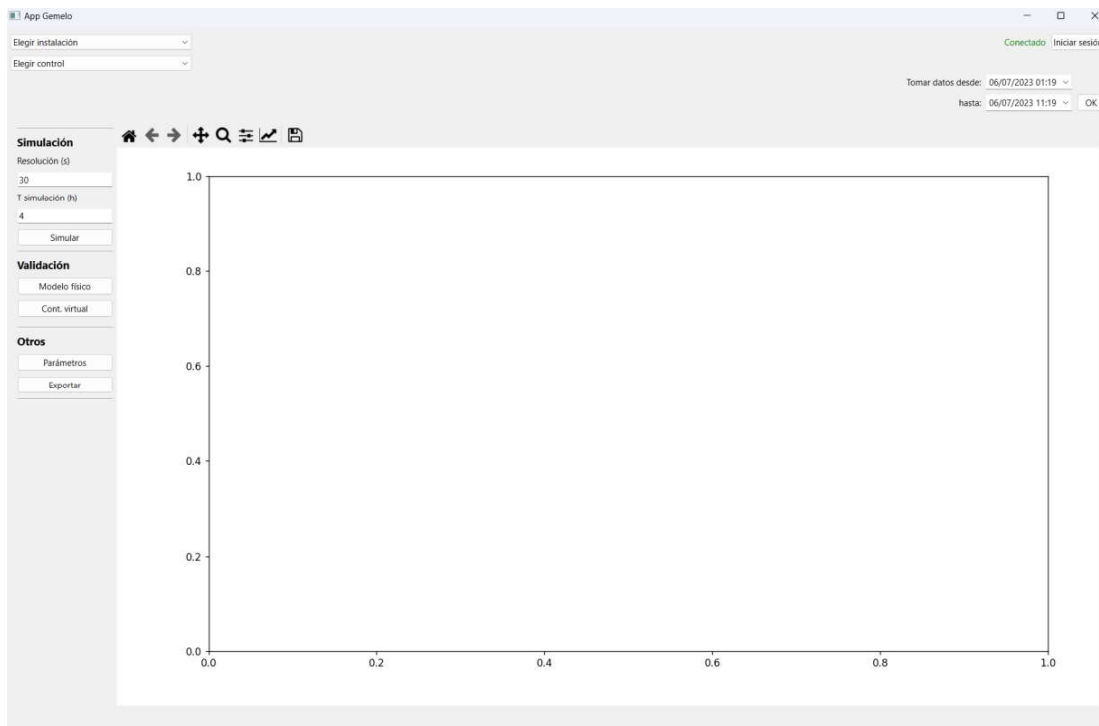


Ilustración 7 - Posición inicial de la interfaz

### 6.1 CONEXIÓN CON LA API

Hay varias formas de establecer la conexión con la API (*Application Programming Interface*). Esta API permite al usuario interactuar con el back-end de Kiconex y con los gemelos digitales que se ejecutan en el entorno local.

### 6.1.1 INICIO AUTOMÁTICO

Para usar la aplicación, se debe tener acceso a la API de Kiconex para obtener los datos de las controladoras y sus registros históricos. Para ello, se necesita un token de conexión. Al iniciarse, la aplicación busca un archivo llamado token.txt en la carpeta desde la que se ejecuta. En el caso de existir el archivo, se hace una consulta de prueba a la API con dicho token y, en caso de ser válido, se da la conexión como establecida y se guarda el token. En ese momento, el usuario aparecerá como conectado en la parte superior derecha.



*Ilustración 8 - Usuario conectado*

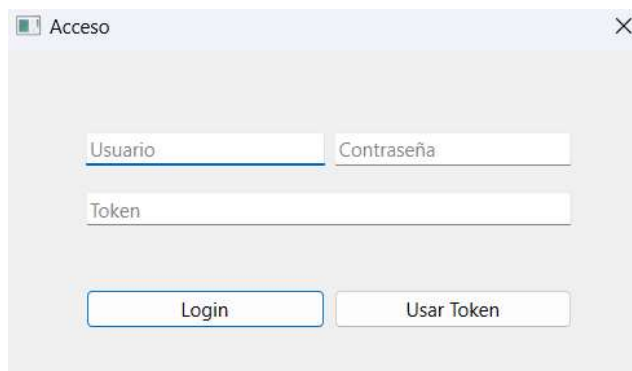
En caso de ser un token inválido, se mostrará el estado de desconectado y se tendrá que obtener el token de otra manera.



*Ilustración 9 - Usuario desconectado*

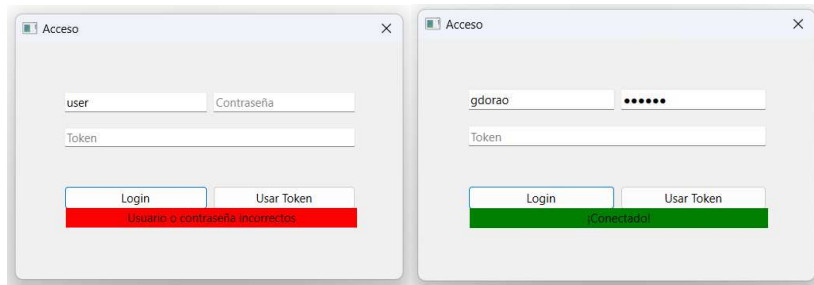
### 6.1.2 USUARIO Y CONTRASEÑA

Tras pulsar el botón de *Iniciar sesión*, se pueden introducir un usuario y contraseña. Al pulsar en *Login*, estas credenciales se envían a la API para obtener un token.



*Ilustración 10 - Pantalla de inicio de sesión*

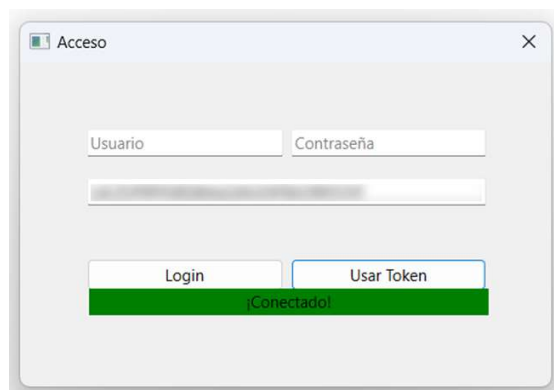
Las credenciales se validan y, en caso de ser un usuario y contraseña válidos, se usará este token para la conexión y se guardará en token.txt. En caso contrario, dará error de credenciales y tendrá que intentarse de nuevo.



*Ilustración 11 - Validación de usuario*

### 6.1.3 ACTUALIZACIÓN DE TOKEN

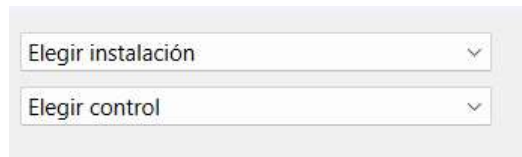
Si se tiene un token guardado en otro lugar que no sea token.txt, se puede emplear este token desde la misma ventana. En lugar de introducir usuario y contraseña, se introduce el token y se pulsa *Usar Token*. Este token será validado y guardado o descartado siguiendo el mismo método que en el caso anterior.



*Ilustración 12 - Validación de token*

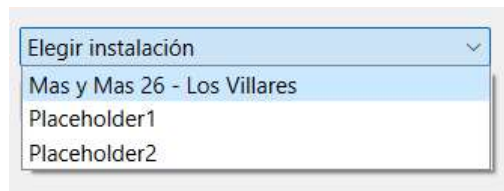
## **6.2 ELECCIÓN DE INSTALACIÓN Y CONTROLES**

Una vez establecida la conexión con la API, se debe seleccionar una instalación y un control de esta para obtener sus datos. Esto se realiza en los desplegados de la parte superior izquierda.



*Ilustración 13 - Apartado de instalación y control*

Lo primero que se debe hacer es seleccionar una instalación. En este caso, solo se ha implementado la instalación de Más y Más los Villares, pero la aplicación tiene la capacidad de expandir la lista de instalaciones.



*Ilustración 14 - Elección de instalación*

Una vez seleccionada la instalación que se va a simular, la aplicación pide a la API los datos sobre esta instalación. Recibirá la información de todas las controladoras de la instalación y las mostrará en el desplegable de *Elegir control*.

Mientras se piden los datos, aparecerá una barra de carga en la parte inferior izquierda.



*Ilustración 15 - Barra de carga*

Esta barra de carga aparecerá siempre que se inicie un proceso que dure más de un par de segundos. Esto incluye todas las operaciones de petición de datos y simulación, pero no la representación de datos.

Una vez se han obtenido las controladoras, aparecerá el tipo de controladora junto a su nombre descriptivo en el desplegable.

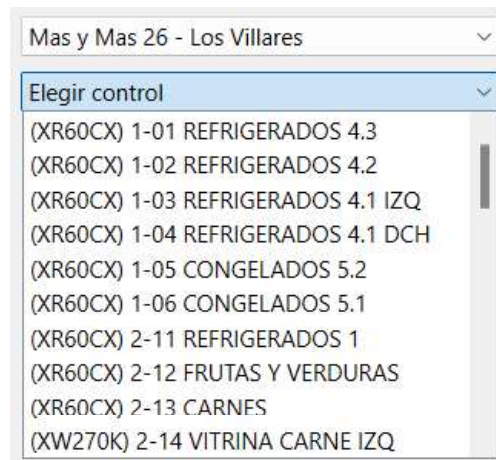
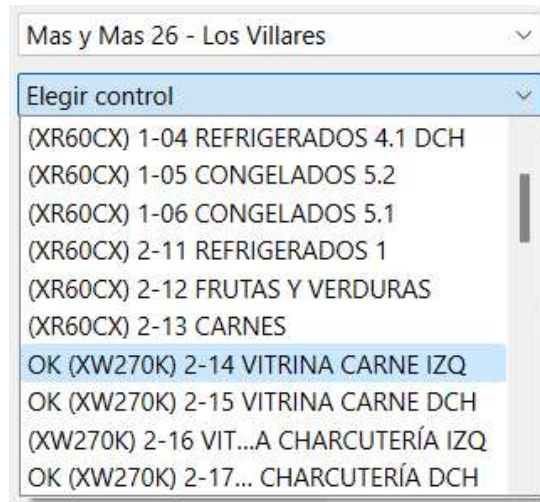


Ilustración 16 - Elección de control

Esto indica que la aplicación ha recibido correctamente los datos de la API y se están inicializando las controladoras virtuales de cada uno de los equipos.

Para terminar la actualización, la aplicación pide a la API los parámetros de cada controladora. Esta operación se realiza en paralelo con *threading*, de manera que se pueden realizar varias peticiones al mismo tiempo para mejorar el tiempo de respuesta de la consulta. Con *threading*, se crean varios *threads* o hilos en el procesador que pueden ser ejecutados de manera paralela. De esta manera, se pueden pedir datos y esperar la respuesta del servidor sin bloquear la ejecución de resto de peticiones ni del código principal.

Una vez la controladora esté completamente inicializada, se mostrará un OK al principio de su nombre.



*Ilustración 17 - Algunas controladoras inicializadas*

Debido al paralelismo de esta operación, el orden en el que las controladoras están listas no será necesariamente el orden en el que se muestran, como se puede ver en la Ilustración 17.

Una vez se ha elegido una controladora totalmente inicializada, se puede proceder al siguiente paso.

### **6.3 OBTENCIÓN DE DATOS**

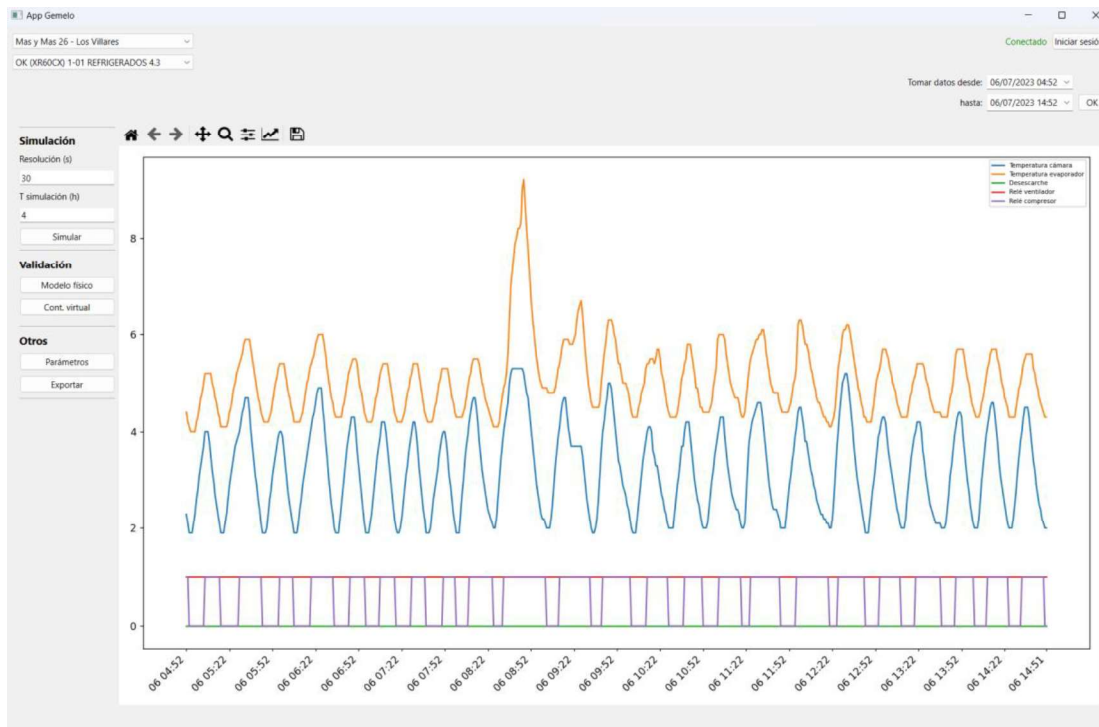
Debajo del botón de iniciar sesión se encuentra el apartado de obtención de datos.



*Ilustración 18 - Apartado de obtención de datos*

Por defecto, se toman 10h de datos desde la hora actual, pero esto es configurable gracias a los desplegados de fecha y hora. Una vez se presiona OK, se realiza la petición a la API. Los datos procedentes de la API se representan en la interfaz junto a una leyenda.





*Ilustración 19 - Representación de datos reales*

## 6.4 SIMULACIÓN

Al pedir los datos a la API, se ejecuta en paralelo el ajuste del modelo físico. Este ajuste se explica en más detalle en el Capítulo 8. . Gracias a esta acción en paralelo, se puede ejecutar la simulación en cuanto se tengan los datos reales representados en pantalla.

**Simulación**

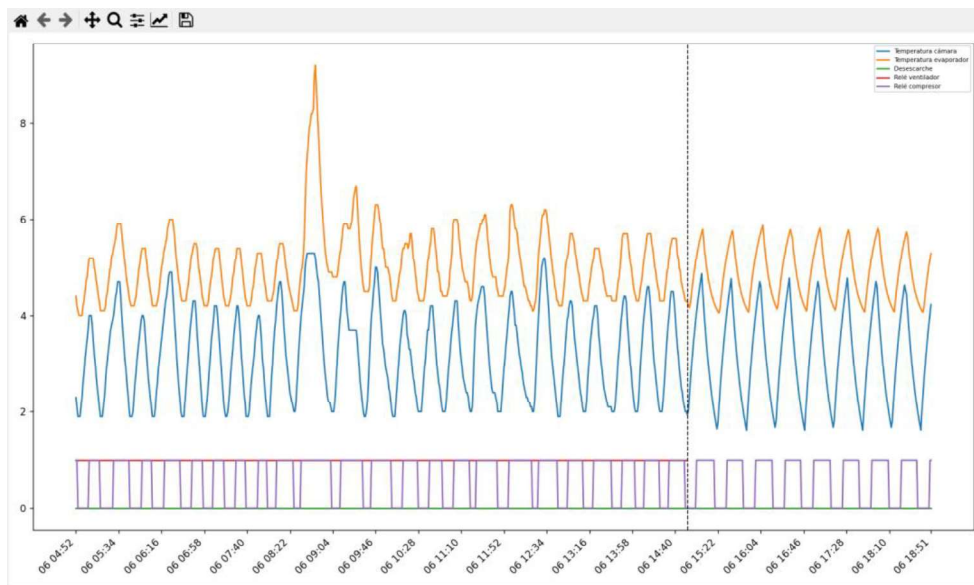
Resolución (s)

T simulación (h)

*Ilustración 20 - Apartado de simulación*

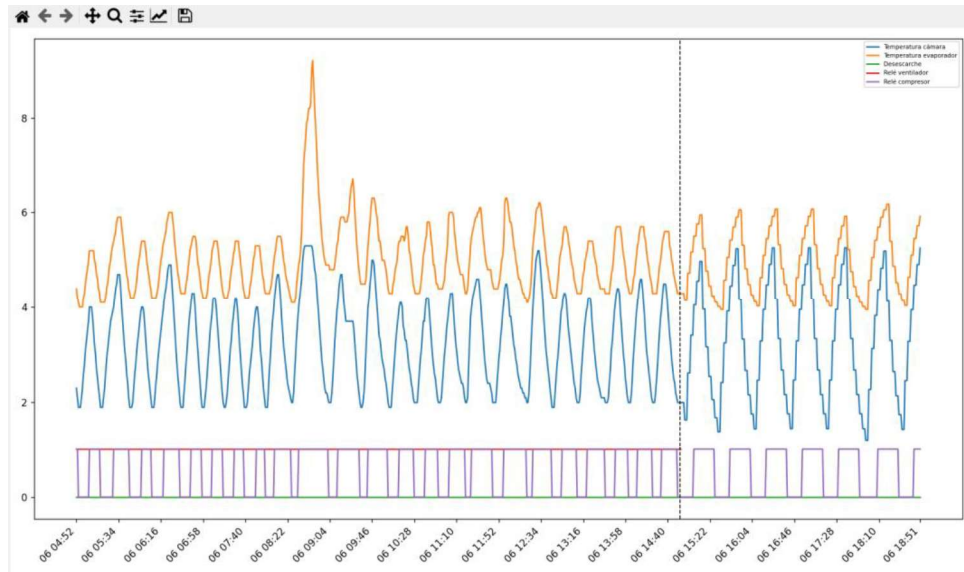
El apartado de simulación tiene varias opciones. La primera es la resolución de la simulación en segundos. Los datos reales se han tomado con un periodo de 60s, pero la simulación puede ejecutarse con pasos más cortos para asegurar la fidelidad o más largos para acelerar la simulación y reducir la carga computacional en dispositivos de prestaciones bajas.

El segundo parámetro que se puede ajustar en la simulación es el tiempo simulado. Indica cuantas horas en el futuro se quieren simular. No hay un límite para dicho valor, pero la visualización será difícil si se simulan más de 12h. Sin embargo, gracias a la capacidad de la aplicación para exportar estas gráficas a Excel, se puede realizar un análisis posterior de simulaciones extensas.



*Ilustración 21 - Resultado simulación (4h)*

Los datos simulados se muestran a continuación de los reales separados por una línea vertical discontinua. De esta manera se puede ver que existe una continuidad entre el equipo real y el simulado.



*Ilustración 22 - Resultado simulación (resolución 180s)*

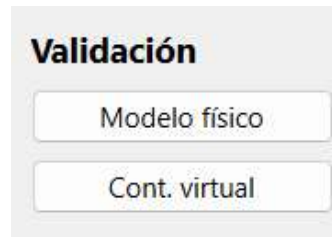
Una simulación con pasos de 180s es notablemente más rápida, pero da lugar a una respuesta por escalones y es menos fiel a la realidad. Aunque los datos se registren cada minuto en la base de datos de Kiconex, la controladora real mide con una frecuencia mucho mayor y su respuesta no tarda más de unos segundos. Un paso de larga duración en la simulación influye en el retardo que tiene la controladora virtual y por lo tanto provocará picos más pronunciados, como se puede ver en la Ilustración 22.

Además, se puede utilizar la barra de herramientas nativa de Matplotlib para hacer zoom en las curvas, mover el gráfico en su totalidad o incluso activar o desactivar curvas según las necesidades del usuario.

La simulación empezará desde el momento en el que acaban los datos pedidos a la API. Estos pueden acabar en el momento actual o en cualquier punto del pasado del que se tengan datos.

## **6.5 VALIDACIÓN**

El resultado de la simulación puede ser un buen indicador de si el modelo físico y la controladora virtual están funcionando de manera correcta. Sin embargo, comparar los datos del pasado con los datos del futuro simulados no son una garantía del correcto funcionamiento del gemelo digital. Es por esto por lo que se han implementado dos funciones adicionales para comprobar la veracidad de los resultados.

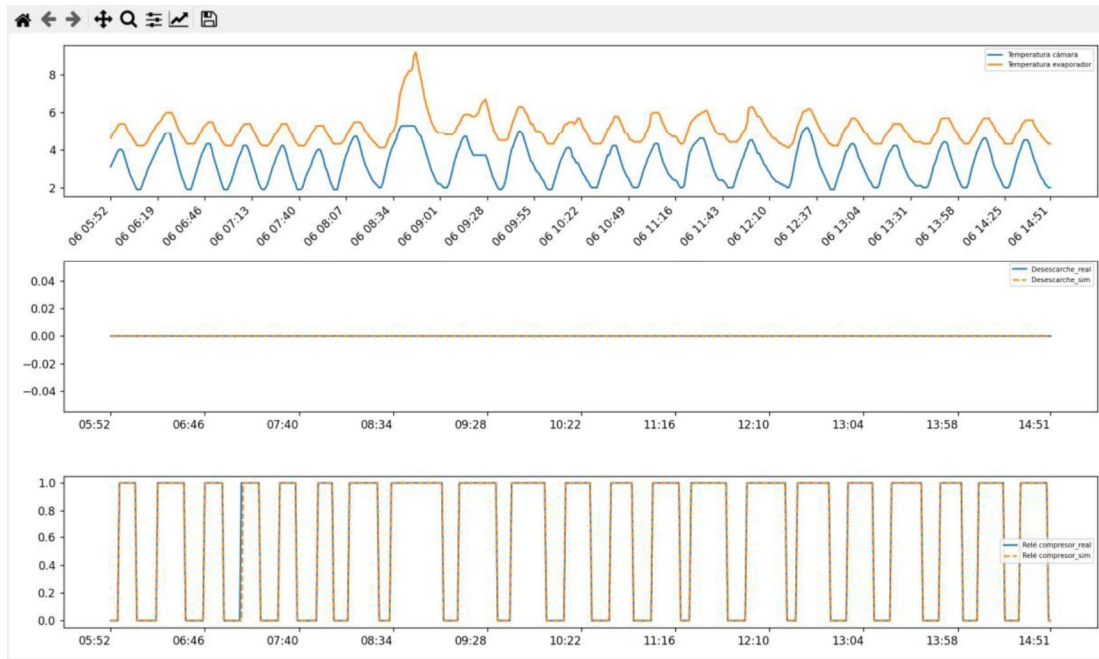


*Ilustración 23 - Apartado validación*

### **6.5.1 CONTROLADORA VIRTUAL**

Para comprobar que la controladora virtual ha sido configurada correctamente, se realiza la validación pulsando el botón *Cont. Virtual*. Al comenzar la validación, los datos obtenidos previamente de la API se dividirán en dos. Una primera parte tendrá una duración igual a un ciclo completo de desescarhe (o 1h si no tiene desescarhe activado). Estos datos se utilizan para copiar el estado de la controladora en ese momento. El resto de los datos se utilizan para compararlos con la simulación que se realiza.

Se recorren los datos de entrada reales, obteniendo la salida de la controladora virtual y comparándola con la salida de la controladora real en ese momento. Con ello se obtiene un gráfico en el que se pueden ver las entradas reales y un gráfico más por cada salida que tenga la controladora. En la mayoría de los casos, serán un desescarhe y un compresor.

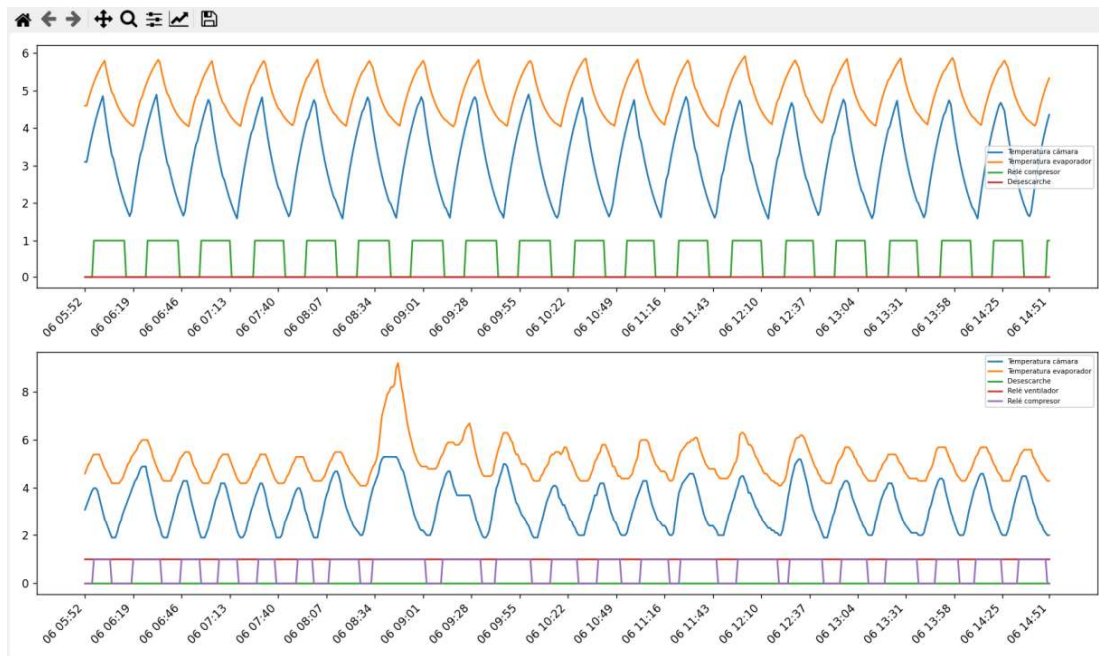


*Ilustración 24 - Validación de la controladora virtual*

Las salidas reales se representan como una línea azul continua, mientras que los simulados son una línea naranja discontinua. La coincidencia entre ambas es prácticamente perfecta.

## 6.5.2 MODELO FÍSICO

Una vez la controladora virtual ha sido validada, se puede validar el modelo físico mediante una simulación completa. Se actualiza el estado de la controladora virtual de la misma manera que antes y se comparan los datos simulados con los datos reales.



*Ilustración 25 - Validación del modelo físico*

Se ve una discrepancia entre las 8:34 y las 9:01, probablemente debida a que la puerta del refrigerador fue abierta durante un periodo largo de tiempo para introducir o sacar alimentos. Aparte de esa diferencia, el modelo parece ser correcto. La temperatura del evaporador oscila entre 4°C y 6°C y la de la cámara entre 2°C y 5°C aproximadamente.

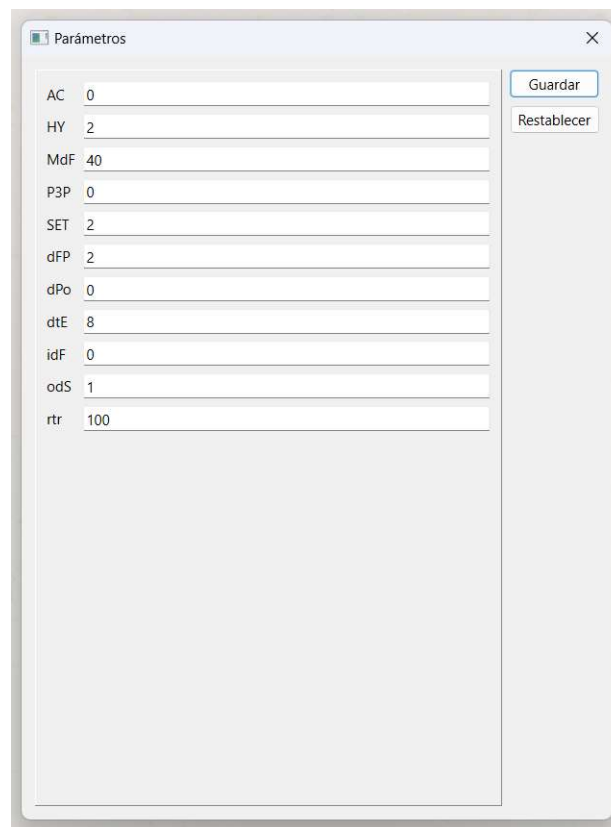
## 6.6 AJUSTE DE PARÁMETROS

Una de las opciones dentro del apartado de *Otros* es el ajuste de parámetros.



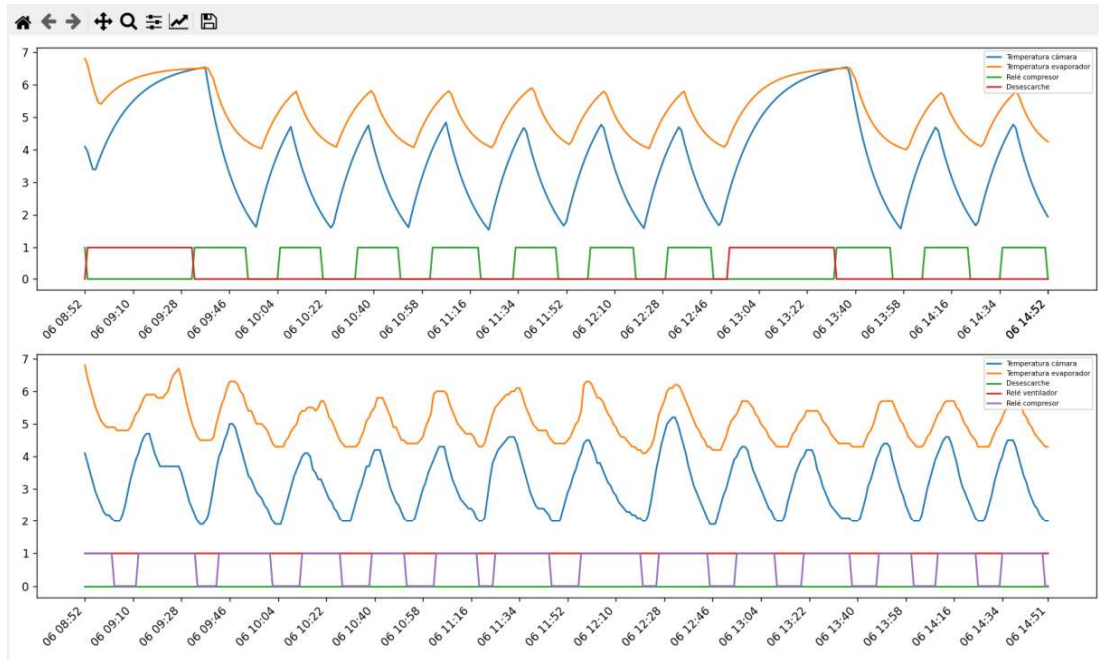
*Ilustración 26 - Apartado otros*

Al seleccionar *Parámetros*, se abrirá una pestaña con todos los parámetros de la controladora virtual.



*Ilustración 27 - Parámetros de una XR60CX*

Estos parámetros se pueden modificar para cambiar las condiciones de simulación. El botón de *Restablecer* devuelve a los parámetros sus valores originales obtenidos de la API.



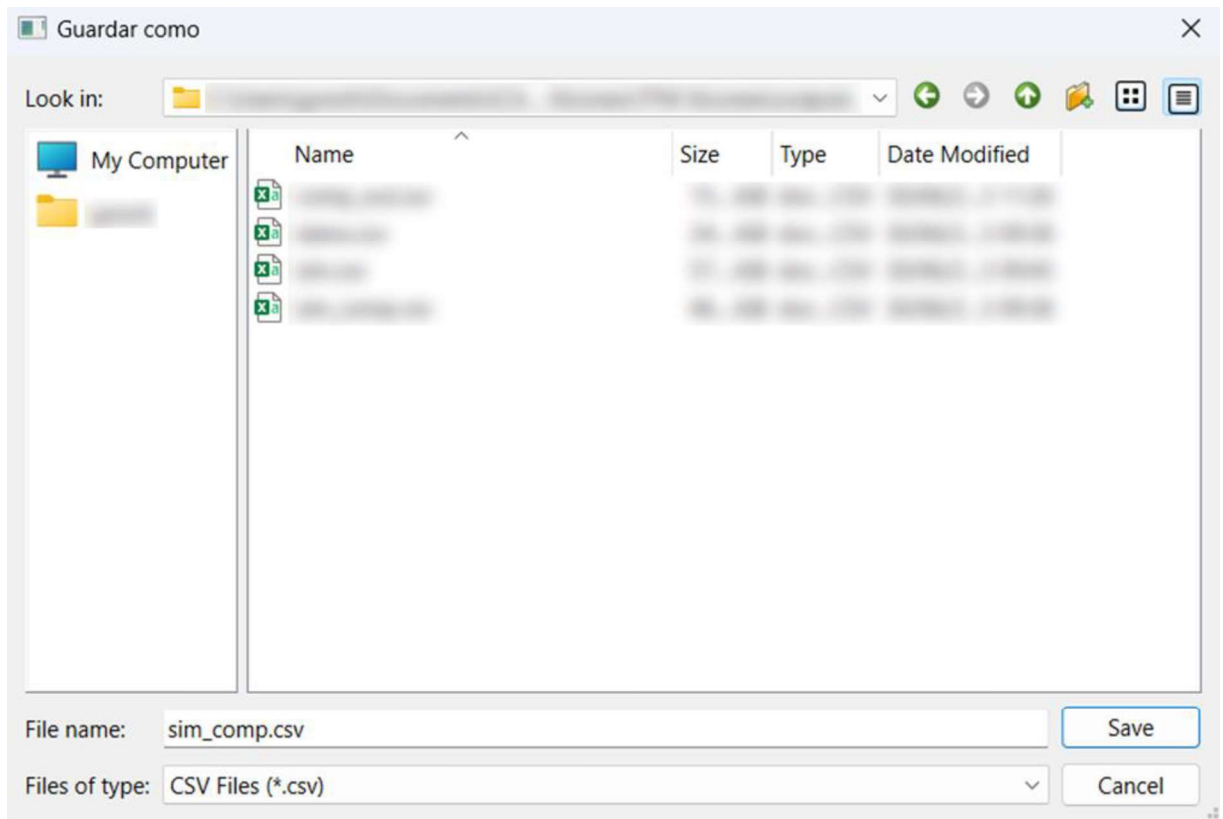
*Ilustración 28 - Simulación alternativa con cambio en tiempo entre desescarches*

En la Ilustración 28 podemos ver la misma simulación que se vio en la Ilustración 25, solo que con el desescarche activado cada 4h.

## **6.7 EXPORTAR A EXCEL**

La segunda opción del apartado *Otros* es la de exportar la gráfica actual a Excel. Tras pulsar el botón Exportar, se abrirá un diálogo pidiendo el nombre del archivo y la ruta en la que se va a guardar.





*Ilustración 29 - Guardando los resultados de una simulación*

El archivo se guardará como un .csv y podrá analizarse posteriormente en otros programas como Excel.

Según la gráfica elegida, se pueden guardar:

- Los datos reales obtenidos de la API.
- Los datos reales junto al tramo simulado.
- La verificación de la controladora virtual. Datos reales vs Simulados.
- La verificación del modelo físico. Datos reales vs. Simulados.

## Capítulo 7. CONTROLADORAS

### 7.1 CLASE BASE

Todas las controladoras que se han virtualizado tienen unos atributos y unas funciones comunes. Es por ello que se ha programado una clase base llamada Controladora que tendrá los métodos y los campos básicos de toda controladora virtual.

Además, hay algunos métodos que existen en todas las controladoras, pero cuyo funcionamiento es distinto según el tipo de controladora. Estos métodos son sobrescritos en cada subclase.

### 7.2 XR60CX

La controladora XR60CX se utiliza para los armarios refrigerados del supermercado. Hay 9 en total. Sirven tanto para refrigerados como para congelados, sin bajar nunca de los  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### 7.2.1 FUNCIONAMIENTO

Cuando la temperatura medida supera la consigna (SET) más un diferencial llamado histéresis (HY), se activa el compresor. El compresor se mantiene activado hasta que la temperatura medida vuelve a ser menor que SET o hasta que comience un desescarche.

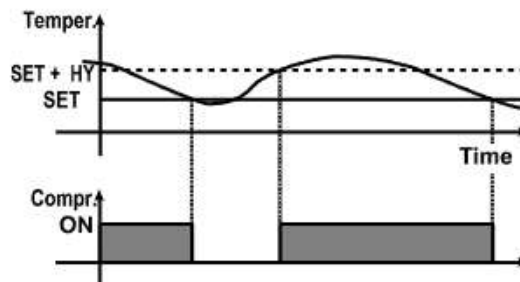


Ilustración 30 - Funcionamiento básico XR60CX. Manual XR60CX Dixell.

### 7.2.2 SEÑALES

Entradas:

- Temperatura sonda 1 (Sonda cámara refrigeración)
- Temperatura sonda 2 (Sonda evaporador)
- Temperatura sonda 3 (Opcional. Sonda condensador)
- Temperatura sonda 4 (Opcional. No utilizada en ningún equipo)

Salidas:

- Compresor
- Desescarche (Por resistencia eléctrica o gas caliente)
- Ventilador

### 7.2.3 PARÁMETROS

La controladora real tiene decenas de parámetros. Se puede consultar la lista completa en el ANEXO I – Parámetros XR60CX. Para el gemelo digital, se han seleccionado solo los parámetros más relevantes:

- SET. (Set point). Consigna de temperatura.
- HY. (Diferencial). Diferencial de intervención para el set point.
- idF (Tiempo entre desescarches). La controladora espera “idF” horas desde el inicio de un desescarche hasta el inicio del siguiente.
- MdF (Máxima duración primer desescarche). Tiempo máximo en minutos desde que empieza un desescarche hasta que finaliza.
- dFP (Selección sonda para desescarche). Elección de sonda para el parámetro “dtE”. Controla fin de desescarche por temperatura máxima.
- dtE (Temperatura de fin de desescarche). Si la medida de la sonda elegida en “dFP” supera este valor, se aborta el desescarche.
- odS (Retardo de las salidas en el encendido). Desde que se enciende el equipo, deben pasar al menos “odS” minutos antes de que se puedan activar las salidas.

- dPo (Realizar desescarche al inicio). Booleano. Comienza la operación de la controladora con un desescarche o espera “idF” horas.
- AC (Retardo anti-ciclos cortos). Intervalo en minutos entre la parada y el siguiente arranque del compresor
- rtr (Porcentaje de P1-P2 para regulación). Permite definir la regulación según el porcentaje de las temperaturas medidas por la primera y la segunda sonda según la fórmula  $(rtr(P1-P2)/100 + P2)$
- P3P. (Presencia tercera sonda). Booleano.

#### **7.2.4 MEMORIA**

La clase XR60CX tiene un objeto de memoria que almacena el estado de la controladora. En ella se guardan los últimos valores de las entradas, los últimos valores de las salidas, el momento en el que se modificó cada salida por última vez (para poder saber cuándo parar un desescarche, cuando iniciar el siguiente desescarche o cuando un ciclo de enfriamiento se considera corto), el tiempo actual y el momento en el que se arrancó el equipo.

### **7.3 XW270K**

La controladora XW270K se utiliza para las vitrinas de carnicería y charcutería. Hay 4 en total. Su temperatura normal no baja de los 0°C.

#### **7.3.1 FUNCIONAMIENTO**

El funcionamiento de todas las controladoras que se van a virtualizar es similar. La peculiaridad de los XW270K es que cuentan con una función de calefacción para no bajar de una temperatura mínima. Se utiliza un parámetro SAA, que funciona como una consigna de temperatura nominal y que por defecto utiliza el mismo valor que SET. Si la temperatura baja de SAA – HY en algún momento, se activa el calefactor hasta que la temperatura vuelve a ser mayor que SAA. No hay más diferencias significativas en funcionamiento con respecto a las XR60CX

### **7.3.2 SEÑALES**

Tiene una estructura muy similar a la XR60CX.

Entradas:

- Temperatura cámara
- Temperatura evaporador
- Temperatura condensación. (No utilizada)

Salidas:

- Relé desescarche 1/2
- Relé frío/compresor 1/2
- Relé ventilador evaporador
- Relé ventilador compresor

Este tipo de controladoras tiene dos relés para desescarche y compresor. Esto permite tener en funcionamiento uno o dos equipos en paralelo según la demanda de refrigeración. En esta instalación solo se está utilizando un relé de cada tipo.

### **7.3.3 PARÁMETROS**

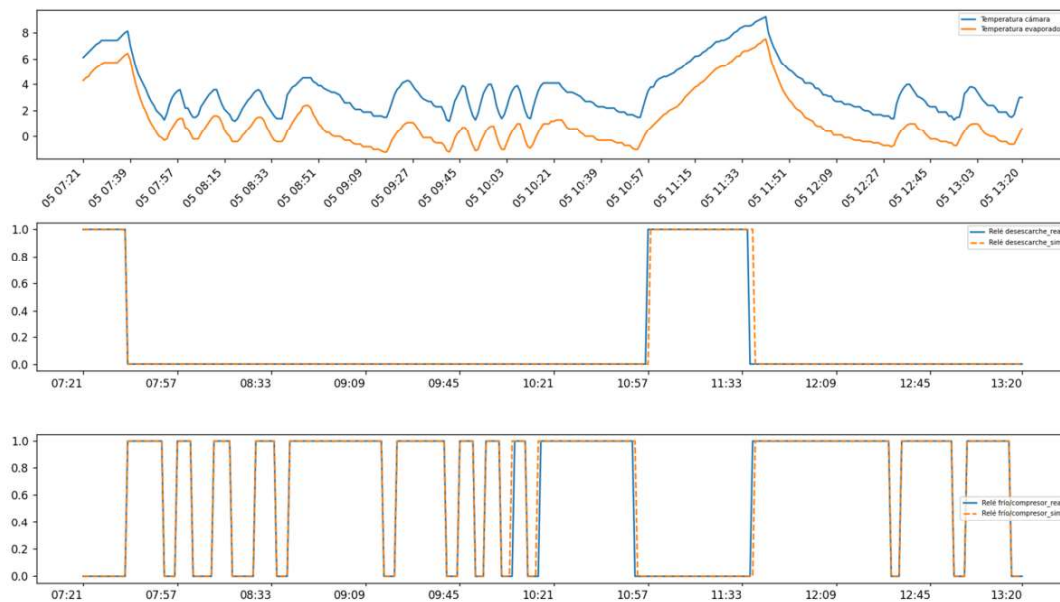
La controladora real tiene decenas de parámetros. Se puede consultar la lista completa en el ANEXO II – Parámetros XW270K. Para el gemelo digital, se han seleccionado aquellos parámetros relevantes:

- SET
- Hy
- idF
- MdF
- dtE
- odS
- dPo

- AC

Las abreviaciones y el funcionamiento de todos estos parámetros son idénticos al de la XR60CX. No se ha incluido el parámetro SAA puesto que no se usa calefacción en ningún equipo de la instalación.

Por la manera en la que está configurada la API de Kiconex, no es posible adquirir el parámetro SET directamente en este tipo de equipos. En vez de ello, se piden datos de las entradas y salidas y se analiza en qué valor el compresor pasa de encendido a apagado. Esto ocurre cuando la temperatura de la cámara ha caído por debajo de SET. Se debe ignorar aquellas veces en las que el compresor se apaga por el inicio de un desescarche. Una vez se tienen suficientes instancias en las que el compresor se apaga, se calcula la media, se retiran aquellas que se desvíen más de  $0.5^{\circ}\text{C}$  y se redondea la temperatura resultante a la décima. Este número obtenido es el parámetro SET.



*Ilustración 31 - Validación controladora XW270K*

Tras validar el funcionamiento de una controladora virtual de este tipo, se puede ver que el comportamiento de la controladora virtual es prácticamente idéntico al de la real. La prueba se ha repetido numerosas veces con distintas muestras de distintas controladoras y el

resultado ha sido mayormente satisfactorio, por lo que el método de obtener SET queda validado.

### 7.3.4 MEMORIA

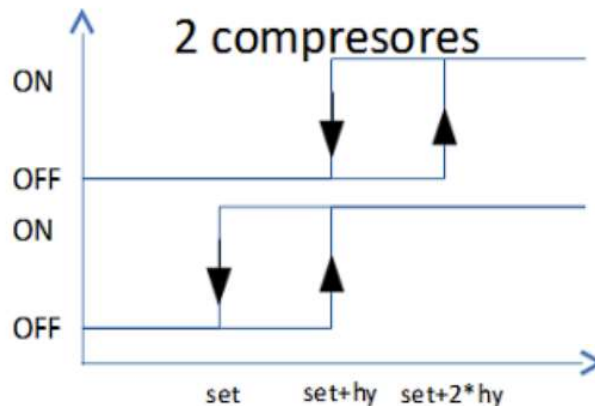
Se ha seguido exactamente la misma estructura que para la XR60CX.

## 7.4 XM670K

La controladora XM670K puede configurarse para funcionar de dos maneras. La primera, que es la que se va a simular, es la manera en la que funcionan las dos controladoras anteriores. Sin embargo, también puede controlar el funcionamiento de los aerofriadores que intercambian el calor del sistema Waterloop con el exterior.

### 7.4.1 FUNCIONAMIENTO

En el caso que se estudia, el funcionamiento es similar a las controladoras anteriores. Trata de mantener la temperatura entre SET y SET+HY. Tiene la posibilidad de activar varios compresores en cascada para situaciones de alta demanda. El funcionamiento es el siguiente:



*Ilustración 32 - Activación compresores en cascada. Manual XM670K INTARCON.*

Al igual que la XR60CX, no posee capacidad de calefacción.

### **7.4.2 SEÑALES**

Entradas:

- Temperatura cámara
- Temperatura evaporador
- Temperatura de líquido (del sistema Waterloop)
- Temperatura de aspiración (condensador)
- Entrada de agua
- Salida de agua

Salidas:

- Relé compresor 1/2
- Relé desescarche 1/2
- Relé ventilador evaporador
- Relé ventilador condensador

### **7.4.3 PARÁMETROS**

El funcionamiento simulado es igual al de las anteriores

- SET
- Hy
- idF
- MdF
- dtE
- odS
- dPo
- AC

### **7.4.4 MEMORIA**

Se ha seguido exactamente la misma estructura que para la XR60CX.

---



## Capítulo 8. MODELO FÍSICO

### 8.1 INTRODUCCIÓN

El modelo físico de todas las curvas de todos los equipos estudiados tiene un comportamiento parecido. Al ser modelos térmicos sencillos, la respuesta se puede representar de manera aproximada como una función de transferencia de primer orden. De esta manera, cada curva quedaría determinada por una temperatura final y una constante de tiempo. Además, se le añade un retraso, ya que la respuesta entre la activación/desactivación del compresor y el inicio del enfriamiento/calentamiento de las cámaras frigoríficas no es inmediato debido a la inercia térmica del sistema. En conclusión, cada variable que se va a simular se podrá caracterizar con 3 parámetros para enfriamiento y 3 parámetros para calentamiento.

### 8.2 ANÁLISIS DE CURVAS

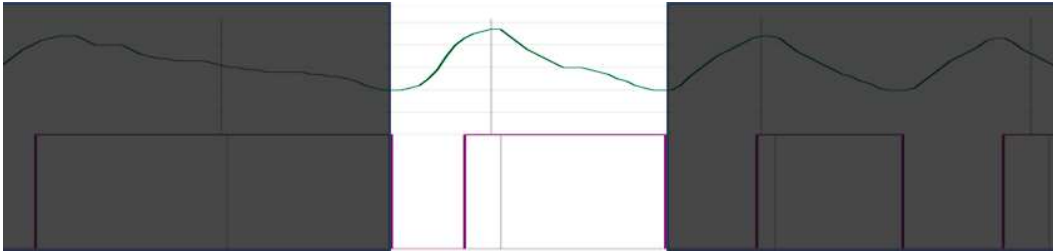
Cada curva de enfriamiento o calentamiento de cada controlador se puede caracterizar por tres parámetros: temperatura final, constante de tiempo y retardo. Cada controladora cuenta con un método que recibe un *dataframe* de Pandas con datos de entrada y salida, los cuales son analizados para obtener sus parámetros. Un *dataframe* es una estructura de datos y es la base de todo análisis con la librería Pandas de Python. Es comparable a un archivo csv.

#### 8.2.1 FLANCOS

Lo primero que se hace es obtener los flancos de subida y bajada del compresor para poder dividir las curvas en ciclos de enfriamiento y calentamiento. Son los puntos en los que el compresor cambia de 0 a 1 o viceversa y se pueden obtener de forma sencilla con la función *diff* de numpy, que calcula la diferencia entre un dato y el siguiente. Las posiciones del *dataframe* en las que este valor sea 1 o -1 serán los flancos de subida y bajada.

## 8.2.2 LÍMITES

Utilizando los datos desde un flanco de bajada o subida hasta el siguiente flanco del mismo tipo, se obtiene un ciclo completo de enfriamiento y calentamiento.



*Ilustración 33 - Extracción de un ciclo completo*

En este ejemplo, se usa un flanco de bajada, así que lo primero que se ve es un calentamiento. La curva de calentamiento está completa, ya que comienza después del flanco de bajada con retardo y se sabe que termina antes que la curva de enfriamiento. La curva de enfriamiento no se puede analizar con estos datos, ya que puede continuar durante unos minutos tras el siguiente flanco de bajada debido al retardo provocado por la inercia del sistema.

De esta manera, se estudiarán las curvas de calentamiento de flanco de bajada en flanco de bajada y las de enfriamiento de flanco de subida en flanco de subida.

De los datos extraídos, se puede sacar la siguiente información:

- Final del calentamiento (temperatura máxima del *dataframe*). Se obtienen valor e índice<sup>2</sup>. Este no es el valor al que tiende la curva, sino el último valor registrado durante el calentamiento.
- Inicio del calentamiento (temperatura mínima del *dataframe*). Se obtienen valor e índice. Se tienen en cuenta solo los datos anteriores al final del calentamiento para evitar confusiones con los datos de la curva de enfriamiento.

---

<sup>2</sup> El índice se refiere a la posición del *dataframe* en la que se encuentra esta medida. Corresponde con el tiempo transcurrido en minutos.

Para estudiar una curva de enfriamiento se realiza lo mismo invirtiendo el papel de temperaturas máximas y mínimas.

Una vez obtenidos el inicio y final de la curva, se guarda cada curva desde el índice de inicio hasta el índice de fin, obteniendo así solo la información necesaria para cada curva.

### 8.2.3 ANÁLISIS DE FORMA DE LAS CURVAS

Para cada curva, se utiliza la función `curve_fit` de la librería SciPy para obtener la función de transferencia de primer orden que mejor se ajuste a los datos de la curva real. La función de primer orden se ha definido tal que:

$$T_t = T_{t-1} + (T_f - T_{t-1}) * (1 - e^{-\frac{1}{\tau}})$$

La función utiliza el valor inicial real de la curva y los parámetros estimados para obtener una curva simulada. El proceso se repite hasta que los parámetros estimados son satisfactorios y las curvas real y simulada son similares. Se obtienen la temperatura a la que tiende la curva y su constante de tiempo, con lo que se tienen dos de los tres parámetros necesarios para tener la curva totalmente caracterizada.

Además, se obtiene el valor de  $R^2$  de `curve_fit` para saber cómo de bueno ha sido el ajuste de la curva. Este valor se sitúa entre 1 (ajuste perfecto) y 0 (ninguna relación entre real y simulado).

Se repite este proceso para todas las curvas de enfriamiento y calentamiento del *dataframe* y se almacenan los datos de todas estas curvas. El análisis posterior de este conjunto de datos proporcionará los parámetros globales que se usarán en la simulación.

Cada curva tiene los siguientes datos:

- Índice de inicio de compresor
- Tipo (Enfriamiento/Calentamiento)
- Índice y valor inicial de la curva
- Índice y valor final de la curva
- Parámetro temperatura final
- Parámetro constante de tiempo
- $R^2$

#### **8.2.4 ANÁLISIS FINAL**

Para todas las curvas analizadas, se calcula el retardo como la diferencia entre el índice inicial de la curva y el índice en el que se inició el compresor. De la misma manera, la duración de la curva se calcula como la diferencia entre los índices final e inicial.

Para la temperatura final, la constante de tiempo, el retardo y la duración se calcula la media y la desviación típica de la población y se eliminan aquellas curvas que están a más de 2 desviaciones típicas de la media. La eliminación de anomalías resulta en un resultado más similar al funcionamiento normal del equipo.

Para los valores de  $R^2$ , solo se toman aquellas curvas con un valor superior a 0.8. Un valor inferior a este puede significar que el ajuste de la curva no ha sido correcto o que la curva ha sido anómala por perturbaciones durante el periodo de monitorización.

Para una muestra de varias horas, se obtiene el siguiente *pairplot* gracias a la librería Seaborn de Python. Este tipo de gráficos sirve para analizar la interacción entre las variables de un sistema. Aunque aquí solo se muestra un estudio, la relación entre los parámetros suele ser similar para todas las curvas estudiadas. Los datos en naranja representan calentamientos y los azules enfriamientos.

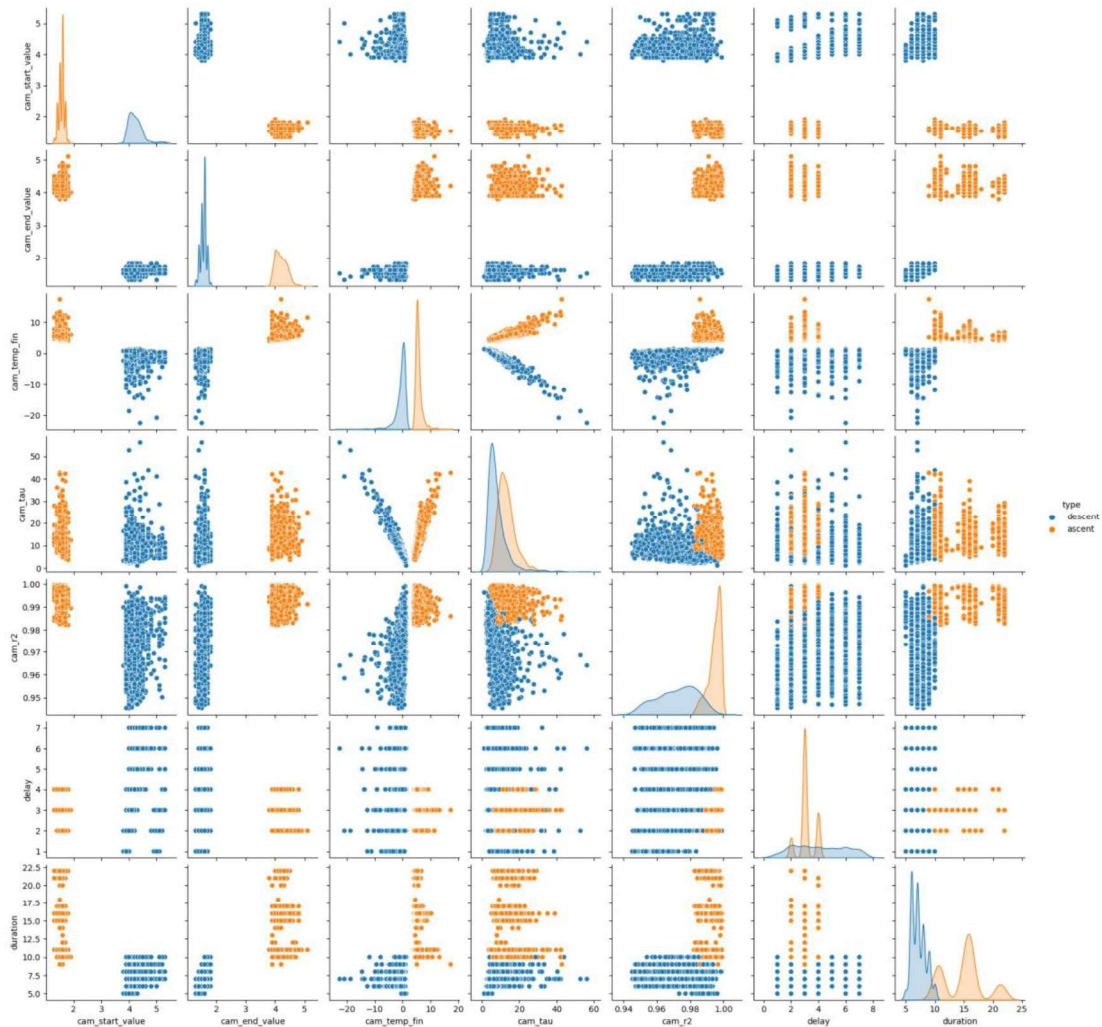


Ilustración 34 -Pairplot de análisis de curvas

De este gráfico podemos sacar varias conclusiones sobre las variables.

- Las curvas de un mismo tipo tienen valores iniciales similares. Esto tiene sentido ya que todas las de calentamiento deben empezar en  $T < SET$  y todas las de enfriamiento deben empezar en  $T > SET + HY$ . En este caso los valores son  $2^{\circ}C$  y  $4^{\circ}C$ .
- Los valores finales de las curvas de calentamiento son los valores iniciales de las curvas de enfriamiento y viceversa. Esto es de esperar y es un indicador de que las curvas se han aislado de manera correcta.

- El parámetro de temperatura final está concentrado alrededor de un valor concreto, pero tiene colas muy acusadas. En este parámetro es especialmente importante la eliminación de aquellas curvas que se desvíen de la media. Como es de esperar, las curvas de calentamiento tienden a una temperatura mayor que las de enfriamiento.
- Las constantes de tiempo son similares para las curvas de enfriamiento y calentamiento. El enfriamiento parece ser algo más rápido. Esto es esperable, ya que se ha diseñado el equipo para enfriar y por lo tanto debe poder enfriarse rápidamente y luego ser capaz de mantener este frío.
- $R^2$ , el valor que indica la validez de las curvas, es distinto entre enfriamiento y calentamiento. La gran mayoría de las curvas tienen un  $R^2$  superior a 0.95, pero los valores son mucho más cercanos a 1 en las curvas de calentamiento que en las de enfriamiento. Esto puede indicar que la simplificación a sistema de primer orden es menos precisa cuando se estudian enfriamientos.
- Para los retardos calculados, se oscila entre los 2 y los 4 minutos de inercia, pudiendo llegar a 8 minutos en algunos casos de enfriamientos. Además de la inercia térmica del sistema, el compresor tarda unos minutos en alcanzar su funcionamiento nominal.
- Como se dijo anteriormente, el enfriamiento es más rápido que el calentamiento. El enfriamiento suele llevar unos 5-10 minutos, mientras que el calentamiento puede superar los 20 minutos. Esto se debe a que las curvas de calentamiento en las que se produce un desescarche aumentan su duración considerablemente.

Se pueden sacar las siguientes conclusiones sobre la interacción entre las variables:

- La temperatura final y la constante de tiempo tienen una clara relación lineal. Cuanto mayor es la constante de tiempo, más extrema es la temperatura final. Esto se debe a que todas las curvas son similares y a que se están estimando los dos parámetros a la vez. Si solo se observa el principio de una respuesta de primer orden, una curva lenta que tiende a un valor elevado puede parecer similar a una curva rápida que tiende a un valor menor. Las curvas que se estudian en este caso no se observan de manera completa, sino que siempre son interrumpidas por la activación o desactivación del compresor. Este fenómeno no supone un problema, siempre que se acoten las

temperaturas finales a un intervalo con valores razonables. El calentamiento siempre tenderá a la temperatura ambiente de local. No se tiene acceso a esta temperatura, pero se acotará a un valor entre 18°C y 25°C, que son temperaturas que por ley no debería sobrepasar el interior de un supermercado. La temperatura a la que se tiende en enfriamiento es más complicada, ya que se trabaja con cámaras de refrigeración y congelación. En ningún caso pasará de -20°C ya que estos equipos no están preparados para trabajar con estas temperaturas, así que se utilizará este límite

Una vez eliminados los *outliers*, se toman los valores medios de temperatura final, constante de tiempo y retardo. Los *outliers* son aquellas medidas que se desvían excesivamente de la media de la muestra. Se toman como inválidas y se obvian en el resto del análisis estadístico. Con esto quedan las curvas caracterizadas y se puede proceder a simularlas.

## 8.3 SIMULACIÓN

La simulación es la tarea fundamental del gemelo digital. Gracias al modelo físico que se ha ajustado y a la controladora virtual, se puede predecir el comportamiento del equipo en el futuro.

### 8.3.1 ACTUALIZACIÓN DE MEMORIA

El primer paso es configurar el estado de la controladora virtual en el momento inicial de la simulación.

Se usan los datos obtenidos de la API para copiar el estado en el que estuvo la controladora real en un momento determinado. Para ello se necesita saber el estado de las entradas y salidas en aquel momento, última vez que se activó el desescarhe (y duración actual del desescarhe en caso de estar activado en ese momento) y momento de arranque del equipo. El estado actual de entradas y salidas se encuentra una sola fila del *dataframe* de datos obtenidos de la API. Para obtener el resto de información necesaria, se itera desde el final del *dataframe* hasta el principio para calcular los tiempos restantes. Para agilizar esta

operación, se analizan solo “idF” horas, que es lo necesario para ver un ciclo entero de desescarhe. En caso de ser “idF” = 0, se analiza 1 hora. En este caso se asume que el equipo lleva arrancado suficiente tiempo como para estar funcionando de manera normal, así que se toma la fecha de arranque predeterminada como *epoch*, es decir, el 1 de enero de 1970.

### **8.3.2 SIMULACIÓN POR PASOS**

Una vez la configuración de la controladora es correcta, se puede proceder a la simulación en sí.

Se utiliza el método *simulate()* de la controladora en cuestión. Este método recibe el intervalo de tiempo que se quiere simular y la duración del paso de tiempo en la simulación (la resolución de tiempo).

Para cada paso, se utilizan las medidas de las variables de entrada y el tiempo actual. Se pasa esta información a la controladora virtual para que proporcione las salidas correspondientes. Con las entradas y las salidas, se utiliza el modelo físico para simular la respuesta durante tanto tiempo como se haya definido en el método.

Se realizan pasos de simulación hasta que se llega a la longitud de simulación definida en el método, tras lo cual se devuelven los resultados para poder representarse en la interfaz de usuario.



## **Capítulo 9. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Se ha logrado programar la lógica de las tres controladoras virtuales deseadas y se ha simulado de manera satisfactoria su respuesta física. Este modelo físico aún puede ser mejorado, pero es suficientemente robusto como para cumplir su propósito.

La interfaz que se ha diseñado es simple e intuitiva. Está dividida en secciones claras y no se ha sobrecargado con información. Se integra correctamente con el ecosistema de Kiconex y permite el análisis posterior de los datos reales y simulados gracias a su función de exportación a archivo csv. Con esta adición, la plataforma de Kiconex será más completa, añadiendo la capacidad de predicción a su herramienta de IoT.

La aplicación va a permitir probar los equipos cómodamente en situaciones diversas sin necesidad de usar un equipo real. Estas pruebas van a generar información que servirá para optimizar el diseño de las instalaciones y la operación de los equipos ya instalados. Además, servirá para detectar condiciones críticas y eliminar posibles riesgos en los equipos físicos.

La reducción de equipos necesarios y la optimización de su uso permitirán cumplir los ODS que se mencionaron en el 1.3.

## Capítulo 10. CONCLUSIONES Y TRABAJOS

### FUTUROS

Aunque la funcionalidad básica de la herramienta está completa, se puede mejorar su diseño y expandir sus capacidades.

En el futuro se simularán otras instalaciones con otro tipo de controladoras. Para ello, se deberán programar los gemelos digitales de las mismas. Esta tarea no será demasiado costosa, ya que se ha establecido una clase base para todas las controladoras. Los elementos que difieren de esta clase base para cada controladora también siguen un patrón similar. Las tres controladoras que se han implementado tienen un código con una estructura común. Para la mayoría de nuevas controladoras que se quieran virtualizar, se podrá seguir el esquema de una de las controladoras ya implementadas sin necesidad de realizar cambios significativos.

En este momento solo se ha trabajado con una instalación. En el desplegable de selección de instalaciones se ven tres, pero dos de ellas son falsas y están ahí solo para demostrar cómo se vería la aplicación con varias instalaciones disponibles. La única forma de introducir nuevas instalaciones es modificando el código y añadiendo su nombre y su código de identificación o *UUID* (Universal Unique Identifier). Si bien es una tarea sencilla, sería conveniente crear una manera de añadir nuevas instalaciones desde la propia aplicación. Además, la información de estas instalaciones debería quedar guardada para que la siguiente vez que se inicie la aplicación se puedan ver las instalaciones añadidas. De la misma manera, debería haber una forma de eliminar los datos de dichas instalaciones.

Una de las funcionalidades que todavía no se ha podido introducir en el proyecto es la simulación de perturbaciones. Las máquinas no estarán funcionando siempre en un régimen estable, por lo que se debe ampliar la capacidad de simulación teniendo en cuenta los siguientes fenómenos entre otros:

- Calentamiento repentino por introducción de alimentos, mantenimiento u otras causas.
- Pérdida temporal de potencia por fallo en la alimentación eléctrica.
- Fallo de una o varias sondas.
- Fallo de compresor o desescarche.

La simulación que se está realizando ahora mismo es determinista, mientras que los datos reales son más estocásticos. El comportamiento de la simulación podría acercarse más al comportamiento real si se introdujesen los siguientes elementos aleatorios:

- Ruido en las medidas
- Ruido en la respuesta física
- Aleatoriedad en el retardo de la respuesta de la controladora
- Introducción de pequeñas perturbaciones en momentos aleatorios.

Un comportamiento más cercano al real puede ayudar a detectar situaciones que no se darían en un entorno determinista. Además, si se añadiera la posibilidad de simular el arranque de los equipos desde temperatura ambiente, se podría estudiar un mayor número de situaciones.

Hasta ahora, el ajuste del modelo físico de los equipos ha sido mayoritariamente satisfactorio. Este puede no ser el caso en el futuro, así que es conveniente planear el desarrollo futuro de la aplicación teniendo esto en cuenta.

En este momento, el modelo físico se ajusta automáticamente y el usuario no tiene la capacidad ni de ver sus parámetros ni de modificarlos. Se podría añadir un apartado a la aplicación en la que se puedan ver estos parámetros y, en caso de que el ajuste automático no haya sido del todo correcto, modificarlos hasta que la respuesta simulada sea comparable a la respuesta real.

La introducción de todas estas mejoras podría brindar una mejor experiencia al usuario y hacer que la aplicación fuera más robusta en el tiempo.

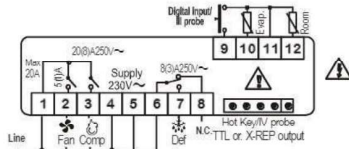
## Capítulo 11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Dixell. “CONTROLADORES PARA MOSTRADORES CANALIZADOS XM660K-XM670K -MANUAL PARA VERSIÓN SW 5.4d”. Marzo 2022.  
<https://webapps.emerson.com/Dixell/Content/Pages/Manuals/XM400600/XM660K-XM670KR5.4/XM660K-XM670K-ES-r5.4.pdf>
- [2] INTARCON. “Regulación Electrónica XW270K”. Octubre 2018.  
<https://www.intarcon.com/pdfs/ES/XW270K.pdf>
- [3] Dixell. “Controladores digitales con gestion deshielo y ventiladores XR60CX”. Abril 2015. <https://webapps.emerson.com/Dixell/Content/Pages/Manuals/XR-CX/XR60CX/XR60CX-SP.pdf>
- [4] Naciones Unidas. “Objetivos de desarrollo sostenible”. Septiembre 2015.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [5] Ogunleke, Samuel. “Why Is Python Popular for Data Science?”. Enero 2022.  
<https://www.makeuseof.com/why-is-python-popular-for-data-science/>
- [6] Hampel, Clare. “The Growing Popularity of Digital Twin Technology”. Enero 2023.  
<https://globaledge.msu.edu/blog/post/57227/the-growing-popularity-of-digital-twin-t>

# ANEXO I – PARÁMETROS XR60CX

**Dixell** Instrucciones de manejo **EMERSON**

16.3 XR60C – RELÉ COMP. 20A - 120VAC O 230 VAC



120VAC conectar l'alimentación a los terminales 5 y 6.

**17. VALORES POR DEFECTO**

Etiqueta	Descripción	Rango	Valor	Niv.
SEt	Set point	LS - US	-5.0	---
Hy	Diferencial	(0,1°C=25,5°F) (1°F=45°F)	2.0	Pr1
LS	Set point mínimo	(-55,0°C=SET) (-67°F=SET)	-50.0	Pr2
US	Set point máximo	(SET+150,0°C)	110	Pr2
ot	Calibración sonda termostato (sonda 1)	(-12,0±12,0°C) (-21±21°F)	0.0	Pr1
P2P	Presencia sonda evaporador	n - Y	Y	Pr1
oE	Calibración sonda auxiliar	(-12,0±12,0°C) (-21±21°F)	0.0	Pr2
P3P	Presencia sonda II evaporador	n - Y	n	Pr2
o3	Calibración tercera sonda	(-12,0±12,0°C) (-21±21°F)	0	Pr2
P4P	Presencia cuarta sonda	n - Y	n	Pr2
o4	Calibración cuarta sonda	(-12,0±12,0°C) (-21±21°F)	0	Pr2
odS	Retardo activación salida relee al arranque	0±255 (min.)	0	Pr2
AC	Retardo anti ciclos cortos	0±50 (min.)	1	Pr1
rtr	Porcentaje regulación sonda P1-P2	0 ± 100 (100=P1, 0=P2)	100	Pr2
CCT	Duración del ciclo continuo	0±24.0h	0.0	Pr2
CCS	Set point ciclo continuo	(-55,0±150,0°C) (-67±302°F)	-5	Pr2
Con	Tiempo Compr. ON con tlo de sonda	0±255 (min.)	15	Pr2
CoF	Tiempo Compr. OFF con fallo de sonda	0±255 (min.)	30	Pr2
CF	Unidad medida de temperatura	°C - °F	°C	Pr2
rES	Resolución (entero/punto decimal)	dt - in	dt	Pr1
Lod	Display local	P1 - P2 - P3 - P4 - SET - dtr	P1	Pr2
rEd <sup>2</sup>	Visualización X-REP	P1 - P2 - P3 - P4 - SET - dtr	P1	Pr2
dLy	Retardo visualización temperatura	0 ± 20M0 (120) (10 sec.)	0	Pr2
dtr	Porcentaje visualización sonda P1-P2	1 ± 99	50	Pr2
tdF	Tipo de deshielo: resistencia, inversión	EL - in	EL	Pr1
dFP	Selección sonda de fin deshielo	nP; P1; P2; P3; P4	P2	Pr2
dtE	Temperatura final de deshielo	(-55±50,0°C) (-67±122°F)	8	Pr1
idf	Intervalo entre deshielos	0±120 (h)	6	Pr1
MdF	Duración Máx del 1º deshielo	0±255 (min.)	30	Pr1
dSd	Retardo activación deshielo a la partida	0±255 (min.)	0	Pr2
dFd	Visualización durante el deshielo	rt - it - SET - dEF	it	Pr2
dAd	Retardo MAX visualización después deshielo	0±255 (min.)	30	Pr2
Fdt	Tiempo de drenaje	0±255 (min.)	0	Pr2
dPo	Primer deshielo después del inicio	n - Y	n	Pr2
dAF	Retardo deshielo después enfriamiento rápido	0±24.0h	0.0	Pr2
FnC	Modo de control de los ventiladores	C, n - O, n - C, Y - O, Y	o-n	Pr1
Fnd	Retardo ventiladores después deshielo	0±255 (min.)	10	Pr1
Fct	Diferencial temperatura anti ventiladores intermitentes (0=off)	(0±50°C) (0°F±90°F)	10	Pr2
FSt	Temperatura paro ventiladores	(-55±50,0°C) (-67±22°F)	2	Pr1
Fon	Tiempo ventiladores encendidos con compresor apagado	0±15 (min.)	0	Pr2
FoF	Tiempo ventiladores y compresor apagados	0±15 (min.)	0	Pr2
FAP	Selección sonda ventiladores	nP; P1; P2; P3; P4	P2	Pr2
ALC	Configuración alarma temperatura: relativa/ absoluta	rE - Ab	Ab	Pr2
ALU	Alarma MAX temperatura	0,0±50,0°C rel. o ALL±150°C 0±90°F rel. o ALL±302°F	110	Pr1
ALL	Alarma MIN temperatura	0,0±50°C rel. o -55±ALU; 0°±90°F rel. o -67±ALU°F	60.0	Pr1

Etiqueta	Descripción	Rango	Valor	Niv.
AFH	Diferencial alarma temperatura	(0,1°C=25,5°F) (1°F=45°F)	1	Pr2
ALd	Retardo alarma temperatura	0±255 (min.)	15	Pr2
dAo	Retardo alarma temperatura al arranque	0±24.0h	1.3	Pr2
AP2	Selección sonda para alarma condensador	nP; P1; P2; P3; P4	P4	Pr2
AL2	Alarma MIN temperatura condensador	(-55 ± 150°C) (-67± 302°F)	-40	Pr2
AU2	Alarma MAX temperatura condensador	(-55 ± 150°C) (-67± 302°F)	110	Pr2
AH2	Diferencial recuperación alarmas de temperatura condensador	[0,1°C = 25,5°F] [1°F = 45°F]	5	Pr2
Ad2	Retardo alarma temperatura condensador	0 ± 254 (min.) , 255=nU	15	Pr2
dA2	Retardo de la alarma de temperatura al encendido del condensador	0 ± 24H0(144)	1.3	Pr2
bLL	Faro compresor para alarma de baja temperatura condensador	n(0) - Y(1)	n	Pr2
AC2	Faro compresor para alarma de baja temperatura condensador	n(0) - Y(1)	n	Pr2
i1P	Polaridad entrada digital	OP - CL	cL	Pr1
i1F	Configuración entradas digital	EAL - bAL - PAL - dor - dEF - AUS - Htr - FAn - ES	dur	Pr1
did	Retardo para la alarma entrada digital	0±255 (min.)	15	Pr1
nPS	Número activaciones para la función presbáto	0±15	15	Pr2
oDC	Control de puerta abierta	no - FAn - CP - F-C	F-c	Pr2
rdd	Regulación después alarma de puerta abierta	n - Y	y	Pr2
HE3	Diferencial de temperatura en ciclo ahorro energía	(-30°C±30°C) (-54°F±54°F)	0	Pr2
Adr	Dirección línea serie	0±247	1	Pr2
PbC	Selección de sonda	PtC - rnC	ntc	Pr1
onF	Función tecla on/off	nu, oFF, ES	nu	Pr2
dP1	Visualización sonda termostato	(valor sonda)	--	Pr2
dP2	Visualización sonda evaporador	(valor sonda)	--	Pr1
dP3	Visualización sonda P3	(valor sonda)	--	Pr1
dP4	Visualización sonda condensador (P4)	(valor sonda)	--	Pr1
rSE	Set point real	valor set	--	Pr2
rEL	Versión del Software (solo lectura)	solo lectura	--	Pr2
Ptb	Mapa de códigos	solo lectura	--	Pr2

<sup>2</sup> Solo en los modelos XR60CX-xx2xx, XR60CX-xx3xx



**Dixell** **EMERSON**  
Climate Technologies

Dixell S.r.l. - Z.I. Via dell'Industria, 27 - 32010 Pieve d'Albino (BL) ITALY  
Tel. +39.0437.9833 r.a. - Fax +39.0437.989313 - EmersonClimate.com/Dixell - dixell@emerson.com

# ANEXO II – PARÁMETROS XW270K

## Regulación Electrónica XW270K



Testigo de funcionamiento del compresor. Parpadeando durante el anticiclótico o con cadena de seguridad abierta

Testigo de funcionamiento del ventilador. Parpadeando junto con el testigo de compresor en modo programación

Testigo de funcionamiento del modo de enfriamiento rápido. Parpadeando durante el tiempo de gateo.

### TECLADO

- Temp**: Para mostrar y modificar la temperatura de consigna. Manteniéndola pulsada durante 3 segundos mientras se muestra la temperatura máx. o mín., borra el registro. *En modo programación*: permite seleccionar un parámetro y confirmar un nuevo valor.
- Max**: Para visualizar el registro de máxima temperatura. Manteniéndola pulsada durante 3 segundos se inicia el ciclo de enfriamiento rápido. *En modo programación*: permite explorar la lista de parámetros o incrementar el valor mostrado en pantalla.
- Min**: Para visualizar el registro de temperatura mínima. *En modo programación*: permite explorar la lista de parámetros o disminuir el valor mostrado en pantalla.
- Def**: Manteniéndose pulsada durante 3 segundos se inicia el ciclo de descongelación.
- Light**: Enciende o apaga la luz de cámara.
- Energy**: Manteniéndose pulsada durante 3 segundos se activa o desactiva el modo de ahorro de energía.
- On/Off**: Para encender o apagar el equipo.
- Info**: Manteniendo pulsadas ambas teclas durante 3 s se accede al modo programación de los parámetros no protegidos (lista Pr1).
- Prog**: Para acceder a los parámetros protegidos (lista Pr2), introduzca la clave de fabricante en el parámetro Pr2.

### SEÑALES DE ALARMA

Mensaje	Causa	Acción del equipo
P1	Fallo de sonda termostática	Señal de alarma. Funcionamiento en modo seguro según "Com" y "Pb"
P2	Fallo de sonda del evaporador	Señal de alarma.
P3	Fallo de sonda auxiliar	Señal de alarma.
HA	Alta temperatura de la cámara.	Señal de alarma.
LA	Baja temperatura de la cámara.	Señal de alarma.
EE	Fallo de datos o de memoria	Señal de alarma.
dA	Alarma de puerta abierta	Señal de alarma.
CSd	Alta temperatura de condensador. Condensador sucio	Señal de alarma.
PAL	Alarma de interruptor de presión: Por corte del presostato de baja: - Falta de gas, - Fallo ventilador del evaporador, - Filtro, capilar o válvula obstruida. Por corte del presostato de alta: - Fallo ventilador del condensador - Temperatura exterior muy alta, - Exceso de gas o aire en circuito.	Señal de alarma. Paro del equipo.

### LISTA DE PARÁMETROS

Código	Descripción	Rango	MT	BT	AT	Lista
Hy	Diferencial de regulación	0,1 a 25,5 °C		2,0 °C		Pr2
LS	Límite inferior de consigna	-50°C a SET	-5 °C	-25 °C	+5 °C	Pr2
US	Límite superior de consigna	SET a +110 °C	+10 °C	-15 °C	+18 °C	Pr2
Ods	Retardo de encendido	0 - 255 min		1'		Pr2
AC	Temporización anti-cortociclo	0 - 30 min		4'		Pr2
CC1	Duración ciclo de enfriamiento rápido	0 - 23 h 50 min	30'	2h 30'	30'	Pr2
Con	Intervalo de marcha del compresor ante un fallo de sonda P1	0 - 255 min		15'		Pr2
COF	Intervalo de parada del compresor ante un fallo de sonda P1	0 - 255 min		15'		Pr2
CF	Unidad de medida de la temperatura	°C - °F		°C		Pr1
rES	Resolución de la temperatura (In-entera, de decimal)	in - de		de		Pr1
Lod	Valor de sonda que se mostrará en pantalla	P1 - r2		P1		Pr2
rEd	Valor de sonda que se mostrará en el mando remoto	P1 - r2		P1		Pr2
rEd	Tipo de descongelación (compactos: gas caliente, semicompactos: rE, rT, in; In (gas caliente); rE (resistencia))				rE	Pr2
EdF	Modo de descongelación (In estándar, Sd SmartDefrost)	In, Sd				Pr2
SdF	Umbral de temp. del evaporador bajo el cual se activa el contador SmartDefrost para contar el intervalo entre descongelaciones "IdF"	-30 - +30 °C		0,0 °C		Pr2
diE	Temperatura de fin de descongelación.	-50 - 110 °C		20 °C (gas caliente) 8 °C (resistencia)	15 °C	Pr1
IdF	Intervalo entre descongelaciones consecutivas	1 - 120 h	3h	3h (gas) 4h (res.)	3h	Pr1
MdF	Duración máxima del descongelación	0 - 255 min	15' (gas) 20' (res.) 30' (doble flujo)	15' (gas) 20' (res.)	15'	Pr1
dFd	Parámetro que se mostrará en pantalla durante el descongelación	r, il, Set, DEF, dEe			il	Pr2
dAd	Retardo tras el descongelación para mostrar la temp. real de la cámara	0 - 250 min		15'		Pr2
dSd	Retardo del inicio del descongelación	0 - 99 min		0'		Pr2
Fdt	Tiempo de drenaje	0 - 60 min	2'	3'	0'	Pr2
dPO	Descongelación inmediatamente tras el encendido	n - y				Pr2
dAF	Tiempo entre fin de enfriamiento rápido y siguiente descongelación	0 - 23 h 50 min			2,0 h	Pr2
Fnc	Modo de operación de los ventiladores: con compresor (C) o continuamente (O), y durante el descongelación (y-n)	C-n, C-y, O-n, O-y		C-n	C-y	Pr1
Fnd	Retardo entre fin de descongelación y arranque de ventiladores	0 - 255 min	3'	4'	0'	Pr2
FS1	Temperatura de la sonda del evaporador por encima de la cual los ventiladores interrumpen su funcionamiento	-50 - 110 °C	R449A: 10 °C R134a: 40 °C	0 °C	R449A: 20 °C R134a: 40 °C	Pr1
ALC	Configuración de alarma de temperatura (relativa / absoluta)	rE - Ab		rE		Pr1
ALU	Valor para alarma por temperatura anormalmente alta	-50 - 110 °C		5,0 °C		Pr1
ALL	Valor para alarma por temperatura anormalmente baja	-50 - 110 °C		5,0 °C		Pr1
AFH	Diferencial para la desactivación de la alarma por temperatura y para la regulación de ventiladores.	0,1 - 25,5 °C		2,0 °C		Pr2
ALd	Retardo entre detección de alarma por temperatura y señalización	0 - 255 min		0'		Pr2
dAU	Retardo de señalización de alarma de temp. tras encendido de equipo	0 - 23 h 50 min	3 h	4 h	3 h	Pr2
EdA	Retardo entre descongelación y señalización de alarma de temperatura	0 - 255 min		30'		Pr2
do1	Retardo entre cierre de puerta y señalización de alarma de temp	0 - 255 min		30'		Pr2
dOA	Retardo para señalización de alarma por puerta abierta	0 - 255 min		15'		Pr1
rrd	Arranque del equipo tras alarma por puerta abierta	n - y				Pr1
AL2	Alarma por baja temperatura del condensador *	-50 - Au2 °C	-40°C(gas) 25°C(res.)		25°C	Pr2
Au2	Alarma por alta temperatura del condensador *	AL2 - 110 °C		R449A: 52 °C R134a: 65 °C		Pr2
ALH	Diferencial alarma por baja temperatura del condensador *	0,1 - 25,5 °C		5 °C		Pr2
AlH	Literencial alarma por alta temperatura de condensador	0,1 - 25,5 °C		3 °C		Pr2
Ad2	Retardo detección de alarma por temp. condensador y señalización	0 - 255 min		0'		Pr2
dA2	Retardo entre encendido del equipo y señalización de alarma por temperatura del condensador	0 - 23h 50 min		0 h		Pr2
tbA	Silenciar alarma externa al pulsar una tecla	y - n		y		Pr2
nPS	Errores de presostato, en el intervalo "did", antes de señalar "PAL"	0 - 15		8		Pr2
O1	Calibración sonda termostática	-12 - +12 °C		0		Pr2
OE	Calibración sonda del evaporador	-12 - +12 °C		0		Pr2
O3	Calibración sonda de condensación	-12 - +12 °C		0		Pr2
P2P	Presencia sonda del evaporador	n - y		y		Pr2
P3P	Presencia sonda de condensación	n - y		y		Pr2
HES	Variación de temperatura de consigna en modo de ahorro de energía	-30 - +30 °C		+2 °C		Pr2
odc	Paro de compresor (Cp1), ventilador (Fan), ambos (F_C), o ninguno (no), al abrir la puerta			F_C		Pr2
11P	Polaridad entrada digital interruptor de puerta			CL - OP		Pr2
12P	Polaridad entrada digital 2 configurable (presostatos)			CL - OP		Pr2
12F	Configuración entrada digital 2: PAL=Presostatos			PAL		Pr2
did	Intervalo para computar errores de presostato	0 - 255 min		50'		Pr2
oP2	Polaridad relé de alarma externa			CL - OP		Pr2
Adr	Dirección del equipo para conexión RS485 a una red ModBUS	1 - 247		1		Pr1
REL	Versión del software del microprocesador	Solo lectura		8.4		Pr2
Ptb	Código original del mapa de parámetros de Dixell	Solo lectura		2		Pr2
Prd	Valores de temperatura de sonda termostática "Pb1", sonda del evaporador "Pb2" y sonda de condensación "Pb3"	Pb1 - Pb3		Solo lectura		Pr1
Pr2	Acceso a la lista de parámetros protegida			321		Pr1

\* Valor de parámetro AL2 en equipos con regulación de presión de condensación por variación de velocidad del ventilador es 20°C.  
 \* Valor del parámetro AL2 en equipos centrífugos con regulación de presión de condensación por variación de velocidad del ventilador es 40°C.  
 \* Valor del parámetro ALH en equipos con regulación de presión de condensación por variación de velocidad del ventilador es 0,1°C.

## ANEXO III – PARÁMETROS XM670K

### LUMITY Instrucciones de manejo EMERSON

#### 15. USO DE LA «HOT KEY» DE PROGRAMACIÓN -64 K



Las unidades XM pueden ejecutar el UPLoad o el DOWNLOAD de la lista de los parámetros de su memoria interna E2 a la «Hot Key» (clave de acceso rápido) y viceversa mediante un conector TTL.

#### 15.1 DOWNLOAD (DESDE LA «HOT-KEY» AL INSTRUMENTO)

1. Apague el instrumento con el botón ON/OFF, escriba la «Hot Key» (clave de acceso rápido) y encienda la unidad.
2. La lista de los parámetros de la «Hot Key» (clave de acceso rápido) se descarga automáticamente en la memoria del controlador y aparece el mensaje intermitente «dOL». Tras 10 segundos, el instrumento vuelve a funcionar con los nuevos parámetros. Al final de la fase de transferencia de datos, en el instrumento aparecen los siguientes mensajes: ! «end» si la programación se ha ejecutado correctamente. El instrumento empieza a funcionar normalmente con los nuevos parámetros «err» si la programación no se ha ejecutado correctamente. En este caso, apague la unidad y vuelva a encenderla si quiere reiniciar la descarga o retirar el «HOT-KEY» para cancelar la operación.

#### 15.2 UPLOAD (DESDE EL INSTRUMENTO A LA «HOT-KEY»)

1. Cuando está encendida la unidad XM, introduzca la «Hot Key» y pulse la tecla «UP».
  2. El UPLoad comienza y en la pantalla aparece el mensaje intermitente «UPL».
  3. Retire la «Hot Key».
- Al final de la fase de transferencia de datos, el instrumento muestra los siguientes mensajes: «end» si la programación se ha realizado correctamente. «err» si la programación no se ha realizado correctamente. En este caso presione el botón «SET» si se quiere reiniciar el download. Para anular la operación, retire la «Hot Key» (clave de acceso rápido).

#### 16. DATOS TÉCNICOS

**Teclado CX660 y CH660**  
**Envoltorio:** PC-ABS autoextinguible.  
**Envoltorio:** CX660 envoltorio 35x77 mm; profundidad 18mm; CH660 envoltorio 38x80 mm; profundidad 18 mm  
**Montaje:** montaje en panel en 29x71 mm  
**Grado de protección:** IP20; **Protección frontal:** IP65  
**Alimentación:** desde módulo de alimentación XM600K  
**Pantalla:** 3 dígitos, led rojo, altura 14,2 mm  
**Salida opcional:** zumbador

#### Módulos de potencia

**Envoltorio:** 8 DIN  
**Alimentación:** en función del modelo 110 V ca ± 10% - 230 V ca ± 10%  
**Categoría de sobretensión:** III  
**Potencia nominal:** 9 VA máx.  
**Tensión impulsiva nominal:** 2500 V  
**Clase de software:** A  
**Bornero:** de tornillo ≤ 1,6 mm<sup>2</sup> con cables resistentes al calor y Fast-on o de tornillo de 5,0 mm, sección de los cables ≤ a 2,5 mm<sup>2</sup>  
**Mantenimiento de los datos:** memoria no volátil (EEPROM)  
**Tipo de acción:** 1B  
**Grado de protección:** 2  
**Temperatura ambiente:** -10T60°C  
**Temperatura de envío y de almacenaje:** -40T85°C  
**Humedad relativa:** 20-85% (sin condensación)  
**Resolución:** 0,1 °C o 1 °C o 1 °F (seleccionable)  
**Intervalo de medición y regulación:**  
**Sonda NTC-NTC-US:** -40+110 °C (-58+230 °F).  
**Sonda PTC:** -50+150 °C (-67+302 °F)  
**Sonda Pt1000:** -100+100 °C (-148+212 °F)  
**Precisión (temp. ambiente 25 °C):** ±0,5 °C ±1 cifra  
**Entradas digitales:** 3 líneas de tensión  
**Entradas:** hasta 4 sondas NTC/PTC/Pt1000  
**Salida serial:** RS485 con ModBUS - RTU y LAN  
**Salidas de relé:** Corriente total para cargas: MÁX. 16 A  
**Válvula solenoide:** relé SPST 5(3) A, 250 Vca  
**desdhielo:** relé SPST 16 A, 250 Vca  
**ventilador:** relé SPST 8 A, 250 Vca  
**luz:** relé SPST 16 A, 250 Vca  
**alarma (XM670K):** relé SPDT 8 A, 250 Vca  
**Aux (XM670K):** relé SPST 8 A, 250 Vca  
**Salida opcional (AnOUT) EN FUNCIÓN DEL MODELO:**  

- PWM / Colector abierto: PWM o 12 Vcc máx. 40 mA
- Salida analógica: 4+20 mA o 0+10 V

**Finalidad del controlador:** control operativo  
**Protección contra las descargas eléctricas:** control integrado, destinado a equipos de Clase I o II.

#### 17. VALORES DE AJUSTE POR DEFECTO

Mensaje	M1	M2	M3	M4	Menú	Descripción de los parámetros
rtc					---	Pr1 Acceso al submenú RTC
SEC					---	Pr1 Selección de la modalidad LAN: Local o global
SET	2,0	2,0	-18,0	-18,0	---	Punto de consigna
Hy	2,0	2,0	2,0	2,0	Pr1	Diferencial
LS	-30	-30	-30	-30	Pr2	Punto de consigna mínimo
US	10	10	10	10	Pr2	Punto de consigna máximo
cdS			1		Pr2	Retraso de activación de salidas en el arranque
AC			1		Pr2	Reinicio antiflujo
CCi			0,0		Pr2	Duración del ciclo continuo
CCS			2,0		Pr2	Punto de consigna del ciclo continuo
Con			5		Pr2	Tiempo del compresor en ON con sonda averiada
CoF			10		Pr2	Tiempo del compresor en OFF con sonda averiada
CF			°C		Pr2	Unidad de medida: Celsius, Fahrenheit
rES			dE		Pr2	Resolución (solo C): decimal, número entero
Lod			P1		Pr2	Pantalla local: pantalla predeterminada
rEd			P1		Pr1	Pantalla remota: pantalla predeterminada
dLY			0		Pr1	Retraso pantalla
rPA			P1		Pr1	Sonda de regulación A
rPB			nP		Pr1	Sonda de regulación B
rP3			nP		Pr2	Sonda de regulación 3
rP4			nP		Pr2	Sonda de regulación 4
rPd			rPA		Pr2	Estrategia de regulación de la temperatura
rPE			100		Pr2	Porcentaje virtual de la sonda (rPd=rAb)
dPA			P2		Pr2	Sonda de deshielo A
dPB			nP		Pr2	Sonda de deshielo B
IdF	EL	EL	EL	EL	Pr2	Tipo de deshielo: aire, resistencias, inversión
EdF			in		Pr2	Modalidad de deshielo: Reloj o intervalo
Srt			150		Pr2	Diferencial para calentador
Hyr			2,0		Pr2	Tiempo de espera para calentador (si temp > Srt)
tod			255		Pr2	Deshielo con dos sondas
d2P	n	n	n	n	Pr2	Deshielo con dos sondas
dtE	8,0	8,0	8,0	8,0	Pr1	Temperatura de fin del primer deshielo
dtS	8,0	8,0	8,0	8,0	Pr2	Temperatura de fin de segundo deshielo
IdF	6	6	6	6	Pr1	Intervalo entre los deshielos
IdE			y		Pr2	Almacenamiento en intervalo de deshielo EEPROM
ndt	3	3	3	3	Pr2	Tiempo mínimo de deshielo
MdF	30	30	30	30	Pr2	Duración máxima de deshielo
dSd			it		Pr2	Retardo para deshielo a petición
dFd			0		Pr2	Visualización durante el deshielo
dAd			30		Pr2	Retraso en la visualización de la temperatura tras el deshielo
Fdt	0	0	2	2	Pr2	Tiempo de golpe
dPa			n		Pr2	Deshielo con el encendido
dFaf			0,0		Pr2	Retraso en el ciclo de deshielo tras la congelación
Pdt			r-c		Pr2	Tipo de pump down
Pdn			0		Pr2	Duración de pump down
Ctd	6	6	6	6	Pr2	Diferencial para inicio deshielo
nbd	4,0	4,0	4,0	4,0	Pr2	Tiempo de funcionamiento mínimo del compresor, antes del deshielo
Mdb	16,0	16,0	16,0	16,0	Pr2	Tiempo de funcionamiento máximo del compresor antes del deshielo
nct	-30,0	-30,0	-30,0	-30,0	Pr2	Temperatura mínima de la batería para activación de un deshielo
FAP			P2		Pr2	Sonda del ventilador
FnC	0-y	0-y	0-n	0-n	Pr1	Modalidad de funcionamiento del ventilador
Fnd	0	0	5	5	Pr1	Retraso de los ventiladores tras el deshielo
Fct			10		Pr2	Diferencial de temperatura para evitar ciclos breves de los ventiladores
FSt	15,0	15,0	2,0	2,0	Pr1	Temperatura de parada del ventilador
FHy			1,0		Pr2	Histéresis de parada del ventilador
tFE			n		Pr2	Ajuste del ventilador mediante temperatura, durante el deshielo
Fod			0		Pr2	Tiempo de activación del ventilador después del deshielo (sin compresor)
Fon			0		Pr2	Tiempo de encendido del ventilador

**LUMITY** Instrucciones de manejo **EMERSON**

Mensaje	M1	M2	M3	M4	Menú	Descripción de los parámetros
FoF		0			Pr2	Tiempo de apagado del ventilador
trA		UAL			Pr2	Tipo de regulación con salida PWM
SOA		0			Pr2	Velocidad fija del ventilador
SdP		30,0			Pr2	Punto de rocío predefinido
ASr		1,0			Pr2	Diferencial para ventilador/offset para dispositivo antiepañamiento
PbA		5,0			Pr2	Banda proporcional para salida de modulación
AMi		0			Pr2	Salida mínima para la salida de modulación
AMA		100			Pr2	Salida máxima para la salida de modulación
AMt		3			Pr2	1: Tiempo con ventilador a la velocidad máxima - 2: Tiempo con resistencia antiepañamiento activa
rAL		tEr			Pr2	Sonda para alarma de temperatura
ALC		Ab			Pr1	Configuración de las alarmas de temperatura: relativa/absoluta
ALU	10	10	10	10	Pr1	Configuración de la alarma de alta temperatura
ALL	-30	-30	-30	-30	Pr1	Configuración de la alarma de baja temperatura
AHy		1,0			Pr2	Diferencial para alarma de temperatura
AlD	15	15	15	15	Pr1	Retraso de la alarma de temperatura
rA2		nP			Pr2	Sonda para alarma de temperatura 2
A2U	150	150	150	150	Pr2	Configuración de la alarma de alta temperatura 2
A2L	-40	-40	-40	-40	Pr2	Configuración de la alarma de baja temperatura 2
A2H		2			Pr2	Diferencial para alarma de temperatura 2
A2d	15	15	15	15	Pr2	Retraso de la alarma de temperatura 2
dAO	1,0	1,0	1,0	1,0	Pr2	Retraso de la alarma de temperatura en el arranque
EdA		60			Pr2	Retraso por alarma al final del deshielo
dot		30			Pr2	Exclusión de la alarma de temperatura después de la apertura de la puerta
tbA		n			Pr2	Silenciamiento del relé de alarma con zumbador
oAS*		ALr			Pr2	Configuración del relé 5
oAB*		AUS			Pr2	Configuración del relé 6
CoM		420			Pr2	Configuración de la salida de modulación
AOP		CL			Pr2	Polaridad del relé de la alarma
IAU		n			Pr2	Salida auxiliar independiente del estado de ON/OFF
i1P		CL			Pr2	Polaridad de la entrada digital 1
i1F		dor			Pr1	Configuración de la entrada digital 1
d1d		15			Pr1	Entrada digital 1: retardo activación
i2P		CL			Pr2	Polaridad de la entrada digital 2
i2F		LIG			Pr1	Configuración de la entrada digital 2
d2d		5			Pr1	Entrada digital 2: retardo activación
i3P		CL			Pr2	Polaridad de la entrada digital 3
i3F		EJ			Pr1	Configuración de entrada digital 3
d3d		0			Pr1	Entrada digital 3: retardo activación
nPS		15			Pr1	Número del interruptor de presión
OdC		F-C			Pr2	Estado del compresor y del ventilador cuando la puerta está abierta
rrd		30			Pr2	Las salidas se activan de nuevo con la alarma de puerta abierta
CbP		y			Pr2	Presencia de reloj
Hur		---			Pr1	Hora actual
M		---			Pr1	Minutos actuales
Dia		---			Pr1	Día actual
Hd1		nu			Pr1	Primer día de la semana
Hd2		nu			Pr1	Segundo día de la semana
Hd3		nu			Pr1	Tercer día de la semana
ILE		0,0			Pr1	El ciclo de ahorro energético se activa durante los días de trabajo
dLE		0,0			Pr1	Duración del ciclo de ahorro energético durante los días de trabajo
ISE		0,0			Pr1	Inicio del ciclo de ahorro energético en los días festivos
dSE		0,0			Pr1	Inicio del ciclo de ahorro energético en los días festivos
Ld1		6,0			Pr1	Días laborables: primer inicio del deshielo
Ld2		13,0			Pr1	Días laborables: segundo inicio del deshielo (al menos como Ld1)
Ld3		21,0			Pr1	Días laborables: tercer inicio del deshielo (al menos como Ld2)
Ld4		nu			Pr1	Días laborables: cuarto inicio del deshielo (al menos como Ld3)

Mensaje	M1	M2	M3	M4	Menú	Descripción de los parámetros
Ld5		nu			Pr1	Días laborables: quinto inicio del deshielo (al menos como Ld4)
Ld6		nu			Pr1	Días laborables: sexto inicio del deshielo (al menos como Ld5)
Sd1		6,0			Pr1	Días festivos: primer inicio del deshielo
Sd2		13,0			Pr1	Días festivos: segundo inicio del deshielo
Sd3		21,0			Pr1	Días festivos: tercer inicio del deshielo
Sd4		nu			Pr1	Días festivos: cuarto inicio del deshielo
Sd5		nu			Pr1	Días festivos: quinto inicio del deshielo
Sd6		nu			Pr1	Días festivos: sexto inicio del deshielo
HES		0,0			Pr1	Aumento de la temperatura durante el ciclo de ahorro energético
PEL		n			Pr1	Activación del ahorro energético cuando la luz está apagada
LMd		y			Pr2	Sincronización deshielo
dEM		y			Pr2	Sincronización de fin de deshielo
LSP		n			Pr2	Sincronización del punto de consigna
LdS		n			Pr2	Sincronización de la visualización (temperatura enviada mediante LAN)
LOF		n			Pr2	Sincronización ON/OFF
LLI		y			Pr2	Sincronización de luces
LAU		n			Pr2	Sincronización AUX
LES		n			Pr2	Sincronización del Ahorro de energía
LSd		n			Pr2	Visualización de la sonda remota
LCP		n			Pr2	Sonda P4 enviada mediante LAN
SIM		n			Pr2	Solicitud de enfriamiento desde la LAN para activar el relé compresor
ACE		n			Pr2	Solicitud en frío en la LAN siempre activo, incluso en caso de bloqueo del compresor
P1C		ntc			Pr2	Configuración P1
OF1		0,0			Pr2	Calibración P1
P2C		ntc			Pr2	Configuración P2
OF2		0,0			Pr2	Calibración P2
P3C		nu			Pr2	Configuración P3
OF3		0,0			Pr2	Calibración P3
P4C		nu			Pr2	Configuración P4
OF4		0,0			Pr2	Calibración P4
LCL		y			Pr2	Luz activa durante la modalidad de limpieza
FCL		y			Pr2	Ventilador activo durante la modalidad de limpieza
MAP		1*M			Pr2	Selección del mapa
MP1		1*M			Pr2	Selección del mapa cargado desde la entrada digital
Adr		1			Pr1	Dirección modbus
br		96			Pr2	Selección de los baudios para Modbus: 9600 o 19200
EMU		nu			Pr2	Emulación de la versión precedente: 2V8, 3V8, 4V2
rEL		5,4			Pr2	Firmware del código de versión (solo de lectura)
SrL		-			Pr2	Firmware del código de versión (solo de lectura)
Ptb		-			Pr2	ID EEPROM mapa
Pr2		321			Pr1	Contraseña



**Dixell S.r.l.** - Z.I. Via dell'Industria, 27 - 32016 Alpage (BL) ITALY  
Tel. +39.0437.9833 r.a. - Fax +39.0437.989313 - EmersonClimate.com/Dixell - dixell@emerson.com