



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**  
**TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE**

**“DISEÑO DE APLICACIÓN IoT PARA LA  
SUPERVISIÓN ENERGÉTICA DE UNA  
INSTALACIÓN FRIGORÍFICA  
COMERCIAL”.**

**AUTOR: USLENGHI, JOSÉ CARLOS**

**TUTOR: PINEDA SÁNCHEZ, MANUEL**

**COTUTOR: SAPENA BAÑÓ, ÁNGEL**

**Curso Académico: 2017-18**

**“Fecha 06/2019”**



# **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, por haberme transmitido la educación y valores que me han traído hasta aquí. A mi pareja por acompañarme y apoyarme en este sueño. A mis tutores que me han conducido constantemente para dar forma a este trabajo. A la Universidad Politécnica de Valencia y a los valencianos por dejarme ser parte de esa maravillosa institución y ciudad y un especial agradecimiento a la Fundación Carolina por haber confiado en mí como embajador de las relaciones culturales y la cooperación educativa entre España y Argentina.

# RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el diseño de una aplicación para la supervisión energética de instalaciones frigoríficas comerciales, basada en el concepto y la tecnología de internet de las cosas.

Es el propósito del desarrollo de esta aplicación ofrecer un soporte a las actividades de auditorías energéticas o implementación de sistemas de gestión energética, en donde se deba caracterizar el consumo de energía de una instalación o supervisar las medidas de ahorro aplicadas.

Dentro de las principales características que ofrece esta aplicación están, la posibilidad de supervisar remotamente las condiciones de funcionamiento de un ciclo frigorífico, así como también su consumo energético. Asimismo, su conectividad a internet permite escalar el sistema de supervisión y agrupar las mediciones de varias instalaciones frigoríficas, lo que transforma a esta aplicación en una herramienta poderosa de benchmarking. El acceso a internet permite también el envío de notificaciones vía e-mail ante condiciones particulares del funcionamiento de alguna de las instalaciones. Por otro lado, cuenta con la capacidad de recopilación y registro en una base de datos, de las mediciones tomadas por los equipos, permitiendo crear un archivo histórico con la evolución del funcionamiento de la instalación.

Los componentes principales de este trabajo son la pasarela Simatic IOT2040, con la cual se realiza la lectura de buses de comunicación industriales y se conecta a internet. Asimismo, se ha utilizado el software de código abierto, Node-RED en el cual se desarrolla la programación del tratamiento al flujo de información que tiene lugar en la pasarela.

**Palabras claves:** gestión energética, Instalación frigorífica comercial, Internet de las cosas, benchmarking.

# RESUM

El present treball versa sobre el disseny d'una aplicació per la supervisió energètica de instal·lacions frigorífiques comercials sustentada en el concepte i la tecnologia de la internet de les coses.

El principal propòsit d'aquesta aplicació és la d'oferir una eina addicional a les activitats d'auditories energètiques o en la implementació de sistemes de gestió energètica per caracteritzar el consum energètic d'una instal·lació o per fer un seguiment de les mesures de estalvi energètic implementades.

Entre les principals característiques que ofereix l'aplicació desenvolupada destaquen: la possibilitat de supervisar de manera remota les condicions de funcionament d'un cycle frigorífic al mateix temps que es monitoritza el seu consum energètic. L'avantatge que ofereix la seua connectivitat a internet és la de poder escalar sistemes de supervisió energètica y poder agrupar i comparar les mesures de varies instal·lacions frigorífiques amb el consegüent estudi de mercat que es pot realitzar. També s'ofereix la possibilitat d'enviar notificacions via correu electrònic. D'altra banda, permet emmagatzemar les mesures i crear una base de dades i un registre històric que permetrà avaluar el funcionament de la instal·lació al llarg de la seua vida útil.

Els components principals empleats en aquest treball són la passarel·la Simatic IoT2040 amb la qual es poden realitzar la lectura de dades de de bus de comunicació industrial i transmetre la informació desitjada a través de la internet de les coses. Tanmateix, s'ha emprat programari de codi obert, Node-Red, per desenvolupar la programació que permet extraure la informació necessària en la passarel·la.

**Paraules clau:** gestió energètica, instal·lació frigorífica comercial, Internet de les coses, anàlisi de mercat.

# **ABSTRACT**

The present master thesis deals with the design of an application for the energy monitoring of commercial refrigeration facility, based on the concept and technology of the internet of things.

It is the purpose of the development of this application to offer support to the activities of energy audits or implementation of energy management systems, where the energy consumption of a facility must be characterized, or the saving measures applied must be supervised.

Among the main features offered by this application are the possibility of remotely monitoring the operating conditions of a refrigeration cycle, as well as its energy consumption. Likewise, its internet connectivity allows the monitoring system to be scaled up and the measurements of several refrigeration installations can be grouped, which transforms this application into a powerful tool for benchmarking. Internet access also allows notifications via e-mail under particular conditions of the operation of any of the facilities. On the other hand, it has the capacity to collect and record, in a database, the measurements taken by the devices in the field, allowing to generate historical data with the evolution of the operation of the installation.

The main component of this application is the intelligent gateway, Simatic IOT2040, which is used to read industrial communication buses and connect to the Internet. Likewise, the open source software, Node-RED, which has been the programming platform used for the data reading and processing.

**Keywords:** energy management, commercial refrigeration installation, Internet of things, benchmarking.

# ÍNDICE

1.	Introducción .....	3
1.1	Consumo energético global.....	3
1.2	Problemática energética actual.....	4
1.3	Acciones de mitigación contra el calentamiento global.....	6
1.4	Auditorías energéticas.....	7
2	Motivación y Objetivos.....	9
2.1	Objetivo general .....	9
2.2	Objetivos particulares .....	10
3	Prácticas actuales en auditorías y sistema de gestión energética .....	12
3.1	Definiciones, normativas y metodologías .....	12
3.2	Prácticas de medición y adquisición de datos.....	15
3.3	Metodología actual de benchmarking con otras instalaciones del sector.....	21
4	La Industria 4.0 y sus nuevas posibilidades.....	23
4.1	Internet de las cosas.....	23
4.2	MQTT, el protocolo del IoT.....	25
4.3	Oportunidades del IoT en eficiencia energética.....	26
5	Caso práctico: Auditorías energéticas en instalaciones frigoríficas comerciales.....	29
5.1	Instalación frigorífica de un supermercado.....	30
5.2	Cálculo de emisiones de CO2 en supermercados .....	41
6	Aplicación IoT para la supervisión energética en instalaciones frigoríficas comerciales.....	43
6.1	Introducción .....	43
6.2	Conectividad.....	43
6.3	Equipos para la implementación de la aplicación IoT .....	46
6.4	Programas para la implementación de la aplicación IoT.....	55
6.5	Diseño de interfaces de usuario .....	60
6.6	Detalles constructivos .....	78

---

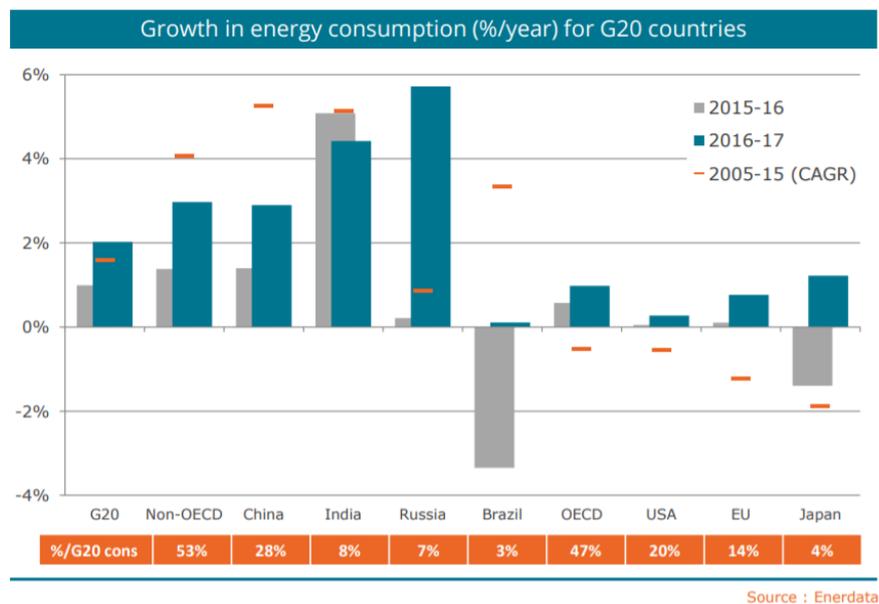
7	Presupuesto y resultados .....	85
7.1	Análisis de costos.....	85
7.2	Comparación con principales alternativas .....	87
8	Conclusiones.....	89
9	Referencias.....	90
10	Anexos.....	93
10.1	Anexo I: Especificaciones técnicas.....	93
10.2	Anexo II: Pautas de programación .....	95
10.3	Anexo III: Comunicación con protocolo MQTT.....	103
10.4	Anexo IV: Instalación y configuración del SO para el Simatic IOT2040.....	110
10.5	Anexo V: Cambio de configuraciones en el SIMATIC IOT2040.....	118

# 1. Introducción

## 1.1 Consumo energético global

El desarrollo económico y social de las sociedades actuales ha causado entre otras cosas un creciente consumo energético. La transformación en el estilo de vida moderno condujo a mayores niveles de explotación energética. El sector industrial, comercial y residencial, así como el sector de transporte, por nombrar algunos, demandan constantemente grandes cantidades de energía eléctrica y térmica para mantener su régimen de funcionamiento.

En los últimos 10 años, el aumento del consumo energético global fue causado principalmente por el crecimiento económico de los países asiáticos como China, India, Indonesia y Corea del Sur. Por otro lado, países como Estados Unidos, Japón o algunos europeos han desacelerado el ritmo de consumo energético, manteniendo no obstante un crecimiento económico [1]. Tal como se muestra en la ilustración (1),



**ILUSTRACIÓN 1 -TASAS DE CRECIMIENTO ENERGÉTICO DE PAISES DEL G20**

El consumo energético de un país se ve estrechamente relacionado con su actividad económica. Crisis económicas tenderán a disminuir el consumo energético como consecuencia del cese de actividades de producción industrial y consumo, es por ello que vale la pena analizar el indicador de intensidad energética, el cual se determina como el cociente entre energía consumida y producto bruto interno generado y el cual se considera el parámetro utilizado para evaluar la eficiencia energética de un país, traduciéndose como la cantidad de energía necesaria para generar una unidad de producto bruto interno.

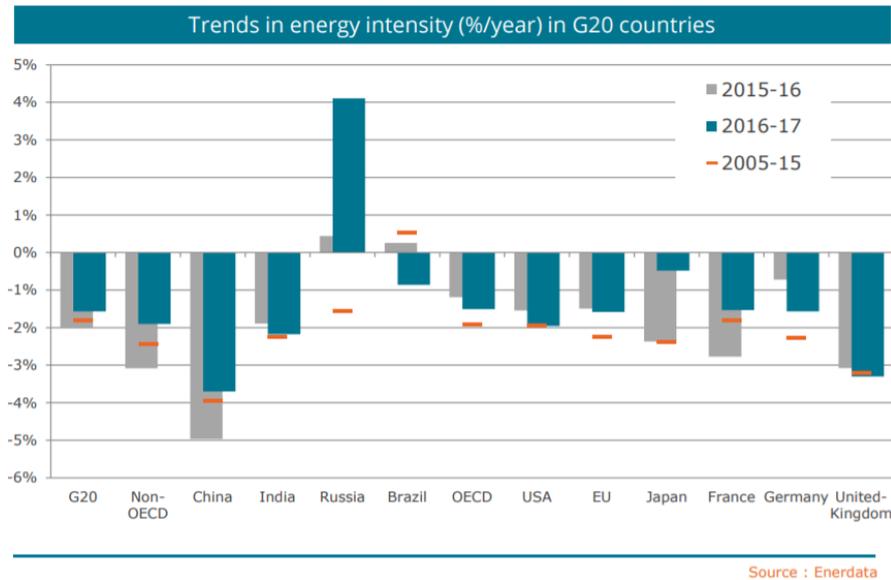


ILUSTRACIÓN 2-TASAS DE INTENSIDAD ENERGÉTICA EN PAÍSES DEL G20

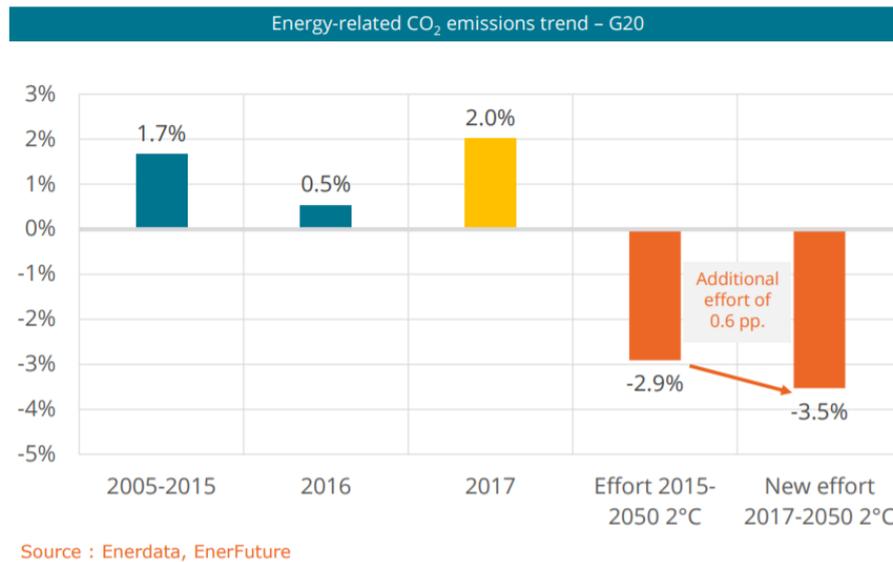
Como se observa en la ilustración (2), existe una tendencia casi general en los países desarrollados a consumir menos energía para aumentar su producto bruto interno, lo cual representa una buena tendencia para el cuidado del medio ambiente.

## 1.2 Problemática energética actual

Actualmente como sociedad enfrentamos una dependencia global de los combustibles fósiles para la generación de energía, siendo varias las consecuencias negativas causadas por la elevada tasa de explotación de hidrocarburos.

En primer lugar, se puede mencionar el deterioro del equilibrio natural del medio ambiente a causa del calentamiento global. Del resultado de la combustión de hidrocarburos, se produce dióxido de carbono, uno de los gases causantes del efecto invernadero y consecuente calentamiento global. Asimismo, la combustión de algunos combustibles fósiles genera otros contaminantes en la atmósfera como el óxido de nitrógeno o dióxido de azufre formando luego la lluvia ácida, la cual produce daños en las personas, vegetación, suelos y agua.

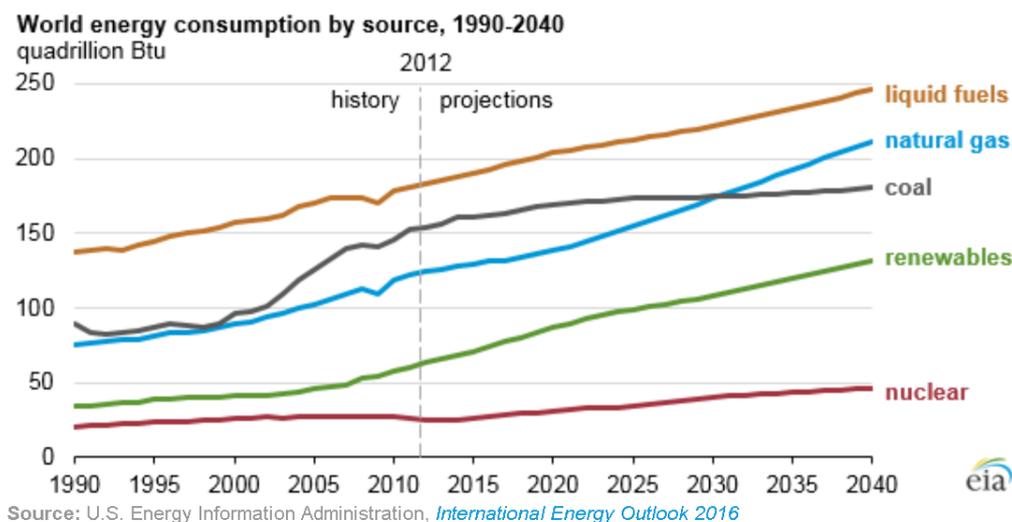
En el acuerdo de París sobre el cambio climático en 2015, hubo consenso en el deber de reconsiderar como se produce y consume energía para mantener el aumento promedio de temperatura global por debajo de los 2°C, lo cual requiere nada menos que la descarbonización del sector energético a un ritmo de -2,9%/año. Tal como se observa en la ilustración (3), hasta el momento y a pesar de todos los esfuerzos conjuntos llevados a cabo, parecen ser insuficientes para llegar los objetivos de emisión requerido. [2].



### ILUSTRACIÓN 3- TASA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA-EMISIÓN DE CO<sub>2</sub> DE PAÍSES DEL G20

Por otro lado, la clara necesidad de combustibles fósiles produce un elevado interés en el control y explotación de los yacimientos, los cuales solo se concentran en determinados lugares del planeta. La pelea por el dominio de las fuentes de hidrocarburos genera posiciones dominantes en el escenario global y acarrea dependencias, conflictos y tensiones entre países.

Asimismo, se debe recalcar que la mayoría de los recursos utilizados para generar energía como el petróleo, el gas natural o el uranio son del tipo no renovables, es decir que manteniendo este ritmo de consumo nos conducirá a la extinción de estas fuentes de energía [3]. Existen previsiones optimistas y pesimistas acerca del tiempo estimado de agotamiento de la reserva de petróleo, las cuales oscilan entre los 50 y 100 años. La proyección del uso de las fuentes de energía puede observarse en la ilustración (4)



### ILUSTRACIÓN 4 - EVOLUCIÓN Y PROYECCIÓN DEL USO DE FUENTES DE ENERGÍA

Resultan evidentes entonces todos los esfuerzos conjuntos realizados por la ciencia, la ingeniería y los gobiernos en post de disminuir el impacto del crecimiento económico sobre el medio ambiente y direccionarnos en un desarrollo más sustentable en el tiempo.

## 1.3 Acciones de mitigación contra el calentamiento global

### 1.3.1 Energías renovables

Un camino para lograr la descarbonización del sector energético es el reemplazo de combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, las cuales se diferencian de los combustibles fósiles en su diversidad, su abundancia y su disponibilidad en todos los lugares del planeta, tales son los casos como la energía hidráulica, eólica, solar, biocombustibles, entre otros.

El proceso de explotación de fuentes de energía renovables tomó ritmo desde hace unas décadas y está en plena etapa de desarrollo y crecimiento y todavía encuentra un gran camino por recorrer, puesto que como se observaba en la ilustración (4), los combustibles fósiles todavía son dominantes como fuente de energía a nivel mundial. [2] Sus costos están cayendo a un régimen constante, mientras que la tendencia general de los costos de los combustibles fósiles irán en dirección opuesta.

La Unión Europea ha dado notables pasos, en post de impulsar este cambio, desarrollando programas como el actual *Horizonte 20 20 20*, el cual contempla las siguientes metas: reducir un 20% la emisión de gases de efecto invernadero (en relación con los niveles de 1990), alcanzar un 20% de participación de las fuentes de energía renovables y 20 % de mejora en la eficiencia energética. Cabe aclarar que el recorrido necesario para alcanzar cada una de estas metas presenta áreas en común y la persecución de un objetivo tendrá efectos en los otros, sería el caso, por ejemplo, el de aumentar la participación de las fuentes de energía renovables lo que derivará también en la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero.

### 1.3.2 Eficiencia energética

Análogamente como en un sistema de riego puede acumularse y utilizarse el agua de lluvia para aumentar la capacidad de riego, el mismo objetivo puede alcanzarse reparando las pérdidas en las tuberías de agua. Tal analogía puede ejemplificar burdamente, que el reemplazo de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables no es la única solución en la que se está trabajando en estos días. El desarrollo de nuevas tecnologías y aplicaciones en el área de eficiencia energética es también un componente fundamental. Trabajar en la eficiencia energética es la clave para lograr un sistema energético seguro, confiable, económico y sostenible en el futuro.

En forma generalizada, eficiencia energética se define como la implementación de acciones con el fin de utilizar menos energía para realizar un mismo trabajo. La definición abarca varias situaciones, desde la introducción de mejoras tecnológicas, como las luminarias LED que consumen menos energía para generar la misma cantidad de luz o la mejora de la gestión de la energía, como la temporización

del encendido y apagado de luces en escaleras o pasillos. Tal definición de eficiencia energética nos permite hablar desde equipos hasta edificios eficientes.

“El mundo está perdiendo oportunidades para mejorar en eficiencia energética, las políticas actuales no están promoviendo todas las potenciales ganancias que son rentables, utilizando la tecnología actual. Estas acciones retardadas en eficiencia energética terminan estancándonos en la ineficiencia, lo que significa que se deberán tomar medidas mucho más fuertes en el futuro.” [4]

Este trabajo final de máster se desarrolla en el marco de aplicaciones de mejora de la gestión energética que permitan realizar una monitorización del consumo eléctrico para introducir medidas de eficiencia energética.

### 1.3.2.1 Programa nacional de ahorro y eficiencia energética

Por otro lado, en el ámbito nacional, España como uno de los países miembros de la unión europea, ha pactado y firmado su compromiso en alcanzar una mayor eficiencia energética acordado en la directiva 2012/27/UE.

De estas directivas a nivel europeo, surgen programas como el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020 (PNAEE), el cual representa un programa nacional de ordenamiento que se alinea con los objetivos del *Horizonte 20 20 20*. El mismo implementa herramientas como un sistema nacional de obligaciones de ahorro energético aplicable a empresas comercializadoras de gas y electricidad y a los operadores de productos petrolíferos al por mayor entre otros. El PNAEE también creó un Fondo Nacional de Eficiencia Energética para financiar aquellos proyectos o actividades que produzcan ahorro energético tales como: renovación de instalaciones de alumbrado municipal, ayudas para actuaciones de eficiencia energética en PyMEs, programas de ayuda de cambio modal y uso más eficiente de los modos de transporte o incluso campañas de comunicación por nombrar algunos. [5]

Asimismo, entre las medidas a aplicar por este plan, está la de impulsar nuevas inversiones con el objetivo de promocionar el uso eficiente de la energía por parte de los clientes finales. Para ello, el Estado incentiva a los pequeños consumidores como Pymes a realizar estudios de auditorías energéticas en sus instalaciones y aplicar las medidas de mejora que surjan como resultado de ellas. Para las empresas más grandes, las auditorías energéticas son de carácter obligatorio, puesto que el potencial de ahorro es mucho mayor, estableciéndose también un régimen de frecuencias de 4 años entre auditorías.

## 1.4 Auditorías energéticas

Resulta oportuno entonces sintetizar los párrafos anteriores y resaltar como la realización de auditorías energéticas representa una de las herramientas acordadas para mitigar la problemática energética actual. Las auditorías resultan fundamentales para determinar cuándo, cómo y dónde se consume energía y así poder identificar medidas de ahorro en el proceso o la instalación. Estas requieren una gran tarea de medición y adquisición de datos en la instalación para poder caracterizar el flujo

energético de la misma y es esta tarea la cual pretende mejorar la aplicación desarrollada en este trabajo de fin de máster.

#### 1.4.1 Estimación de emisiones de CO2 equivalente

Sin perder el objetivo de vista tanto la explotación de fuentes de energía renovables como la implementación de auditorías energéticas tienen dentro de sus principales metas disminuir la emisión de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono. Resulta entonces importante la determinación de como contribuyen las medidas aplicadas en mitigar dichas emisiones.

El Real Decreto 163/2014 publicado en el 2014 decretó la creación del registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono. [6]

Se trata de un registro voluntario que nace con la vocación de fomentar el cálculo y reducción de la huella de carbono por parte de las organizaciones españolas, así como de promover los proyectos que mejoren la capacidad sumidero de España.

En tal registro las empresas podrán en primer lugar inscribirse, calcular su huella de carbono y establecer un plan de reducción, en segundo lugar, si estas quieren compensar su huella de carbono, para lo cual tendrán la posibilidad de hacerlo a través de proyectos de sumideros agroindustriales en España y por último podrán asentar las acciones que hayan realizado para la compensación de la huella de carbono, dando el respaldo institucional a las mismas.

La aplicación desarrollada en este trabajo de fin de Máster constituye una herramienta que no solo contempla la evaluación energética de la instalación, sino que también puede emplearse como asistencia para la estimación de la huella de carbono generada por la instalación.

## 2 Motivación y Objetivos

En base a la previa exposición de la problemática energética a nivel global y las acciones tomadas para la mitigación de esta, se funda la principal motivación de la realización de este Trabajo de Fin de Máster, la cual tiene como camino la búsqueda de nuevos métodos y herramientas que impulsen las aplicaciones de eficiencia energética.

La aparición constante de tecnologías disruptivas como el internet de las cosas o la nube y el lanzamiento de dispositivos como las pasarelas inteligentes ofrecen nuevas posibilidades que pueden mejorar sensiblemente la realización de ciertas tareas o procesos. Motivó al desarrollo de este Trabajo, la búsqueda de la integración de estas nuevas tecnologías y sus ventajas a las tareas de una auditoría energética, en donde finalmente se ha alcanzado mejoras en las tareas de medición, adquisición de datos y benchmarking energético.

Por otro lado, motivó la realización de este trabajo la aplicación de los conocimientos adquiridos durante el cursado del Máster en Tecnología Energética para el Desarrollo Sostenible y la cumplimentación de los requisitos para obtener el título.

### 2.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de fin de Máster es ofrecer una herramienta a auditores energéticos que les facilite la tarea de medición y adquisición de datos tanto en una auditoría o en la aplicación de un sistema de gestión energética de una instalación frigorífica.

La aplicación desarrollada plantea mejorar la tarea de medición y adquisición de datos en los siguientes aspectos:

- Introducir las ventajas de la nueva tecnología de internet de las cosas al proceso de medición y adquisición de datos, desarrollando una herramienta de medición con acceso remoto, que reduzca los costos de movilidad y tiempo de traslado del auditor energético.
- Aprovechar la conectividad a internet de la aplicación para facilitar la contrastación, en tiempo real, de los indicadores energéticos entre todas las instalaciones monitorizadas por el auditor, de manera de entender el posicionamiento de la instalación en materia de consumo energético.
- Obtener una plataforma abierta, flexible y de bajo coste que permita explotar las capacidades de comunicación de los equipos de medición, presentes en una instalación, reutilizando sus datos y ahorrar así en la adquisición e instalación de nuevos instrumentos.
- Generar paneles de visualización de las mediciones en donde pueda compararse la evolución histórica del consumo energético y desempeño de la instalación, convirtiéndose en

una herramienta de toma de decisiones para proponer medidas de ahorro o de seguimiento de estas, cuando ya se hayan aplicado.

- Generar avisos, notificaciones y reportes periódicos vía email ante determinados eventos en las mediciones, para alcanzar un comportamiento reactivo ante comportamientos anómalos del desempeño energético de la instalación.

## 2.2 Objetivos particulares

- Analizar los métodos y herramientas actuales utilizadas en la tarea de medición y adquisición de datos y presentar sus principales problemáticas e inconvenientes.
- Introducir los cambios tecnológicos que impulsan la revolución industrial 4.0 y mostrar como estos pueden resolver algunas de las problemáticas citadas en el punto anterior.
- Presentar un caso práctico de aplicabilidad, como la auditoría energética a una instalación frigorífica de un supermercado, describiendo los principales equipos que pueden encontrarse y algunos de los lazos de control optimizables de dicha instalación.
- Describir la aplicación desarrollada a base de la pasarela IoT, explicar la topología de red propuesta, con la conexión a equipos presentes en la instalación, así como también el diseño de los paneles de supervisión, con visualizaciones que permitan el seguimiento del consumo energético de la instalación frigorífica y otras funcionalidades útiles para el auditor energético.
- Comparar las prestaciones y costo económico de la aplicación desarrollada en este trabajo con otros equipos de medida y adquisición de datos ofrecidos en el mercado.

# MEMORIA

## ***Descripción de capítulos***

### ***3. Prácticas actuales en auditorías y sistema de gestión energética***

Se profundiza acerca de la normativa y la metodología actual que rigen en las prácticas de auditorías energéticas. En este trabajo interesan las tareas específicas de medición, recolección de datos y comparación de indicadores con otras instalaciones y específicamente con instalaciones frigoríficas, para las cuales la aplicación aquí presentada puede facilitar su tarea. Para ello se describen las prácticas habituales de los auditores y sus principales inconvenientes.

### ***4. La industria 4.0 y sus nuevas posibilidades***

Breve introducción a la última revolución industrial y al concepto de internet de las cosas que esta incorpora. También se detalla cómo estos cambios irrumpen en la arquitectura tradicional de la comunicación industrial y como pueden aportar valor al proceso de medición y recolección de datos en auditorías energéticas.

### ***5. Caso práctico: Auditoría energética a una instalación frigorífica comercial***

Se presenta el caso de una auditoría energética al sistema de refrigeración de un supermercado, donde se comienza por describir los componentes principales de una instalación típica. Se introducen también los lazos de control en la condensación y en los ciclos de descongelado y las medidas de ahorro que surgen a partir de la optimización de estos.

### ***6. Aplicación IoT para la supervisión energética de sistema de refrigeración***

Se expone la topología de comunicación, la selección de equipos y programas utilizados en la aplicación IoT, así como también, las pautas de programación y los detalles constructivos. Además, se presenta el diseño de las interfaces de visualización para realizar el seguimiento al consumo energético de la instalación, la optimización de medidas de ahorro y la comparación con otras instalaciones monitoreadas.

## 3 Prácticas actuales en auditorías y sistema de gestión energética

### 3.1 Definiciones, normativas y metodologías

#### 3.1.1 Definiciones

##### Auditoría energética (AE)

Las auditorías energéticas se definen como un estudio del flujo de entrada y salida de energía en una instalación, con el propósito de ponderar puntos de consumo en forma cuantitativa y cualitativa. Finalmente, el estudio concluye con la proposición de medidas cuyo análisis haya arrojado mayores ahorros energéticos, económicos o de reducción de impacto ambiental.

##### Sistema de gestión energética (SGEn)

Un sistema de gestión de la energía tiene el propósito de permitir a una organización contar con un enfoque sistemático para alcanzar una mejora continua en su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética, el uso y el consumo de la energía. [7]

#### 3.1.2 Normativas

En el año 2016 con la publicación del real decreto 56/2016, se obligó a las grandes empresas, de más de 250 empleados o con un determinado volumen de negocio a cumplir cualquiera de las siguientes alternativas: [8]

- Realizar una auditoría energética que cumpla las directrices mínimas.
- Aplicar un sistema de gestión energética o ambiental, certificado por un organismo independiente con arreglo a las normas europeas o internacionales correspondientes, siempre que el sistema de gestión de que se trate incluya una auditoría energética realizada conforme a las directrices mínimas.

Con la obligatoriedad de la realización de auditorías energéticas se ha asignado al conjunto de normas UNE-EN 16247 como la metodología a seguir para el procedimiento de dichos estudios. La Norma especifica los requisitos, la metodología común y los entregables de las auditorías energéticas. Se aplica a todo tipo de instalaciones y organizaciones y a todo tipo de usos de la energía.

Por otro lado, la norma internacional ISO 50001:2011 especifica los requisitos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de energía en una empresa.

### 3.1.3 Metodología

Basado en la norma UNE-EN 16247, la cual reglamenta los pasos y los contenidos mínimos que deben ser abordados en la documentación de una auditoría energética, se enumeran una serie de etapas que organizan el procedimiento.

#### Fase I: inicial

1. Recopilación de información
2. Visita a las instalaciones
3. Mediciones y adquisición de datos
4. Valoración inicial del flujo energético

#### Fase II: Balance energético

1. Análisis detallado de la producción
2. Análisis detallado de consumo energético

#### Fase III: Benchmarking

1. Cálculo de los consumos y costos específicos
2. Categorización de la instalación en su sector
3. Comparación de los consumos y costos específicos con otras instalaciones del sector

#### Fase IV: Evaluación de acciones aplicables

1. Análisis de potenciales acciones de mejora
2. Evaluación técnico-económica y medioambiental.

#### Fase V: Reporte final

En este trabajo interesa profundizar sobre las tareas particulares de mediciones y recolección de datos y comparación de indicadores con otras instalaciones del sector, para las cuales la aplicación aquí presentada facilita su realización.

Ambas etapas son particularmente importantes en una auditoría, la recopilación, medición y adquisición de datos es la “materia prima” con la cual trabaja un auditor energético. Análogamente a un proceso productivo, los resultados serán buenos, en parte, si la materia prima también lo es. Aunque, la adquisición de datos es solo el comienzo y posteriormente le sobrevienen tareas de análisis y cálculos sobre los datos recolectados.

Por otro lado, una vez que se obtiene los indicadores energéticos de la instalación, los mismo se deben comparar con indicadores de otras instalaciones del sector, puesto que del contraste se sabrá si la instalación analizada es eficiente o no, lo que da a lugar luego una proposición de mejora. Para ello es necesario contar con indicadores de referencias actualizados.

En la ilustración (5) puede observarse el diagrama de toma de decisiones en una auditoría energética.

### Ejemplo de proceso de auditoría energética

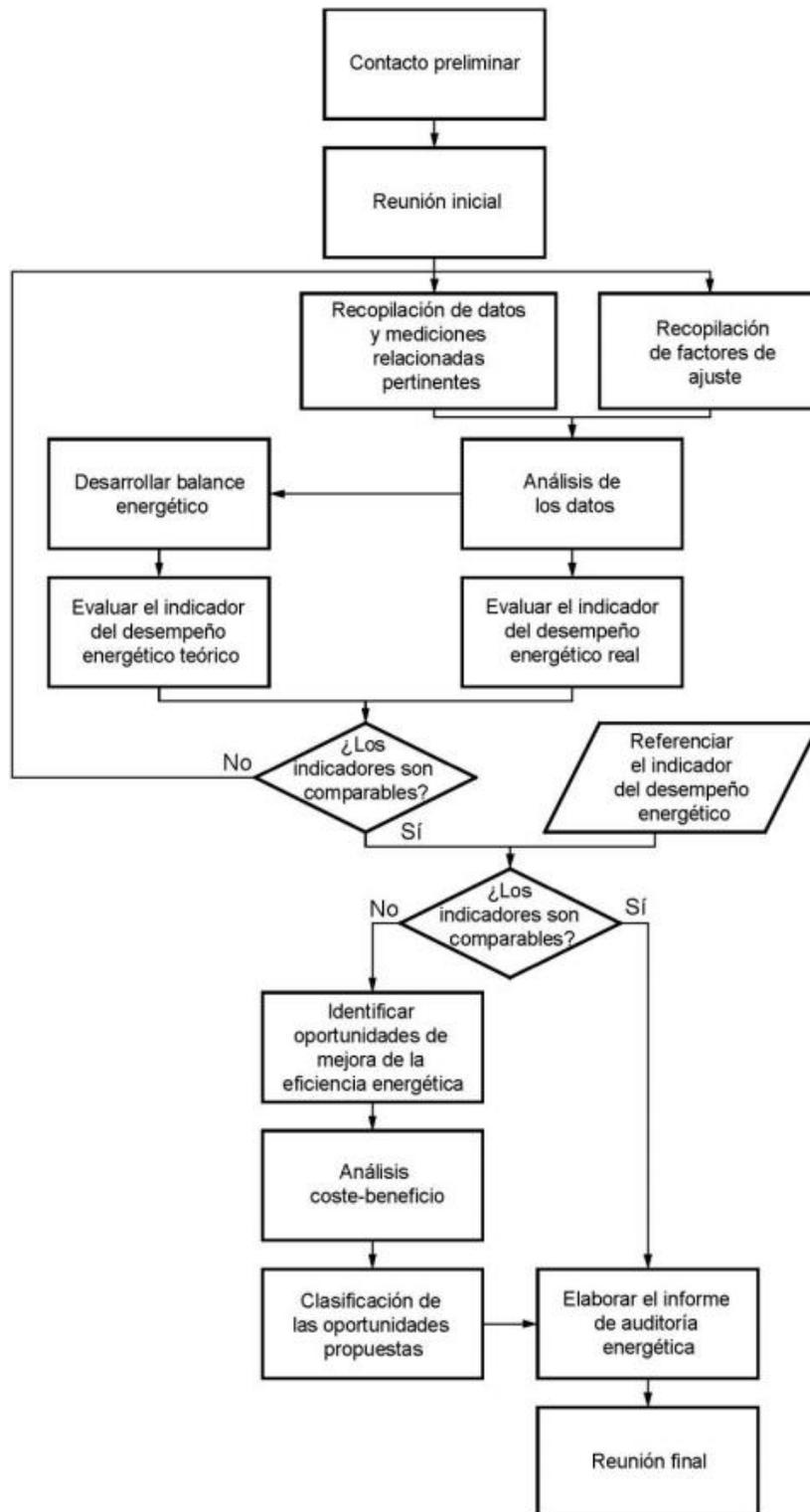


ILUSTRACIÓN 5-PROCESO DE AUDITORIA ENERGÉTICA (FUENTE UNE 16247-3:2014)

### 3.2 Prácticas de medición y adquisición de datos

La tarea de medición es particular de la instalación o proceso que se está auditando. El auditor suele utilizar varios equipos de medición y registro, tales como analizadores de redes, termómetros, higrómetros, contadores y tantos más, de tal forma que pueda identificar el estado y contabilizar los flujos energéticos de un proceso. Cabe aclarar que aquí solo se mencionarán instrumentos y metodologías referentes a instalaciones frigoríficas, en la cual se centra la aplicación de este trabajo.

Asimismo, una de las cuestiones sobre las que se hará hincapié, es en el modo de lectura y comunicación de los equipos de medición, destacando las ventajas de poder acceder a mediciones en forma remota. Para ello se presenta en la ilustración (6) un panorama general del rumbo con el que serán tratados las cuestiones referentes a las prácticas de medición y adquisición de datos, desde la perspectiva de las capacidades de comunicación y visualización de la información.

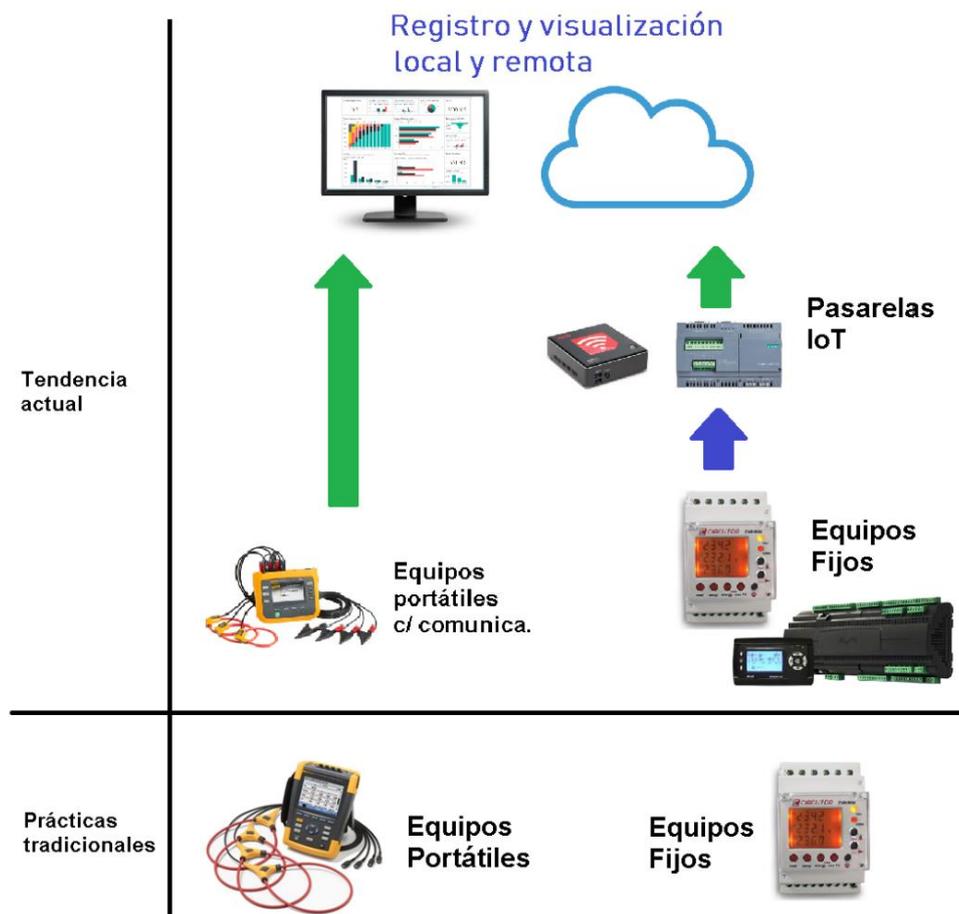


ILUSTRACIÓN 6- ESQUEMA DE EQUIPOS Y CAPACIDADES DE COMUNICACIÓN.

#### 3.2.1 Equipos portátiles

Una de las principales herramientas de un auditor energético es el analizador de redes portátiles. Ver ilustración (7). El mismo tiene la capacidad de medir y registrar un sin número de parámetros

eléctricos, incluida la medición de energía tanto monofásica como trifásica, con lo cual se puede obtener una radiografía del consumo energético de la instalación. Además, por su fácil conexión resulta relativamente sencillo realizar mediciones en varios puntos de la instalación. Sin duda todas estas ventajas también se ven reflejadas en su precio.



**ILUSTRACIÓN 7-ANALIZADOR DE REDES PORTÁTILES - FUENTE: [9]**

Es práctica habitual durante la adquisición de datos, dejar instalado en un armario eléctrico un analizador de redes portátil por un periodo que puede ir desde días a semanas, para luego volver a la instalación, recoger el analizador y descargar los datos históricos medidos en un ordenador para su posterior estudio. Esto representa un gran gasto de horas de movilización hasta las instalaciones auditadas, además del total desconocimiento de la evolución de la toma de medidas hasta que se vuelva a la instalación. Es posible también que algún cambio en el ajuste de la instalación o acción de algún operario afecte al equipo de medición y altere o interrumpa el registro de datos, lo cual solo podrá detectarse cuando se recoja el analizador para la extracción de los datos, obligando al auditor a volver a tener que tomar las mediciones.

Como se ha mencionado anteriormente, para realizar una auditoria se puede requerir medir otros parámetros además del consumo eléctrico, como por ejemplo la temperatura de operación de un sistema de refrigeración. En este caso se necesita un registrador de temperatura Ver ilustración (8) y luego en la etapa de procesamiento de datos se debe hacer una combinación temporal de los registros de consumo energético y temperatura de operación. *Este procedimiento puede simplificarse notablemente con la aplicación desarrollada en este TFM.*



**ILUSTRACIÓN 8-MEDIDOR Y REGISTRADOR PORTÁTIL DE TEMPERATURA - FUENTE: [9]**

### 3.2.2 Equipos fijos

En algunos casos es conveniente realizar una medición continua y tomar registros de los datos por períodos de tiempos más largo, para lo cual los equipos portátiles no resultan ser los más convenientes. En instalaciones frigoríficas como las que se estudian en este trabajo, existe una variación estacional en las mediciones de consumo y se debe principalmente a la variación de la demanda energética respecto a los cambios de temperatura. Por lo tanto, para poder realizar un estudio completo, resulta conveniente evaluar la posibilidad de instalar un equipo analizador de redes del tipo fijo, ver ilustración (9), resultando ser estos más económicos que los equipos portátiles.

Por otro lado, en la industria o en algunos grandes edificios, se pueden encontrar analizadores de redes fijos instalados en los armarios eléctricos. En estos casos, la principal función del equipo es la de visualizar medidas eléctricas como tensión, corriente o factor de potencia que permitan al personal de mantenimiento corroborar el estado de carga del tablero o el estado de la compensación de energía reactiva. En tal caso puede evaluarse la utilización de las mediciones del equipo instalado, incurriendo ya en un gran ahorro de equipamiento para el análisis energético.

Sin embargo, una de las carencias de los equipos fijos reside en la falta de visualización de la tendencia de los datos, así como también solo escasos modelos de altas prestaciones tienen la posibilidad de registrar sus mediciones. No obstante, equipos como los analizadores de redes vienen con capacidad de comunicarse a otros equipos u ordenadores a través de buses de comunicación industrial, como Modbus RTU, pudiendo desde ahí generar las visualizaciones y registros de las medidas tomadas.

En algunos casos, cuando se cuenta con la infraestructura y se decide implementar un sistema de gestión energética, entonces suelen explotarse las capacidades de *comunicación* de estos equipos y se transmiten las mediciones a un sistema SCADA o PAC desde los cuales se pueden procesar y graficar la información, además de registrar los datos históricos. Claro está que este tipo de supervisión suele aplicarse principalmente en el área industrial, en donde ya existe una inversión inicial del sistema SCADA para la supervisión y control de procesos, así como también personal idóneo para realizarlo.



ILUSTRACIÓN 9-ANALIZADOR DE REDES FIJO PARA MONTAJE EN RIEL DIN-FUENTE: [10]

Tomándose como referencia el caso anteriormente citado, resulta oportuno remarcar la existencia de estas situaciones en las que se desaprovechan las prestaciones del equipamiento instalado. Equipos como variadores de velocidad, arranques suaves, contactores y controladores de temperatura, entre otros, que miden parámetros valiosos para un auditoria energética y que además están provistos con capacidades de comunicación. La aplicación de supervisión energética desarrollada en este trabajo saca partido de esta situación, reutilizando mediciones tomadas por equipos preexistentes en la instalación. En el capítulo 4, se explicarán las principales limitaciones por las cuales no solían reutilizarse estas mediciones y que paradigmas han cambiado para que hoy se puedan utilizar.

### 3.2.3 Nuevos equipos con conectividad a internet

Por último, se mencionan algunos lanzamientos de fabricantes de nuevos equipos de medición que han integrado capacidades de comunicación basados en la tecnología de internet de las cosas, además estos fabricantes cuentan con servidores propios alojados en la nube, lo que tiene como principal ventaja permitir a los usuarios la supervisión remota de las mediciones tomadas con sus instrumentos de medición. Tal como se mencionó anteriormente, la posibilidad de registro y visualización remota genera grandes ahorros en transporte en la tarea de un auditor energético.

#### 3.2.3.1 Medidor portátil con conectividad a internet

Fluke, es uno de los fabricantes de equipos de medición portátil que ya conectividad en sus equipos, como su nueva línea de analizadores de redes. Estos equipos son robustos, aptos para uso industrial, relativamente sencillos de usar incorporan además una conectividad que permite la recolección de sus medidas para supervisarlos remotamente desde un celular o Tablet. Ver ilustración (10).



El monitor de potencia trifásico 3540 FC es un dispositivo compacto para monitorear sistemas trifásicos y transmitir datos a la nube Fluke Connect® como parte del sistema de monitoreo de condición de Fluke. Los datos de medición de Fluke Connect Cloud están disponibles en cualquier dispositivo conectado mediante la aplicación móvil o la interfaz web de Fluke Connect. Los gráficos están disponibles para mostrar las tendencias y fluctuaciones de las mediciones durante el período de monitoreo. Los ajustes de alarma opcionales pueden notificar a los usuarios inmediatamente cuando los valores de medición están fuera de los umbrales especificados. **Este producto requiere el software de monitoreo de condición Fluke.**



Con la aplicación Fluke Connect se puede acceder a los datos de monitoreo de los equipos de Fluke desde cualquier lugar y en cualquier momento. Detectar el desarrollo de fallas, recibir alarmas y ver un historial de rendimiento del equipo. Este software es compatible con el Monitor de potencia trifásico Fluke 3540 FC.

ILUSTRACIÓN 10-EQUIPOS OFRECIDOS EN LA PÁGINA OFICIAL DE FLUKE

### 3.2.3.2 Extensión de conectividad

Por otro lado, AKO, una empresa dedicada a la refrigeración industrial y comercial ha desarrollado una pasarela que permite conectarse a los controladores, de su marca, de una instalación frigorífica y enviar sus datos a una plataforma en la nube. Con lo cual es posible realizar una supervisión remota del desempeño del ciclo frigorífico, así como ser notificado ante eventuales alarmas.



La solución para la telegestión y monitorización de forma sencilla y fiable. AKOSOFT dispone de soluciones específicas para la monitorización y telegestión de instalaciones frigoríficas controladas por equipos AKO que dispongan de comunicaciones para las siguientes gamas: AKOCONTROL,

Aunque son cada vez más comunes los equipos de monitorización remota que venden los fabricantes de componentes para las instalaciones frigoríficas, estos no contemplan el consumo energético de la instalación, sino que abarcan las mediciones de las principales variables frigoríficas del sistema. Además, se debe aclarar, que los equipos de telegestión, solo funcionan con algunos controladores de la misma marca, por lo que resulta difícil, para un auditor energético, aplicar esta solución cuando la instalación corresponde a otra marca o no tiene los equipos adecuados.

Análogamente, el sistema de monitoreo de Fluke solo admite componentes de esta marca, con lo cual, aunque representa una herramienta muy útil y relativamente sencilla de usar, es importante entender sus limitantes.

### 3.2.3.3 Pasarelas abiertas

Anticipando el desarrollo del trabajo, se menciona el equipo de Siemens, Simatic IoT2000. ver ilustración (11), el cual es una pasarela con la posibilidad de tomar información por un puerto serie RS-485 o Ethernet y enviarlos a un servidor en la nube. Este dispositivo representa una solución abierta y flexible, para realizar un monitoreo remoto. La flexibilidad de leer datos de protocolos abiertos y ampliamente utilizados como Modbus RTU o Modbus TCP hace posible su conexión a una gran cantidad de equipos y el envío de datos a cualquier servidor en la nube, lo cual brinda la posibilidad de elección entre varios precios y características de servicios de almacenamiento en la nube. Como contrapartida se requieren más habilidades de programación para su implementación.



ILUSTRACIÓN 11-PASARELA ABIERTA DE SIEMENS SIMATIC IOT2040 – FUENTE: [11]

### 3.3 Metodología actual de benchmarking con otras instalaciones del sector

Otro requerimiento en una auditoría energética es la comparación de los consumos y costos específicos con otras instalaciones del sector, para ello se citará un ejemplo:

Siendo auditores energéticos, se podría tener el caso de auditar las instalaciones de un supermercado. Uno de los requerimientos de una auditoría energética es el cálculo de indicadores de desempeño, los cuales permiten entre otras cosas estimar las bases para un contraste de la evolución del consumo de la instalación, y también en referencia con otras instalaciones comparables y justificar la necesidad o no de implementar medidas de eficiencia energética

Interesa en este trabajo hablar sobre el estudio comparativo entre instalaciones del sector. Donde existe una posibilidad de mejora en su elaboración.

Según la norma UNE-EN 16231, el estudio comparativo de la eficiencia energética entre instalaciones suele estar motivado por las siguientes razones:

- Entendimiento de los niveles de eficiencia energética respecto a otras instalaciones del sector.
- Definición de objetivos de desempeño energético.
- El seguimiento del rendimiento energético de las mejores prácticas.

Este último punto resulta una información valiosa para un posterior asesoramiento por parte del auditor energético en selección y desempeño de instalaciones frigoríficas.

Como ejemplo de indicador del desempeño energético de supermercados se puede considerar la energía consumida mensualmente por metro cuadrado de instalación [kWh/mes.m<sup>2</sup>]. Se debe observar que, para poder contrastar diferentes instalaciones, es necesario normalizar las medidas entre ellas, para este caso se ha escogido la superficie edilicia como parámetro de normalización, aunque la normalización de las medidas requiere de un análisis detallado para poder comparar equitativamente las instalaciones.

En la actualidad, una comparación como tal, se suele realizar recolectando los datos de facturación eléctrica de cada instalación en una hoja de cálculo y calculando los indicadores necesarios, procurándose además que los datos correspondan a períodos de tiempo y condiciones similares. Como muchas veces resulta difícil aseverar que los datos corresponden a condiciones similares, se trabaja con promedios anuales resignando detalles comparativos.

Claro está que utilizando la facturación eléctrica no es posible tener una discriminación del consumo por cargas imposibilitando tener una comparación más detallada entre instalaciones. Si se quisieran comparar los sistemas de refrigeración de los supermercados, se necesitaría tomar mediciones puntuales. Recolectar los datos de todas las instalaciones incurre en un importante gasto de movilidad y tiempo.

La posibilidad de obtener mediciones remotas, de los consumos energéticos, de diferentes instalaciones, crea la oportunidad de realizar comparaciones simultáneas de los indicadores energéticos, pudiéndose conseguir así, alertas tempranas de desviaciones del óptimo.

En el siguiente capítulo se hará una introducción a la industria 4.0 con la irrupción de nuevos paradigmas en la comunicación de los equipos y posteriormente se presentará una aplicación basada en ella que facilitará la tarea de un auditor energético.

## 4 La Industria 4.0 y sus nuevas posibilidades

La manufactura de productos ha atravesado tres cambios disruptivos en el pasado. El primero de ellos llamado, la revolución industrial, tuvo lugar al final del siglo XVIII, cuando la máquina a vapor entro en las fábricas y permitió aumentar la mecanización de las tareas más repetitivas y físicamente demandante. Esto ayudó a incrementar la productividad y bajar los costos de producción, además de elevar el estándar de vida y el crecimiento de las ciudades alrededor de las fábricas.

La segunda revolución industrial ocurrió al final del siglo XIX con la introducción de las líneas de ensamblado alimentadas por energía eléctrica generada a partir de gas o petróleo permitiendo mejorar enormemente la eficiencia en la producción en masa.

La tercera revolución industrial en los 70' tuvo lugar a partir de la aparición de aplicaciones de electrónica y tecnología básica de comunicación en la producción abriendo la posibilidad de automatizar los procesos e incrementar aún más la productividad [12].

Finalmente, muchos afirman que se está en presencia de una cuarta revolución industrial, identificada por la tendencia de una integración cada vez más profunda entre los procesos de manufactura y la tecnología informática (IT). Las ventajas de la industria 4.0 están ligadas a la digitalización industrial con el fin de alcanzar mayor flexibilidad, eficiencia y mejoras en los costos de producción. Dicha revolución industrial está impulsada por los desarrollos tecnológicos en la conectividad de equipos, también llamado internet de las cosas o por sus siglas en inglés (IoT). En la ilustración (12) se observan las tecnologías o avances que impulsaron cada revolución industrial.



ILUSTRACIÓN 12-REVOLUCIONES INDUSTRIALES A LO LARGO DE LA HISTORIA

### 4.1 Internet de las cosas

¿Qué es la internet de las cosas? En el sentido más amplio del término engloba el concepto “*todos los dispositivos conectados a internet*”, pero también es utilizado para referirse a la acción de los dispositivos “hablando” entre sí. En otras palabras, la expresión Internet de las cosas es todo acerca de redes, dispositivos y datos. [13]

Combinando estos dispositivos conectados con la tecnología informática, es posible recopilar información, analizarla y crear acciones para ayudar a alguien en determinada tarea o aprender más acerca de un proceso. Esta tendencia a la conectividad se encuentra en plena etapa de desarrollo y en

búsqueda de nuevas aplicaciones, es por ello por lo que también presenta enormes desafíos por resolver, como por ejemplo la estandarización de los protocolos de comunicación entre los dispositivos o la ciberseguridad de los datos transmitidos. [14]

Actualmente la tecnología del internet de las cosas es aplicada en diferentes campos, incluido entre ellos el ámbito industrial, es por ello que se ha distinguido como IIoT (Industrial internet of things) a esta nueva tecnología aplicada al ámbito industrial.

En los últimos años, los principales fabricantes de equipos de automatización y control industrial han realizado lanzamientos de dispositivos y plataformas que incluyen la conectividad directa a internet. Sin embargo, existe mucho equipamiento instalado en la industria, sin esta conectividad, es por ellos que también se introducen las pasarelas de comunicación, que son equipos traducen los protocolos industriales a los protocolos de internet.

En la ilustración (13) se muestra una arquitectura de comunicación en donde conviven la tecnología sin IoT y con IoT

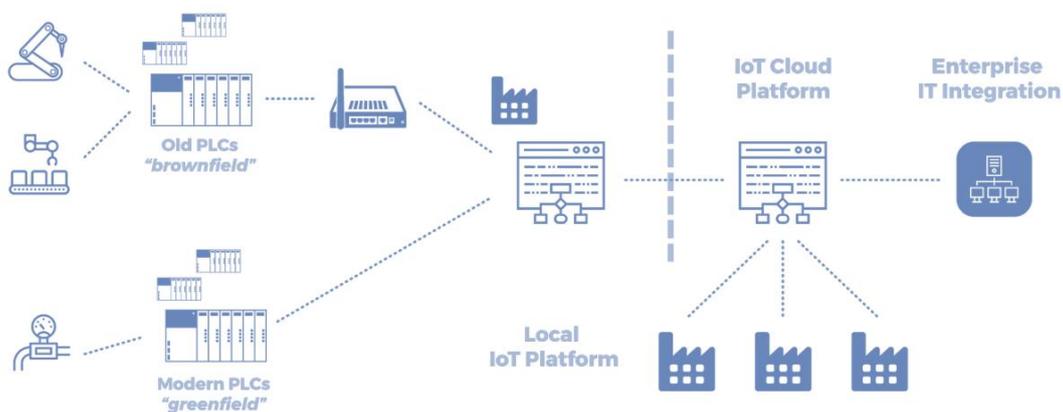


ILUSTRACIÓN 13-ARQUITECTURA TÍPICA DE UNA APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA 4.0. FUENTE [15]

#### 4.1.1 Cambio de paradigma en la arquitectura de comunicación

Como se hizo referencia en el capítulo anterior (3.2.2), donde se habló sobre la falta de explotación de la comunicación de algunos equipos fijos industriales como analizadores de redes, variadores de velocidad, arranques suaves entre otros, se podría explicar según la visión de la industria 3.0, la cual pone su foco de atención en la utilización de los equipos principalmente para los fines de automatización y control de los procesos. Además, la arquitectura de comunicación típica de la industria 3.0 se encuentra fuertemente estratificada en niveles, como por ejemplo instrumentos de medición, control, supervisión y administración (tal como se muestra en la pirámide de la comunicación de la ilustración (14)) y con un restringido acceso de los datos entre ellos, dicho tráfico es administrado en forma exclusiva por PLCs y servidores.

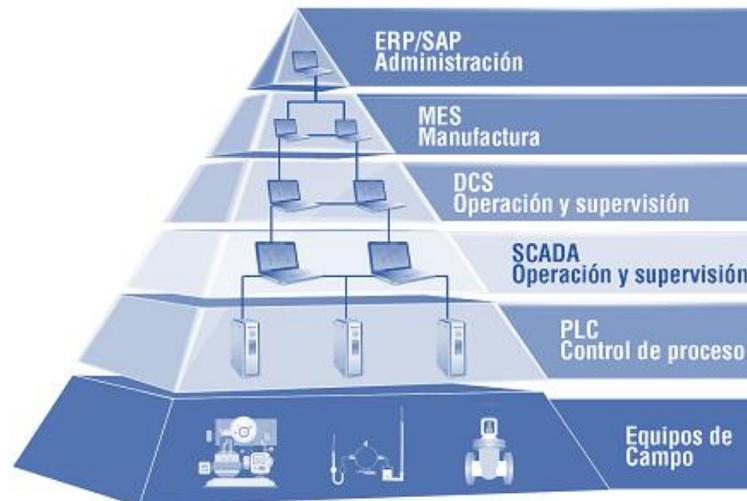


ILUSTRACIÓN 14-PIRÁMIDE DE LA COMUNICACIÓN 3.0

La nueva tendencia de la aplicación de internet de las cosas en la Industria 4.0, redefine el enfoque de la comunicación y la estratificación, ofreciendo la posibilidad de que los equipos de campo tengan conexión directa o indirectamente a través de pasarelas a internet. Esto supone, en primer lugar, prácticamente la eliminación de cualquier restricción geográfica, tanto como para concentrar, en tiempo real, la información de sensores o equipos instalados en diferentes instalaciones, así como también para poder tener acceso a dicha información desde cualquier sitio con conexión a internet.

## 4.2 MQTT, el protocolo del IoT

Se ha hablado de la nueva tendencia a la conectividad de los dispositivos, entre ellos o a internet, también se han mencionado algunos equipos con dichas capacidades. A continuación, se mencionará una de las tecnologías desarrolladas, utilizada en la nueva arquitectura de comunicación para reemplazar a los antiguos protocolos y que permite el envío de datos desde los equipos a un servidor.

Fue desarrollado por IBM a finales de los '90 con el primer propósito de conectar los sensores de oleoductos con satélites, pero posteriormente se ha instalado como estándar para las comunicaciones de IoT, el mismo recibe el nombre de MQTT por sus siglas en inglés (Message Queue Telemetry Transport), la versión 3.1.1 es la más distribuida de este protocolo, aunque en agosto de 2018 salió la versión 5.

Las principales características de este protocolo es que soporta una comunicación asíncrona que permite desacoplar los emisores y receptores de mensajes en espacio y tiempo, lo cual posibilita una escalabilidad en redes poco confiables, además el protocolo MQTT tiene una trama de empaquetado muy liviana, conveniente para casos en los que se utilizan dispositivos con capacidad de hardware limitadas y redes con un ancho de banda restringido [16].

### 4.2.1 El modelo de publicación y suscripción del protocolo MQTT

Este protocolo define dos entidades en la comunicación, un bróker de mensajes y uno o varios clientes. El bróker recibe todos los mensajes de los clientes emisores y se los envía a aquellos clientes destinatarios que lo requieran, por lo tanto, un cliente puede interactuar con el bróker ya sea enviando o recibiendo mensajes. A fines prácticos, un cliente puede ser un sensor que este enviando su medición o una aplicación en un centro de datos que procese la información del IoT. Como convención del lenguaje para referirse al intercambio de mensajes se utilizan los términos publicar y suscribir. Un cliente publica un mensaje y otro cliente se suscribe para recibirlo, por último, para ordenar la comunicación existen los temas o en inglés “topics”, lo que puede compararse por su analogía a un canal de chat, es decir puede haber muchos clientes conectados a un bróker, pero solo se comunicarán entre si aquellos que estén publicando/suscribiendo en el mismo “topic”.

En la ilustración (15) se representa la interacción de las entidades en una comunicación por el protocolo MQTT y se ilustra a modo de ejemplo dispositivos que pueden ocupar cada papel en el modelo. En primer lugar, se muestra que cada elemento no está restringido a un solo papel, sino que pueden actuar como publicadores y suscriptores simultáneamente.

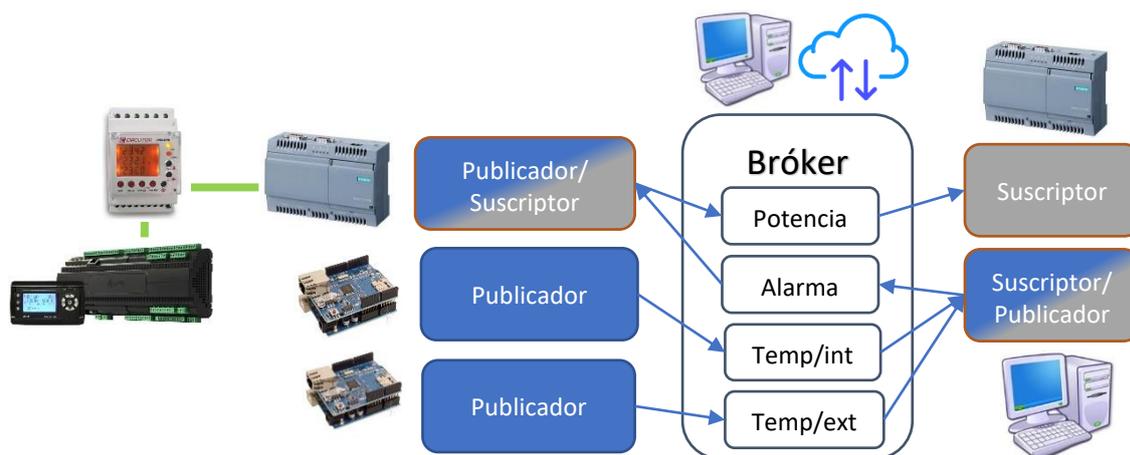


ILUSTRACIÓN 15 - REPRESENTACIÓN DE UN MODELO DE COMUNICACIÓN POR MQTT

Además de las ventajas de velocidad y bajo consumo de ancho de banda, se observa también que el protocolo MQTT presenta una sencillez asombrosa para la organización de la transferencia de información en sus comunicaciones lo que ha generado una aceptación general para convertirse en el protocolo de comunicación estándar en las comunicaciones IoT.

### 4.3 Oportunidades del IoT en eficiencia energética

Como se ha venido adelantando en los capítulos anteriores, uno de los campos de aplicación más prometedores del internet de las cosas está en el área de la eficiencia energética, basado en la posibilidad de agregar a casi cada componente de medición y control, la conectividad necesaria para

recolectar datos, concentrarlos en una plataforma y así entonces poder lograr un mejor entendimiento del proceso para tomar decisiones educadas en materia de medidas de ahorro aplicables.

Con el agregado de conectividad de los diferentes equipos de medición y control, se pueden combinar datos específicos de diferentes áreas en un servidor para identificar correlaciones o comportamientos. Por ejemplo, como la aplicación desarrollada en este trabajo, en donde se consigue la supervisión energética de un ciclo frigorífico tomándose los datos del consumo eléctrico desde un analizador de redes, las presiones de trabajo del ciclo y la temperatura ambiente desde un controlador frigorífico, para que luego puedan combinarse en una plataforma y obtenerse el consumo energético específico en base al estado del ciclo y temperatura ambiente. Así luego con la información disponible es posible estudiar la optimización del funcionamiento de la instalación frigorífica.

Aplicaciones como estas pueden realizarse reutilizando las mediciones del equipamiento ya instalado como el controlador frigorífico, cuando el mismo cuenta con puertos de comunicación disponibles. Siendo posible además que dos arquitecturas de comunicación coexistan, por un lado, un bus de comunicación de control, con el cual el controlador comanda los compresores de la instalación y por otro puerto de comunicación en donde el controlador reporta las mediciones para el análisis energético.

#### 4.3.1 IoT para acceso remoto y benchmarking

Otra de las mejoras que introduce la conectividad de los equipos de medición y control a internet, es a la problemática planteada en el capítulo anterior, respecto a los costos de desplazamiento y transporte para la toma de mediciones en una auditoría. Una supervisión remota del proceso de medición hace posible la obtención de los datos de las mediciones sin la necesidad de ir a retirar el equipo de medición previamente. Además, el hecho de la visualización en tiempo real de las medidas hace posible tener un comportamiento reactivo ante determinados eventos, como por ejemplo la interrupción de las medidas.

Por otro lado, como se ha comentado en el capítulo anterior (3.3), el IoT mejora la metodología de comparar el consumo energético de varias instalaciones, tarea conocida como benchmarking. En este capítulo se han presentado como es posible lograr estos cometidos con la conectividad a internet y el uso de los nuevos protocolos como MQTT. En la ilustración (16) se observa la topología de comunicación entre las instalaciones de supermercados.

En la aplicación desarrollada en este trabajo se explotan las posibilidades del internet de las cosas y resulta posible entonces calcular los indicadores de desempeño energético en diferentes instalaciones, con datos tomados en tiempo real y comparados instantáneamente, simplificándose notablemente la tarea de benchmarking.

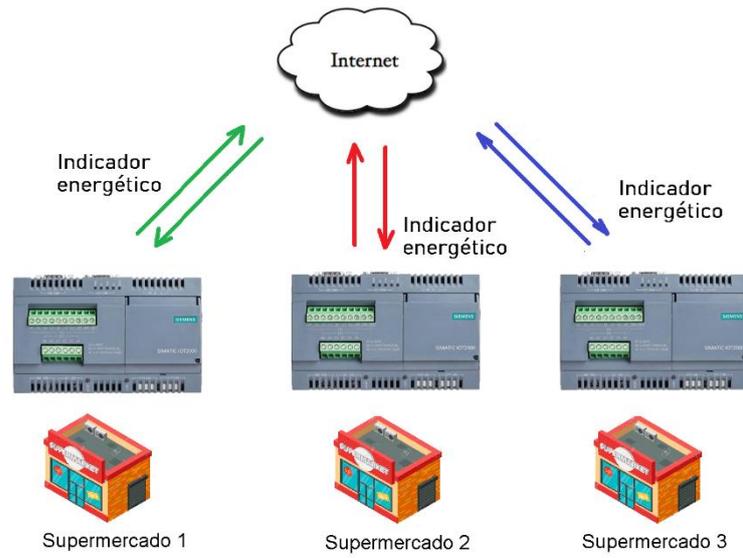


ILUSTRACIÓN 16- APLICACIÓN BENCHMARKING DE INDICADORES ENERGÉTICOS EN SUPERMERCADOS

## 5 Caso práctico: Auditorías energéticas en instalaciones frigoríficas comerciales

Luego de haber descrito las prácticas actuales y sus principales inconvenientes, en la toma de mediciones durante una auditoría o sistema de gestión energética y posteriormente haberse introducido las nuevas posibilidades que ofrece la revolución de la industria 4.0 con el internet de las cosas, se abordará un caso práctico específico como la implementación de una aplicación IoT para la supervisión energética en una instalación frigorífica comercial, con la intención de transmitir el sentido práctico de la aplicación desarrollada.

Las auditorías energéticas en locales comerciales tales como supermercados, representan una herramienta fundamental para introducir mejoras de eficiencia energética y medidas de ahorro. Estos establecimientos tienen un alto nivel de concurrencia y horario de ocupación, además del hecho de demandar consumos energéticos considerables para cubrir las demandas de refrigeración, climatización e iluminación.

El coste de la energía en las instalaciones frigoríficas impacta de manera directa en el balance económico de cualquier negocio donde se utilice. Cualquier instalación de refrigeración presenta un alto consumo energético tanto por las elevadas potencias demandadas como por las horas de funcionamiento anuales. Uno de los comercios donde la instalación de refrigeración juega un papel muy importante, es en los supermercados. Se puede estimar que la climatización y refrigeración de los supermercados representa entre el 35% y el 50% del gasto energético, con potencias eléctrica desde 15 hasta 90kW, mientras que otros consumos, como la iluminación, ronda el 25% [17]. Los requerimientos frigoríficos de un supermercado se basan fundamentalmente en los armarios refrigeradores como los mostrados en la ilustración (17) y cámaras destinadas para la conservación de alimentos, mientras que los requerimientos de climatización están representados claramente por los equipos acondicionadores del ambiente.



ILUSTRACIÓN 17-ARMARIOS FRIGORÍFICOS EN UNA INSTALACIÓN COMERCIAL – FUENTE: FRICOPAL

Por otro lado, las instalaciones de supermercados no suelen contar con infraestructura de supervisión y control de los equipos, como un sistema SCADA, principalmente porque los costos de la implementación de un sistema industrial, con su robustez y confiabilidad, exceden los presupuestos de instalaciones comerciales. Por lo que la instalación de un supermercado representa una buena oportunidad para aplicaciones como la desarrollada en este trabajo, en donde puede alcanzarse un sistema de supervisión sin incurrir en grandes gastos, a partir de reutilizar las mediciones de los equipamientos instalados y utilizar internet como red de comunicación, como se verá más adelante.

Implementar la aplicación IoT para la supervisión energética de la instalación frigorífica del supermercado permitirá:

- Recolectar datos históricos de consumo para estudiar y entender el flujo energético de una o varias instalaciones frigoríficas, en forma remota.
- Calcular los indicadores de desempeño energético de la instalación y referenciarlos con instalaciones del mismo sector. Para identificar el grado de eficiencia de la instalación
- Proponer medidas de ahorro, basado en la información recolectada y en cálculos de proyección.
- Medir, registrar y verificar los ahorros.
- Identificar anomalías en el sistema eléctrico.
- Obtener un sistema de supervisión de la instalación por un menor costo comparado con un sistema SCADA.

A continuación, se mencionan los principales componentes de una instalación frigorífica de un supermercado, con los cuales interactúa la aplicación desarrollada en este trabajo. También se hará una introducción a los lazos de control en la condensación y en los ciclos de descongelado y las medidas de ahorro que surgen a partir de la optimización de estos lazos de control.

## 5.1 Instalación frigorífica de un supermercado

Existen varias configuraciones de instalaciones frigoríficas para supermercados. Las mismas han ido transformándose a lo largo del tiempo como consecuencia de necesidades de instalaciones más amplias, nuevos avances tecnológicos en los sistemas de control y compresores o restricciones medioambientales y de seguridad respecto al uso de refrigerantes.

Las instalaciones frigoríficas en un supermercado más comunes están constituidas por unidades de compresores en paralelo, condensadores de aire y armarios frigoríficos con evaporadores de expansión directa trabajando con refrigerante HFC 404A.

Generalmente en un área del supermercado restringida al acceso público o en las azoteas se encuentran las llamadas unidades condensadoras, con los compresores y condensadores. Varios compresores conectados por tuberías en paralelo se encienden o se apagan de acuerdo a la carga térmica requerida por los armarios refrigeradores y envían el refrigerante a los condensadores comúnmente de aire por ser prácticamente libres de mantenimiento y tener menor riesgo sanitario que los condensadores evaporativos.

En el interior del supermercado, el mismo consta generalmente de varios tipos de armarios refrigeradores, destinados a funciones diferentes y operando también a temperaturas diferentes, tal es el caso de los armarios para frutas, carnes o congelados cuyas temperaturas de trabajo van en descenso. Los armarios refrigeradores generalmente usan un sistema de expansión directa con un evaporador aire-refrigerante y un control de la temperatura independiente al control de los compresores y condensadores. En la ilustración (18) podemos observar el esquema general de una instalación frigorífica de un supermercado. Mientras que en la ilustración se muestra el circuito frigorífico con sus componentes.

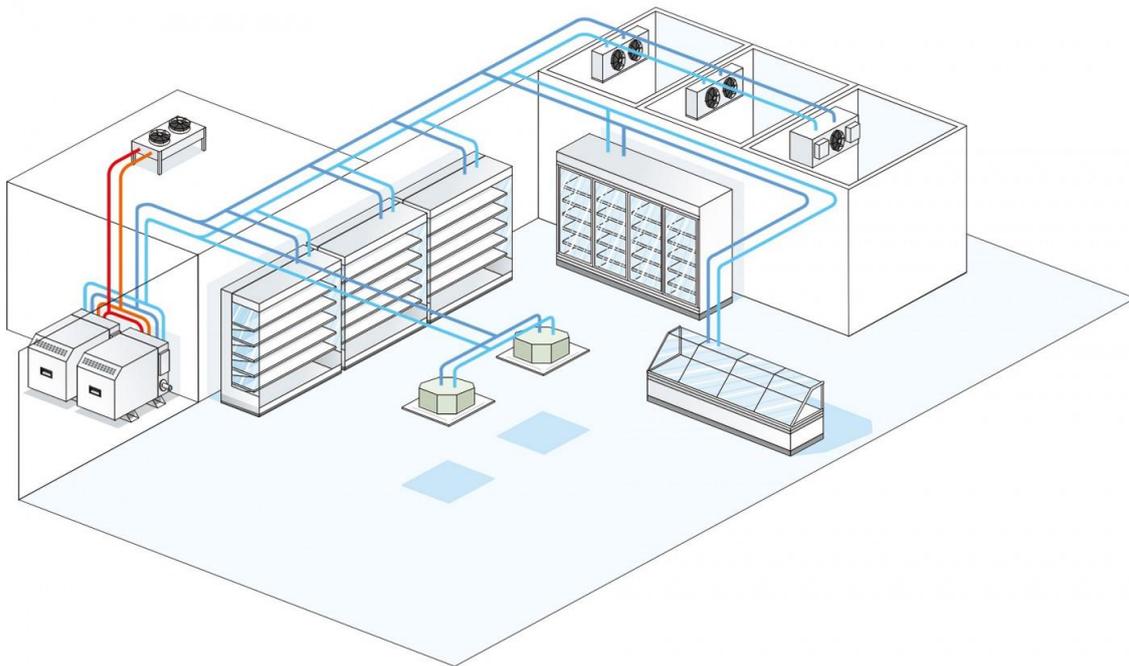


ILUSTRACIÓN 18-INSTALACIÓN FRIGORÍFICA COMERCIAL – FUENTE: FUTRON

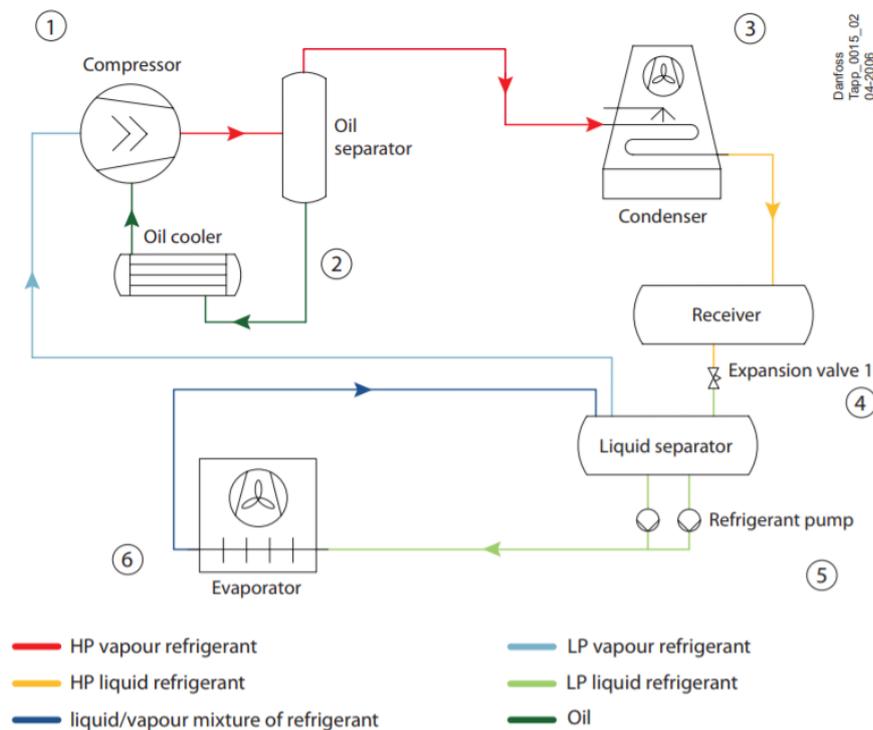


ILUSTRACIÓN 19- CICLO FRIGORÍFICO SIMPLIFICADO [18]

Pero como se anticipó anteriormente son varias las configuraciones de sistemas de refrigeración en supermercados y la realidad es que el mercado se encuentra repartido. Hoy en día la tendencia es utilizar sistemas con refrigerantes que producen menor impacto de calentamiento global, tal es el caso de los refrigerantes CO<sub>2</sub> o el propano o sistemas con circuitos secundarios de glicol que además de ser más seguro, disminuye la cantidad de refrigerante necesario en la instalación. A continuación, se muestra un cuadro comparativo donde se destacan las diferentes ventajas y deficiencias de algunos de las configuraciones más usadas [19].

Arquitectura	Consumo energético	Cuidado medio ambiente	Simplicidad Equipamiento	Costo
Centralizada DX	5	0	5	5
Distribuida DX	5	4	5	4
Circ. Secundario	3	4	5	3
CO <sub>2</sub> subcrítico	3	4,5	4	2
CO <sub>2</sub> transcrito	2,5	4,5	2,5	1
Micro distribuida	2	4,5		

### 5.1.1 Unidades condensadoras

Las unidades condensadoras constituidas por los compresores y los condensadores representan el corazón del sistema de refrigeración y desde luego los principales consumidores de energía en un supermercado. Por lo tanto, cuando se realiza una auditoría energética, estos equipos requieren un examen obligatorio.

Al igual que los tipos de esquema del circuito frigorífico, también existen variantes en los tipos de unidades condensadoras. Se comercializan equipos conjuntos y compactos motocompresor y condensador de aire en un solo rack, ver ilustración (20). o separados, motocompresor por un lado y condensadores por otro, vinculados con sus respectivas tuberías, ver ilustración (21).



ILUSTRACIÓN 20-UNIDAD CONDENSADORA COMPACTA – FUENTE: BEACON



ILUSTRACIÓN 21-RACK DE COMPRESORES Y CONDENSADORES – FUENTE: KRAMER

#### 5.1.1.1 Compresores

El compresor es el encargado aspirar el gas refrigerante proveniente de las unidades evaporadoras, comprimirlo, lo que elevará su presión para luego descargarlo hacia las unidades condensadoras.

El salto de presión que se produce en el compresor es directamente proporcional a la potencia que este consumirá, así también el rendimiento del compresor depende en forma directa de las presiones entre las cuales opere.

Las presiones entre las cuales trabaja el compresor son denominadas presiones de baja y presiones de alta. La presión de baja estará fijada por las temperaturas requeridas en los armarios frigoríficos, mientras que la presión de alta se fija principalmente respecto a la temperatura ambiente exterior del lugar, que como consecuencia de su variabilidad da lugar a un reajuste de la presión de alta y a una de las principales medidas de ahorro en los ciclos frigoríficos, de la cual se hablará más adelante.

Los compresores más comunes utilizados en este tipo de instalación, resultan ser los compresores a tornillo o tipo scroll los cuales tienen una gran capacidad de regulación de carga, como así también los tradicionales compresores a pistón.

#### 5.1.1.2 Condensadores

El condensador es el encargado de enfriar el gas refrigerante salido de la etapa de compresión. En el mismo se produce un cambio de fase del refrigerante, entrando este en estado gaseoso y saliendo en estado líquido. Básicamente el condensador es un intercambiador de calor, en donde el refrigerante cede el calor al ambiente.

Los condensadores más comunes que puedes encontrarse en las instalaciones frigoríficas de supermercados son:

- Condensadores enfriados a aire.

Los condensadores enfriados a aire utilizan la temperatura de bulbo seco del aire exterior para enfriar el refrigerante. Las instalaciones suelen tener uno o varios condensadores en paralelo. Dotados con forzadores de aire que aumentan la capacidad de intercambio de calor. Los mismos tienen un costo inicial más económicos que los condensadores evaporativos.

- Condensadores evaporativos (indicados para climas cálidos y secos). Ver ilustración (22)

Los condensadores evaporativos utilizan la temperatura de bulbo húmedo del aire exterior para enfriar el refrigerante, es por ello que el mismo posee una mayor capacidad de enfriamiento con respecto a los enfriados por aire. En el condensador evaporativo se combina una corriente de aire impulsada por un ventilador con una pulverización de agua, la cual hace descender la temperatura del aire. El principal inconveniente de este tipo de unidad condensadora reside en un peligro sanitario puesto que el agua del mismo suele encontrarse entre temperaturas de 20-50°C, condiciones que benefician la reproducción de la legionelosis, es por ello que para su utilización se exige un estricto control del nivel de biocida.

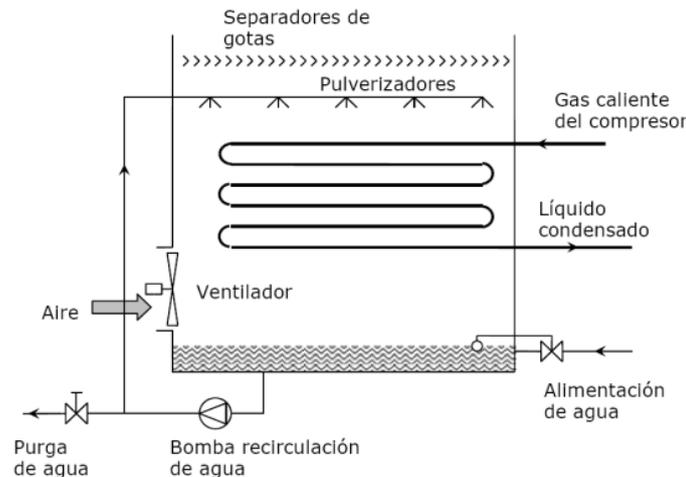


ILUSTRACIÓN 22-DIAGRAMA CONDENSADOR EVAPORATIVO

### 5.1.2 Sistema de control y controladores

En una instalación frigorífica conviven varios lazos de control independientes, pero relacionados entre sí. Los principales lazos de control resultan ser el del evaporador, otro para el o los compresores y para los condensadores.

Los equipos más antiguos o de bajas potencias poseen un control a través de la lógica de relés y contactores, con instrumentos mecánicos tales como presostatos, termostatos y válvulas de expansión termostáticas. A medida que avanzaron los desarrollos en automatización y control, encontraron en la refrigeración un campo infinito de aplicación.

#### 5.1.2.1 Sistema de control

Los sistemas de control más avanzados ya cuentan con controladores electrónicos para las unidades condensadoras y para los armarios de refrigeración, utilizando sensores electrónicos en lugar de mecánicos, válvulas de expansión electrónicas en lugar de termostáticas y aplicando controles del tipo PI además de técnicas de control por variación de velocidad en los diferentes motores de la instalación. Por último, en las instalaciones más sofisticadas, el control de todo el sistema de refrigeración incluyendo compresores, condensadores y armarios refrigeradores es central o intercomunicado, lo que no solo permite una optimización en las técnicas de control, sino que además juntos con estos sistemas se suele instalar una plataforma de supervisión y control tanto local como remota.

#### Controlador

A continuación, se muestra un controlador electrónico para un rack de hasta 12 compresores o el equivalente a menos compresores con varias etapas de compresión, ver ilustración (23). El mismo recibe la información de los diferentes sensores como los de presión, temperatura o nivel de tanques recipientes en la instalación y según la programación interna y los parámetros cargados gestiona entre otras cosas el accionamiento de los compresores, los ventiladores del condensador y válvulas



ILUSTRACIÓN 23-CONTROLADOR DE CICLO FRIGORÍFICO – FUENTE: ELIWELL

### 5.1.3 Lazos de control

A continuación, se explican dos lazos de control presentes en todas las instalaciones frigoríficas. Particularmente se han escogidos estos dos lazos de control, puesto que en los mismos interviene las variables climáticas ambientales como temperatura y humedad, que al ser las mismas diferentes según el tipo de clima en la que se encuentre la instalación, resultan ser entonces optimizables una vez el sistema esté funcionando. Los lazos de control corresponden al de control de la presión de condensación y al ciclo de descongelamiento de los evaporadores, su optimización es catalogada como una medida de ahorro energético. En el siguiente capítulo se observará como la aplicación desarrollada en este trabajo facilita la toma de mediciones para la optimización de dichos lazos de control.

#### 5.1.3.1 Control de la presión de condensación [20]

En varias instalaciones frigoríficas la presión de condensación, o también llamada presión de alta, se setea fija. Mantener dicha presión constante en un valor es relativamente sencillo, puesto que a medida que esta presión asciende, como consecuencia de un aumento de la carga térmica, se procede a encender los ventiladores del condensador que tendrá como efecto el descenso de la presión en el condensador.

Sin embargo, desde hace unos años, se está tendiendo a programar una presión de condensación “flotante”, buscando que la misma sea lo mínima posible respecto a sus restricciones, puesto que se ha comprobado que se producen ahorros energéticos en el orden del 1 a 1,5% por grado centígrado reducido en condensación [21], incluso en sistemas eficientes.

La disminución del consumo energético viene a consecuencia que el salto de presión es menor, por lo tanto, también es la potencia demandada por el compresor. La disminución de la presión de condensación tiene dos restricciones, la primera es que se debe mantener una diferencia mínima de presión entre el lado de alta y baja para que la válvula de expansión opere correctamente, y la segunda restricción es la temperatura ambiente, puesto que la temperatura de condensación tiene que estar por encima de la temperatura ambiente para que el refrigerante comprimido pueda ceder el calor.

#### Optimización por condensación flotante

Si bien para aplicar esta medida de ahorro, la instalación frigorífica debe cumplir ciertos requisitos, los cuales se citan a continuación:

- Un equipo de condensación sobredimensionado.
- Control individual ON-OFF o de velocidad variables de los ventiladores de condensación.
- Un controlador adecuado, con el algoritmo de condensación flotante.
- Medición de la temperatura ambiente exterior
- Medición de la presión de condensación

Asimismo, también se describen de forma general los pasos para hallar el valor de la presión de condensación óptima en función de la temperatura y humedad ambiente, que produce menor consumo energético [20].

1. Medir la temperatura exterior
2. Anotar el valor de presión de condensación actual y la demanda eléctrica del sistema frigorífico (compresores + ventiladores condensación)
3. Setear el valor de presión de condensación 5% por debajo de su valor previo (Se encenderán más ventiladores de condensación o aumentarán su velocidad dependiendo del tipo de control) y dejar estabilizar el sistema.
4. Anotar la demanda eléctrica del sistema frigorífico
5. Continuar con los puntos 3 y 4 hasta llegar a la mínima presión de condensación requerida por el sistema
6. Gráfica la demanda eléctrica vs la presión de condensación para hallar el seteo óptimo
7. Graficar la presión de condensación óptima para la temperatura exterior ensayada.
8. Repetir los pasos 1-7 para diferentes temperaturas exterior.

De los pasos descritos anteriormente se desprende que para poder realizar un estudio y optimización del método de condensación flotante se debe incurrir en el registro de las variables de estado del ciclo frigorífico, así como también registrar el consumo eléctrico.

En la ilustración (24) se representan las mediciones tomadas en el procedimiento descrito anteriormente. Mientras que la gráfica de la ilustración (25) se obtiene con los puntos óptimos de la gráfica de la ilustración anterior y cuya principal utilidad es la obtención de la correlación lineal entre la temperatura ambiente y la presión de condensación.

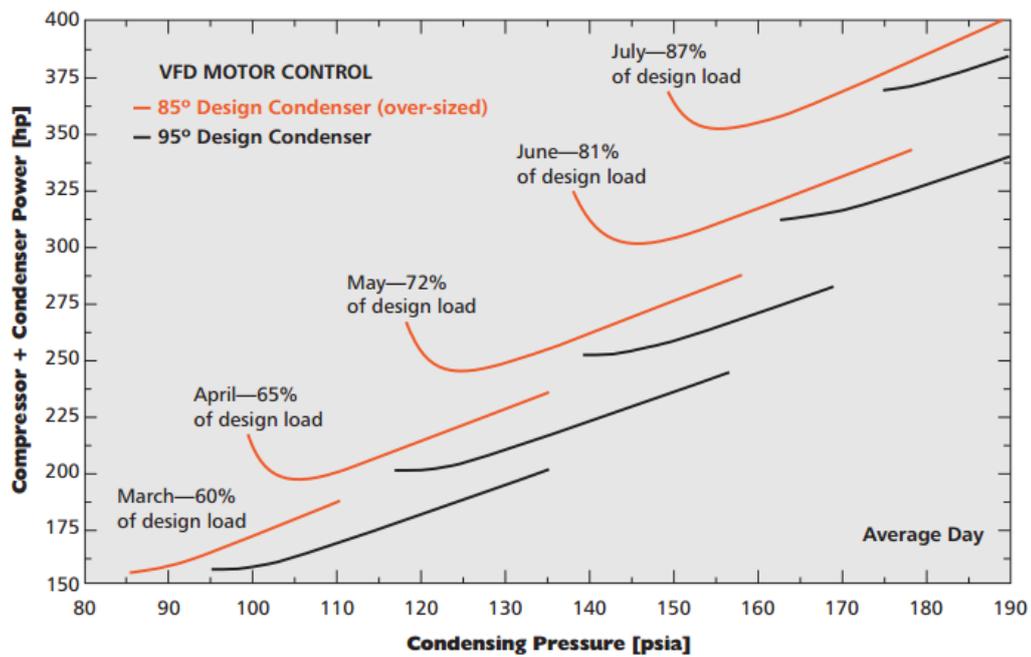


ILUSTRACIÓN 24-CURVAS DE MÍNIMA DEMANDA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN DE CONDENSACIÓN. FUENTE: [14]

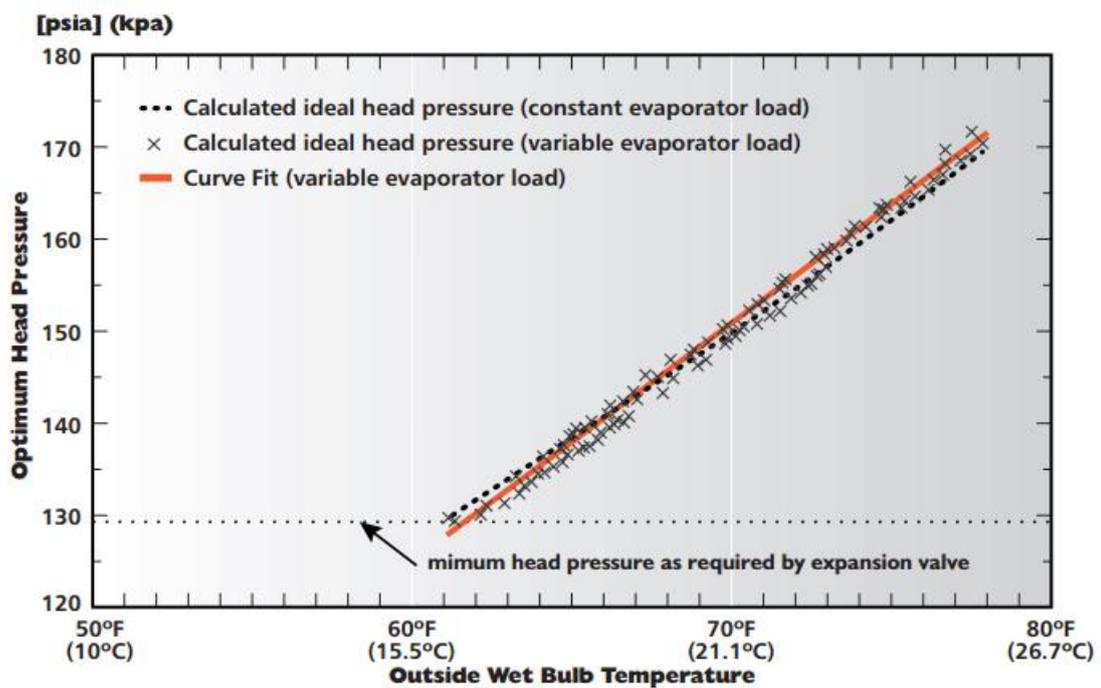


ILUSTRACIÓN 25-PRESIÓN DE CONDENSACIÓN ÓPTIMA VS TEMP. DE BH. FUENTE: [14]

### 5.1.3.2 Control de descongelado

La formación de hielo en los armarios refrigeradores es el resultado de la humedad del aire del ambiente que se congela y se deposita en los tubos del evaporador. Inicialmente la formación de una delgada capa de hielo sobre las tuberías del evaporador aumenta la superficie de contacto con el aire, resultando en una mejor eficiencia en la transmisión de calor. Pero cuando la formación de hielo es excesiva, el mismo actúa como aislante y si la carga térmica del armario lo demanda obligará a bajar aún más la presión de evaporación, incrementando el consumo energético del compresor.

Es por ello que estas instalaciones suelen tener un sistema de descongelado para los armarios refrigeradores. Existen varios tipos de sistemas, siendo los más conocidos los de descongelamiento por resistencia eléctrica, en donde se destaca su simplicidad y bajo coste inicial (ver ilustración 26) y los de descongelamientos por gas caliente, los cuales usan el mismo gas refrigerante de la salida del compresor, su coste inicial es más elevado, debido a que exige la instalación de más tuberías, tal como se ve en la ilustración (27) pero energéticamente es más eficiente que el primer tipo.

Si bien es cierto que la introducción de los sistemas de descongelado viene a mejorar el rendimiento de los armarios refrigeradores, cada vez que se lleva a cabo un ciclo de descongelado, se introduce una carga térmica al espacio interior que luego deberá compensar el sistema de refrigeración, es por eso que interesa optimizar la frecuencia y la duración de los ciclos de descongelado.

El lazo de control para el sistema de descongelado suele ser un lazo abierto en base a una temporización. Generalmente, el ciclo de descongelado se acciona entre 2 a 5 veces al día. El descongelamiento por resistencia eléctrica funciona de manera independiente en cada armario refrigerador, puesto que la fuente de calor es independiente al sistema frigorífico, por el contrario, cuando el método de descongelamiento es por gas caliente, el armario refrigerador envía una señal al controlador principal de la instalación para que este verifique o enciendo un compresor, quien será el que provea calor para el descongelado.

Application example 5.1.2:  
DX evaporator, electronic  
expansion

- HP liquid refrigerant
  - Liquid/vapour mixture of refrigerant
  - LP vapour refrigerant
- ① Stop valve liquid inlet
  - ② Filter
  - ③ Solenoid valve
  - ④ Electronic expansion valve
  - ⑤ Stop valve evaporator inlet
  - ⑥ Stop valve suction line
  - ⑦ Evaporator
  - ⑧ Controller
  - ⑨ Temperature sensor
  - ⑩ Pressure transmitter
  - ⑪ Temperature sensor

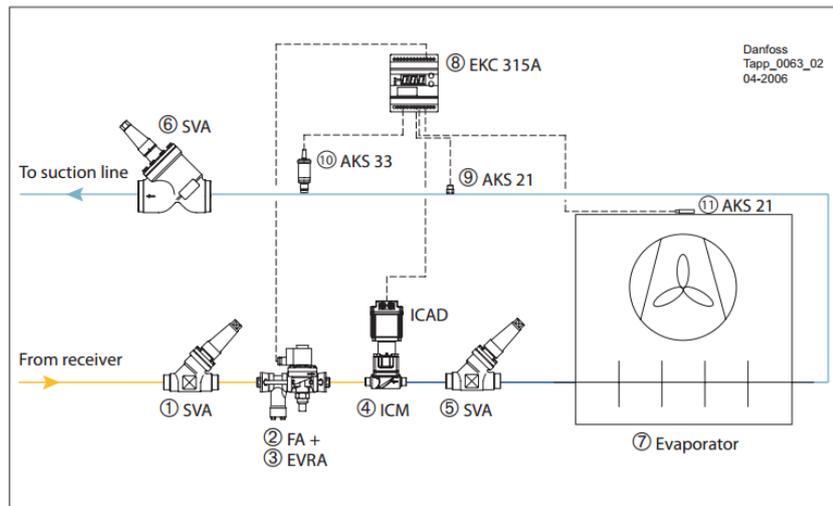


ILUSTRACIÓN 26 - DIAGRAMA INSTRUMENTACIÓN EVAPORADOR PARA DESC. ELÉCTRICO [18]

Application example 5.3.1:  
DX evaporator, with hot gas defrost system

- HP vapour refrigerant
- HP liquid refrigerant
- Liquid/vapour mixture of refrigerant
- LP vapour refrigerant

Liquid Line

- ① Stop valve liquid inlet
- ② Filter
- ③ Solenoid valve
- ④ Expansion valve
- ⑤ Stop valve evaporator inlet

Suction Line

- ⑥ Stop valve evaporator inlet
- ⑦ Two step solenoid valve
- ⑧ Stop valve suction line

Hot gas line

- ⑨ Stop valve
- ⑩ Filter
- ⑪ Solenoid valve
- ⑫ Stop valve
- ⑬ Check valve

Discharge line

- ⑭ Stop check valve on the discharge line
- ⑮ Differential pressure regulator

- ⑯ Controller
- ⑰ Temperature sensors
- ⑱ Temperature sensors
- ⑲ Temperature sensors
- ⑳ Check valve

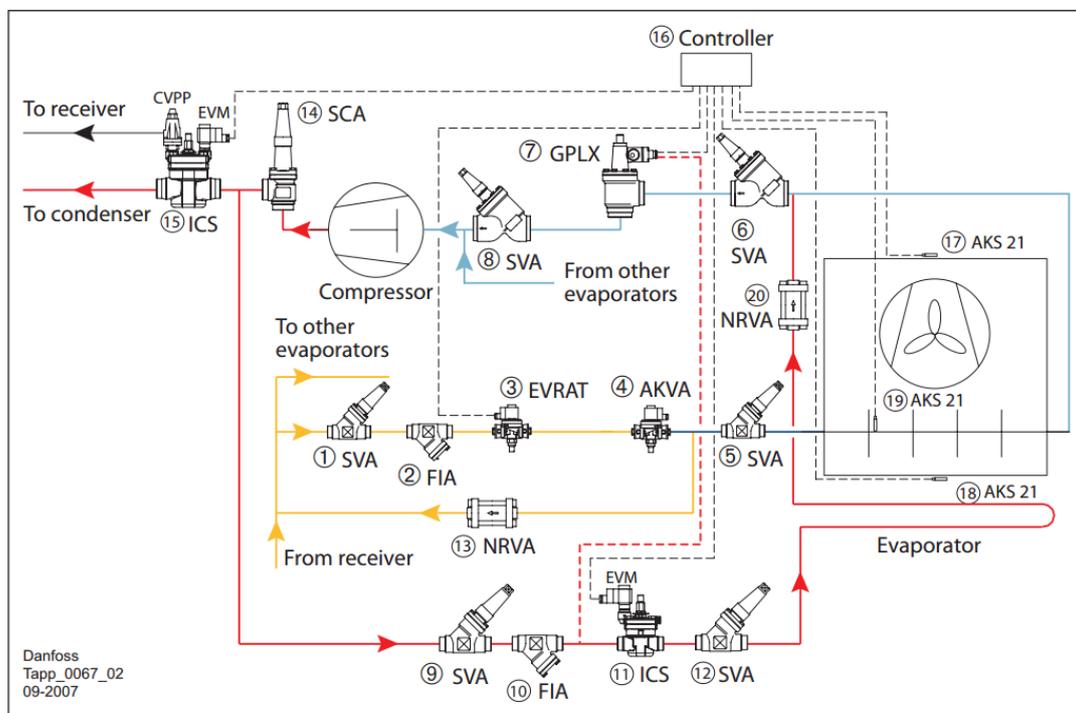


ILUSTRACIÓN 27 - DIAGRAMA INSTRUMENTACIÓN EVAPORADOR CON DESCONG. GAS C. [18]

Controles modernos integran un lazo de control cerrado, con el objetivo de disminuir la duración del ciclo de descongelado. El nuevo control consiste en instalar un sensor de temperatura dentro de las tuberías del evaporador, el cual, ante un aumento en la temperatura por obstrucción de hielo, disparará un ciclo de descongelado.

La optimización de los ciclos de descongelado viene de la mano de ajustar al mínimo su frecuencia, de acuerdo a la formación de hielo producida por la humedad del clima del lugar. Tal como se muestra en la ilustración (28).

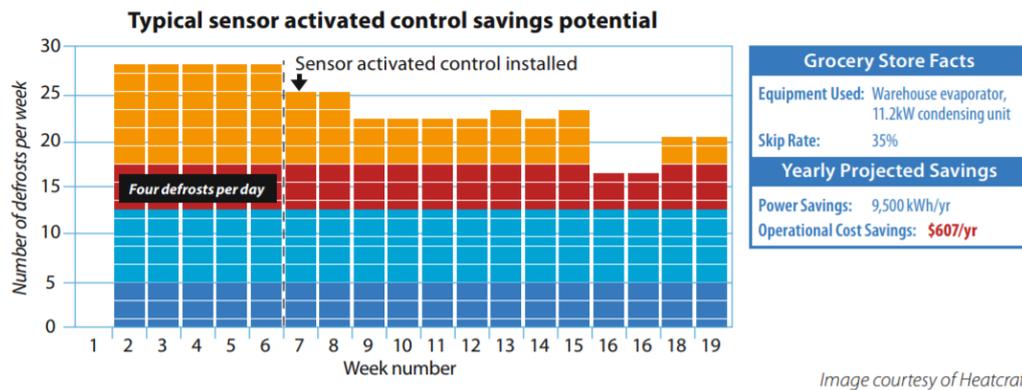


Image courtesy of Heatcraft

ILUSTRACIÓN 28-REDUCCIÓN DE FRECUENCIA DE DESCONGELADO POR CONTROL DE TEMPERATURA

Aquí se observan que las medidas de ahorros energético suelen manifestarse a lo largo días o semanas de la instalación, con lo que una supervisión remota como la propuesta en la aplicación de este trabajo resulta de mucha ayuda para el auditor energético.

## 5.2 Cálculo de emisiones de CO2 en supermercados

En este pequeño apartado del caso práctico de la auditoría energética a una instalación frigorífica de un supermercado se hará referencia al cálculo de la huella de carbono que la instalación genera. El esquema de cálculo aquí presentado resulta ser la base del panel del cálculo de la huella de carbono que se presenta en el capítulo 6.

En el caso de instalaciones frigoríficas, estas producen una emisión directa de gases de efecto invernadero debido a la fuga involuntaria de refrigerante y a las pérdidas de este tras el fin de la vida útil de la instalación y emisiones indirectas debido al consumo de energía con su consiguiente emisión en los centros de generación.

Este impacto ambiental se cuantifica con el cálculo de un factor denominado TEWI (Total equivalent warming impact)

$$TEWI = \text{Fin vida util refrigerante} + \text{emisión por fugas} + \text{emisión por gasto energético}$$

En el caso de la energía eléctrica, la emisión de CO2 como producto de su generación dependerá de las fuentes de energía utilizadas para su producción y el transporte de la misma, es allí donde entran en juego los llamados factores de emisión equivalente, los cuales relacionan la tasa de generación de CO2 como resultado de una actividad, como por ejemplo la combustión de un combustible, la fabricación de acero o el consumo de energía eléctrica. Tales factores de emisión son publicados anualmente y pueden consultarse desde las publicaciones de la OECC (Oficina española de cambio climático) [22].

En la siguiente tabla se presentan los factores de emisión de consumo de energía eléctrica para algunas comercializadoras de España.

Factores de emisión 2017	
Comercializadora	Factor mix 2017 kg CO <sub>2</sub> /kWh
EDP comercializadora	0,26
Gas natural fenosa renovables	0
Iberdrola clientes	0,28
Viesgo Energía	0,32

Respecto al cálculo de la emisión de dióxido de carbono equivalente por fugas de refrigerantes, se tiene que considerar un factor PCA (potencial de calentamiento atmosférico) que relaciona el equivalente entre kg CO<sub>2</sub> por kg de gas refrigerante que utilice la instalación. Mientras que el porcentaje de fugas al año será establecido consultando al personal que realiza las tareas de mantenimiento de la instalación frigorífica. En la siguiente table se listan los valores del factor PCA para los gases refrigerantes más comunes.

Gas	Tipo	Poder de calentamiento atmosférico
R22	HCFC	1810
R404A	HFC	3922
R507A	HFC	3985
R452A	HFC	2200
R407A	HFC	2107
R410A	HFC	2088
R407F	HFC	1825
R134A	HFC	1430
R449A	HFC	1397

## 6 Aplicación IoT para la supervisión energética en instalaciones frigoríficas comerciales

### 6.1 Introducción

Los meses de trabajo en el laboratorio de automatización de la ETSII han consistido en la implementación, prueba y desarrollo de las características que se proponen en el diseño de la aplicación desarrollado en este capítulo.

Las tareas llevadas a cabo en el laboratorio pueden resumirse en la instalación, configuración y programación de la pasarela inteligente Simatic IoT2040, así como también el aprendizaje e implementación de softwares, protocolos de comunicación y lenguajes de programación. Se detalla a continuación el diseño de una aplicación IoT para supervisar energéticamente un escenario de una instalación frigorífica de un supermercado.

La finalidad de la aplicación es permitir a un auditor energético recolectar las mediciones de la instalación en forma remota, tanto sea para una auditoría energética u optimización de medidas de ahorro aplicadas.

Para lograr una supervisión energética remota de la instalación se plantea utilizar una pasarela abierta (gateway), tal como se introdujo en el final del capítulo 3, la cual se conecta al controlador de la instalación frigorífica, para tomar las mediciones características del ciclo como presiones de aspiración y condensación, y a un analizador de redes para tomar las mediciones de los consumos de potencia y energía.

Con la información recolectada de los equipos y las sentencias de un programa ejecutándose en la pasarela inteligente, la aplicación permite generar tableros de supervisión (dashboard), en donde se pueden mostrar todas las mediciones en gráficos históricos o relojes, así también como registrar y exportar todos los valores medidos para un posterior análisis en una planilla de cálculo. Además, al contar la pasarela con capacidad de conectarse a internet, los tableros de supervisión pueden ser accedidos de forma remota, reduciendo así el esfuerzo y gasto de transporte del auditor hacia la instalación auditada.

### 6.2 Conectividad

#### 6.2.1 Estándar serie RS-485 y protocolo Modbus RTU

Para lograr la conectividad con los equipos de la instalación se utiliza el estándar serie RS-485 y el protocolo Modbus RTU, el cual resulta ser un bus de comunicación ampliamente utilizado en la industria, consecuentemente muchos equipos de medición y control, como los utilizados en este trabajo, incorporan desde fábrica los puertos de comunicación para este estándar.

Claro que también sería posible desarrollar la aplicación para otros protocolos como Modbus RTU, Profinet o MQTT, de hecho, los protocolos basados en Ethernet/IP están aumentando progresivamente su base instalada, sin embargo, todavía resulta más común encontrar equipos en campo solo con puertos de comunicación RS-485 y es por ello que se ha decidido desarrollar la aplicación para este último.

El bus de comunicación con el estándar serie RS-485 permite conectar hasta 31 equipos y alcanzar una extensión de hasta aproximadamente 1200 mts, lo cual es suficiente para la aplicación.

Resulta importante destacar la holgada capacidad del bus de comunicación para esta aplicación, habiendo conectado solo 2 y con una capacidad de hasta 31 equipos, es válido considerar la conexión de otros componentes existentes en la instalación, en caso de que estos realicen mediciones de interés para el auditor. Equipos tales como el variador de velocidad del compresor, contactores o controladores de temperatura de los armarios de temperatura, contienen información potencialmente útil y pueden ser procesadas dentro de la aplicación. Es requerimiento para la conexión de estos equipos, que los mismos cuenten con el puerto de comunicación RS-485 y protocolo de comunicación Modbus. En la ilustración (29) se muestra la topología del bus de comunicación RS-485 con los principales equipos, el Simatic IoT2040, el analizador de redes y el controlador de refrigeración, asimismo se representa la posible ampliación para conectar un variador de velocidad, en caso de que el compresor o ventilador estén equipados con el mismo.

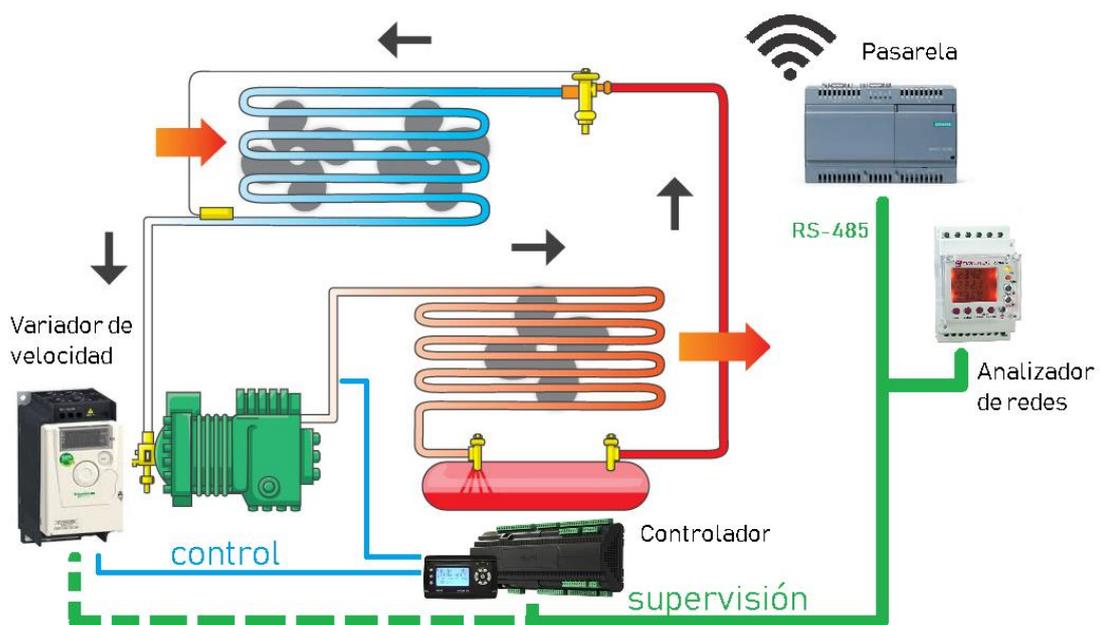


ILUSTRACIÓN 29-ESQUEMA DE BUS DE COMUNICACIÓN RS-485

### 6.2.2 Ethernet

La pasarela, además de cumplir la función de procesamiento y visualización de las mediciones leídas desde los equipos, hace de puente entre el protocolo RS-485 y Ethernet. Este último protocolo permite el fácil acceso a la pasarela desde cualquier ordenador conectado a la red local LAN o también desde el exterior de la instalación.

Asimismo, la pasarela se constituye como un servidor web dentro de la red local, con lo que todas las visualizaciones del ciclo frigorífico son accesibles desde un navegador web en las computadoras o tablets conectadas a la red local. *Esto último representa una gran ventaja, al no requerir la instalación de runtimes o software específicos como lo es en el caso de los sistemas de supervisión y control SCADA.*

Por otro lado, si se configuran los permisos necesarios en los equipos de router y modem, también es posible acceder a la página web de visualizaciones desde el exterior de la instalación. En la ilustración (30) se observa la topología en la comunicación ethernet, mostrándose las posibilidades de acceso a la aplicación.

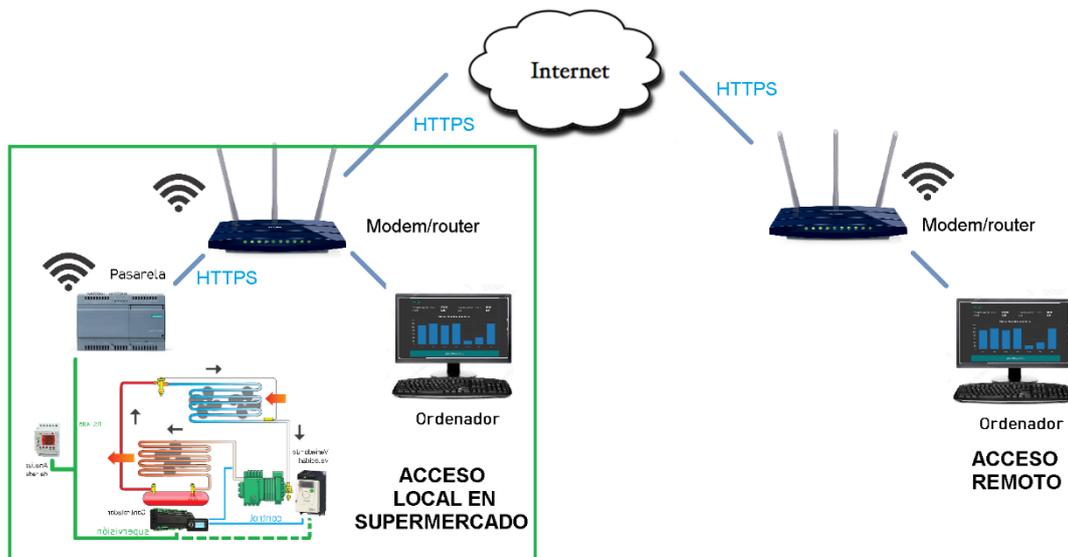


ILUSTRACIÓN 30-ACCESO LOCAL Y REMOTO DE LOS TABLEROS DE SUPERVISIÓN

### 6.2.3 MQTT y la concentración de datos de medición

Además de poderse realizar una supervisión energética individual de manera remota, con dicha aplicación, también es posible concentrar la información de varias instalaciones de supermercado, con el propósito de una comparación del desempeño energético entre estas.

Para ello, se contratan los servicios de un servidor MQTT en la nube, en donde cada instalación envía sus mediciones a través del protocolo MQTT, descrito en el capítulo 4.2. De esta manera, se logra concentrar todos los indicadores de desempeño energético en cada pasarela permitiendo esto la comparación del desempeño energético entre instalaciones frigoríficas de diferentes supermercados.

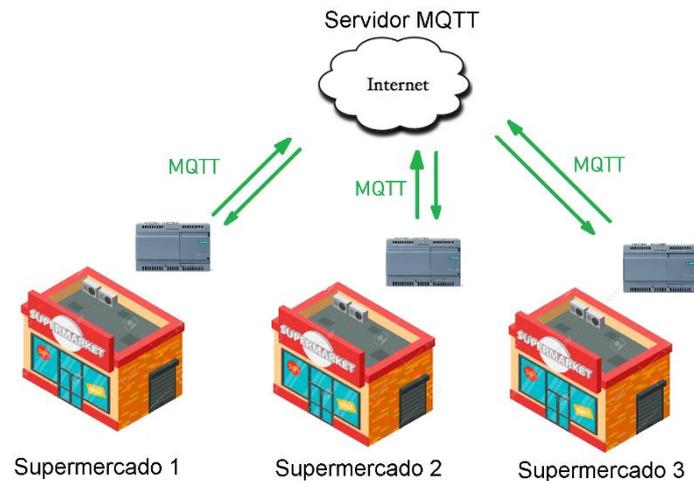


ILUSTRACIÓN 31-ESQUEMA DE CONCENTRACIÓN DE DATOS EN UN SERVIDOR

## 6.3 Equipos para la implementación de la aplicación IoT

A continuación, se introducirá el hardware necesario para la implementación de la aplicación desarrollada en el trabajo. Justificándose además las principales razones de su selección y la comparación con alternativas posibles.

### 6.3.1 Pasarelas IoT

Siemens es uno de los principales fabricantes de equipos en el área de automatización y control industrial, aportando un enorme desarrollo tecnológico y ofreciendo una vasta oferta de equipos y soluciones para la industria, base fundamental de la tercera revolución industrial.

No obstante, Siemens continua su desarrollo en lo que parece ser la cuarta revolución industrial, teniendo actualmente una oferta concreta en el área de IIoT (*industrial internet of things*) [23] con su plataforma online MindSphere, las aplicaciones MindApps y sus dispositivos MindConnects.

Dentro de estos últimos elementos MindConnects, se encuentra el Simatic MindConnectIoT2000, el cual tiene la capacidad de tomar los datos en tiempo real desde los sistemas de control de una máquina o línea de proceso y enviarlos a través de internet a la plataforma online MindSphere, una vez allí almacenados, Siemens ofrece la herramienta MindApps en donde es posible utilizar la información recopilada para diseñarse aplicaciones tales como: análisis de desempeño de la línea, gestión energética, notificación de eventos o supervisión. El resto de los elementos MindConnects son el MindConnect Nano, una pasarela similar al Simatic MindConnectIoT2000, pero que está limitada a comunicaciones ethernet y el MindConnects FB, el cual es un bloque de función que se integra directamente el PLC Simatic S7-1500 con MindSphere. En la ilustración (32) se presentan las relaciones entre los componentes de la oferta IIoT de Siemens.

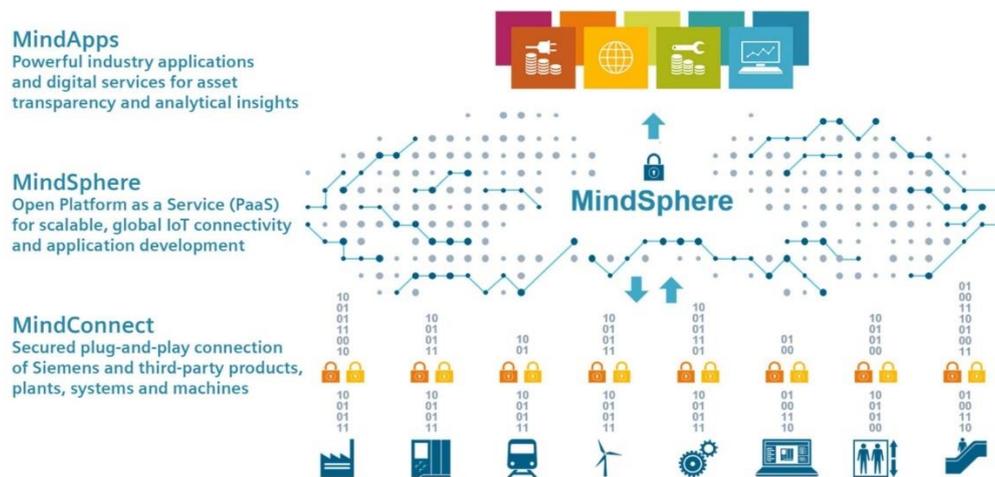


ILUSTRACIÓN 32-INTERACCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS IOT DE SIEMENS FUENTE: [24]

#### 6.3.1.1 Simatic IoT2000 [11]

Anteriormente se ha mencionado el dispositivo Simatic MindConnectIoT2000 y como se relaciona con las aplicaciones en la nube. En este trabajo interesa hablar de su predecesor el Simatic IoT2000, que es el cual ha adquirido el laboratorio de la Universidad Politécnica de Valencia y con el cual se ha realizado el trabajo final. Las pasarelas Simatic IoT2020 y Simatic IoT2040 son una plataforma abierta diseñada para recolectar, procesar y transferir datos en el ámbito de producción. Idealmente están pensadas como puentes entre la nube o el departamento IT y el área de producción. El rol de interfaz puede ser usado en ambas direcciones. También pueden transferir datos analizados desde la nube hasta el control de producción. La apertura del sistema respecto a la posibilidad de utilizar numerosos protocolos de comunicación y programación en lenguajes de alto nivel permiten soluciones adaptadas a cada necesidad. La principal diferencia entre la pasarela Simatic MindConnectIoT2000 y las Simatic IoT2000 es que las primeras tienen instalado un firmware que les permite interactuar con MindSphere, mientras que a las segundas no les es posible interactuar con esta aplicación en la nube.

La pasarela Simatic IoT2040 combina el poder de cómputo de un procesador Intel bajo el sistema Linux con la versatilidad del controlador de licencia abierta Arduino. Entre ambos ofrecen la capacidad de comunicación con protocolos industriales como MODBUS RTU, MODBUS TCP, PROFINET, OPC UA, REST API, MQTT y AMQP además del control de las entradas y salidas digitales y analógicas incorporadas. En la ilustración (33) se presenta una foto del controlador Simatic IoT2040.



ILUSTRACIÓN 33-SIMATIC IOT2040

Especificaciones de hardware	Eficiente procesador Intel Quark y numerosas interfaces: Intel Quark x1020 (+Secure Boot), 1 GB RAM, 2 puertos Ethernet 2 RS232/485 interfaces 1 USB tipo Micro B 1 USB tipo A Batería de respaldo para reloj RTC
	Soporte Linux Yocto
	Arduino 2 entradas analógica de tensión 0-10Vcc Res 9bit ó 2 entrada analógica de corriente 4-20mA Res 9bit 2 salidas digitales 24Vcc Transistor 5 entradas digitales 24Vcc
	Varias opciones de programación en lenguajes de alto nivel
	Diseño compacto para montaje en riel DIN
	Probada calidad SIMATIC ofrece robustez, confiabilidad y durabilidad
Especificaciones de Software	Versión de firmware 2.1.3 con las siguientes aplicaciones preinstaladas
	Node-Red v 0.15.2
	NPM v 3.10.9
	Node-JS v6.9.2
	Mosquitto v1.4 SQLite v 3.11

### 6.3.1.2 Pasarelas alternativas

#### Raspberry Pi 3B+

Existen en el mercado otros equipos con al Simatic IoT2040, tal es el caso de los ordenadores de hardware libre Raspberry PI, ver ilustración (34) creado por la Fundación Raspberry PI. Este potente

ordenador de tamaño y costo reducido se ha convertido en un instrumento habitual para los desarrolladores de aplicaciones IoT.



ILUSTRACIÓN 34-RASPBERRY PI 3B+

Especificaciones de hardware	Procesador Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC 1.4GHz – Memoria RAM 1GB LPDDR2 SDRAM
	Conectividad inalámbrica 2.4GHz / 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac Bluetooth 4.2, BLE
	Conectividad de red Gigabit Ethernet over USB 2.0 (300 Mbps de máximo teórico)
	Puertos GPIO 40 pines HDMI 4 x USB 2.0 CSI (cámara Raspberry Pi) DSI (pantalla tácil) Toma auriculares / vídeo compuesto Micro SD Micro USB (alimentación) Power-over-Ethernet (PoE)

Con el ordenador Raspberry Pi 3B+ es posible ejecutar los mismos softwares requeridos para este trabajo final que en la pasarela Simatic IoT2040, por lo que la migración de las aplicaciones desde un sistema a otro es muy sencilla. El presente trabajo ha sido desarrollado simultáneamente con las dos plataformas comprobando la sencilla migración de aplicaciones entre ambas.

El hecho de que el hardware de los ordenadores Raspberry Pi sea libre hace que su precio sea considerablemente menor que el del Simatic IoT2040. Los ordenadores Raspberry Pi tienen un valor de aproximado de 65€ respecto a la versión equivalente de Siemens Simatic IoT2020, el cual cuesta 107€. Aunque resulta muy importante resaltar que la oferta de Siemens ha sido diseñada para trabajar en ambientes industriales, los cuales son propensos a tener vibraciones, polvo, interferencias

electromagnéticas o alta temperaturas. Además, el Simatic IoT2040 ya trae incorporado un puerto de comunicación RS-485, mientras que en la Raspberry PI se debe adquirir un adaptador adicional con este puerto. Es por ello que para una aplicación como la de este trabajo es recomendable utilizar el equipo Simatic IoT2040.

### 6.3.2 Analizador de redes

Otro de los componentes utilizados en este trabajo es el analizador de redes trifásico Circutor, tal como se muestra en la ilustración (35). El analizador de panel CVM-MINI es un instrumento de medida programable que realiza varias mediciones eléctricas, las cuales pueden seleccionarse desde el menú del propio instrumento. En la ilustración (36) se enumeran algunas de las mediciones que pueden obtenerse con el analizador.



ILUSTRACIÓN 35 - ANALIZADOR DE REDES CIRCUTOR CVM-MINI

Especificaciones de hardware	Medición de corriente .../5 ó .../1 A
	Formato carril DIN de tan solo 3 módulos
	Montaje en panel 72 x 72 mm con frontal adaptador (M5ZZF1)
	Comunicación RS-485 (Modbus-RTU)
	Dispone de dos salidas de transistor
	Con tecnología ITF: protección de aislamiento galvánica, según tipo
	Selección de parámetros a visualizar

El CVM-MINI mide, calcula y visualiza en su pequeño panel frontal los principales parámetros eléctricos de redes industriales trifásicas equilibradas o desequilibradas. La medida se realiza en verdadero valor eficaz, mediante tres entradas de tensión alterna y neutro, y tres entradas de corriente, para la medida de secundarios I N /1A ó I N /5A, procedentes de los transformadores de medida exteriores.

Una característica importante de este analizador es que posee una salida de comunicación serie RS-485 con protocolo Modbus RTU, la cual se utilizará para extraer los parámetros medidos por el analizador y enviarlos a la pasarela Simatic IoT2040. En la ilustración (37) es muestra el conexionado del analizador de redes.

MAGNITUD	UNIDAD	L1	L2	L3	III
Tensión Simple	V f-n	•	•	•	
Tensión Compuesta	V f-f	•	•	•	
Corriente	A	•	•	•	••
Frecuencia	Hz	•			
Potencia Activa	kW	•	•	•	•
Potencia Reactiva L	kvarL	•	•	•	•
Potencia Reactiva C	kvarC	•	•	•	•
Potencia Aparente	kVA	•	•	•	•
Factor de Potencia	PF	•	•	•	•
Cos φ	Cos φ				•
Máxima Demanda	Pd	•	•	•	•
Corriente de Neutro	I <sub>N</sub>			•	
THD de Tensión	% THD - V	•	•	•	
THD de Corriente	% THD - A	•	•	•	
kWh (consumo y generación)	W·h				•
kvarh.L (consumo y generación)	W·h				•
kvarh.C (consumo y generación)	W·h				•
kVAh (consumo y generación)	W·h				•
Descomposición armónica (V y A) *	%	•	•	•	15th
Temperatura	°C		•		

ILUSTRACIÓN 36 - PARÁMETROS DE LECTURA DEL ANALIZADOR DE REDES CVM-MINI

### 2.2.1 Denominación de bornes

BORNE	DESCRIPCIÓN BORNE
1	Entrada corriente AL1 - S1
2	Entrada corriente AL1 - S2
3	Entrada corriente AL2 - S1
4	Entrada corriente AL2 - S2
5	Entrada corriente AL3 - S1
6	Entrada corriente AL3 - S2
7	Salida transistor RL2
8	Común salida transistor
9	Salida transistor RL1
10	Medida VL3
11	Medida VL2
12	Medida VL1
13	Medida V Neutro
14	Entrada tensión alimentación
15	Entrada tensión alimentación
A	RS-485 (+)
S	RS-485 (GND)
B	RS-485 (-)

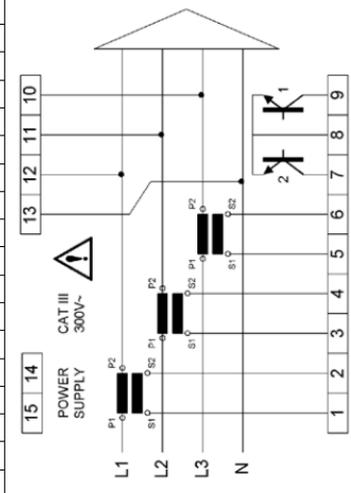


ILUSTRACIÓN 37 - BORNERA DE CONEXIONADO DEL ANALIZADOR DE REDES CVM-MINI

Otro aspecto importante acerca de la utilización del analizador de redes es la ubicación de este. Para poder realizarse una correcta audición energética del ciclo frigorífico, interesa que el analizador este colocado aguas abajo del interruptor que alimenta a todo el sistema de refrigeración, no solo al

rack de compresores y condensadores, sino que además es deseable que desde este circuito se alimenten también los armarios refrigeradores del supermercado.

El requerimiento de una medición de energía de la instalación refrigeración completa resulta importante para comprobar medidas de ahorro como presión de condensación flotante en donde el resultado de su aplicación conlleva a que los ventiladores de los condensadores aumenten su consumo mientras que los compresores disminuyan el suyo, con lo que se observa es necesario una medición global del consumo para determinar el ahorro energético.

### 6.3.3 Controlador electrónico del ciclo refrigeración

Cuando se realizan las mediciones con un analizador de redes en instalaciones frigoríficas, el equipo puede dar la información del consumo energético y las variaciones de potencia absorbidas, entre otras mediciones, pero además del analizador de redes resulta necesario añadir las mediciones del controlador electrónico del ciclo de refrigeración para correlacionarse con el estado del ciclo de refrigeración que produce dichos consumos energéticos.

Sin duda, el cruzamiento de las lecturas del consumo energético con las variables características del ciclo de refrigeración tales como las presiones de alta y de baja, la temperatura ambiente o el conteo de horas de funcionamiento de los compresores resultan de gran valor para un mejor entendimiento del comportamiento de la instalación y como consecuencia de la demanda energético de la misma. Extrayendo las mediciones ya tomadas por el controlador frigorífico, el auditor energético, se está ahorrando en instalar una gran cantidad de sensores en la instalación.

Tal como se ha descrito en el capítulo 5 de este trabajo, la principal función del controlador del ciclo es la de proteger los componentes de la instalación y controlar compresores, ventiladores de condensación y válvulas para generar una producción de frío según los requerimientos de la carga térmica.

Para este trabajo se tomó como referencia un controlador de refrigeración con la capacidad de gestionar una instalación mediana de supermercados. A continuación, se describen las características de este, así como la conexión y lectura de sus variables.



ILUSTRACIÓN 38-CONTROLADOR ELIWELL EWCM 9100 – FUENTE: ELIWELL

El controlador corresponde a la marca Eliwell subsidiaria de Schneider Electric y diferencia de otras marcas de controladores, Eliwell publica las direcciones de los registros Modbus para leer las mediciones tomadas por el controlador. Ver ilustración (38).

### Características

- Control de hasta 19 salidas de relé configurables para compresores simple o multietapa o ventiladores de condensación
- 3 salidas analógicas para control de variadores del compresor o ventiladores
- 3 entradas para sensores de presión para el compresor y los ventiladores
- 4 entradas de sensores de temperatura NTC o PTC
- 14 entradas digitales de tensión y 6 contactos de entrada configurables
- Compatibles con un amplio rango de refrigerantes
- Puerto de comunicación RS485
- Reloj RTC
- Algoritmo de ahorro de energía (presión de condensación flotante)
- Aplicaciones predefinidas disponibles
- Compatible con refrigerantes R290 y R427
- Apto para rack de compresores con circuito secundario de glicol

En la ilustración (39) se presenta un diagrama general de conexionado del controlador.

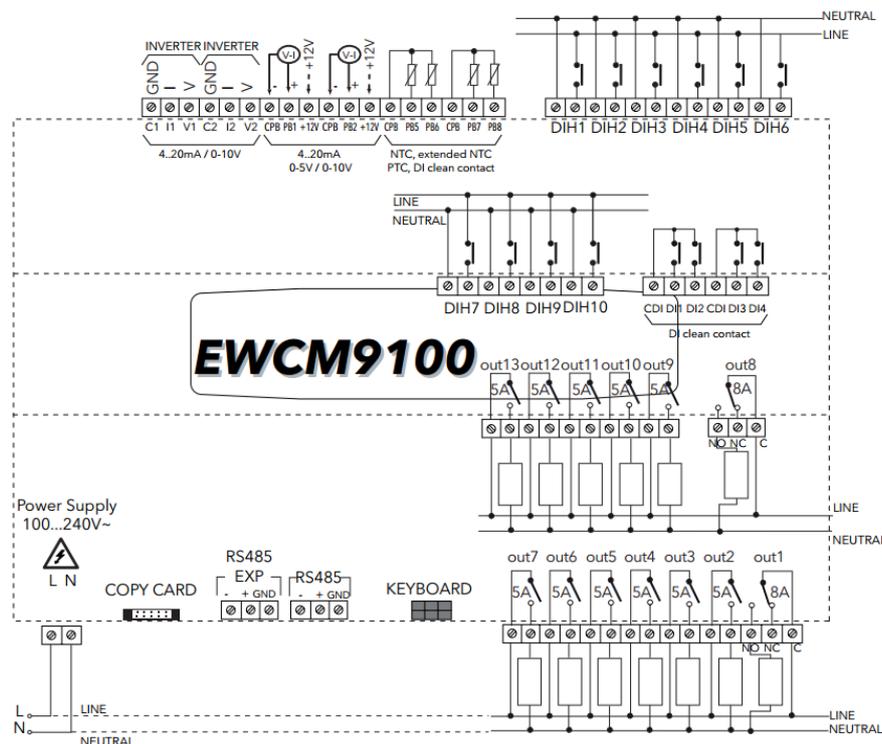


ILUSTRACIÓN 39-ESQUEMA DE CONEXIONADO CONTROLADOR EWCM9100

El controlador Eliwell EWCM9100 permite el acceso de lectura a más de 360 registros Modbus, a continuación, enumeraremos algunos de los parámetros principales que determinan el estado de funcionamiento del ciclo y que serán utilizados en la aplicación desarrollada en este trabajo:

Dirección	R/W	Descripción	Dato	Rango	Exp	Uni
4752	R	Sensor de temp succión 1	WORD	-32768...32768	-1	°C
4754	R	Sensor de presión succión 1	WORD	-32768...32768	-1	bar
4760	R	Sensor de temp. descarga 1	WORD	-32768...32768	-1	°C
4762	R	Sensor de presión descarga 1	WORD	-32768...32768	-1	bar
4766	R	Temp. Ambiente exterior	WORD	-32768...32768	-1	°C
5040	R	Rele compresor 1	WORD	0..1		flag
1038	R	Horas de operación compresor 1	WORD	0...32768		num
4678	R	Estado ventilador 1	WORD	0...32768		num
1280	R	Horas de operación ventilador 1	WORD	0...32768		num
4643	R	Estado desc. Gas caliente circ 1	WORD	0..1		flag
4644	R	Estado desc. Gas caliente circ 2	WORD	0..1		flag

Debe mencionarse que existen también otras marcas de controladores, que también poseen puertos de comunicación RS-485, con comunicación Modbus y que permiten la lectura de sus mediciones, tales como Danfoss.

### 6.3.4 Variador de velocidad

Por último, se mencionará un posible tercer equipo para la conexión al bus de comunicación, el cual es un variador de velocidad, el mismo puede corresponder al compresor o/y a los ventiladores del condensador, dependiendo del tipo de instalación. Los variadores de velocidad están provistos en su mayoría con capacidades de comunicación Serie RS-485 o Ethernet. Dentro de la información provista, está la de la potencia eléctrica entregada al motor, la cual puede ser tomada por la pasarela Simatic IoT2040.

Puesto que ya se ha incluido un analizador de redes, el cual brindará la lectura del consumo global de la instalación, conectar el variador de velocidad permitiría discriminar individualmente el consumo del compresor, Además, como se ha mencionado, los variadores de velocidad integran de manera estándar la tecnología de comunicación RS-485, con lo cual se reduce los costos de la implementación.

Cabe aclarar también, que no todos los ciclos de refrigeración controlan sus compresores o ventiladores a través de variadores de velocidad o incluso algunas instalaciones medianas o grandes, de varios compresores, suelen regular la capacidad frigorífica con un solo compresor con variador de velocidad o incluso con un método como el digital scroll y el resto de los compresores tienen un control ON/OFF a través de contactores.



ILUSTRACIÓN 40-VARIADOR DE VELOCIDAD ALTIVAR 61

Variadores como el de la ilustración (40) corresponden a la marca Schneider Electric y a la gama Altivar 61. Estos variadores controlan motores con potencias desde los 0,75 hasta los 630kW. Al igual que en los casos anteriores estos equipos tienen la capacidad de comunicarse a través del estándar RS485 y a continuación se mencionan algunos de los registros que pueden ser leídos.

Dirección	R/W	Descripción	Dato	Rango	Exp	Unidad
3211	R	Potencia absorbida por motor	INT			%
3218	R	Potencia absorbida por variador	UINT			0.01kW
3237	R	Energía consumida por el variador	UINT			KWh
3231	R	Horas de operación del motor	UINT			Hs
3233	R	Horas de operación del variador	UINT			Hs

Para simplificar la documentación desarrollada en este trabajo se ha descartado la inclusión del variador de velocidad entre los datos a procesar, sin embargo, se consideró interesante destacar la existencia de otros equipos de los cuales es posible obtener información útil para una auditoría energética.

## 6.4 Programas para la implementación de la aplicación IoT

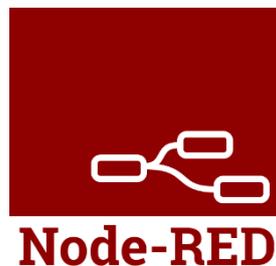
En este apartado del capítulo 6 se hablará de los requerimientos de programación necesarios para desarrollar la aplicación IoT de este trabajo. Al contrario de lo que se podría suponer en un principio, el entorno de programación utilizado en el equipo de Siemens, Simatic IoT2040, dista considerablemente al utilizado en los equipos de automatización y control, tales como PLC, HMI y SCADA. Sus programas y lenguajes de programación se encuentran más cerca del entorno de un desarrollador web que de un programador de PLC, lo que constituye un primer desafío para la implementación. Es por ello, por lo que no resulte sorprendente el lanzamiento de Siemens de la plataforma MindConnectIoT2000

y el entorno MindSphere en donde la implementación de una aplicación IoT resulta más amigable para programadores que no dominen el lenguaje del entorno web.

Para realizar la lectura, tratamiento, representación y reenvío a un servidor, de los datos leídos desde los equipos de la instalación de refrigeración, se ha utilizado el programa Node-RED, el cual viene preinstalado en la pasarela Simatic IoT2040 y del cual se hablará extensamente a continuación.

Por otro lado, para realizar el registro y almacenamiento de las variables de proceso leídas o calculadas se utilizará una base de datos, utilizando el sistema de gestión de base de datos SQLite, el cual también viene preinstalado en la pasarela Simatic IoT2040. La utilización de una base de datos permite registrar periódicamente los valores de las variables de proceso, junto con una estampa de tiempo, lo que posibilita luego obtener una trazabilidad de la evolución de estas mediciones.

### 6.4.1 Node-RED



Node-RED es una herramienta tan poderosa que se puede caer en una definición limitada de su uso. Según su sitio web oficial Node-RED [25] es una herramienta de programación basado en el método de flujo, originalmente desarrollado por el servicio de tecnologías emergentes de IBM. Puede ejecutarse en un ordenador con Windows/Linux, en dispositivos como Raspberry e incluso en la nube.

La programación por flujo (J Paul Morrison '70) es un método que describe el comportamiento de la aplicación como una red de "nodos". Cada nodo tiene un propósito definido, el mismo recibe información, le da algún tratamiento y luego la pasa al siguiente nodo. La red es responsable por el flujo de datos entre los nodos. Es un modelo que permite una muy buena representación visual del programa, como se observa en la ilustración (41), haciéndolo accesible a un rango más amplio de usuarios. Mucha más información puede encontrarse en página web de Node-RED<sup>1</sup>.

Sin duda Node-RED es una plataforma GPL<sup>2</sup> que facilita enormemente la implementación de IoT y una alternativa válida para proyectos de menor escala, mientras que en las grandes industrias resulta más conveniente la oferta de MindSphere con el soporte de Siemens.

A continuación, se nombrarán algunas de las características más importantes de esta herramienta.

---

<sup>1</sup> <https://nodered.org> – Sitio oficial de la aplicación

<sup>2</sup> GPL: General Public License

- Está basado en la plataforma Node.js y se ejecuta desde un navegador web.
- Es gratuita y de código abierto, lo que permite una instalación libre de licencias y además con la ventaja de que, al ser abierto, usuarios desarrollen nuevos nodos como herramientas, por ejemplo, nodos de lectura de protocolos Modbus, Profinet, OPC UA, etc.
- Permite una fácil vinculación con servidores en internet, utilizando protocolos como MQTT o HTTP.
- Realmente es muy sencillo compartir flujos de programas entre usuarios de Node-RED, tanto como copiar y pegar las líneas de código o compartirlo en un archivo .txt.
- Posee una herramienta de visualización que permite mostrar de manera muy sencilla los datos leídos.

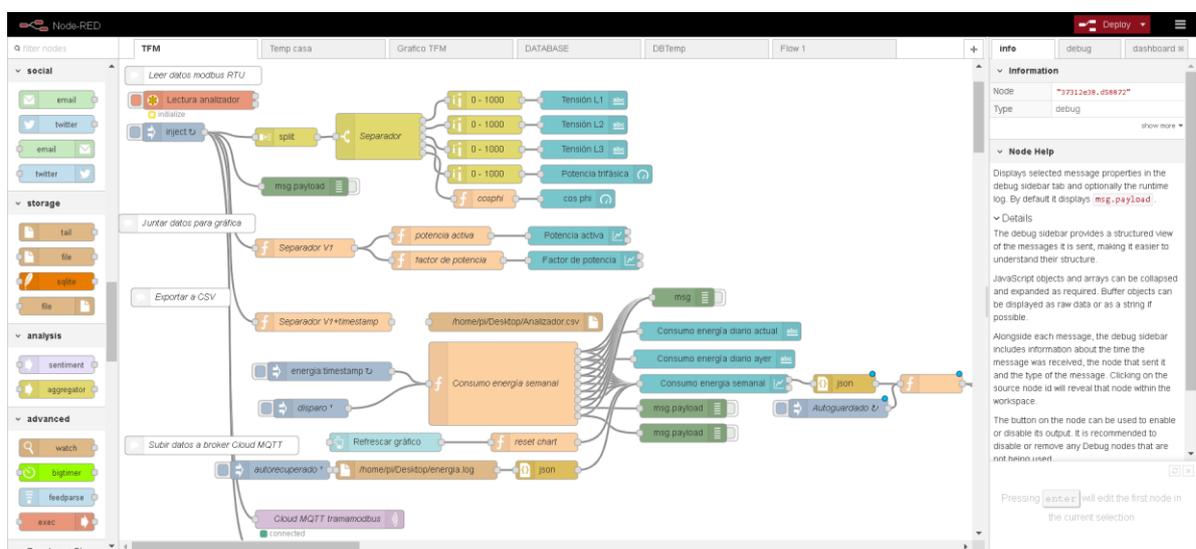


ILUSTRACIÓN 41-INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE NODE-RED-FUENTE PROPIA

#### 6.4.1.1 Contribución de nodos de Node-RED

Una de las grandes ventajas de las aplicaciones de licencia abierta es la posibilidad de tomar un rápido impulso gracias al desarrollo y las experiencias realizadas por usuarios programadores de la comunidad en internet. Node-RED es un claro ejemplo de esta moderna tendencia. El mayor aporte de esa comunidad se ve reflejado en el desarrollo de nuevos nodos en la plataforma, el cual ya se eleva a más de 1600.

Se nombrarán algunos de los nodos más populares, desarrollado por usuarios programadores de Node-RED, que figuran en la página oficial de Node-RED<sup>3</sup> y que han sido utilizados en este trabajo:

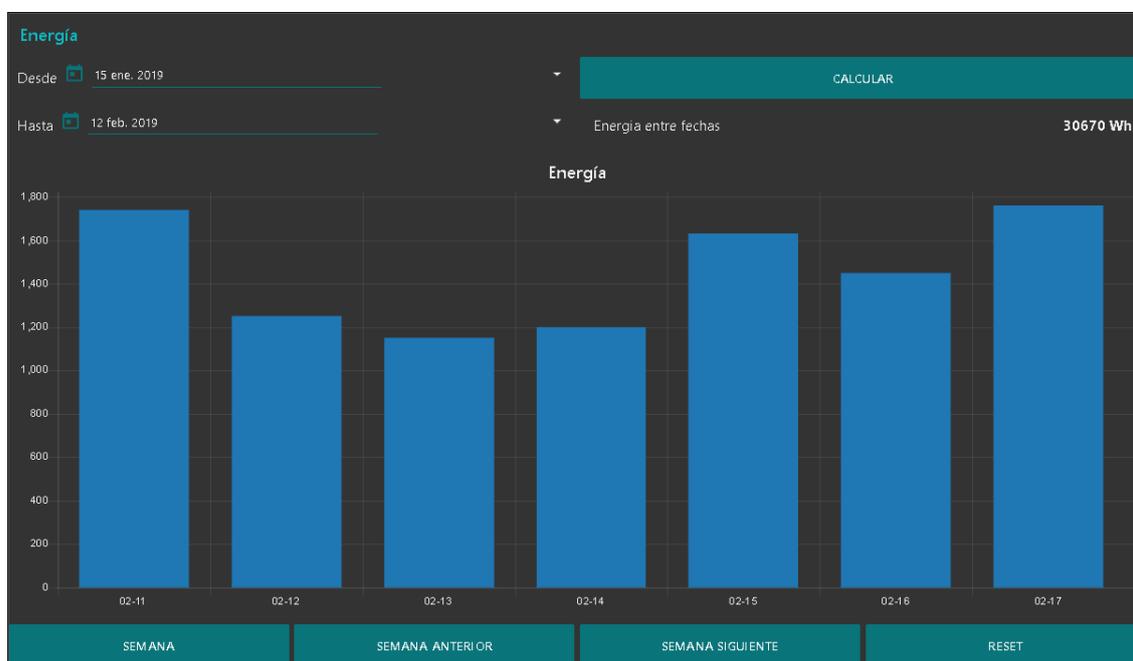
<sup>3</sup> <https://flows.nodered.org>

Nombre del nodo	Versión actual	Descripción
node-red-dashboard	2.9.7	Módulo que provee un set de nodos para crear rápidamente una visualización de los datos en tiempo real.
node-red-contrib-s7 1	1.5.1	Un nodo que permite interactuar con los PLC Siemens S7 a través del protocolo de comunicación Profinet.
node-red-contrib-modbus	4.0.0	Una colección de nodos que permite la comunicación a través del protocolo Modbus TCP y Serie RTU y ASCII.
node-red-node-serialport	0.6.8	Nodo para comunicarse con el puerto serie.
node-red-node-mysql	0.0.17	Nodo para leer y escribir datos en una base de datos SQL.

### 6.4.1.2 Dashboard

Se describe ahora la contribución más popular de Node-Red y la cual se ha utilizado en este trabajo, el título indica el nombre node-red-dashboard. Un dashboard o tablero de control consiste en un panel de supervisión ejecutado en el servidor web del Simatic IoT2040 y accesible desde la red local, a través de un navegador web.

En la siguiente ilustración (42) se muestra un gráfico de barras, construido con la contribución y perteneciente a un panel de supervisión, que permite comparar los consumos energéticos durante una semana. Para ello se utilizaron las lecturas del analizador de redes y mediante un bloque de función se programa un acumulador diario de energía para luego graficarlos.



**ILUSTRACIÓN 42 -EJEMPLO DE GRÁFICA REALIZADA CON NODE RED-FUENTE: PROPIA**

Pero las posibilidades no se limitan a mostrar datos, sino que también pueden ingresarse, para ello cuenta con elementos como botones, potenciómetros deslizantes, listas de selección, casillas de verificación, etc, tal como se muestran en la ilustración (43). Node-red-dashboard permite una

personalización limitada de los gráficos, pero se contrarresta con la facilidad de su implementación, además mencionar que con las herramientas disponibles cumple perfectamente la función de un tablero de supervisión y control.



The screenshot shows a 'Notificaciones' (Notifications) section with a table of power and voltage records. The table has two columns for power and two for voltage. Below the table is a 'RESET REGISTROS' button and a toggle for email notifications. At the bottom, there is a 'Alarma máxima potencia [W]' field set to 250.

Notificaciones			
Conectado desde	9:11:04 - 13.02.2019	Pico de potencia [W]	701W / 12:31:12 - 01.02.2019
Pico de tensión [V]	236.7 V / 05:33:13 - 09.02.2019	Mínimo de tensión [V]	213.7 V / 13:13:26 - 10.02.2019

RESET REGISTROS

Activar notificaciones via email

Alarma máxima potencia [W]  
250

ILUSTRACIÓN 43 - CONFIGURACIÓN PARA AVISO DE POTENCIA MÁX. DEMANDADA-FUENTE PROPIA

## 6.4.2 SQLite



El gestor de bases de datos SQLite, es liviano, rápido y confiable, lo que lo hace muy conveniente para ser ejecutado en un hardware reducido como el Simatic IoT2040. Al igual que Node-RED, SQLite también es código abierto y según sus desarrolladores, sus características lo hacen ideal para aplicaciones de internet de las cosas. [26]

Implementando un gestor de bases de datos, se podrán crear tablas en las cuales se podrán registrar los valores de las variables que se crean conveniente, en dichas tablas es posible registrar cada valor con una estampa de tiempo automática, lo que es fundamental para comprender la evolución de esta. Para lograr esto, se utiliza un nodo especial en Node-RED que permite la vinculación directa a la base de datos, llamado *node-red-node-sqlite*.

Otra de las posibilidades destacables de la utilización de una base de datos, es la de exportar los registros a un archivo de extensión .csv, los cuales pueden ser modificados por Microsoft Excel para realizar otro tipo de análisis con la información extraída.

Asimismo, una de las principales ventajas de utilizar una base de datos es la posibilidad de realizar consultas a través del lenguaje estructurado SQL para obtener información específica dentro de los registros almacenados. Por ejemplo, se podrá tener almacenado los registros de la evolución de una medición de temperatura y a través del lenguaje de consultas es posible solicitar a la base de datos que muestre los registros del último mes o de un día específico o el promedio anual o incluso que devuelva los registros temporales de dos o más mediciones distintas para poder compararlas entre ellas.

Además, el proceso de consultas puede ser automatizado utilizando botones en el dashboard de Node-RED y la respuesta a las consultas pueden ser representadas en diferentes gráficos, tales como de línea o barra. Tales posibilidades constituyen una herramienta muy útil para un análisis rápido de la información registrada. En la ilustración (44) se muestra un panel de consultas a la base de datos desarrollado en Node-RED, en donde se muestran simultáneamente mediciones de potencia activa y temperatura exterior durante un día.

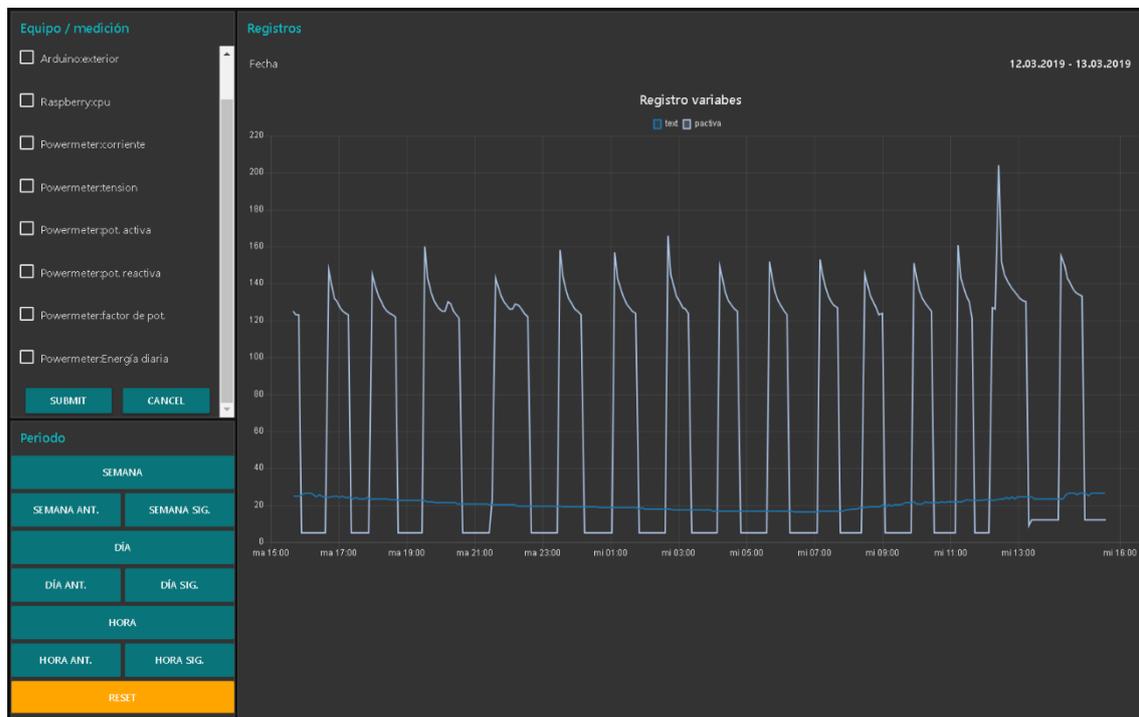


ILUSTRACIÓN 44 - ACCESO A BASE DE DATOS MEDIANTE GRÁFICOS EN NODE-RED-FUENTE PROPIA

### 6.4.3 Pautas de programación en Node-RED

Las pautas de programación en Node-RED y SQLite se encuentran en el anexo II.

## 6.5 Diseño de interfaces de usuario

Hasta aquí se han descrito los equipos utilizados, los requerimientos de comunicación y las pautas generales de programación. A continuación, se expondrán las pantallas de la interfaz de usuario propuestas que permitirán realizar una supervisión energética de la instalación frigorífica.

Luego se plantearán una serie de medidas de ahorro generales en instalaciones frigoríficas de supermercados y la estrategia del diseño de la interfaz de usuario que permite realizar un seguimiento de dichas medidas aplicadas.

[Ingreso a la interfaz desde la red local](#)

Tal como se ha mencionado en las características de Node-RED, las pantallas aquí descritas pueden ser accedidos desde cualquier navegador web conectado a la red local o fuera de la red, con las configuraciones de permisos de accesos correspondientes.

Para ingresar a las pantallas aquí descritas, desde el navegador web se deberá ingresar en la barra de direcciones el IP local del Simatic IoT2040 seguido de “:” y el número de puerto 1880 y los siguientes caracteres “/ui/#/0”. Lo que quedaría como la siguiente dirección, reemplazando las x por la dirección IP local de la pasarela.

<http://XXX.XXX.X.XX:1880/ui/#/0>

Una vez ingresado a la pantalla inicial, desde la parte superior izquierda se encuentra el ícono de menú desde el cual se podrá acceder al resto de las pantallas de supervisión. Tal como se muestra en la ilustración (45).

#### Resumen de las interfaces de la aplicación

Pantalla	Función	Información
Controlador frigorífico	Supervisión	Supervisión de las principales mediciones del controlador electrónico, como presión y temperatura de evaporación y condensación. Registro de eventos máximos y mínimos y seteo alarmas con notificaciones por email
Analizador de redes	Supervisión	Supervisión de las principales mediciones eléctricas del analizador de redes, como niveles de tensión, corriente, consumo de potencia activa. Registro de eventos máximos y mínimos y seteo alarmas con notificaciones por email
Contador de energía	Supervisión	Registro de los consumos de energía diaria y consumos acumulados mensualmente.
Condensación flotante	Seguimiento medida de ahorro	Visualización horaria de la presión y temperaturas de condensación y ambiente, así como también la potencia demandada por el sistema frigorífico.
Ciclos de descongelado	Seguimiento medida de ahorro	Visualización diaria de los consumos de energía y temperatura ambiente promedio diaria junto con una visualización horaria del tiempo de accionamiento de los ciclos de descongelado.
Benchmarking	Comparación	Registro y visualización del indicador de intensidad energética de la instalación. Comparación con otros indicadores de intensidad energética [kWh/mes.m2]
Huella de carbono	Supervisión	Cálculo de la emisión de carbono por consumo eléctrico y fugas de refrigerante en la instalación.
Base de datos	Supervisión	Consulta de las mediciones registradas de los sensores en la instalación

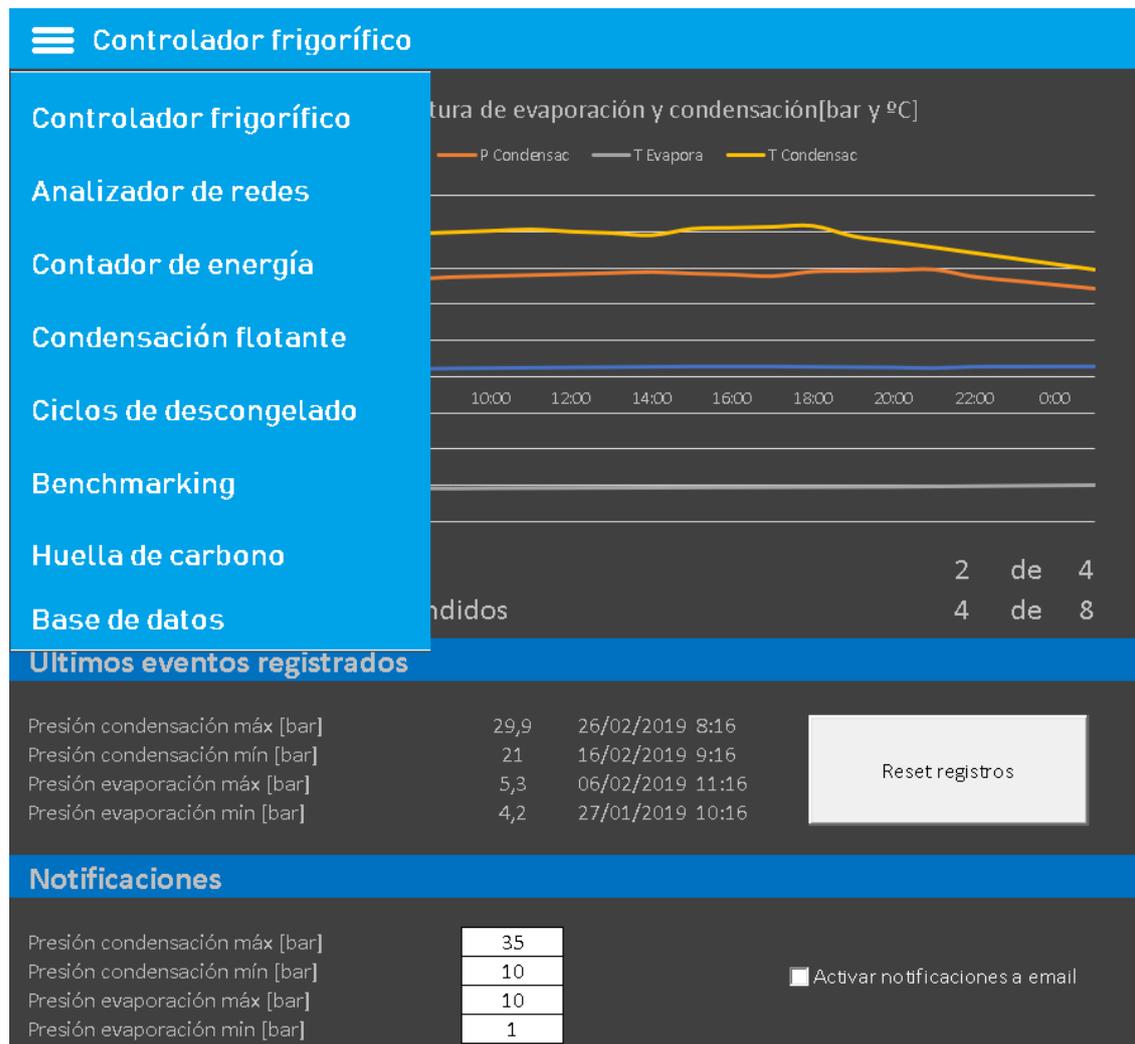


ILUSTRACIÓN 45-MENÚ DE SELECCIÓN DE PANTALLAS

### 6.5.1 Interfaz de supervisión general

Se agrupan bajo el nombre de interfaces de supervisión general a aquellos que muestran las mediciones puntuales de los equipos conectados al bus de comunicación. Siendo en esta aplicación el controlador de refrigeración y el analizador de redes.

#### Controlador frigorífico

En esta pantalla se muestran las principales medidas tomadas por el controlador del sistema de refrigeración y se plantea una pantalla de supervisión con las variables más importantes de un ciclo frigorífico, permitiendo al usuario realizar el seguimiento del desempeño de la instalación y detectar comportamientos anómalos.

Como se puede observar en la ilustración (46), en la pantalla de supervisión frigorífica se grafican las mediciones de presión y temperatura de evaporación y condensación de las últimas 24 horas para tener un seguimiento del comportamiento diario. Por otro lado, también se incluyeron los datos del estado de los compresores y los ventiladores del condensador encendidos, para entender el estado de carga de la instalación.

En una segunda sección se incluyó el registro de máximos y mínimos tanto de las presiones de evaporación como de condensación, lo que permite fácilmente al auditor energético identificar los momentos en los que se producen las condiciones extremas en el ciclo frigorífico. Si, los eventos de máximos y mínimos surgieron con antelación a las 24hs de visualización de la gráfica, las mediciones quedarán igualmente registradas en la base de datos y sabiendo ya la fecha y la hora del evento, podrán ser consultadas en la pantalla especialmente diseñado para consultas de la base de datos.

En una tercera sección se incluyó una función de notificaciones, que permite al auditor recibir notificaciones vía email, ante el sobrepaso de determinadas variables medidas, respecto a los valores fijados en la misma ventana. Debe tenerse en cuenta que tal prestación no debe considerarse como medida de seguridad, puesto que el envío de email dependerá de la disponibilidad de la conexión a internet de la instalación, así como también de los tiempos de respuesta de los servidores de correo, lo cual puede presentar demoras, es por lo que finalidad de estas notificaciones es del tipo informativa.

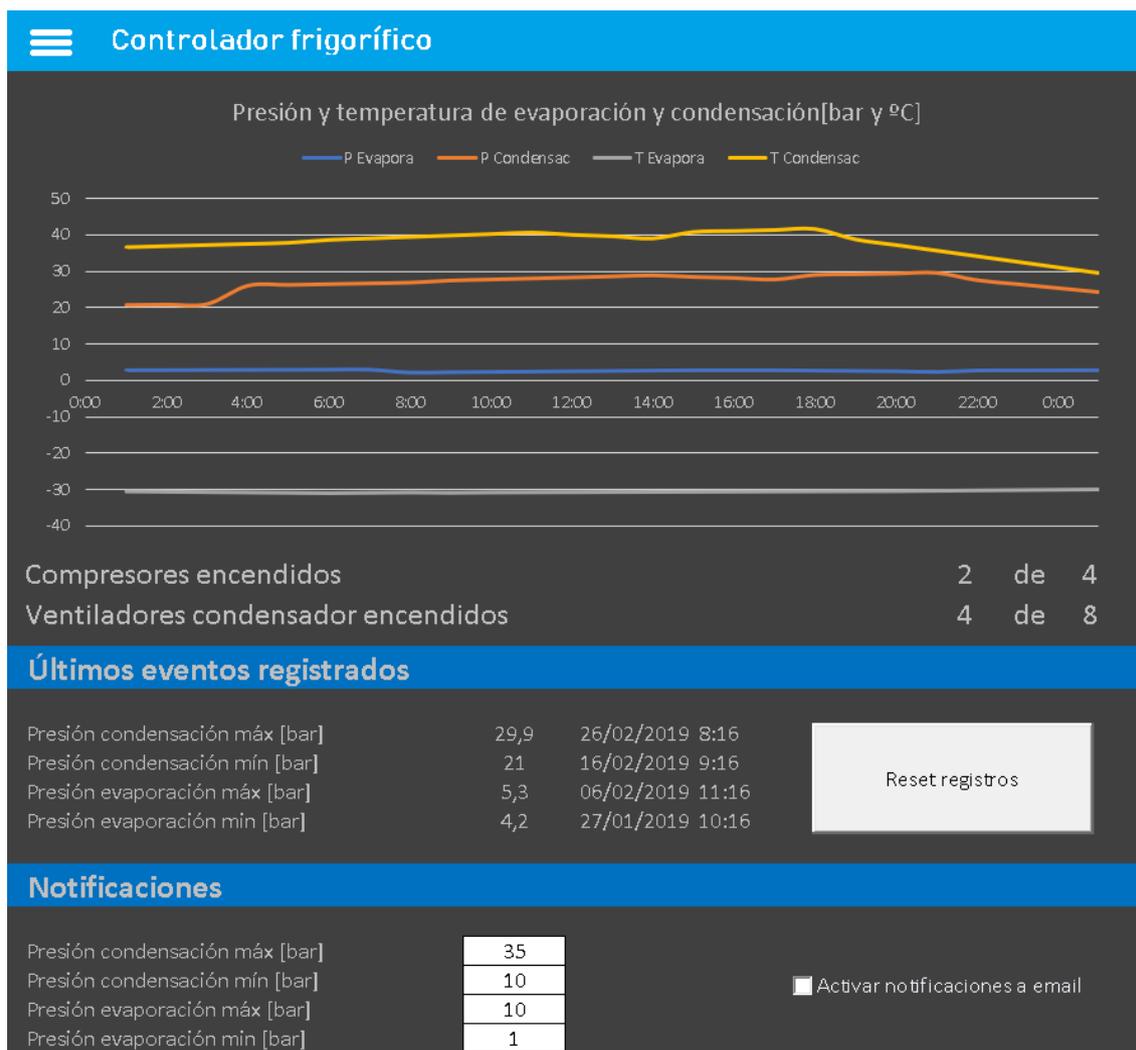


ILUSTRACIÓN 46-INTERFAZ SUPERVISIÓN CICLO FRIGORÍFICO

### Analizador de redes

También se añade una pantalla con las principales medidas extraídas del analizador de redes. Lo que permite una visualización y supervisión de variables importantes como los niveles de tensión, corriente, factor de potencias, potencia y energía absorbidas por la instalación frigorífica.

Respecto a las mediciones y visualizaciones del consumo de energía, son presentadas en una pantalla aparte, en donde pueden configurarse los períodos de visualización, junto con valores calculados como promedios y máximos.

Combinándose las mediciones continuas de las variables eléctricas, con el registro periódico en la base de datos SQLite y las herramientas de visualización de Node-RED, es posible obtener las curvas de demanda de potencia eléctrica diaria del sistema de refrigeración. Tal posibilidad permite realizar comparaciones entre días particulares como laborables y fines de semana, días de invierno y de verano y entre mismos días de diferentes años, para comprobar la evolución del sistema. Así también se debe

mencionar que las curvas de demandas diarias son una información fundamental en toda auditoría energética.

Por otro lado, la pantalla de supervisión de variables eléctricas permite realizar un seguimiento de la potencia consumida, registrando el valor y el momento en que se producen los picos de consumo. Información como esta, resulta útil para la optimización de la potencia contratada en el contrato del suministro eléctrico. Conociendo los momentos en los cuales se producen las demandas máximas en la instalación de refrigeración, pueden replantearse el ordenamiento de otras tareas para optimizar la potencia contratada y reducir el gasto fijos o las penalizaciones por excesos de demanda, en la facturación eléctrica.

Asimismo, en esta pantalla se puede supervisar el factor de potencia de la instalación frigorífica, permitiendo al auditor evaluar la necesidad la compensación local de energía reactiva y evitar penalización por exceso de consumo de energía reactiva.

Con el objetivo de evitar excesos tanto de potencia como de energía reactiva consumida se ha agregado, al igual que en la pantalla anterior, la funcionalidad de notificaciones vía email, pudiendo seleccionar el umbral de potencia y factor de potencia a partir del cual la aplicación envía un mensaje de advertencia al auditor.

De igual manera que fue comentado en la pantalla anterior, el acceso al registro histórico de las mediciones tomadas por el analizador de redes se encuentra en la pantalla de base de datos.

El diseño de la pantalla con las medidas del analizador de redes se observa en la ilustración (47).

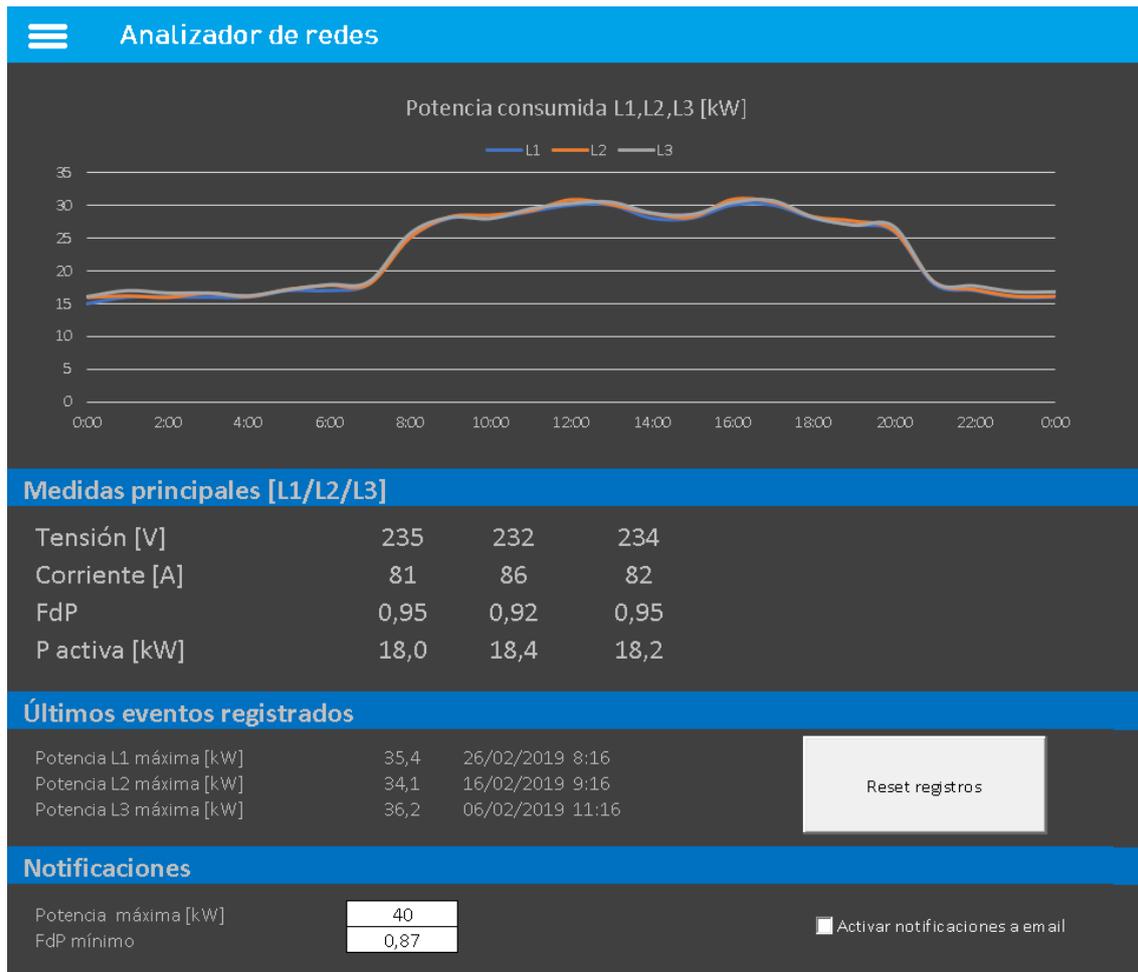


ILUSTRACIÓN 47-PANTALLA DE SUPERVISIÓN DE VARIABLES ELÉCTRICAS

### Supervisión de consumo energético

Como se ha adelantado anteriormente, para visualizar el consumo eléctrico de la instalación, se ha reservado una pantalla particular, con la finalidad de utilizar gráficos más adecuados y mostrar indicadores específicos a la tarea de comparaciones del desempeño entre diferentes períodos de tiempo.

Es por ello que se ha propuesto un gráfico de barras en donde se muestra el consumo diario entre las fechas que se hayan seleccionado desde el selector de fechas, asimismo, se calculan indicadores característicos como consumo promedio, mínimo y máximo entre dichos períodos.

De manera similar se ha incluido un gráfico de barras con el consumo mensual de la instalación frigorífica, además del cálculo de los valores promedio, máximo y mínimo.

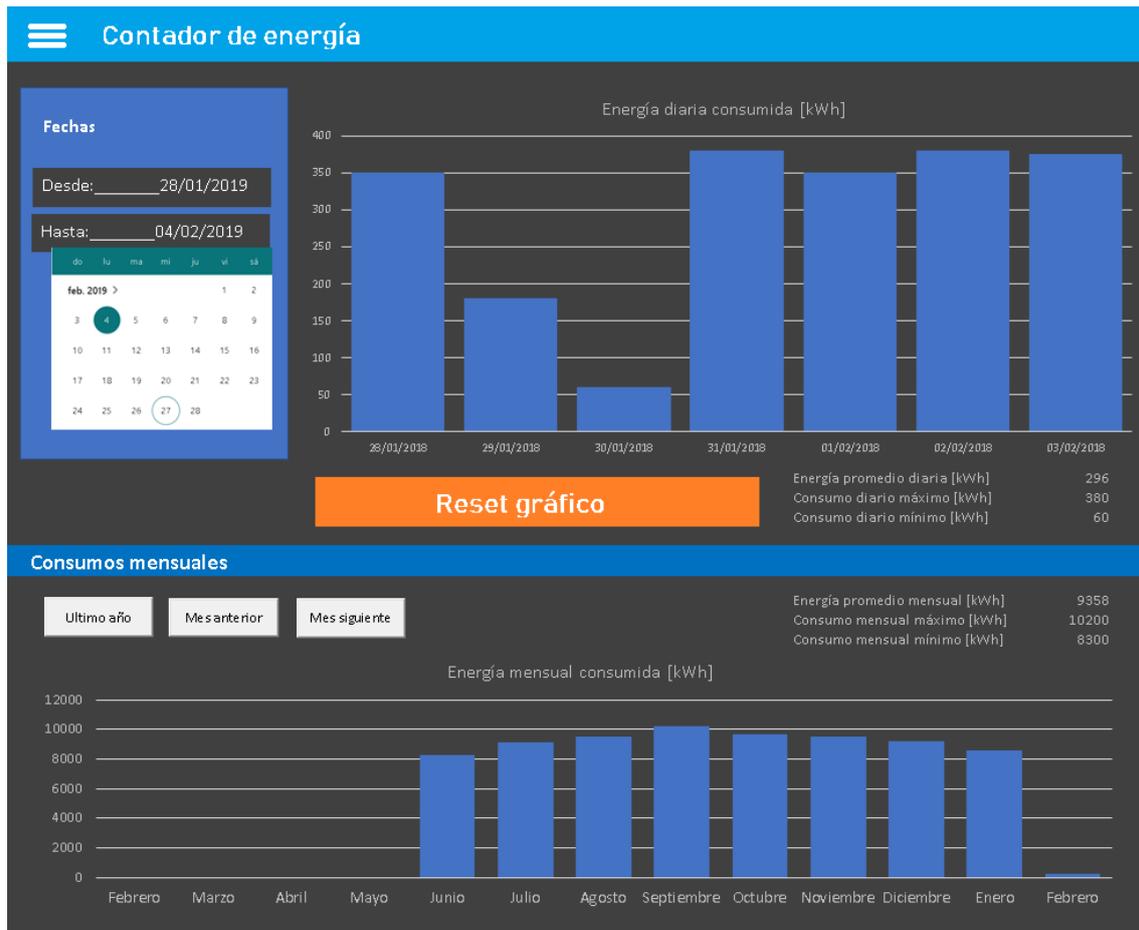


ILUSTRACIÓN 48-PANTALLA CONTADORES DE ENERGÍA

### Consultas a la base de datos

Se ha incluido una pantalla en donde se podrán hacer consultas a la base de datos y visualizarlas en un gráfico de línea. Las consultas a una base de datos se realizan programando sintaxis del lenguaje SQL, pero aquí dichas líneas de programación se han minimizado a una simple selección desde una lista y botones.

Desde la pantalla se podrá seleccionar no solo las mediciones tomadas desde los equipos, sino que también las medidas calculadas como consumo energía diario o temperatura ambiente promedio. En la pantalla se puede seleccionar más de un tipo de medición, pudiéndose obtener graficas multivariables lo cual representa de mucha utilidad para entender la simultaneidad de eventos.

Además de la selección de mediciones, también se debe especificar el período de tiempo que queremos visualizar en la gráfica, para ello se ha simplificado la acción de ingresar las fechas con cuadros selector de fechas.

Como se muestra en la ilustración (49), en donde consultó la curva de potencia activa demanda junto con la temperatura exterior y el consumo diario de energía en el período de una semana.

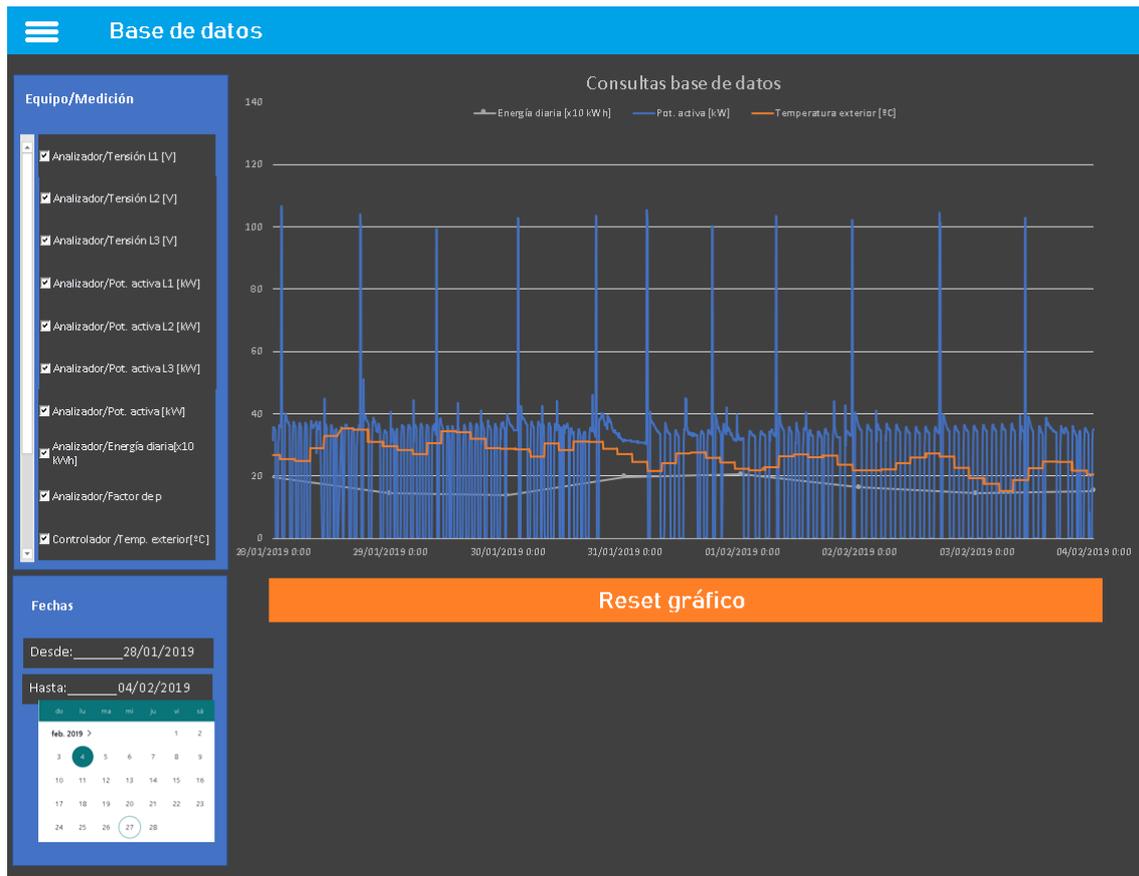


ILUSTRACIÓN 49-PANTALLA CONSULTAS A BASE DE DATOS

Sin embargo, los análisis que pueden hacerse desde la pantalla de base de datos propuesta están limitados a las configuraciones programadas de selección de mediciones y período de tiempo. Por lo que, para realizar análisis más detallados, como por ejemplo identificar los períodos de tiempo en que la potencia superó cierto valor, solo será posible de realizar contando con los datos registrados en la base de datos.

Afortunadamente, la base de datos SQLite y la herramienta phpliteAdmin permiten descargar los registros en la base de datos en un formato .csv, el cual se podrá manipular con Microsoft Excel para poder realizar los análisis requeridos.

Para acceder a phpliteAdmin, es posible hacerlo desde el mismo navegador de internet ingresando la IP local del Simatic IoT2040 seguido de la siguientes sentencia `"/database/phpliteadmin.php"`. Lo que quedaría como se indica a continuación.

<http://XXX.XXX.X.XX/database/phpliteadmin.php>

Una vez en la interfaz phLiteAdmin, bajo la solapa "Export" se pueden exportar los registros de la base de datos, tal como se muestra en la ilustración (50).

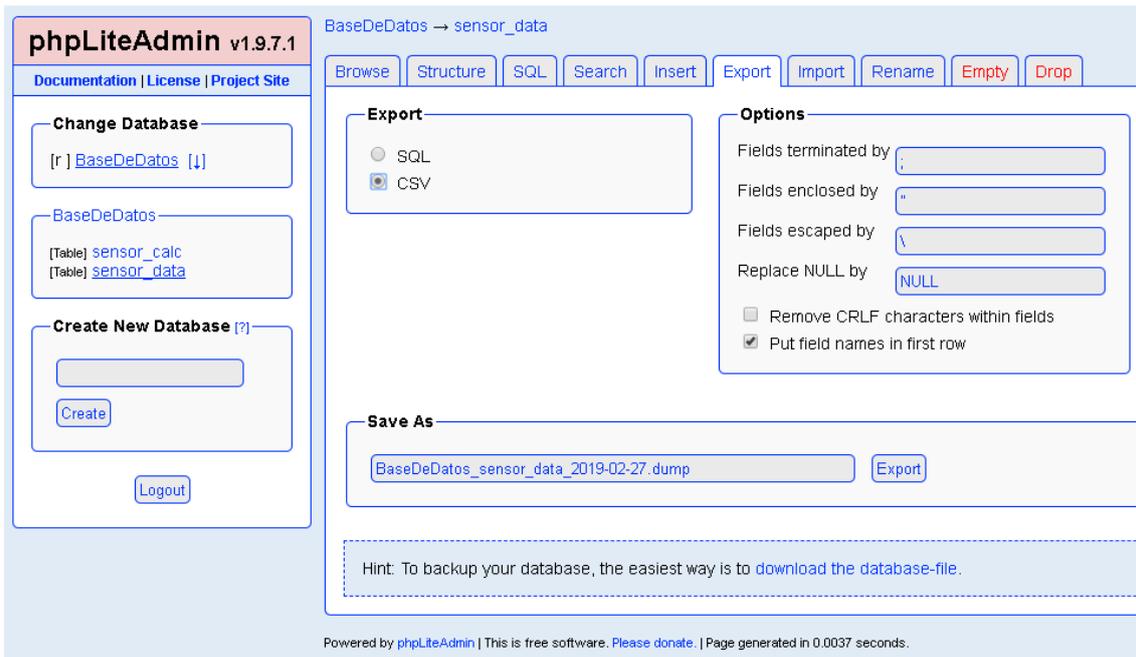


ILUSTRACIÓN 50-PANTALLA PHPLITEADMIN PARA EXPORTAR BASE DE DATOS

Finalmente, con los datos extraídos de la base de datos, se pueden generar otros análisis de la información. Tal como se muestra en la ilustración a continuación (51).

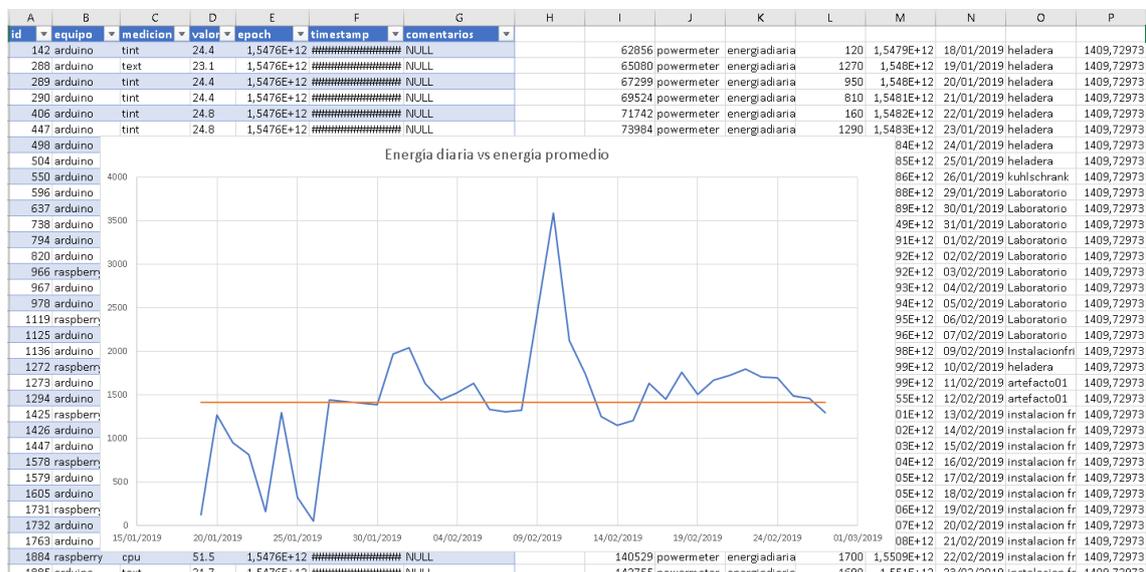


ILUSTRACIÓN 51-ANÁLISIS DE DATOS EN MICROSOFT EXCEL

## 6.5.2 Interfaces de seguimiento de medidas de ahorro energético

A continuación, se presenta la interfaz propuesta para realizar el seguimiento de medidas de ahorro energético aplicadas a la instalación. Primeramente, se mencionarán las medidas de ahorros consideradas para desarrollar dicha interfaz y seguidamente se mostrará el diseño de la pantalla de seguimiento.

### 6.5.2.1 Medidas de ahorro energético y económico que no intervienen en el circuito frigorífico

La Consejería de Economía y Hacienda junto con la Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid ha redactado una Guía de auditorías energéticas en supermercados en el año 2012. En dicho documento se enumeran una serie de medidas para obtener un ahorro energético en la instalación frigorífica. A continuación, se expondrán las indicaciones y recomendaciones detalladas en la guía y en base a ellas se determinarán las gráficas que permitan supervisar esas medidas. Para una mejor exposición del tema, las medidas se separan en dos grupos, por un lado, aquellas que no intervienen directamente sobre el circuito frigorífico y por otro lado aquellas que sí.

- Tapado de armarios frigoríficos en los horarios nocturnos. Ver ilustración (52)
- Estudiar la calidad del aislamiento de los armarios frigoríficos y procurar que las puertas no permanezcan abiertas más que lo necesario, disponiéndose de indicaciones para los clientes.
- Realizar un análisis de las pérdidas energéticas mediante termografía con el fin de hallar fugas y filtraciones de aire en el edificio. Ver ilustración (53)
- Verificar la limpieza y libre circulación de aire por los intercambiadores del condensador. Ver ilustración (54).
- Comprobar el aislamiento de las cámaras tanto de su entorno fijo como en las puertas de acceso a las mismas. Dotar a las mismas de cortinas de aire cuando su acceso sea frecuente. Ver ilustración (55)

Las medidas anteriormente mencionadas resultan independientes de las configuraciones y seteos del circuito frigorífico, por lo que, asumiendo una serie de consideraciones, podremos detectar su efecto midiendo la energía diaria consumida por el ciclo.

Para evaluar la efectividad de estas medidas el auditor puede utilizar la pantalla de contador de energía, presentada anteriormente, y comparar los consumos diarios registrados antes y después de aplicar las medidas de ahorro mencionadas.



ILUSTRACIÓN 52-TAPADO NOCTURNO DE ARMARIOS REFRIGERADORES – FUENTE:SAMARK

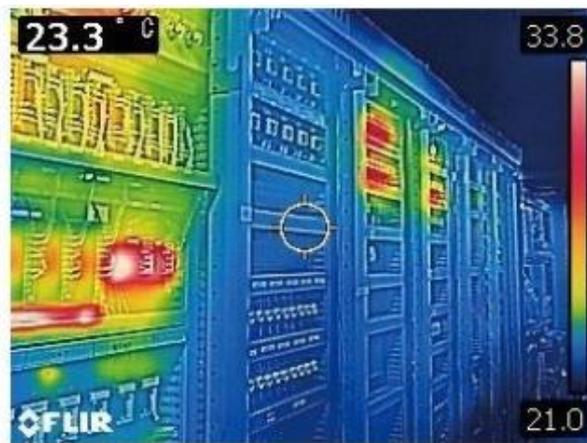


ILUSTRACIÓN 53-IMAGEN TERMOGRÁFICA DE HELADERA – FUENTE:FLIR



ILUSTRACIÓN 54-CONDENSADOR SUCIO NO EVACUA CALOR ADECUADAMENTE



ILUSTRACIÓN 55-CORTINA DE AIRE EN ENTRADA A CÁMARA FRIGORÍFICA – FUENTE:FRICO

#### 6.5.2.2 Medidas de ahorro energético y económico que intervienen en el circuito frigorífico

##### **Optimización por condensación flotante**

Tal como se ha mencionado en el capítulo 5, la implementación de un control de presión de condensación flotante permite que la presión del refrigerante a la salida del compresor sea menor en el caso de que disminuya la temperatura ambiente, dicha medida puede producir un importante ahorro al aumentar la capacidad frigorífica de la máquina.

Cabe resaltar que, al haber seleccionado un controlador de ciclo frigorífico con un algoritmo de condensación flotante, el procedimiento de optimización de esta medida se limita a buscar el valor óptimo de CR, parámetro que luego deberá cargarse al controlador.

El parámetro CR es el cual determinara la nueva temperatura de condensación y no resulta otra cosa que la diferencia de temperatura entre el medio ambiente y los tubos del condensador. Valores normales de CR oscilan entre 5 y 12°C. En la ilustración (56) extraída del manual de controlador de refrigeración, se observa el acompañamiento de la temperatura de condensación a la variación de la temperatura ambiente.

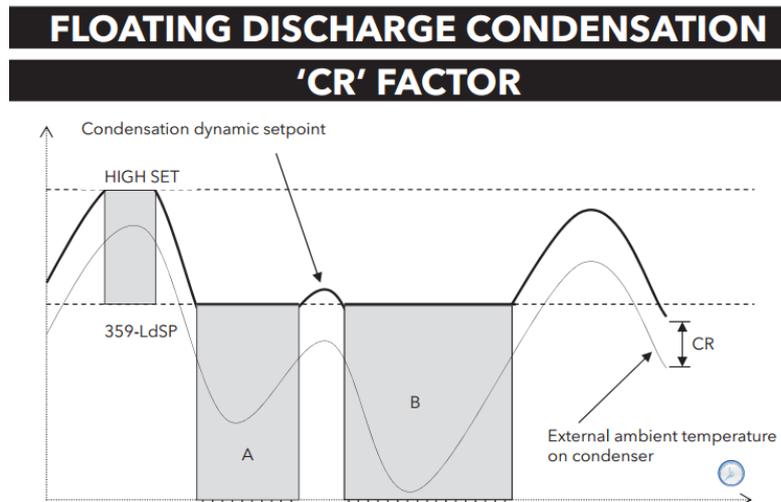


ILUSTRACIÓN 56-FUNCIÓN DEL PARÁMETRO CR. FUENTE:MANUAL CONTROLADOR ELIWELL

Según el manual del controlador, CR se calcula como:

$$CR=356-dSdo * \% \text{ potencia entregada por el sistema}/100$$

Donde:

356-dSdo: offset dinámico

El valor de CR no es constante, sino que su valor será proporcional a la potencia de frigorífica del sistema. Por nuestro lado podemos alterar esa proporción modificando el parámetro (356-dSdo)

A continuación, se adapta el procedimiento para la implementación de un control de presión de condensación flotante descrito en el capítulo 4, pero ahora teniendo en cuenta el parámetro (356-dSdo).

1. Anotar el valor de (356-dSdo) actual y la demanda eléctrica del sistema frigorífico (compresores + ventiladores condensación)
2. Setear el valor de (356-dSdo) 5% por debajo de su valor previo (Se encenderán más ventiladores de condensación o aumentarán su velocidad dependiendo del tipo de control) y dejar estabilizar el sistema.
3. Anotar la demanda eléctrica del sistema frigorífico
4. Continuar con los puntos 3 y 4 hasta que CR alcance un valor de 5°C
5. Gráfica la demanda eléctrica vs los valores del parámetro (356-dSdo) para hallar el seteo óptimo

De los pasos descritos anteriormente se desprende que para poder realizar un estudio y supervisión del método de condensación flotante se debe construir un gráfico con temperatura ambiente, y temperatura de condensación y por otro lado un gráfico con la demanda eléctrica del sistema (compresor + ventiladores de condensación).

Es por eso que se construye la siguiente pantalla, ver ilustración (57), con el fin de poder reunir en una pantalla, todas las variables involucradas en el proceso de optimización de la presión de condensación y poder hacer un seguimiento de la medida de ahorro.

Por otro lado, desde la base de datos se podrán descargar los datos medidos en un archivo de la extensión .csv, el cual es fácilmente manipulable con el programa Microsoft Excel.

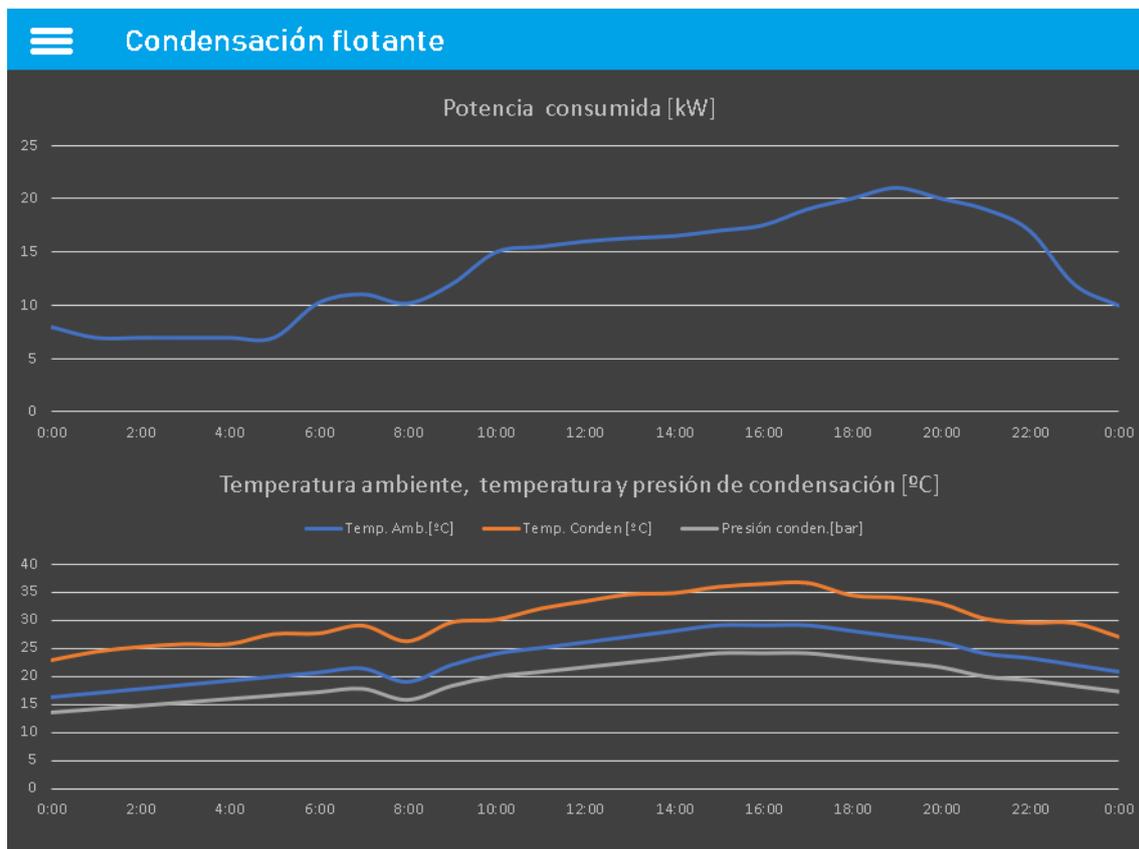


ILUSTRACIÓN 57-PANTALLA POTENCIA TOTAL CONSUMIDA VS TEMPERATURA AMB Y COND.

### Optimización del descongelado de evaporadores

El ajuste y optimización del ciclo de descongelado se realiza para minimizar la cantidad de energía requerida en remover la formación de hielo en los evaporadores. Los ciclos de descongelado se pueden realizar por medio de gas refrigerante caliente o una resistencia eléctrica, tal como se han descrito en el capítulo 5.3.1.2 (Control de descongelado). Para este trabajo asumiremos que el descongelado es por gas caliente y con un accionamiento en base a una temporización.

La periodicidad de los ciclos de descongelado debe ser adaptada a las condiciones climáticas del lugar, puesto que en climas húmedos tendrá lugar una mayor formación de escarcha y requerirá un descongelado más frecuente y viceversa en lugares secos como Valencia. Como resultado de la reducción de la cantidad de periodos y duración de los ciclos de descongelado se podrá minimizar el consumo energético.

Resulta muy difícil determinar en forma precisa el efecto que tiene la optimización del descongelado, puesto que existen variables como temperatura y humedad ambiente y forma de utilización de los armarios frigoríficos que varían en forma continua. De igual manera aquí se ha propuesto una pantalla donde se muestran los consumos diarios de la instalación, la temperatura media ambiente y el requerimiento del inicio del ciclo de descongelado de los armarios, para poder determinar el comportamiento energético tendencioso de la instalación.

Cuando un armario de refrigeración demanda un ciclo de descongelado, este envía una señal al controlador del ciclo, puesto que este debe tener al menos un compresor del circuito encendido que asegure la producción de gas caliente durante el descongelado.

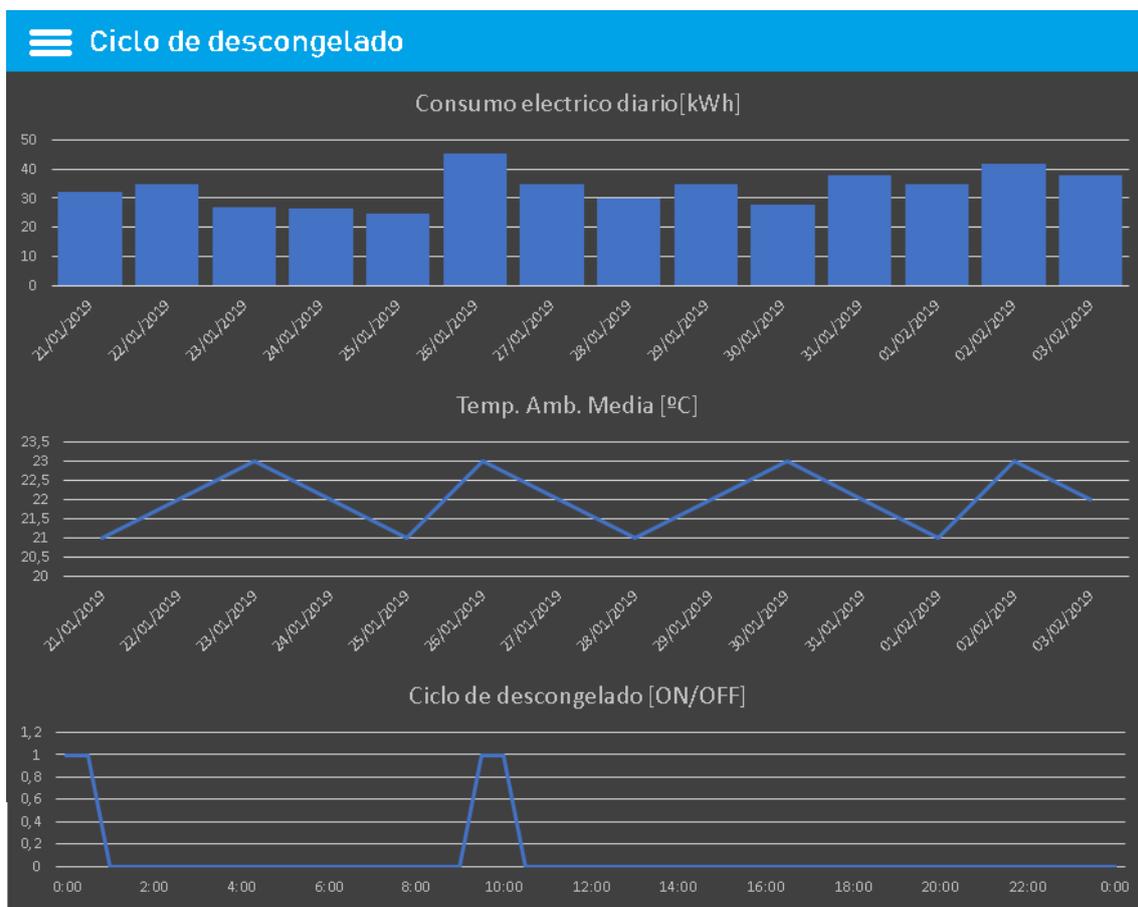


ILUSTRACIÓN 58-PANTALLA OPTIMIZACIÓN CICLO DE DESCONGELADO

Con la pantalla mostrada en la ilustración (58), así como también con los datos almacenados en la base de datos, se podrá evaluar el comportamiento energético, de modificar la duración y periodicidad de los ciclos de descongelado, generando una herramienta válida para la optimización de este proceso.

### 6.5.3 Pantalla con cálculo de la huella de carbono

Se ha incluido en la aplicación una pantalla con el cálculo de la huella de carbono producida por la instalación frigorífica. En un gráfico de barras se muestran los coeficientes TEWI (Total equivalent warming impact) calculados en forma mensual.

Para el cálculo solo se han considerados el término de emisión de CO2 equivalente por consumo de energía eléctrica y la emisión por fugas del refrigerante.

$$TEWI_{mensual} = PCA \cdot L + E_{mensual} \cdot f$$

En donde

TEWI= Total equivalent warming impact

PCA=Potencial de calentamiento atmosférico del gas refrigerante de la instalación [kg CO2/Kg refrigerante]

L= Porcentaje de fugas anuales

E<sub>mensual</sub>=Energía mensual consumida por la instalación

F= factor de conversión [kg CO2/kWh]

En la ilustración (59) se observa la gráfica con los coeficientes TEWI mensuales, juntos con los campos, en donde se deberán ingresar los parámetros específicos para su cálculo.

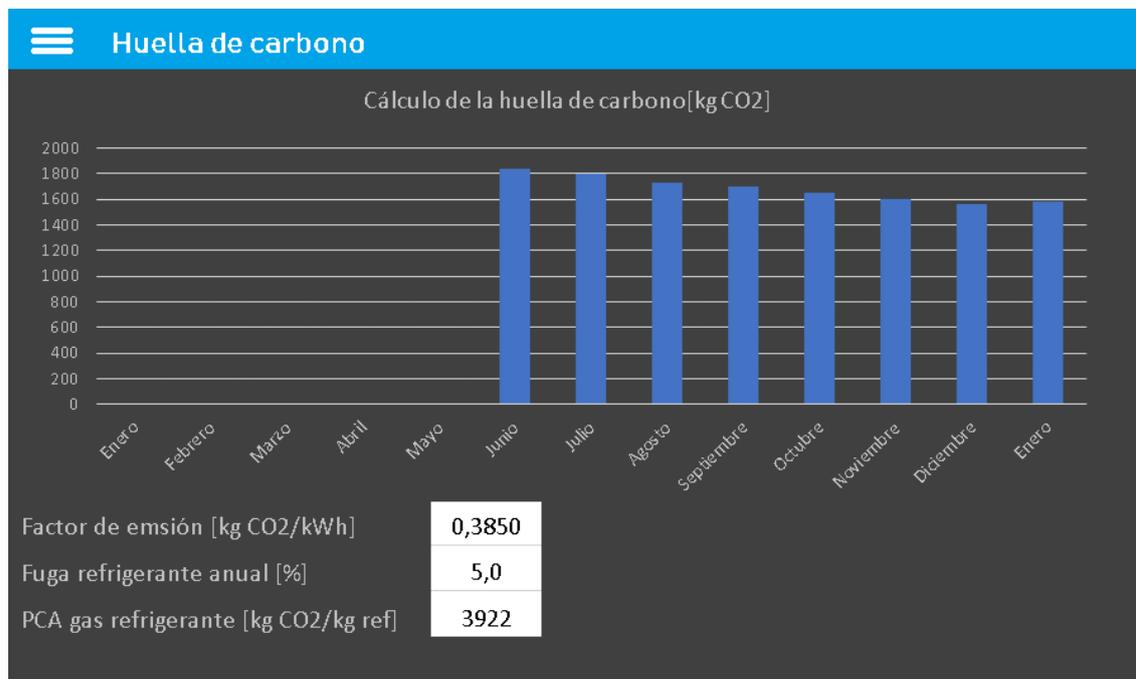


ILUSTRACIÓN 59- PANTALLA SEGUIMIENTO HUELLA DE CARBONO

### 6.5.4 Benchmarking

El benchmarking es una importante herramienta para promover medidas de ahorro energético en una instalación, su implementación permite al auditor energético y a los directivos de la empresa entender cómo están posicionados respecto a otras instalaciones similares y comprobar también su propia evolución.

Una de las principales dificultades para realizar el benchmarking es el hecho de normalizar los indicadores de manera de poder hacer una comparación justa respecto a las diferentes instalaciones. Uno de los indicadores de benchmarking comúnmente utilizado en el área de eficiencia energética, es el de intensidad energética, el cual está representado por el consumo de energía en un lapso por m<sup>2</sup> de superficie de edificio.

En la pantalla de benchmarking se propone visualizar un gráfico de barras con los consumos mensuales normalizados respecto a la superficie del edificio donde se realiza la auditoría. Con lo que se podrá realizar un seguimiento mensual del comportamiento energético general de la instalación.

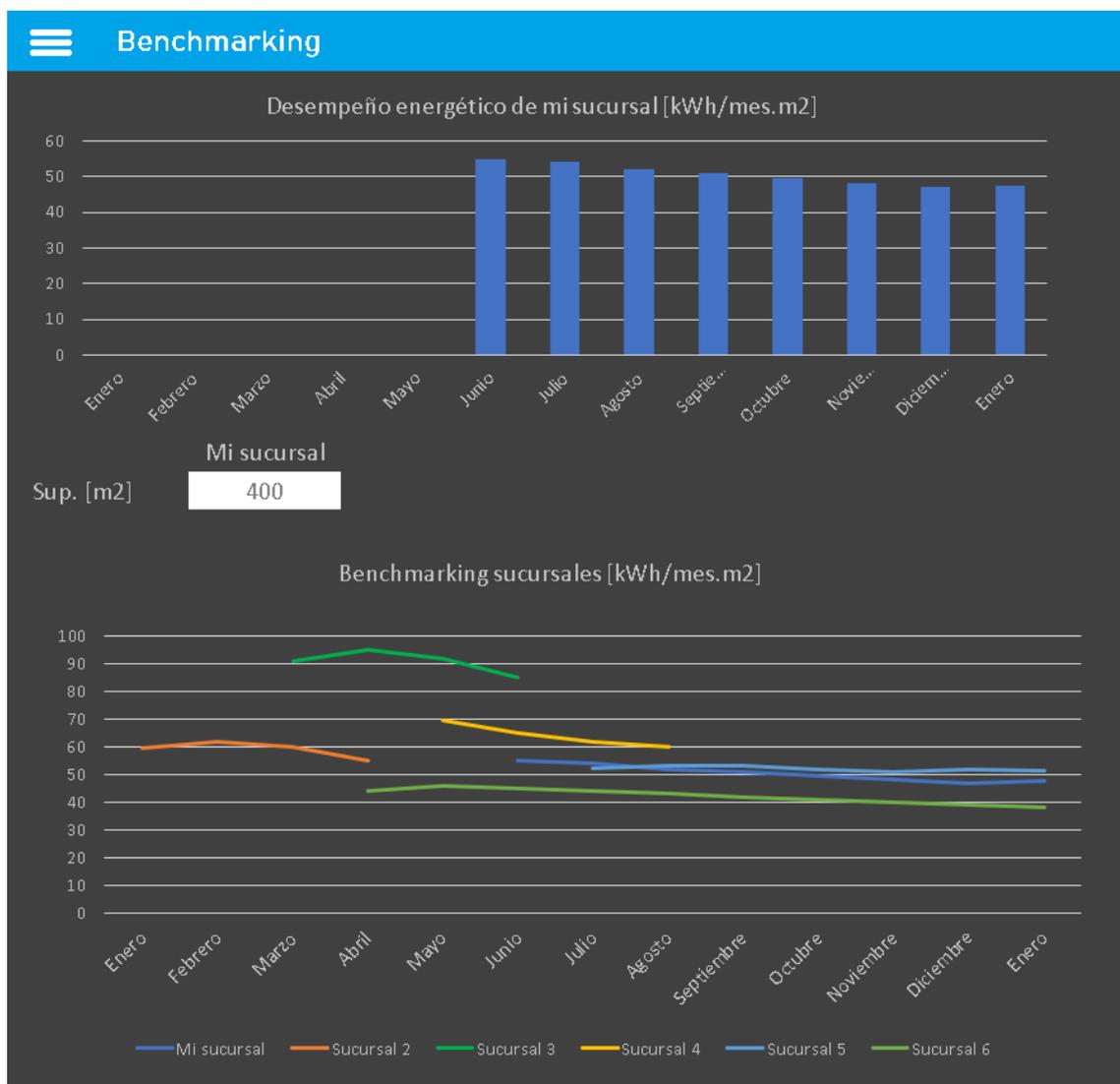


ILUSTRACIÓN 60-GRÁFICA DE INDICADORES DE INTENSIDAD ENERGÉTICA

### 6.5.4.1 Comparación de indicadores energéticos

Por otro lado, para realizar la comparación del indicador energético de la instalación auditada respecto a otras instalaciones que el auditor este monitoreando, se agregó una gráfica de línea en donde se concentran las mediciones de los indicadores de consumo energético normalizado.

Para concentrar los indicadores energéticos, cada instalación monitoreada publica el valor de su indicador en un servicio de bróker en la nube a través de protocolo MQTT. Asimismo, en la pasarela de cada instalación auditada se suscribe al bróker, descargando los valores de los indicadores energéticos de las otras instalaciones.

Aquí se ha utilizado el servicio de Cloud MQTT como bróker, puesto que permite una suscripción gratuita y provee un entorno amigable de configuración y trabajo.

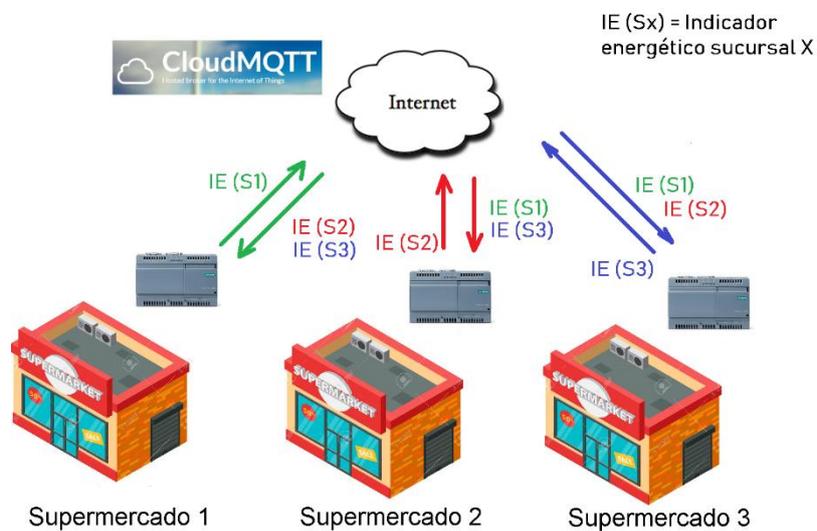


ILUSTRACIÓN 61 - ESQUEMA DE REENVÍO DE INDICADORES ENERGÉTICOS ENTRE INSTALACIONES

Tal como se observa en la ilustración (60), en la pantalla de benchmarking sucursales se podrán comparar los desempeños energéticos de las diferentes instalaciones frigoríficas de supermercados.

## 6.6 Detalles constructivos

Una de las cualidades que se buscan en los equipos de medición utilizados en las auditorías es la portabilidad y sencilla conexión de estos, puesto que la toma de mediciones suele ser por un período de tiempo acotado y luego se retira el equipo de medida. Los analizadores de redes portátiles representan fielmente estas cualidades.

Con el propósito de simplificar el montaje y la conexión de la aplicación en una instalación frigorífica y teniendo en cuenta que no siempre es posible encontrar espacio disponible en los tableros eléctricos de las instalaciones para agregar componentes, se ha reunido en un único y reducido tablero eléctrico, la pasarela Simatic IoT2040 y el analizador de redes con sus respectivos componentes complementarios como fuentes de alimentación, interruptores automáticos, fusibles y borneras. De esta manera, se pueden acelerar los tiempos de montaje y puesta en funcionamiento al poder llevar el tablero armado a la instalación en donde se hará la auditoría. Además, con el pre-armado del tablero se previenen errores de conexionado al poder ensayar el tablero antes de montarlo en la instalación.

### 6.6.1 Plano topográfico

En la ilustración (62) se observa la vista interior del tablero eléctrico. Con los correspondientes componentes situados sobre la chapa de montaje. La descripción, modelo y marca de cada componente se encuentra detallado en la lista de materiales, teniendo el TAG como identificación.

**TABLERO ELECTRICO**  
400X400x200mm  
SCHNEIDER ELECTRIC  
CRN

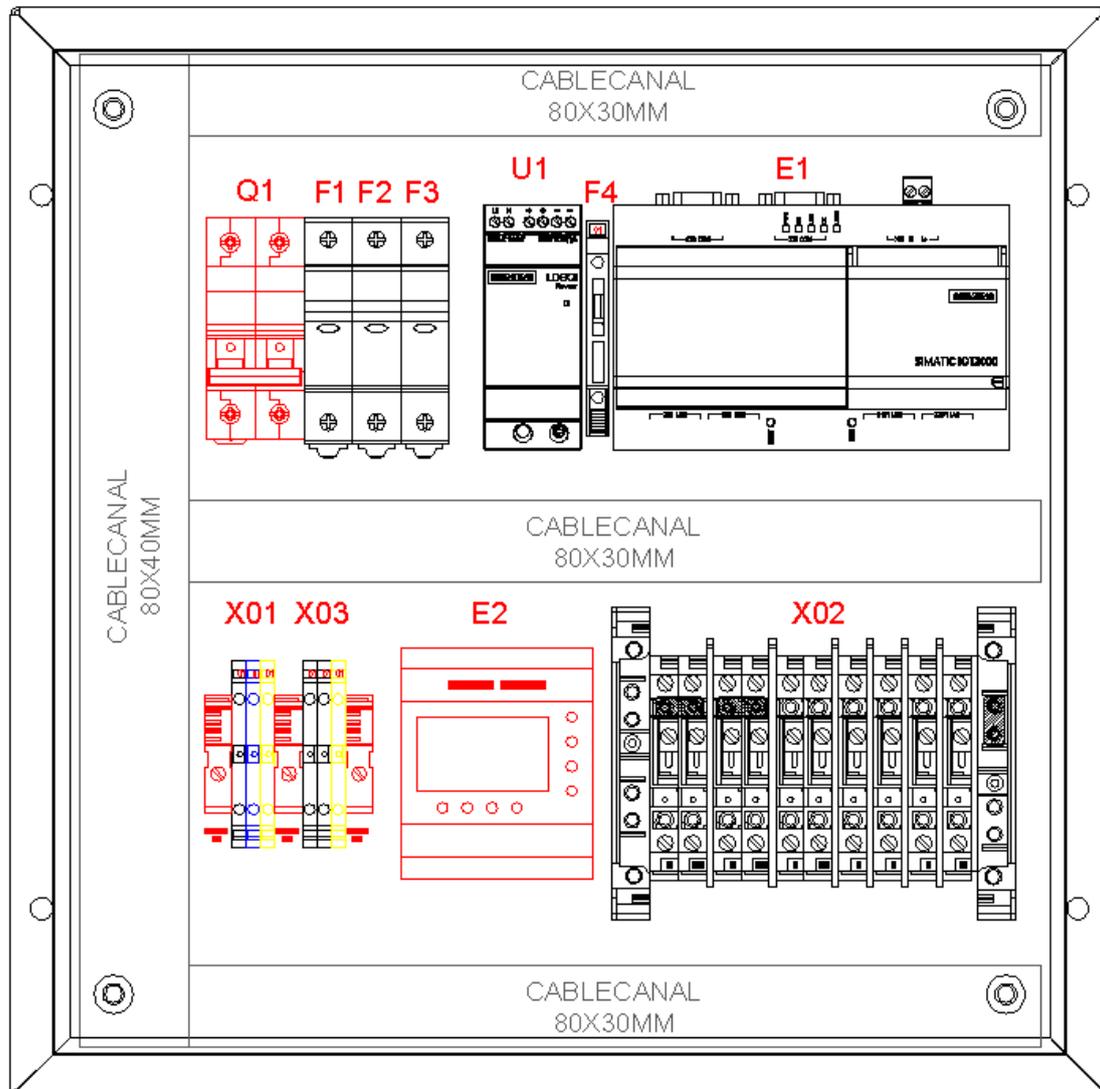


ILUSTRACIÓN 62-VISTA INTERIOR TABLERO ELÉCTRICO

### 6.6.2 Plano eléctrico

En la ilustración (63) se muestra e conexionado eléctrico de los componentes en el interior y exterior del tablero.

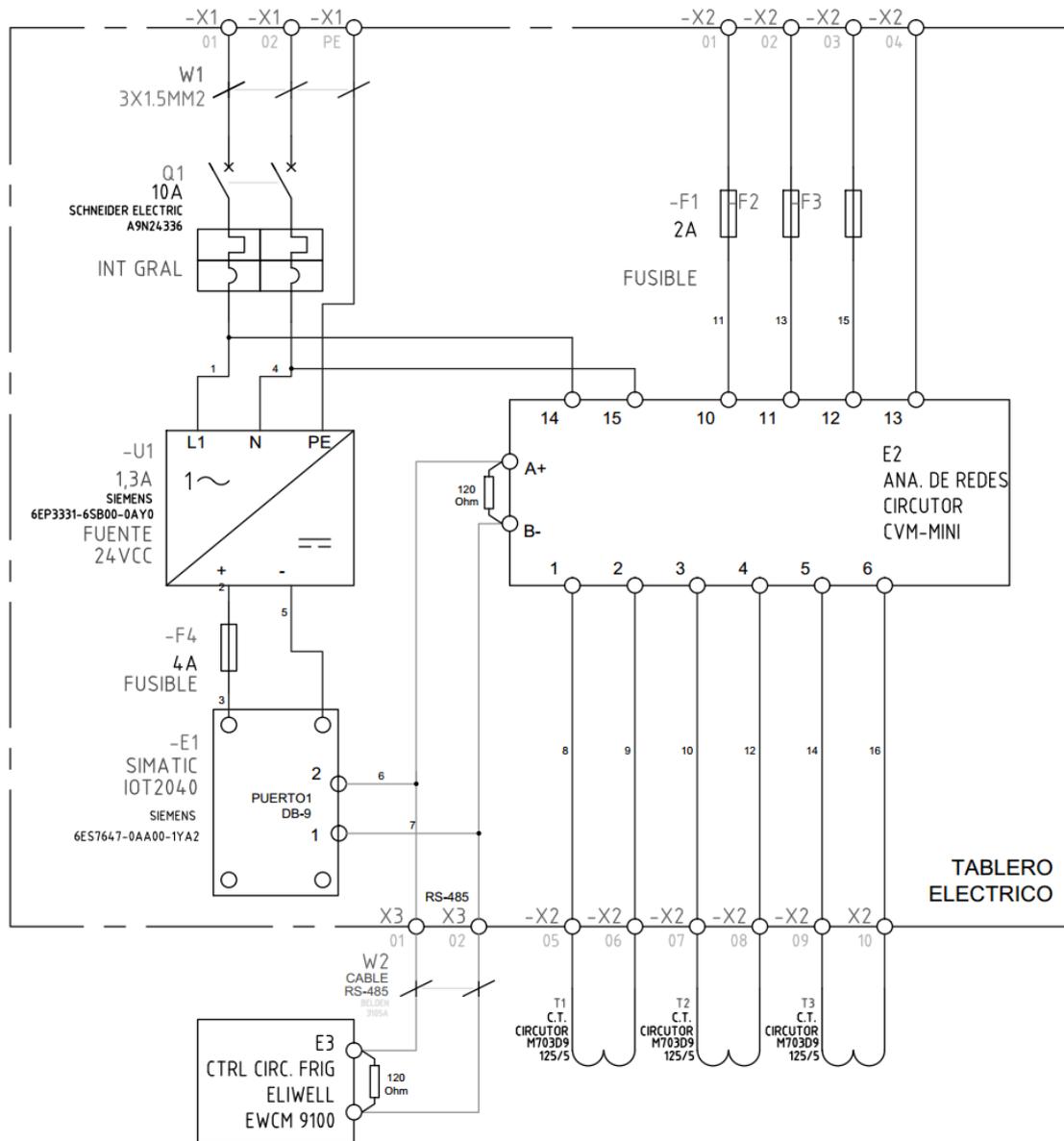


ILUSTRACIÓN 63-PLANO ELÉCTRICO DE CONEXIONADO DEL TABLERO

Y en la ilustración (64) se muestra dónde debe instalarse los transformadores de corriente del tablero de la aplicación IoT

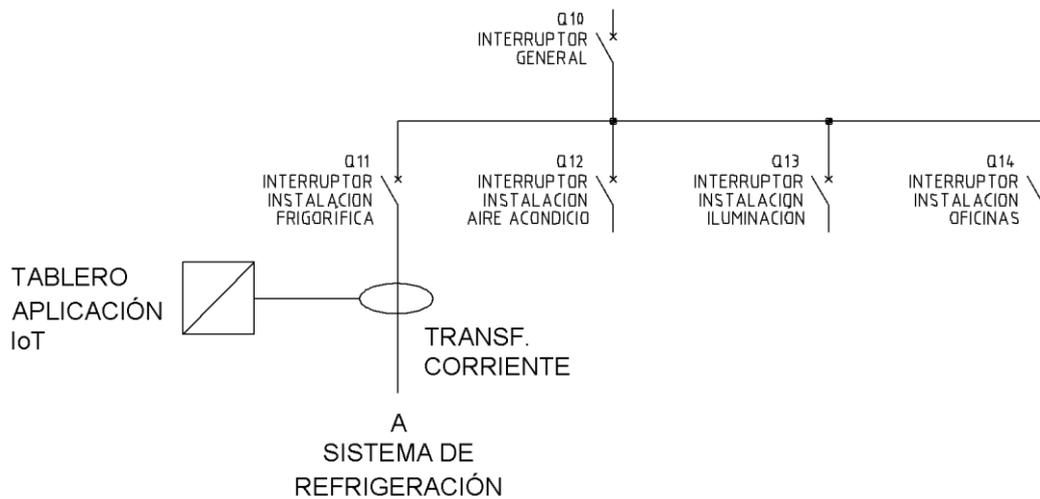


ILUSTRACIÓN 64-INSTALACIÓN TABLERO APLICACIÓN IOT

### 6.6.3 Lista de materiales complementarios

Tanto la pasarela inteligente Simatic IoT2040 y el analizador de redes requieren de componentes asociados, tales como fuentes de alimentación, fusibles seccionadores, borneras y transformadores de corriente, a continuación, se hace referencia a la selección de dichos componentes.

#### Selección de materiales

##### Fuente de alimentación conmutada

La pasarela Simatic IoT2040 requiere de alimentación de 24Vcc, es por ello que en el tablero se incluye una fuente conmutada de la misma marca siemens. De acuerdo con el consumo eléctrico indicado en la hoja de datos del Simatic IoT2040, se ha seleccionado la fuente de 24Vcc LOGO con capacidad de entregar hasta 1.3A. Según las especificaciones adjuntas en la ilustración (65)



ILUSTRACIÓN 65 - FUENTE CONMUTADA 24VCC SIEMENS

Especificaciones de Hardware	Entrada	1 fase AC o DC
	Rango de tensión	100..240V
	Resistencia a sobretensión	300 VAC por 1 seg
	Frecuencia	50Hz
	Corriente entrada 120V	0.7A
	Corriente entrada 230V	0.35A
	Fusible integrado	interno
	Corriente salida	1.3A
	Tensión de salida	24Vcc

### Interruptores termomagnéticos y fusibles

Para proteger el tablero se incluyó un interruptor termomagnético C60N -10A, mientras que para seccionar la alimentación del Simatic IoT y el analizador de redes se utilizan fusibles de vidrio y cerámicos respectivamente, ver ilustración (66)



ILUSTRACIÓN 66 - ELEMENTOS DE SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN

### Transformadores de corriente

De acuerdo con las especificaciones técnicas del analizador de redes, el mismo está preparado para recibir una corriente de 1 ó 5A en las entradas de corriente del analizador. Para ello se ha seleccionado un transformador de corriente de la marca Circutor, ver ilustración (67) con una corriente de primario de 125A, la cual deberá ser reconsiderada según la instalación donde se instale la aplicación.



ILUSTRACIÓN 67 - TRANSFORMADOR DE CORRIENTE

Especificaciones de Hardware	Frecuencia	50Hz
	Tensión de aislamiento	3kVca
	Corriente térmica cc	60 In
	Corriente dinámica	2.5 Ith
	Clase térmica	B 130°C
	Tipo de encapsulado	Plástico
	Corriente primario	125A

### Lista de materiales

TAG	Descripción	Marca	Modelo	Cant.
E1	Simatic IoT2040	Siemens	6ES7647-0AA00-1YA2	1
U1	Fuente 24V 1,3A LOGO!	Siemens	6EP3331-6SB00-0AY0	1
Q1	Int. Termomag. bipolar C60N 10A - C	Sch. Electric	A9N24336	1
F1-3	Porta fusibles 8,5x31,5 c/ fusibles 2A	Sch. Electric	DF81	3
F4	Porta fusibles 5x20 c/ fusibles 4A	Genérico		1
E2	Analizador de redes Riel DIN c/RS-485	Circutor	CVM-MINI	1
T1-3	Transformadores de corriente 125/5A	Circutor	M703D9	3
	Tablero eléctrico 400x400x200mm	Sch. Electric	CRN 44-200	1
	Bornera de medición p/ medidor			1
	Cables de comunicación y fichas			

## 7 Presupuesto y resultados

Se presenta a continuación un presupuesto aproximado con los materiales y armado del tablero.

TAG	Descripción	Marca	Modelo	Cant.	Precio
<b>Materiales</b>					
E1	Simatic IoT2040	Siemens	6ES7647-0AA00-1YA2	1	240€
U1	Fuente 24V 1,3A LOGO!	Siemens	6EP3331-6SB00-0AY0	1	61,37€
Q1	Int. Termomag. bipolar	Sch. Electric	A9N24336	1	32€
F1-3	Porta fusibles 8,5x31,5	Sch. Electric	DF81	3	29€
F4	Porta fusibles 5x20	Genérico		1	10€
E2	Analizador de redes	Circuitor	CVM-MINI	1	423€
T1-3	Transf. de corriente 125/5A	Circuitor	M703D9	3	51€
	Tablero eléctrico	Sch. Electric	CRN 44-200	1	62€
	Bornera de medición p/ analizad			1	15€
	Cables y borneras				40€
	Subtotal				963€
<b>Mano de obra</b>					
	Ingeniería, construcción y programación				600€
<b>Total</b>					<b>1.563€</b>

### 7.1 Análisis de costos

Se analiza ahora el costo constructivo de la aplicación y luego se compara con las principales alternativas que pueden encontrarse en el mercado.

Se observa que, entre los precios de los componentes, el analizador de redes con sus accesorios representa la mitad del costo de todos los componentes, ver ilustración (68) y con lo que debería considerarse siempre si existe la posibilidad de reutilizar un analizador de redes, en caso de que la instalación ya cuente con uno, en la ubicación y con los puertos de comunicación correspondientes.

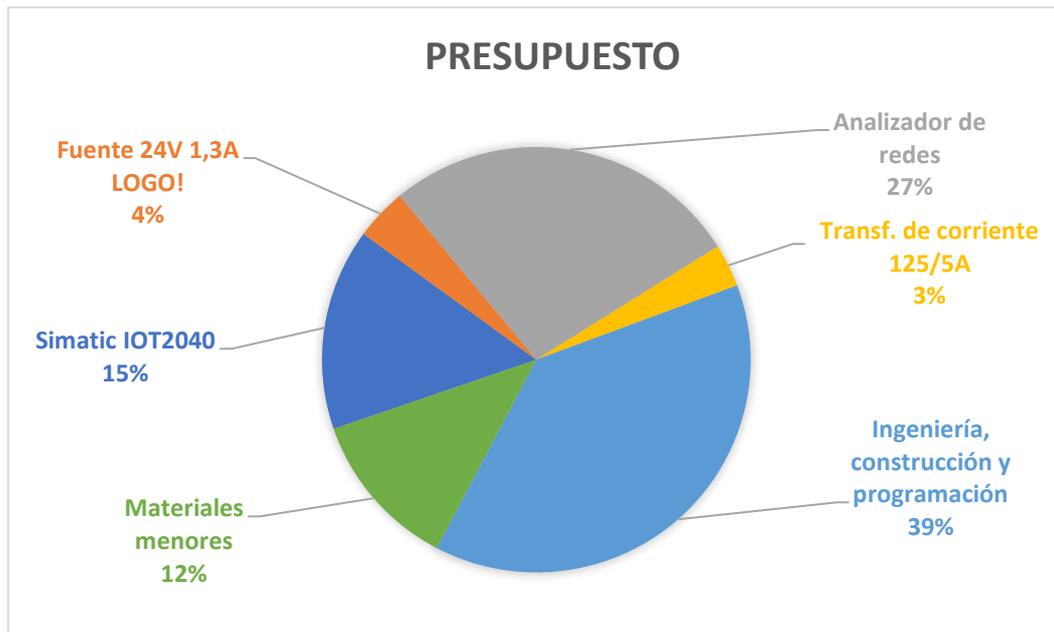


ILUSTRACIÓN 68-COMPARACIÓN COSTO DE MATERIALES

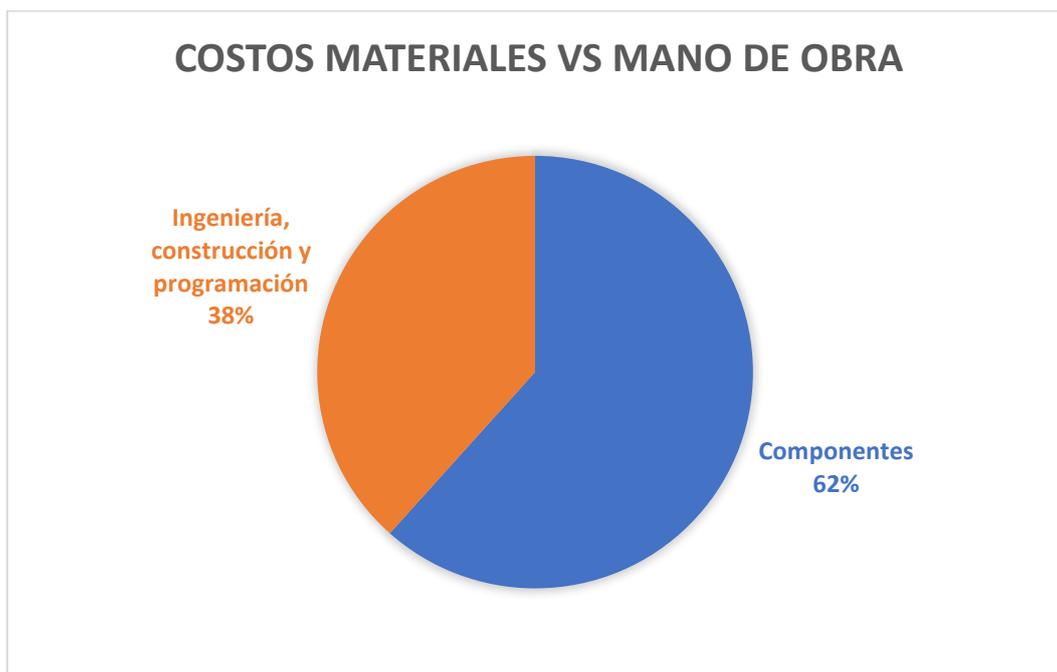


ILUSTRACIÓN 69-COMPARACIÓN COSTO MATERIALES VS MANO DE OBRA

## 7.2 Comparación con principales alternativas

Se debe mencionar que dentro de las herramientas portátiles usadas por los auditores energéticos no existe una, que analice conjuntamente las mediciones eléctricas y frigoríficas de una instalación, de la forma en que se ha desarrollado en este trabajo, admitiendo en cierto modo que este trabajo ha sido una solución aplicada a las auditorias en instalaciones frigoríficas.

Para analizar energéticamente una instalación frigorífica con los instrumentos tradicionales que utiliza un auditor, sería necesario contar con herramientas portátiles como el analizador de redes Fluke (descrito en el punto 3.2.3.1), multímetros y termómetros, junto con la plataforma Fluke Connect cuya función es concentrar y registrar todas las mediciones, lo cual demuestra la cantidad de equipamiento que reemplaza la aplicación desarrollada en el TFM. Por otro lado, existe la limitante que Fluke no posee un medidor de presión con la tecnología Fluke Connect, con lo que no podría automatizarse la toma de datos de dicha variable, además de mencionar que la plataforma Fluke connect es menos flexible que la desarrollada en este trabajo.

Por otro lado, algunos fabricantes ofrecen equipos de telegestión, como el webserver de AKO, pero los mismos se encuentran limitados a la conexión con los dispositivos de su propia marca, lo cual representa una limitante y solo registran las variables frigoríficas, teniendo que tomar mediciones de consumo energético con algún otro instrumento de medición.

Es importante resaltar que al contar el Simatic IoT2040 con lectura de protocolos estándares como RS-485 y Ethernet/IP, es posible ampliar la red de lecturas a muchos más dispositivos como variadores de velocidad, arranques suaves, PLCs, etc. Y si por otro lado la instalación frigorífica ya cuenta un analizador de redes con comunicación RS-485 o Ethernet/IP, puede ser factible la reutilización de sus mediciones, prescindiendo en ese caso de la compra del analizador de redes Circutor, lo que disminuiría sensiblemente el precio de la aplicación

	Aplicación IoT 	Instrumentos portátiles + Fluke Connect 	Webserver AKO 
Fuentes de adquisición de datos	Entradas dig. y analógicas Arduino Protocolo RS-485/232 Protocolo Ethernet IP	Instrumentos de mediciones Fluke: analizadores de redes, multímetros, termómetros, cámaras infrarrojas, etc	Controladores frigoríficos de la marca AKO
Capacidad de registro y visualización	SI	SI	SI
Acceso remoto a mediciones en tiempo real	SI	NO	SI
Notificación de eventos via email	SI	NO	SI
Complejidad en implementación	Moderada	Sencilla	Media
Observaciones	Requiere controlador de refrigeración con puerto RS-485 o Ethernet. Gran flexibilidad de conectividad a otros equipos.	No existen equipos portátiles, compatibles con Fluke Connect, para medir presiones. Interfaz de usuario poco flexible	No brinda información sobre el consumo energético, debiéndose este medir con otro dispositivo aparte. SOLO SIRVE CON CONTROLADORES AKO
Precio	Aplicación IoT € 1.563	Analizador de redes Fluke 3540 FC €2224 [27] Termómetro fluke FLK-T3000 FC € 230 Licencia mensual Fluke Connect €35	Webserver € 1.615 [28] Software RegisH € 281

Realizando una comparativa económica de la propuesta de este trabajo con los instrumentos de medición portátiles mencionados o el Webserver AKO similar al Simatic IoT2040 y teniendo clara la diferencias en sus capacidades, se puede destacar que se ofrece un precio atractivo para aquellos auditores que realicen el estudio energético en instalaciones de refrigeración comercial.

## 8 Conclusiones

- La aplicación desarrollada en este trabajo representa una herramienta con interesantes prestaciones para la tarea de adquisición y supervisión de datos durante el proceso de auditorías o implementación de sistemas de gestión energética.
- Se destacan las ventajas de una supervisión remota del proceso de medición y adquisición de datos, lo que permitirá reducir los tiempos y gastos de traslado del auditor. Asimismo, el hecho de reutilizar las mediciones de los equipos de automatización y control de la instalación requerirá la utilización de menos instrumentos de mediciones por parte del auditor. Otra importante prestación viene dada, gracias al desarrollo de internet de las cosas con la posibilidad de realizar un benchmarking entre las diferentes instalaciones frigoríficas monitorizadas e identificar las mejores prácticas del uso eficiente de la energía.
- El costo total de implementación de la aplicación resulta ser relativamente bajo, de acuerdo con las prestaciones ofrecidas, considerándose además compatible con los presupuestos del ámbito comercial. Por otro lado, la utilización de software libre como Linux, Node-RED y SQLite en esta aplicación, abaratan su costo de forma significativa y se evita además la necesidad de adquisición de licencias de software temporales.
- Su gran versatilidad desde la conexión a buses de comunicación industriales, visualizaciones de mediciones en tiempo real, creación y registro en bases de datos, notificaciones al usuario y la conectividad a servicios en la nube, la hacen única respecto a equipos de medición portátiles o webservers preconfigurados presentes en el mercado. Dicha flexibilidad permitirá adaptar la aplicación a otro tipo de instalaciones además de las frigoríficas.
- Se pudo demostrar cómo puede ser implementada una pasarela IoT con fines prácticos y determinados para mejorar las tareas de un auditor energético e introducir la instalación en el camino de la revolución industrial 4.0.

## 9 Referencias

- [1] Enerdata, «Global energy statistical yearbook 2018,» 09 10 2018. [En línea]. Available: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>.
- [2] REN21, «Renewable energy policy network for the 21st Century,» 09 10 2018. [En línea]. Available: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>.
- [3] Energy information administration, «EIA,» 08 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26212>.
- [4] International Energy Agency, 17 11 2018. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/efficiency2018/>.
- [5] IDAE, «Plan nacional de acción de eficiencia energética 2017-2020,» Madrid, España, 2017.
- [6] Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, «Registro de Huella de carbono,» Madrid, España, 2015.
- [7] UNE-EN ISO 50001, «Sistemas de gestión de la energía,» 2011.
- [8] BOE, «RE 56/2016,» Boletín oficial del estado, 2016.
- [9] Fluke, «Fluke,» [En línea]. Available: <https://www.fluke.com/es-ar>.
- [10] Circutor, «Circutor,» [En línea]. Available: <http://circutor.es/es>.
- [11] Siemens, «Siemens iot,» 23 08 2018. [En línea]. Available: <https://w3.siemens.com/mcms/pc-based-automation/en/industrial-iot/Pages/Default.aspx>.
- [12] UNIDO, «Accelerating clean energy through industry 4.0,» UNIDO, Viena, Austria, 2017.
- [13] M. BURGESS, «What is the Internet of Things? WIRED explains,» 22 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.wired.co.uk/article/internet-of-things-what-is-explained-iot>.
- [14] Eclipse Foundation, "Open Source Software for industry 4.0," Eclipse.org, Ottawa, Canada, 2017.
- [15] Iot Eclipse.org, «Open Source Software for industry 4.0,» Eclipse Foundation, Octubre 2017.

- [16] M. Yuan, «IBM,» 27 08 2018. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/iot-mqtt-why-good-for-iot/index.html>.
- [17] Fenercom, «Guía de auditorias energéticas en supermercados,» Madrid, 2012.
- [18] Danfoss, «Automatic control for industrial refrigeration system,» Danfoss, 2007.
- [19] A. Patenaude, «Trends in refrigeration system architecture and CO2,» Emerson climate technologies.
- [20] Energy center of Wisconsin, «Evaporative condenser control,» Madison, 2001.
- [21] ASHRAE, «Refrigeration commissioning guide for comercial and industrial system,» ASHRAE, 2018.
- [22] Oficina española de cambio climático, Ministerio para la transición ecológica, [En línea]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores\\_emision\\_tcm30-446710.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-446710.pdf). [Último acceso: 25 03 2019].
- [23] Siemens, «Siemens MindSphere,» 08 23 2018. [En línea]. Available: <https://siemens.mindsphere.io/how-it-works>.
- [24] Hannover Messe, «Hannover Messe,» 10 05 2018. [En línea]. Available: <https://www.hannovermesse.de/en/news/siemens-mindsphere-now-on-azure-85888.xhtml>. [Último acceso: 02 10 2019].
- [25] Node-RED, «Node-RED,» 29 08 2018. [En línea]. Available: <https://nodered.org/about/>.
- [26] «SQLite,» 08 01 2019. [En línea]. Available: <https://www.sqlite.org/index.html>.
- [27] Fluke-direct, [En línea]. Available: <https://www.fluke-direct.com/product/fluke-3540-fc-kit-three-phase-power-monitor-42-5-hz--3-5-khz-200-ms>. [Último acceso: 29 03 2019].
- [28] Pecomark, [En línea]. Available: <https://www.pecomark.com/es/c/p/425356>. [Último acceso: 29 03 2019].
- [29] S. Cop, «Steve's internet Guide,» 28 08 2018. [En línea]. Available: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-hosting-brokers-and-servers/>.
- [30] Win32 Disk Imager, «sourceforge.net,» 30 08 2018. [En línea]. Available: <https://sourceforge.net/projects/win32diskimager/>.

- [31] Putty, 30 08 2018. [En línea]. Available:  
<https://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/latest.html>.
- [32] w3schools.com, «THE WORLD'S LARGEST WEB DEVELOPER SITE,» 07 09 2018. [En línea]. Available: <https://www.w3schools.com/js/default.asp>.
- [33] IDAE, «Sector industria y el consumo de energía,» 10 10 2018. [En línea]. Available: <http://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/industria>.

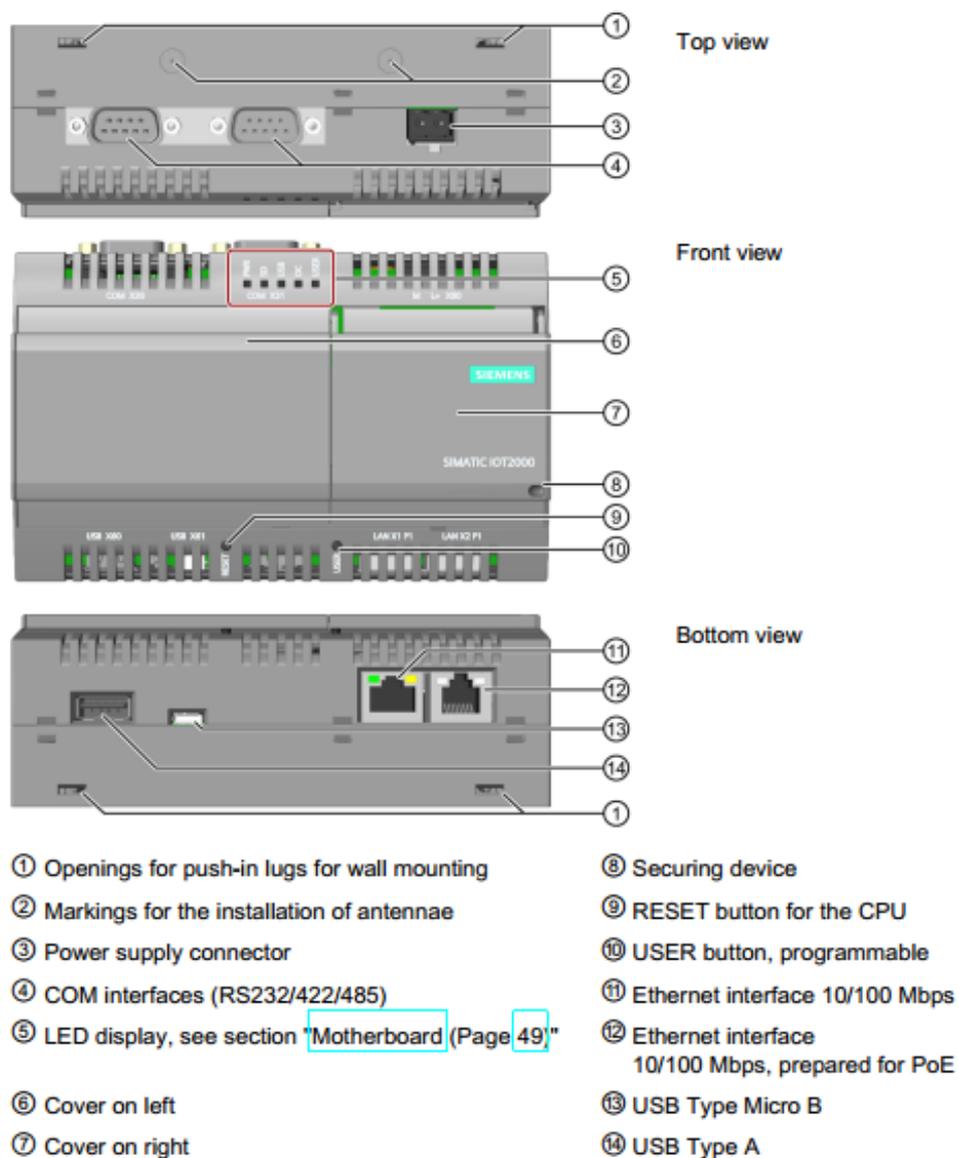
## 10 Anexos

### 10.1 Anexo I: Especificaciones técnicas

#### 10.1.1 Conexión e interfaces de la pasarela Simatic IOT2040

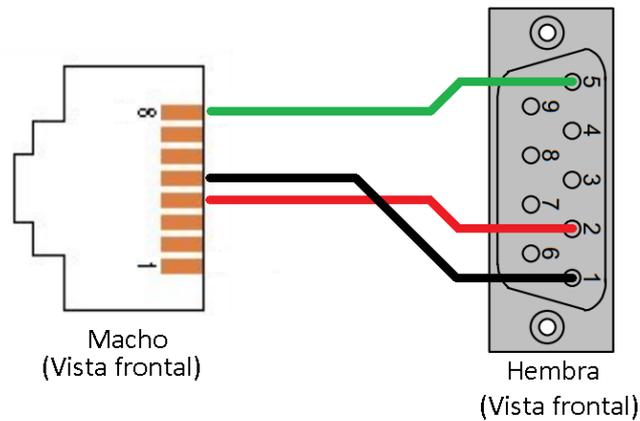
##### **SIMATIC IOT2040**

The following figures show the configuration and interfaces of the SIMATIC IOT2040.



### 10.1.2 Pin out del cable de comunicación del puerto RS-485 del Simatic IoT2040

El siguiente pin-out corresponde a un cable de conexión desde el puerto RS-485 del Simatic IoT2040 hasta un bus de comunicación ModBUS con conectores RJ45



2W-MODBUS RJ45 and 9-pin D-shell Pinouts

Pin on RJ45	Level of requirement	IDv Circuit	ITr Circuit	EIA/TIA-485 name	Description for IDv
3	optional	PMC	--	--	Port Mode Control
4	required	D1	D1	B/B'	Transceiver terminal 1, V1 Voltage ( V1 > V0 for binary 1 [OFF] state )
5	required	D0	D0	A/A'	Transceiver terminal 0, V0 Voltage ( V0 > V1 for binary 0 [ON] state )
7	recommended	VP	--	--	Positive 5...24 V D.C. Power Supply
8	required	Common	Common	C/C'	Signal and Power Supply Common

#### Assignment RS 485

Pin	Short description	Meaning
1	Data-	Transmit / receive data - (I/O) for half-duplex mode
2	Data+	Transmit / receive data+ (I/O) for half-duplex mode
3	nc	
4	nc	
5	M	Signal ground
6	nc	
7	nc	
8	nc	
9	nc	

## 10.2 Anexo II: Pautas de programación

Las pautas de programación de la aplicación en Node-RED se pueden describir con una serie de etapas, desde la lectura y tratamiento de los datos, hasta la visualización y almacenamiento de los mismo.

### Ingreso a la interfaz de programación

Para ingresar a la interfaz de programación de Node-RED, se debe abrir una ventana de navegador desde cualquier PC conectada a la red local de la instalación, e ingresar el número de IP adquirido por el SIMATIC IOT2040 seguido del número de puerto, el cual por defecto es “:1880”.

Lo cual quedaría como se muestra a continuación

<http://XXX.XXX.X.XX:1880>

Reemplazando las x, por el número de IP adquirido por la pasarela inteligente.

Por otro lado, para proteger la programación del acceso de terceros, Node-Red permite agregar una ventana de autenticación previa, en donde será posible escoger un número de usuario y contraseña, tal como se muestra en la ilustración (70).

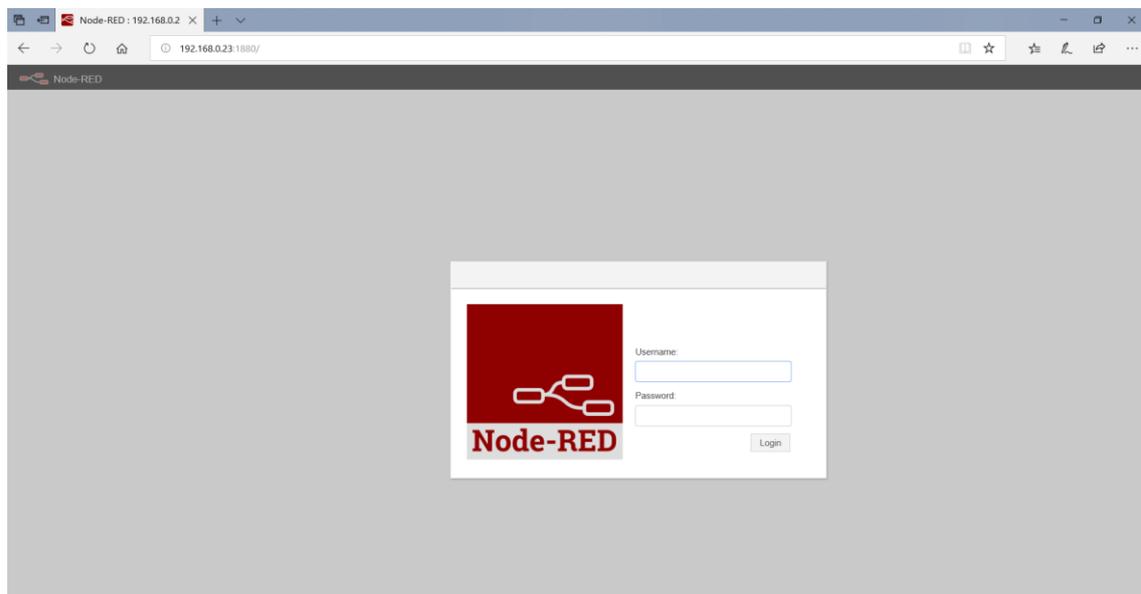


ILUSTRACIÓN 70-VENTANA DE AUTENTIFICACIÓN PARA INGRESO A NODE RED

### Lectura

La primera etapa, es la de lectura, en donde se resuelven las configuraciones de los parámetros de comunicación del puerto RS-485 del Simatic IOT2040, que es por donde se reciben los datos leídos desde los equipos como el analizador de redes y el controlador del ciclo de refrigeración, luego estas variables son procesadas, puesto que cuando leemos registros Modbus desde un dispositivo, estos

ingresan como un vector de mediciones. Es por ello que resulta necesario separar individualmente e identificarlas como mediciones y finalmente aplicarles escalamientos cuando es necesario.

En la ilustración (71) se muestra la captura de pantalla de los parámetros de configuración en Node-RED de una comunicación Modbus RTU.

- Baud rate:9600
- Data Bits:8
- Stop bit:1
- Parity: Even
- Timeout:1000ms

Edit Modbus-Read node > **Edit modbus-client node**

Delete Cancel Update

Name CVM

Type Serial Expert

Serial port /dev/ttyS2

Serial type RTU-BUFFERD

Baud rate 9600

Data Bits 8

Stop Bits 1

Parity Even

Connection delay (ms) 1000

Unit-Id 1

Timeout (ms) 1000

Reconnect timeout (ms) 2000

Log states changes

Queue commands

**ILUSTRACIÓN 71-PARÁMETROS CONFIGURACIÓN CLIENTE MODBUS RTU**

A continuación, se muestra en la ilustración (72) el nodo de lectura de la trama de datos modbus leída desde un analizador de redes [0,9697,0,0,0,0,0,0,20, 9677, ...].

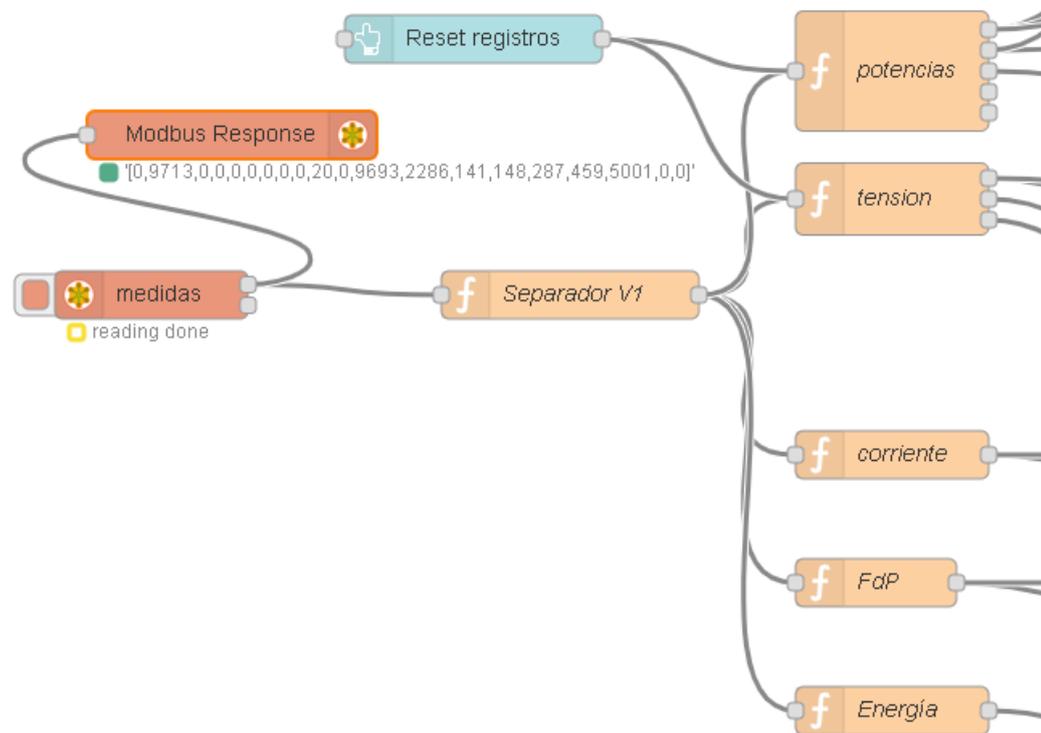


ILUSTRACIÓN 72-NODO DE LECTURA DE BUS DE COMUNICACIÓN MODBUS RTU

### Tratamiento de las mediciones

Bajo el nombre de tratamiento de la información, se engloba la programación en donde se realizan las operaciones a las mediciones leídas para obtener los parámetros como valores máximos, mínimos, promedios, acumuladores diarios, mensuales, etc. Así como también el agregado de estampas de tiempo a estos parámetros calculados.

Tales parámetros calculados a partir de las mediciones se muestran en algunas pantallas de la aplicación bajo la sección últimos eventos registrados.

En la siguiente ilustración se muestra un nodo particular de Node-Red, en donde se podrá ejecutar líneas de programación en lenguaje Java script, con la cual se tratarán las mediciones tomadas desde la lectura.

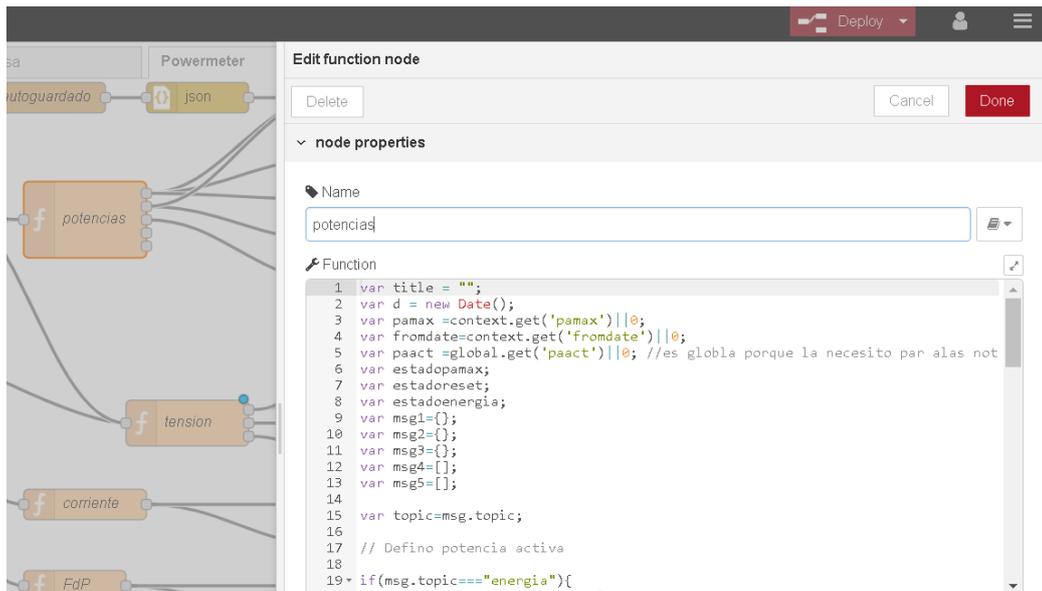


ILUSTRACIÓN 73 - NODO DE FUNCIÓN CON PROGRAMACIÓN JAVA SCRIPT

### Visualización

Una vez separadas las mediciones, se bifurcan en varios pasos, uno de ellos consiste en procesar los datos para poder representarlos en diferentes tipos de gráficos, como por ejemplo gráficos de línea para potencias y temperaturas y de barras para energía y horas de funcionamiento, como hemos visto anteriormente. Dichos gráficos conformarán lo que se llama la interfaz de supervisión, al cual, el auditor podrá acceder desde la red ethernet local o en forma remota realizando las configuraciones necesarias en la red. En la siguiente ilustración (74) se muestra la programación en Node-RED en donde se crea una visualización del tipo Gauge de la tensión, así como dos visualizaciones del tipo texto con los valores de tensión pico y mínimo.

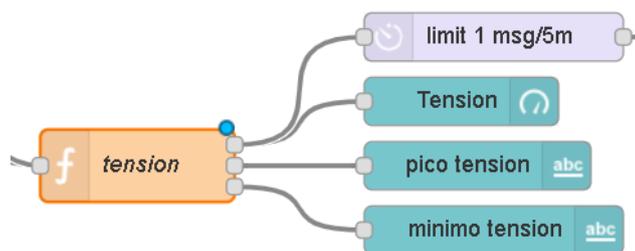


ILUSTRACIÓN 74-ENVÍO DE VISUALIZACIÓN DE LA TENSION

### Reenvío de indicadores energéticos de la instalación

El reenvío de indicadores energéticos de la instalación se realiza por el protocolo MQTT, por su fácil implementación y rapidez en la transmisión de datos. Los datos de los indicadores son publicados en

un servidor MQTT, que para este trabajo se ha utilizado el servicio Cloud MQTT por contar con una licencia gratuita para pruebas.

La concentración de los indicadores de las instalaciones se realiza en cada una de las aplicaciones instaladas y monitorizando.

### Notificaciones

Por otro lado, como parte de las ventajas del uso de IoT, se programa un bloque de notificación, en donde se indican condiciones anormales de variables que disparen una notificación por email al auditor de manera que este pueda realizar una supervisión de la instalación.

Algunas de las condiciones anormales seteadas para recibir notificaciones son:

- Presión de condensación máxima
- Presión de condensación mínima
- Presión de evaporación máxima
- Presión de evaporación mínima
- Potencia activa absorbida máxima
- FdP mínimo

En la ilustración (75) se muestra el diagrama de flujo que representan las pautas de programación en Node-RED.

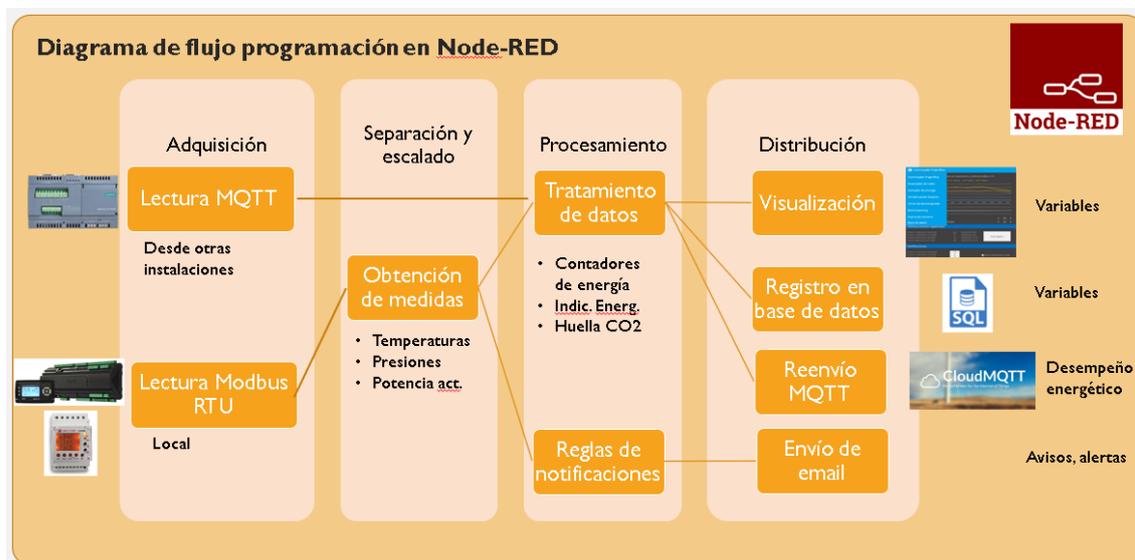


ILUSTRACIÓN 75-DIAGRAMA DE FLUJO DE LA PROGRAMACIÓN EN NODE-RED

### 10.2.1 Implementación de una base de datos

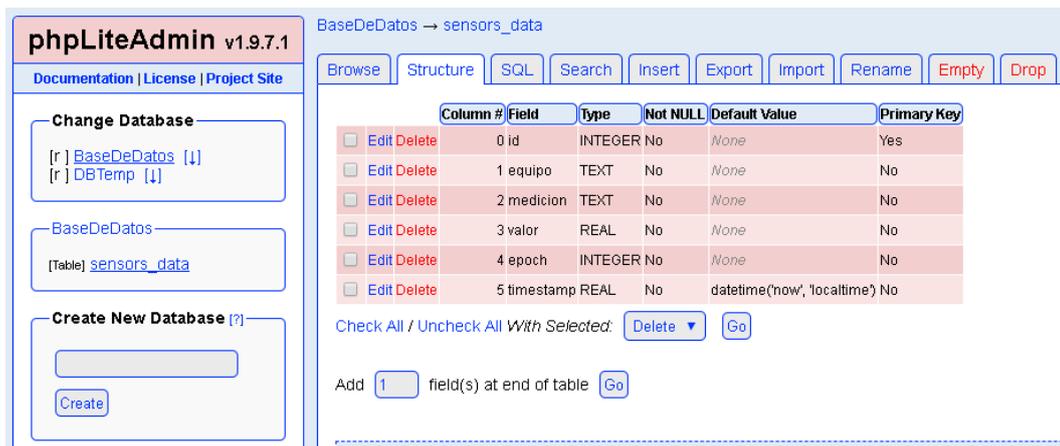
Como se mencionó anteriormente, la imagen del sistema operativo provisto por Siemens para el SIMATIC IOT2040 viene con el sistema de bases de datos SQLite preinstalado, con lo que ya se facilita

parte del trabajo. Para poder comprender mejor la estructura de la base de datos con sus tablas, resulta recomendable utilizar una herramienta para la administración de la base de datos, como lo es PhpLiteAdmin. Tal herramienta escrita en el lenguaje PHP, resulta liviana (solo 250kB) y se ejecuta desde un navegador Web.



Para poder utilizar PhpLiteAdmin, deberemos instalar previamente en el SIMATIC IOT2040 un servidor apache y el lenguaje de programación PHP.

Desde la nueva herramienta podremos visualizar tanto la estructura de la base de datos, como los datos registrados, así como también realizar la exportación de la información.



The screenshot shows the phpLiteAdmin v1.9.7.1 interface. On the left, there are navigation links for 'Documentation', 'License', and 'Project Site'. Below these are sections for 'Change Database' (listing 'BaseDeDatos' and 'DBTemp'), 'BaseDeDatos' (listing 'sensors\_data' table), and 'Create New Database'. The main area displays the structure of the 'sensors\_data' table with the following columns:

Column #	Field	Type	Not NULL	Default Value	Primary Key
0	id	INTEGER	No	None	Yes
1	equipo	TEXT	No	None	No
2	medicion	TEXT	No	None	No
3	valor	REAL	No	None	No
4	epoch	INTEGER	No	None	No
5	timestamp	REAL	No	datetime('now', 'localtime')	No

Below the table, there are controls for 'Check All / Uncheck All With Selected', a 'Delete' dropdown, and a 'Go' button. At the bottom, there is an 'Add' field with the value '1' and a 'Go' button.

ILUSTRACIÓN 76-HERRAMIENTA DE ADMINISTRACIÓN DE BASE DE DATOS PHPLITEADMIN

### 10.2.1.1 Control de SQLite en Node-RED

Tal como se ha mencionado anteriormente, para relacionarnos con SQLite se deberá instalar un nodo que nos permite la vinculación con el mismo (*node-red-node-sqlite*), lo que permitirá la creación de tablas, almacenamiento, eliminación y consulta de los registros en la Base de datos.



En el siguiente cuadro se resumen las interacciones entre programas y SQLite.

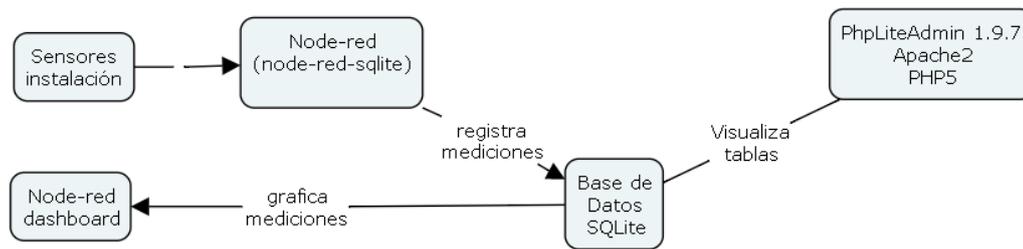


ILUSTRACIÓN 77-INTERACCIONES CON EL SISTEMA SQLite

Las operaciones que se realizan en Node-RED para relacionarse con SQLite pueden dividirse en tres etapas.

- Creación de tablas: se realiza una única vez.
- Registro de datos: se realiza cada vez que se leen valores desde los equipos de la instalación
- Consulta de datos: cada vez que se quieren visualizar los registros almacenados en la base de datos.

### 10.2.1.2 Creación de tablas

Respecto a la organización de la tabla es recomendable generar un registro por fila a medida que se realiza la lectura de las mediciones en los equipos de la instalación. Para ello se proponen la creación de los siguientes campos para una correcta organización de la información.

	Column #	Field	Type	Not NULL	Default Value	Primary Key
<input type="checkbox"/>	Edit Delete	0 id	INTEGER	No	None	Yes
<input type="checkbox"/>	Edit Delete	1 equipo	TEXT	No	None	No
<input type="checkbox"/>	Edit Delete	2 medicion	TEXT	No	None	No
<input type="checkbox"/>	Edit Delete	3 valor	REAL	No	None	No
<input type="checkbox"/>	Edit Delete	4 epoch	INTEGER	No	None	No
<input type="checkbox"/>	Edit Delete	5 timestamp	REAL	No	datetime('now', 'localtime')	No

ILUSTRACIÓN 78-ESTRUCTURA DE CAMPOS EN LA TABLA "DATOS DE SENSORES"

El campo "id" es fundamental para poder indexar todas las entradas de los registros. Con los campos "equipo" y "medición" se pueden identificar los registros almacenados de todos los dispositivos de la instalación. Por otro lado, se definen dos estampas de tiempo, el campo "epoch", el cual corresponde al tiempo UNIX que determinado como la cantidad de segundos transcurridos desde el 1 de enero de 1970. Esta denominación del tiempo facilita las consultas posteriormente realizadas a la base de dato. Finalmente, el otro campo con estampa de tiempo, llamado "timestamp", el cual se asigna automáticamente y tiene el formato habitual para poder leerlo fácilmente.

### 10.2.1.3 Registro de datos

Tal como se viene mencionando el registro de datos se realiza desde Node-RED, luego de tratar las señales medidas de los equipos de la instalación y a través del lenguaje de consultar SQL, se realiza la inserción de registros en la Base de datos

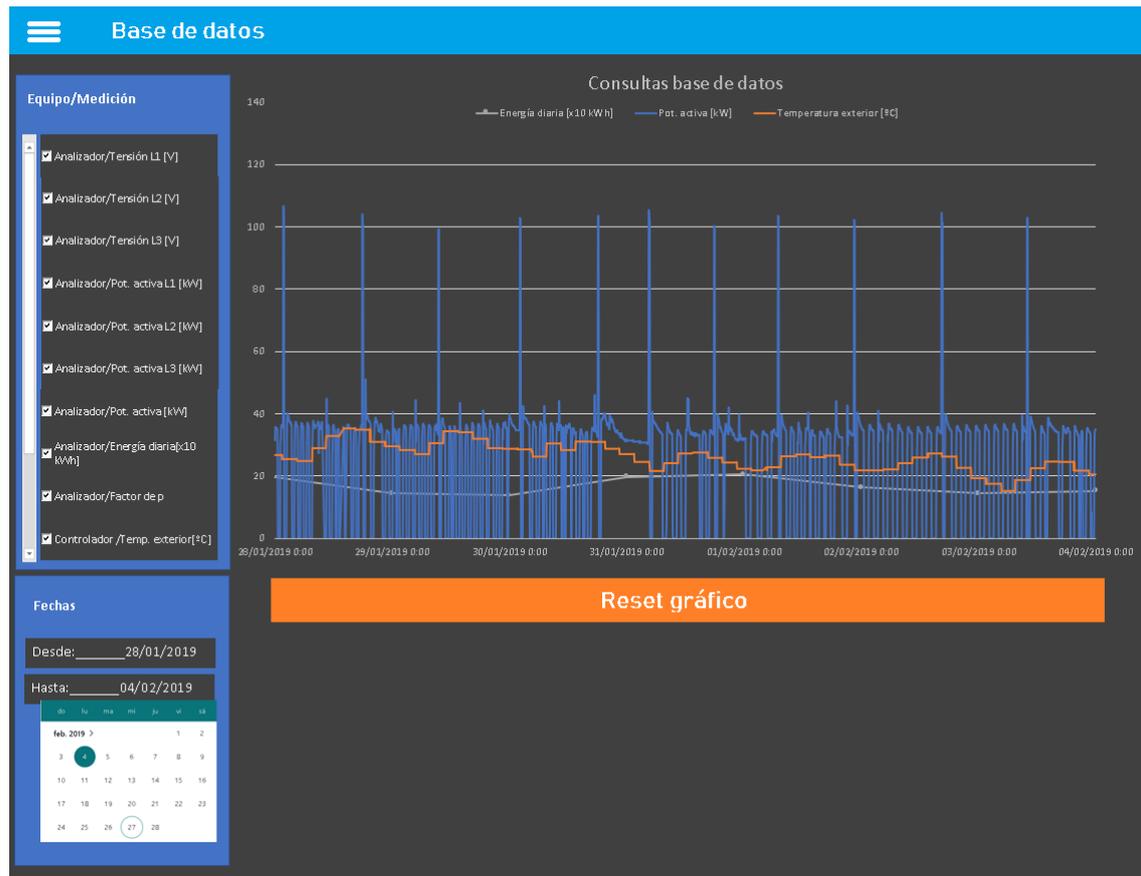
← T →	id	equipo	medicion	valor	epoch	timestamp
<input type="checkbox"/> Edit Delete	1	power meter	U1	231.0	1546951065615	2019-01-08 09:37:45
<input type="checkbox"/> Edit Delete	2	power meter	U2	235.0	1546951198878	2019-01-08 09:39:58
<input type="checkbox"/> Edit Delete	3	power meter	U3	233.0	1546951199475	2019-01-08 09:39:59
<input type="checkbox"/> Edit Delete	4	controlador	PA	8.6	1546951205599	2019-01-08 09:40:05
<input type="checkbox"/> Edit Delete	5	controlador	PB	2.3	1546951206513	2019-01-08 09:40:06
<input type="checkbox"/> Edit Delete	6	controlador	TA	96.0	1546951207600	2019-01-08 09:40:07

Check All / Uncheck All With Selected:

ILUSTRACIÓN 79-REGISTRO DE VALORES EN LA TABLA "DATOS DE SENSORES"

### 10.2.1.4 Consulta de datos

Finalmente se podrá hacer consultas a la base de datos y mostrar los resultados en una gráfica. Para facilitar las consultas, Node-RED permite programar botones con acceso rápidos a períodos de tiempo o variables. Asimismo, la exportación de los registros de la base de datos a un formato .csv, permite realizar otro tipo de análisis o cruzamiento de información en una planilla de Microsoft Excel.



## 10.3 Anexo III: Comunicación con protocolo MQTT

### 10.3.1 Brókeres/servidores MQTT [29]

Cuando se trate de elegir un bróker o servidor para implementar una comunicación a través del protocolo MQTT pueden plantearse dos opciones:

- Utilizar un bróker instalado en forma local
- Utilizar un servidor alojado en la nube

Un bróker local puede ejecutarse en un ordenador situado en la misma instalación con una red ethernet, tal es el caso del equipo antes mencionado, SIMATIC IOT2040, que viene con un bróker MQTT preinstalado llamado Mosquitto desarrollado por Eclipse Foundation.

Por otro lado, cuando el proyecto es de mayor envergadura y los dispositivos a conectar se encuentran separados geográficamente podemos recurrir a algunos de los servidores MQTT en la nube. Existen algunos proveedores gratuitos para realizar pruebas de entrenamiento y algunos de ellos ofrecen un paquete comercial con mayores prestaciones. A continuación, se enumeran algunos de ellos:

Servidor	Características
Mosquitto	Opción online gratuita para pruebas
Cloud MQTT	Gratuito/Comercial
HiveMQ	Comercial
IBM Watson IOT platform	Gratuito/Comercial

También hay que mencionar que pueden coexistir un bróker local que recolecta la información de sensores y al mismo tiempo estar publicando estos datos a un servidor MQTT en la nube.

### 10.3.2 Envío de datos al servidor Cloud MQTT desde Node-RED

Se explicará en este apartado como crear una cuenta en un servidor MQTT y como configurar tanto el servidor como el cliente, en este caso el Simatic IOT2040. Luego se hará la demostración de cómo enviar la trama modbus leída desde el analizador de redes

#### 10.3.2.1 Registro en la plataforma CloudMQTT

Para este trabajo se utilizó el servicio de CloudMQTT por ser un servidor exclusivo para MQTT, de muy fácil implementación y sobre todo gratuito con ciertas restricciones.

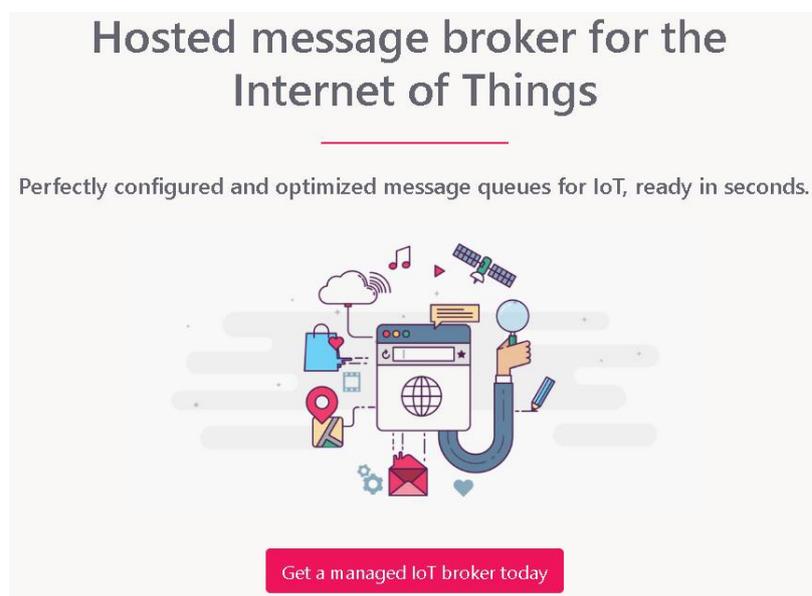
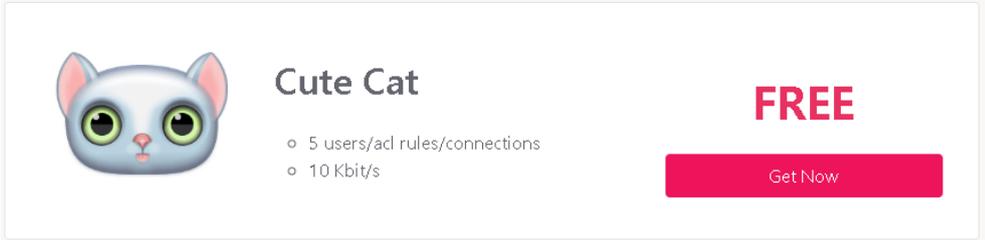
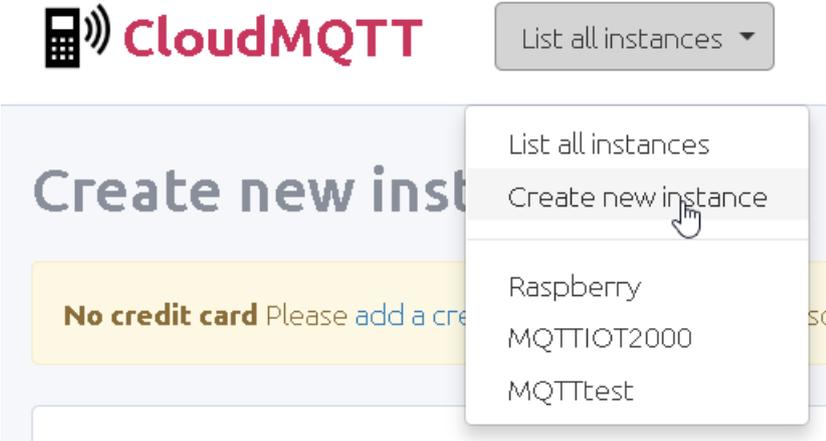
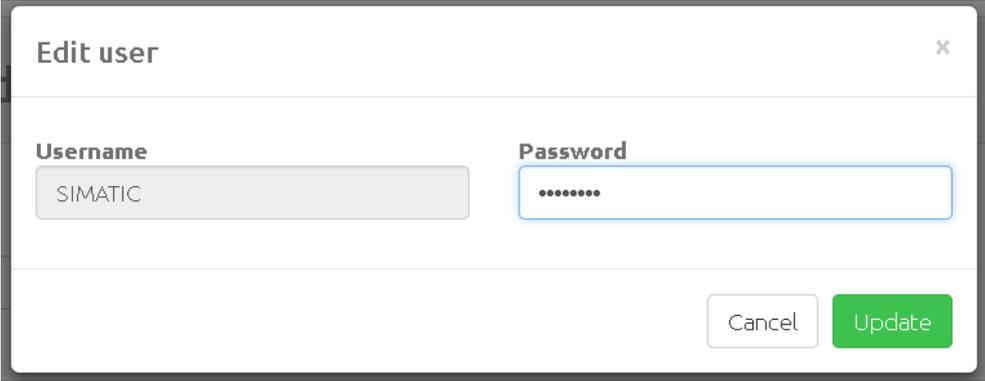
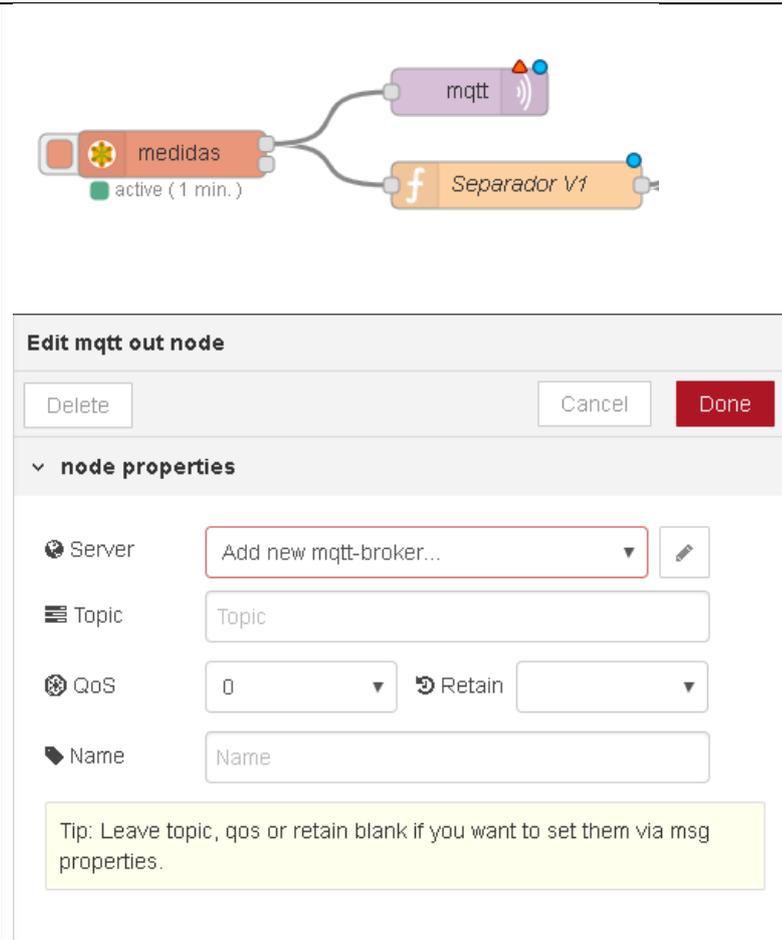


ILUSTRACIÓN 80 - PÁGINA WEB DEL SERVIDOR CLOUDMQTT

Número	Acción
01	<p>Creación de una cuenta Una vez ingresado a la página web <a href="http://www.cloudmqtt.com">www.cloudmqtt.com</a> se crea una cuenta con el plan Cute Cat la cual nos permite conectar hasta 5 equipos</p> 
02	<p>Creación de un usuario Luego se crea una nueva instancia</p> 
03	<p>Información del servidor Una vez creada la nueva instancia, podremos acceder a la siguiente información en los detalles de la misma. De la siguiente información utilizaremos el nombre del servidor y el número de puerto <b>Server:</b> m11.cloudmqtt.com <b>Port:</b>15142</p>

	<p><b>Server</b> m11.cloudmqtt.com</p> <hr/> <p><b>User</b> dvehiwmk <span style="float: right;"><input type="button" value="Restart"/></span></p> <hr/> <p><b>Password</b> DePvm7V_kEpN <span style="float: right;"><input type="button" value="Rotate"/></span></p> <hr/> <p><b>Port</b> 15142</p> <hr/> <p><b>SSL Port</b> 25142</p> <hr/> <p><b>Websockets Port (TLS only)</b> 35142</p> <hr/> <p><b>Connection limit</b> 5</p>
04	<p>Creación de un usuario Luego se debe crear un usuario, con el cual también se debe colocar una contraseña</p> 
05	<p>Creación de una ACL (Access control List) Finalmente crearemos el topic, al cual llamaremos “tramamodbus” y activaremos el acceso a lectura y escritura.</p> 
06	<p>Configuración del nodo MQTT en Node-RED Luego en Node-RED se coloca un nodo de escritura MQTT, como se muestra a continuación y con doble click ingresamos a la configuración del mismo</p>



**Edit mqtt out node**

Delete Cancel Done

node properties

Server Add new mqtt-broker... [edit icon]

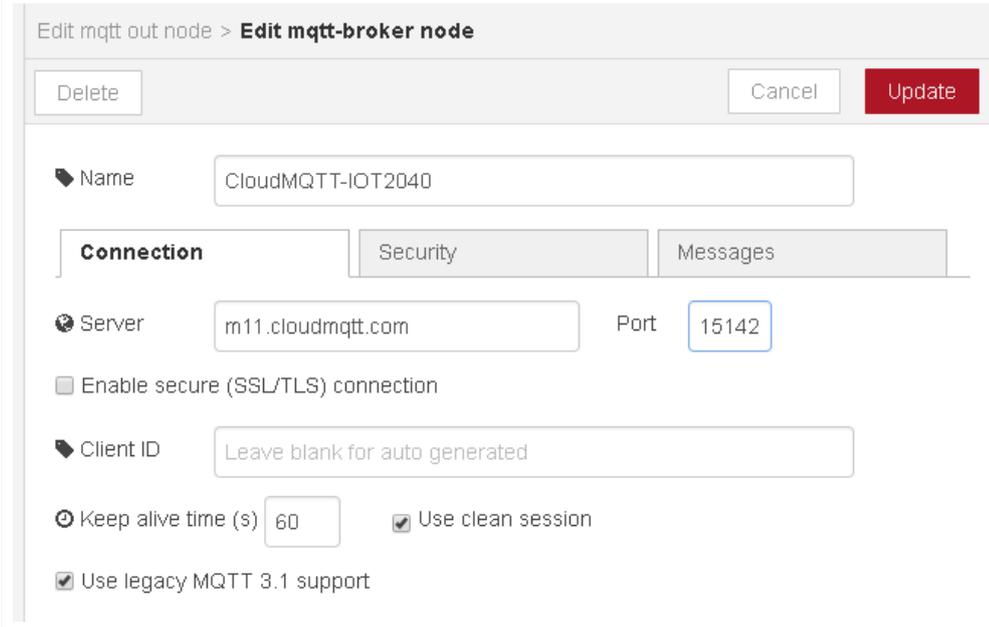
Topic Topic

QoS 0 Retain [dropdown]

Name Name

Tip: Leave topic, qos or retain blank if you want to set them via msg properties.

Se crea un servidor haciendo click sobre el lápiz de la derecha y en donde se deben cargar los datos extraídos desde la cuenta de cloudMQTT. En esta ventana se deben cargar el nombre del servidor y el número de puerto



Edit mqtt out node > **Edit mqtt-broker node**

Delete Cancel Update

Name CloudMQTT-IOT2040

Connection Security Messages

Server m11.cloudmqtt.com Port 15142

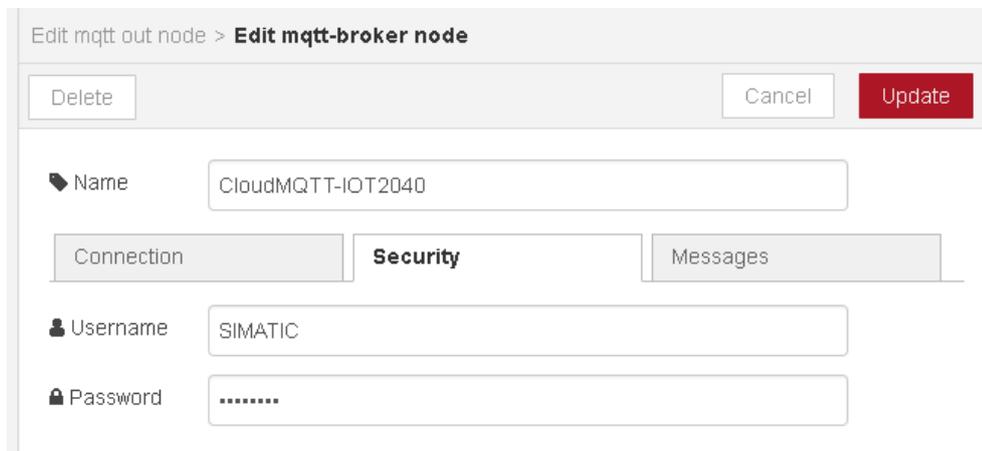
Enable secure (SSL/TLS) connection

Client ID Leave blank for auto generated

Keep alive time (s) 60  Use clean session

Use legacy MQTT 3.1 support

Luego se pasa a la solapa “Security” en donde cargaremos el usuario que se ha creado en la página de CloudMQTT  
En este caso usuario SIMATIC y la contraseña de 8 dígitos.



Edit mqtt out node > **Edit mqtt-broker node**

Delete Cancel Update

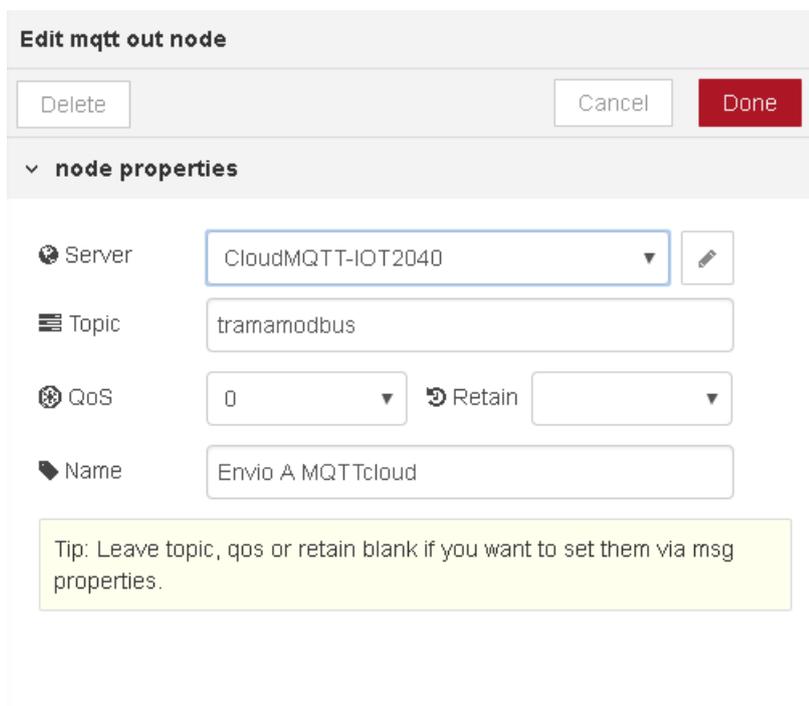
Name CloudMQTT-IOT2040

Connection **Security** Messages

Username SIMATIC

Password .....

Finalmente presionamos en el botón Update, con lo cual volveremos a la ventana anterior. Ahora colocaremos el nombre del topic con el cual publicaremos en el servidor, escribimos “tramamodbus” tal como hemos especificado en CloudMQTT. Y luego presionamos Done.



**Edit mqtt out node**

Delete Cancel Done

node properties

Server CloudMQTT-IOT2040

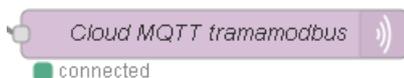
Topic tramamodbus

QoS 0 Retain Retain

Name Envio A MQTTcloud

Tip: Leave topic, qos or retain blank if you want to set them via msg properties.

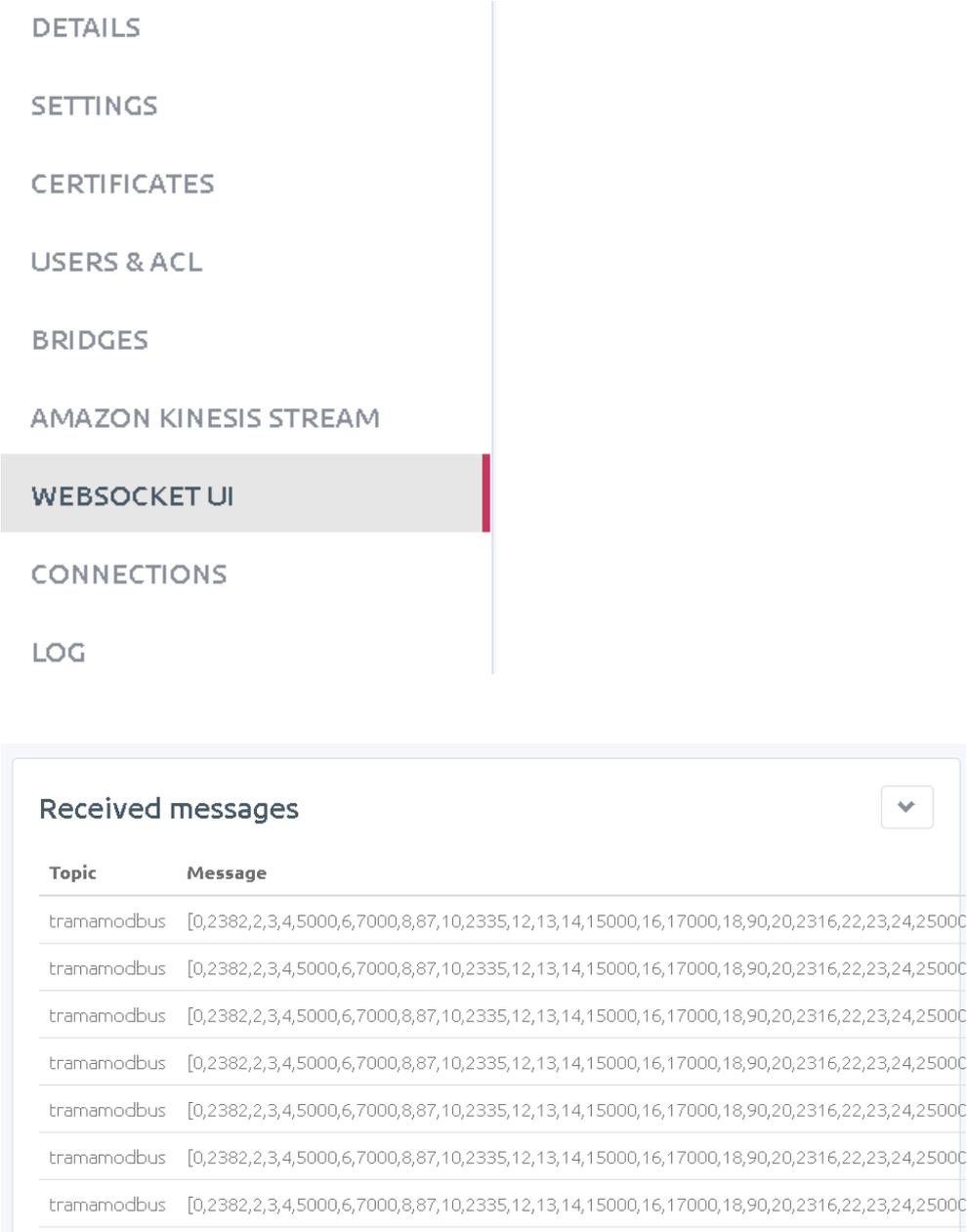
Si todo ha quedado bien configurado aparecerá la señal de conectado bajo el nodo de MQTT



07

Verificación

Por otro lado, para verificar que los datos se están enviando al servidor MQTT, desde la página de CloudMQTT en la sección de Websocket UI se pueden observar los mensajes publicados por el cliente.



Topic	Message
tramamodbus	[0,2382,2,3,4,5000,6,7000,8,87,10,2335,12,13,14,15000,16,17000,18,90,20,2316,22,23,24,25000

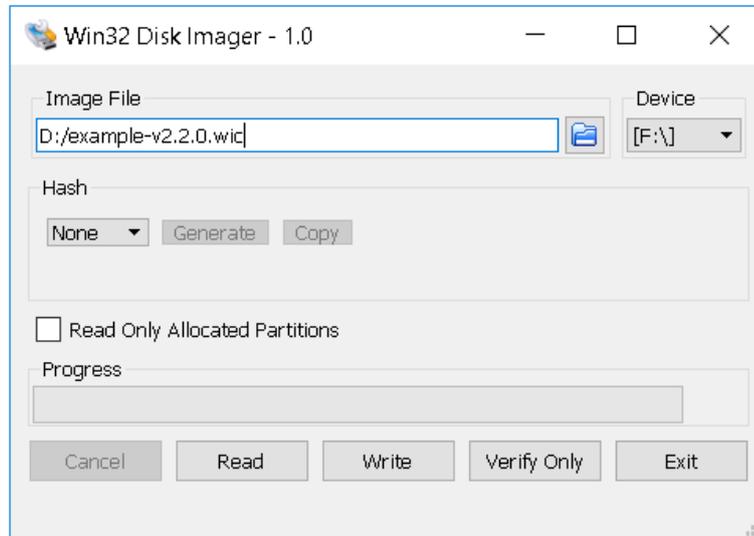
## 10.4 Anexo IV: Instalación y configuración del SO para el Simatic IOT2040

Las siguientes instrucciones están basadas en experiencias propias y siguiendo las instrucciones de la Guía publicada por Siemens “Setting up the SIMATIC IOT2000 – V2.0 01/2017”.

- Como requerimientos para llevar a cabo este proceso se necesita los siguientes elementos
- Una tarjeta Micro-SD: con una capacidad de almacenaje de 8 a 32GB
- Una fuente de alimentación de 9 a 36Vcc
- Un patch cord UTP directo
- Un ordenador, en este caso se a utilizado uno con Windows 10
- El programa Win32DiskImager-1.0.0 utilizado para cargar la imagen del SO en la tarjeta Micro-SD [30]
- El programa Putty para comunicarse con el Simatic IOT2040 por el protocolo SSH [31].

Número	Acción
01	<p>Preparación tarjeta MicroSD</p> <p>Montar la tarjeta MicroSD en un adaptador SD e insertar en el lector de tarjetas del portátil. Formatear la tarjeta SD, para ello podemos usar la herramienta de formateo de Windows, aunque es recomendable utilizar programas especializados y gratuitos que mejoran el desempeño de las tarjetas como el SD Memory Card Formatter.</p>
02	<p>Descarga el sistema operativo</p> <p>Acceder al siguiente link que brinda siemens en su página web.  <a href="https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741799/simatic-iot2000-sd-card-example-image?dti=0&amp;lc=en-WW">https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741799/simatic-iot2000-sd-card-example-image?dti=0&amp;lc=en-WW</a></p> <p>Al momento de la redacción de este trabajo final de máster la versión del SO es la V2.2.0</p> <p><b>SIMATIC IOT2000 SD-Card example image</b></p> <p><b>Entry</b> Associated product(s)</p> <hr/> <p>To realize your first automation tasks with the SIMATIC IOT2000, you can use this SD-Card example image for commissioning.</p> <p>You can find a description about the SD-Card Image in the SIMATIC IOT2000 <a href="#">↑Forum</a>.</p> <p>Download</p> <p> <a href="#">Example_Image_V2.2.0.zip (262.1 MB)</a></p> <p>SHA-256 checksum: 5F67AC53E73E53C4C0958EEBB8E20604C59D4FC1DDAD7673E1C27A78CD9290E8</p> <p> <b>Example_Image_V2.2.0.zip</b> Tipo: Archivo WinRAR ZIP</p> <p>Y luego pasamos a descomprimir el archivo.</p>
03	<p>Montaje de la imagen del SO en la tarjeta MicroSD</p> <p>Utilizaremos ahora el programa Win32 Disk Manager, el cual puede descargarse desde el link adjuntado anteriormente</p> <p> <b>win32diskimager-1.0.0-install.exe</b> Tipo: Aplicación</p>

La instalación de este programa es muy sencilla, así como también su uso. Luego de instalarlo, insertar la tarjeta MicroSD en el portátil y ejecutar el programa. Al abrirlo, aparecerá la siguiente pantalla, en donde seleccionaremos la imagen del SO descargada en el paso anterior y la unidad de disco asignada a la tarjeta MicroSD, Luego presionar Write. El proceso de escritura tarda unos minutos



Nota: cuando finalice la tarjeta MicroSD quedara con una imagen de un sistema operativo Linux, por lo que Windows puede asignar dos unidades de disco a la tarjeta MicroSD luego de la escritura, Ignorar este hecho, la imagen del SO ha quedado bien cargada, luego quitar la tarjeta de forma segura.

04

Montar Tarjeta MicroSD  
Deslizar el zócalo metálico hacia abajo



Abrir el zócalo, tirándolo hacia arriba

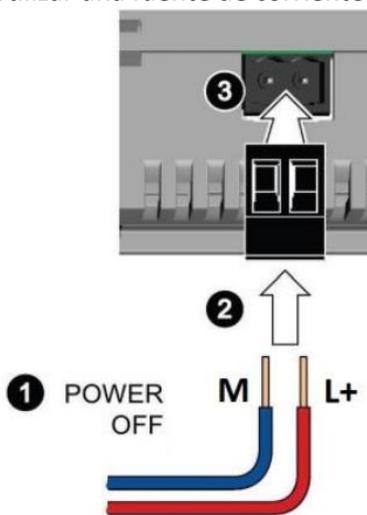
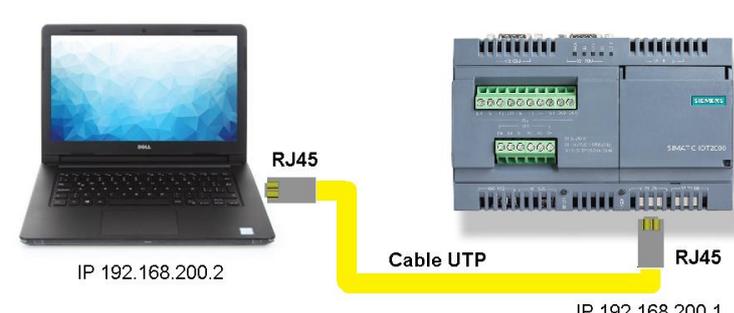


Colocar la tarjeta MicroSD



Cerrar el zócalo metálico y deslizarlo hacia arriba



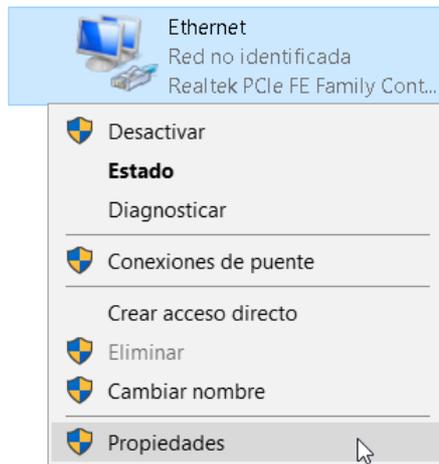
<p>05</p>	<p>Energizar el Simatic IOT2040 Utilizar una fuente de corriente de continua de entre 9 a 36Vcc</p>  <p>Luego de energizar el equipo leerá la tarjeta y procederá a realizar una auto-instalación del SO, ATENCION este proceso puede llevar 15 minutos y una forma de detectar el fin de la instalación es comprobar que el LED de lectura de la tarjeta SD se apague.</p> 
<p>06</p>	<p>Comunicarse con el Simatic IOT2040 a través del protocolo SSH La primera comunicación el equipo será a través del protocolo SSH utilizando el programa Putty. Primeramente se debe conectar un cable de red directo desde la placa de red del portátil hasta el puerto LAN X1 P1 del Simatic IOT2040</p>  <p>Por defecto en la instalación inicial del SO, se setea una dirección IP en el puerto LAN X1 P1 del IOT2040 con la dirección <b>192.168.200.1</b>.</p>

Por otro lado, en el portátil se debe configurar la placa de red con una dirección IP en la misma subred, es decir podríamos asignarle a la placa de red una dirección IP 192.168.200.2.

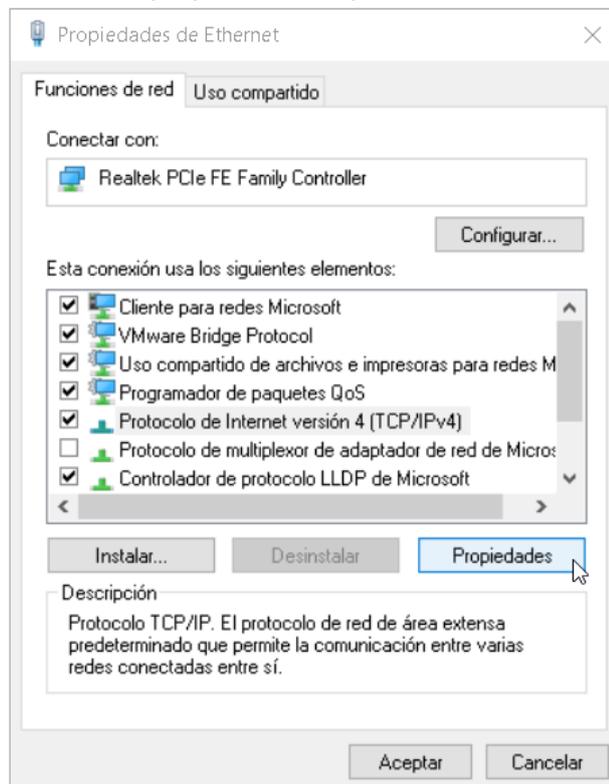
Para ello debe dirigirse a

Panel de control\Redes e Internet\Conexiones de red

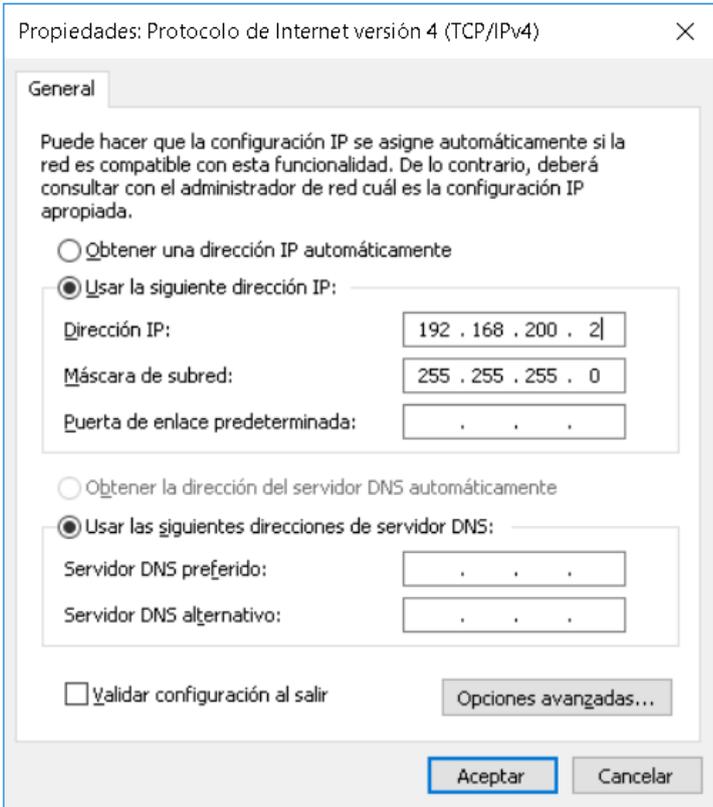
Hacer clic derecho sobre el icono de la placa ethernet



Cambiar las propiedades del protocolo IPv4



Y seleccionar una IP fija con la siguiente dirección 192.168.200.2



Propiedades: Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4) X

General

Puede hacer que la configuración IP se asigne automáticamente si la red es compatible con esta funcionalidad. De lo contrario, deberá consultar con el administrador de red cuál es la configuración IP apropiada.

Obtener una dirección IP automáticamente

Usar la siguiente dirección IP:

Dirección IP: 192 . 168 . 200 . 2

Máscara de subred: 255 . 255 . 255 . 0

Puerta de enlace predeterminada: . . .

Obtener la dirección del servidor DNS automáticamente

Usar las siguientes direcciones de servidor DNS:

Servidor DNS preferido: . . .

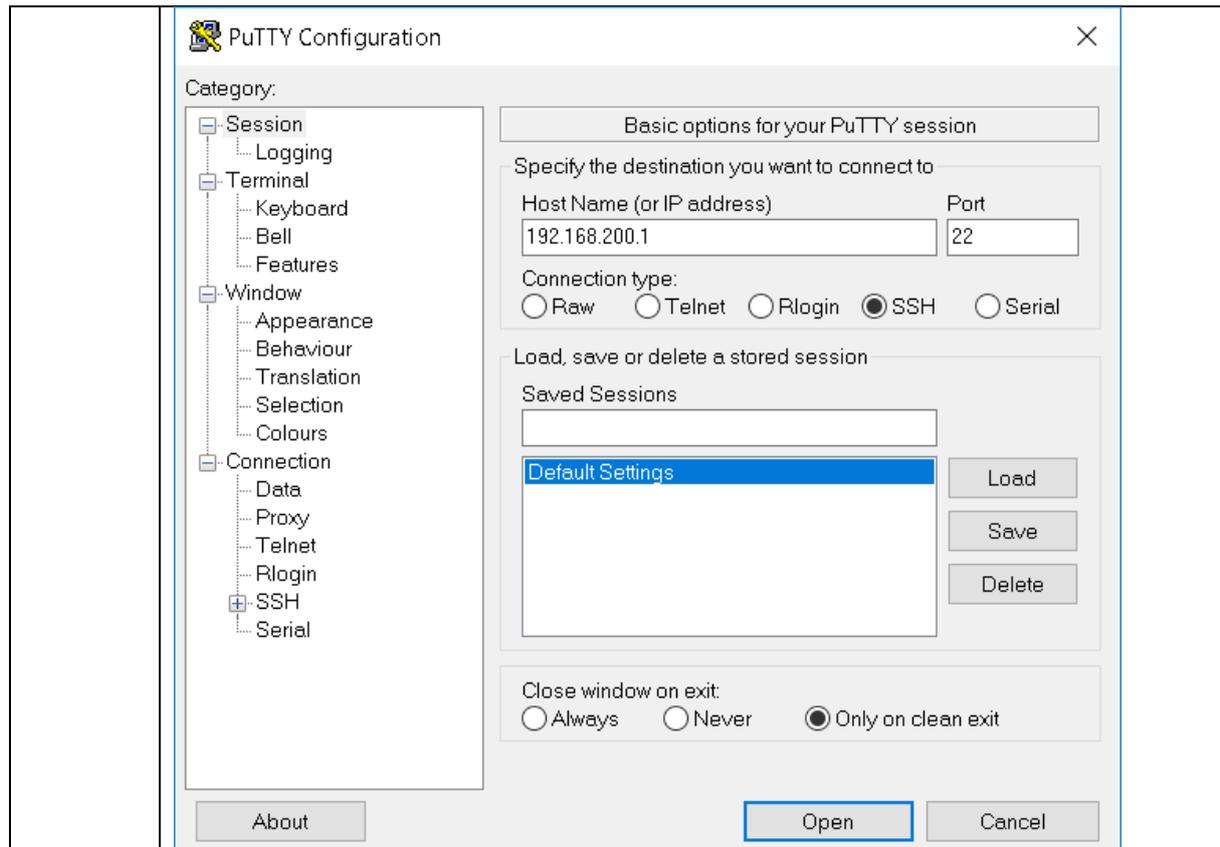
Servidor DNS alternativo: . . .

Validar configuración al salir Opciones avanzadas...

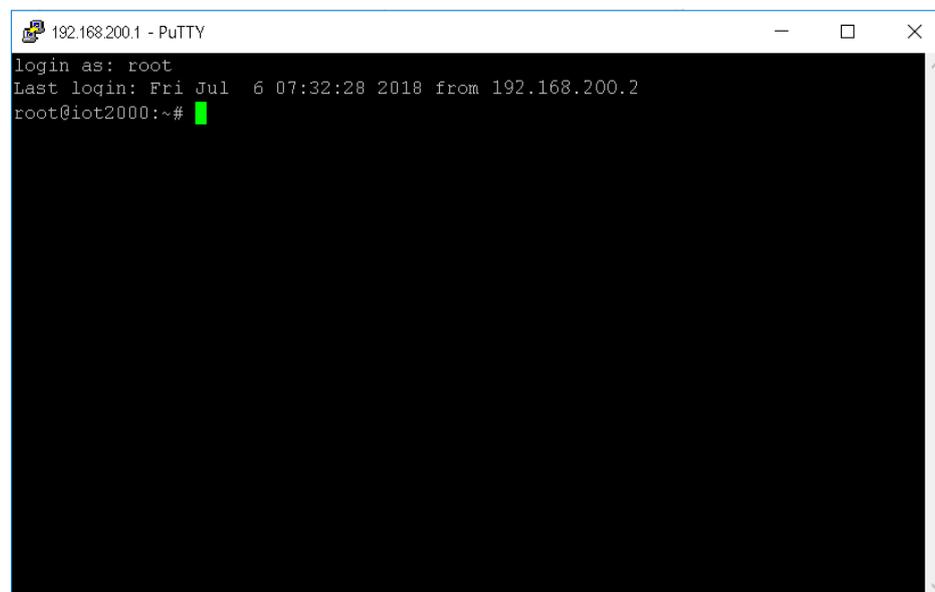
Aceptar Cancelar

Y luego presionar Aceptar  
Para comprobar que nuestra tarjeta de RED a tomado la configuración podemos abrir la consola de comando e ingresar el comando ipconfig

Luego se debe abrir el programa Putty y en el campo Host Name colocar la IP del Si-matic IOT2040 y luego presionar Open.



Por defecto debemos logearnos con el usuario **root**



Vista esta pantalla significa que la comunicación está establecida y desde allí se puede acceder a configuraciones del Simatic IOT2040, como se verá en el siguiente paso

07

Configuración de fecha y hora del Simatic IOT2040

Como sucede con varios dispositivos conectados a internet, no tener configurado la fecha y hora puede incurrir en problemas, por ello se deberá hacer preferentemente

al principio. Hay que recordar que el equipo tiene una batería para el reloj RTC por lo que la fecha y hora no se perderá cuando lo apaguemos.

Para configurar el tiempo deberemos ingresar el siguiente comando, reemplazando las letras por los valores correspondientes

```
date MMDDhhmmYYYY
```

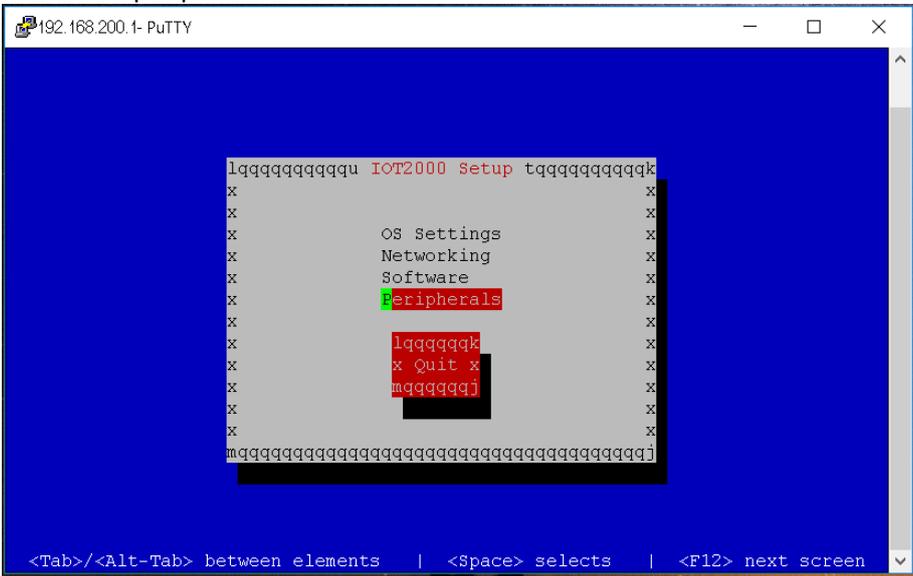
Tal como se muestra en la siguiente imagen



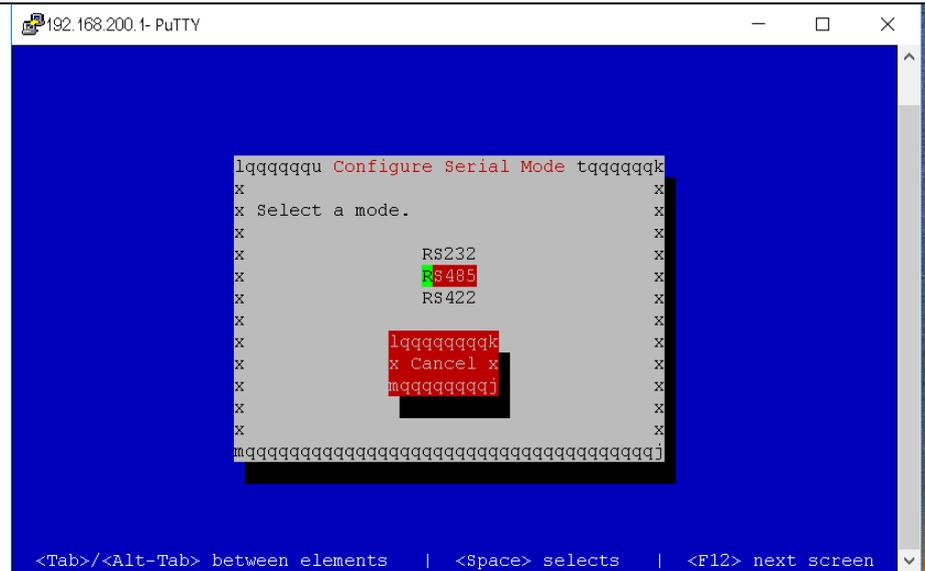
```
192.168.200.1- PuTTY
login as: root
Last login: Fri Jul  6 07:32:28 2018 from 192.168.200.2
root@iot2000:~# date 070613042018
Fri Jul  6 13:04:00 UTC 2018
root@iot2000:~# █
```

## 10.5 Anexo V: Cambio de configuraciones en el SIMATIC IOT2040

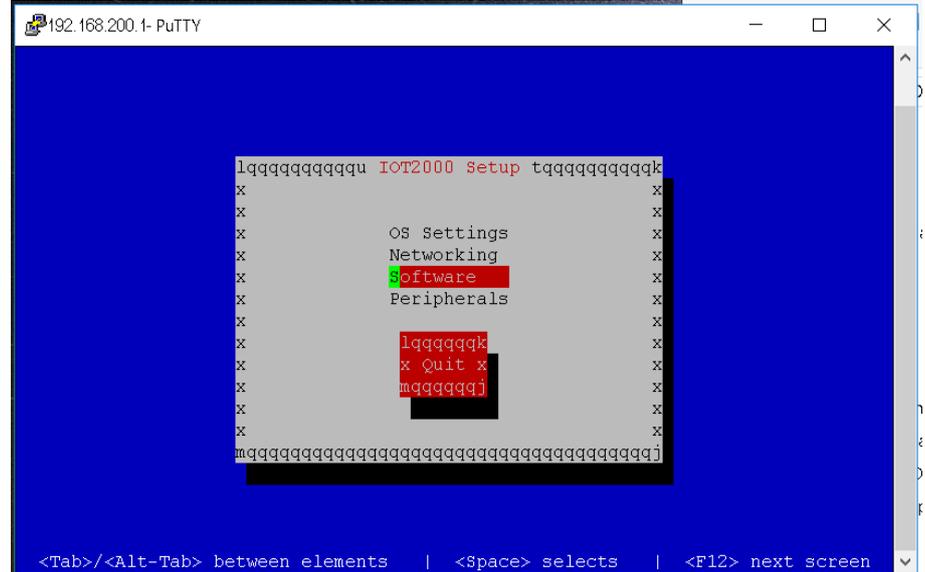
Se muestran a continuación dos cambios de configuración importantes para realizar en el SIMATIC IOT2040, el primero es habilitar uno de los puertos de comunicación como lectura del protocolo serie RS485 con el cual luego se leen los datos del analizador de redes Circutor y el segundo, habilitar el autoarranque de los programas Node-RED y Mosquitto para que se inicien junto con el encendido del Simatic IOT2040.

Número	Acción
01	<p>Configurar el puerto serie para la lectura del protocolo RS485</p> <p>Primeramente, deberemos entrar al menú Setup del SIMATIC IOT2040, para ello, una vez que iniciemos una sesión en Putty, escribiremos el comando “iot2000setup”, lo que nos dará acceso al siguiente menú mostrado y en el que deberemos ingresar al submenú “peripherals”</p>  <p>Luego se selecciona el submenú “Configure External COM Ports”</p>





De igual manera se puede configurar el puerto serie X31.

Número	Acción
01	<p>Habilitar el auto arranque de Node-RED                      Ingresado al menú <code>iot2000setup</code>, tal como se ha explicado en los pasos anteriores, se ingresará esta vez al submenú “Software”</p>  <p>Luego ingresaremos al submenú “Manage Autostart Options”</p>

