



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN  
INTERNET DE LAS COSAS**

**MEMORIA DEL TRABAJO FINAL**

**Sistema de gestión remota de dispositivo  
conversor Modbus a MQTT.**

**Autor:**

**Ing. Domenje Carlos Ruben**

Director:

Ing. Fernando Lichtschein (FIUBA)

Jurados:

Ing. Sebastian Guarino (FIUBA)

Ing. Matías Álvarez (FIUBA)

Ing. Lucas Dórdolo (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Avellaneda, Santa Fe,  
entre mayo de 2020 y abril de 2021.*



## *Resumen*

La presente memoria describe el diseño de una plataforma web de gestión para un dispositivo conversor de protocolo Modbus a MQTT, el cual permite el envío de datos en tiempo real a un servidor, almacenamiento en una base de datos y generación de eventos configurables por el usuario. Este desarrollo se realizó teniendo en cuenta la importancia de poder visualizar datos de forma remota y en cualquier dispositivo móvil o PC que pueda ejecutar un navegador web.

Para realizar este trabajo se aplicaron conceptos de gestión de proyectos y arquitectura de protocolos de internet. En cuanto al desarrollo de la base de datos, servidor y página web se utilizaron técnicas de arquitectura y gestión de grandes volúmenes de datos, desarrollo de aplicaciones multiplataforma, ciberseguridad y testing de sistemas de internet de las cosas.



## *Agradecimientos*

A mis padres, que me dieron la posibilidad de estudiar y me han brindado su apoyo a lo largo de mi vida.

A Maria Inés, que me ha acompañado durante el cursado, por su apoyo, ayuda y comprensión.

A mis compañeros y profesores de la Especialización en Internet de las Cosas por compartir sus conocimientos y por su acompañamiento a lo largo del año.

Al Ing. Fernando Lichtschein, por su orientación, seguimiento, supervisión y aportes durante la realización del presente trabajo.

A todos ellos, muchas gracias.



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>1. Introducción general</b>	<b>1</b>
1.1. Comunicación Modbus y supervisión SCADA	1
1.2. Internet de las cosas	3
1.3. Estado del arte	5
1.4. Motivación	6
1.5. Alcances y objetivos	6
1.5.1. Objetivos	6
1.5.2. Alcance	6
<b>2. Introducción específica</b>	<b>9</b>
2.1. Funcionamiento general del sistema	9
2.2. Dispositivo conversor Modbus a MQTT	9
2.3. Protocolos de comunicación	9
2.3.1. Protocolo MQTT	9
2.3.2. Protocolo HTTP	9
2.4. Infraestructura del backend	9
2.4.1. NodeJS	9
2.4.2. Base de datos MongoDB	9
2.5. Infraestructura del frontend	9
2.5.1. Angular	9
2.6. Servidor Nginx	9
<b>3. Diseño e implementación</b>	<b>11</b>
3.1. Diseño de la estructura general del sistema	11
3.2. Implementación del backend	11
3.2.1. Software implementado en el servidor con NodeJS	11
3.2.2. Configuración del broker MQTT	11
3.2.3. Software implementado en la base de datos	11
3.2.4. Seguridad en el servidor	11
3.3. Implementación del frontend	11
3.3.1. Diseño de plataforma web con Angular	11
3.3.2. Seguridad en el frontend	11
3.4. Implementación y configuración de Nginx	11
<b>4. Ensayos y Resultados</b>	<b>13</b>
4.1. Pruebas unitarias	13
4.1.1. Postman para comprobación de funciones del backend	13
4.1.2. Cypress para pruebas unitarias	13
4.2. Ensayo de integración y sistema	13
4.2.1. Pruebas en la creación de dispositivos	13

4.2.2. Pruebas de verificación de conectividad con el dispositivo conversor . . . . .	13
4.2.3. Pruebas de verificación de almacenamiento de datos en la base de datos . . . . .	13
<b>5. Conclusiones</b>	<b>15</b>
5.1. Trabajo realizado . . . . .	15
5.2. Próximos pasos . . . . .	16
<b>Bibliografía</b>	<b>17</b>



# Índice de figuras

1.1. Arquitectura de red Modbus. . . . .	2
1.2. Diferentes modelos de HMI de la empresa Siemens . . . . .	2
1.3. Implementación de sistema SCADA con WINCC . . . . .	3
1.4. Crecimiento de dispositivos IoT . . . . .	5



# Índice de tablas

1.1. Comparación de servicios cloud en el mercado. . . . .	5
--	---



***Dedicado a mis socios, Ivan y Luis de D&T***



# Capítulo 1

## Introducción general

En este capítulo se realiza una introducción al protocolo Modbus y la vinculación con la internet de las cosas. Asimismo, se mencionan algunos sistemas en el mercado, y por último se explica la motivación, alcance y objetivos del presente trabajo.

### 1.1. Comunicación Modbus y supervisión SCADA

Gracias al desarrollo e innovación de nuevas tecnologías, la automatización de procesos industriales, a través del tiempo, ha dado lugar a avances significativos que le han permitido a industrias implementar procesos de producción eficientes, seguros y competitivos.

Actualmente en el sector industrial es muy utilizado el PLC (*Programmable Logic Controller*) [1] para controlar máquinas, líneas de producción y en general todo lo relacionado con el proceso propio de la industria y debido a la necesidad de comunicar equipos, sensores y actuadores, la empresa Modicon crea en el año 1979, el protocolo de comunicación Modbus [2].

Modbus permite conectar un dispositivo servidor con varios dispositivos clientes. Existen dos versiones de implementación:

- Interfaz serie (RS-232 y RS-485) llamada Modbus serie.
- Interfaz Ethernet llamada Modbus TCP.

Modbus es un protocolo de mensajería de capa de aplicación, posicionado en el nivel 7 del modelo OSI [3]. La comunicación está basada en un protocolo de solicitud / respuesta, donde es siempre iniciada por el servidor y, por lo tanto, los clientes nunca transmitirán datos sin una solicitud previa.

Las solicitudes desde el nodo servidor a los clientes pueden ser realizados en dos modos:

- Modo unicast: en este modo, el servidor direcciona a un esclavo.
- Modo broadcast: en este modo, el servidor envía una solicitud a todos los esclavos simultáneamente, sin recibir respuesta.

Este protocolo permite comunicarse de manera sencilla con todo tipo de arquitecturas de red como puede observarse en la figura 1.1, y además, con el uso de *gateways* se puede interactuar entre varios tipos de buses o redes.

---

<sup>1</sup>[https://modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf)

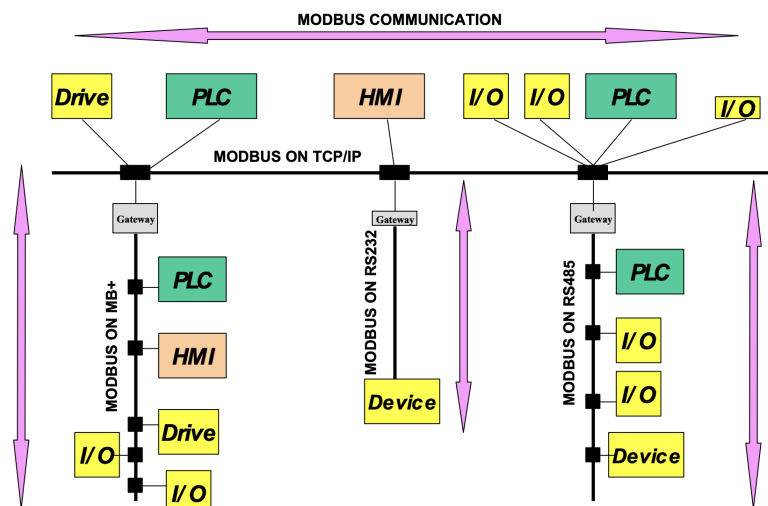


FIGURA 1.1. Ilustración de diferentes arquitecturas de red utilizando el protocolo Modbus<sup>1</sup>.

Para la supervisión y control de un proceso industrial que utiliza Modbus como protocolo de comunicación, se utilizan sistemas HMI (*Human Machine Interface*) y hacen referencia a la manera que interactúa el humano con las diferentes máquinas que componen el sistema.

Se trata de un sencillo panel que transmite órdenes, visualiza resultados de manera gráfica y obtiene visualización del estado del proceso o la máquina en tiempo real.

A modo de ejemplo se pueden observar en la figura 1.2 diferentes modelos de HMI de la empresa Siemens.



FIGURA 1.2. Diferentes modelos de HMI de la empresa Siemens<sup>2</sup>.

En un nivel superior de gestión del proceso industrial antes mencionado, se encuentra el sistema SCADA, cuya palabra es un acrónimo que deriva del inglés *Supervisory Control And Data Acquisition* y su significado en español se traduce como Control Supervisor y Adquisición de Datos.

Los sistemas SCADA son programas de software que se utilizan para gestionar y controlar sistemas remotos o locales mediante el uso de una interfaz gráfica que comunica al usuario con el programa. Cuentan con una estructura que parte de sus controladores lógicos programables (PLC) o unidades de terminal remotas

<sup>2</sup><https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels/basic-panels.html>



(RTU)[4], es decir, de microordenadores que se comunican con múltiples objetos, ya sean máquinas, dispositivos, sensores o HMI. Estos microordenadores después de comunicar, envían la información desde estos objetos a los ordenadores con el software SCADA.

Por lo tanto, el sistema SCADA procesa, distribuye y muestra los datos, permitiendo a los operadores y otros trabajadores realizar un análisis para facilitar la toma de decisiones. Entre sus principales características, podemos destacar:

- Supervisar remotamente las instalaciones y equipos.
- Monitorizar y controlar las operaciones en tiempo real.
- Procesar datos que hagan más fácil la toma de decisiones.
- Mostrar a través de imágenes dinámicas el comportamiento de los procesos.
- Arrojar señales de alarma (visuales o sonoras) frente a imprevistos.

En la figura 1.3 se puede observar la implementación de un sistema SCADA realizado con el software WINCC [5] de la empresa Siemens para el monitoreo y gestión de energía eléctrica.

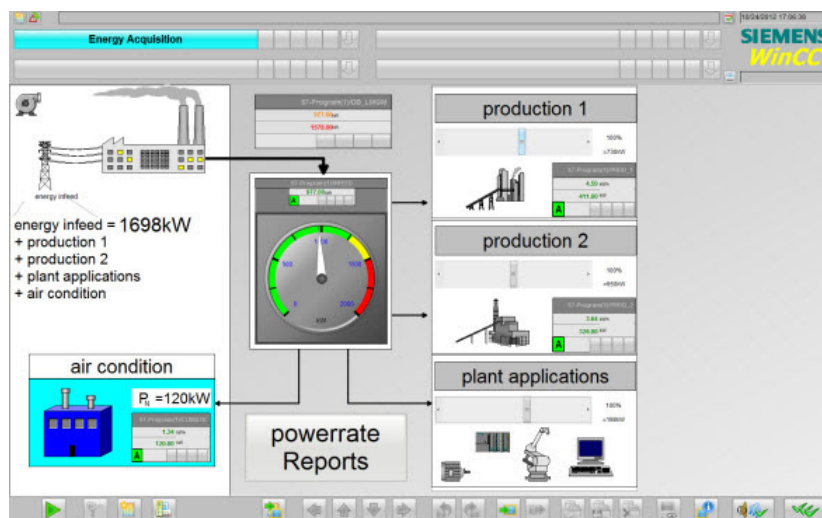


FIGURA 1.3. Ejemplo de implementación de un sistema SCADA con el software WINCC de la empresa Siemens para monitoreo y gestión de energía eléctrica<sup>3</sup>.

## 1.2. Internet de las cosas

Por lo general, el término Internet de las cosas (IoT) se refiere a escenarios en los que la conectividad de red y la capacidad de cómputo se extienden a objetos, sensores y artículos de uso diario que habitualmente no se consideran computadoras, permitiendo que estos dispositivos generen, intercambien y consuman datos con una mínima intervención humana.

El concepto de combinar computadoras, sensores y redes para monitorear y controlar diferentes dispositivos ha existido durante décadas. Sin embargo, la reciente confluencia de diferentes tendencias del mercado tecnológico está permitiendo

<sup>3</sup><https://support.industry.siemens.com/cs/document/65384955/gestión-de-energía>

que la internet de las cosas esté cada vez más cerca de ser una realidad generalizada.

Estas tendencias incluyen la conectividad omnipresente, la adopción generalizada de redes basadas en el protocolo IP [WEBSITE:9], la economía en la capacidad de cómputo, la minimización, los avances en el análisis de datos y el surgimiento de la computación en la nube.

Los beneficios que internet de las cosas ofrece tanto a empresas como a personas individuales son numerosos. Desde un punto de vista económico, permite a las empresas gestionar y controlar mejor sus procesos de forma remota y en tiempo real, aumentando su eficiencia y posibilitando la toma de mejores decisiones y acciones preventivas como el mantenimiento de la maquinaria o sistemas instalados. En definitiva, esto conlleva un ahorro de costos y tiempo para la organización. En el caso de individuos particulares, los beneficios se traducen en mejoras de su calidad de vida y comodidad en el día a día mediante automatizaciones en su entorno cotidiano.

Las implementaciones de la IoT utilizan diferentes modelos de conectividad, cada uno de los cuales tiene sus propias características. Los cuatro modelos de conectividad descritos por la Junta de Arquitectura de Internet (IAB)[6] se mencionan en la siguiente lista:

- *Device-to-Device* (dispositivo a dispositivo).
- *Device-to-Gateway* (dispositivo a puerta de enlace).
- *Device-to-Cloud* (dispositivo a la nube).
- *Back-End Data-Sharing* (intercambio de datos a través del backend).

Estos modelos destacan la flexibilidad en las formas en que los dispositivos de la IoT pueden conectarse y proporcionar un valor para el usuario.

La irrupción de la Internet de las cosas en la industria, tiene como objetivo conseguir una apertura total en la conectividad, es decir, la interconexión de todos los agentes que intervienen en la cadena del proceso productivo. Los dispositivos IoT serán capaces de capturar y analizar los datos obtenidos para tomar decisiones en tiempo real o enviarlos a la nube para almacenarlos y analizarlos mediante técnicas de *big data* e inteligencia artificial. Los empleos mas comunes en la industria pueden ser:

- Obtención de valores de parámetros físicos y actuación sobre máquinas.
- Toma de datos para mantenimiento predictivo.
- Control de la eficiencia energética mediante sensores.
- Automatización de procesos manuales y obtención de datos relevantes a través de sistemas embebidos.
- Comunicación Hombre – Máquina, notificaciones de alarmas, visualización de datos en tiempo real mediante *wearables*.

La importancia de la internet de las cosas en el mundo de las empresas y las personas, queda reflejado en el crecimiento exponencial de dispositivos IoT conectados en el mundo, como se visualiza en la figura 1.4. Para este año, se prevé que cerca de 36 mil millones de dispositivos IoT se encuentren en funcionamiento

en el mundo, cifra que se extiende hasta los más de 75 mil millones para el año 2025.

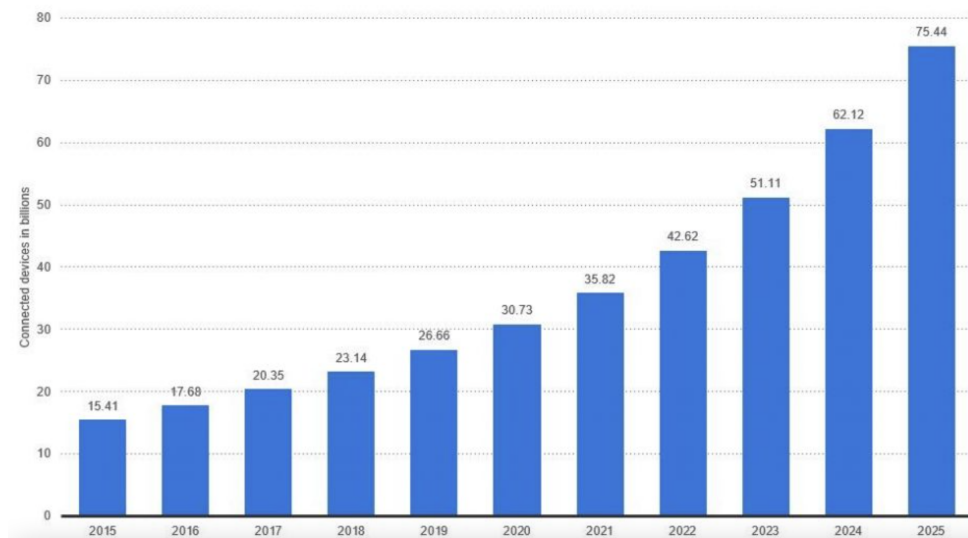


FIGURA 1.4. Crecimiento exponencial de dispositivos conectados en el mundo<sup>4</sup>.

### 1.3. Estado del arte

En la actualidad existen varias plataformas cloud que brindan un conjunto de servicios de computación en la nube para hacer frente a las necesidades del negocio en lo que respecta al desarrollo de aplicaciones, almacenamiento y cómputo.

Algunas de las que se encuentran consolidadas a nivel mundial son: Google, Microsoft, Amazon, Samsung, entre otras [7]. Estos sistemas, si bien tienen toda la infraestructura realizada para conectar dispositivos IoT, requieren de desarrollo web que implica la programación de toda la estructura de la información que se requiere enviar a la nube. Por otro lado, no todas las empresas implementan como protocolo de aplicación a MQTT [8]. Se resumen algunos servicios ofrecidos por estas empresas en la tabla 1.1.

TABLA 1.1. Comparación de servicios cloud en el mercado.

Empresa	Servicios Cloud	Protocolo de aplicación	Sistema operativo
Google	Google Cloud	Weave	Linux
Amazon	AWS IoT	MQTT	Linux
Microsoft	Azure IoT	AMQP	Windows IoT
Samsung	SmartThings	MQTT	Linux

En cuanto a plataformas que ofrecen la etapa de procesamiento, análisis y visualización de datos, se pueden mencionar algunas como ThingBoard, Ubidots, Node-Red, entre otras. Estas plataformas asumen que el cliente cuenta con el hardware

<sup>4</sup><https://www.iotworldonline.es/las-grandes-estadísticas-del-internet-de-las-cosas-iot/>

necesario para enviarles la información relevante, y ellas se encargan de analizarla y presentarla de manera conveniente mediante tableros o dashboards, que le permiten al usuario ver el estado e históricos de sensores, actuadores y nodos.

Las principales desventajas de estas plataformas son la fuerte dependencia que generan y la poca adaptabilidad al hardware que se requiere gestionar, además la mayoría de ellas brindan servicios con costos monetarios elevados.

## 1.4. Motivación

En la actualidad existen múltiples dispositivos conversores de protocolos que permiten enviar datos a la nube, pero la mayoría no posee un sistema de gestión a través de una plataforma web. La metodología de conexión es a través de la vinculación con servicios web como los mencionados en la sección 1.3 donde el usuario deberá encargarse de realizar todo el desarrollo de la visualización de datos en forma clara, el almacenamiento de datos en una base de datos y la generación de eventos que puedan serle útil.

Empresas multinacionales como ser ABB, Scheider Electric, Honeywell o Siemens, poseen sus propias plataformas web de gestión y protocolos de comunicación, lo que genera un sistema cerrado y dependiente de un determinado fabricante de dispositivos, por lo que imposibilita la conexión de conversores de otras marcas.

Por estos motivos antes mencionados, surgió la posibilidad de ofrecer un servicio de gestión web, que contenga todos los componentes necesarios para que el usuario solo requiera de una configuración básica de conexión al servidor y en un breve periodo de tiempo, pueda visualizar los datos requeridos de forma remota, pudiendo generar reportes y almacenamiento de datos.

## 1.5. Alcances y objetivos

### 1.5.1. Objetivos

El propósito de este proyecto, es el desarrollo de un sistema que contenga un servidor MQTT, una base de datos para alojar información de reportes de dispositivos y una plataforma web que permita visualizar de forma remota datos enviados de diferentes sensores que contengan instalado un conversor de protocolo Modbus a MQTT. Esto permitirá maximizar la eficiencia del proceso, ya que puede ser monitoreado en tiempo real desde cualquier parte del mundo, contando con avisos de alarmas, reportes históricos y almacenamiento de datos.

### 1.5.2. Alcance

Para la realización de este trabajo se propuso desarrollar una plataforma web operativa de un sistema de gestión para conversores de protocolo Modbus a MQTT que se conectan a sensores de temperatura fabricados por la empresa D&T [9]. El presente desarrollo incluye los siguientes aspectos:

- Implementación de servidor MQTT.
- Implementación de servidor para gestión de usuarios y dispositivos.

- Implementación de base de datos no relacional.
- Visualización de datos en tiempo real en una plataforma web.
- Lectura de datos provenientes de sensores de temperatura que contenga un conversor de protocolo Modbus a MQTT.



## Capítulo 2

# Introducción específica

- 2.1. Funcionamiento general del sistema**
- 2.2. Dispositivo conversor Modbus a MQTT**
- 2.3. Protocolos de comunicación**
  - 2.3.1. Protocolo MQTT**
  - 2.3.2. Protocolo HTTP**
- 2.4. Infraestructura del backend**
  - 2.4.1. NodeJS**
  - 2.4.2. Base de datos MongoDB**
- 2.5. Infraestructura del frontend**
  - 2.5.1. Angular**
- 2.6. Servidor Nginx**





## Capítulo 3

# Diseño e implementación

### 3.1. Diseño de la estructura general del sistema

### 3.2. Implementación del backend

#### 3.2.1. Software implementado en el servidor con NodeJS

#### 3.2.2. Configuración del broker MQTT

#### 3.2.3. Software implementado en la base de datos

#### 3.2.4. Seguridad en el servidor

### 3.3. Implementación del frontend

#### 3.3.1. Diseño de plataforma web con Angular

#### 3.3.2. Seguridad en el frontend

### 3.4. Implementación y configuración de Nginx



## Capítulo 4

# Ensayos y Resultados

### 4.1. Pruebas unitarias

4.1.1. Postman para comprobación de funciones del backend

4.1.2. Cypress para pruebas unitarias

### 4.2. Ensayo de integración y sistema

4.2.1. Pruebas en la creación de dispositivos

4.2.2. Pruebas de verificación de conectividad con el dispositivo conversor

4.2.3. Pruebas de verificación de almacenamiento de datos en la base de datos



## Capítulo 5

# Conclusiones

En este capítulo se presentan los aspectos más relevantes del trabajo realizado y se mencionan los pasos a seguir.

### 5.1. Trabajo realizado

Se desarrolló e implementó un sistema de gestión de dispositivos conversores de protocolo Modbus a MQTT conectados a sensores de temperatura, que demostró ser útil para el análisis de su comportamiento frente a las variaciones diarias de uso y aplicación. A continuación se listan los logros destacados del trabajo final:

- Programación de servidor de datos para vinculación de dispositivos conversores.
- Implementación de certificados SSL para dotar de seguridad a todo el sistema.
- Desarrollo de base de datos para el almacenamiento histórico de datos enviados para su posterior análisis.
- Implementación de aplicación web para visualización, análisis y control de datos enviados por diferentes dispositivos conversores.
- Integración en la nube del sistema de gestión.

El grado de cumplimiento de los requerimientos fue como se tenía previsto durante la planificación, ya que se pudo lograr integrar el sistema e instalarlo en un servidor remoto para realizar pruebas con clientes que se encuentran testeando los dispositivos conversores de protocolo Modbus a MQTT conectados a sensores de temperatura para el monitoreo del funcionamiento de cámaras frigoríficas.

Fue necesario contratar un servicio de servidor en la nube dedicado a desarrollo y no recomendado para producción y un servicio de hosting web para poder realizar las pruebas de forma remota para que diferentes personas puedan probar el sistema. Esto llevó a un pequeño atraso en el desarrollo ya que se debió estudiar nuevos conceptos de programación y configuración de estos servicios.

Durante el desarrollo de este trabajo final, se aplicaron conocimientos adquiridos a lo largo de todo el año de la Especialización en Internet de las Cosas. Todas las asignaturas cursadas aportaron conocimientos necesarios y experiencia para la práctica profesional en el área del desarrollo web. Sin embargo, se resaltan a continuación aquellas materias de mayor relevancia para este trabajo:

- Gestión de Proyectos: la elaboración de un Plan de Proyecto para organizar el Trabajo Final, facilitó la realización del mismo y evitó demoras innecesarias.
- Protocolos de Internet: se aplicaron conceptos aprendidos para la programación del servidor con los protocolos MQTT y HTTP.
- Desarrollo de aplicaciones multiplataforma: se adquirieron conocimientos de programación para la plataforma web adaptable a cualquier dispositivo que pueda ejecutar un navegador web.
- Arquitectura de datos: se desarrolló la base de datos teniendo en cuenta las especificaciones y técnicas aprendidas.
- Ciberseguridad en IoT: se utilizaron técnicas de seguridad para proteger al sistema frente a posibles ataques cibernéticos.
- Testing de Sistemas de Internet de las Cosas: se aplicaron los conocimientos adquiridos durante la materia, sobre todo en las áreas de testing unitarios y ensayos de integración del sistema.

## 5.2. Próximos pasos

Resulta imprescindible identificar el trabajo futuro, para dar continuidad al esfuerzo realizado hasta el momento y poder realizar un sistema comercialmente atractivo. A continuación se listan las líneas de trabajo más trascendentes:

- Desarrollo de notificaciones y alertas al usuario ante posibles eventos configurables.
- Lectura de dispositivos que no pertenezcan a la medición de temperatura.
- Agregar un nivel de gestión de organizaciones para permitir a un usuario ser parte de varias de ellas.
- Contratación de un servicio de servidor remoto de producción para asegurar la disponibilidad, integridad y utilización de recursos del software implementado.

# Bibliografía

- [1] <https://www.se.com/>. *Controladores PLC*. <https://www.se.com/mx/es/product-category/3900-controladores-plc-y-pac>. (Visitado 12-03-2021).
- [2] <https://modbus.org/>. *Modbus Specifications and Implementation Guides*. <https://modbus.org/specs.php>. (Visitado 12-03-2021).
- [3] <https://standards.iso.org/>. *ISO/IEC 7498-1*. [https://standards.iso.org/itf/PubliclyAvailableStandards/s020269\\_ISO\\_IEC\\_7498-1\\_1994\(E\).zip](https://standards.iso.org/itf/PubliclyAvailableStandards/s020269_ISO_IEC_7498-1_1994(E).zip). (Visitado 12-03-2021).
- [4] Deon Reynders Gordon Clarke y Edwin Wright. *Practical Modern SCADA Protocols*. Newnes, 2003.
- [5] <https://siemens.com/>. *The scalable and open SCADA system for maximum plant transparency and productivity*. <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v7.html>. (Visitado 14-03-2021).
- [6] <https://www.iab.org/>. *Internet Architecture Board*. <https://www.iab.org/>. (Visitado 13-03-2021).
- [7] <https://kinsta.com/>. *Cuota de mercado de la nube – una mirada al ecosistema de la nube en 2021*. <https://kinsta.com/es/blog/cuota-de-mercado-de-la-nube/>. (Visitado 13-03-2021).
- [8] <https://mqtt.org/>. *MQTT Specifications*. <https://mqtt.org/mqtt-specification/>. (Visitado 14-03-2021).
- [9] <https://www.dytsoluciones.com.ar/>. *D&T - Desarrollos para IoT*. <https://www.dytsoluciones.com.ar/es/>. (Visitado 14-03-2021).