



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Sistema de monitoreo y control de ambientes a distancia

Autor:
César Javier Fanelli

Director:
Ing. Fernando Lichtschein (FIUBA)

Jurados:
Esp. Ing. Pedro Rosito (FIUBA)
Nombre del jurado 2 (pertenencia)
Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre febrero de 2023 y diciembre de 2023.*



CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN INTERNET DE LAS COSAS

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

Sistema de monitoreo y control de ambientes a distancia

Autor:
César Javier Fanelli

Director:
Ing. Fernando Lichtschein (FIUBA)

Codirector:
Ing. María Celeste Corominas (FIUBA)

Jurados:
Esp. Ing. Pedro Rosito (FIUBA)
Ing. Marcelo Edgardo Romeo (UNSAM)
Nombre del jurado 3 (pertenencia)

*Este trabajo fue realizado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires,
entre febrero de 2023 y diciembre de 2023.*

Índice general

Resumen	i
1. Introducción general	1
1.1. Introducción a la domótica	1
1.1.1. Aplicaciones	1
1.2. Motivación	2
1.3. Estado del arte	2
1.4. Objetivos y alcance	3
2. Introducción específica	5
3. Diseño e implementación	7
4. Ensayos y resultados	9
5. Conclusiones	11
Bibliografía	13

Índice general

Resumen	i
1. Introducción general	1
1.1. Introducción a la domótica	1
1.1.1. Aplicaciones	1
1.2. Motivación	2
1.3. Estado del arte	2
1.4. Objetivos y alcance	3
2. Introducción específica	5
2.1. Protocolos de comunicación	5
2.1.1. Modelo OSI	5
2.1.2. Protocolo HTTP	6
2.1.3. Protocolo MQTT	7
2.2. Componentes de hardware	7
2.2.1. Servidor	8
3. Diseño e implementación	9
4. Ensayos y resultados	11
5. Conclusiones	13
Bibliografía	15

Índice de figuras

1.1. Ejemplo de sistema de domótica	2
1.2. Matter y Home Assistant	3
1.3. Esquema básico	4

Índice de figuras

1.1. Ejemplo de sistema de domótica	2
1.2. Matter y Home Assistant	3
1.3. Esquema básico	4
2.1. Modelo OSI	5
2.2. Arquitectura MQTT	7
2.3. Raspberry Pi	8

Índice de tablas

1.1. Mercado nacional	3
---------------------------------	---

Índice de tablas

1.1. Mercado nacional	3
2.1. Raspberry Pi 400	8



FIGURA 1.1. Ejemplo de sistema de domótica.¹

1.2. Motivación

El uso de la tecnología para facilitar y mejorar la vida de las personas se está implementando en todo el mundo en diversos ámbitos, creando soluciones complejas e innovadoras. Los electrodomésticos e instalaciones se fabrican con posibilidades de conexión y capacidades cada vez más amplias, abarcando funcionalidades complejas que aportan al bienestar y confort de las personas.

Este proyecto nace como la mejora y actualización de la tesis de grado de **ingeniería** en la cual se creó un sistema similar que carecía de conectividad a internet y utilizando tecnología que al día de hoy es obsoleta. Es por este motivo que se ha decidido hacer un proyecto académico con esta temática, pudiendo crear un sistema integral con una página web, base de datos que almacene mediciones y utilizando hardware actualizado.

1.3. Estado del arte

En el mercado actual existe una gran cantidad de sistemas de domótica, algunos privados o bajo licencias propietarias y otros con licencias de código abierto, nacionales e internacionales. Aquellas soluciones de código abierto tienen los repositorios públicos en *Github* al alcance de todos para ser descargados, implementados y hasta modificados.

Del mercado internacional, podemos nombrar 2 importantes variantes:

- Matter: es un estándar de conectividad de código abierto creado por la *Connectivity standards alliance*. Es de los más importantes a nivel global y participan empresas como Amazon, Apple, Google, Huawei entre muchas otras. Ha crecido y tomado mucha fuerza este corto tiempo de vida que tiene el proyecto. [3]
- Home assistant: software de automatización de hogares de código abierto que prioriza el control local y la privacidad. Desarrollado por una comunidad mundial de entusiastas de autodidactas y profesionales con un sentido propio. [4]

¹Imagen tomada de: <https://intelligy.com/blog/2018/03/12/conoces-la-domotica/>



FIGURA 1.1. Ejemplo de sistema de domótica.¹

1.2. Motivación

El uso de la tecnología para facilitar y mejorar la vida de las personas se está implementando en todo el mundo en diversos ámbitos, creando soluciones complejas e innovadoras. Los electrodomésticos e instalaciones se fabrican con posibilidades de conexión y capacidades cada vez más amplias, abarcando funcionalidades complejas que aportan al bienestar y confort de las personas.

Este proyecto nace como mejora y actualización de la tesis de grado de **ingeniería**, en la cual se creó un sistema similar que carecía de conectividad a internet y utilizando tecnología que al día de hoy es obsoleta. Es por este motivo que se ha decidido hacer un proyecto académico con esta temática, pudiendo crear un sistema integral con una página web, base de datos que almacene mediciones y utilizando hardware actualizado.

1.3. Estado del arte

En el mercado actual existe una gran cantidad de sistemas de domótica, algunos privados o bajo licencias propietarias y otros con licencias de código abierto, nacionales e internacionales. Aquellas soluciones de código abierto tienen los repositorios públicos en *Github* al alcance de todos para ser descargados, implementados y hasta modificados.

Del mercado internacional, podemos nombrar 2 importantes variantes:

- Matter: es un estándar de conectividad de código abierto creado por la *Connectivity standards alliance*. Es de los más importantes a nivel global y participan empresas como Amazon, Apple, Google, Huawei entre muchas otras. Ha crecido y tomado mucha fuerza **durante** este corto tiempo de vida que tiene el proyecto. [3]
- Home assistant: software de automatización de hogares de código abierto que prioriza el control local y la privacidad. Desarrollado por una comunidad mundial de entusiastas de autodidactas y profesionales con un sentido propio. [4]

¹Imagen tomada de: <https://intelligy.com/blog/2018/03/12/conoces-la-domotica/>



FIGURA 1.2. Matter y Home Assistant. ²

A nivel nacional existen empresas que se dedican al desarrollo de sistemas de domótica de forma probada:

- Domotic. [5]
- Commax. [6]
- Reactor. [7]

Todos estos sistemas utilizan distintos tipos de conexión (Zigbee o Wi-Fi), mensajes entre dispositivos (HTTP, MQTT y otros) y tipos de alojamiento de las **plataformas** (servidor local o en la nube). Pocos de estos sistemas tienen la posibilidad de funcionar con mandos desde el lugar o sin conexión con el servidor, es decir que sean independientes y **controlables** de forma local. Este proyecto tiene **esa** posibilidad ya que la **página web** es una forma más de cambiar los parámetros de los nodos y **se** está diseñado para decidir si cada terminal posee comandos o no.

En la tabla 1.1 pueden verse las principales características de las empresas nacionales con soluciones similares.

TABLA 1.1. Comparativa entre las distintas opciones

Empresa	Productos	Compatibilidad
Domotic	Catálogo amplio	No especifica
Commax	Catálogo amplio	Smart things y Apple Home Kit
Reactor	2 alternativas	Google Assistant e IFTTT

1.4. Objetivos y alcance

El objetivo de este trabajo es aplicar todos los conocimientos adquiridos en el transcurso del **posgrado** en un tema de interés particular como es la domótica. En especial, el principal propósito es hacer un prototipo que de inicio a un **sistema** más grande y con mayores características, con el foco de en un futuro cercano llegar a analizar la opción de integrarlo con sistemas como **Matter** o **Home Assistant**.

En este desarrollo se incluyó:

- El esquema de conexiones de la placa de ESP32 con los módulos de display, encoder y salida de relé.

²Imágenes tomadas de: <https://csa-iot.org/> y <https://www.home-assistant.io/>



FIGURA 1.2. Matter y Home Assistant. ²

A nivel nacional existen empresas que se dedican al desarrollo de sistemas de domótica de forma probada:

- Domotic. [5]
- Commax. [6]
- Reactor. [7]

Todos estos sistemas utilizan distintos tipos de conexión (Zigbee o Wi-Fi), mensajes entre dispositivos (HTTP, MQTT y otros) y tipos de alojamiento de las **plataformas** (servidor local o en la nube).

Pocos de estos sistemas tienen la posibilidad de funcionar con mandos desde el lugar o sin conexión con el servidor, es decir que sean independientes y **controlables** de forma local. Este proyecto tiene **tal** posibilidad ya que la **página web**, es una forma más de cambiar los parámetros de los nodos y está diseñado para decidir si cada terminal posee comandos o no.

En la tabla 1.1 pueden verse las principales características de las empresas nacionales con soluciones similares.

TABLA 1.1. Comparativa entre las distintas opciones

Empresa	Productos	Compatibilidad
Domotic	Catálogo amplio	No especifica
Commax	Catálogo amplio	Smart things y Apple Home Kit
Reactor	2 alternativas	Google Assistant e IFTTT

1.4. Objetivos y alcance

El objetivo de este trabajo es aplicar todos los conocimientos adquiridos en el transcurso del **posgrado**, en un tema de interés particular como es la domótica. En especial, el principal propósito es hacer un prototipo que de inicio a un **sistema** más grande y con mayores características, con el foco de **que** en un futuro cercano **se pueda** llegar a analizar la opción de integrarlo con sistemas como **Matter** o **Home Assistant**.

En este desarrollo se incluyó:

²Imágenes tomadas de: <https://csa-iot.org/> y <https://www.home-assistant.io/>

- El diseño en una placa de desarrollo del circuito del driver de la iluminación LED.
- La programación de un firmware de la placa ESP32 para la comunicación y manejo de conexiones.
- La creación del software forntend, backend y la base de datos que almacena toda la información dentro del servidor.
- Las conexiones, instalación y configuración del servidor montado en una Raspberry Pi.

En la imagen 1.3 se puede ver un esquema básico del sistema desarrollado.

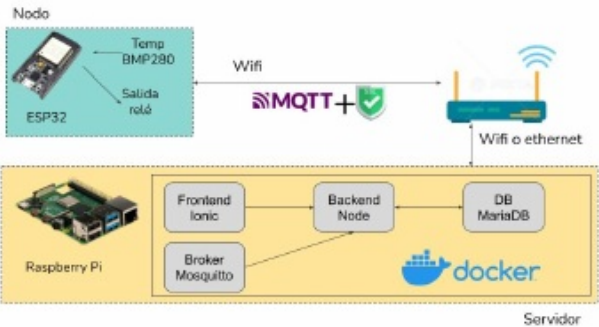


FIGURA 1.3. Esquema básico del sistema desarrollado.

- El esquema de conexiones de la placa de ESP32 con los módulos de display, encoder y salida de relé.
- El diseño en una placa de desarrollo del circuito del driver de la iluminación LED.
- La programación de un firmware de la placa ESP32 para la comunicación y manejo de conexiones.
- La creación del software forntend, backend y la base de datos que almacena toda la información dentro del servidor.
- Las conexiones, instalación y configuración del servidor montado en una Raspberry Pi.

En la imagen 1.3 se puede ver un esquema básico del sistema desarrollado.

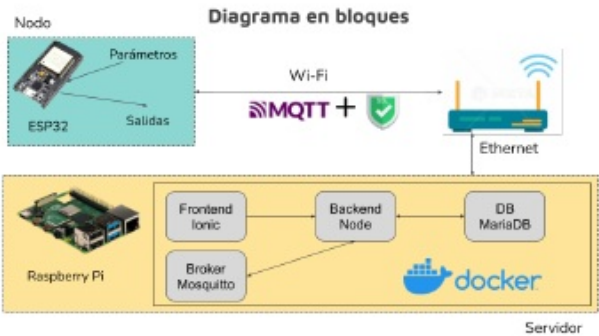


FIGURA 1.3. Esquema básico del sistema desarrollado.

Capítulo 2

Introducción específica

Capítulo 2

Introducción específica

En el presente capítulo se introducen las tecnologías y herramientas de hardware y software en todos los niveles utilizados en el desarrollo del trabajo.

2.1. Protocolos de comunicación

2.1.1. Modelo OSI

El modelo de interconexión de sistemas abiertos, conocido como modelo OSI, (en inglés, *Open Systems Interconnection*) es un modelo de referencia para los protocolos de la red. Define un estándar que tiene por objetivo interconectar sistemas de procedencia distinta para que estos puedan intercambiar información sin ningún tipo de impedimentos. Está conformado por 7 capas o niveles de abstracción. Cada uno de estos niveles tiene sus propias funciones para que en conjunto sean capaces de poder alcanzar su objetivo final. Precisamente esta separación en niveles hace posible la intercomunicación de protocolos distintos al concentrar funciones específicas en cada nivel de operación. [8]

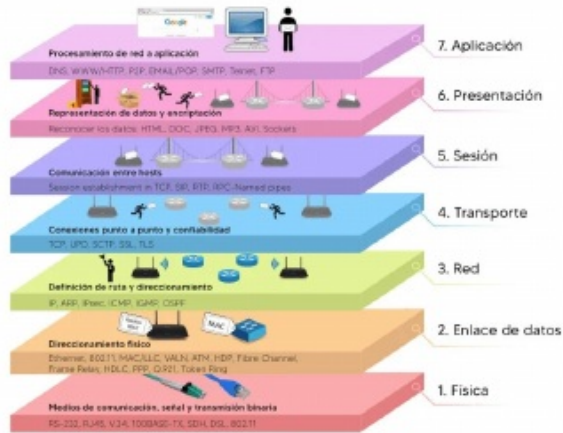


FIGURA 2.1: Modelo OSI. ¹

¹Imagen tomada de: <https://platzi.com/clases/2225-redes/35587-modelo-osi/>

Para el desarrollo del trabajo se utilizan enlaces ethernet para la conexión del servidor a la red local y Wi-Fi para la conexión de los nodos a la red. Ambos operan en capa 1 y 2 del modelo OSI, permitiendo la comunicación y el intercambio de datos entre estos componentes del sistema.

Ethernet es un estándar de redes de área local para computadoras, por sus siglas en español Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones (CSMA/CD). Su nombre procede del concepto físico de éter (ether, en inglés). Define las características de cableado y señalización de nivel físico y los formatos de tramas de datos del nivel de enlace de datos del modelo OSI. Ethernet se tomó como base para la redacción del estándar internacional IEEE 802.3, siendo usualmente tomados como sinónimos. [9]

El estándar 802.11 es una familia de normas inalámbricas creada por el IEEE. 802.11n es la forma más apropiada de llamar a la tecnología Wi-Fi, lanzada en 2009. Mejoró con respecto a versiones anteriores de Wi-Fi con múltiples radios, técnicas avanzadas de transmisión y recepción, y la opción de usar el espectro de 5 GHz. Todo implica una velocidad de datos de hasta 600 Mbps. La familia 802.11 consta de una serie de técnicas de modulación semidúplex (half duplex) por medio del aire que utilizan el mismo protocolo básico. [10]

2.1.2. Protocolo HTTP

El protocolo de transferencia de hipertexto, HTTP, es el protocolo de comunicación que permite las transferencias de información a través de archivos como XML y HTML entre otros. Está orientado a transacciones y sigue el esquema petición y respuesta entre un cliente y un servidor. El cliente realiza una petición enviando un mensaje, con cierto formato al servidor. El servidor le envía un mensaje de respuesta con la información solicitada o un mensaje de error. [11]

Los mensajes HTTP son en texto plano y tienen la siguiente estructura:

- Línea inicial.
- Cabecera.
- Cuerpo.

En la línea inicial se envían las peticiones con el método hacia el servidor o las respuestas con el código devueltas hacia el navegador. Los métodos más comunes, y utilizados en el proyecto, son:

- GET: solicita una representación del recurso especificado.
- POST: envía datos para que sean procesados por el recurso identificado en la URL de la línea petición.
- PUT: envía datos al servidor. La diferencia con POST es que este está orientado a la creación de nuevos contenidos, mientras que PUT está más orientado a la actualización de los mismos
- DELETE: Borra el recurso especificado.

En el sistema se utilizó el protocolo HTTP para hacer las peticiones desde el frontend hacia el servidor. Así, se hacen las consultas necesarias para que el servidor dé una respuesta válida haciendo primero una consulta a la base de datos para obtener la información pedida por el frontend.

Capítulo 3

Diseño e implementación

2.1.3. Protocolo MQTT

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) es uno de los protocolos más utilizados y difundidos en IoT. Es un protocolo de capa de aplicación, posee una topología de estrella y sus mensajes se transmiten como colas de publicación/-suscripción. El nodo central de su topología se llama broker donde conectan los clientes remotos. Los clientes pueden ser por ejemplo dispositivos con sensores y actuadores, así como también centrales de monitoreo, interfaces gráficas, entre otros.

La finalidad de MQTT es minimizar el uso recursos en los dispositivos (CPU, RAM, ROM), ser confiable y ofrecer distintos niveles calidad del servicio. Consume un ancho de banda relativamente bajo y mantiene una conexión continua entre el broker y los clientes. Generalmente se suele usar este protocolo como nexo entre los dispositivos de campo con elementos típicos de software como servidores webs, bases de datos o herramientas de análisis. En la imagen 2.2 se puede ver una arquitectura básica de conexión MQTT.

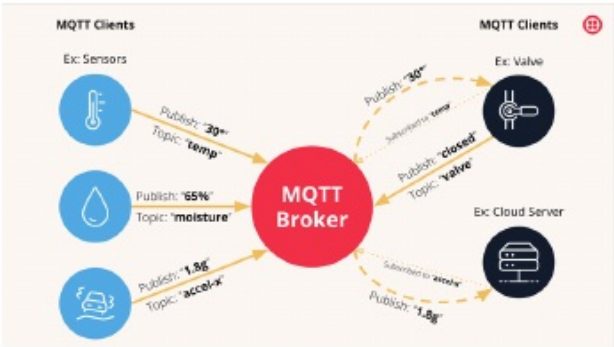


FIGURA 2.2. Arquitectura MQTT. ²

En el proyecto se utiliza protocolo MQTT para enviar los mensajes desde los nodos al servidor con los parámetros actuales el servidor los recibe, procesa y almacena en la base de datos. El servidor también envía mensajes hacia los dispositivos para cambiar el estado de las salidas o algún parámetro que se desee cambiar. Todos los mensajes están cifrados con TLS para mejorar la seguridad e integridad de los mensajes y la información que es enviada en ellos.

2.2. Componentes de hardware

Como se describió anteriormente, el sistema cuenta con 2 tipos de componentes diferentes: el servidor y los nodos. Ambos se conectan y comunican a través de la red local hogareña y se envían información.

²Imagen tomada de: <https://www.twilio.com/blog/what-is-mqtt>

2.2.1. Servidor

El servidor está montado sobre una Raspberry Pi 4 con un sistema operativo Raspbian con interfaz gráfica. En este caso por una cuestión de practicidad y costos se eligió una Raspberry Pi 400, que tiene el mismo hardware que una Raspberry Pi 4, con el adicional de contar con un teclado incorporado. Esto hace que sea más práctico al momento de utilizarla para programar y hacer las pruebas, aunque tiene un mayor volumen. En la tabla 2.1 pueden verse las especificaciones más importantes.

TABLA 2.1. Especificaciones

Procesador	Broadcom BCM2711 quad-core Cortex-A72(ARM v8) 64-bit SoC @ 1.8GHz
Memoria	4GB LPDDR4-3200
Conectividad	2.4GHz and 5.0GHz 802.11b/g/n/ac wireless LAN Bluetooth 5.0, BLE Gigabit Ethernet
Alimentación	5V DC vía USB-C

El sistema operativo está instalado y se ejecuta desde un disco de estado sólido por USB, que tiene una mayor capacidad de escrituras y lecturas que una memoria SD. Esto monta un escenario ideal para hacer pruebas en un desarrollo de este estilo. Aunque al momento de ofrecer una solución definitiva está pensado que sea implementado en una placa de las más pequeñas como cualquiera de las Raspberry Pi generación 4. Raspbian y todo el software adicional tendría que estar montado en una tarjeta SD para que todo el conjunto sea lo más pequeño posible. La conexión a la red local es por cable ethernet.

En la imagen 2.3 se pueden ver las Raspberry Pi modelo 4 y la 400.



FIGURA 2.3. Raspberry Pi 4 y 400.³

³Imagen tomada de: <https://all3dp.com/2/raspberry-pi-400-vs-raspberry-pi-4-differences/>

Capítulo 4

Ensayos y resultados

Capítulo 3

Diseño e implementación

Capítulo 5

Conclusiones

Capítulo 4

Ensayos y resultados

Bibliografía

- [1] *Domótica ¿Qué es la domótica? ¿Cómo funciona?* 2023. URL: <https://e-ficiencia.com/domotica-que-es-y-como-funciona/>.
- [2] *Domótica - Wikipedia*. 2023. URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Domotica>.
- [3] *Matter*. 2023. URL: <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/>.
- [4] *Home assistant*. 2023. URL: <https://www.home-assistant.io/>.
- [5] *Domotic*. 2018. URL: <https://www.sistemasdomotic.com.ar/>.
- [6] *Commax*. 2023. URL: <http://domotica.com.ar/>.
- [7] *Reactor*. 2023. URL: <https://www.reactor.com.ar/>.

Capítulo 5

Conclusiones