



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

**CARRERA DE ESPECIALIZACIÓN EN  
SISTEMAS EMBEBIDOS**

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL

**Smart Public Buildings**

**Autor:**

**Ing. Lucas Fabricio Monzón Languasco**

Director:

Dr. Ing. Emanuel Irrazabal (UNNE)

Jurados:

Mg. Ing. Leandro Lanzieri Rodriguez (FIUBA)

Mg. Ing. Ericson Joseph Estupiñan Pineda (FIUBA)

Esp. Ing. Rodrigo Tirapegui (FIUBA)

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Corrientes,  
entre marzo de 2020 y diciembre de 2020.*



## *Resumen*

En la presente memoria se aborda el diseño y desarrollo de un sistema de domótica para edificios públicos, que crea una red de nodos inteligentes con el objetivo de satisfacer las necesidades de automatización, monitoreo y eficiencia energética actuales. El trabajo contempla la selección de tecnologías de hardware y software, el diseño de la arquitectura de comunicación y la interfaz gráfica para su utilización. A lo largo del trabajo se aplicaron conceptos como programación multi-hilo y sincronización entre procesos, programación de microcontroladores en C, diseño de placas de circuito impreso y un sistema de control de versiones.



## *Agradecimientos*

Esta sección es para agradecimientos personales y es totalmente **OPCIONAL**.



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>I</b>
<b>1. Introducción general</b>	<b>1</b>
1.1. Domótica . . . . .	1
1.1.1. Aspectos principales . . . . .	1
1.1.2. Arquitectura . . . . .	2
1.2. Estado del arte . . . . .	3
1.3. Motivación . . . . .	4
1.4. Objetivos y alcances . . . . .	5
1.4.1. Objetivos . . . . .	5
1.4.2. Alcance . . . . .	5
<b>2. Introducción específica</b>	<b>7</b>
2.1. Funcionamiento general del sistema . . . . .	7
2.2. Hardware y Firmware . . . . .	7
2.3. Requerimientos . . . . .	7
2.4. Planificación . . . . .	7
<b>3. Diseño e implementación</b>	<b>9</b>
3.1. Diseño general del sistema . . . . .	9
3.2. Arquitectura de funcionamiento . . . . .	9
3.3. Sensores y actuadores . . . . .	9
3.4. Nodos . . . . .	9
3.5. Gateway . . . . .	9
3.6. Interfaz web . . . . .	9
3.7. Backend del sistema . . . . .	9
<b>4. Ensayos y Resultados</b>	<b>11</b>
4.1. Ensayos de comunicación . . . . .	11
4.1.1. Banco de pruebas . . . . .	11
4.1.2. Pruebas . . . . .	12
Pruebas de conexión . . . . .	12
Pruebas de Set y Get . . . . .	12
Resultados . . . . .	13
4.2. Ensayos de sensores y actuadores . . . . .	13
4.2.1. Banco de pruebas . . . . .	13
4.2.2. Pruebas . . . . .	13
Pruebas de encendido y apagado de luces . . . . .	14
Pruebas de encendido y apagado de aire acondicionado . . . . .	14
Resultados . . . . .	15
4.3. Ensayos de integración . . . . .	16
4.3.1. Banco de pruebas . . . . .	16
4.3.2. Pruebas . . . . .	16

Pruebas de conexión con interfaz y aplicación . . . . .	16
Pruebas de encendido y apagado de luz . . . . .	17
Pruebas de encendido y apagado del aire acondicionado . .	18
Pruebas de sensor de temperatura y humedad . . . . .	20
Pruebas de detección de movimiento . . . . .	21
Resultados . . . . .	21
<b>5. Conclusiones</b>	<b>23</b>
5.1. Trabajo realizado . . . . .	23
5.2. Conocimientos aplicados . . . . .	23
5.3. Trabajo futuro . . . . .	24



# Índice de figuras

1.1. Sistema de domótica genérico. . . . .	3
1.2. Sistema comercial de la marca iHaus. . . . .	4
1.3. Esquema del sistema planteado. . . . .	5
4.1. Banco de pruebas para el ensayo de comunicación. . . . .	11
4.2. Ensayo de conexión de un nuevo nodo. . . . .	12
4.3. . . . .	12
4.4. . . . .	12
4.5. Recepción de datos enviados por el nodo. . . . .	13
4.6. Banco de pruebas para el ensayo de sensores y actuadores. . . . .	13
4.7. . . . .	14
4.8. . . . .	14
4.9. Respuestas del nodo a los comandos utilizados. . . . .	15
4.10. Respuesta al cambio de temperatura y humedad en el nodo. . . . .	15
4.11. Pruebas del sensor de movimiento. . . . .	15
4.12. Banco de prueba para ensayos de integración. . . . .	16
4.13. Solapa de configuración. . . . .	17
4.14. Ventana de configuración. . . . .	17
4.15. Terminal de comandos muestra recepción del nodo. . . . .	17
4.16. Solapa de información. . . . .	18
4.17. Envío y recepción de comandos después de presionar el botón <i>ON</i> . . . . .	18
4.18. Interfaz web luego de presionar el botón <i>ON</i> . . . . .	18
4.19. Envío y recepción de comandos después de presionar el botón <i>OFF</i> . . . . .	18
4.20. Interfaz web luego de presionar el botón <i>OFF</i> . . . . .	18
4.21. Selección de la marca del aire acondicionado en la interfaz de usuario. . . . .	19
4.22. Envío y recepción de comandos por la terminal. . . . .	19
4.23. Interfaz web luego de presionar el botón <i>ON</i> . . . . .	19
4.24. Envío y recepción de comandos por la terminal. . . . .	19
4.25. Interfaz web luego de presionar el botón <i>OFF</i> . . . . .	20
4.26. Envío y recepción de comandos por la terminal. . . . .	20
4.27. Recepción de datos, después del envío del comando <i>Get</i> . . . . .	20
4.28. Interfaz web con los datos de temperatura y humedad . . . . .	20
4.29. Interfaz web con el sistema en modo automático. . . . .	21
4.30. Interfaz web con ventana pop-up indicando una alerta de movimiento en el sector 3 . . . . .	22
4.31. Recepción de datos enviados por el nodo al detectar movimiento. . . . .	22



# Índice de tablas

1.1. Comparación . . . . .	3
----------------------------	---



*Dedicado a... [OPCIONAL]*



# Capítulo 1

## Introducción general

En este capítulo se realiza una introducción a la domótica para edificios públicos y monitoreo de oficinas. Asimismo, se explica la motivación, se mencionan algunos sistemas existentes en el mercado, y por último se explica el alcance y objetivos.

### 1.1. Domótica

Se llama domótica a los sistemas capaces de automatizar una vivienda o edificación de cualquier tipo, y que aporta servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas, y cuyo control goza de cierta ubicuidad, desde dentro y fuera de la edificación. Se podría definir como la integración de tecnología en el diseño inteligente de un recinto cerrado. El término domótica proviene de la unión de las palabras domus que significa casa en latín y autónomo del griego *autónomos* ("que se gobierna a sí mismo").

#### 1.1.1. Aspectos principales

Los servicios que ofrece la domótica se pueden agrupar según cinco ámbitos principales. A continuación, se define y se indican ejemplos de cada uno.

- Programación y ahorro energético: en muchos casos no es necesario sustituir los aparatos o sistemas del hogar/edificio por otros que consuman menos energía sino realizar una gestión eficiente de los mismos.
  - Climatización y calderas: programación y zonificación, por ejemplo, el uso de un termostato.
  - Encender o apagar sistemas de luz.
  - Con un mando a distancia o control central se puede accionar un producto o agrupación de productos y activar o desactivar el funcionamiento de un sensor.
  - Gestión eléctrica.
- Confort: conlleva todas las actuaciones que se puedan llevar a cabo para mejorar la comodidad de una vivienda o edificio. Dichas actuaciones pueden ser de carácter tanto pasivo como activo.

- Iluminación: apagado general de todas las luces, automatización del apagado/encendido de cada punto de luz, regulación del nivel de luminosidad.
- Automatización de los distintos sistemas dotándolos de control eficiente y de fácil manejo.
- Control vía internet.
- Generación de programas de forma sencilla para el usuario.
- Seguridad: consiste en una red de seguridad encargada de proteger tanto los bienes patrimoniales, como la seguridad personal y la vida.
  - Alarmas de intrusión: se utilizan para detectar o prevenir la presencia de personas extrañas a una vivienda o edificio.
  - Detectores y alarmas de detección de incendios.
- Comunicaciones: son los sistemas o infraestructuras de comunicaciones que posee el edificio.
  - Transmisión de alarmas.
  - Intercomunicaciones.
  - Control remoto desde internet, PC, mandos inalámbricos (por ejemplo, Wi-Fi).
- Accesibilidad: bajo este mecanismo se incluyen las aplicaciones o instalaciones de control remoto del entorno que favorecen la autonomía personal de personas con limitaciones funcionales, o discapacidad.

### 1.1.2. Arquitectura

Desde el punto de vista de donde reside la inteligencia del sistema domótico, hay varias arquitecturas diferentes:

- Arquitectura centralizada: un controlador recibe información de múltiples sensores y, una vez procesada, genera las órdenes oportunas para los actuadores.
- Arquitectura distribuida: toda la inteligencia del sistema está distribuida entre los módulos, sean sensores o actuadores. Suele ser típico de los sistemas cableados o redes inalámbricas.
- Arquitectura mixta: sistemas con arquitectura descentralizada en cuanto a que disponen de varios pequeños dispositivos capaces de adquirir y procesar la información de múltiples sensores y transmitirlos al resto de dispositivos distribuidos por el edificio.

En la figura [1.1] se puede ver el esquema de un sistema de domótica genérico. El componente principal es el controlador, por allí pasa toda la información de los sensores y actuadores, del lado derecho de la figura se muestran ejemplos de actuadores y del lado izquierdo, ejemplos de sensores. La interfaz es muy importante por que es el nexo entre el usuario y el sistema, en la figura se muestra



debajo del controlador las interfaces como un teclado, móvil, interruptor o interfaz web.

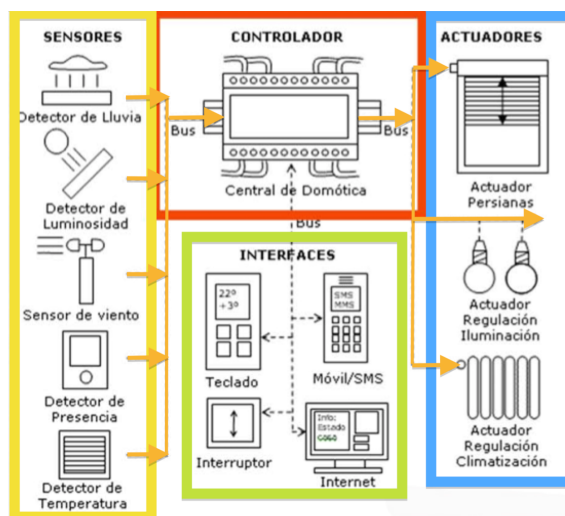


FIGURA 1.1. Sistema de domótica genérico.

## 1.2. Estado del arte

En la actualidad existe una amplia variedad de sistemas ofrecidos por empresas multinacionales como Fibaro, iHaus, Sonoff, ABB o Schneider Electric, que se encuentran enmarcados dentro de los sistemas de automatización y control de edificios/casas. Estos sistemas fueron tenidos en cuenta para la toma de decisiones en lo referente al desarrollo del trabajo, y por ello se resumen algunas características de estos en la tabla [1.1].

TABLA 1.1. Comparación de equipos en el mercado

Marcas	Conectividad	Interfaz	Monitoreo y Configuración
iHaus	Zigbee	Display	Software propietario
Fibaro	Z-wave	No aplica	WebServer
Sonoff	Wifi/RF	Display	Software propietario
ABB	KNX	Display	WebServer
Schneider E.	BACNet	No aplica	Software propietario

Si bien estos dispositivos se pueden adaptar a edificios de cualquier tipo, uno de los problemas mas usuales en cuanto a las conexiones inalámbricas es el alcance, es decir, la distancia entre el dispositivo central y el nodo. Los dispositivos mas comunes como los de iHaus, Fibaro y Sonoff son efectivos en cuanto al alcance en ámbitos residenciales, es decir, no están preparados para grandes distancias y muros anchos debido a que pierden la conectividad.

Otro aspecto a tener en cuenta en este tipo de dispositivos es la interfaz de usuario. Los sistemas de domótica en la actualidad proponen una gran variedad de

opciones para visualizar la información de los sensores y actuadores, pero algunas opciones no terminan siendo aptas para un sistema de gestión en un edificio público y además se debe agregar mas hardware para dicho requerimiento.

En la figura [1.2] se puede ver un esquema del sistema de iHaus como representación general de un sistema de domótica comercial 1.2. Éste cuenta con una central y nodos que funcionan como sensores y actuadores.

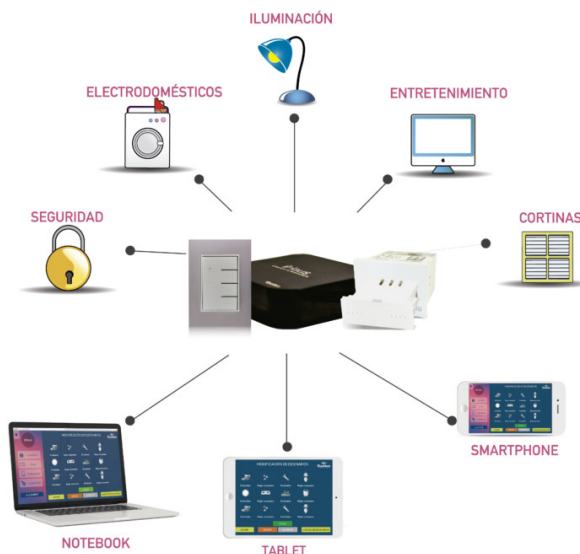


FIGURA 1.2. Sistema comercial de la marca iHaus.

### 1.3. Motivación

Uno de los principales desafíos en la economía actual se refiere a la reducción en el uso de distintos tipos de energías (eléctrica, térmica, etc.) y la huella de CO<sub>2</sub> en los existentes edificios públicos utilizando tecnologías de la información, servicios de monitoreo y manejando el consumo de la energía. Se tiene especial atención a los edificios históricos que son generalmente menos eficientes energéticamente y requieren estrictas restricciones de despliegue para evitar daños por amplia actualización. Un ámbito muy resignado por los desarrolladores de tecnología son los edificios públicos, debido a la complejidad en la instalación de este tipo de dispositivos. En la Argentina, en el marco del *Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE) en Edificios Públicos*, que tiene como objetivo reducir los niveles de consumo energético de la administración pública nacional mediante:

- La implementación de medidas de mejora de eficiencia energética.
- La implementación de criterios para la gestión de la energía.

- La concientización del personal en el uso racional de la energía.

Para cumplir con dicho marco se propone el desarrollo de un kit capaz de generar una red de sensores y actuadores que sean de fácil instalación y además que se pueda extender mediante el uso de la tecnología modular. Disponer de estos dispositivos en edificios públicos tiene como beneficios:

- Monitoreo remoto de oficinas, aulas y espacios públicos.
- Encendido y apagado de luces y aires acondicionados.
- Mejora de la eficiencia energética de los edificios públicos.

En la figura [1.3] se puede ver un esquema de la propuesta planteada.

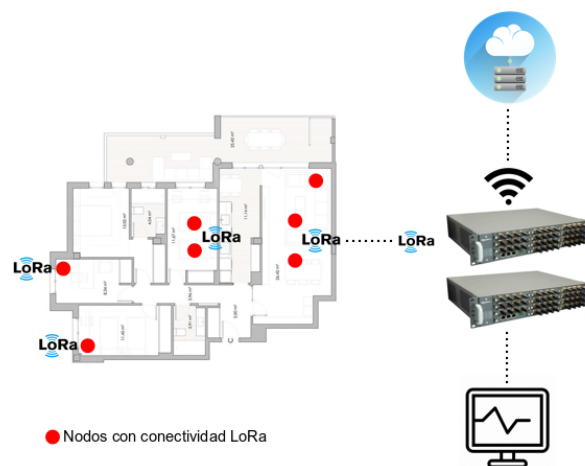


FIGURA 1.3. Esquema del sistema planteado.

## 1.4. Objetivos y alcances

En esta sección se hablará de los objetivos y alcances que tiene este proyecto.

### 1.4.1. Objetivos

El propósito de este proyecto es desarrollar un prototipo operativo de un sistema de control, monitoreo y supervisión de ciertas funciones y/o parámetros de los edificios, con la capacidad de visualizar la información de interés en un display e informar alertas. Un requisito importante es que su instalación requiera de una intervención mínima. Éste desarrollo permitirá maximizar la eficiencia del edificio, al reducir el consumo de energía y también generar alertas de prevención.

### 1.4.2. Alcance

Para la realización de este proyecto se desarrollará un primer prototipo operativo del sistema donde se tendrá en cuenta el hardware y software con interfaz

de comunicación LoRa (*Long Range*). El presente proyecto incluye los siguientes aspectos:

- Modelado del sistema.
- Desarrollo del firmware de los nodos y el gateway.
- Adquisición de datos de una serie de sensores en cada nodo de la red.
- Transmisión de datos entre los nodos y el gateway mediante el uso del protocolo LoRa a 915 MHz.
- Uso de base de datos en el gateway para guardar la información de cada nodo.
- Visualización de los datos adquiridos y parámetros de configuración en una aplicación web.
- Realización de tests y documentación detallados.

## Capítulo 2

# Introducción específica

Todos los capítulos deben comenzar con un breve párrafo introductorio que indique cuál es el contenido que se encontrará al leerlo. La redacción sobre el contenido de la memoria debe hacerse en presente y todo lo referido al proyecto en pasado, siempre de modo impersonal.

### 2.1. Funcionamiento general del sistema

### 2.2. Hardware y Firmware

### 2.3. Requerimientos

### 2.4. Planificación



## **Capítulo 3**

# **Diseño e implementación**

**3.1. Diseño general del sistema**

**3.2. Arquitectura de funcionamiento**

**3.3. Sensores y actuadores**

**3.4. Nodos**

**3.5. Gateway**

**3.6. Interfaz web**

**3.7. Backend del sistema**





## Capítulo 4

# Ensayos y Resultados

En este capítulo se detallan los ensayos realizados para comprobar el correcto funcionamiento del firmware de los nodos y el gateway, como así también del sistema en general.

### 4.1. Ensayos de comunicación

En esta sección se detallan los ensayos de comunicación entre el nodo y el gateway a partir de una terminal en Linux.

#### 4.1.1. Banco de pruebas

En primera instancia se hicieron las pruebas utilizando una terminal de comandos y enviando los datos mediante el puerto serie al gateway. El gateway recibe los datos, los procesa y envía mediante el protocolo LoRa hacia el nodo determinado por el usuario que escribe por la terminal de comandos. En la figura [4.1] se puede ver el banco de pruebas utilizado en ésta sección. La raspberry es utilizada como terminal para mandar los comandos por el puerto serie, el microcontrolador del gateway es un kit de desarrollo de la empresa Heltec que tiene un esp32 y además un integrado utilizado para la comunicación LoRa, con una antena adaptada a 915 MHz. El dispositivo nodo es un kit de desarrollo de la empresa Heltec igual al del gateway y cuenta con un firmware que recibe los comandos, los procesa y envía una respuesta.

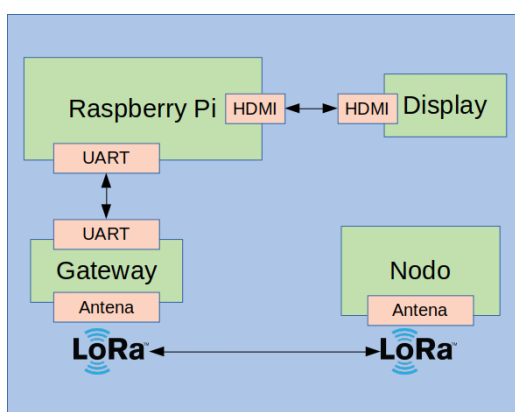
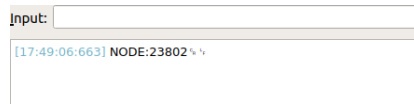


FIGURA 4.1. Banco de pruebas para el ensayo de comunicación.

### 4.1.2. Pruebas

#### Pruebas de conexión

La primer prueba realizada fue la de conexión, ésta se realizó presionando el botón modo del nodo por seis segundos y con el gateway conectado y la ventana de comandos abierta, se puede ver en la figura [4.2] que el gateway recibe el comando *NODE:ID*, esto quiere decir que hay un nodo que se quiere conectar al sistema y al recibir este dato, se conecta satisfactoriamente.

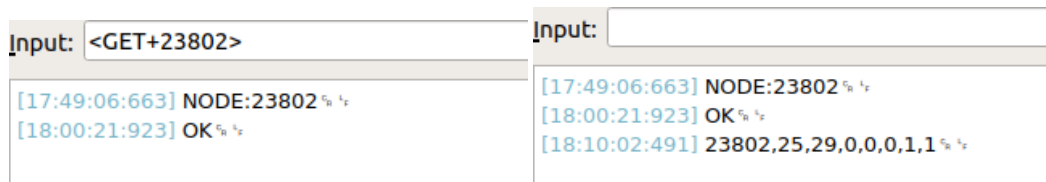


```
Input:
[17:49:06:663] NODE:23802 % %
```

FIGURA 4.2. Ensayo de conexión de un nuevo nodo.

#### Pruebas de Set y Get

Las siguientes pruebas realizadas fueron de *Set* y *Get*. En el caso de este sistema se utiliza el comando *Conf* en vez de *Set*, pero tienen el mismo propósito. En las figuras [4.3a] y [4.3b] se puede ver el envío del comando *Get*, el cual debe devolver un array de datos, donde debe indicar el nodo del que proviene y la información acerca del estado de los actuadores y sensores.

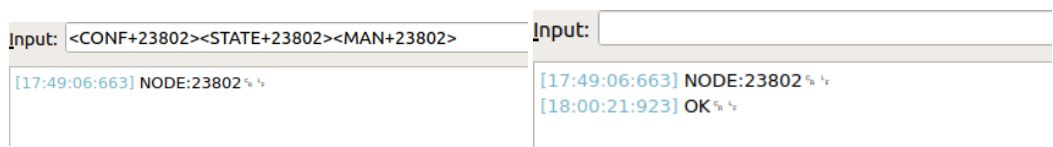


(A) Envío del comando *Get* por consola al puerto serie.

(B) Recepción de datos enviados por el nodo.

FIGURA 4.3

En las figuras [4.4a] y [4.4b] se puede ver el envío del comando *Conf* para configurar que el modo del sistema pase a estado Manual y se verifica que el estado cambió porque el nodo envía un *Ok*, y también se verifica pidiendo la información con un comando *Get* como indica la figura [4.5] donde se puede ver que el ante último "1" recibido corresponde a el modo Manual.



(A) Envío del comando *Conf* para poner el sistema en modo manual.

(B) Recepción del comando *Ok* enviado por el nodo.

FIGURA 4.4

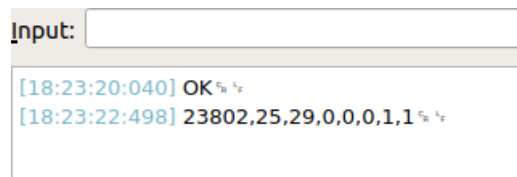


FIGURA 4.5. Recepción de datos enviados por el nodo.

## Resultados

Esta prueba tuvo como resultado los siguientes ítems:

- Se comprobó que la arquitectura de comandos utilizada funciona correctamente.
- El envío y recepción de datos toma un tiempo menor a 2 segundos por comando.
- El nodo procesa satisfactoriamente la información.

## 4.2. Ensayos de sensores y actuadores

### 4.2.1. Banco de pruebas

En esta sección se utilizó el banco de pruebas de la figura [4.6], éste es muy similar al banco de pruebas de la sección anterior pero se agregan dispositivos a los actuadores donde se puede corroborar el correcto funcionamiento, como así también de los sensores.

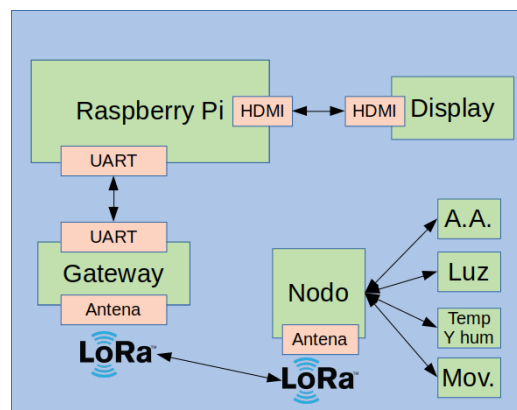


FIGURA 4.6. Banco de pruebas para el ensayo de sensores y actuadores.

### 4.2.2. Pruebas

Las pruebas realizadas fueron de encendido y apagado de luz y aire acondicionado, también se hizo pruebas del detector de movimiento y el sensado de temperatura y humedad.

Se comprobó el correcto funcionamiento de forma visual en los dispositivos y además utilizando el comando *Get* para saber si hubo un cambio en el estado de las salidas.

### Pruebas de encendido y apagado de luces

Primeramente se envía comandos de encendido y apagado de luz, y se espera una respuesta. Luego se envía el comando *Get* para conocer el estado actual. En las siguientes figuras [4.7a],[4.7b],[4.8a] y [4.8b] se puede ver la secuencia de comandos.

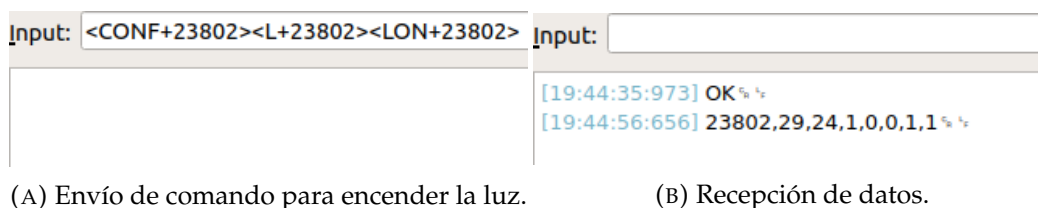


FIGURA 4.7

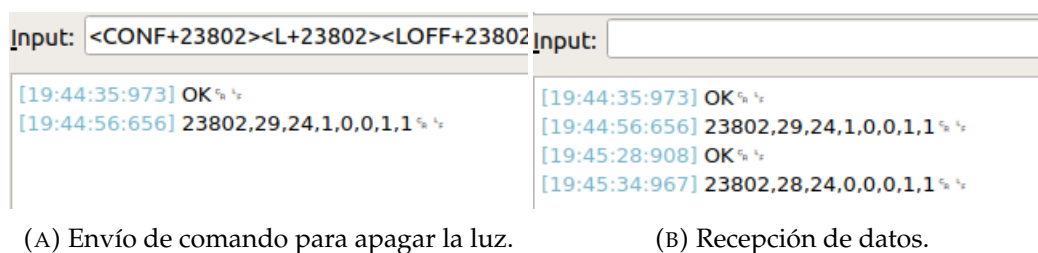


FIGURA 4.8

### Pruebas de encendido y apagado de aire acondicionado

A continuación se hicieron pruebas de funcionamiento del aire acondicionado.

Lo primero que se debe hacer es enviar el protocolo del aire acondicionado, ya que por defecto tiene cargado el protocolo del aire acondicionado de marca *Samsung*, en éste caso se envía el número del protocolo correspondiente y luego el nodo lo carga en su variable interna.

Una vez hecho ésto y recibido el *Ok* del nodo, se procede a realizar el encendido y apagado del aire. Se comprueba utilizando el comando *Get* para determinar si efectivamente cambió el estado del aire acondicionado en el nodo, como así también se verifica que el protocolo sea el correspondiente. En la figura [4.9] se puede ver la secuencia de respuestas a los comandos utilizados y en la columna nº 6 se ve el "46" que corresponde al protocolo utilizado. En secuencia se envían:

1. Cambio de protocolo de aire acondicionado.
2. Encendido del aire acondicionado
3. Comando *Get* para comprobar el estado. Se puede ver en la columna nº 5 el "1" que corresponde al encendido.

4. Apagado del aire acondicionado
5. Comando *Get* para comprobar el estado. Se puede ver en la columna nº 5 el "0" que corresponde al apagado.

```
[19:48:57:635] OK % %  
[19:49:22:521] OK % %  
[19:49:35:640] 23802,27,25,0,1,46,0,1 % %  
[19:50:11:055] OK % %  
[19:50:23:726] 23802,27,25,0,0,46,0,1 % %
```

FIGURA 4.9. Respuestas del nodo a los comandos utilizados.

La figura [4.10] es de una secuencia que corresponde al uso del comando *Get* para recibir datos del sensor de temperatura y humedad en dos tiempos distintos donde en un primer momento se mide la temperatura ambiente y luego se acerca una fuente de calor para corroborar el cambio de temperatura y humedad. Las columnas nº 2 y nº 3 corroboran el cambio de temperatura y humedad respectivamente.

```
[20:39:37:093] 23802,27,23,1,0,46,0,1 % %  
[20:40:21:363] 23802,32,95,1,0,46,0,1 % %
```

FIGURA 4.10. Respuesta al cambio de temperatura y humedad en el nodo.

Por ultimo se hicieron las pruebas del sensor de movimiento. Cuando el sistema se encuentra en estado automático y además se activa el sensor de movimiento, el nodo envía una alerta con su ID cada vez que el sensor se active, como se puede ver en la siguiente figura que corresponde a la secuencia recibida por el nodo [4.11]. La secuencia de comandos que se utilizó en esta prueba es:

1. Comando para cambiar a estado a automático
2. Comando para activar el sensor de movimiento

```
[20:46:58:513] OK % %  
[20:47:05:216] OK % %  
[20:47:06:229] AL+23802 % %  
[20:47:12:492] AL+23802 % %  
[20:47:13:484] AL+23802 % %  
[20:47:20:366] AL+23802 % %  
[20:47:21:358] AL+23802 % %  
[20:47:22:375] AL+23802 % %
```

FIGURA 4.11. Pruebas del sensor de movimiento.

## Resultados

Esta prueba tuvo como resultado los siguientes ítems:

- Se comprobó que los sensores y actuadores funcionan correctamente.
- El envío de datos al sensor movimiento tiene un tiempo menor a 2 segundos y lo hace de forma correcta.
- El nodo procesa satisfactoriamente la información.

### 4.3. Ensayos de integración

En esta sección se detallan los ensayos de comunicación entre el nodo y el gateway utilizando una interfaz web y un proceso programado en Python que se encuentra manejando las peticiones de la interfaz de usuario.

#### 4.3.1. Banco de pruebas

El banco de pruebas utilizado se puede ver en la figura [4.12]. Éste banco es finalmente el sistema completo en funcionamiento, se puede ver el agregado de la interfaz web y el proceso del *Backend* utilizado para manejar todas las variables del sistema. Aquí la ventana de comandos se utilizará solo para demostrar que los comandos son enviados correctamente cuando se elige alguna opción en la interfaz de usuario.

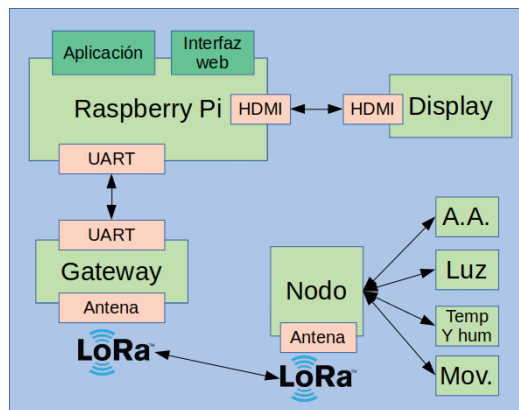


FIGURA 4.12. Banco de prueba para ensayos de integración.

#### 4.3.2. Pruebas

Las pruebas realizadas son las de encendido y apagado de luces y aires acondicionados, la elección del protocolo de aire acondicionado de forma mas intuitiva, como también el sensado de temperatura y humedad y la detección de movimiento que visualmente genera un pop-up en la ventana de la interfaz.

##### Pruebas de conexión con interfaz y aplicación

Se realizó el ensayo de conexión de un nodo al sistema mediante el uso de la interfaz web. Para ello fue necesario seguir los siguientes pasos:

1. Hacer click en la solapa *Configuración*.
2. Hacer click en *Agregar nuevo dispositivo*.
3. Presionar el botón de modo del nodo durante seis segundos aproximadamente.

En las figuras [4.13] y [4.14] se ven los pasos 1 y 2.



FIGURA 4.13. Solapa de configuración.



FIGURA 4.14. Ventana de configuración.

En la figura [4.15] se muestra la secuencia que ocurre en la aplicación que se encuentra funcionando como *Backend*.

```
Received: NODE:23802
Node ID: 23802 added to the list
```

FIGURA 4.15. Terminal de comandos muestra recepción del nodo.

### Pruebas de encendido y apagado de luz

Se realizó el ensayo de encendido y apagado de luz mediante el uso de los botones ON y OFF de la interfaz web, correspondientes al nodo en cuestión. Para ello fue necesario seguir los siguientes pasos:

1. Hacer click en la solapa *Información*.
2. Hacer click en ON.
3. Hacer click en OFF.

En la figura [4.16] se puede ver el paso 1, y en las figuras [4.17], [4.18], [4.19] y [4.20] se puede ver el envío de los comandos y la respuesta, como así también el cambio de estado en la interfaz web.

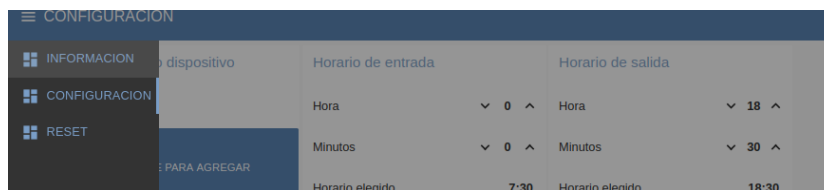


FIGURA 4.16. Solapa de información.

```
Send: <CONF+23802><L+23802><LON+23802> to:23802
Received: OK

Send: <GET+23802> to:23802
Received: 23802,28,31,1,0,0,1,1
```

FIGURA 4.17. Envío y recepción de comandos después de presionar el botón ON.

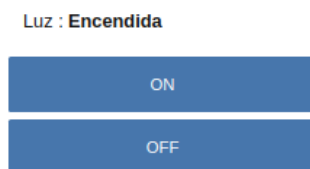


FIGURA 4.18. Interfaz web luego de presionar el botón ON.

```
Send: <CONF+23802><L+23802><LOFF+23802> to:23802
Received: OK

Send: <GET+23802> to:23802
Received: 23802,28,30,0,0,0,1,1
```

FIGURA 4.19. Envío y recepción de comandos después de presionar el botón OFF.

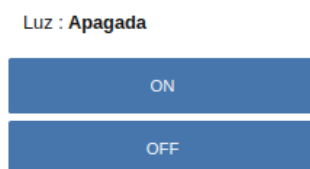


FIGURA 4.20. Interfaz web luego de presionar el botón OFF.

### Pruebas de encendido y apagado del aire acondicionado

De la misma manera se procedió a ensayar el encendido y apagado del aire acondicionado, para ésto fue necesario seguir los siguientes pasos:

1. Hacer click en la solapa *Información*.
2. Elegir la marca del aire acondicionado.
3. Hacer click en *ON*.
4. Hacer click en *OFF*.



En la figura [4.21] se puede ver como se selecciona la marca del aire acondicionado y en la [4.22] se muestra una captura de los comandos que envía el sistema automáticamente al seleccionar una marca.

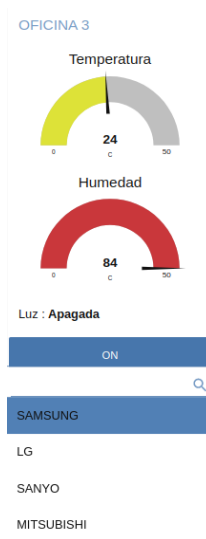


FIGURA 4.21. Selección de la marca del aire acondicionado en la interfaz de usuario.

```
<CONF+23802><AA+23802><ANUM+23802><46+23802>
Received: OK
```

FIGURA 4.22. Envío y recepción de comandos por la terminal.

En la figura [4.24], [4.23], [4.26] y [4.25] se muestra la secuencia de encendido y apagado del aire, tanto en la interfaz de usuario como en la terminal.

```
Send: <CONF+23802><AA+23802><AON+23802> to:23802
Received: OK
Send: <GET+23802> to:23802
Received: 23802,25,82,0,1,46,0,1
```

FIGURA 4.23. Interfaz web luego de presionar el botón ON.

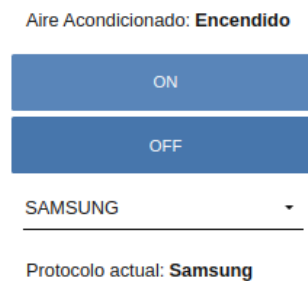


FIGURA 4.24. Envío y recepción de comandos por la terminal.

En las figuras [4.23] y [4.25] luego del comando *Get* se recibe el estado del nodo y se aprecia el cambio del valor de la columna nº 5 entre el encendido("1") y apagado("0").

```

Send: <CONF+23802><AA+23802><AOF+23802> to:23802
Received: OK

Send: <GET+23802> to:23802
Received: 23802,25,80,0,0,46,0,1

```

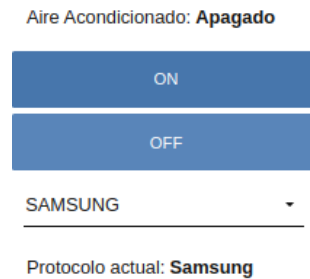
FIGURA 4.25. Interfaz web luego de presionar el botón *OFF*.

FIGURA 4.26. Envío y recepción de comandos por la terminal.

### Pruebas de sensor de temperatura y humedad

En este ensayo se corrobora que los datos mostrados en la interfaz web acerca del sensor de temperatura y humedad se corresponden con los datos recibidos por el nodo.

En las figura [4.27] se pueden ver los datos recibidos por el nodo luego de que el sistema le mande un comando *Get* al nodo, en las columnas n° 2 y n° 3 se puede ver el valor de temperatura y humedad respectivamente, y en la figura [4.28] se muestra la interfaz web y se corrobora el correcto funcionamiento de la interfaz mostrando los valores reales recibidos.

```

Send: <GET+23802> to:23802
Received: 23802,26,65,0,0,46,0,1

```

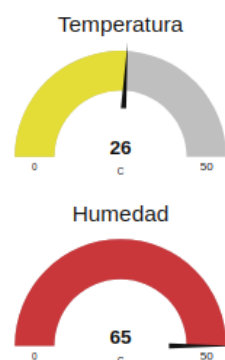
FIGURA 4.27. Recepción de datos, después del envío del comando *Get*

FIGURA 4.28. Interfaz web con los datos de temperatura y humedad

### Pruebas de detección de movimiento

En esta sección se ensaya el uso del sensor PIR para detección de movimiento en el área donde se encuentra instalado el nodo. Los pasos realizados para este ensayo fueron los siguientes:

1. Hacer click en la solapa *Información*.
2. Poner el sistema en modo Automático.
3. Activar la detección de movimiento.

El sistema se pone en modo automático mediante el uso del botón que se encuentra en el nodo (botón de modo), pero también se lo puede hacer mediante la interfaz web utilizando el botón debido.

En la figura [4.29] se puede ver que la interfaz web nos indica que el sistema se encuentra en modo automático.



FIGURA 4.29. Interfaz web con el sistema en modo automático.

Luego se hace click en el botón *Activar Mov.* que envía el comando de activar el sensor PIR y una vez que se detecte movimiento en la zona, enviará una señal y la interfaz mostrará mediante una ventana pop-up un mensaje de alerta como se muestra en la figura [4.30].

Finalmente se muestra en la figura [4.31] el comando enviado al activar el movimiento en el nodo y el mensaje recibido cuando el nodo detecta movimiento en su zona.

### Resultados

Esta prueba tuvo como resultado los siguientes ítems:

- Se comprobó que la interfaz web funciona correctamente.
- Los comandos son enviados y recibidos correctamente.
- La sincronización de hilos en el Backend funciona como es esperado.

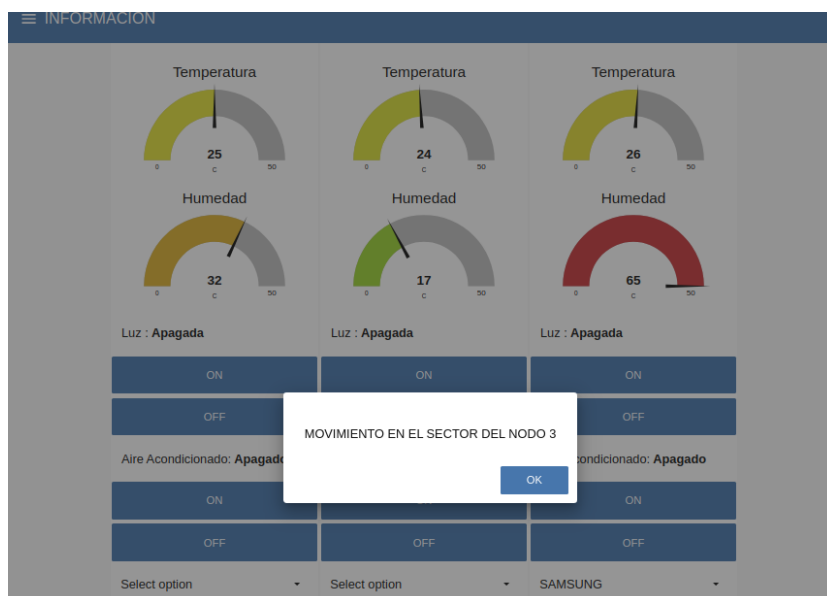


FIGURA 4.30. Interfaz web con ventana pop-up indicando una alerta de movimiento en el sector 3

```
Send: <CONF+23802><MOVA+23802> to:23802
Received: OK
Received: AL+23802
```

FIGURA 4.31. Recepción de datos enviados por el nodo al detectar movimiento.

## Capítulo 5

# Conclusiones

En este capítulo se realiza un resumen sobre los conocimientos aplicados, el trabajo realizado hasta el momento y problemas que surgieron durante el desarrollo.

### 5.1. Trabajo realizado

En la presente memoria se documentó la implementación de un prototipo de domótica para edificios públicos. Particularmente se implementó el monitoreo de temperatura y humedad, el control de encendido y apagado de luces y aires acondicionados para diferentes marcas y la detección de movimiento en el área.

Se desarrolló e implementó satisfactoriamente una red de nodos que responden a una central y que proveen una estructura de servicios propia y local sin necesidad de una red Wi-Fi. La implementación permite, no solo generar eficiencia energética en edificios públicos de gran tamaño, sino también la detección de movimiento en las oficinas o áreas donde se encuentre un nodo. Esto es importante para generar una alarma preventiva. También presenta una interfaz de visualización de fácil uso para el usuario.

Se hicieron modificaciones de los requisitos a lo largo del proyecto debido al planteo del cliente. Los requisitos no fueron cumplidos en su totalidad, quedando para una segunda etapa las tareas de diseño de un hardware mas pequeño como así también las pruebas en planta.

Surgieron nuevos riesgos que no estaban considerados al plantear el proyecto y que no pudieron ser mitigados con satisfacción. No obstante, se concluye que la mayoría de los objetivos planteados al comienzo del trabajo fueron alcanzados satisfactoriamente y se han obtenido conocimientos valiosos para la formación del autor.

### 5.2. Conocimientos aplicados

Durante el desarrollo del este trabajo se aplicaron conocimientos adquiridos a lo largo del año en la Especialización de Sistemas Embebidos. Todas las asignaturas cursadas aportaron conocimientos necesarios para que el trabajo finalmente se encuentre funcionando. 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.
- Ingeniería de Software en Sistemas Embebidos: la creación de un documento de especificaciones de requerimientos permitió ordenar y documentar las necesidades del cliente además de enseñar el uso de sistemas de control de versiones.
- Protocolos de Comunicación: resultado de utilidad para la creación del driver de uno de los componentes.
- Sistemas Operativos de Propósito General: se aplicaron conceptos de uso de hilos y procesos, como también de sincronización entre procesos y uso de variables compartidas.
- Desarrollo de Aplicaciones en Sistemas Operativos: se aplicaron conocimientos del lenguaje de programación Python, uso de ficheros y la programación orientada a objeto.
- Diseño de Circuitos Impresos: aportó al uso de la herramienta libre KiCad.

### 5.3. Trabajo futuro

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

- Diseñar un prototipo de hardware más pequeño para su uso dentro de cajas de electricidad convencionales.
- Modificar la interfaz web para agregar nodos de forma automática.
- Separar los leds infrarrojos del nodo para poder situarlos mas cerca del aire acondicionado.
- Agregar la posibilidad de actualizar el firmware del gateway de forma remota.