



**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 pcb 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
4.2. Ensayos de sensores y actuadores . . . . .	11
4.3. Ensayos de integración . . . . .	11
<b>5. Conclusiones</b>	<b>13</b>
5.1. Trabajo realizado . . . . .	13
5.2. Conocimientos aplicados . . . . .	13
5.3. Trabajo futuro . . . . .	14





# 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



# 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, aportando 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 la tecnología en el diseño inteligente de un recinto cerrado. El término domótica viene 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 aspectos o ámbitos principales:

- Programación y ahorro energético: el ahorro energético no es algo tangible, sino legible con un concepto al que se puede llegar de muchas maneras. En muchos casos no es necesario sustituir los aparatos o sistemas del hogar/edificio por otros que consuman menos energía sino con una gestión eficiente de los mismos.
  - Climatización y calderas: programación y zonificación, pudiéndose usar 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 que mejoren 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 (p.ej. 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 por 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 siguiente figura se puede ver el esquema de un sistema de domótica genérico [1.1].



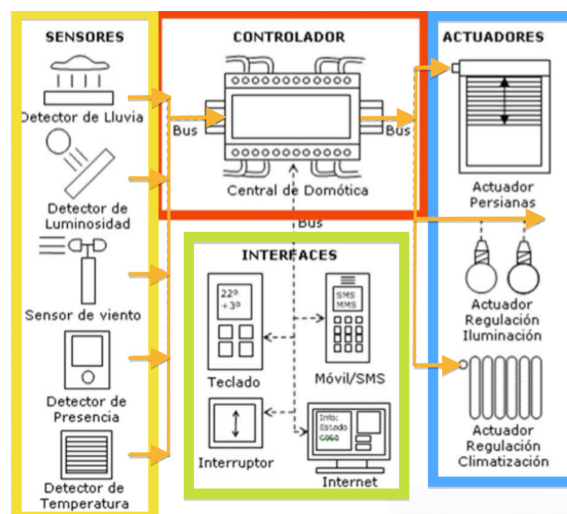


FIGURA 1.1. Sistema de domótica genérico.

## 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 más enmarcados dentro de los sistemas de automatización y control de edificios/casas. Estos sistemas fueron tenidos en cuenta para la toma de decisiones entorno 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 son adaptables a edificios de cualquier tipo, uno de los problemas mas usuales en cuanto a las conexiones inalámbricas es el alcance, se refiere al alcance como 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 ver 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 siguiente figura 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.

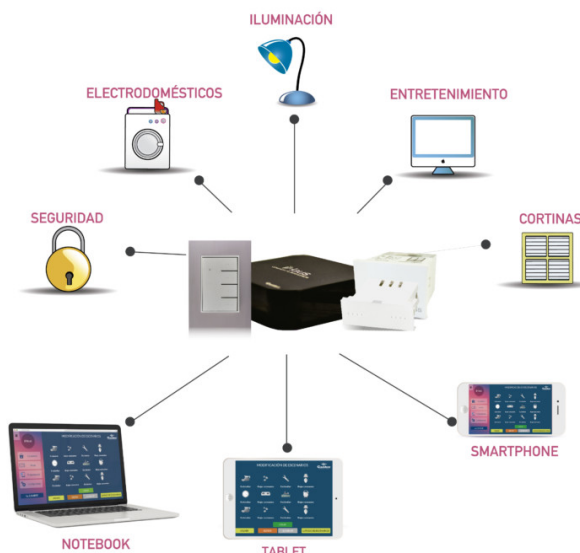


FIGURA 1.2. Sistema comercial de la marca iHaus.

### 1.3. Motivación

Uno de los principales desafíos en la economía actual se refiere a la reducción en el uso de energías 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 e imponen 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 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.

Se propone el desarrollo de un kit capaz de generar una red de sensores y actuadores que sean de fácil instalación y además que sea extensible mediante el uso

de la tecnología modular. Tener esta electrónica 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 siguiente figura 1.3 se puede ver un esquema de la propuesta planteada.

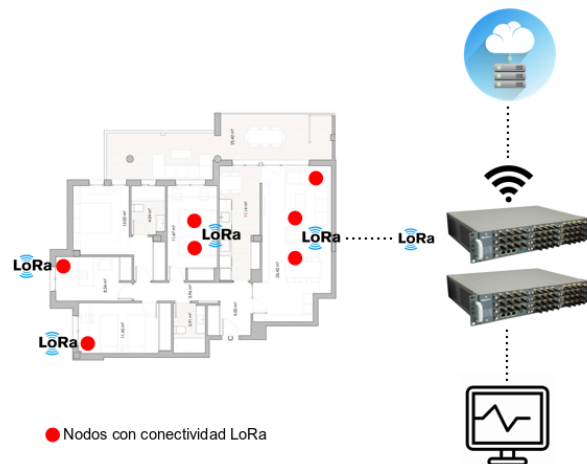


FIGURA 1.3. Esquema del sistema planteado.

## 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 y ejecutar alertas. Un requisito importante es la instalación de los mismos con la 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**

**4.1. Ensayos de comunicación**

**4.2. Ensayos de sensores y actuadores**

**4.3. Ensayos de integración**



## Capítulo 5

# Conclusiones

En este capítulo se realiza un resumen sobre los conocimientos aplicados, el trabajo realizado hasta el momento y problemas que surgieron en 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 wifi. La implementación no solo permite generar eficiencia energética en edificios públicos de gran tamaño sino que también la detección de movimiento en las oficinas o áreas donde se encuentre un nodo y 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. Por lo tanto, 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 generó un orden y documentó 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 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 trascendentes:

- Diseñar un prototipo de hardware mas 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.